

DLA ABSOLWENTÓW SZKÓŁ PODSTAWOWYCH

Odkryć fizykę

Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

3

Zakres podstawowy

nowa era

Droga Nowa Ero,

Nigdy bym nie publikowała publicznie książek wydawnictw, które działają na uczciwych zasadach.

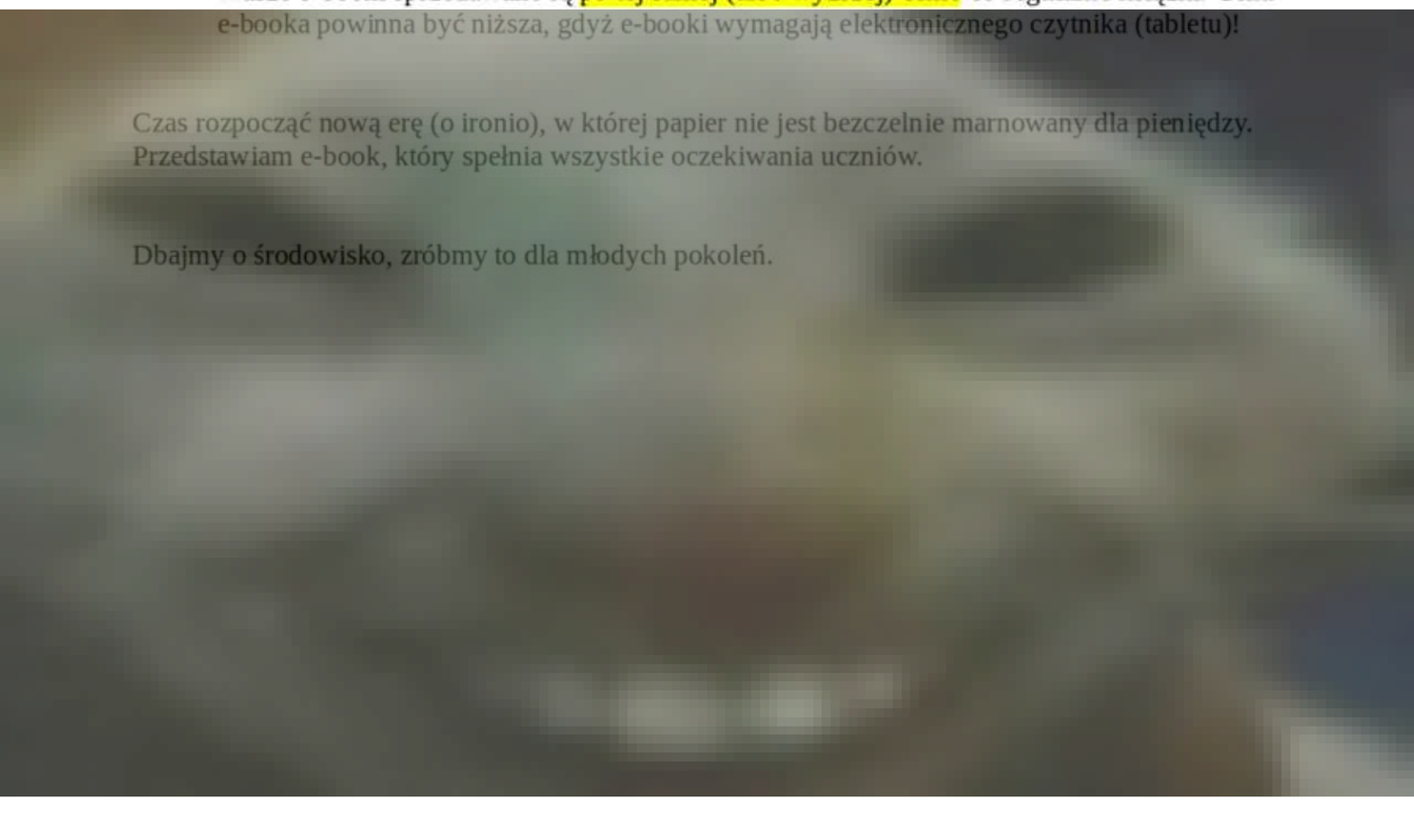
Wasza firma jednak promuje masowy dodruk, całkowicie niepotrzebnych książek, które mogłyby zastąpione wersjami elektronicznymi!

Co prawda e-booki są dostępne na waszej stronie, jednak:

- W przeciwieństwie do fizycznej książki, licencja na e-book kończy się po roku. Oznacza to, że jeżeli moja córka chciałaby powtórzyć sobie całą wiedzę do matury, musiałabym jej kupić wszystkie wasze książki od nowa.
- Waszych e-booków nie da się pobrać! Wymagają one dostęp do internetu, co uniemożliwia ich użycie na naszej wsi, gdzie zasięg jest ograniczony.
- Wasze e-booki nie działają na telefonach komórkowych!!!
- Wasze e-booki sprzedawane są po tej samej (albo wyższej) cenie co regularne książki. Cena e-booka powinna być niższa, gdyż e-booki wymagają elektronicznego czytnika (tabletu)!

Czas rozpocząć nową erę (o ironio), w której papier nie jest bezczelnie marnowany dla pieniędzy. Przedstawiam e-book, który spełnia wszystkie oczekiwania uczniów.

Dbajmy o środowisko, zróbmy to dla młodych pokoleń.



Spis treści

Rozdział 7. Termodynamika

1. Cząsteczki i energia 6
2. Rozszerzalność cieplna 13
3. Ciepło właściwe 19
4. Przemiany fazowe 24
5. Ciepło topnienia i ciepło parowania 31
6. Bilans cieplny 36
7. Wyznaczanie ciepła właściwego. 40
8. Wartość energetyczna 44
9. Niezwykłe właściwości wody 47
Powtórzenie 51
Zadania powtórzeniowe 54
Projekt. Ruchy Browna 57

Rozdział 8. Drgania i fale

10. Prawo Hooke'a. 60
11. Opis ruchu drgającego 66
12. Wahadło sprężynowe 71
13. Badanie wahadła sprężynowego 76
14. Drgania wymuszone i tłumione. Rezonans 80
15. Fale mechaniczne. 84
16. Fale dźwiękowe 90
Temat dodatkowy: Dźwięki muzyki 98
17. Fale elektromagnetyczne 102
Powtórzenie 108
Zadania powtórzeniowe 111
Projekt. Ten zegar stary... 114

Rozdział 9. Zjawiska falowe

18. Powierzchnie falowe. Odbicie fali 116
19. Rozpraszanie fali 123
20. Załamanie fal 129
21. Całkowite wewnętrzne odbicie 133
22. Tęcza i halo 139
23. Dyfrakcja 146
24. Interferencja fal. 150
25. Dyfrakcja i interferencja światła w przyrodzie. 157
26. Polaryzacja światła. 161
27. Efekt Dopplera 166
28. Więcej o efekcie Dopplera 171
Powtórzenie 176
Zadania powtórzeniowe 180
Artykuł. Cywilizacja zgiełku 183

Rozdział 10. Fizyka atomowa

29. Podwójna natura światła 186
30. Fale czy cząstki? Cząstki czy fale? 195
31. Promieniowanie termiczne 199
32. Mechanizm efektu cieplarnianego 205
33. Ograniczanie efektu cieplarnianego 209
34. Widmo liniowe 213
35. Jak powstaje widmo liniowe. 218
Temat dodatkowy: Model atomu Bohra . . . 224
Powtórzenie 231
Zadania powtórzeniowe 234
Projekt. Spektroskop 236

Rozdział 11. Fizyka jądrowa. Gwiazdy i Wszechświat

36. Budowa jądra atomowego 238
37. Promieniowanie jądrowe. 243
38. Wpływ promieniowania na materię i organizmy. 248
39. Reakcje jądrowe. 253
40. Czas połowicznego rozpadu 259
41. Energia jądrowa 265
42. Energia syntezy termojądrowej. 272
43. Masa i energia 276
44. Deficyt masy 280
45. Życie Słońca 284
46. Życie gwiazd – kosmiczna menażeria . . 287
47. Wszechświat 291
Powtórzenie 298
Zadania powtórzeniowe 302
Artykuł. Polacy w projekcie ITER. 305

Zbiór zadań

Rozdział 7. Termodynamika 308
Rozdział 8. Drgania i fale 311
Rozdział 9. Zjawiska falowe 316
Rozdział 10. Fizyka atomowa 321
Rozdział 11. Fizyka jądrowa. Gwiazdy i Wszechświat 323

Tabele 329
Indeks 332
Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań 334

O czym jest podręcznik

W podręczniku *Odkryć fizykę 3* znajdziesz ważne i ciekawe informacje dotyczące termodynamiki, drgań i fal, zjawisk falowych, fizyki atomowej i fizyki jądrowej. Dzięki tym wiadomościom zrozumiesz wiele zjawisk z otaczającego cię świata.



Czemu służą poszczególne elementy podręcznika

Cele lekcji

Przed każdym tematem dowiesz się, o czym będziesz się uczyć.

To najważniejsze

Podsumowanie tematu podpowie ci, które treści są w nim najważniejsze.

$E = mc^2$

Dzięki czytelnym wyróżnieniom łatwo odnajdziesz **wzory, definicje i ważne informacje**.

Samorzutne mieszanie się cząsteczek...

Uwagi i **komentarze** ułatwią ci zrozumienie informacji zawartych w tekście głównym i w przykładach.

Doświadczenie

Doświadczenie obowiązkowe

Czytelnie opisane i zilustrowane doświadczenia ułatwią ci przeprowadzanie i analizowanie eksperymentów. Doświadczenia obowiązkowe zostały wyraźnie oznaczone.

Przykład

Przykłady umożliwią ci prześledzenie toku rozumowania podczas rozwiązywania zadań.

A to ciekawe

Z historii

Dzięki ciekawostkom i infografikom historycznym poznasz interesujące fakty związane z lekcją.

Pytania i zadania

Wykonanie poleceń i zadań zamieszczonych na końcu lekcji pozwoli ci utrwalić zdobytą wiedzę i umiejętności.

Powtórzenie

Na tych stronach znajdziesz najważniejsze wiadomości z danego rozdziału.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

Dzięki tym zadaniom sprawdzisz stopień opanowania umiejętności i wiadomości z danego rozdziału.

D

Treści spoza podstawy programowej.



7 Termodynamika

Miasto Saskatoon w środkowej Kanadzie leży na tej samej szerokości geograficznej co Gdańsk. Dlaczego więc zimy są tam znacznie dłuższe i surowsze?



1. Cząsteczki i energia

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie i uporządkujesz wiadomości o cząsteczkowej budowie ciał stałych, cieczy i gazów.
- Dowiesz się, jaki jest związek między ruchem cząsteczek a temperaturą.
- Poznasz zjawisko dyfuzji.
- Nauczysz się stosować zasadę zachowania energii do zjawisk cieplnych.

O czym będziemy się uczyć

W trzeciej klasie masz dwie lekcje fizyki tygodniowo, podczas których poznasz wiele różnorodnych zagadnień. Zaczniemy od termodynamiki. Później będziemy badać ruch drgający, co przyda się w kolejnych lekcjach, poświęconych falom. Zobaczysz, że fale na wodzie, dźwięk i światło mają podobną naturę.

Następnie przejdziemy do coraz mniejszych obiektów: atomu, a potem jądra atomowego. Choć może się to wydać zaskakujące, badanie najmniejszych składników materii pozwoli nam zrozumieć zjawiska zachodzące w wielkiej skali: przemiany Słońca i innych gwiazd, a nawet całego Wszechświata.

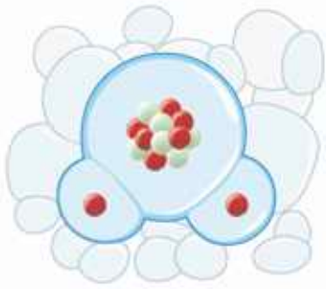
O tym będziesz uczyć się w klasie 3:

1. Termodynamika
2. Drgania i fale
3. Zjawiska falowe
4. Fizyka atomowa
5. Fizyka jądrowa. Gwiazdy i Wszechświat

Pierwszym tematem naszych rozważań będzie **termodynamika.** Jest to dział fizyki zajmujący się zjawiskami cieplnymi, czyli m.in. zmianami temperatury ciał, przepływem ciepła, zmianami stanu skupienia. Wiele z tych zjawisk, np. wrzenie wody pod wpływem jej ogrzewania, znano już w czasach prehistorycznych. Dlaczego więc ich natura została ostatecznie wyjaśniona dopiero w XIX w.? Okazuje się, że choć te zjawiska obserwujemy za pomocą własnych zmysłów, to zrozumieć je możemy dopiero dzięki odwołaniu do cząsteczkowej budowy materii.

Cząsteczki i stan skupienia substancji

Jak wiesz z lekcji fizyki i chemii, wszystkie ciała spotykane na co dzień składają się z atomów, które w wielu substancjach są połączone w cząsteczki.
Na przykład cząsteczka wody H_2O składa się z dwóch atomów wodoru i jednego atomu tlenu. Lód i para wodna składają się z identycznych cząsteczek jak woda w stanie ciekłym, inne są tylko odległości między nimi i inaczej przebiega ruch tych cząsteczek (patrz ramka poniżej).
Żelazo, jak zapewne pamiętasz z drugiej klasy, składa się z pojedynczych atomów, niepołączonych w cząsteczki, a mówiąc ściślej – z dodatnich jonów oraz swobodnych elektronów.

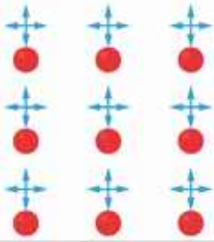
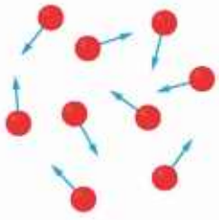
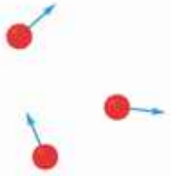


▲ Cząsteczka wody H_2O

Dalej dla uproszczenia będziemy mówili o „cząsteczkach ciała" również wtedy, gdy chodzi o pojedyncze atomy lub jony.

Cząsteczki a stan skupienia

Właściwości substancji w poszczególnych stanach skupienia zależą od odległości między cząsteczkami, ruchu tych cząsteczek oraz od ich wzajemnego oddziaływania.

	Ciało stałe	Ciecz	Gaz
Położenie cząsteczek			
Ruch cząsteczek	Cząsteczki drgają wokół położeń równowagi, co na rysunku przedstawiono za pomocą strzałek z dwoma grotami. Odległości między nimi są niewielkie.	Odległości między cząsteczkami są niewielkie, ale cząsteczki poruszają się swobodnie po całej objętości cieczy.	Odległości między cząsteczkami są duże. Cząsteczki poruszają się swobodnie po całej objętości naczynia. Praktycznie nie oddziałują ze sobą, z wyjątkiem momentów zderzeń.
Zmiana objętości, zmiana kształtu	Ciało stałe ma określony kształt i określoną objętość (nie da się łatwo sprężać i rozprężać).	Ciecz zachowuje objętość, ale nie ma określonego kształtu – dostosowuje się do kształtu naczynia, w którym się znajduje.	Gaz nie ma ustalonej objętości ani kształtu – zawsze wypełnia całe naczynie, w którym się znajduje.

Prędkość cząsteczek zależy nie od stanu skupienia, ale od temperatury ciała. Gdy w wilgotny dzień w powietrzu o temperaturze np. 10°C jest zawarta para wodna o takiej samej temperaturze, jej cząsteczki poruszają się tak samo szybko jak cząsteczki wody w temperaturze 10°C.

Dyfuzja



Wykonajmy proste doświadczenie ilustrujące zjawisko dyfuzji, które potwierdza cząsteczkową teorię budowy materii.

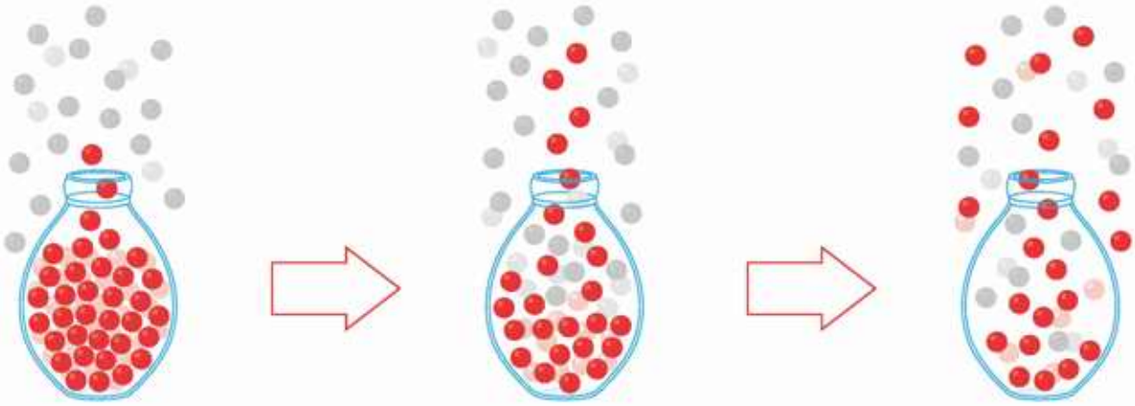
Doświadczenie 1.

Obserwacja wyrównywania stężeń

1. Przygotuj szklankę, wodę, nadmanganian potasu (tę substancję kupisz w aptece, to znany ci z chemii manganian(VII) potasu).
2. Do szklanki z wodą wrzuć kilka kryształków nadmanganianu potasu.
3. Obserwuj zachodzące zjawisko. Co zauważasz?

Początkowo woda jest zabarwiona tylko wokół kryształków nadmanganianu potasu. Stopniowo jednak rozpuszczona substancja rozchodzi się w całej objętości cieczy. Możemy powiedzieć, że stężenie nadmanganianu potasu w wodzie się wyrównuje – po pewnym czasie porcja wody z okolic dna zawiera tyle samo rozpuszczonej substancji co tej samej wielkości porcja pobrana na innej głębokości.

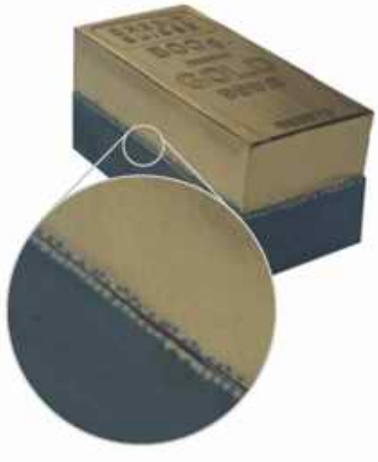
Samorzutne mieszanie się cząsteczek jednej substancji z drugą (wyrównywanie ich stężeń) nazywamy **dyfuzją**.



▲ Gdy perfumy parują, ich cząsteczki (oznaczone na rysunku kolorem czerwonym) samorzutnie mieszają się z cząsteczkami powietrza

Zjawisko dyfuzji zachodzi także w przypadku gazów. Gdy w jednym rogu pokoju umieścimy otwarty flakonik perfum, wkrótce zapach będzie można wyczuć w całym pomieszczeniu (patrz rys. powyżej). To oznacza, że cząsteczki perfum, które dzięki parowaniu wydostały się z naczynia, rozprzestrzeniają się w całym pokoju.

Dyfuzja zachodzi nawet w ciałach stałych, choć w tym przypadku przebiega bardzo powoli. Na przykład potrzeba kilku lat, aby część atomów złota przemieściła się do ołowiu i na odwrót (patrz zdjęcie obok).



▲ Dyfuzja w ciałach stałych

Wyjaśnienie zjawiska dyfuzji

Dlaczego zachodzi takie zjawisko? Jego wyjaśnienie zilustrujemy doświadczeniem modelowym, w którym cząsteczki wody (albo powietrza) zastąpimy białymi piłeczkami, a cząsteczki nadmanganianu potasu (albo perfum) – kolorowymi piłeczkami.

Doświadczenie 2.

Model zjawiska dyfuzji

1. Przygotuj miskę (najlepiej przezroczystą), kilkanaście białych i kilka kolorowych piłeczek tej samej wielkości.
2. Do miski włóż białe piłeczki, a następnie w jednym rogu umieść kolorowe piłeczki.
3. Potrząsaj miską w różnych kierunkach.
   Co obserwujesz? Jak zachowują się piłeczki?



Piłeczki poruszały się chaotycznie (losowo), dlatego kolorowe pomieszały się z białymi. W podobny sposób zachodzi zjawisko dyfuzji. Cząsteczki cieczy i gazów poruszają się chaotycznie, więc w jednym naczyniu cząsteczki różnych substancji stopniowo się mieszają.

> Dyfuzja jest skutkiem chaotycznego ruchu cząsteczek.

Warto jednak wiedzieć, że bardzo **rzadko** mamy do czynienia **wyłącznie** z dyfuzją. Na przykład na rozchodzenie się zapachu w pomieszczeniu ma jeszcze wpływ konwekcja (ruch powietrza wynikający z unoszenia się ciepłego powietrza), a także przeciąg, ruch powietrza wywołany poruszaniem się osób itd.
W jaki sposób zachodzi dyfuzja w ciałach stałych, skoro ich cząsteczki nie poruszają się chaotycznie? Okazuje się, że do jej zaistnienia wystarczą drgania sieci krystalicznej. Gdy zetkniemy dwa metale, czasami jeden z jonów na powierzchni styku przeskakuje pomiędzy jony drugiego metalu. Jest to dużo łatwiejsze, gdy kryształ nie jest idealny, ale występują w nim odstępstwa od regularnego porządku, np. przesunięcia jonów. Jednak nawet w takich warunkach dyfuzja w ciałach stałych zachodzi niepomównanie wolniej niż w innych stanach skupienia.

Temperatura

Cząsteczki stale się poruszają lub drgają, a zatem mają energię kinetyczną. Bardzo trudno byłoby bezpośrednio zmierzyć energię kinetyczną pojedynczej cząsteczki. Okazuje się jednak, że ma ona związek z wielkością fizyczną doskonale znaną nam z życia codziennego – temperaturą.

> Im szybciej poruszają się cząsteczki (im większa jest ich średnia energia kinetyczna), tym wyższa jest temperatura ciała.



▲ Do pomiaru temperatury wody można użyć termometru zaokiennego

Wynika stąd, że musi istnieć temperatura, w której cząsteczki w ogóle przestałyby się poruszać. Nazywamy ją **zerem bezwzględnym**. Wynosi ona –273,15°C.

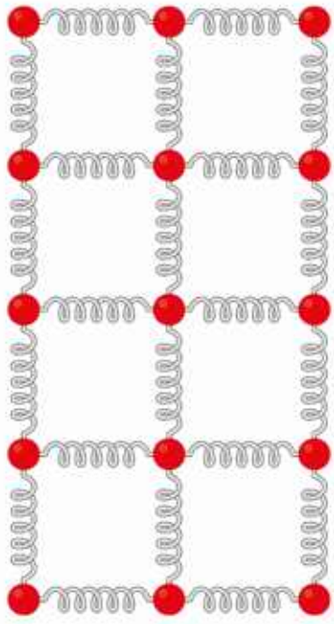
Hel wrze w temperaturze ok. –269°C, tylko o 4°C wyższej od zera bezwzględnego.

Energia wewnętrzna

Ważnym pojęciem w termodynamice jest energia wewnętrzna.

Energia wewnętrzna ciała to suma energii kinetycznej wszystkich cząsteczek ciała i energii potencjalnej związanej ze wzajemnym oddziaływaniem tych cząstek.

Jak rozumieć sformułowanie „energia potencjalna związana z oddziaływaniami"? Cząsteczki w zależności od wzajemnego położenia mogą się przyciągać lub odpychać. Na przykład, gdy staramy się bardzo mocno zbliżyć cząsteczki, zaczynają się one odpychać. Wówczas ich dalsze zbliżanie wymaga wykonania pracy, czyli dostarczenia energii. Gdy tak zbliżone cząsteczki się oddalą, mogą tę energię oddać.
W modelu, w którym oddziałujące na siebie cząsteczki zostały zastąpione przez kuleczki połączone sprężynkami (patrz rys. obok), energia oddziaływań to po prostu energia sprężystości wszystkich sprężynek.



▲ Kulki połączone sprężynkami – model oddziaływań cząsteczek w ciele stałym

Pierwsza zasada termodynamiki

Jak zmienić energię wewnętrzną ciała? Zgodnie z zasadą zachowania energii w tym celu trzeba albo do ciała dostarczyć energii, albo spowodować jej odpłynięcie z ciała. Sposobów dostarczania i odbierania energii jest bardzo wiele, ale można je podzielić na dwie główne kategorie: ciepło i pracę.

Ciepło to przepływ energii wynikający z różnicy temperatur.

Zauważ, że jeśli dwa ciała mają taką samą temperaturę, to przepływ ciepła nie zachodzi – mówimy w takiej sytuacji o **równowadze termodynamicznej**.
Drugi sposób przekazywania energii to **praca**. Może to być np. praca mechaniczna lub praca prądu elektrycznego.
Energia dostarczona do ciała zmienia się – zgodnie z zasadą zachowania energii – w jego energię wewnętrzną. Ten fakt można sformułować w następujący sposób:

Zmiana energii wewnętrznej ciała jest równa sumie energii dostarczonej przez wykonanie pracy nad ciałem i energii dostarczonej w postaci ciepła.

To prawo nazywa się **pierwszą zasadą termodynamiki.**

Energia wewnętrzna a temperatura

Pamiętaj, że energia wewnętrzna i temperatura to dwie różne wielkości. W diagramie poniżej zwracamy uwagę na różnice w ich definicjach i podajemy przykłady zjawisk, na które te różnice mają wpływ.

Temperatura a energia wewnętrzna

Temperatura	Energia wewnętrzna
Związana **tylko** z energią kinetyczną cząsteczek.	Związana z energią kinetyczną cząsteczek **oraz** z energią potencjalną ich wzajemnych oddziaływań.
Związana z energią **pojedynczej** cząsteczki.	Związana z energią **wszystkich** cząsteczek.

Gdy złączymy dwie kostki lodu o jednakowej temperaturze –10°C:

temperatura powstałego ciała będzie także równa –10°C.	energia wewnętrzna powstałego ciała będzie równa sumie energii obu kostek.

Gdy lód o temperaturze 0°C topnieje i zmienia się w wodę o temperaturze 0°C:

temperatura powstałej wody będzie taka sama jak temperatura lodu, czyli 0°C.	energia wewnętrzna powstałej wody będzie większa niż energia wewnętrzna lodu. Dlatego aby stopić lód, trzeba dostarczyć energii.

To najważniejsze

- Cząsteczki w ciele stałym drgają wokół położeń równowagi, natomiast w cieczy i w gazie – poruszają się po całej objętości naczynia.
- W ciele stałym i w cieczy odległości między cząsteczkami są niewielkie. W gazie odległości te są duże.
- Zjawisko **dyfuzji**, czyli samorzutnego mieszania się cząsteczek jednej substancji z cząsteczkami drugiej substancji, wynika z chaotycznego ruchu cząsteczek.
- Im szybszy jest ruch cząsteczek, tym wyższa **temperatura** ciała.
- **Energia wewnętrzna** ciała to suma energii kinetycznej jego cząsteczek i energii potencjalnej oddziaływań międzycząsteczkowych. Można ją zmienić albo poprzez dostarczenie lub odebranie ciepła, albo poprzez wykonanie pracy.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dobierz opis z ramki do każdej z podanych sytuacji. Jeden opis może pasować do wielu sytuacji.

A. Podczas hamowania rozgrzały się klocki hamulcowe w samochodzie.

B. Łyżka się rozgrzała, gdy została włożona do garnka z wrzątkiem.

C. Gdy mocno pocieramy ręce, czujemy ciepło.

D. W całym mieszkaniu czuć było zapach gotowanej zupy.

I. dyfuzja
II. zwiększenie energii wewnętrznej dzięki wykonaniu pracy
III. zwiększenie energii wewnętrznej dzięki przepływowi ciepła

2. Porównaj prędkości, z jakimi poruszają się cząsteczki opisanych ciał. Określ, czy prędkości te są sobie równe lub która z nich jest większa.

a) kostka lodu o temperaturze 0°C i szklanka wody o temperaturze 0°C

b) kostka lodu o temperaturze −20°C i kostka lodu o temperaturze −10°C

c) kostka lodu o temperaturze −10°C i kra lodowa o temperaturze −10°C

3. Do garnka z gorącą wodą wrzucono dwie jednakowe stalowe śruby o masie 200 g każda. W rezultacie z wody do śrub przepłynęła energia 1800 J, co spowodowało ich ogrzanie o 10°C.

a) O ile zwiększyła się energia jednej śruby?

b) O ile zwiększyła się temperatura jednej śruby?

4. Wejdź na stronę symulatora dyfuzji udostępnionego przez Uniwersytet Colorado: https://phet.colorado.edu/sims/html/diffusion/latest/diffusion_pl.html

Aby program zaczął działać, musisz ustalić liczbę cząsteczek, która początkowo wynosi 0 po każdej stronie naczynia. Następnie włącz stoper i otwórz przegrodę, którą nazwano tam „podział".

a) Po jakim czasie następuje całkowite wymieszanie cząsteczek? Zbadaj, jak ten czas zależy od temperatury oraz od masy cząsteczkowej.

b) Obserwuj, jak wyrównuje się temperatura, gdy początkowo ustawisz inne jej wartości po dwóch stronach przegrody.

Uwaga. Więcej symulacji zjawisk fizycznych znajdziesz na stronie: https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics/

Doświadczenie domowe

Szybkość topnienia lodu

1. Przygotuj dwa talerzyki, dwie kostki lodu, tkaninę.
2. Na dwóch talerzykach połóż dwie jednakowe kostki lodu. Jedną owiń kilkoma warstwami tkaniny, drugą pozostaw nieowiniętą.
3. Jak myślisz, która kostka będzie szybciej topniała? Zapisz swoje przypuszczenia.
4. Gdy stopnieje połowa nieowiniętej kostki, odwiń drugą kostkę i porównaj ich wielkości. Sprawdź, czy twoje przypuszczenia były słuszne.
5. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.





2. Rozszerzalność cieplna

Cele lekcji:

- Poznasz zjawisko rozszerzalności cieplnej.
- Nauczysz się demonstrować to zjawisko doświadczalnie.
- Dowiesz się, jakie znaczenie praktyczne ma rozszerzalność cieplna.

Rozszerzalność cieplna cieczy

W poprzedniej lekcji napisaliśmy, że trudno jest zmienić objętość ciała stałego lub cieczy przez sprężanie lub rozciąganie. Okazuje się jednak, że taką zmianę objętości można uzyskać w inny sposób: przez zmianę temperatury ciała. Na ogół ciała zwiększają swoją objętość podczas ogrzewania, dlatego mówimy o **rozszerzalności cieplnej** (albo **rozszerzalności temperaturowej**) ciał.

Wykonamy proste doświadczenie, które pozwoli nam sprawdzić, jak zmienia się objętość cieczy na skutek jej podgrzewania.



Doświadczenie 3.

Badanie rozszerzalności cieplnej cieczy

1. Przygotuj pustą szklaną butelkę, szklaną lub plastikową rurkę, plastelinę i miskę. Przydatny może być barwnik, np. atrament lub tusz.
2. Napełnij butelkę do pełna zimną wodą. Możesz zabarwić wodę kilkoma kroplami barwnika, aby jej poziom był lepiej widoczny.
3. Zanurz rurkę w wodzie mniej więcej do połowy wysokości i uszczelnij otwór butelki plasteliną.
4. Do miski nalej gorącej wody z kranu. Wstaw butelkę do miski i obserwuj zmianę poziomu wody w rurce. Co zauważasz?

Podczas podgrzewania wody w butelce poziom cieczy w rurce się podnosił. To oznacza, że objętość wody zwiększyła się na skutek podgrzania. Podobnie zachowują się inne ciecze.

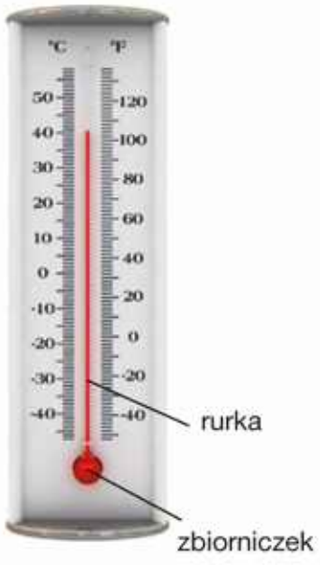
Na skutek wzrostu temperatury cieczy zwiększa się jej objętość. Gdy temperatura spada, objętość cieczy się zmniejsza. To zjawisko nazywamy **objętościową rozszerzalnością cieplną**.

Przyrost objętości jest różny w przypadku różnych cieczy. Gdy podgrzewamy wodę od 20°C do 25°C, jej objętość rośnie o ok. 0,1%. W tych samych warunkach przyrost objętości alkoholu etylowego jest 5 razy większy.

Uwaga. Woda w temperaturze poniżej 4°C zachowuje się nietypowo – zmniejsza swoją objętość podczas podgrzewania. Powiemy o tym więcej w lekcji 9.

Termometr cieczowy

Nasza butelka z rurką to model **termometru cieczowego**. Gdyby na rurce umieścić odpowiednią podziałkę, można by z niego odczytywać temperaturę.
Podobnie jak w naszym doświadczeniu, zbiorniczek w fabrycznym termometrze jest znacznie szerszy niż rurka. Dzięki temu nawet niewielka zmiana objętości cieczy w zbiorniczku (patrz zdjęcie obok) powoduje zauważalną zmianę jej poziomu w rurce.
Dawniej do budowy termometrów używano rtęci. Ponieważ jednak jest ona silną trucizną, została zastąpiona przez inne substancje.



▲ Termometr cieczowy

Rozszerzalność cieplna gazu

Czy także gaz zwiększa swoją objętość pod wpływem temperatury? Na tak sformułowane pytanie możemy odpowiedzieć, że gaz w ogóle nie ma określonej objętości – zawsze wypełnia całe naczynie, w którym się znajduje. Aby móc obserwować zmiany objętości gazu, musimy go zamknąć w naczyniu, w którym takie zmiany są możliwe. Na przykład, jeśli chcemy naprawić wgniecioną piłeczkę pingpongową, możemy ją wrzucić do gorącej wody (patrz zdjęcie na następnej stronie). Wówczas ciśnienie powietrza wewnątrz piłeczki wzrośnie. A ponieważ będzie ono dążyło do zrównania się z ciśnieniem powietrza na zewnątrz, objętość piłeczki zwiększy się do objętości wyjściowej, czyli powierzchnia wróci do kulistego kształtu.


▲ Ponieważ gaz w butli nie może się rozszerzać, podczas podgrzewania zwiększa się jego ciśnienie

A to ciekawe

Kadłub pasażerskiego samolotu ponaddźwiękowego Concorde rozgrzewał się na skutek oporu powietrza o prawie 200°C, a długość tego odrzutowca wzrastała o 25 cm. Dlatego kabina pasażerska, która oczywiście nie mogła zmieniać temperatury, poruszała się względem kadłuba na rolkach. Obecnie samoloty Concorde nie są już używane ze względu na ogromne zużycie paliwa.





▲ Rozszerzalność cieplna powietrza pozwala naprawić piłeczkę pingpongową

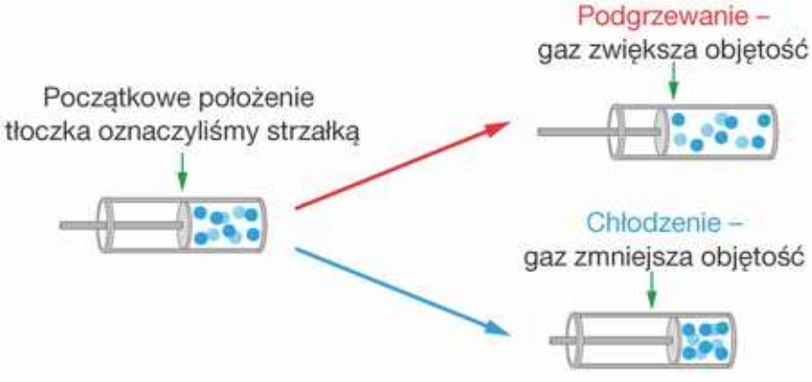
Objętościowa rozszerzalność cieplna gazu polega na zmianie jego objętości przy stałym ciśnieniu.

Skoro powietrze rozszerza się podczas ogrzewania, to jego gęstość się zmniejsza. Właśnie dlatego rozgrzane powietrze unosi się do góry. Na małą skalę obserwujemy to w mieszkaniach, zwłaszcza wysokich – pod sufitem jest cieplej niż przy podłodze.

Rozszerzalność cieplna gazu

Aby obserwować, jak wraz ze zmianą temperatury zmienia się objętość gazu, możemy zamknąć go w cylindrze z ruchomym tłokiem, który porusza się bez tarcia. Wówczas tłok zawsze ustawia się tak, aby ciśnienie wewnątrz naczynia wyrównało się z ciśnieniem atmosferycznym.

- Gdy gaz zostaje podgrzany, jego ciśnienie rośnie, więc zwiększa on swoją objętość – tłok odsuwa się aż do wyrównania ciśnienia.
- Podobnie podczas chłodzenia: ciśnienie maleje, zmniejsza się objętość gazu, więc tłok przysuwa się tak, aby wyrównać różnicę ciśnień (patrz rys.).



W wielkiej skali unoszenie się ciepłego powietrza decyduje o zjawiskach w atmosferze Ziemi. Na miejsce ciepłego powietrza, które uleciało w górę, napływają masy powietrza z sąsiednich obszarów. W ten sposób powstaje wiatr.
Rozszerzalność cieplną powietrza będziemy badać w doświadczeniu domowym na s. 18.

Rozszerzalność cieplna ciał stałych

Ciała stałe także rozszerzają się pod wpływem wzrostu temperatury. Chociaż ten efekt jest niewielki, to jednak możemy go zaobserwować w doświadczeniu.

Doświadczenie obowiązkowe

Badanie rozszerzalności cieplnej ciała stałego

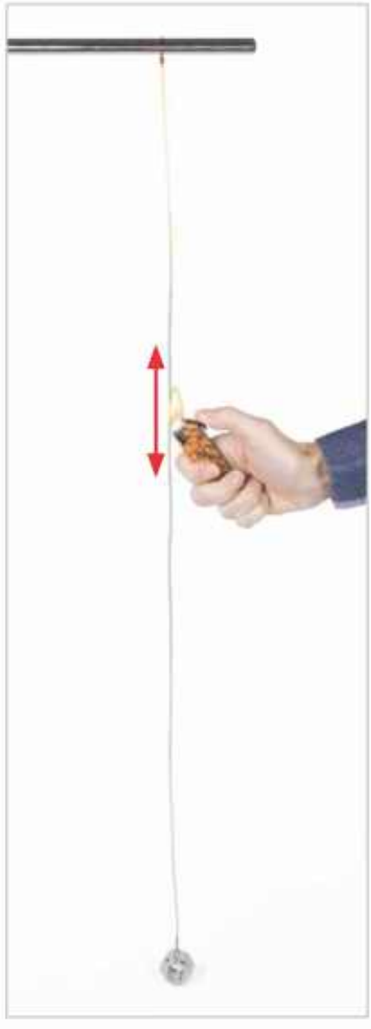
1. Przygotuj przewód miedziany o długości ok. 2 m (najlepiej bez izolacji, ewentualnie emaliowany), ciężką stalową nakrętkę oraz zapalniczkę.

Uwaga. W pobliżu układu doświadczalnego nie mogą znajdować się żadne palne przedmioty.

2. Jeden koniec przewodu przywiąż do statywu umieszczonego na dużej wysokości lub np. do żyrandola.
3. Do drugiego końca przewodu przywiąż ciężką stalową nakrętkę. Nakrętka powinna znajdować się ok. 1 mm nad podłogą. Jeśli znajduje się wyżej albo jeśli podłoga jest nierówna, możesz podłożyć książki, a na nich gładką deskę do krojenia.
4. Porusz lekko nakrętkę, aby zaczęła się kołysać.
5. Ostrożnie podgrzewaj przewód płomieniem zapalniczki. Przesuwaj zapalniczkę wzdłuż przewodu, ponieważ długotrwałe podgrzewanie go w jednym miejscu może doprowadzić do jego stopienia i przerwania.

Uwaga. Jeśli przewód jest emaliowany, emalia się zapali. Nie jest to gwałtowny płomień, ale należy zachować ostrożność.

6. Po chwili nakrętka zacznie trzeć o podłoże i przestanie się kołysać. To znak, że długość przewodu się zwiększyła.
7. Obserwuj następnie, co będzie się działo po zakończeniu podgrzewania przewodu.



Jak widzisz, przewód wydłuża się po ogrzaniu, a po ochłodzeniu wraca do pierwotnej długości. Zmiana jest niewielka, jednak ma ona znaczenie praktyczne. Na przykład podczas budowy linii kolejowej trzeba pozostawiać przerwy między szynami. Mimo takiego postępowania zdarzało się podczas szczególnie dużych upałów, że szyny rozszerzały się ponad przewidziany rozmiar i ulegały wygięciu (patrz zdjęcie na s. 13).
Również jezdnie mostów dzieli się na krótsze odcinki, które mogą się względem siebie poruszać, jeśli na skutek zmian temperatury zmieni się ich długość (patrz infografika na sąsiedniej stronie).



▲ Druciki w opiekaczu do grzanek wyraźnie zwiększają swoją długość podczas ogrzewania

Znaczenie rozszerzalności cieplnej ciał stałych

Ciała stałe zmieniają swoje wymiary pod wpływem temperatury. To zjawisko wpływa na nasze codzienne życie. Na przykład przy budowie mostów oraz kładzeniu szyn należy stosować odpowiednie rozwiązania techniczne.

Szczeliny dylatacyjne w jezdni

Jezdnia mostu jest podzielona na odcinki, pomiędzy którymi znajdują się przerwy, tzw. szczeliny dylatacyjne, pozwalające na zmianę długości mostu.



Złącze dylatacyjne w szynie

Podczas upałów szyny się wydłużają, a podczas mrozów – skracają, co może powodować ich wyginanie lub pękanie. Dawniej stosowano tzw. przerwy dylatacyjne, które powodowały charakterystyczny stukot kół pociągu. Obecnie stosuje się inne rozwiązania, np. złącza dylatacyjne.



Przerwa dylatacyjna



Złącze dylatacyjne

Ruchome przęsło

Przynajmniej jeden koniec ruchomego elementu mostu – przęsła – jest oparty na łożyskach, aby konstrukcja mogła zmieniać swoją długość w zależności od temperatury.



Przyrost długości ciał stałych pod wpływem temperatury jest różny w przypadku różnych substancji.
Pręt stalowy o długości 1 m po podgrzaniu o 10°C wydłuży się o 0,12 mm, a płyta z pleksi zwiększy swój rozmiar aż o 0,8 mm.

To najważniejsze

- Ciała **rozszerzają się** na skutek wzrostu temperatury.
- **Rozszerzalność cieplną cieczy** wykorzystujemy w termometrach cieczowych.
- **Rozszerzalność ciał stałych** jest niewielka, ale trzeba ją brać pod uwagę w projektach inżynieryjnych, np. podczas konstruowania i budowy mostów.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Czy minimalna wysokość h przewodu linii energetycznej nad ziemią (patrz zdjęcie) jest większa w lecie, czy w zimie? Dlaczego?



2. Producenci samochodów zalecają, aby ciśnienie powietrza w oponach mierzyć po kilkugodzinnej przerwie w jeździe. Dlaczego w czasie jazdy to ciśnienie może się zmienić? Jak się zmienia: rośnie czy maleje?

3. Dlaczego ogrzana szklanka pęka, gdy wlewamy do niej zimną wodę?

4. Znajdź informacje o tym, jak działa bimetal i do czego się go stosuje. Zapisz w kilku zdaniach i przedstaw na ilustracji, czego się dowiedziałeś. Podaj, z jakich źródeł korzystałeś.

5. Stalowy pręt o długości 1 m wyniesiono z ciepłego pokoju na mróz. Długość pręta zmniejszyła się o 0,4 mm. O ile zmniejszyłaby się w tych samych warunkach długość pręta dwumetrowego?

Doświadczenie domowe

Rozszerzalność cieplna powietrza

1. Przygotuj pustą plastikową butelkę, np. po wodzie mineralnej, dokładnie ją wysusz, a następnie zakręć.
2. Włóż butelkę na pół godziny do zamrażalnika. Co możesz zaobserwować?
3. Ogrzej butelkę pod strumieniem ciepłej wody z kranu. Jak teraz zmienia się objętość powietrza w butelce? Co możesz powiedzieć o tym zjawisku?





3. Ciepło właściwe

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie, co to jest ciepło właściwe i od czego zależy.
- Nauczysz się obliczać energię potrzebną do ogrzewania ciał.
- Poznasz praktyczne wykorzystanie ciepła właściwego substancji.

Co to jest ciepło właściwe

Z życia codziennego wiemy, że aby zwiększyć temperaturę ciała, trzeba mu dostarczyć energii. Teraz możemy wyjaśnić ten fakt. Wyższa temperatura oznacza, że cząsteczki poruszają się szybciej, a więc większa jest ich energia kinetyczna, która stanowi część energii wewnętrznej ciała. Jednak do wywołania takiego samego przyrostu temperatury może być potrzebna większa lub mniejsza ilość energii.

Jak jednak obliczyć, ile konkretnie energii potrzeba do podgrzania np. szklanki wody o 10°C?

Do takich obliczeń wykorzystujemy ciepło właściwe.

Ciepło właściwe to wielkość określająca energię potrzebną do ogrzania 1 kg substancji o 1°C.



▲ Aby podgrzać 1 kg wody o 1°C, potrzeba 4200 J energii

Na przykład ciepło właściwe wody wynosi 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$. To znaczy, że do ogrzania 1 kg wody o 1°C potrzeba 4200 J energii. Okazuje się, że w bardzo dobrym przybliżeniu nie ma przy tym znaczenia, czy ogrzewamy wodę od 1°C do 2°C, czy od 34°C do 35°C – ważny jest sam przyrost temperatury. Tak więc ciepło właściwe nie zależy od temperatury. Jeśli chcemy podgrzać kilogram wody o 3°C, to najpierw podgrzewamy ją o 1°C, potem znowu o 1°C i jeszcze raz

Ilość potrzebnej energii do zwiększenia temperatury ciała zależy od:

- zmiany temperatury ΔT,
- masy m ciała,
- rodzaju substancji, z jakiej jest wykonane ciało.

o 1°C. Musimy więc dostarczyć energii 3 · 4200 J. Mówiąc ogólnie, gdy chcemy podgrzać kilogram substancji o więcej lub mniej niż 1°C, to potrzebna ilość energii zmienia się proporcjonalnie. Można także zauważyć, że ilość energii potrzebnej do podgrzania ciała jest proporcjonalna również do jego masy.
Z tych zależności skorzystamy w przykładzie.

Przykład 1

Obliczanie energii potrzebnej do ogrzania ciała

Ile energii potrzeba, aby ogrzać 5 kg wody o 15°C?

Rozwiązanie:

Aby ogrzać 1 kg wody o 1°C, potrzeba 4200 J energii.

Aby ogrzać 5 kg wody o 1°C, potrzeba $5 \cdot 4200\ \text{J} = 21\,000\ \text{J}$ energii.

Aby ogrzać 5 kg wody o 15°C, potrzeba $15 \cdot 5 \cdot 4200\ \text{J} = 15 \cdot 21\,000\ \text{J} = 315\,000\ \text{J} = 315\ \text{kJ}$ energii.

Odpowiedź: Aby ogrzać 5 kg wody o 15°C, potrzeba 315 kJ energii.

Jak obliczyć energię potrzebną do zmiany temperatury substancji

Zauważ, że mnożyliśmy ciepło właściwe przez masę (5 kg) i przez przyrost temperatury (15°C). Taki sposób obliczania można więc ogólnie zapisać za pomocą wzoru:

$$E = mc\Delta T = mc\,(T_2 - T_1)$$

gdzie: E – energia, m – masa, c – ciepło właściwe, ΔT – zmiana temperatury, T_1 – temperatura niższa, T_2 – temperatura wyższa.

Tabela. Ciepło właściwe wybranych substancji

Substancja	c $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{°C}}\right]$
Gazy*	
Azot	1040
Powietrze	1000
Tlen	920
Wodór	14 000
Ciecze	
Benzyna	2100
Etanol	2400
Olej lniany	1800
Woda	4200

Substancja	c $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{°C}}\right]$
Ciała stałe	
Aluminium	900
Asfalt	1700
Bazalt	900
Ciało człowieka	3500
Diament	510
Lód	2100
Miedź	390
Miedzionikiel MN25	380
Mosiądz	380

Substancja	c $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{°C}}\right]$
Ołów	130
Sól kamienna	860
Srebro	240
Stal	460
Styropian	1200
Szkło termometryczne	840
Wolfram	130
Złoto	130
Żelazo	450

* ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu

Chłodzenie ciał

Gdy ciało ogrzewamy, dostarczamy mu energii, natomiast gdy ciało stygnie – oddaje **tyle samo** energii. Dlaczego tyle samo? Wynika to z zasady zachowania energii.

Przykład 2

Obliczanie energii oddawanej przez stygnące ciało

Oblicz, ile ciepła odda stalowy garnek o masie 500 g stygnący od 100°C do 20°C, a ile aluminiowy garnek o tej samej masie stygnący w takim samym przedziale temperatur.

Dane:

$m = 500\ \text{g} = 0{,}5\ \text{kg}$ – masa garnka

$T_1 = 20°\text{C}$ – temperatura niższa

$T_2 = 100°\text{C}$ – temperatura wyższa

Szukane:

$E = ?$ – energia oddana w postaci ciepła

Rozwiązanie: Korzystamy ze znanego nam już wzoru na energię potrzebną do zmiany temperatury o ΔT:

$$E = mc\Delta T = mc(T_2 - T_1)$$

Ciepło właściwe stali i aluminium odczytujemy z tablic lub tabeli na poprzedniej stronie:

$$c_s = 460\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot°\text{C}} \qquad c_a = 900\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot°\text{C}}$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$E_s = 0{,}5\ \text{kg} \cdot 460\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot°\text{C}} \cdot (100°\text{C} - 20°\text{C}) = 18\,400\ \text{J}$$

$$E_a = 0{,}5\ \text{kg} \cdot 900\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot°\text{C}} \cdot (100°\text{C} - 20°\text{C}) = 36\,000\ \text{J}$$

Odpowiedź: Stalowy garnek podczas stygnięcia odda 18 400 J energii, a aluminiowy 36 000 J.

Zauważ, że ciepło oddane przez aluminium jest mniej więcej dwa razy większe niż oddane przez stal. To nic dziwnego – aluminium ma prawie dwukrotnie większe ciepło właściwe niż stal.

Ciepło właściwe i moc urządzeń elektrycznych

Gdy wykonujemy obliczenia związane z podgrzewaniem substancji za pomocą urządzeń elektrycznych, również korzystamy z ciepła właściwego.

Na przykład, jeśli moc czajnika elektrycznego wynosi 2000 W, to znaczy, że dostarcza on wodzie nalanej do środka energii 2000 J w ciągu 1 s. W takim razie litr wody ogrzejemy w nim o niecałe pół stopnia w ciągu sekundy:

$$\Delta T = \frac{E}{mc} = \frac{2000\ \text{J}}{1\ \text{kg} \cdot 4200\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot°\text{C}}} = 0{,}48°\text{C}$$

Spór o naturę ciepła

Już w starożytności zastanawiano się nad istotą zjawisk cieplnych. Demokryt – twórca pojęcia atomu – przypuszczał, że zjawiska cieplne związane są z ruchem atomów „zwykłej" materii, czyli tej, z której zbudowane są ciała. Inaczej sądził Platon – według niego istniała osobna materia ognia, a jej atomy mogły mieszać się z atomami innych substancji.
Przez ponad 2000 lat wiedza fizyczna nie pozwalała na rozstrzygnięcie, która z koncepcji jest słuszna. Dopiero na przełomie XVIII i XIX w. spór pozornie rozstrzygnięto na korzyść... istnienia materii ciepła zwanej cieplikiem.



Uważano, że cieplik nie może powstawać ani znikać, może jednak przepływać między ciałami, powodując zmianę temperatury albo stanu skupienia. Matematyczna teoria cieplika pozwalała na wykonanie obliczeń, których wyniki z powodzeniem sprawdzano potem w doświadczeniach. Sadi Carnot (czyt. sad**i** karn**o**) wykorzystał ją do stworzenia teorii silników cieplnych, która – rozwinięta później przez innych uczonych – pozwoliła udoskonalić maszyny parowe.

Zjawiska rozgrzewania się ciał na skutek wykonania pracy tłumaczono wyciskaniem cieplika z ciał, a nie zamianą pracy na ciepło. Przecież podobnie, wykonując pracę, możemy wyciskać wodę z gąbki, a nie oznacza to, że praca zmienia się w wodę. Dopiero odkrycie zjawisk, w których w dostatecznie długim czasie można było otrzymać dowolnie dużo ciepła kosztem wykonanej pracy, pozwoliły obalić teorię cieplika.

◂ Już w 1798 r. hrabia Rumford na podstawie obserwacji ciepła wydzielanego przy wierceniu luf dział stwierdził, że ciepło powstaje na skutek wykonanej pracy. Jego obserwacje nie przekonały jednak fizyków i jeszcze przez kilkadziesiąt lat uznawano teorię cieplika

Sadi Carnot



Sadi Carnot (1796–1832), syn ministra wojny, był zawodowym oficerem. Po zakończeniu służby rozpoczął prace nad zwiększeniem sprawności „maszyn ogniowych". Ten cel chciał zrealizować przez stworzenie teorii wszystkich możliwych silników wytwarzających pracę kosztem ciepła. Choć opierał się na koncepcji cieplika, odkrył wiele zależności, które zachowały swoją moc także wtedy, gdy odkryto, że zjawiska cieplne polegają na ruchu cząsteczek. Zgodnie ze swoimi zamiarami przysłużył się budowie wielokrotnie wydajniejszych silników.

To najważniejsze

- **Ciepło właściwe** danej substancji to wielkość określająca energię potrzebną do ogrzania 1 kg tej substancji o 1°C. Na przykład ciepło właściwe żelaza 450 $\frac{J}{kg \cdot °C}$ oznacza, że do podgrzania 1 kg żelaza o 1°C potrzeba 450 J energii.
- **Energię potrzebną do ogrzewania ciała** albo **wydzielającą się przy jego stygnięciu** obliczamy ze wzoru $E = mc\Delta T$, gdzie m – masa ciała, c – ciepło właściwe substancji, z której zostało ono wykonane, ΔT – zmiana temperatury.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. We wszystkich zadaniach pomiń straty ciepła. Skorzystaj z tabeli na s. 20 lub tablic fizycznych.

1. Chcemy ogrzać cztery próbki substancji, którymi są odpowiednio: 100 g wody, 100 g miedzi, 100 g złota i 100 g żelaza. W każdym przypadku przyrost temperatury ma wynosić 10°C. Najwięcej energii potrzebujemy, aby ogrzać:
   A. wodę.
   B. miedź.
   C. złoto.
   D. żelazo.
2. Do każdej z próbek wody, miedzi, złota i żelaza o takich samych masach dostarczyliśmy 1000 J energii. Najbardziej ogrzała się próbka:
   A. wody. **C.** złota.
   B. miedzi. **D.** żelaza.
3. Oblicz, ile energii potrzeba, aby ogrzać 2 litry wody od 20°C do 30°C.
4. Czy więcej energii potrzeba, aby ogrzać 2 kg wody o 10°C, czy 4 kg żelaza o 30°C?
5. O ile stopni podgrzejemy 2 litry wody w czajniku elektrycznym o mocy 1200 W, jeśli włączymy go na minutę?

Doświadczenie domowe

Wyznaczanie sprawności czajnika elektrycznego

1. Przygotuj czajnik elektryczny, stoper, termometr.
2. Do czajnika elektrycznego wlej 1 litr wody. Zmierz jej temperaturę początkową.
3. Włącz czajnik i zmierz czas potrzebny do zagotowania wody.
4. Oblicz, ile energii potrzeba do podgrzania wody i ile energii zużył czajnik.
5. Oblicz, jaki procent energii zużytej przez czajnik zamienił się w energię potrzebną do podgrzania wody. Ten procent to **sprawność** czajnika.

Uwaga. Energię zużytą przez czajnik obliczysz na podstawie informacji o jego mocy. Jeśli jednak masz watomierz – przyrząd przedstawiony na zdjęciu – możesz tę energię zmierzyć bezpośrednio.





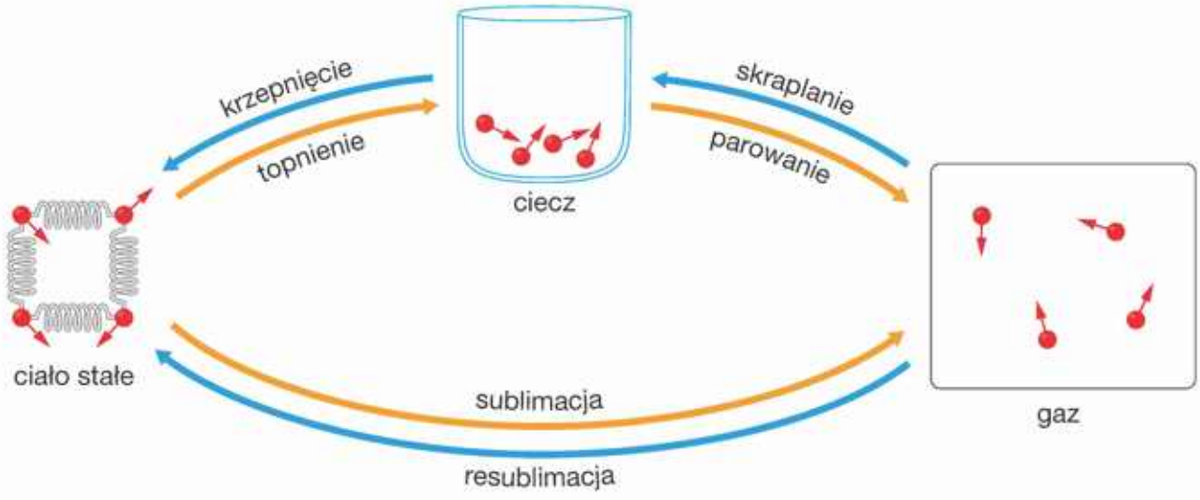
4. Przemiany fazowe

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie podstawowe wiadomości o zmianach stanu skupienia ciał.
- Zbadasz, jak zachowuje się temperatura lodu podczas topnienia.
- Dowiesz się więcej o przepływie energii podczas zmian stanu skupienia.
- Dowiesz się, dlaczego samoloty zostawiają smugi na niebie.

Nazwy przemian fazowych

Jak wiesz z życia codziennego i ze szkoły podstawowej, substancje występujące w przyrodzie mogą istnieć w trzech podstawowych stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym. Zmiany stanów skupienia mają swoje nazwy, które przypominamy na rysunku poniżej.

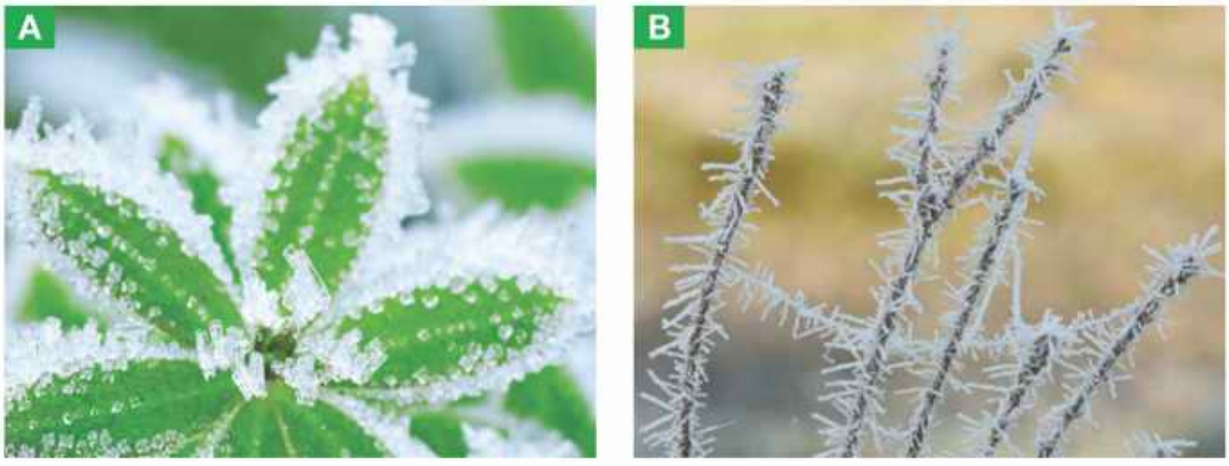


▲ Zmiany stanów skupienia (przemiany fazowe)

Ponieważ stan skupienia nazywamy także **fazą**, opisane na diagramie przemiany noszą nazwę **przemian fazowych**.

Krzepnięcie i **topnienie** oraz **skraplanie** i **parowanie** są ci na pewno dobrze znane. Zwróćmy więc uwagę na dwie pozostałe przemiany: **sublimację** i **resublimację**. Oto przykłady tych zjawisk:

- Suchy lód, czyli dwutlenek węgla w stanie stałym, nie topnieje, ale bezpośrednio zmienia się w gaz – zachodzi sublimacja.
- Szron powstaje, gdy zawarta w powietrzu para wodna resublimuje, czyli zmienia się bezpośrednio w lód (patrz zdjęcie B).



▲ Zarówno szadź (A), jak i szron (B) to osady lodu. Jednak szadź powstaje przez krzepnięcie kropelek wody, a szron przez resublimację pary wodnej

Temperatura topnienia i krzepnięcia

Zbadajmy teraz doświadczalnie proces topnienia lodu.

Doświadczenie 4.

Pomiar temperatury podczas topnienia lodu

1. Przygotuj kostki lodu (20 sztuk), woreczek foliowy, tłuczek do mięsa, deskę do krojenia, kubek i termometr.

Uwaga. Jeśli nie masz termometru laboratoryjnego, możesz użyć termometru do pomiaru temperatury powietrza za oknem, musisz tylko ostrożnie wyjąć go z obudowy, aby zbiorniczek z cieczą znajdował się na wierzchu (patrz zdjęcie A).

2. Włóż kostki lodu do woreczka i rozbijaj je tłuczkiem na desce, aż lód stanie się miękką masą.
3. Wrzuć potłuczony lód do kubka i nalej trochę wody. Wymieszaj. Zanurz termometr i obserwuj jego wskazania aż do całkowitego stopienia się lodu.





Jak widzimy w doświadczeniu, mieszanina wody i lodu ma przez cały czas topnienia lodu temperaturę 0°C. Taką temperaturę mają zarówno woda, jak i lód.

W temperaturze 0°C woda może istnieć zarówno w postaci cieczy, jak i ciała stałego (lodu).

Jeśli lód o temperaturze 0°C odizolujemy od otoczenia, nie będzie topnieć. Aby ta przemiana zachodziła, musimy mu **dostarczać energii**. Jednak nawet podczas dostarczania energii temperatura mieszaniny się nie zmienia – cała energia jest zużywana na zmianę stanu skupienia. Dopiero gdy cały lód stopnieje, dalsze dostarczanie energii powoduje zwiększanie się temperatury powstałej wody.
Podobnie woda w temperaturze 0°C pozostaje cieczą, dopóki jest odizolowana od otoczenia. Aby zakrzepła (zamarzła), musimy umieścić ją w otoczeniu chłodniejszym od 0°C. Wówczas energia zacznie **odpływać** z wody do otoczenia i rozpocznie się krzepnięcie. Podczas krzepnięcia temperatura zarówno wody, jak i lodu wynosi 0°C. Dopiero gdy cała woda zakrzepnie, powstały lód będzie mógł się ochładzać do temperatury poniżej zera. Gdybyśmy doświadczenie 4. wykonywali na dworze w mroźny dzień, moglibyśmy zaobserwować, że woda stopniowo zamarza, ale aż do całkowitego zakrzepnięcia jej temperatura wynosi 0°C.

> Temperaturę 0°C można nazwać zarówno **temperaturą topnienia** lodu, jak i **temperaturą krzepnięcia** wody.

To, która przemiana zajdzie w danym przypadku, zależy od kierunku przepływu energii.

Temperatura wody i lodu a temperatura otoczenia

Czy zatem często powtarzane stwierdzenie, że „lód topnieje, gdy temperatura jest dodatnia", można uznać za fałszywe? Nie tyle fałszywe, ile niedokładne.
Jeśli powiemy: „lód topnieje, gdy temperatura **otoczenia** jest przez dłuższy czas dodatnia", stanie się ono prawdziwe. Przy dodatniej temperaturze powietrza lód najpierw ogrzewa się do 0°C, a następnie topnieje, gdyż z cieplejszego powietrza stale dopływa do niego energia. Jednak podczas topnienia temperatura **lodu** jest równa 0°C.
Topnienie lodu wymaga sporo energii, dlatego może trwać bardzo długo. Wiosną w górach, przy dodatnich temperaturach powietrza, śnieg utrzymuje się przez wiele dni.
Podobnie zdanie: „woda zamarza, gdy temperatura jest ujemna", wymaga uściślenia. Dokładniej należałoby powiedzieć, że „woda zamarza, gdy temperatura **otoczenia** jest przez dłuższy czas ujemna".

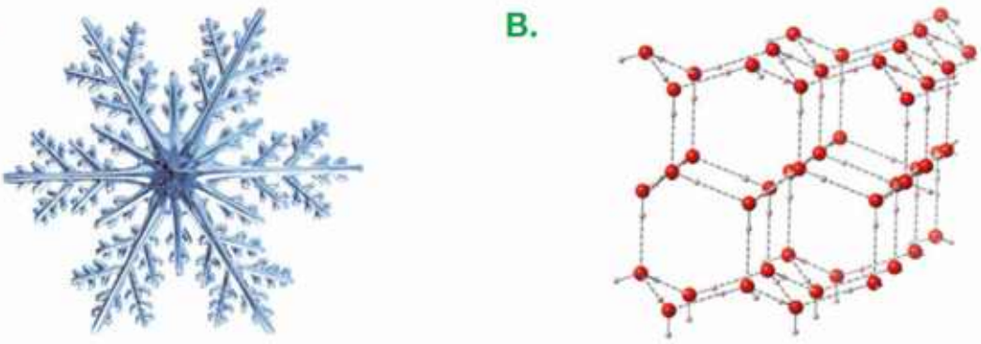


▲ W wiosenny dzień temperatura powietrza jest dodatnia, ale temperatura topniejącego śniegu ciągle wynosi 0°C

Lód a inne ciała stałe

Lód jest ciałem o **budowie krystalicznej.** Oznacza to, że atomy wodoru i tlenu są w nim rozmieszczone w sposób uporządkowany. W ich układzie krystalicznym można dostrzec sześciokąty foremne (patrz rys. B na s. 27). Właśnie z tego faktu wynika widoczny gołym okiem kształt płatków śniegu.

A. B.

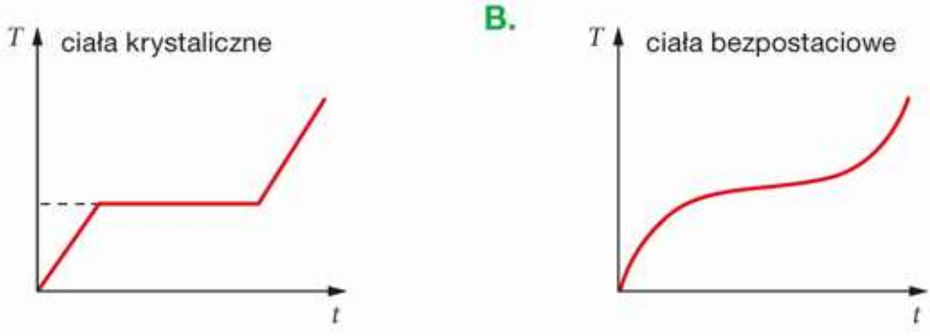


▲ Kształt płatka śniegu (A) wynika z układu atomów tlenu (czerwone) i wodoru (szare) w krysztale lodu (B)

Znaczna część ciał stałych, z którymi mamy do czynienia, w tym metale oraz minerały, ma strukturę krystaliczną. Topnieją one tak jak lód – **w określonej temperaturze** (rys. A poniżej). Oczywiście w przypadku różnych substancji ta temperatura jest różna. Dla rtęci wynosi zaledwie –39°C, dlatego w temperaturze pokojowej ten metal jest cieczą. Z kolei żelazo topnieje w temperaturze 1538°C. Temperaturę topnienia różnych substancji podajemy w tabeli na s. 33.

Są jednak także ciała stałe, w których cząsteczki lub atomy nie wykazują uporządkowania. Należy do nich szkło i stearyna. Mówimy o nich, że są to ciała bezpostaciowe. Takie ciała stopniowo miękną przy podgrzewaniu i nie mają ściśle określonej temperatury topnienia (patrz rys. B poniżej).

A. B.



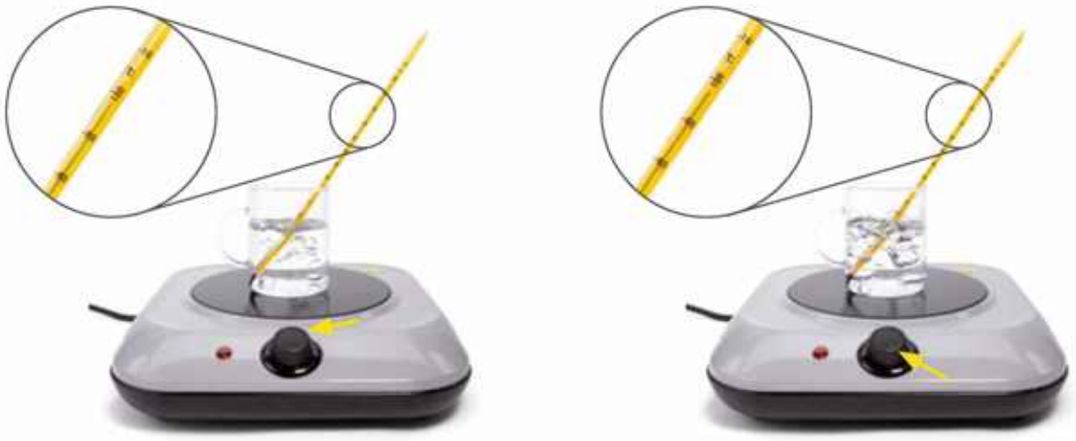
▲ Wykresy zmian temperatury w czasie podgrzewania dla ciał: A. krystalicznych, B. bezpostaciowych

Parowanie i wrzenie

Nawet w chłodny dzień woda paruje: wysychają kałuże, schnie rozwieszone pranie. Woda paruje **w każdej temperaturze**, jednak paruje **tylko na powierzchni**. Dlatego ta sama ilość wody znacznie szybciej wyparuje, rozlana na talerzu, niż nalana do szklanki. **Im wyższa temperatura**, tym szybsze parowanie wody. W końcu, w określonej temperaturze (przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym jest to 100°C) woda zaczyna parować nie tylko na powierzchni, lecz także w całej objętości. Para powstająca z dala od powierzchni naczynia zbiera się w pęcherzyki, które unoszą się ku górze.

Wrzenie to parowanie cieczy w całej jej objętości.

W czasie wrzenia cała dostarczana energia jest zużywana na zmianę stanu skupienia. Temperatura podczas wrzenia nie rośnie, podobnie jak podczas topnienia lodu.



▲ W obu naczyniach temperatura wody jest taka sama, różna jest tylko szybkość parowania, ponieważ dostarczamy inną ilość ciepła

Ten fakt ma praktyczne znaczenie dla każdego, kto gotuje potrawy na kuchence gazowej. Jeśli mocniej odkręcimy gaz, nie spowoduje to zwiększenia temperatury wrzącej wody, a jedynie szybszą zamianę wody w parę. Również włożony do wody makaron czy inne potrawy nie ugotują się szybciej – zmarnujemy tylko gaz i zaryzykujemy przypalenie.
W przypadku różnych cieczy wrzenie przebiega podobnie, choć temperatura wrzenia może być różna.

Każda ciecz ma ściśle określoną, stałą **temperaturę wrzenia**.

Temperatura wrzenia **zależy od ciśnienia atmosferycznego** (patrz doświadczenie domowe s. 30), a nie zależy od szybkości dostarczania energii. Temperaturę wrzenia różnych substancji znajdziesz w tabeli na s. 33.

Wydzielanie się gazu z wody gazowanej

Wykonamy teraz doświadczenie, w którym co prawda nie będziemy badać przemian fazowych, ale nasze obserwacje pozwolą wyjaśnić niektóre zjawiska dotyczące także takich przemian.

Doświadczenie 5.

Szybkość wydzielania gazu

1. Przygotuj dużą miskę lub wannę, butelkę wody gazowanej, drobny proszek (np. sól lub cukier).
2. W misce lub w wannie ustaw otwartą butelkę wody gazowanej.
3. Wrzuć do niej garść drobnego proszku. Co obserwujesz?



Dlaczego cały dwutlenek węgla zawarty w wodzie gazowanej nie ulatnia się od razu po otwarciu butelki? Otóż pęcherzyk gazu tworzy się zawsze **na czymś**, np. na nierówności butelki, a nawet na niejednorodności gęstości wody. Jeśli takich miejsc jest mało, to tworzy się mało pęcherzyków i gaz wydziela się powoli. Gdy jednak dostarczamy dużo drobnych ziarenek, tworzymy miejsca, w których gaz łatwo tworzy pęcherzyki.

Podobnie się dzieje, kiedy wrzucimy do napoju gazowanego ciało porowate, np. pastylkę mentosa.

Gdzie zaczyna się przemiana

Okazuje się, że bardzo podobnie dzieje się w przypadku przemian fazowych, np. parowania. Czystą wodę w gładkim garnku można podgrzać nawet o kilkadziesiąt stopni powyżej temperatury wrzenia. Mówimy wówczas, że woda jest **przegrzana**. Przegrzana woda nie różni się wyglądem od zwykłej ciepłej wody. Wystarczy jednak trochę pyłków, aby zapoczątkować wrzenie, które zachodzi wówczas bardzo gwałtownie. Może to być niebezpieczne, **nie próbuj więc wykonywać w domu doświadczeń z przegrzaną wodą**.

Analogiczna sytuacja ma miejsce w przypadku skraplania. Przypomnijmy sobie najpierw, że pary wodnej nie widać – jest przezroczysta. Obłok widoczny na zdjęciu powyżej to mgła, czyli drobne kropelki ciekłej wody. Podobnie jest z chmurami, które są widoczne tylko dzięki zawartym w nich kropelkom wody i kryształkom lodu.

Również smuga kondensacyjna za przelatującym samolotem (patrz zdjęcie obok) składa się z kropel wody i kryształków lodu. Od zwykłej chmury różni się jedynie kształtem i pochodzeniem. Smuga powstaje, gdy przelatujący samolot pozostawia za sobą spaliny. Chociaż zawierają one parę wodną, to większa część smugi powstaje z pary naturalnie występującej w atmosferze. Na wysokości przelotowej samolotów jest jej zbyt mało, aby zaczęła się samorzutnie skraplać, jednak zanieczyszczenia zawarte w spalinach oraz pyły, które już wcześniej znajdowały się w atmosferze, przyspieszają ten proces.



▲ Para wodna (w obszarze wskazanym strzałką) jest niewidoczna. Obłoczek, zwany potocznie parą, to mgła, czyli drobne kropelki ciekłej wody



▲ Smugi kondensacyjne za samolotami składają się z drobnych kropelek wody, podobnie jak naturalnie powstające chmury

To najważniejsze

- Zarówno **topnienie** lodu, jak i **krzepnięcie** wody zachodzą w temperaturze 0°C. Różni je natomiast kierunek przepływu energii. Topnienie wymaga dostarczania energii, a krzepnięcie – jej odbierania.
- Chłodna woda także **paruje**, ale tylko na powierzchni. W temperaturze 100°C (przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym) woda **wrze**, czyli paruje w całej objętości.
- **Temperatura wrzenia** jest różna w przypadku różnych cieczy i zależy od ciśnienia powietrza otaczającego ciecz.
- Wrzenie i skraplanie, podobnie jak ulatnianie się gazu z napojów, odbywa się szybciej, gdy może zostać zapoczątkowane na wielu drobnych zanieczyszczeniach albo niejednorodnościach.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Przepisz tekst do zeszytu. Wpisz zamiast zakreślonych miejsc określenia „większa niż", „mniejsza niż" lub „równa".

> W mroźny dzień, gdy temperatura powietrza wynosiła –20°C, wystawiliśmy przed dom miskę wody. Po pewnym czasie w wodzie zaczął się pojawiać lód. W tej sytuacji temperatura wody była ⁄⁄ 0°C. Temperatura powstałego lodu była ⁄⁄ 0°C.

2. Jednemu z autorów tego podręcznika zdarzyła się niebezpieczna sytuacja. Wlał on do garnka wodę i ogrzał ją na kuchence. Ciecz nie wrzała. Gdy jednak wsypał do niej kisiel w proszku, zaczęła wrzeć tak gwałtownie, że słup wody, pary wodnej i kisielu sięgnął sufitu. Wyjaśnij to zjawisko. **Nie próbuj samodzielnie wykonywać takiego doświadczenia.**

3. Obejrzyj film *Co to jest mgła* na kanale „Nauka. To lubię". Zapisz w kilku zdaniach, czego się dowiedziałeś. https://www.youtube.com/watch?v=jDcWRG4s4pU

4. Aby ugotować ziemniaki, wkładamy je do zimnej wody i włączamy maksymalny płomień. Kiedy woda zacznie wrzeć, zmniejszamy płomień do minimalnej wielkości, przy której wrzenie nie ustanie. Wyjaśnij, dlaczego większy płomień w czasie wrzenia wody nie spowoduje szybszego ugotowania ziemniaków.

Doświadczenie domowe

Zimny wrzątek

1. Przygotuj strzykawkę o pojemności 20 cm^3 (bez igły), zapałki, metalową zakrętkę od słoika.
2. Nabierz do strzykawki ok. 0,5 cm^3 ciepłej, ale nie gorącej wody tak, aby nie było w niej pęcherzyków powietrza.
3. Z zachowaniem zasad bezpieczeństwa przypal zapałką wylot strzykawki. Poczekaj chwilę, aż się nadtopi, a następnie rozgnieć go na zakrętce od słoika tak, aby się zakleił. Gdy strzykawka ostygnie, sprawdź, czy jej wylot nie przepuszcza powietrza – po niewielkim przesunięciu i puszczeniu tłoczek powinien wracać do pozycji bliskiej początkowego położenia.
4. Teraz szybko pociągnij za tłoczek i obserwuj, co zachodzi wewnątrz strzykawki.

Uwaga. Temperatura wody w strzykawce nie wzrasta, jednak przy niższym ciśnieniu powietrza temperatura wrzenia wody jest niższa.





5. Ciepło topnienia i ciepło parowania

Cele lekcji:

- Dowiesz się, dlaczego przemiany fazowe wiążą się z przepływem energii, choć nie zmienia się temperatura ciał podlegających tym przemianom.
- Nauczysz się wykorzystywać ciepło topnienia i ciepło parowania do obliczeń.

Przemiany fazowe, cząsteczki i energia

Wiesz już, że podczas topnienia lodu nie zmienia się temperatura – z lodu o temperaturze 0°C powstaje ciekła woda o tej samej temperaturze. Oznacza to, że chaotyczny ruch cząsteczek wody uzyskanej ze stopienia odbywa się z taką samą średnią prędkością, jak wcześniejsze drgania cząsteczek lodu. Wobec tego energia kinetyczna cząsteczek wody w temperaturze 0°C i lodu w tej temperaturze jest jednakowa.

Jednak aby stopić lód, trzeba dostarczyć energię. Co się dzieje z tą energią? Przypomnijmy, że na energię wewnętrzną składa się energia ruchu cząsteczek (tzn. energia kinetyczna) oraz **energia potencjalna oddziaływań** między nimi. W procesie topnienia nie zmienia się energia kinetyczna, ale za to zmienia się energia oddziaływań. Cząsteczki ciekłej wody są znacznie słabiej ze sobą związane niż cząsteczki w krysztale, jakim jest lód. Zatem aby stopić lód, trzeba te międzycząsteczkowe wiązania zerwać, a do tego jest potrzebna energia – podobnie jak wtedy, gdy chcemy rozczepić dwa magnesy.
Nie inaczej jest w przypadku parowania. Cząsteczki gazu nie są ze sobą związane, więc aby wyrwać cząsteczkę z cieczy, trzeba dostarczyć do niej pewnej ilości energii.

Ciepło topnienia

Aby stopić 1 kg lodu o temperaturze 0°C, potrzeba 334 000 J energii. Mówimy, że **ciepło topnienia** lodu wynosi 334 000 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.



▲ Do stopienia lodu potrzebna jest energia z otoczenia

Ciepło topnienia to wielkość określająca energię potrzebną do stopienia 1 kg substancji, której temperatura jest równa temperaturze topnienia.

Aby stopić 2 kg lodu, potrzeba 2 · 334 000 J, aby stopić 3 kg, potrzeba 3 · 334 000 J itd. Ten sposób obliczania energii potrzebnej do stopienia lodu możemy zapisać za pomocą ogólnego wzoru:

$$E = mL_t$$

gdzie: E – potrzebna energia, m – masa substancji, L_t – ciepło topnienia.

Przykład

Topnienie lodu a moc i czas działania grzałki

W garnku znajduje się 1 kg wody o temperaturze 0°C i 1,2 kg lodu o tej samej temperaturze. Na jak długo trzeba włączyć grzałkę o mocy 750 W, aby cały lód stopniał?

Dane:

$m_w = 1$ kg – masa wody

$m_l = 1{,}2$ kg – masa lodu

$T = 0$°C – temperatura wody i lodu

$P = 750$ W – moc grzałki

Szukane:

$t = ?$ – czas podgrzewania

Rozwiązanie: Lód ma już temperaturę 0°C, więc nie trzeba go podgrzewać przed stopieniem. Woda ma tę samą temperaturę, ale dostarczana energia będzie w pierwszej kolejności zużywana na topnienie lodu, więc możemy pominąć ogrzewanie wody.

Ciepło topnienia lodu odczytujemy z tablic: $L_t = 334\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Zatem do wody z lodem trzeba dostarczyć energię:

$$E = m_l L_t$$

$$E = 1{,}2 \text{ kg} \cdot 334\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 400\,800 \text{ J}$$

Znamy moc grzałki, więc możemy przekształcić wzór na moc $P = \frac{E}{t}$ do postaci:

$$t = \frac{E}{P}$$

i obliczyć czas potrzebny na dostarczenie takiej ilości energii:

$$t = \frac{400\,800 \text{ J}}{750 \text{ W}} = 534{,}4 \text{ s} \approx 9 \text{ min}$$

Odpowiedź: Grzałkę trzeba włączyć na ok. 9 min.

Uwaga. Zamiast przekształcać wzór, można też rozumować następująco: grzałka o mocy 750 W w ciągu 1 s dostarcza 750 J energii, więc na dostarczenie 400 800 J energii potrzeba 400 800 : 750 = 534,4 razy więcej czasu, czyli 534,4 s.

A to ciekawe

Woda ma duże ciepło parowania, zatem pocenie się jest bardzo wydajnym sposobem pozbywania się nadmiaru ciepła. Dlatego człowiek może biec na bardzo długim dystansie, jeśli tylko ma dostęp do wody. W Polsce zawody na najdłuższym dystansie to 240-kilometrowy *Bieg Siedmiu Szczytów* w Sudetach. Jego przebiegnięcie zajmuje najlepszym zawodnikom mniej niż 28 godzin.



Ciepło parowania

Wielkością analogiczną do ciepła topnienia jest ciepło parowania.

Ciepło parowania to wielkość określająca energię potrzebną do odparowania 1 kg substancji w stanie ciekłym.



▲ Woda paruje i pobiera ciepło z naszego ciała, co powoduje jego ochładzanie

Podobny jest też wzór na **energię potrzebną do odparowania cieczy**:

$$E = mL_p$$

gdzie: E – potrzebna energia, m – masa substancji, L_p – ciepło parowania.

W tabeli poniżej podajemy ciepło parowania różnych cieczy w temperaturze wrzenia. Zauważ, że ciepło parowania wody jest bardzo duże – wynosi aż 2 256 000 $\frac{J}{kg}$.

Uwaga. Parowanie może zachodzić w dowolnej temperaturze, nie tylko w temperaturze wrzenia, dlatego ciepło parowania możemy określać dla różnych temperatur. Im **wyższa** temperatura, tym **mniejsze** ciepło parowania. W wyższej temperaturze cząsteczki cieczy mają większą energię i mniej energii trzeba dostarczyć, aby pokonać siły międzycząsteczkowe.

Tabela. Temperatura topnienia, ciepło topnienia, temperatura wrzenia, ciepło parowania

Substancja	Temperatura topnienia [°C]	Ciepło topnienia $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	Temperatura wrzenia [°C]	Ciepło parowania w temperaturze wrzenia $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
Ołów	327	24,5	1756	871
Rtęć	–39	11,8	357	272
Tlen	–219	13,8	–183	213
Woda	0	334	100	2256
Złoto	1064	64,5	2800	1578

Krzepnięcie, skraplanie i zasada zachowania energii

Aby stopić ciało stałe, trzeba dostarczyć mu energii. Gdy ciecz krzepnie, oddaje **tyle samo** energii.

Jest to zgodne z zasadą zachowania energii: gdy lód stopimy, a potem zamrozimy powstałą wodę, wrócimy do punktu wyjścia, a więc nie możemy na tym ani zyskać, ani stracić energii.
Dlatego ciepło topnienia pozwala nam obliczać także, **ile ciepła wydzieli się przy krzepnięciu** cieczy.
Podobnie jest z parowaniem i skraplaniem.

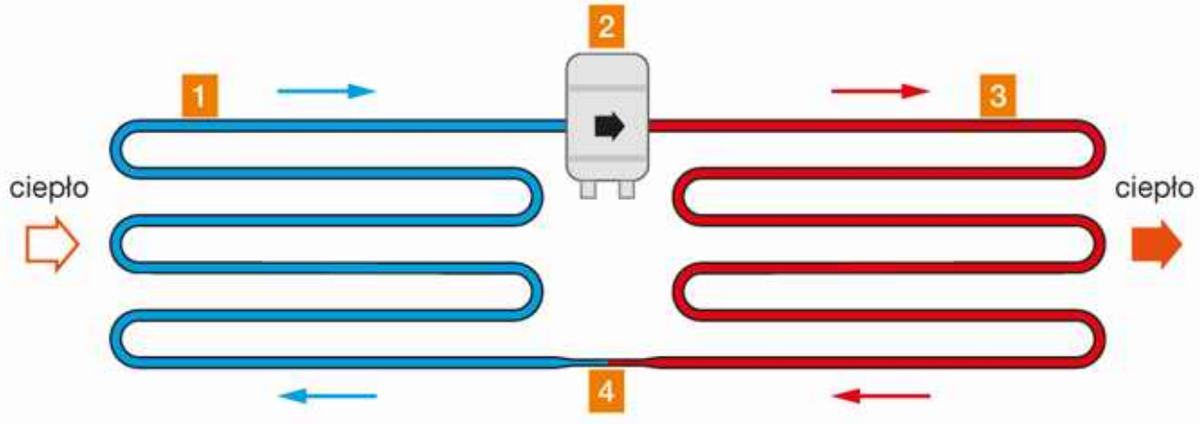
Podczas skraplania wydziela się taka sama ilość energii, jaka jest pochłaniana podczas parowania w tej samej temperaturze.

Oznacza to w szczególności, że jeśli w jednym miejscu pozwalamy cieczy odparować, a powstałą parę skraplamy gdzie indziej, możemy spowodować przepływ ciepła między tymi miejscami, i to nawet z miejsca chłodniejszego do cieplejszego, a więc w przeciwnym kierunku, niż ciepło przepływa samorzutnie. Tak właśnie działa większość lodówek (patrz ramka).

Jak działa lodówka

Zasada działania większości lodówek opiera się na wykorzystaniu parowania i skraplania cieczy. Parująca ciecz odbiera ciepło z wnętrza urządzenia, a skraplająca się para oddaje je na zewnątrz. Analogiczna jest zasada działania klimatyzatorów.

1. Ciecz w rurkach wewnątrz lodówki paruje, dzięki czemu odbiera ciepło z jej wnętrza.
2. Sprężarka spręża powstałą parę do wysokiego ciśnienia i tłoczy do rurek na zewnątrz lodówki.
3. Choć podczas sprężania para się ogrzewa, to z powodu wysokiego ciśnienia i tak się skrapla, zatem oddaje ciepło do otoczenia (tzn. do powietrza w kuchni).



4. W przewodzie łączącym rurki na zewnątrz i wewnątrz lodówki jest przewężenie, przez które ciecz z trudem się przeciska. Dzięki temu można utrzymać wysokie ciśnienie w rurkach zewnętrznych lodówki, a niskie – w wewnętrznych.

To najważniejsze

- Zarówno **topnienie**, jak **i parowanie** wymagają **dostarczenia energii**. Zostaje ona zużyta na pokonanie oddziaływań między cząsteczkami.
- Podczas **krzepnięcia i skraplania wydziela się energia**.
- **Ciepło topnienia** to wielkość określająca, ile energii potrzeba do stopienia 1 kg substancji, a tym samym – ile energii wydzieli się podczas krzepnięcia 1 kg substancji.
- **Ciepło parowania** to wielkość określająca, ile energii potrzeba do odparowania 1 kg cieczy, a tym samym – ile energii wydziela się podczas skraplania 1 kg pary.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dobierz zakończenia zdań do ich początków. Zapisz w zeszycie całe powstałe zdania.

A. Ciepło topnienia miedzi wynosi $205 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, czyli...

B. Do stopienia 2 kg lodu potrzeba...

C. Energia potrzebna do odparowania wody w temperaturze wrzenia...

D. Aby stopić 1 kg lodu, potrzeba...

I. ... tyle samo energii, ile wydziela się przy krzepnięciu 1 kg wody.
II. ... jest proporcjonalna do jej masy.
III. ... do stopienia 1 kg tej substancji potrzeba 205 kJ energii.
IV. ... dwa razy więcej energii niż do stopienia 1 kg lodu.

2. Oblicz, ile energii potrzeba, aby stopić 2 kg lodu o temperaturze 0°C.

3. Ile lodu o temperaturze 0°C można stopić grzałką o mocy 800 W pracującą przez 3 h? Ile kilowatogodzin energii elektrycznej zużyje taka grzałka?

Kilowatogodzina (1 kWh) to energia pobierana przez urządzenie o mocy 1 kW w czasie 1 h.

4. Ile energii wydzieli się podczas skraplania 100 g pary wodnej?

5. Słowo *oparzenie* pochodzi od słowa *para*. Dlaczego parą wodną można się dotkliwie poparzyć?

Doświadczenie domowe

Lód roztapia się pod wpływem soli



1. Przygotuj kubek, termometr, zimną wodę, kilka kostek lodu, sól, torebkę foliową, tłuczek do mięsa i deskę do krojenia.

2. Włóż kostki lodu do woreczka i rozbijaj je tłuczkiem na desce, aż lód stanie się miękką masą. Następnie wrzuć go do kubka i zalej niewielką ilością zimnej wody.

3. Do wody z lodem włóż termometr. Jaką temperaturę wskazuje?

4. Do wody z lodem wsyp kilka łyżek soli i wymieszaj zawartość kubka. Co obserwujesz? Jak zmienia się temperatura w naczyniu?

5. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko. Możesz skorzystać z filmu *Dlaczego sól roztapia lód* na kanale „Nauka. To lubię". https://www.youtube.com/watch?v=Renyj0UEa1I



6. Bilans cieplny

Cele lekcji:

- Nauczysz się wykonywać obliczenia dotyczące wymiany energii w formie ciepła.
- Nauczysz się jednocześnie wykorzystywać wiadomości na temat ciepła właściwego i ciepła przemian fazowych.

Zmiana temperatury i zmiana stanu skupienia

Do tej pory osobno rozważaliśmy zmianę temperatury ciała i zmianę jego stanu skupienia. Rozważmy teraz przykład, w którym te wiadomości trzeba będzie połączyć.

Przykład 1

Podgrzewanie i topnienie

Ile energii potrzeba, aby stopić 2 kg ołowiu o temperaturze 20°C?

Dane:

$m = 2\ \text{kg}$ – masa ołowiu

$T_1 = 20°\text{C}$ – temperatura początkowa ołowiu

Szukane:

$E = ?$ – całkowita potrzebna energia

Pozostałe potrzebne wielkości znajdujemy w tablicach:

$T_2 = 327°\text{C}$ – temperatura topnienia ołowiu

$c = 130\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot°\text{C}}$ – ciepło właściwe ołowiu

$L_t = 24{,}5\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ – ciepło topnienia ołowiu

Rozwiązanie: Najpierw należy podgrzać ołów do temperatury topnienia. Energię dostarczoną w tym celu obliczamy z zależności:

$$E_1 = mc(T_2 - T_1)$$

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$E_1 = 2\ \text{kg} \cdot 130\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot°\text{C}} \cdot (327°\text{C} - 20°\text{C}) \approx 79\,800\ \text{J} = 79{,}8\ \text{kJ}$$

Następnie trzeba stopić ołów. Niezbędna do tego energia wynosi:

$$E_2 = mL_t$$

Podstawiamy dane liczbowe i otrzymujemy:

$$E_2 = 2\ \text{kg} \cdot 24{,}5\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 49\ \text{kJ}$$

W sumie potrzeba więc energii:

$$E = E_1 + E_2 = 79{,}8\ \text{kJ} + 49\ \text{kJ} \approx 130\ \text{kJ}$$

Odpowiedź: Aby stopić 2 kg ołowiu o temperaturze 20°C, potrzeba ok. 130 kJ energii.

Bilans cieplny

W upalne dni często do chłodzenia napojów używamy kostek lodu. Lód najpierw pochłania energię, aby ogrzać się do temperatury topnienia, a następnie znacznie więcej energii, aby stopnieć. Czerpie ją z energii wewnętrznej napoju, który dzięki temu się chłodzi.

Z kolei gdy zmieszamy dwie porcje wody o różnej temperaturze, ciepło przepływa z wody gorętszej do chłodniejszej, aż ich temperatury się wyrównają.

W każdym przypadku ciepło pobrane przez jedne ciała jest równe ciepłu oddanemu przez inne – to wynika z zasady zachowania energii.

Zestawienie ciepła pobranego i ciepła oddanego w tym samym układzie nazywamy **bilansem cieplnym**.

Z równań opisujących bilans cieplny będziemy korzystali podczas rozwiązywania zadań, a także – w następnej lekcji – przy opracowywaniu wyników pomiarów.

A to ciekawe

Niska temperatura topnienia ołowiu, wynosząca zaledwie 327°C, sprawiła, że był on z łatwością wykorzystywany na co dzień. Miłośnicy powieści z Dzikiego Zachodu mogą sobie przypomnieć opisywane w nich sceny odlewania kul i śrutu z ołowiu roztopionego w kociołku nad ogniskiem. Żeby otrzymać w miarę okrągłe kulki, lepiej było jednak używać wieży śrutowej – konstrukcji wysokiej na 30–40 metrów, na której szczycie znajdowały się piece do topienia ołowiu i sita. Lane przez sita krople metalu zastygały w powietrzu i lądowały w zbiorniku z wodą umieszczonym u podnóża wieży. W tym celu wykorzystywano np. znajdującą się w Katowicach wieżę wodną.

Obecnie w trakcie zabaw w andrzejkowy wieczór przez dziurkę od klucza lejemy wosk. Dawniej i do tego celu wykorzystywano ołów. Dziś wiemy jednak, że należy unikać bliskiego kontaktu z ołowiem i jego oparami, ponieważ są one bardzo szkodliwe dla naszego układu nerwowego.





Przykład 2

Chłodzenie wody za pomocą lodu

Ile gramów lodu o temperaturze –5°C potrzeba do schłodzenia 200 g wody od temperatury pokojowej (20°C) do temperatury 0°C?

Dane:

$\Delta T_l = 5°C$ – o tyle trzeba podgrzać lód do temperatury topnienia

$m_w = 0{,}2\ kg$ – masa wody

$\Delta T_w = 20°C$ – o tyle ma się ochłodzić woda

Szukane:

$m_l = ?$ – masa lodu

Z tablic odczytujemy pozostałe potrzebne dane:

$c_l = 2100\ \frac{J}{kg \cdot °C}$ – ciepło właściwe lodu

$c_w = 4200\ \frac{J}{kg \cdot °C}$ – ciepło właściwe wody

$L_t = 334\ \frac{kJ}{kg} = 334\,000\ \frac{J}{kg}$ – ciepło topnienia lodu

Rozwiązanie: Lód najpierw musi się ogrzać do temperatury topnienia, co wymaga energii:

$$E_1 = m_l c_l \Delta T_l$$

a następnie topnieje, co wymaga energii:

$$E_2 = m_l L_t$$

Zauważ, że woda powstała z lodu już się nie ogrzewa, ponieważ końcowa temperatura ma wynosić 0°C.

Chłodzona woda oddaje ciepło:

$$E_3 = m_w c_w \Delta T_w$$

Całe ciepło oddane przez wodę zostaje pobrane przez lód:

$$E_1 + E_2 = E_3$$

$$m_l c_l \Delta T_l + m_l L_t = m_w c_w \Delta T_w$$

Dalsze obliczenia można prowadzić dwoma sposobami.

SPOSÓB I

W tym sposobie wykorzystamy przekształcanie wzorów.

Szukaną wielkością jest masa lodu m_l. W naszym równaniu występuje ona dwa razy, ale możemy ją wyciągnąć przed nawias:

$$m_l(c_l \Delta T_l + L_t) = m_w c_w \Delta T_w$$

Obie strony równania dzielimy przez wyrażenie w nawiasie. Stąd:

$$m_l = \frac{m_w c_w \Delta T_w}{c_l \Delta T_l + L_t}$$

Podstawiamy dane oraz wielkości odczytane z tablic i otrzymujemy wynik:

$$m_l = \frac{0{,}2\ kg \cdot 4200\ \frac{J}{kg \cdot °C} \cdot 20°C}{2100\ \frac{J}{kg \cdot °C} \cdot 5°C + 334\,000\ \frac{J}{kg}} = 0{,}049\ kg = 49\ g$$

SPOSÓB II

Do naszego równania podstawiamy dane liczbowe. Pomijamy jednostki, musimy jednak pamiętać, aby były zgodne. Jeśli ciepło właściwe wyrażamy w $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$, to temperaturę musimy wyrażać w °C, energię w J, a masę w kg, natomiast ciepło topnienia w $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Następnie rozwiązujemy równanie.

$$m_\text{l}c_\text{l}\Delta T_\text{l} + m_\text{l}L_\text{t} = m_\text{w}c_\text{w}\Delta T_\text{w}$$

$$m_\text{l} \cdot 2100 \cdot 5 + m_\text{l} \cdot 334\,000 = 0{,}2 \cdot 4200 \cdot 20$$

$$10\,500m_\text{l} + 334\,000m_\text{l} = 16\,800$$

$$344\,500m_\text{l} = 16\,800$$

$$m_\text{l} = 0{,}049$$

Masę wyraziliśmy w kilogramach, a więc $m_\text{l} = 0{,}049\ \text{kg} = 49\ \text{g}$.

Odpowiedź: Do schłodzenia 200 g wody od temperatury pokojowej (20°C) do temperatury 0° potrzeba 49 g lodu o temperaturze −5°C (czyli kilka kostek).

Uwaga. Jeśli wrzucimy za mało lodu, cały lód stopnieje i otrzymamy wodę o temperaturze wyższej niż 0°C. Jeśli wrzucimy za dużo lodu, cała woda ochłodzi się do 0°C, ale pozostanie jeszcze trochę niestopionego lodu.

To najważniejsze

- **Bilans cieplny** to zestawienie ciepła oddanego przez jedne ciała i ciepła pobranego przez inne ciała w tym samym układzie.
- W bilansie cieplnym uwzględniamy zarówno ciepło związane ze zmianą temperatury ciał, jak i ciepło przemian fazowych.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Oblicz, ile energii należy dostarczyć, aby z kostki lodu o masie 20 g i temperaturze −5°C otrzymać wodę o temperaturze 20°C.

2. Do wody o temperaturze 20°C wrzucono gorący gwóźdź. Na skutek tego woda się ogrzała do 30°C, a gwóźdź ochłodził. W czasie, gdy wkładano gwóźdź, niewielka część wody wyparowała. Przyjmijmy oznaczenia: Q_w – ciepło pobrane przez wodę przy ogrzewaniu, Q_g – ciepło oddane przez gwóźdź, Q_p – ciepło potrzebne do odparowania wody.
   Jak zapisać bilans cieplny? Wybierz właściwą równość i uzasadnij swój wybór.
   A. $Q_\text{w} = Q_\text{g} + Q_\text{p}$ **C.** $Q_\text{g} = Q_\text{w} + Q_\text{p}$
   B. $Q_\text{p} = Q_\text{w} + Q_\text{g}$

3. Oblicz maksymalną masę lodu o temperaturze 0°C, jaką można wrzucić do 200 g wody o temperaturze 20°C, aby lód całkowicie stopniał.

4. Oblicz maksymalną masę lodu o temperaturze −10°C, jaką można wrzucić do 200 g wody o temperaturze 20°C, aby lód całkowicie stopniał.



7. Wyznaczanie ciepła właściwego

Cele lekcji:

- Nauczysz się wyznaczać doświadczalnie ciepło właściwe metalu.
- Przećwiczysz wykonywanie pomiarów związanych ze zjawiskami cieplnymi.

Jak zmierzyć ciepło właściwe

Ciepło właściwe substancji możemy odczytać z tablic. Jednak jak pozyskano do nich dane? Oczywiście na podstawie pomiarów.

Stosunkowo łatwo zmierzyć ciepło właściwe cieczy, np. wody. Wystarczy w tym celu sprawdzić, ile energii potrzeba do ogrzania jej za pomocą grzałki elektrycznej. Dokładne pomiary muszą być przeprowadzone w takich warunkach, aby straty ciepła były albo bardzo małe, albo łatwe do obliczenia.

A w jaki sposób zmierzyć ciepło właściwe metalu? Można skorzystać z bilansu cieplnego, gdy rozgrzany metal oddaje ciepło wodzie. Tak postąpimy w doświadczeniu.

Doświadczenie obowiązkowe

Wyznaczanie ciepła właściwego metalu na podstawie bilansu cieplnego

1. Przygotuj przedmiot z metalu, którego ciepło właściwe chcesz wyznaczyć (wygodnie użyć kilkunastu stalowych nakrętek, przez które przeciągniesz grubą bawełnianą nić), termometr, miskę, garnek i wagę kuchenną. Potrzebne będą także woda i dostęp do kuchenki gazowej lub elektrycznej.
2. Zważ metalowy przedmiot, miskę bez wody, a następnie miskę z wodą w temperaturze pokojowej. Wszystkie wyniki pomiarów zanotuj w zeszycie (np. w tabeli).
3. Zmierz temperaturę wody w misce.
4. Nalej do garnka nową porcję wody i ją zagotuj. Włóż do wrzącej wody badany przedmiot tak, aby był całkowicie zanurzony, ale nie dotykał ścianek ani dna garnka. W przypadku nakrętek na nici możesz posłużyć się drewnianą łyżką lub patyczkiem (jak na zdjęciu A s. 41).
5. Poczekaj ok. minuty (nie przerywaj wrzenia wody), aby badany przedmiot ogrzał się do temperatury wrzenia wody.

6. Przytrzymaj miskę obok garnka i przełóż do niej przedmiot. **Zachowaj** przy tym **ostrożność**.
7. Mieszaj wodę za pomocą termometru. Nie dotykaj termometrem badanego przedmiotu. Zanotuj najwyższe wskazanie termometru – odpowiada ono sytuacji, gdy temperatury wody i przedmiotu się wyrównały, ale woda nie zaczęła jeszcze stygnąć z powodu przepływu ciepła do otoczenia.

A.



B.



Analiza wyników pomiarów

Zapoznaj się z analizą wyników naszego doświadczenia. W podobny sposób opracuj wyniki własnych pomiarów.

W naszym doświadczeniu użyliśmy stalowych nakrętek o łącznej masie:

$$m_s = 148\ \text{g}$$

Woda w misce miała masę:

$$m_w = 105\ \text{g}$$

Początkowa temperatura wody wynosiła $T_1 = 21°\text{C}$, a nakrętki miały początkowo temperaturę równą temperaturze wrzenia wody, czyli $T_2 = 100°\text{C}$. Po wyrównaniu temperatury zarówno woda, jak i nakrętki miały temperaturę $T_3 = 30°\text{C}$. Wszystkie wyniki zapisaliśmy w tabeli.

Tabela wyników pomiarów

m_s	m_w	T_1	T_2	T_3
148 g	105 g	21°C	100°C	30°C

- Ciepło pobrane przez wodę wynosiło:

$$Q = m_w c_w (T_3 - T_1)$$

c_w – ciepło właściwe wody, które odczytujemy z tablic

- Tyle samo ciepła oddała stal w nakrętkach:

$$Q = m_s c_s (T_2 - T_3)$$

- Możemy więc zapisać bilans cieplny:

$$m_w c_w (T_3 - T_1) = m_s c_s (T_2 - T_3)$$

- Stąd wyznaczamy ciepło właściwe stali:

$$c_s = \frac{m_w c_w (T_3 - T_1)}{m_s (T_2 - T_3)}$$

▸ Po podstawieniu liczbowych wyników pomiarów otrzymaliśmy:

$$c_s = \frac{0{,}105\,\text{kg} \cdot 4200\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot (30^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})}{0{,}148\,\text{kg} \cdot (100^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})} = 383\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

Masę wody i nakrętek mierzyliśmy z dokładnością do 1 g, czyli z niepewnością mniejszą od 1%. Tak dokładny pomiar miał mały wpływ na niepewność wyznaczenia ciepła właściwego. Natomiast pomiary temperatury były wykonane z dokładnością do 1°C, a to już sporo w stosunku do mierzonych zmian temperatury.

Niepewności pomiarów

Zastanówmy się, jaka mogłaby być maksymalna wartość c_s obliczona na podstawie wyników pomiarów wraz z ich niepewnościami. Taką wielkość otrzymamy, jeśli przyjmiemy największą możliwą wartość dla T_3, a najmniejszą dla T_1:

$$c_{s\,max} = \frac{0{,}105\,\text{kg} \cdot 4200\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot (31^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{0{,}148\,\text{kg} \cdot (100^\circ\text{C} - 31^\circ\text{C})} = 475\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

Z kolei aby uzyskać najmniejszą wartość c_s, podstawiamy: najmniejszą możliwą wartość dla T_3 i największą dla T_1:

$$c_{s\,min} = \frac{0{,}105\,\text{kg} \cdot 4200\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot (29^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})}{0{,}148\,\text{kg} \cdot (100^\circ\text{C} - 29^\circ\text{C})} = 294\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

Te wielkości różnią się od c_s o $92\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$ oraz $89\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$. Możemy więc zapisać:

$$c_s = 383\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \pm 92\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

po zaokrągleniu otrzymujemy:

$$c_s = 380\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \pm 90\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

W granicach niepewności pomiaru ten wynik zgadza się z wartością tablicową ciepła właściwego stali, wynoszącą $460\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$.

Przyczyny niepewności pomiarowych

Wynik naszego doświadczenia był mało dokładny przede wszystkim dlatego, że niepewność pomiaru temperatury była duża w stosunku do zmian temperatury, z którymi mieliśmy do czynienia. Jeśli w szkole będziecie używać elektronicznego termometru laboratoryjnego, tę dokładność będzie można zwiększyć. Niewykluczone jednak, że wówczas problem będą stanowić straty ciepła, które pomijaliśmy w naszym bilansie.



▲ Niepewność pomiaru dla tego termometru cyfrowego wynosi 0,1°C

Zastanów się, dlaczego zbyt duża ilość wody w misce zwiększa niepewność otrzymanej wartości c_s.

Dokładniejsze ustalenie temperatury wrzenia wody

Temperatura wrzenia wody zależy od ciśnienia powietrza i pod normalnym ciśnieniem atmosferycznym (1013 hPa) wynosi 100°C. Jednak ciśnienie atmosferyczne zależy od pogody oraz od wysokości nad poziomem morza. Zmiany związane z pogodą są niewielkie i można je pominąć, natomiast zależność temperatury wrzenia T (w °C) od wysokości h n.p.m. (w metrach) opisuje przybliżony wzór:

$$T = 100 - 0{,}0033h$$

W miejscowościach położonych na dużej wysokości trzeba uwzględnić tę poprawkę. Na przykład w centrum Zakopanego (800 m n.p.m.) woda wrze w temperaturze 97°C.



▲ W górach woda wrze w niższej temperaturze

To najważniejsze

- **Ciepło właściwe** metalu można wyznaczyć **na podstawie bilansu cieplnego**.
- Jedna z metod pomiaru ciepła właściwego metalu polega na zmierzeniu, o ile ogrzeje się woda, gdy włożymy do niej kawałek metalu rozgrzany do określonej temperatury.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Wyjaśnij, dlaczego w doświadczeniu uważaliśmy, aby nakrętki nie dotykały ścianek i dna garnka.
2. Czy wyznaczona w naszym doświadczeniu wartość ciepła właściwego stali jest większa, czy mniejsza od wartości tablicowej? O ile procent? Analogiczne porównanie wykonaj dla wyników własnego doświadczenia.
3. Zaznacz na osi liczbowej przedział, w którym według wyników naszego doświadczenia mieści się ciepło właściwe stali. Zaznacz na tej samej osi także wartość tablicową. Następnie wykonaj te same czynności dla wyników własnego doświadczenia.
4. Metalowy przedmiot o masie 400 g i temperaturze 100°C włożono do 200 g wody o temperaturze 10°C. Po wyrównaniu temperatur stwierdzono, że woda ogrzała się do 37°C. Określ, z jakiego metalu mógł być wykonany przedmiot.



8. Wartość energetyczna

Cele lekcji:

- Poznasz pojęcie wartości energetycznej paliwa lub żywności.
- Nauczysz się porównywać koszty energii z różnych źródeł.
- Przypomnisz sobie kilokalorię – tradycyjną jednostkę energii używaną w dietetyce.

Wartość energetyczna paliwa

Do tej pory, gdy rozważaliśmy ogrzewanie ciał, mówiliśmy albo o przepływie ciepła między ciałami, albo o przekształcaniu energii elektrycznej w wewnętrzną. Bardzo często jednak do ogrzewania wykorzystujemy **energię chemiczną** paliw: gazu w kuchence, benzyny w samochodzie, węgla w domowym piecu lub w elektrowni.
Na zdjęciu poniżej widzisz opakowanie paliwa do domowych pieców, wytwarzanego z węgla. Co oznacza umieszczona na nim informacja „28–26 $\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$”? Jak można się domyślić, chodzi o to, że spalenie 1 kg tej substancji pozwala uzyskać pomiędzy 26 MJ a 28 MJ energii. Tę wielkość nazywamy wartością energetyczną (albo wartością opałową) paliwa.

Wartość energetyczna (opałowa) paliwa to wielkość, która określa, ile energii dostarcza jednostka masy danego paliwa podczas spalania.

Wielkość tę oznaczamy symbolem Q_w. Jej jednostką jest dżul na kilogram $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$. Najczęściej używamy wielokrotności tej jednostki:

$$1\,\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 1\,000\,000\,\frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

W przypadku paliw gazowych mierzymy bezpośrednio (np. za pomocą domowego licznika) objętość, a nie masę paliwa. Dlatego wartość energetyczną podajemy wtedy



▲ Opakowanie paliwa do pieców

w stosunku do objętości, w dżulach na metr sześcienny $\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^3}\right)$ albo w dżulach na decymetr sześcienny $\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{dm}^3}\right)$. Podobnie w przypadku paliw płynnych, np. benzyny, wartość energetyczną zazwyczaj podajemy w dżulach na litr $\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{l}}\right)$.



Wartość energetyczna żywności

Organizm człowieka i innych zwierząt jest swego rodzaju maszyną cieplną. Zatem my również potrzebną nam energię uzyskujemy z paliwa, którym jest dla nas pożywienie. Dlatego w przypadku żywności także określamy wartość energetyczną.

Wartość energetyczna żywności to energia, jaką organizm uzyskuje z pożywienia, w przeliczeniu na jednostkę masy tego pożywienia.

Jednostką tej wielkości w układzie SI jest dżul na kilogram. Jednak na opakowaniach żywności zwykle podaje się energię w przeliczeniu nie na 1 kg, ale na 100 g pokarmu. Energia jest podawana w dżulach, ale oprócz nich także w tradycyjnej jednostce, jaką jest **kilokaloria:**

$$1\ \mathrm{kcal} = 4186\ \mathrm{J} \approx 4200\ \mathrm{J}$$

Kilokaloria odpowiada energii potrzebnej do podgrzania 1 kg wody o 1°C i wywodzi się z czasów teorii cieplika (patrz „Z historii" s. 22). W fizyce kilokalorie już dawno wyszły z użycia, ale w dietetyce stosujemy je do dziś.
Dodatkowe zamieszanie jest spowodowane nazywaniem kilokalorii „kaloriami". W książkach z dziedziny dietetyki i na opakowaniach produktów spożywczych używa się poprawnej jednostki: kilokalorii (kcal). Jednak w reklamach i artykułach prasowych często zamiast „kilokaloria" mówi się „kaloria". Jest to taki sam błąd, jakby powiedzieć, że odległość z Krakowa do Gdańska wynosi 600 metrów.

Tabela. Wartość energetyczna wybranych produktów

Produkt	Wartość energetyczna $\left[\frac{\mathrm{kcal}}{100\ \mathrm{g}}\right]$	Uwagi
Jasny chleb	220	Kromka to ok. 50 g
Masło	750	Porcja na cienko posmarowaną kromkę to ok. 5 g
Ser żółty	300	Porcja na kanapkę to ok. 40 g
Jajko	140	Jedno średnie jajko to ok. 50 g
Frytki	300	Duża porcja to 150 g
Słodzone napoje	40	Szklanka to 250 g
Czekolada, wafle z kremem, czipsy	600	Typowa tabliczka czekolady to 100 g, duża paczka czipsów to 200 g

Zapotrzebowanie energetyczne człowieka

Na ogół na etykietach produktów spożywczych wartość energetyczna odnosi się do zalecanego dziennego zapotrzebowania obliczonego dla dorosłej kobiety, czyli na poziomie 2000 kcal dziennie.
Jednak to, ile energii naprawdę potrzebuje organizm, zależy od wieku, płci, masy ciała oraz – w znacznym stopniu – od aktywności fizycznej. Dane dla osób w twoim wieku (o przeciętnej masie ciała) przedstawia tabela.

Tabela. Dzienne zapotrzebowanie energetyczne (kcal)

Aktywność fizyczna	Chłopak	Dziewczyna
mała	3000	2150
umiarkowana	3400	2500
duża	4000	2850

To najważniejsze

- **Wartość energetyczna** paliwa lub żywności to wielkość, która określa, ile energii dostarcza jednostka masy (lub objętości) tej substancji.
- Wartość energetyczną paliw stałych wyrażamy zwykle w $\frac{MJ}{kg}$, paliw gazowych w $\frac{MJ}{m^3}$, a paliw płynnych w $\frac{MJ}{dm^3}$.
- Wartość energetyczną żywności podajemy tradycyjnie w kilokaloriach (kcal) na 100 g, gdzie 1 kcal ≈ 4200 J.
- **Zapotrzebowanie energetyczne** organizmu zależy od wieku, aktywności fizycznej, masy i płci.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. W czasie godzinnej jazdy po autostradzie samochód spalił 8 l benzyny o wartości energetycznej 35 $\frac{MJ}{l}$. Ile energii dostarczyło spalone paliwo?
2. Zużycie energii podczas biegu szacuje się na 1 kcal na 1 km i na 1 kg masy ciała biegacza. Na przykład osoba o masie 70 kg na przebiegnięcie 5 km zużywa 350 kcal. Oblicz, ile kilometrów musi przebiec osoba o masie 60 kg, aby spalić energię zawartą w:
   a) paczce czipsów o masie 150 g,
   b) szklance (250 g) napoju słodzonego.



3. Odczytaj z tabeli powyżej swoje właściwe dzienne zapotrzebowanie energetyczne. Oblicz, jaką część tego zapotrzebowania pokrywa śniadanie złożone z dwóch kromek chleba z masłem i dwóch jajek na miękko.
4. Oblicz, ile gazu ziemnego trzeba spalić, aby zagotować 3 l wody o początkowej temperaturze 20°C. Przyjmij, że na ogrzewanie otoczenia tracimy 20% energii ze spalania gazu. Wartość opałowa gazu wynosi 34 $\frac{MJ}{m^3}$.
5. Na spokojne wchodzenie po schodach człowiek o masie 60 kg zużywa ok. 16 kcal na minutę. W czasie minuty jest w stanie wejść z parteru na czwarte piętro, czyli na wysokość 15 m. Oblicz, jaki procent zużytej energii zmienia się w energię potencjalną. Co się dzieje z pozostałą częścią energii?



9. Niezwykłe właściwości wody

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak rozszerza się zimna woda.
- Zrozumiesz, w jaki sposób właściwości cieplne wody wpływają na klimat i życie organizmów.

Woda – źródło życia

Woda stanowi jedną z najbardziej rozpowszechnionych substancji na naszej planecie, a przy tym jest niezbędna do życia. Okazuje się, że ma ona kilka nietypowych (inaczej: anomalnych) właściwości związanych z ciepłem, które mają zasadnicze znaczenie dla organizmów żywych i klimatu.

Dlaczego jeziora nie zamarzają do dna

Fakt, że lód pływa po wodzie, wydaje nam się oczywisty. Tymczasem w przypadku większości substancji ciało stałe tonie w powstałej z niego cieczy. Można to łatwo zaobserwować na przykładzie stearyny (patrz zdjęcie). Podobnie np. ołów tonie w stopionym ołowiu, a żelazo – w ciekłym żelazie.

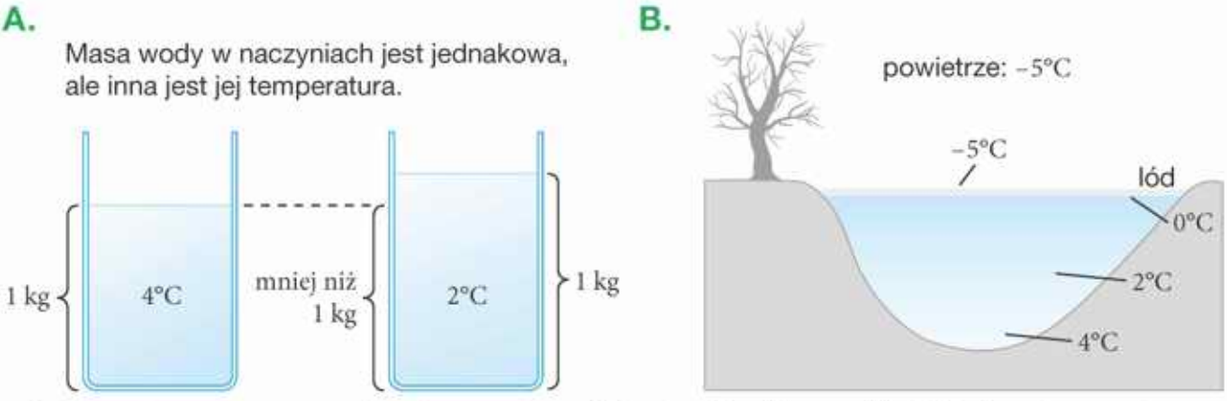
Nietypowa jest również **rozszerzalność cieplna wody w niskich temperaturach**. W lekcji 2. sprawdziliśmy, że wraz z temperaturą woda się rozszerza, jednak badaliśmy ją w temperaturze pokojowej i wyższej. Okazuje się, że:

> Gdy wodę podgrzewamy od 0°C do 4°C, wraz ze wzrostem temperatury zmniejsza ona swoją objętość (kurczy się). Dopiero powyżej 4°C zaczyna się rozszerzać, tak jak inne ciecze.



▲ Łatwo można sprawdzić, że stearyna w stanie stałym tonie w roztopionej stearynie

Z anomalnych właściwości wody wynika, że określona jej masa **zajmuje najmniejszą objętość w temperaturze 4°C**. Popatrzmy na to z drugiej strony: najmniejsza objętość substancji o tej samej masie oznacza największą gęstość (patrz rys. A).



▲ **A.** Skoro ta sama masa wody w temperaturze 2°C zajmuje większą objętość niż w temperaturze 4°C, to znaczy, że ta sama objętość wody w temperaturze 2°C ma mniejszą masę niż przy 4°C. **B.** W pobliżu dna głębokiego jeziora woda ma zawsze temperaturę 4°C

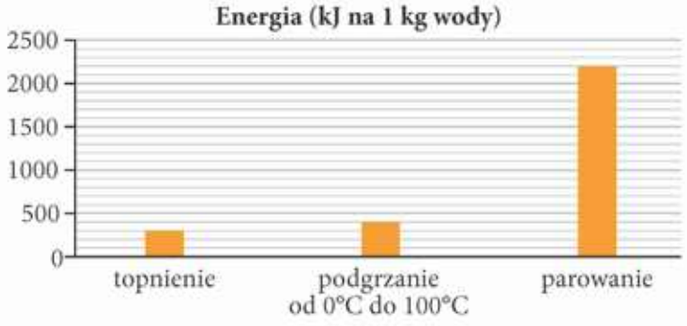
Woda o temperaturze 4°C **jest cięższa niż w dowolnej innej temperaturze**, a więc tonie zarówno w wodzie cieplejszej, jak i w chłodniejszej. Za to lód w ogóle nie tonie w wodzie, ale pływa po jej powierzchni.

Dzięki temu na dnie dostatecznie głębokich zbiorników wodnych stale znajduje się ciekła woda o temperaturze 4°C, co umożliwia przeżycie organizmom żywym (rys. B). Gdyby woda miała właściwości podobne do innych substancji, nawet głębokie jeziora szybko zamarzałyby do dna (a właściwie: od dna, ponieważ zamarzanie zaczynałoby się od dołu).

Ta sama temperatura utrzymuje się przy dnie głębokiego jeziora również w lecie. Rozgrzana woda blisko powierzchni jest lżejsza, więc nie opada na dno (nie zachodzi zjawisko konwekcji), a przewodnictwo cieplne wody jest niewielkie.

Jak woda łagodzi klimat

Woda ma duże ciepło właściwe w stosunku do innych substancji, z którymi mamy do czynienia na co dzień (patrz tabela s. 20). Dodatkowo odparowanie kilograma wody wymaga jeszcze więcej energii niż podgrzanie jej od 0°C do 100°C. Z kolei stopienie kilograma lodu wymaga energii niewiele mniejszej niż podgrzanie powstałej wody do 100°C (patrz diagram).



Dla porównania:
Aby rozpędzić ciało o masie 1 kg do prędkości dźwięku, wystarcza energia 60 kJ.
Aby wnieść taką masę z poziomu morza na Mount Everest, potrzebna jest energia 90 kJ.

▲ Porównanie energii potrzebnej do stopienia lodu, podgrzania powstałej wody do 100°C i jej odparowania

Dzięki opisanym wyżej właściwościom woda – zarówno w otwartych zbiornikach, jak i zawarta w roślinności – służy jako zbiornik ciepła. W dzień ogrzewa się i paruje, pochłaniając nadmiar ciepła, a w nocy oddaje pobraną energię, ochładzając się i skraplając. Aby się przekonać, jak duże znaczenie mają te fakty w przyrodzie, pomyślmy o klimacie pustyni. Temperatura waha się na niej pomiędzy 0°C w nocy i 50°C w dzień, ponieważ brakuje tam stabilizatora temperatury, jakim jest woda.

> Duże wartości ciepła właściwego, ciepła topnienia i ciepła parowania wody wpływają na złagodzenie klimatu.

W klimacie morskim mniejsze są nie tylko dobowe, lecz także roczne wahania temperatury. Na Syberii albo w Kanadzie zimy wyglądają przecież zupełnie inaczej niż na tych samych szerokościach geograficznych w Polsce.
W klimacie umiarkowanym duże ciepło właściwe lodu chroni też przed powodziami. Wyobraźmy sobie, co by się działo, gdyby po śnieżnej zimie cały nagromadzony śnieg stopniał w ciągu jednego dnia, kiedy tylko temperatura powietrza osiągnie wartości dodatnie. Na szczęście topnienie lodu wymaga dużej ilości energii, której natura nie jest w stanie dostarczyć w krótkim czasie.



▲ **A.** Dzięki dużemu ciepłu topnienia śnieg wiosną topnieje powoli.
B. Psy nadmiaru ciepła pozbywają się przez wydychanie pary wodnej i odparowanie śliny

Chłodzenie organizmów

Człowiek, tak jak każde zwierzę stałocieplne, musi usuwać z organizmu nadmiar ciepła. Osiągamy to **dzięki parowaniu potu** oraz **wydychaniu pary wodnej**. Właśnie dlatego pocimy się intensywniej podczas wysiłku. Mięśnie mają bowiem niewielką sprawność i znaczną część energii dostarczonej w pożywieniu zamieniają na ciepło, a nie na użyteczną pracę.
Gdy wilgotność powietrza jest duża, ten mechanizm działa znacznie słabiej. Dlatego w gorący wilgotny dzień czujemy się gorzej niż przy tej samej temperaturze, ale mniejszej wilgotności.
Nadmiaru ciepła pozbywamy się także, wydychając parę wodną. Dla zwierząt, które nie mają gruczołów potowych, wydychanie pary i odparowywanie śliny jest głównym sposobem chłodzenia organizmu (patrz zdjęcie B powyżej).

To najważniejsze

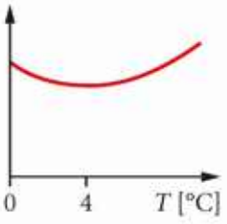
- **Woda** podczas podgrzewania **od 0°C do 4°C zmniejsza swoją objętość**, a dopiero podczas dalszego podgrzewania rozszerza się, tak jak inne substancje.
- Dzięki **nietypowej rozszerzalności cieplnej wody**, a także dzięki temu, że lód pływa po wodzie, na dnie głębokich jezior woda nie zamarza nawet w zimie.
- Duże wartości ciepła właściwego, ciepła topnienia i ciepła parowania wody wpływają na **złagodzenie klimatu**, ponieważ powodują zmniejszenie różnic temperatury między dniem i nocą, a także między porami roku.
- Człowiek, tak jak wiele innych zwierząt, chłodzi się dzięki odparowywaniu wody.

Pytania i zadania

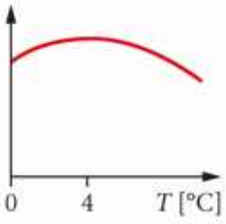
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Który z wykresów przedstawia zależność objętości danej masy wody od temperatury, a który – zależność gęstości wody od temperatury?

a)



b)



2. Określ, jaka była temperatura na dnie jeziora Wigry:

a) 1 września 1939 r. o godzinie 4.45,

b) 4 czerwca 1989 r. o godzinie 12.00.

3. Człowiek na pustyni musi wypić co najmniej 10 litrów wody dziennie. Wielbłądowi, choć jest znacznie większy, wystarczą 2 litry. Jak to możliwe? Otóż w nocy, gdy na pustyni jest zimno, chłodzi się on do 35°C, a w dzień rozgrzewa do 40°C. Oblicz, ile wody zaoszczędza wielbłąd dzięki takiemu przystosowaniu.

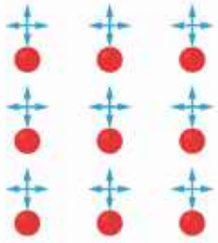
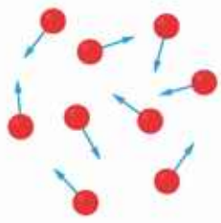
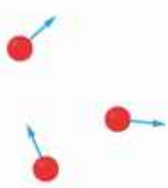


Przyjmij, że średnie ciepło właściwe ciała wielbłąda wynosi 3400 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$, masa zwierzęcia to ok. 500 kg, a ciepło parowania wody w temperaturze między 35°C a 40°C to ok. 2,4 $\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$.

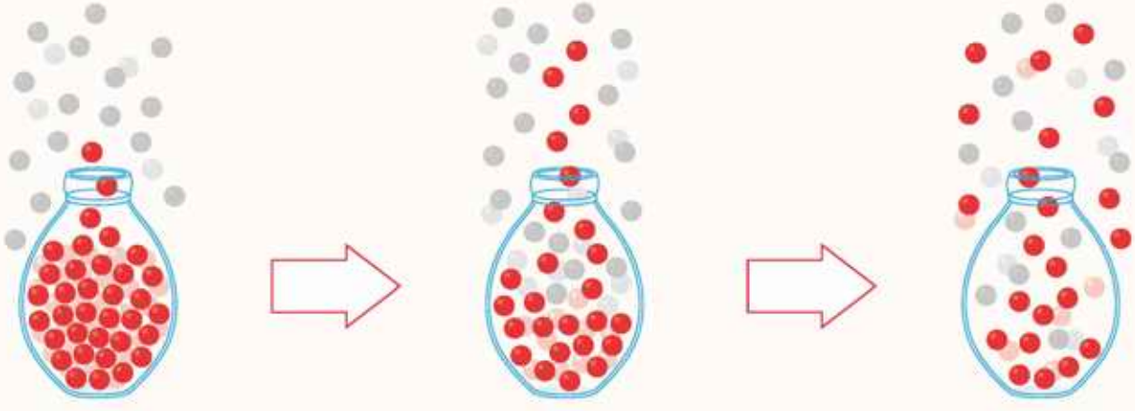
4. Znajdź informację o średniej temperaturze stycznia i średniej temperaturze lipca dla czterech miast: Szczecina, Suwałk, Przemyśla i Wrocławia. Zapisz, z jakich źródeł korzystasz. Przeanalizuj różnice między tymi wielkościami i spróbuj je wyjaśnić na podstawie wiadomości z tej lekcji.

Powtórzenie Termodynamika

Cząsteczki a stan skupienia

	Ciało stałe	Ciecz	Gaz
Położenie cząsteczek			
Ruch cząsteczek	Cząsteczki drgają wokół położeń równowagi, co na rysunku przedstawiono za pomocą strzałek z dwoma grotami. Odległości między nimi są niewielkie.	Odległości między cząsteczkami są niewielkie, ale cząsteczki poruszają się swobodnie po całej objętości cieczy.	Odległości między cząsteczkami są duże. Cząsteczki poruszają się swobodnie po całej objętości naczynia. Praktycznie nie oddziałują ze sobą, z wyjątkiem momentów zderzeń.
Zmiana objętości, zmiana kształtu	Ciało stałe ma określony kształt i określoną objętość (nie da się łatwo sprężać i rozprężać).	Ciecz zachowuje objętość, ale nie ma określonego kształtu – dostosowuje się do kształtu naczynia, w którym się znajduje.	Gaz nie ma ustalonej objętości ani kształtu – zawsze wypełnia całe naczynie, w którym się znajduje.

- **Dyfuzja** to samorzutne mieszanie się cząsteczek jednej substancji z cząsteczkami drugiej substancji (wyrównywanie ich stężeń).



▲ Gdy perfumy parują, ich cząsteczki (oznaczone na rysunku kolorem czerwonym) mieszają się z cząsteczkami powietrza

- Cząsteczki są w ciągłym ruchu. **W wyższej temperaturze** ich ruch jest szybszy (większa jest średnia energia kinetyczna cząsteczek).

- **Energia wewnętrzna** ciała to suma energii kinetycznej wszystkich cząsteczek ciała oraz energii potencjalnej związanej z oddziaływaniami pomiędzy cząsteczkami.

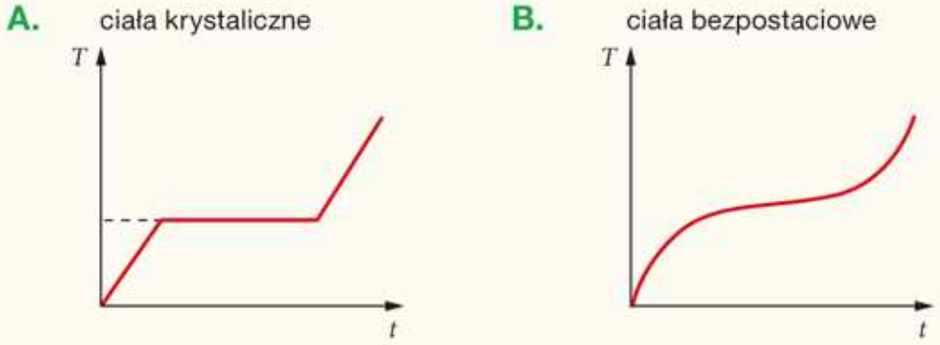
- **Rozszerzalność cieplna** (albo **rozszerzalność temperaturowa**) ciał to zjawisko polegające na zwiększaniu rozmiarów ciała pod wpływem ogrzewania.
  - Wyjątkiem jest woda, która wraz ze wzrostem temperatury **zmniejsza swoją objętość** pomiędzy 0°C i 4°C. Dzięki temu przy dnie głębokich jezior temperatura wody jest stała, co umożliwia organizmom przeżycie zimy.
- **Ciepło właściwe** to wielkość, która określa energię potrzebną do ogrzania 1 kg substancji o 1°C. Wyrażamy je w $\frac{J}{kg \cdot °C}$.
  - **Energię potrzebną do ogrzania ciała** oraz **energię wydzielaną podczas jego stygnięcia** obliczamy ze wzoru:

$$E = m \cdot c \cdot \Delta T$$

energia – E; masa ciała – m; ciepło właściwe – c; zmiana temperatury – ΔT

$4200 \frac{J}{kg \cdot °C}$ ⇨ 4200 J, aby ogrzać 1 kg o 1°C ⇨ $2 \cdot 4200$ J, aby ogrzać 2 kg o 1°C ⇨ $3 \cdot 2 \cdot 4200$ J, aby ogrzać 2 kg o 3°C

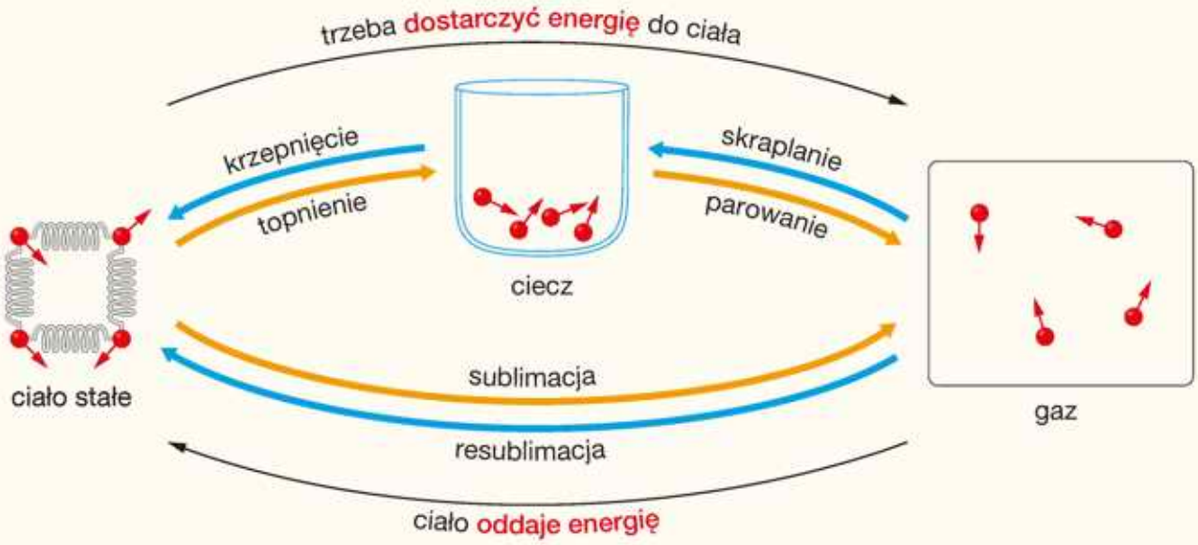
- W czasie **topnienia lodu** temperatura jest stała i wynosi 0°C, jednak aby topnienie następowało, trzeba do lodu **dostarczać energii**.
  - Woda **krzepnie** (zamarza) w tej samej temperaturze 0°C, jednak aby krzepnięcie następowało, **energia** musi być z wody **odbierana**.
  - Z innymi ciałami o strukturze krystalicznej jest podobnie, tylko temperatura topnienia/krzepnięcia jest różna dla różnych substancji (rys. A poniżej).
  - Ciała bezpostaciowe (np. stearyna) nie mają ściśle określonej temperatury topnienia, ale stopniowo miękną w miarę podgrzewania (rys. B).



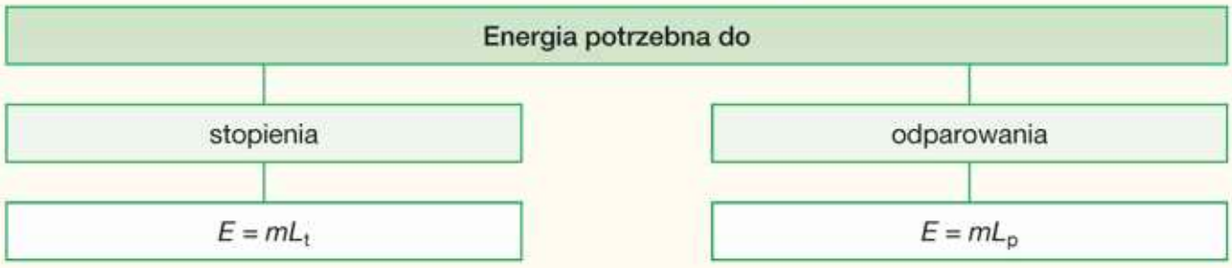
▲ Wykresy zmian temperatury w czasie podgrzewania dla ciał krystalicznych (A) i bezpostaciowych (B)

- Woda **paruje** w każdej temperaturze, ale tylko na powierzchni. Dopiero w odpowiedniej temperaturze woda **wrze**, czyli paruje w całej objętości.
  - **Temperatura wrzenia** wody przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym (1013 hPa) wynosi 100°C.
  - Temperatura wrzenia wody rośnie ze wzrostem ciśnienia atmosferycznego.

■ **Zmiana stanu skupienia** substancji wiąże się z przepływem energii.



- **Ciepło topnienia** L_t to wielkość, która określa, ile energii jest potrzebne do stopienia 1 kg substancji.
- **Ciepło parowania** L_p to wielkość, która określa, ile energii jest potrzebne do odparowania 1 kg substancji.
- Ciepło topnienia i ciepło parowania wyrażamy w $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.



■ **Bilans cieplny** to zestawienie ciepła pobranego i ciepła oddanego przez ciała w określonym układzie. W bilansie cieplnym uwzględniamy zarówno ciepło związane ze zmianą temperatury ciał, jak i ciepło przemian fazowych.

■ **Wartość energetyczna** paliwa Q_w to wielkość, która określa, ile energii uzyskujemy ze spalenia 1 kg tego paliwa.

- Jednostką wartości energetycznej Q_w jest $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Dla paliw płynnych i gazowych Q_w często określamy w odniesieniu do objętości a nie masy i wówczas jednostką jest $\frac{\text{J}}{\text{l}}$ lub $\frac{\text{J}}{\text{m}^3}$.
- Podobnie definiujemy **wartość energetyczną żywności**. Tradycyjnie wyraża się ją w $\frac{\text{kcal}}{100\,\text{g}}$, gdzie kcal (**kilokaloria**) to dawna jednostka energii, 1 kcal = 4186 J ≈ 4200 J.

■ Woda ma w porównaniu z innymi substancjami bardzo duże ciepło właściwe, ciepło topnienia i ciepło parowania.

- Dzięki tym właściwościom woda łagodzi klimat.
- Człowiek i inne zwierzęta stałocieplne chłodzą się dzięki odparowaniu wody z organizmu.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To trzeba umieć

1. Gdy wodę podgrzejemy od 20°C do 40°C, prędkość ruchu jej cząsteczek:

A. wzrośnie.

B. zmniejszy się.

C. pozostanie bez zmian.

2. Do zjawisk A–C dobierz ich wyjaśnienia I–III.

A. Nadmuchany balonik położono w nasłonecznionym miejscu. Balonik się powiększył.

B. Gdy rozpyliliśmy trochę perfum, ich zapach był wyczuwalny w całym pokoju.

C. Po przelocie samolotu odrzutowego pozostała smuga na niebie.

I. Cząsteczki stale się poruszają i mieszają się ze sobą.

II. Powietrze zwiększa swoją objętość podczas podgrzewania.

III. Para wodna jest niewidoczna, ale gdy się skropli, możemy zobaczyć powstałą mgłę.

3. Ciepło właściwe bazaltu jest równe 900 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$. Ile energii potrzeba, aby ogrzać 2 kg bazaltu o 10°C?

A. 45 J **C.** 4500 J

B. 180 J **D.** 18 000 J

4. Ciepło topnienia ołowiu jest równe 24 500 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Ile energii potrzeba, aby stopić 500 g ołowiu podgrzanego wcześniej do temperatury topnienia?

A. 12 250 J **C.** 49 000 J

B. 24 500 J **D.** 122 500 J

5. Agnieszka jest nastolatką o umiarkowanej aktywności fizycznej. Jakiej części dziennego zapotrzebowania na energię dostarcza jej jedno jajko?

A. ok. 2% **C.** ok. 4%

B. ok. 3% **D.** ok. 6%

6. Dopasuj właściwości wody I–V do opisów zjawisk A–E.

Uwaga. Do niektórych zjawisk pasuje kilka właściwości wody – wskaż je wszystkie.

A. Śnieg w górach może leżeć dość długo, nawet gdy temperatura powietrza jest dodatnia.

B. Gdy wyjdziemy z wody, czujemy, że jest nam zimno, nawet w ciepły dzień.

C. Głębokie jeziora nigdy nie zamarzają do dna.

D. W gorący dzień bardziej się pocimy.

E. W pobliżu dużych zbiorników wodnych i na obszarach, gdzie jest dużo roślinności, różnica temperatury między dniem a nocą jest znacznie mniejsza niż na pustyni.

I. Lód ma mniejszą gęstość niż woda.

II. Woda zmniejsza swoją objętość podczas podgrzewania od 0°C do 4°C.

III. Woda ma bardzo duże ciepło właściwe.

IV. Lód ma bardzo duże ciepło topnienia.

V. Woda ma bardzo duże ciepło parowania.



ZADANIA POWTÓRZENIOWE To powinieneś umieć

1. W którym stanie skupienia cząsteczki poruszają się po całej objętości substancji?
   A. w każdym
   B. tylko w ciekłym
   C. tylko w gazowym
   D. w ciekłym i gazowym

2. Podaj przykład zjawiska, w którym energia wewnętrzna ciała zwiększa się dzięki:
   a) dopływowi ciepła,
   b) wykonanej pracy.

3. Latem pewien stalowy słup ma dokładnie 8 m wysokości. Jaka jest wysokość tego słupa w zimie?
   A. trochę większa niż 8 m
   B. trochę mniejsza niż 8 m
   C. taka sama jak w lecie

4. Temperatura gazów powstających podczas wystrzału z karabinu przekracza 3000°C, chociaż temperatura topnienia stali jest niższa niż 1500°C. Dlaczego więc stalowa lufa nie topnieje pod wpływem kontaktu z tymi gazami?

5. Wskaż zdanie prawdziwe.
   A. Woda zamarza w temperaturze nieco niższej niż 0°C, a lód topnieje w temperaturze nieco wyższej niż 0°C.
   B. Woda zamarza w temperaturze 0°C i w tej samej temperaturze topnieje lód.

6. Ile lodu możemy stopić kosztem energii 1 MJ?

7. Wyjaśnij, dlaczego mieszanie herbaty powoduje jej stygnięcie. Przecież wykonywanie pracy powinno raczej powodować wzrost energii wewnętrznej cieczy.

8. Dlaczego przykrywamy pokrywką garnek na kuchence, aby zagotować w nim wodę?

9. Wartość energetyczna benzyny wynosi 32 $\frac{\text{MJ}}{\text{l}}$. Pewien samochód zużywa przeciętne 7 litrów na 100 km. Jakiej energii dostarcza mu paliwo podczas jazdy na odcinku 1 km?

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

1. W czasie topnienia lodu:
   A. zwiększa się jego energia wewnętrzna i temperatura.
   B. zwiększa się jego energia wewnętrzna, ale nie temperatura.
   C. zwiększa się jego temperatura, ale nie energia wewnętrzna.
   D. jego temperatura i energia wewnętrzna pozostają bez zmian.

2. Sztabka żelaza o masie 1 kg została podgrzana o 100°C. O ile stopni Celsjusza można podgrzać litr wody kosztem tej samej ilości energii?

3. W czajniku elektrycznym o mocy 1800 W umieszczono 1 kg wody i 100 g lodu. Zarówno temperatura wody, jak i lodu wynosiła 0°C. Na jak długo należy włączyć czajnik, aby lód stopniał, a następnie cała woda została ogrzana do 50°C?

4. Do kubka włożono grzałkę elektryczną o mocy 300 W i wlano 250 g wody. Po pewnym czasie woda zaczęła wrzeć. Kiedy zostanie jej mniej niż 50 g, grzałka może eksplodować.

   a) Wyjaśnij, dlaczego grzałka nie eksploduje, gdy jest zanurzona w dostatecznej ilości wody.

   b) Oblicz, jak długo będzie trwało gotowanie wody, zanim jej ilość zmniejszy się do 50 g. Pomiń rozchlapywanie wody.

5. Do 100 g wody o temperaturze 10°C wrzucono rozgrzany kawałek stali o masie 50 g. Po wyrównaniu temperatury wody i stali okazało się, że woda podgrzała się do 15°C. Jaka była początkowa temperatura stali?

6. Wartość opałowa gazu ziemnego wynosi 34 $\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$. Ile takiego gazu trzeba spalić, aby podgrzać 2 litry wody od 10°C do 80°C?

ZADANIA POWTÓRZENIOWE — Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. Na przełomie XVIII i XIX w. fizycy badali doświadczalnie, czy masa ciała zmienia się podczas jego podgrzewania. W jednym z takich doświadczeń położono metalowy przedmiot na precyzyjnej wadze szalkowej i zrównoważono go odpowiednimi odważnikami. Następnie przedmiot podniesiono i rozgrzano. Gdy gorący położono z powrotem na szalce, okazało się, że szalka opadła, co sugerowałoby, że masa przedmiotu wzrosła podczas podgrzewania.



   Inne doświadczenie miało podobny przebieg, tym razem jednak użyto przedmiotu, który mocno schłodzono (do temperatury poniżej 0°C). Tym razem również waga wskazała, że ciało po zmianie temperatury jest cięższe. Wyjaśnij możliwe przyczyny takich wyników.

2. Wyobraź sobie, że w czasie księżycowej nocy astronauta stojący na Księżycu otwiera puszkę pełną wody o temperaturze 20°C. Woda zaczyna jednocześnie wrzeć i zamarzać. Wyjaśnij to zjawisko.

3. Z jakiej wysokości powinna spływać woda, aby kosztem swojej energii potencjalnej ogrzać się o 1°C? Wyjaśnij, dlaczego nie zależy to od masy wody. Pomiń opory ruchu.



4. Z jakiej wysokości należałoby upuścić kostkę lodu o temperaturze 0°C, aby kosztem swojej energii potencjalnej całkowicie stopniała? Pomiń opory ruchu. Wyjaśnij, dlaczego nie zależy to od masy kostki.

5. Wartość energetyczna gazu ziemnego wynosi 34 $\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$. Ile litrów gazu trzeba spalić, aby uzyskać tyle samo energii, ile dostarcza kuchenka o mocy 2 kW w ciągu pół godziny?

Projekt Ruchy Browna

Cel projektu: Poznasz zjawisko fizyczne zwane ruchami Browna. Poćwiczysz umiejętność stosowania mikroskopu do obserwacji oraz arkusza kalkulacyjnego do symulacji zjawisk fizycznych.

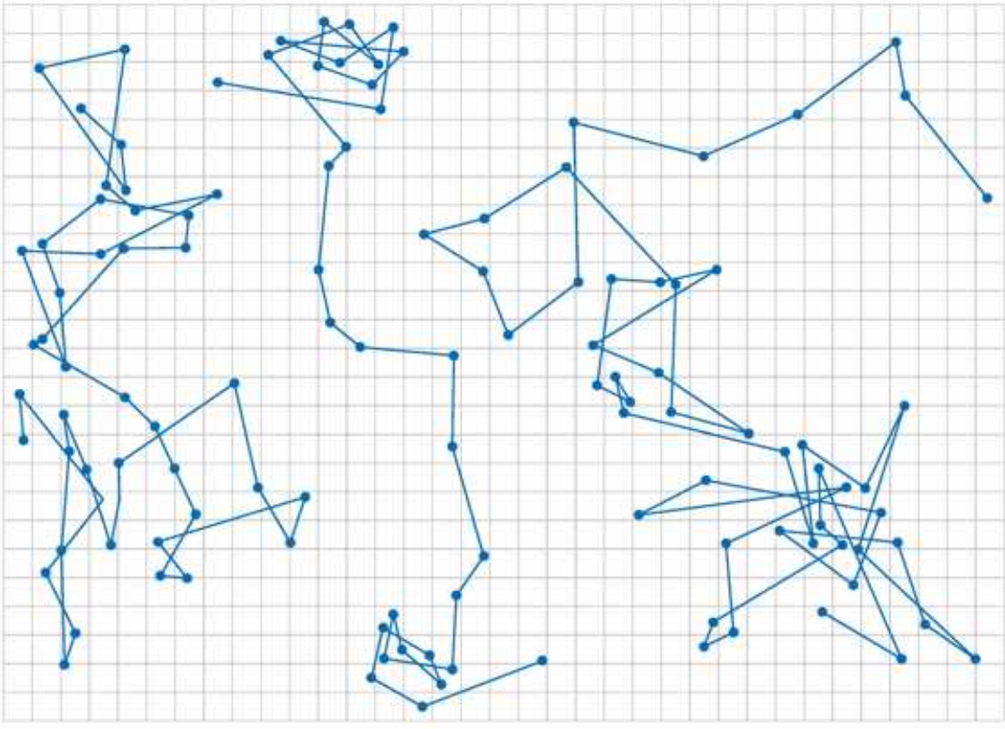
Wprowadzenie

Ruchy Browna to nazwa zjawiska polegającego na chaotycznym ruchu drobnych ciał pływających w wodzie. Robert Brown, ich odkrywca, zaobserwował taki ruch pyłków roślin w 1827 r. Pół wieku później polski fizyk Łukasz Bodaszewski odkrył analogiczne zjawisko dla gazów. Dziś wiemy, że jego przyczyną jest chaotyczny ruch cząsteczek cieczy. Cząsteczki bombardują z różnych stron pływające ciało i powodują jego ruch. Chociaż przeciętnie w taki obiekt cząsteczki uderzają ze wszystkich stron, proces ten podlega ciągłym fluktuacjom – z jednej strony uderza więcej cząsteczek niż z drugiej lub cząsteczki te mają różne prędkości. W efekcie obiekt zaczyna się poruszać.

Takie wyjaśnienie wzbudzało jednak zastrzeżenia XIX-wiecznych fizyków. Skoro cząsteczki uderzają pyłek równie często z każdej strony, to czy skutki takich uderzeń nie powinny się redukować i powodować najwyżej nieznaczne jego drgania zamiast wędrówkę po całej objętości cieczy?

W 1905 r. problem rozstrzygnęli niezależnie od siebie Albert Einstein i Marian Smoluchowski. Obaj podali pełny matematyczny opis ruchów Browna, wyjaśniający wyniki doświadczeń. Udowodnili oni, że choć przesunięcie pyłku w lewo i w prawo jest tak samo prawdopodobne, z czasem jednak zmieni on położenie względem położenia początkowego.

Gdybyśmy obliczyli średnie przesunięcie po pewnym czasie dla wielu cząstek pyłku, byłoby ono równe zeru (przesunięcia w różne strony by się równoważyły). Jednak pojedyncza cząstka pyłku stopniowo oddala się od swojego początkowego położenia.



▲ Położenia cząstki pyłku w wodzie mierzone w równych odstępach czasu. Linia łącząca kolejne punkty nie jest torem ruchu pyłku, ułatwia jedynie odnalezienie jego kolejnego położenia. Zderzenia z cząsteczkami następują tak szybko, a przebyta między nimi droga jest tak mała, że rzeczywisty rysunek toru ruchu pyłku wyglądałby nie jak linia łamana, ale jak krzywa

Doświadczenie

1. Przygotuj mikroskop optyczny o powiększeniu 600x, mleko zawierające 0,5% tłuszczu.
2. Na szkiełko podstawowe nanieś małą kroplę mleka i nakryj szkiełkiem nakrywkowym.
3. Umieść tak przygotowany preparat pod mikroskopem i obserwuj go. Co zauważasz?

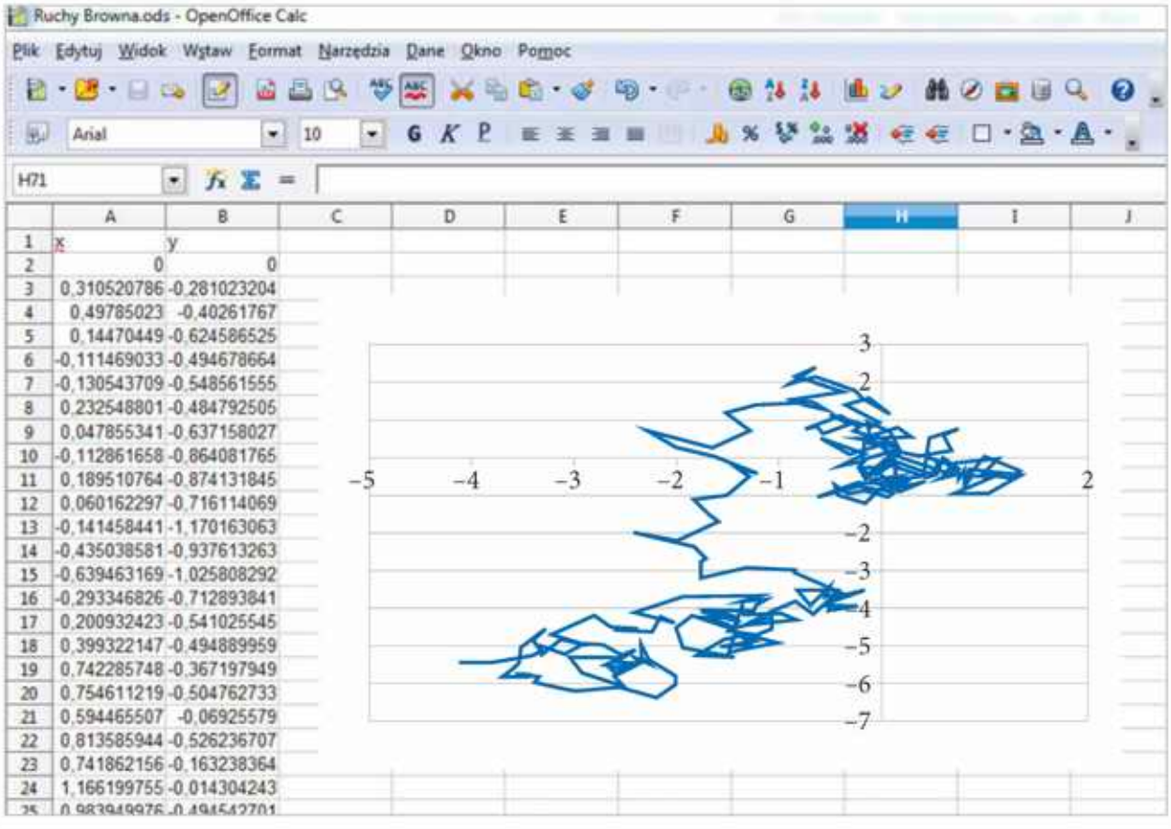
Wskazówki

- Aby uzyskać ostry obraz, najwygodniej jest zbliżyć obiektyw do preparatu na minimalną odległość, przy której się jeszcze nie stykają, a następnie powoli oddalać obiektyw za pomocą śruby mikrometrycznej.
- Gdy obraz będzie już ostry, zobaczysz chaotyczny ruch kropelek tłuszczu zawartego w mleku.

Symulacja komputerowa

Aby sprawdzić, czy zastrzeżenia opisane we wprowadzeniu były słuszne, przygotuj symulację komputerową ruchu pyłku zawieszonego w cieczy. Wykorzystaj do tego arkusz kalkulacyjny.

1. Współrzędne *x* i *y* pyłku umieść w dwóch kolumnach. W kolejnych wierszach znajdą się współrzędne jego położenia w kolejnych chwilach. W pierwszym wierszu wpisz zera.
2. Aby obliczyć współrzędną *x* położenia pyłku w następnej chwili, dodaj do jego dotychczasowego położenia wylosowaną liczbę. W arkuszach OpenOffice i Excel możesz skorzystać z funkcji LOS(), która zwraca wylosowaną liczbę pomiędzy 0 a 1. Zastanów się, co zrobić, aby otrzymać liczbę np. z przedziału od –0,5 do 0,5. Analogicznie postępuj ze współrzędną *y*.
3. Sporządź wykres położeń punktu dla kolejnych 250 chwil. Czy punkt oscyluje wokół początku układu współrzędnych, czy przemieszcza się po większym obszarze? Sprawdź to wielokrotnie – wystarczy wcisnąć klawisz F9, aby arkusz od nowa przeprowadził losowanie.



	A	B
1	x	y
2	0	0
3	0,310520786	-0,281023204
4	0,49785023	-0,40261767
5	0,14470449	-0,624586525
6	-0,111469033	-0,494678664
7	-0,130543709	-0,548561555
8	0,232548801	-0,484792505
9	0,047855341	-0,637158027
10	-0,112861658	-0,864081765
11	0,189510764	-0,874131845
12	0,060162297	-0,716114069
13	-0,141458441	-1,170163063
14	-0,435038581	-0,937613263
15	-0,639463169	-1,025808292
16	-0,293346826	-0,712893841
17	0,200932423	-0,541025545
18	0,399322147	-0,494889959
19	0,742285748	-0,367197949
20	0,754611219	-0,504762733
21	0,594465507	-0,06925579
22	0,813585944	-0,526236707
23	0,741862156	-0,163238364
24	1,166199755	-0,014304243
25	0,983949976	-0,494542701



8 Drgania i fale

Kieliszek można stłuc za pomocą dźwięku. Jak to możliwe?



10. Prawo Hooke'a

Cele lekcji:

- Zbadasz doświadczalnie zależność między wydłużeniem sprężyny a przyłożoną siłą.
- Nauczysz się opisywać sprężynę za pomocą współczynnika sprężystości.

Ruch drgający

W tym dziale zajmiemy się ruchem drgającym, o którym słyszałeś już w szkole podstawowej.

Jest to ważny rodzaj ruchu, ponieważ występuje dość często: drgają struny instrumentów muzycznych i struny głosowe człowieka, membrany głośników, atomy w krysztale, wahadło starego zegara, drgają także maszyny i urządzenia. Ruch drgający jest istotny również z innego powodu: wkrótce zajmiemy się badaniem fal, a fale to przecież rozchodzące się drgania.

Prostym przykładem takiego ruchu są drgania ciężarka zawieszonego na sprężynie. Dlatego nasze rozważania zaczniemy od badania **siły sprężystości**.



▲ Wahadło zegara porusza się ruchem drgającym

Siła sprężystości

Jak wiesz z życia codziennego, aby rozciągnąć sprężynę, musimy działać na nią pewną siłą. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki sprężyna działa wówczas na nasze dłonie siłą o tej samej wartości, ale przeciwnie skierowaną. Nazywamy ją siłą sprężystości.

Wartość siły sprężystości, a więc także siły rozciągającej sprężynę, zależy od rodzaju sprężyny. Nietrudno rozciągnąć sprężynkę od długopisu, trudniej – sprężynę do ćwiczeń gimnastycznych, natomiast sprężyny z zawieszenia samochodu gołymi rękami w ogóle nie rozciągniemy w zauważalny sposób.

Jednak nawet dla konkretnej sprężyny wartość siły sprężystości może być różna. Aby mocniej rozciągnąć sprężynę (czyli spowodować większy przyrost jej długości), trzeba działać większą siłą. Zbadamy teraz dokładniej tę zależność.

Doświadczenie 6.

Badanie rozciągania sprężyny

1. Przygotuj sprężynę, statyw, kilka ciężarków o znanej masie (lub kilka ciał o różnej masie i wagę kuchenną) oraz linijkę.
2. Powieś sprężynę na statywie i zmierz jej długość.
3. Zawieś na dolnym końcu sprężyny ciężarek (lub ciało, które zważysz na wadze). Zmierz linijką, o ile zwiększyła się długość sprężyny. Zapisz wynik tego pomiaru oraz masę użytego ciężarka.
4. Wykonaj pomiary dla różnego obciążenia sprężyny (możesz używać różnych ciężarków lub zawieszać je po kilka sztuk). Wyniki pomiarów masy obciążników i wydłużenia sprężyny za każdym razem notuj w tabeli. Wygodnie zapisać je w gramach, a następnie przeliczyć na kilogramy i wpisać do tabeli.
5. Dla każdej masy obciążnika oblicz jego ciężar i wpisz do odpowiedniej kolumny tabeli (patrz tabela z wynikami pomiarów niżej).
6. Wyniki pomiarów i obliczeń zaznacz w układzie współrzędnych: na osi poziomej zaznacz siłę rozciągającą sprężynę (równą ciężarowi zawieszonego ciała), a na osi pionowej – wydłużenie. Co zauważasz?



Analiza wyników doświadczenia

Przedstawiamy poniżej zestawienie wyników naszych pomiarów. W podobny sposób możesz opracować wyniki własnego doświadczenia.

Tabela. Wyniki pomiarów

Masa ciężarka m		Siła rozciągająca sprężynę F [N]	Przyrost długości sprężyny Δl [cm]
[g]	[kg]		
20	0,02	0,2	0,7
50	0,05	0,5	1,7
70	0,07	0,7	2,5
100	0,10	1,0	3,5
120	0,12	1,2	4,5
150	0,15	1,5	5,5
200	0,20	2,0	7,5

Wartość siły F jest równa ciężarowi zawieszonego ciała:
$F_g = mg$, $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$

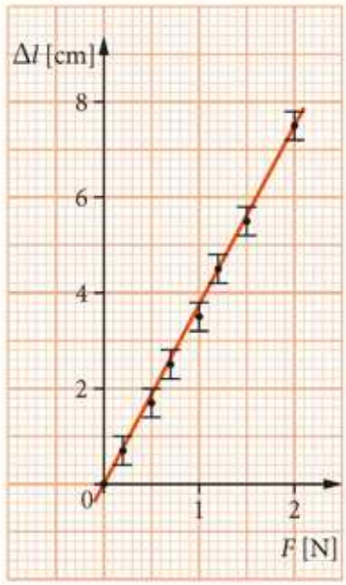
Zwróć uwagę, że w ostatniej kolumnie tabeli podaliśmy tylko **przyrost** długości sprężyny (o ile się zwiększyła jej długość), a nie samą długość. Jeśli np. przed zawieszeniem ciężarka sprężyna miała 20 cm długości, a po jego zawieszeniu rozciągnęła się do 21 cm, to przyrost długości wynosi:

$$\Delta l = 21\ \text{cm} - 20\ \text{cm} = 1\ \text{cm}$$

Te dane wraz z niepewnościami pomiarowymi możemy przedstawić w układzie współrzędnych (patrz rys. obok). Masę ciężarka wyznaczyliśmy za pomocą wagi z dokładnością do 1 g, a więc bardzo dokładnie. Co za tym idzie, także siłę sprężystości znamy na tyle dokładnie, że jej niepewność możemy pominąć.

Niepewność pomiaru wydłużenia sprężyny oszacowaliśmy na 3 mm. Co prawda, linijka ma podziałkę co 1 mm, ale trudno tak dokładnie określić, gdzie znajduje się koniec sprężyny, a w dodatku po powieszeniu ciężarka odchyla się ona nieco od pionu.

Przeanalizujmy otrzymany wykres. Widzimy, że punkty układają się na jednej prostej przechodzącej przez początek układu współrzędnych. Jak już wiesz, oznacza to, że **badane wielkości są proporcjonalne.**



▲ Wykres zależności wydłużenia sprężyny od siły rozciągającej

Prawo Hooke'a

Wnioski z naszego doświadczenia można opisać w następujący sposób:

> Przyrost długości sprężyny Δl jest wprost proporcjonalny do działającej siły F.

Prawo to odkrył Robert Hooke – patrz „Z historii" s. 64.

Tę zależność nazywamy **prawem Hooke'a.** Trzeba jednak pamiętać, że nie jest ono podstawowym prawem przyrody, takim jak na przykład zasada zachowania energii. Obowiązuje tylko dla stosunkowo niewielkiej wartości siły. Gdy siła jest zbyt duża, sprężyna nadal się rozciąga, ale już nieproporcjonalnie do siły. W końcu przy odpowiednio dużej sile sprężyna ulega zerwaniu.

Współczynnik sprężystości

Niektóre sprężyny łatwiej rozciągnąć niż inne. Innymi słowy, do wywołania takiego samego przyrostu długości może być potrzebna większa albo mniejsza siła. Tę cechę sprężyny opisuje wielkość zwana **współczynnikiem sprężystości *k***.

> Współczynnik sprężystości to stosunek wartości siły F rozciągającej sprężynę do przyrostu jej długości Δl:
>
> $$k = \frac{F}{\Delta l}$$

Ponieważ siła F jest proporcjonalna do przyrostu długości Δl, więc współczynnik sprężystości nie zależy od tej siły. Na przykład dwa razy większa siła powoduje dwa razy większy przyrost długości, co oznacza, że wartość ułamka $\frac{F}{\Delta l}$ pozostaje bez zmian. Zatem współczynnik sprężystości to wielkość opisująca daną sprężynę, **niezależna od przyłożonej siły**.

Wzór na współczynnik sprężystości można przekształcić do postaci:

$$F = k \cdot \Delta l$$

Taka zależność pozwala obliczyć **siłę potrzebną do wydłużenia sprężyny** o Δl.

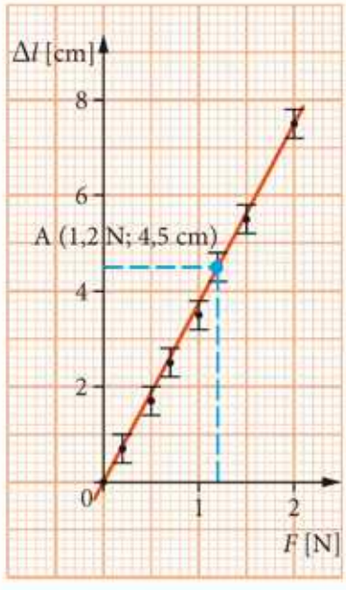
Liczbowo współczynnik sprężystości, wyrażony w $\frac{\text{N}}{\text{m}}$, opisuje, jaka siła jest potrzebna do rozciągnięcia sprężyny o 1 m. Na przykład współczynnik $k = 100\ \frac{\text{N}}{\text{m}}$ oznacza, że siła 100 N rozciągnie sprężynę właśnie o 1 m.
Oczywiście nie każdą sprężynę w ogóle uda się o tyle rozciągnąć – być może wcześniej zostanie ona zerwana.
Wiadomo jednak, że proporcjonalnie mniejsza siła spowoduje proporcjonalnie mniejszy przyrost długości, np. siła 5 N spowoduje rozciągnięcie wspomnianej wyżej sprężyny o 5 cm. Ten sam współczynnik możemy więc zapisać jako $k = 1\ \frac{\text{N}}{\text{cm}}$.
Zastosujemy teraz te wiadomości do opisania sprężyny badanej w doświadczeniu 6.

Przykład

Wyznaczanie współczynnika sprężystości na podstawie wykresu

Wyznacz współczynnik sprężystości sprężyny wykorzystanej w doświadczeniu 6.

Rozwiązanie: Wybieramy na wykresie jeden z punktów, przez który przechodzi czerwona prosta. Może to być np. punkt A o współrzędnych (1,2 N; 4,5 cm) – patrz rysunek.



Oznacza to, że siła 1,2 N powoduje rozciągnięcie sprężyny o 4,5 cm.

Współczynnik sprężystości obliczymy ze wzoru:

$$k = \frac{F}{\Delta l}$$

Podstawiamy dane liczbowe i otrzymujemy:

$$k = \frac{1{,}2\ \text{N}}{0{,}045\ \text{m}} \approx 27\ \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Odpowiedź: Współczynnik sprężystości sprężyny wykorzystanej w doświadczeniu 6. wynosi ok. $27\ \frac{\text{N}}{\text{m}}$.

Efekt świętego Mateusza

Gdy dwóch uczonych niezależnie od siebie dokona tego samego odkrycia albo gdy obaj się do niego przyczynią, sława często przypada tylko temu, kto i tak jest już bardziej znany. To zjawisko zostało nazwane efektem św. Mateusza, od słów z jego ewangelii: „Bo kto ma, temu będzie dodane, i nadmiar mieć będzie; kto zaś nie ma, temu zabiorą również to, co ma" (Mt 13, 12; tłum. wg Biblii Tysiąclecia).

Ofiarą tego właśnie zjawiska padł Robert Hooke. To on pierwszy wysunął m.in. ideę powszechnego ciążenia i wyjaśnił ruch planet jako złożenie ruchu po prostej i „spadania" na Słońce. Ponieważ jednak niedługo później Izaak Newton włączył te pomysły do swojej wielkiej teorii, więc zwykle kojarzymy je wyłącznie z Newtonem.

Podobnie stało się z projektami architektonicznymi Hooke'a. Nad odbudową Londynu po wielkim pożarze pracował on razem z Christopherem Wrenem, lecz dziś zwykle wspomina się jedynie tego drugiego.

Imieniem Hooke'a nazwano prawo opisujące sprężynę, które stanowi jedno z mniej ważnych jego osiągnięć.

Robert Hooke



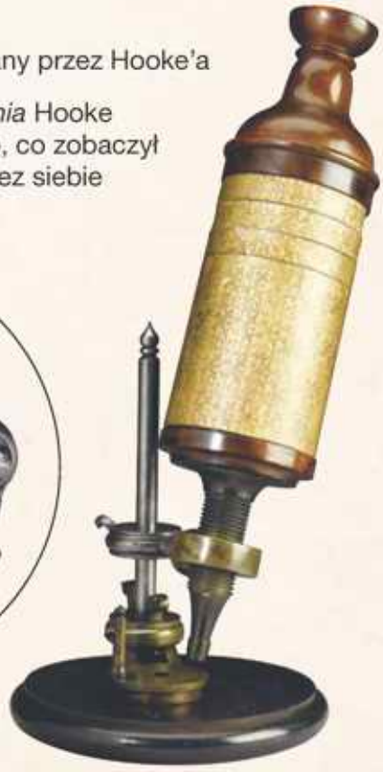
Robert Hooke (1635–1703) był nie tylko fizykiem i architektem, lecz także zdolnym konstruktorem. Jego wynalazki, takie jak pompa próżniowa i wiele przyrządów pomiarowych, pozwalały na wykonywanie nowych eksperymentów lub otrzymywanie dokładniejszych wyników. W dziedzinie biologii zasłużył się odkryciem komórek organizmów oraz badaniami nad oddychaniem zwierząt.

◂ Zaprojektowany przez Hooke'a pomnik pożaru Londynu. Wewnątrz pustej w środku kolumny znajdują się schody, po których można wejść na samą górę (co odpowiada wysokości 20. piętra). Hooke wykorzystywał ją także jako element gigantycznego teleskopu

▸ Mikroskop zbudowany przez Hooke'a

▾ W dziele *Micrographia* Hooke zamieścił rysunki tego, co zobaczył pod zbudowanym przez siebie mikroskopem





To najważniejsze

- Przyrost długości sprężyny jest proporcjonalny do przyłożonej siły. Tę zależność nazywamy **prawem Hooke'a**.
- Wartość siły F potrzebnej do wydłużenia sprężyny o Δl obliczamy ze wzoru $F = k \cdot \Delta l$, gdzie k jest **współczynnikiem sprężystości**.
- Współczynnik sprężystości to wielkość, która określa, na ile trudno jest rozciągnąć sprężynę. Jest to wielkość niezależna od przyłożonej siły.

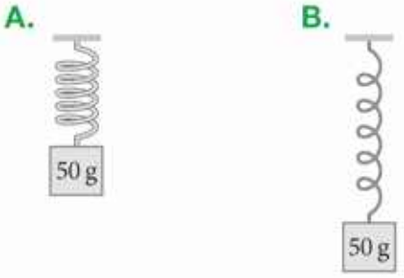
Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

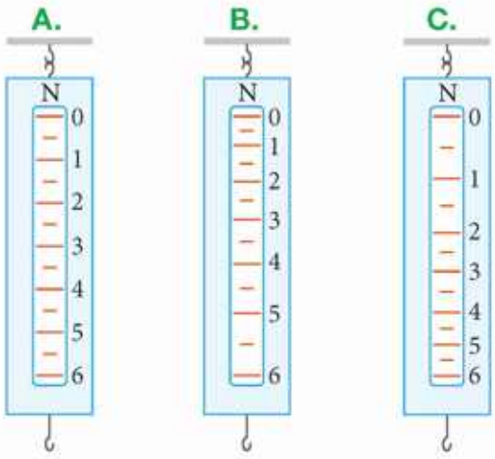
Uwaga. We wszystkich zadaniach zakładamy, że jest spełnione prawo Hooke'a.

1. Nieobciążona sprężyna ma długość 20 cm. Po zawieszeniu na niej obciążnika o masie 50 g długość sprężyny zwiększyła się do 22 cm. Jaka będzie jej długość, jeśli zawiesimy na niej obciążnik o masie 150 g?

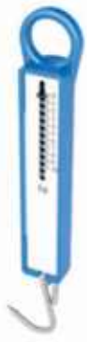
2. Przed zawieszeniem ciężarków dwie sprężyny przedstawione na rysunku miały równą długość. Która z nich ma większy współczynnik sprężystości? Uzasadnij odpowiedź.



3. Przyjrzyj się siłomierzowi w pracowni albo na zdjęciu. Czy jego skala wygląda tak jak na rysunku A, B czy C? Wyjaśnij, z jakiego prawa fizyki to wynika.



4. Waga sprężynowa (podobna do przedstawionej na zdjęciu) ma zakres 10 kg. Długość jej skali wynosi 6 cm. Oblicz współczynnik sprężystości sprężyny w tej wadze.



5. Powtórz obliczenia wykonane w przykładzie z lekcji, ale wybierz inny punkt na czerwonej prostej.

6. Wyznacz współczynnik sprężystości sprężyny wykorzystanej przez siebie w doświadczeniu 6.

Doświadczenie domowe

Czy gumka recepturka spełnia prawo Hooke'a

1. Zaprojektuj doświadczenie pozwalające odpowiedzieć na pytanie zadane w tytule doświadczenia. Wykorzystaj w nim przedmioty codziennego użytku.
2. Sfotografuj układ doświadczalny oraz opisz przebieg doświadczenia i jego wyniki.





11. Opis ruchu drgającego

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie pojęcia służące do opisu ruchu drgającego.
- Nauczysz się uzyskiwać doświadczalnie wykres ruchu drgającego.
- Dowiesz się, jak wyznaczać amplitudę, okres i częstotliwość ruchu drgającego na podstawie wykresu.

Wykres ruchu drgającego

W klasie pierwszej omawialiśmy wykresy opisujące ruch ciał, np. wykresy zależności ich położenia od czasu. Do szybkiego otrzymywania takich wykresów wykorzystywaliśmy program Tracker. Skorzystamy z niego także w tym przypadku.

Doświadczenie 7.

Badanie ruchu drgającego

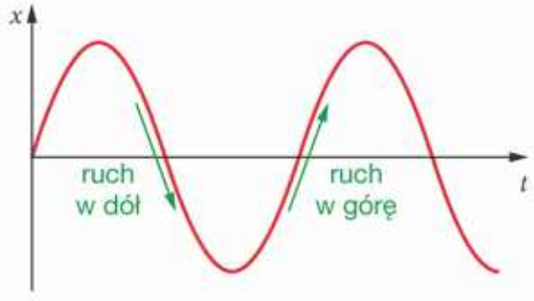
1. Przygotuj statyw, sprężynę, ciężarek, mały kawałek papieru (ok. 1 cm × 1 cm) w kontrastowym kolorze z narysowaną innym kolorem kropką, kamerę, np. w telefonie komórkowym, komputer z programem Tracker.
2. Zawieś na statywie sprężynę, a na niej ciężarek.
3. Do ciężarka przyklej kawałek papieru z narysowaną kropką.
4. Zaznacz na statywie wysokość, na jakiej znajduje się kropka w chwili, gdy ciężarek jest nieruchomy.
5. Pociągnij ciężarek w dół i puść. Sfilmuj ruch ciężarka.
6. Za pomocą programu Tracker stwórz wykres zależności położenia ciężarka od czasu.

Uwaga. Oś x w programie ustaw pionowo w górę. Jako zero na osi x przyjmij wysokość zaznaczoną na statywie. Aby ustalić skalę, porównaj np. wysokość statywu na ekranie ze zmierzoną w rzeczywistości za pomocą linijki.



Analiza doświadczenia

Wygląd wykresu nie stanowi zaskoczenia: wznosi się do góry, później opada, znów się wznosi itd. Odpowiada to ruchowi ciężarka. Celowo wybraliśmy oś x ustawioną do góry, aby jej kierunek na wykresie był taki sam jak w rzeczywistości (patrz rys. poniżej).



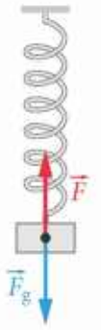
◀ Wykres opisujący ruch ciężarka łatwo analizować, ponieważ kierunek ruchu góra–dół jest na wykresie taki sam jak w rzeczywistości

Krzywą, która jest wykresem ruchu ciężarka drgającego na sprężynie, nazywamy **sinusoidą**. To słowo warto zapamiętać także dlatego, że często bywa używane przenośnie (np. „Życie człowieka to sinusoida – czasem wszystko się dobrze układa, a czasem spotyka nas seria nieszczęść").

Położenie równowagi i amplituda

Miejsce, w którym początkowo ciężarek spoczywał, to **położenie równowagi**. Nazwa bierze się stąd, że w tym punkcie siła sprężystości $\vec{F}$, która ciągnie ciężarek w górę, **równoważy** jego ciężar $\vec{F}_g$ (patrz rys. obok).

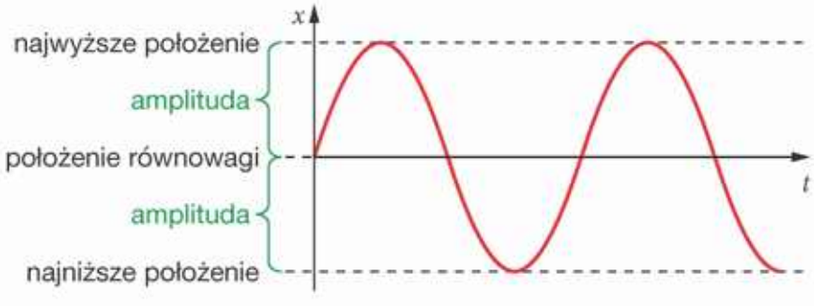
> Położenie równowagi to punkt, w którym siły działające na ciało się równoważą.



▲ Siły działające na ciężarek w położeniu równowagi

Dlatego ciężarek w położeniu równowagi może spoczywać. Gdy jednak wychylimy go z tego położenia, zaczyna się poruszać – o działających wtedy siłach powiemy więcej na następnej lekcji.

Z wykresu poniżej opisującego ruch ciężarka wynika, że maksymalne wychylenia w górę i w dół znajdują się w tej samej odległości od położenia równowagi. Jak wiesz ze szkoły podstawowej, odległość między maksymalnym wychyleniem a położeniem równowagi to **amplituda drgań**. Amplitudę drgań oznaczamy A i wyrażamy w jednostkach długości, np. w metrach.



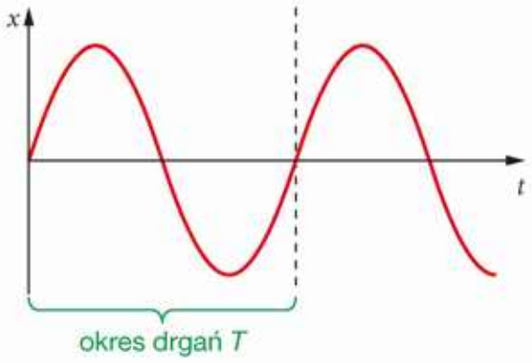
◀ Amplitudę ruchu drgającego można odczytać z wykresu

Uwaga. W niektórych dziedzinach pojęcie amplitudy rozumiemy inaczej. Na przykład dobowa amplituda temperatury to różnica między maksymalną a minimalną temperaturą w ciągu doby.

Okres i częstotliwość ruchu drgającego

W opisie ruchu interesuje nas także, jak długo trwa cały cykl drgań (np. od maksymalnego wychylenia ciężarka w górę do następnego maksymalnego wychylenia w górę albo od osiągnięcia położenia równowagi w czasie ruchu w górę, przez maksymalne wychylenie, minimalne wychylenie, do ponownego osiągnięcia punktu równowagi w czasie ruchu w górę).

Czas trwania pełnego cyklu drgań to **okres drgań**.



▲ Okres drgań możemy odczytać z wykresu

W praktyce okres drgań najłatwiej odczytywać na podstawie punktów przecięcia wykresu z osią czasu.

Zauważ, że czas ruchu od maksymalnego wychylenia w jedną stronę do maksymalnego wychylenia w drugą stronę to tylko pół okresu drgań.
Okres oznaczamy T i wyrażamy w jednostkach czasu, zwykle w sekundach.
W wielu sytuacjach ważne jest także, jak wiele okresów przypada na jednostkę czasu, np. na 1 s. Wielkością, która o tym informuje, jest częstotliwość.

Liczbę okresów przypadającą na jednostkę czasu nazywamy **częstotliwością**.

Częstotliwość oznaczamy literą f. Jej jednostką jest **herc**: $1\ \text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$.
Częstotliwość jest równa odwrotności okresu:

$$f = \frac{1}{T}$$

Jeśli okres trwa $\frac{1}{5}$ s, to na 1 s przypada 5 cykli drgań, czyli częstotliwość wynosi 5 Hz.

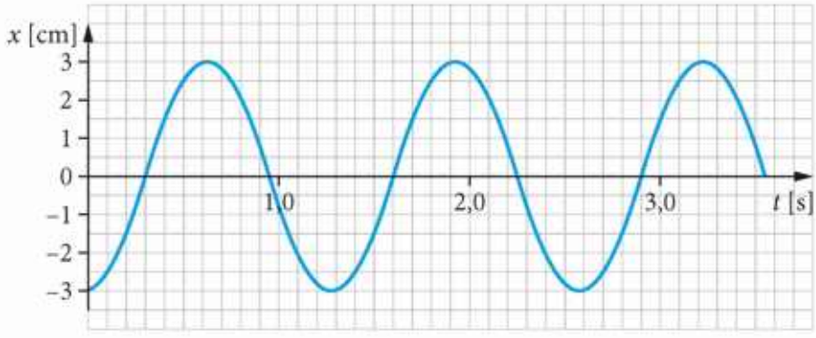
Odczytywanie z wykresu wielkości opisujących ruch

Przed chwilą pokazaliśmy, że zarówno amplitudę, jak i okres ruchu drgającego możemy odczytać z wykresu. Jeśli interesuje nas częstotliwość ruchu, obliczamy ją na podstawie okresu.

Przykład

Analiza wykresu ruchu drgającego

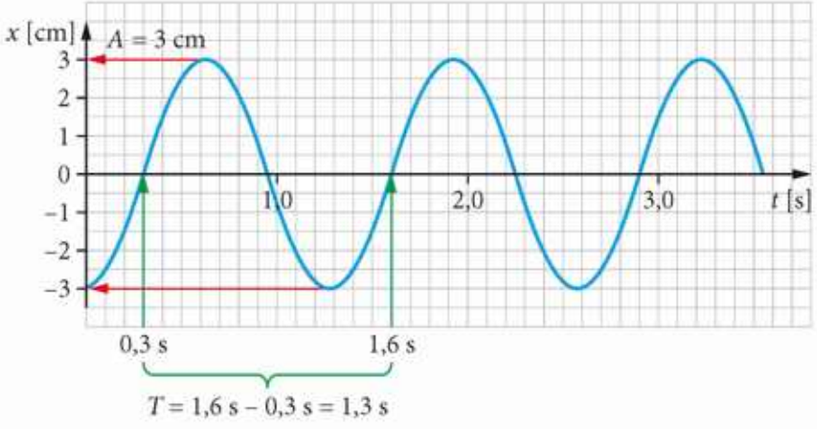
Określ amplitudę, okres i częstotliwość ruchu drgającego przedstawionego na wykresie zależności położenia od czasu.



Podobnym wykresem opisujemy zarówno ruch ciężarka na sprężynie, ruch wahadła, jak i wiele innych przykładów drgań.

Rozwiązanie:

Na rysunku poniżej czerwone strzałki pokazują, jak odczytać maksymalne odchylenie ciała w każdą stronę. Widzimy, że wynosi ono $A = 3$ cm.



Okres to czas trwania pełnego cyklu drgań – patrz zielona klamra. **Amplituda** to maksymalne wychylenie z położenia równowagi – patrz czerwone strzałki.

Okres drgań możemy określić np. jako czas między dwoma kolejnymi maksymalnymi wychyleniami w górę, ale łatwiej jest znaleźć punkty przecięcia wykresu z osią czasu, które oznaczają czas przejścia ciała przez położenie równowagi.

Trzeba tylko pamiętać, że cały cykl zawiera się między tymi kolejnymi momentami przejścia ciała przez położenie równowagi, gdy ciało **poruszało się w tę samą stronę** (np. w górę). Takie chwile zaznaczono zielonymi strzałkami. Jak widać, na naszym wykresie są to chwile 0,3 s i 1,6 s. Wobec tego okres wynosi:

$$T = 1{,}6\ \text{s} - 0{,}3\ \text{s} = 1{,}3\ \text{s}$$

Kiedy już odczytaliśmy z wykresu okres drgań, możemy ze wzoru $f = \frac{1}{T}$ obliczyć częstotliwość:

$$f = \frac{1}{1{,}3\ \text{s}} \approx 0{,}77\ \text{Hz}$$

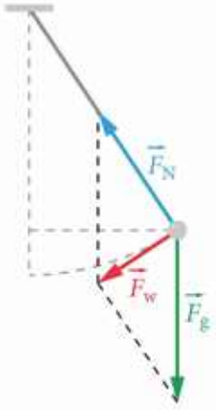
Odpowiedź: Amplituda ruchu przedstawionego na wykresie wynosi 3 cm, okres drgań 1,3 s, a ich częstotliwość ok. 0,77 Hz.

D Wahadło matematyczne

Innym przykładem ciała wykonującego drgania jest **wahadło matematyczne**, czyli mały przedmiot zawieszony na lekkiej i nierozciągliwej nici.

Jakie siły działają na wahadło? Jedną z nich jest siła ciężkości $\vec{F}_g$, drugą – siła naciągu nici $\vec{F}_N$.

Położeniem równowagi dla wahadła jest oczywiście pozycja, w której nić jest ustawiona pionowo. Jeśli wychylimy wahadło z tego położenia i je puścimy, to wypadkowa opisanych sił spowoduje ruch w stronę położenia równowagi. Gdy rozpędzone wahadło w końcu osiągnie to położenie, nie zatrzyma się, ale będzie poruszać się dalej.



▲ Sytuacja tuż po puszczeniu wahadła

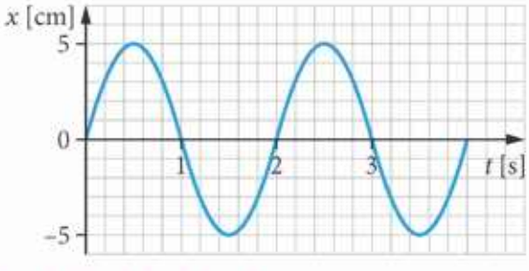
To najważniejsze

- Ciało spoczywające w położeniu równowagi rozpoczyna ruch dopiero po wychyleniu go z tego położenia – zaczyna wówczas drgać wokół niego.
- **Amplituda** A to maksymalne wychylenie ciała z położenia równowagi.
- **Okres** T to czas pełnego cyklu drgań, a **częstotliwość** f to liczba okresów na sekundę. Częstotliwość jest równa odwrotności okresu: $f = \frac{1}{T}$.
- Amplitudę wyrażamy w jednostkach długości, a okres – w jednostkach czasu. Jednostką częstotliwości jest **herc**: $1\ \text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dziecko buja się na huśtawce. Od jednego do drugiego maksymalnego wychylenia do przodu mijają 2 s. Oblicz okres i częstotliwość tych drgań.
2. Przeanalizuj wykres i określ amplitudę, okres i częstotliwość drgań ciała.



3. Naszkicuj wykres przedstawiający ruch drgający o amplitudzie 3 cm i okresie 0,5 s.
4. Okres drgań wahadła wynosi 0,8 s. W pewnej chwili podczas ruchu w prawo wahadło przechodzi przez położenie równowagi. Określ, gdzie znajdzie się wahadło po podanym czasie od tej chwili i w którą stronę będzie się poruszać.

a) 0,2 s **b)** 0,4 s **c)** 0,8 s

Doświadczenie domowe

Ruch drgający

1. Sfilmuj przykład ruchu drgającego w swoim otoczeniu.
2. Na podstawie nagranego filmu wyznacz okres drgań i oblicz ich częstotliwość.





12. Wahadło sprężynowe

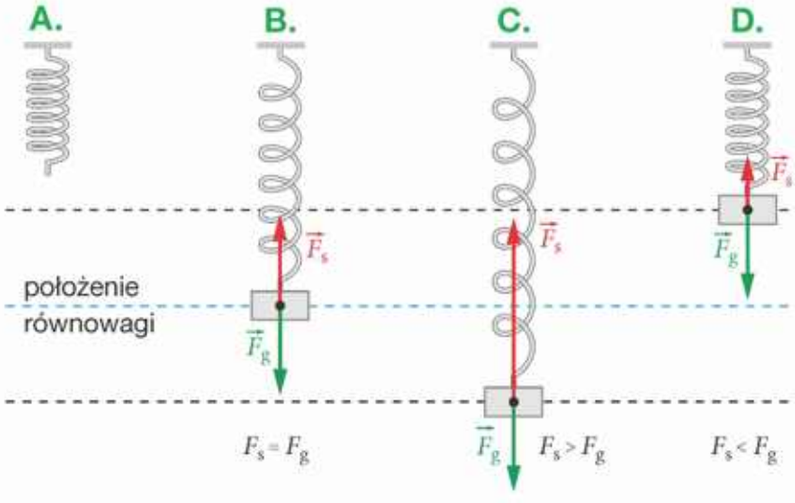
Cele lekcji:

- Nauczysz się analizować ruch ciała na sprężynie.
- Nauczysz się dostrzegać przemiany energii w ruchu drgającym.

Siły działające na ciężarek zawieszony na sprężynie

Na poprzedniej lekcji opisywaliśmy ruch ciężarka zawieszonego na sprężynie, czyli wahadła sprężynowego. Teraz wyjaśnimy przyczyny tego ruchu.

Na obciążnik zawieszony na sprężynie działają dwie siły: siła ciężkości $\vec{F}_g$ oraz siła sprężystości sprężyny $\vec{F}_s$ (patrz rys. poniżej). Siła ciężkości jest stała, natomiast siła sprężystości zmienia się proporcjonalnie do rozciągnięcia sprężyny.



Rozważamy ruch, w którym sprężyna nigdy nie jest ściśnięta do długości mniejszej niż jej długość bez obciążenia (porównaj rysunki A i D).

◀ Siły działające na ciężarek na sprężynie: $\vec{F}_s$ – siła sprężystości, $\vec{F}_g$ – siła ciężkości

- W położeniu równowagi (rys. B) siła sprężystości równoważy siłę ciężkości.
- Poniżej położenia równowagi (rys. C) sprężyna jest mocniej rozciągnięta, siła sprężystości przeważa, więc wypadkowa jest skierowana w górę.
- Powyżej położenia równowagi (rys. D) siła sprężystości jest mniejsza od siły ciężkości, więc wypadkowa jest skierowana w dół.

Nasze wnioski można opisać krótko:

> Im większa odległość obciążnika od położenia równowagi, tym większa wartość siły wypadkowej działającej na obciążnik. Wektor siły wypadkowej jest zawsze skierowany **w stronę położenia równowagi**.

Skoro siła wypadkowa zawsze działa w stronę położenia równowagi, rozumiemy już, dlaczego wychylony i puszczony ciężarek wraca do tego położenia.
Ale dlaczego się tam nie zatrzymuje? Dzieje się tak z powodu bezwładności. W położeniu równowagi ciężarek ma pewną prędkość i dopiero gdy przekroczy to położenie, pojawia się siła, która go hamuje.

Przemiany energii w ruchu wahadła sprężynowego

Podczas ruchu ciężarka cyklicznym przemianom ulegają trzy formy energii:
- **kinetyczna** (E_k) – tym większa, im szybciej porusza się ciężarek,
- **potencjalna grawitacji** (E_{pg}) – tym większa, im wyżej się on znajduje,
- **potencjalna sprężystości** (E_{ps}) – tym większa, im mocniej jest rozciągnięta sprężyna.

Zmiany tych form energii w czasie ruchu przedstawiono na infografice (patrz s. 74–75).
Jeśli pominiemy straty energii wywołane przez opory ruchu, to suma tych trzech form energii jest wielkością stałą, co wynika z zasady zachowania energii.

> W ruchu drgającym bez oporów energia całkowita jest stała.

Gdy pamiętamy, od czego zależy energia w poszczególnych formach, bez trudu możemy określić, jakie przemiany energii zachodzą w poszczególnych momentach ruchu.

Przykład

Analiza przemian energii

Ciężarek wahadła sprężynowego znajduje się poniżej położenia równowagi i porusza się w górę.

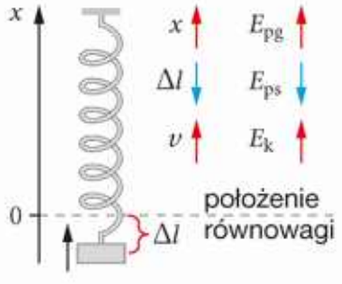
a) Opisz, jak zmieniają się poszczególne formy energii.

b) Określ, jak zmienia się całkowita energia potencjalna (tzn. $E_{pg} + E_{ps}$).

Rozwiązanie:

a) Ciężarek porusza się w górę, więc energia potencjalna grawitacji E_{pg} rośnie.
Sprężyna jest coraz słabiej rozciągnięta, więc energia potencjalna sprężystości E_{ps} maleje.
Ciężarek zbliża się do położenia równowagi, a więc się rozpędza, czyli energia kinetyczna E_k rośnie.

Zatem E_{ps} zmienia się w E_{pg} i E_k.



b) Wiemy, że E_{pg} rośnie, a E_{ps} maleje. Taki opis nie pozwoli nam rozstrzygnąć, jak zachowuje się ich suma, ponieważ nie wiemy, który składnik przeważa. Zwróćmy więc uwagę na energię kinetyczną. Skoro E_k rośnie, a całkowita energia pozostaje bez zmian, to całkowita energia potencjalna $E_{pg} + E_{ps}$ musi maleć.

To najważniejsze

- **Wahadło sprężynowe** to ciężarek (obciążnik) zawieszony na sprężynie.
- Na taki ciężarek działają dwie siły: **siła ciężkości** oraz siła **sprężystości sprężyny**.
- W położeniu równowagi siły ciężkości i sprężystości się równoważą, a w każdym innym położeniu ich wypadkowa jest skierowana w stronę położenia równowagi.
- W ruchu drgającym ciężarka na sprężynie **cyklicznym przemianom ulegają trzy formy energii**: kinetyczna, potencjalna grawitacji i potencjalna sprężystości.
- W ruchu drgającym bez oporów energia całkowita jest stała.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Kiedy prędkość ciężarka w wahadle sprężynowym jest największa, a kiedy najmniejsza?

   Ilustracja do zadań 2.–4., zamieszczona na dole strony, przedstawia kolejne położenia w ruchu wahadła sprężynowego, oznaczone literami A–M.

2. Przepisz do zeszytu trzy zdania. Uzupełnij zakreślone miejsca literami oznaczającymi odpowiednie położenia wahadła.

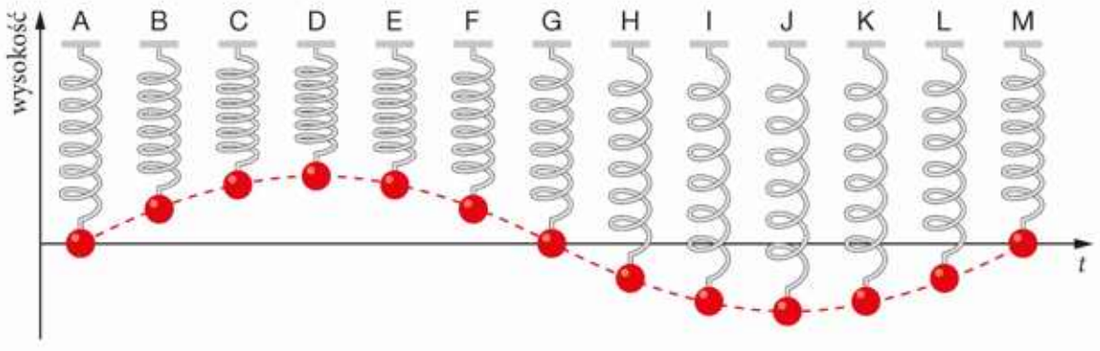
   Prędkość chwilowa ciężarka jest równa zeru w położeniach ▨ i ▨.

   W położeniach ▨, ▨, ▨, ▨, ▨ i ▨ ciężarek porusza się w górę.

   W położeniach ▨, ▨, ▨ i ▨ wartość prędkości ciężarka rośnie.

3. Określ, w którą stronę (w górę czy w dół) jest skierowana siła wypadkowa działająca na ciężarek w położeniach B, F, H, K.

4. Określ, jakie przemiany energii zachodzą w położeniach B, F, H, K.



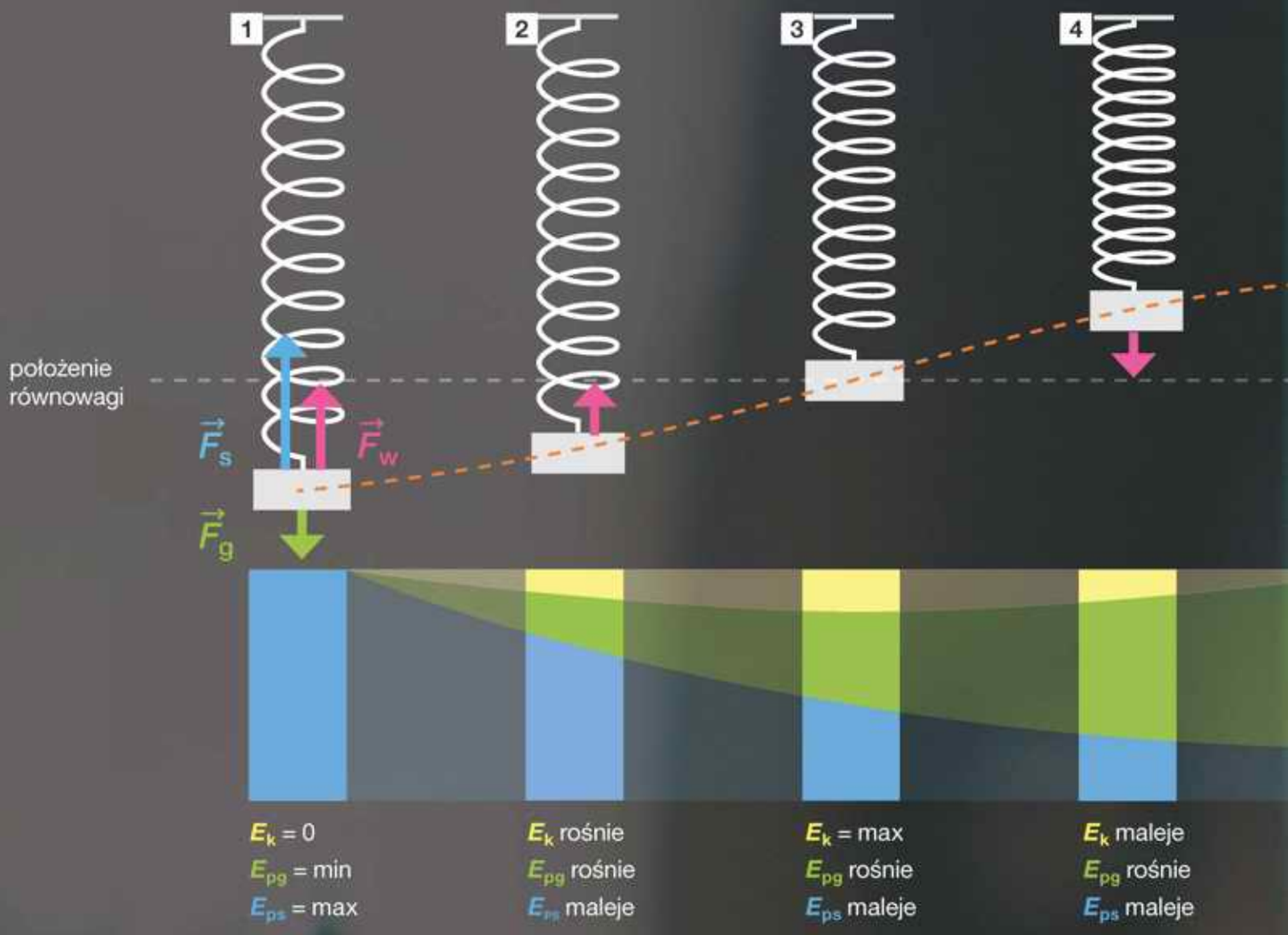
Ciężarek na sprężynie

W położeniu równowagi siły działające na ciężarek się równoważą.
A co się stanie, gdy pociągniemy go w dół i puścimy?

1 Po rozciągnięciu sprężyny siła sprężystości F_s ma większą wartość niż siła ciężkości F_g. Wypadkowa tych sił F_w nadaje ciężarkowi przyspieszenie skierowane do góry.

2 Siła wypadkowa F_w nadal rozpędza ciężarek w stronę położenia równowagi.

3 W położeniu równowagi siła wypadkowa $F_w = 0$ N, ale ciężarek porusza się dalej dzięki swojej bezwładności.



Przemiany energii w ruchu wahadła sprężynowego

Przemianom ulegają trzy formy energii:

kinetyczna E_k – tym większa, im szybciej porusza się ciężarek,

potencjalna grawitacji E_{pg} – tym większa, im wyżej się on znajduje,

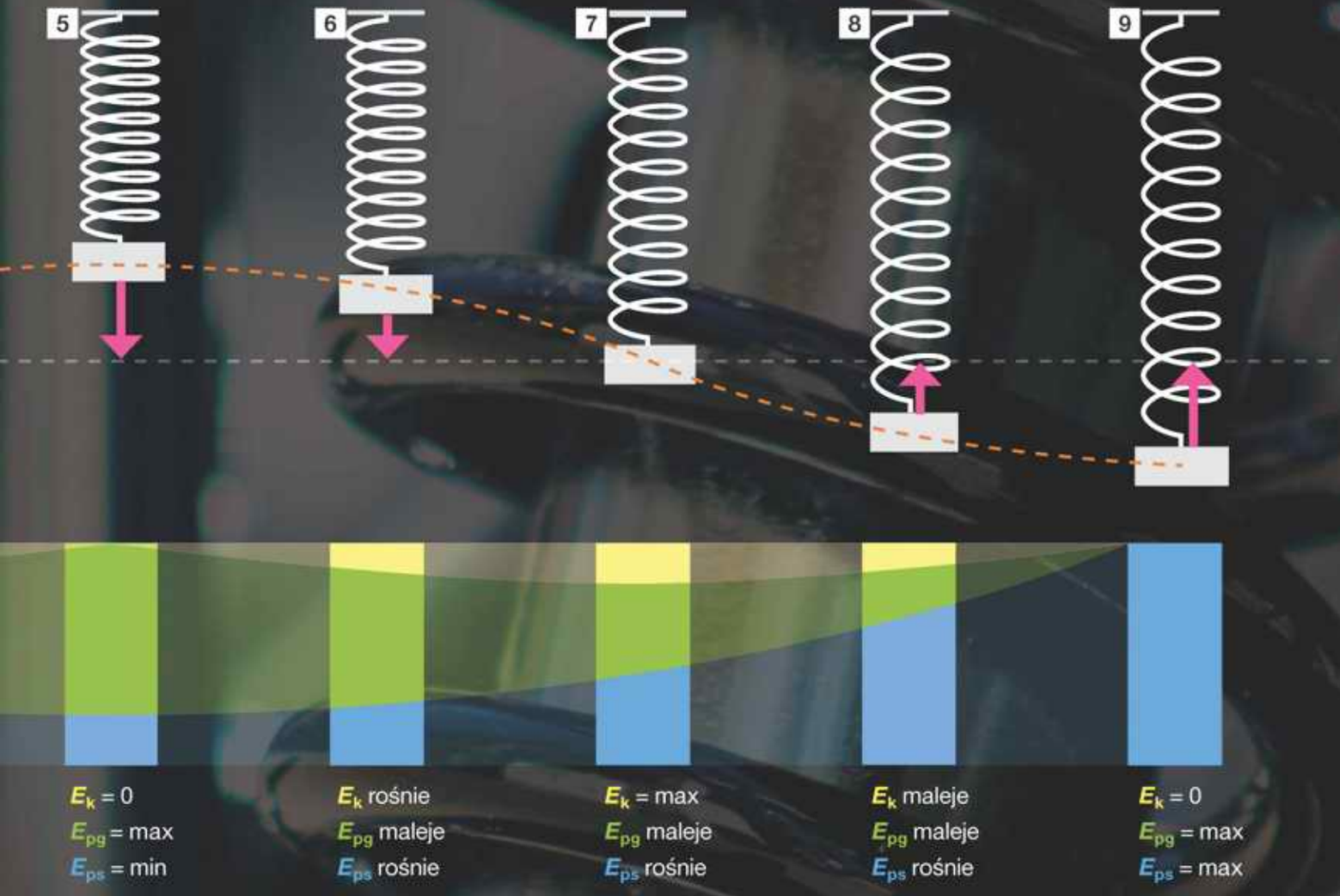
potencjalna sprężystości E_{ps} – tym większa, im mocniej rozciągnięta jest sprężyna.

Ich suma jest stała (pomijamy opory ruchu), ale większa, niż była w przypadku ciężarka spoczywającego w położeniu równowagi. Podczas rozciągania sprężyny przed rozpoczęciem ruchu wykonaliśmy pracę i zwiększyliśmy energię całkowitą wahadła: wzrost E_{ps} był większy niż zmniejszenie się E_{pg}.

4 Powyżej położenia równowagi siła wypadkowa jest zwrócona w dół i powoduje wyhamowywanie ciężarka.

5 Ciężarek zatrzymuje się – osiąga maksymalne wychylenie w górę. Wypadkowa sił cały czas jest zwrócona w dół – zaczyna się ruch w stronę położenia równowagi.

6-9 W punktach 6.-9. ciężarek przechodzi przez takie same fazy jak w punktach 1.-4., ale w odwrotnej kolejności.



5	6	7	8	9
$E_k = 0$ $E_{pg} = max$ $E_{ps} = min$	E_k rośnie E_{pg} maleje E_{ps} rośnie	$E_k = max$ E_{pg} maleje E_{ps} rośnie	E_k maleje E_{pg} maleje E_{ps} rośnie	$E_k = 0$ $E_{pg} = max$ $E_{ps} = max$



13. Badanie wahadła sprężynowego

Cele lekcji:

- Zbadasz doświadczalnie, od czego zależy okres drgań wahadła sprężynowego.
- Przećwiczysz umiejętność wykonywania pomiarów.

Od czego zależy okres wahadła sprężynowego?

W tej lekcji odpowiemy na pytanie, od czego zależy okres (a więc i częstotliwość) drgań wahadła sprężynowego. Wykonajmy doświadczenie.

Doświadczenie obowiązkowe

Badanie wahadła sprężynowego

Uwaga. Doświadczenie jest pracochłonne, więc warto podzielić pomiary pomiędzy kilka osób, np. niech każdy uczeń wykona pomiary dla jednej sprężyny.

1. Przygotuj statyw, dwie różne sprężyny, obciążniki o różnych masach, stoper, wagę kuchenną.
2. Powieś na statywie sprężynę i zawieś na niej obciążnik.
3. Wpraw obciążnik w ruch drgający i zmierz okres drgań.

Uwaga. Okres drgań można wyznaczyć dokładniej na podstawie pomiaru kilkudziesięciu cykli drgań.

4. Wykonaj swoje pomiary dla kilku różnych amplitud. Czy okres zależy od amplitudy drgań? A jeśli tak, to czy ta zależność jest rosnąca, czy malejąca?
5. Wykonaj pomiary dla obciążników o różnych masach. Czy okres zależy od masy ciężarka? A jeśli tak, to czy ta zależność jest rosnąca, czy malejąca?
6. Porównaj wyniki pomiarów dla jednakowych obciążników zawieszonych na dwóch sprężynach o różnych współczynnikach sprężystości. Czy okres zależy od stałej sprężystości? A jeśli tak, to czy ta zależność jest rosnąca, czy malejąca?



Analiza wyników doświadczenia

W naszym doświadczeniu otrzymaliśmy następujące wyniki pomiarów.

Zależność okresu drgań od amplitudy

Zmierzyliśmy czas trwania 40 okresów drgań dla czterech różnych amplitud. Nie zmienialiśmy przy tym ani sprężyny, ani obciążnika. Wyniki przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów amplitudy i okresu

A [cm]	0,5	1	2	3
$40T$ [s]	15	14	14	14
T [s]	0,38	0,35	0,35	0,35

Niepewność pomiaru 40 okresów możemy oszacować na 1 s, ponieważ składa się na nią zarówno niepewność włączania stopera, jak i jego wyłączania. Z danych zebranych w tabeli wynika, że w granicach niepewności pomiarowej okres drgań wahadła **nie zależy** od amplitudy drgań.

Zależność okresu drgań od masy

Zbadaliśmy zależność okresu drgań od masy ciężarka dla pięciu różnych mas. Wyniki przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Wyniki pomiarów masy i okresu

m [g]	20	50	70	100	120
$40T$ [s]	11	14	16	19	21
T [s]	0,28	0,35	0,40	0,48	0,53

Wzrost wyników pomiarów $40T$ jest większy niż niepewność pomiaru $40T$ wynosząca 1 s.

Z analizy danych zawartych w tabeli wynika, że **im większa masa** ciężarka, **tym dłuższy okres** jego drgań.

Zależność okresu drgań od współczynnika sprężystości

Zamieniliśmy dotychczasową sprężynę na taką, która po powieszeniu tego samego ciężarka rozciągała się w większym stopniu, co oznacza, że miała mniejszy współczynnik sprężystości. Wyznaczyliśmy okres drgań dla ciężarka o masie 50 g i porównaliśmy z wynikiem wcześniejszych pomiarów (patrz tabela 3).



Tabela 3. Wyniki pomiarów okresu drgań dla różnych sprężyn

Okres	Sprężyna o większym k	Sprężyna o mniejszym k
$40T$ [s]	14	27
T [s]	0,35	0,68

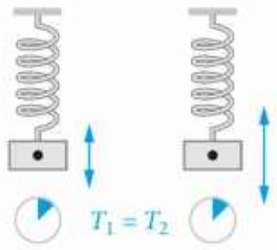
Jak widać, dla ciężarka o tej samej masie okres drgań sprężyny jest tym **większy**, im **mniejszy** jest jej współczynnik sprężystości.

Okres drgań a amplituda

Podsumujmy i wyjaśnijmy wyniki doświadczenia.

> Okres drgań wahadła sprężynowego nie zależy od ich amplitudy.

Dlaczego? Gdy amplituda jest większa, ciężarek w ciągu jednego cyklu drgań przebywa dłuższą drogę. Jednak na mocniej wychylony ciężarek działa większa siła sprężystości, a większa siła nadaje ciału większe przyspieszenie. Te dwa czynniki się redukują.



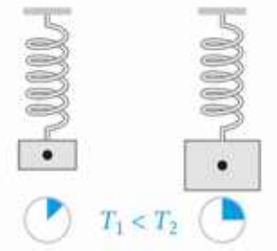
▲ Chociaż ciężarki drgają z różną amplitudą, okres drgań jest ten sam

Okres drgań a masa

Drugą zbadaną przez nas zależnością był wpływ masy ciężarka na okres jego drgań.

> Im większa masa ciężarka, tym większy okres drgań.

Tę zależność łatwo zrozumieć, gdy pamiętamy, że masa określa bezwładność ciała. Większą masę trudniej wprawić w ruch, a potem zatrzymać. Wobec tego cykl drgań trwa dłużej dla ciężarka o większej masie.



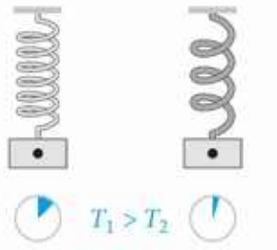
▲ Prawy ciężarek ma większą masę, więc okres jego drgań jest większy

Okres drgań a współczynnik sprężystości

Wreszcie ostatnim badanym czynnikiem był współczynnik sprężystości sprężyny.

> Im większy współczynnik sprężystości, tym mniejszy okres drgań.

Większy współczynnik sprężystości oznacza większą siłę przy takim samym wychyleniu z położenia równowagi. Z kolei większa siła powoduje większe przyspieszenie, czyli drgania zachodzą szybciej, a ich okres jest krótszy.



▲ Prawy ciężarek zawieszono na twardszej sprężynie, dlatego okres jego drgań jest mniejszy

Czy w opisanych zależnościach występuje proporcjonalność

Wraz ze wzrostem masy ciężarka wzrasta jego okres drgań, ale **nie jest** to przykład proporcjonalności prostej. Okres nie wzrasta **tyle samo razy** co masa ciężarka. Na przykład, gdy ciężarek o masie 20 g zamienimy na ciężarek o masie 100 g, czyli na 5 razy cięższy, okres drgań wzrośnie z 0,28 s do 0,48 s, a więc ok. 2 razy, a nie 5 razy. Podobnie zależność okresu od współczynnika sprężystości **nie jest** przykładem proporcjonalności odwrotnej.

To najważniejsze

- Aby z większą dokładnością zmierzyć czas trwania powtarzającego się zjawiska, np. drgań wahadła, mierzymy łącznie wiele okresów i dzielimy wynik pomiaru przez ich liczbę.
- Okres drgań wahadła sprężynowego **nie zależy** od ich amplitudy.
- **Im większa** masa ciężarka, **tym dłuższy** okres drgań.
- **Im większa** stała sprężystości (im twardsza sprężyna), **tym krótszy** okres drgań.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Na sprężynie o współczynniku sprężystości 20 $\frac{N}{m}$ drga z amplitudą równą 2 cm ciężarek o masie 50 g. Określ i uzasadnij, jak zmieni się jego okres drgań (wzrośnie, zmaleje czy pozostanie bez zmian), jeśli:

a) ciężarek zamienimy na inny, o masie 100 g,

b) sprężynę zamienimy na inną, o współczynniku sprężystości 30 $\frac{N}{m}$,

c) nie zmienimy sprężyny ani ciężarka, ale zwiększymy amplitudę drgań do 3 cm.

2. Przepisz zdania do zeszytu i uzupełnij je trzema określeniami z ramki.

mniejsza • większa • nie zależy • zależy

Częstotliwość drgań /// od amplitudy drgań.

Im większy współczynnik sprężystości, tym /// częstotliwość drgań.

Im większa masa ciężarka, tym /// częstotliwość drgań.

3. Uczniowie badali zależność okresu T drgań wahadła sprężynowego od amplitudy A. Dla kolejnych wartości A mierzyli czas 20 wahnięć ($20T$). Czas mierzyli za pomocą stopera włączanego i wyłączanego ręcznie. Wyniki zebrali w tabeli.

A [cm]	1	2	3	4	5
$20T$ [s]	14	13	13	14	14

a) Oszacuj niepewność pomiaru $20T$ oraz T opisaną metodą. Czy w granicach tej niepewności wyniki były jednakowe?

b) Oblicz średnią wartość $20T$, a następnie oblicz jeden okres T.

Doświadczenie domowe

Okres wahadła matematycznego

1. Zbuduj wahadło matematyczne o długości 160 cm (patrz s. 70). W tym celu na bawełnianej nici zawieś ciężki przedmiot, np. stalową nakrętkę.

2. Zmierz okres wahań. Aby zrobić to dokładniej, zmierz długość 25 okresów i podziel wynik pomiaru przez 25.

3. Skróć wahadło do 40 cm. Jak sądzisz, czy okres się zwiększy, czy zmniejszy? Ile razy? Zapisz swoje przypuszczenia.

4. Zmierz okres drgań wahadła i sprawdź, czy twoje przewidywania były słuszne.





14. Drgania wymuszone i tłumione. Rezonans

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jaki wpływ na drgania mają opory ruchu i dostarczanie energii.
- Poznasz zjawisko rezonansu, jego zastosowania i związane z nim niebezpieczeństwa.

Drgania tłumione

Do tej pory rozważaliśmy drgania, w których ciało po pełnym cyklu wracało do początkowego położenia. Ich amplituda się nie zmieniała, więc taki ruch mógłby trwać w nieskończoność. Wiadomo jednak, że w rzeczywistości wahadło – czy to matematyczne, czy sprężynowe – w końcu przestaje się poruszać, podobnie jak huśtawka albo szarpnięta struna. Dlaczego tak się dzieje? Otóż wszystkie **drgania** w rzeczywistości są **tłumione**. Zbadamy to w doświadczeniu.

Doświadczenie 8.

Badanie drgań tłumionych

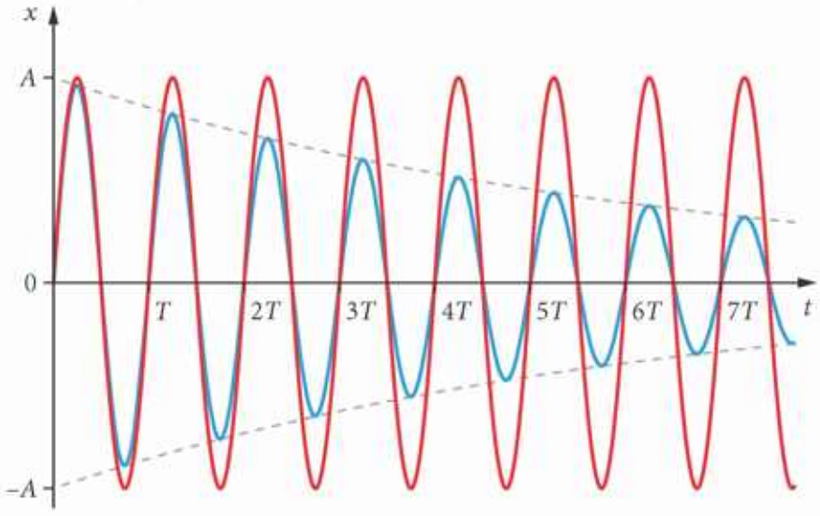
1. Przygotuj statyw (lub poziomo zawieszoną rurkę), dwie nici jednakowej długości, plastelinę, kolorową karteczkę.
2. Do dwóch nici jednakowej długości przyklej plastelinowe kulki tej samej wielkości.
3. Tak przygotowane wahadła zawieś na statywie. Wprawje w ruch i sprawdź, że zachowują się jednakowo.
4. Do jednego z wahadeł przymocuj karteczkę.
5. Wychyl wahadła o ten sam kąt i puść. Obserwuj je. Jakie różnice w ich ruchu można stwierdzić?



Drgające ciało prędzej czy później zatrzymuje się ze względu na opory ruchu. W naszym doświadczeniu kulka z karteczką zatrzymała się znacznie szybciej z powodu oporu powietrza. Jednak także druga kulka zwalniała i w końcu się zatrzymała – zarówno z powodu oporu powietrza, jak i oporów w punkcie zawieszenia nici.

Gdy na skutek strat energii zmniejsza się amplituda drgań, mówimy o **drganiach tłumionych**.

W zasadzie każde drgania są tłumione, chyba że do drgającego ciała stale dostarczamy energię uzupełniającą straty.



Porównanie drgań tłumionych (niebieskie) i nietłumionych (czerwone) o tej samej częstotliwości

Drgania wymuszone i rezonans

W drganiach tłumionych amplituda stopniowo maleje. Wykonajmy proste doświadczenie, które pozwoli nam zaobserwować, w jaki sposób można uzyskać odwrotny efekt – wzrost amplitudy drgań.

Doświadczenie obowiązkowe

Demonstracja zjawiska rezonansu

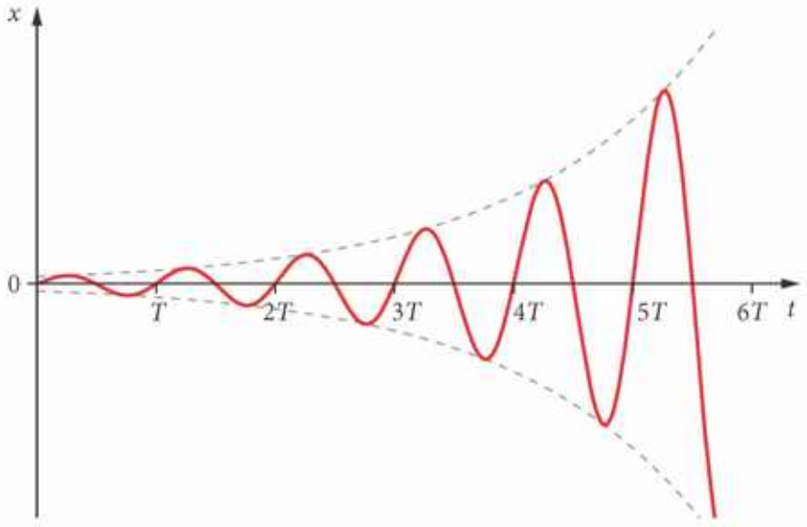
1. Przygotuj gumkę recepturkę, ciężarek, stoper lub zegarek z sekundnikiem.
2. Rozetnij gumkę recepturkę. Do jej jednego końca przywiąż ciężarek, a drugi koniec przywiąż sobie do palca.
3. Wpraw ciężarek w ruch w pionie. Poproś drugą osobę, aby za pomocą stopera wyznaczyła okres i częstotliwość drgań ciężarka.
4. Poruszaj rytmicznie palcem w górę i w dół. Znajdź taką częstotliwość, aby amplituda drgań ciężarka wzrastała.



Analiza doświadczenia

Ciężarek, wprawiony w ruch i pozostawiony samemu sobie, wykonuje drgania o pewnej określonej częstotliwości, zwanej **częstotliwością drgań własnych**. Gdy na drgający ciężarek zadziałamy siłą zewnętrzną, którą będziemy dowolnie zmieniać, spowodujemy zaburzenia w jego ruchu. Największy efekt uzyskamy dla częstotliwości zmian siły zewnętrznej równej częstotliwości drgań własnych ciała.

Gdy częstotliwość zmian siły zewnętrznej działającej na drgające ciało jest równa częstotliwości drgań własnych tego ciała, amplituda drgań szybko wzrasta. Takie zjawisko nazywamy **rezonansem**.



◀ W przypadku rezonansu amplituda drgań rośnie. Gdyby nie tłumienie, rosłaby w nieskończoność

Amplituda mogłaby rosnąć w nieskończoność (patrz wykres powyżej), ale w rzeczywistości w miarę jej wzrostu rosną też straty energii (czyli tłumienie drgań). Amplituda rośnie więc do osiągnięcia wartości, przy której energia dostarczana jest równa energii traconej.

Przykłady rezonansu

Gdy szarpniesz strunę gitary elektrycznej niepodłączonej do wzmacniacza, usłyszysz bardzo cichy dźwięk. Inaczej jest w przypadku gitary akustycznej. Dlaczego? Gitara akustyczna, podobnie jak wiele innych instrumentów, jest wyposażona w **pudło rezonansowe**. Powietrze w pudle wpada w rezonans, dzięki czemu energia struny jest szybciej przekazywana do powietrza. Ze względu na skomplikowany kształt pudła rezonans jest możliwy przy różnych częstotliwościach.

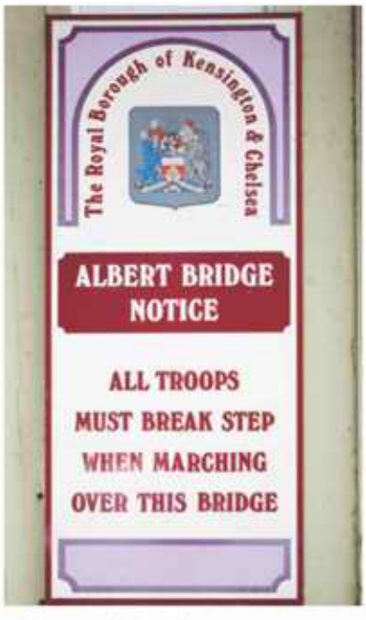


▲ Dzięki pudłu rezonansowemu gitara jest znacznie głośniejsza

Rezonans wykorzystujemy także w medycynie. Kiedy za pomocą ultradźwięków pobudzamy kamienie nerkowe do drgań z częstotliwością równą częstotliwości drgań własnych, rozpadają się one i mogą być usunięte z organizmu bez operacji chirurgicznej. Urządzenie do takiego nieinwazyjnego zabiegu możesz zobaczyć na zdjęciu otwierającym lekcję (patrz s. 80).

Często jednak rezonans jest zjawiskiem niepożądanym. Podczas projektowania maszyn inżynierowie muszą zadbać, aby pod wpływem drgań silnika całość urządzenia nie wpadała w rezonans, ponieważ mogłoby to spowodować zniszczenia lub wypadek.

Zdarzało się już, że oddział wojska maszerujący w nogę po moście wprawiał konstrukcję w tak silny rezonans, że most się zawalał.



▲ Na moście Alberta w Londynie umieszczono zakaz maszerowania w nogę

To najważniejsze

- Gdy na skutek strat energii zmniejsza się amplituda drgań, mówimy o **drganiach tłumionych**.
- Gdy częstotliwość zmian siły zewnętrznej działającej na drgające ciało jest równa częstotliwości drgań własnych tego ciała, amplituda drgań szybko wzrasta. Takie zjawisko nazywamy **rezonansem**.
- Rezonans znalazł zastosowanie m.in. w medycynie i budowie instrumentów muzycznych. Może także być niebezpieczny, kiedy maszyny lub konstrukcje budowlane wpadną w niekontrolowane drgania.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Przepisz tekst do zeszytu. W miejsca oznaczone /// wpisz właściwe wyrażenia.

Rezonans zachodzi, gdy /// jest równa ///. Przykładem zastosowania tego zjawiska w medycynie jest /// za pomocą ///. Ich częstotliwość musi więc być równa ///.

2. Wahadło sprężynowe wprawiono w ruch w powietrzu, a następnie zanurzono je w wodzie i ponownie wprawiono w ruch. Gdzie tłumienie drgań będzie silniejsze?

3. Silnik spalinowy jest przymocowany do metalowej podstawy, której częstotliwość drgań własnych wynosi 60 Hz. Oblicz liczbę obrotów wirnika na minutę, przy której cały silnik zostanie wprawiony w drgania o dużej amplitudzie.

4. Samochód jedzie po drodze zbudowanej z płyt betonowych o długości 20 m. Częstotliwość drgań własnych jego zawieszenia wynosi 0,5 Hz. Przy jakiej prędkości pojazdu drgania wywołane przez przejazd po łączeniach płyt wprawią samochód w rezonans?

5. Śpiewanie przez dłuższy czas dźwięku o odpowiednio dobranej częstotliwości może spowodować pęknięcie szkła, np. kieliszka. W jaki sposób dobrać wysokość dźwięku do danego naczynia bez użycia przyrządów? Postaraj się samodzielnie wymyślić odpowiedź (ale nie próbuj podobnych doświadczeń – są niebezpieczne!). Następnie obejrzyj film na ten temat na kanale „Physics Girl”: https://www.youtube.com/watch?v=Oc27GxSD_bI
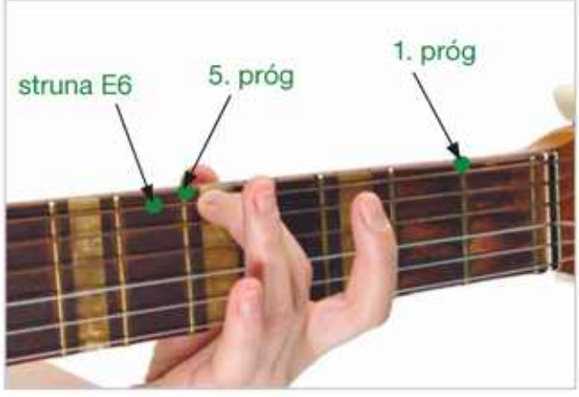
Doświadczenie domowe

Struna gra sama?

1. Weź gitarę i przyciśnij strunę E6 (najgrubszą) na piątym progu. Sprawdź, czy wydaje ona taki sam dźwięk jak nieprzyciśnięta struna A5 (sąsiednia). Jeśli nie – gitarę trzeba nastroić.

2. Mocno szarpnij przyciśniętą strunę E6 i obserwuj, co się dzieje ze struną A5.

3. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.





15. Fale mechaniczne

Cele lekcji:

- Odświeżysz wiadomości na temat fal mechanicznych i ich związku z drganiami.
- Zbadasz, czym ruch fali różni się od ruchu ośrodka.
- Przypomnisz sobie pojęcia długości, częstotliwości i amplitudy fali.

Ruch falowy

Słowo *fala* kojarzy się na ogół z falami na wodzie. Ale już ze szkoły podstawowej wiesz, że także dźwięk jest falą.
Przypomnijmy, że fala mechaniczna polega na rozchodzeniu się drgań ośrodka (np. powietrza, powierzchni wody).

Fala mechaniczna to rozchodzące się drgania ośrodka.

Jak powstaje fala? Otóż **źródłem fali** mechanicznej jest drgające ciało. Wprawia ono w ruch drgający ośrodek (wodę, powietrze), którego drgania rozchodzą się następnie na duże odległości. Gdy fala dotrze do jakiegoś ciała (np. łódki unoszącej się na wodzie), wprawia z kolei to ciało w ruch drgający (patrz schemat).



▲ Schemat rozchodzenia się fali mechanicznej

Zauważ, że do wprawienia ośrodka w ruch jest potrzebna energia. Z kolei drgający ośrodek przekazuje energię ciału, które fala wprawia w ruch.
To dowodzi, że rozchodzenie się fali wiąże się z przenoszeniem energii. Przepływa ona od źródła fali do ciała, które zostaje wprawione w ruch.

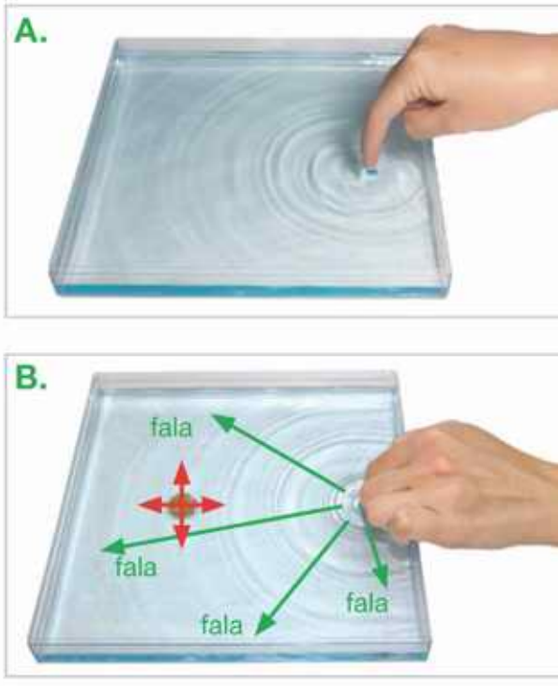
Ruch fali a ruch ośrodka

Proste doświadczenie pozwoli nam przypomnieć sobie różnicę między ruchem fali a ruchem ośrodka.

Doświadczenie 9.

Obserwacja fal na wodzie

1. Przygotuj: duże prostokątne naczynie o jasnym dnie, kawałek korka (albo inne lekkie ciało, które będzie unosić się na wodzie) oraz lampkę.
2. Nalej do naczynia trochę wody i połóż na jej powierzchni kawałek korka (albo inne lekkie ciało). Ustaw naczynie tak, aby dokładnie widzieć jego wnętrze (np. na niskim stoliku), a następnie oświetl je mocno od góry.
3. Uderzaj palcem w powierzchnię wody pośrodku naczynia. Obserwuj rozchodzące się fale oraz ruch korka. Porównaj ich ruch.



▲ Porównanie ruchu fali i ruchu ciała na wodzie

Widzimy, że po uderzeniu palcem fale na wodzie rozchodzą się we wszystkich kierunkach od źródła, którym jest palec. Natomiast korek porusza się ruchem drgającym: drga zarówno w górę i w dół, jak i do przodu i do tyłu w kierunku rozchodzenia się fal, ale nie podąża za falą. Oznacza to, że woda nie porusza się razem z falą. W przeciwnym razie pociągnęłaby za sobą korek.
Podobne zjawisko możemy zaobserwować, gdy pływamy łódką po jeziorze. Fala unosi łódź, kołysze nią, ale nie przenosi jej na drugi koniec jeziora.

> Fala może rozchodzić się na duże odległości, choć ośrodek nie przemieszcza się razem z nią.

Jak to możliwe? Gdy w naszym doświadczeniu zanurzaliśmy palec w naczyniu, usuwał on na bok pewną ilość wody i powodował podniesienie się jej powierzchni. Ta „górka" opadała, ale powodowała podniesienie się powierzchni wody obok itd.
Analogicznie, wyciągnięcie palca powodowało obniżenie poziomu wody w najbliższej okolicy. Powstały „dołek" wypełniała woda z miejsc nieco dalszych.
W ten sposób drgania rozchodziły się po całym naczyniu.
Uwaga. Falowanie morza jest zjawiskiem dużo bardziej skomplikowanym i w pewnych sytuacjach, np. przy brzegu lub przy zmianach głębokości, fale mogą powodować powstawanie prądów, które znoszą pływających na pełne morze. To zjawisko bywa niebezpieczne nawet dla osób potrafiących dobrze pływać.

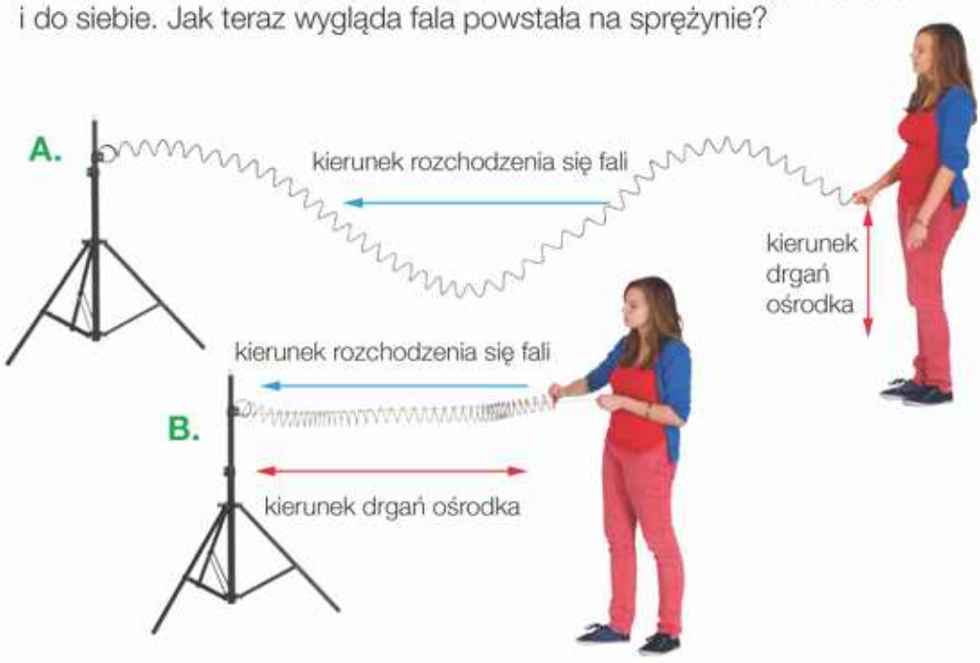
Fale podłużne i poprzeczne

Omówimy teraz dwa rodzaje fal mechanicznych: podłużne i poprzeczne. Różnica między nimi stanie się bardziej zrozumiała dzięki doświadczeniu, w którym jako model ośrodka sprężystego wykorzystamy sprężynę zabawkę.

Doświadczenie 10.

Obserwacja fal poprzecznych i podłużnych

1. Przygotuj sprężynę zabawkę (tzw. slinky) oraz kawałek sznurka długości około 2 m.
2. Przymocuj jeden koniec sprężyny do nieruchomego przedmiotu. Drugim końcem poruszaj rytmicznie w górę i w dół (rys. A). Obserwuj powstawanie fali, zwłaszcza na samym początku.
3. Przewlecz sznurek przez sprężynę, jeden jego koniec przywiąż do nieruchomego przedmiotu, a drugi trzymaj w dłoni tak, aby sznurek był napięty (rys. B). Drugą dłonią chwyć wolny koniec sprężyny i ją naciągnij. Następnie poruszaj sprężyną rytmicznie od siebie i do siebie. Jak teraz wygląda fala powstała na sprężynie?



W doświadczeniu mogłeś wprawić w ruch tylko zwoje sprężyny znajdujące się najbliżej twojej dłoni. One jednak oddziaływały na sąsiednie zwoje i wprawiały je w ruch, a te działały na jeszcze dalsze – w ten sposób fala przenosiła się wzdłuż sprężyny. Zauważmy, że w pierwszej części doświadczenia (zdjęcie A) drgania są prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali, a w drugiej (zdjęcie B) – równoległe.

W fali poprzecznej kierunek drgań jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali, a w podłużnej – równoległy.

Częstotliwość, okres i amplituda fali

Wyobraź sobie, że w doświadczeniu 9. kawałek korka unoszący się na wodzie wykonał dwa pełne cykle drgań w czasie 1 s (czyli jeden cykl drgań trwał 0,5 s), a maksymalne wychylenie z położenia równowagi było równe 3 mm. Możemy powiedzieć, że **częstotliwość fali** wynosiła 2 Hz, **okres fali** wynosił 0,5 s, a **amplituda fali** wynosiła 3 mm. Te wielkości oznaczamy dla fal takimi samymi symbolami jak w przypadku drgań.

Częstotliwością fali, okresem fali i amplitudą fali nazywamy odpowiednio częstotliwość, okres i amplitudę rozchodzących się drgań ośrodka.

f – częstotliwość
T – okres
A – amplituda

Prędkość fali

Jak zaobserwowaliśmy w obu doświadczeniach na tej lekcji, fale nie rozchodzą się natychmiast, ale potrzebują określonego czasu, aby pokonać pewną drogę. Dlatego możemy mówić o **prędkości fali**. Na ogół ta wielkość się nie zmienia, więc możemy obliczać ją tak samo jak w przypadku prędkości ciał w ruchu jednostajnym:

$$v = \frac{s}{t}$$

gdzie: v – prędkość fali, s – przebyta przez nią droga, t – czas, w którym ta droga została przebyta.

Długość fali

Ostatnią omawianą przez nas ważną wielkością służącą do opisu fali jest jej długość.

Długość fali to odległość między dwoma kolejnymi jej grzbietami.

Długość fali oznaczamy literą λ (lambda). Mierzymy ją w takich samych jednostkach jak każdą inną długość: w metrach, centymetrach, kilometrach itd.



▲ Fale na morzu – zaznaczona długość fali

O grzbietach fal mówimy nie tylko w odniesieniu do fal na wodzie. Na przykład w przypadku fal podłużnych na sprężynie w doświadczeniu 10. odpowiednikiem grzbietów są miejsca największego zagęszczenia zwojów sprężyny (znajdź je na rysunku B na poprzedniej stronie).
Dla światła i dźwięku także można zdefiniować odpowiedniki grzbietów fal. Wrócimy do tego w kolejnych lekcjach.

Zależność między wielkościami opisującymi falę

Aby znaleźć zależność między opisanymi wielkościami, trzeba zauważyć ważny fakt.

W czasie równym jednemu okresowi drgań T fala przebywa drogę równą swojej długości λ.

W takim razie równość $v = \frac{s}{t}$ możemy zapisać w postaci:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$s = \lambda,\ t = T$

Ponieważ najczęściej interesuje nas częstotliwość fali, a nie jej okres, możemy ten wzór przekształcić:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \frac{1}{T} = \lambda \cdot f$$

Z zależności między prędkością a długością fali i jej częstotliwością będziemy często korzystać:

$$v = \lambda f$$

Uwaga. Jeśli zapomnisz wzoru, możesz go wyprowadzić w przedstawiony wcześniej sposób.

Przykład

Obliczanie prędkości fali

Dziecko stoi w płytkim basenie i podskakuje co 1,2 s. Wytwarza w ten sposób falę o długości 2,24 m. Oblicz prędkość tej fali.



Dane:

$T = 1{,}2$ s – czas między kolejnymi uderzeniami w wodę

$\lambda = 2{,}24$ m – długość fali

Szukane:

$v = ?$

Rozwiązanie: Kolejne grzbiety fali powstają, gdy dziecko zanurza się głębiej w wodę, więc okres fali wynosi $T = 1{,}2$ s.

Ponieważ w czasie równym T fala przebywa odległość równą λ, więc możemy napisać:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$v = \frac{2{,}24\ \text{m}}{1{,}2\ \text{s}} = 1{,}87\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Fala przemieszcza się z prędkością 1,87 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

To najważniejsze

- **Fala mechaniczna** to rozchodzące się drgania ośrodka.
- Fala może rozchodzić się na duże odległości, choć ośrodek nie przemieszcza się wraz z nią, a jedynie wykonuje drgania.
- W niektórych sytuacjach fale morskie w pobliżu brzegu powodują powstawanie prądu wstecznego, który znosi pływaka na otwarte morze. Stanowi to duże niebezpieczeństwo.
- Do opisu fal używamy następujących wielkości: długość λ, częstotliwość f, okres T, amplituda A, prędkość v.
- Między tymi wielkościami zachodzą zależności: $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$.
- Wszystkie fale **przenoszą energię.**

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Do każdego początku zdania dobierz jedno zakończenie z ramki. Zapisz w zeszycie całe utworzone zdania.

A. Fala może się rozchodzić na duże odległości, choć ośrodek w danym punkcie...

B. W czasie równym okresowi drgań fala...

C. Fala mechaniczna...

I. ... powstaje na skutek ruchu drgającego jej źródła.
II. ... porusza się tylko ruchem drgającym.
III. ... przebywa odległość równą długości fali.

2. Płynąca motorówka wytwarza falę, która rozchodzi się po wodzie jeziora z prędkością 2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

a) Po jakim czasie fala pokona odległość 100 m, jaka dzieli motorówkę od brzegu?

b) Przelicz prędkość fali na kilometry na godzinę.

3. Na oceanie wiatr wytworzył falę, która co 10 s unosiła w górę i w dół tratwę ratunkową. Odległość między kolejnymi grzbietami fali wynosiła 90 m.

a) Oblicz prędkość fali.

b) Oblicz, w jakim czasie ta fala przebędzie 1 km.



4. Oblicz długość fali o częstotliwości 2 Hz i prędkości 5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.



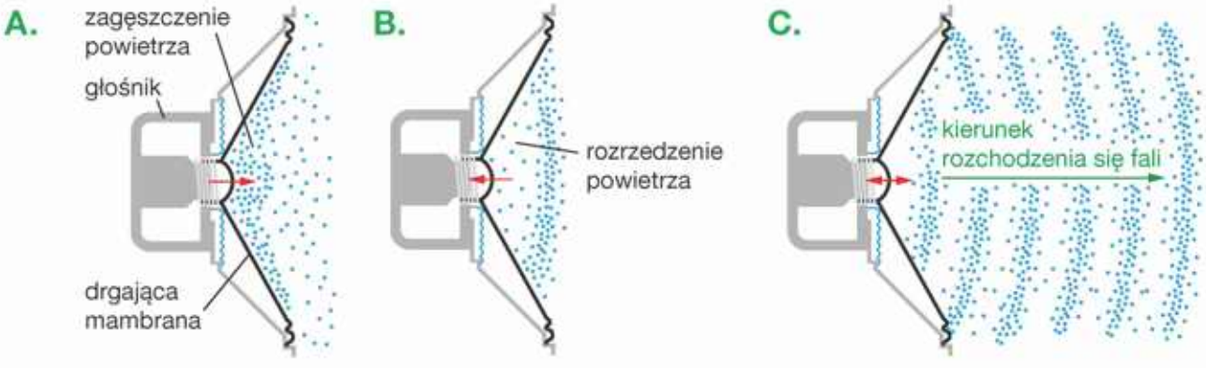
16. Fale dźwiękowe

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie i uzupełnisz wiadomości na temat fal dźwiękowych.
- Nauczysz się badać doświadczalnie dźwięk i analizować wykres dźwięku.

Powstawanie fali dźwiękowej

Jak powstaje fala dźwiękowa? Jej źródłem jest drgające ciało. Przyjmijmy, że jest to drgająca membrana głośnika. Gdy porusza się na zewnątrz, popycha znajdujące się przed sobą powietrze i tworzy w ten sposób jego zagęszczenie (patrz rys. A). Zagęszczone powietrze się rozpręża, co powoduje powstanie zgęszczenia nieco dalej itd. Podobnie gdy membrana porusza się do wewnątrz głośnika, powoduje rozrzedzenie powietrza (rys. B), które zasysa powietrze z sąsiednich miejsc. Gdy membrana drga (rys. C), fala zagęszczeń i rozrzedzeń powietrza rozchodzi się na duże odległości.



▲ Tworzenie fali dźwiękowej przez membranę głośnika

Fala dźwiękowa jest więc falą rozchodzących się zgęszczeń i rozrzedzeń powietrza podobną do fali podłużnej na sprężynie (patrz doświadczenie 10. na s. 86, rys. B).

Fala dźwiękowa jest **falą podłużną** polegającą na rozchodzeniu się zgęszczeń i rozrzedzeń ośrodka (np. powietrza).

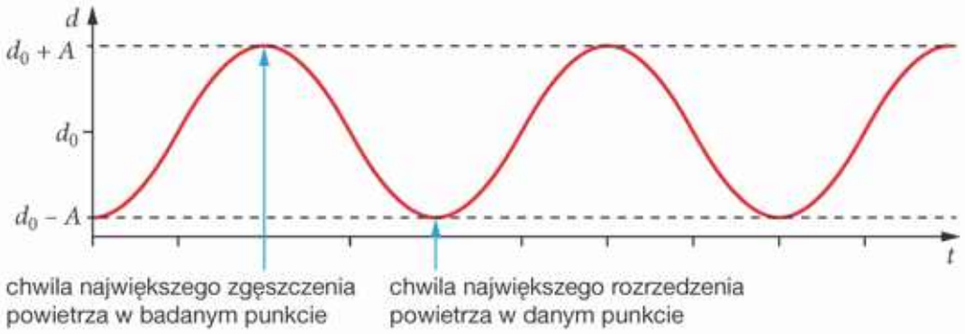
Dźwięk a inne fale

Ponieważ dźwięk jest falą, ma właściwości, o których mówiliśmy już w poprzedniej lekcji dla wszystkich fal.

- Przyczyną powstawania dźwięku są drgania ciał – omówiliśmy to właśnie dokładniej.
- Rozchodzenie się fali dźwiękowej nie jest tym samym co ruch powietrza. Zauważ, że dźwięk rozchodzi się także w ciałach stałych, np. w stalowej szynie, a przecież żaden kawałek szyny nie porusza się z jednego jej końca na drugi.
- Dźwięk powoduje drgania ciał, do których dociera. Słyszymy go właśnie dlatego, że wprawia w drgania błonę bębenkową ucha. Głośne dźwięki mogą spowodować zauważalne drgania np. szyb w oknach.

Wykres dźwięku

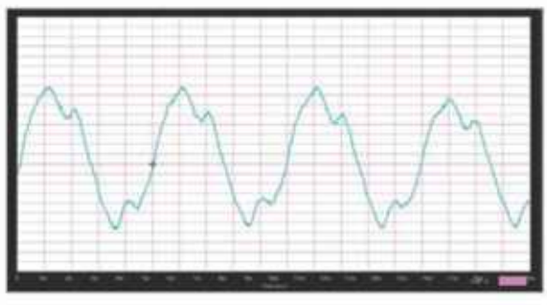
Dźwięk można zilustrować na wykresie jako zależność zmiany gęstości powietrza w danym miejscu od czasu. Dla czystego tonu (czyli dźwięku o jednej określonej częstotliwości) taki wykres ma kształt sinusoidy (patrz rys. poniżej).
Dla ludzkiego głosu i instrumentów muzycznych wykresy dźwięku są skomplikowane. Nie będziemy się zajmowali ich rysowaniem, ale możemy je uzyskać doświadczalnie.



▲ Wykres zależności gęstości powietrza od czasu dla dźwięku docierającego do danego punktu; d_0 – średnia gęstość powietrza, A – amplituda zmian gęstości

Doświadczenie 11.

Badanie dźwięku



1. Przygotuj komputer z kartą dźwiękową i mikrofonem (wbudowanym lub podłączonym).
2. Ściągnij z internetu bezpłatny program Oscilloscope 2.51 i go uruchom.
3. Zaśpiewaj do mikrofonu głoskę „a". Zatrzymaj obraz i mu się przyjrzyj.
4. Sprawdź, czym się różnią obrazy dźwięku, gdy zmienia się jego wysokość, a czym – gdy zmienia się jego głośność. Jak obraz dźwięku zależy od zmian częstotliwości, a jak od zmian amplitudy?
5. Zaśpiewaj do mikrofonu głoskę „o". Zatrzymaj obraz i porównaj go z obrazem dla głoski „a".

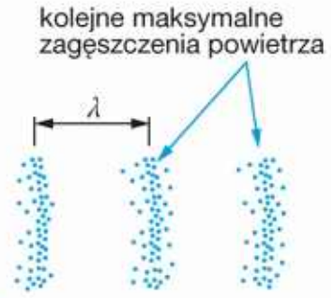
Uwaga. Zamiast komputera możesz użyć telefonu komórkowego z aplikacją, np. Phyphox.

Zauważ, że choć kształt wykresów dla różnych samogłosek jest różny, to każdy z nich składa się z jednakowych, powtarzających się fragmentów.

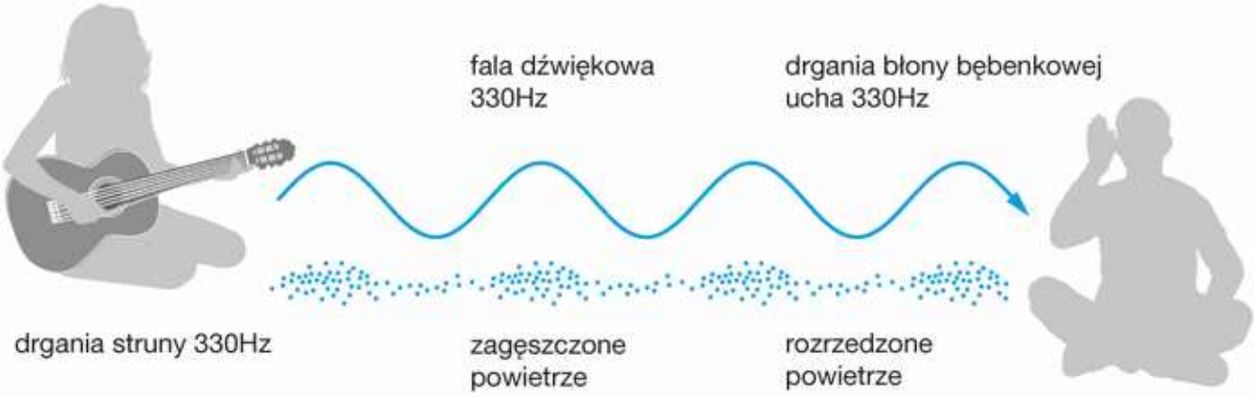
Długość, częstotliwość i amplituda fali dźwiękowej

Jak pamiętasz z poprzedniej lekcji, odległość pomiędzy kolejnymi grzbietami fali na wodzie nazywamy długością tej fali. W przypadku dźwięku odpowiednikiem grzbietów są miejsca maksymalnego zagęszczenia powietrza (patrz rys. obok).

Natomiast częstotliwość dźwięku – podobnie jak każdej fali – jest równa częstotliwości rozchodzących się drgań (patrz rys. poniżej).



▲ Długość fali dźwiękowej



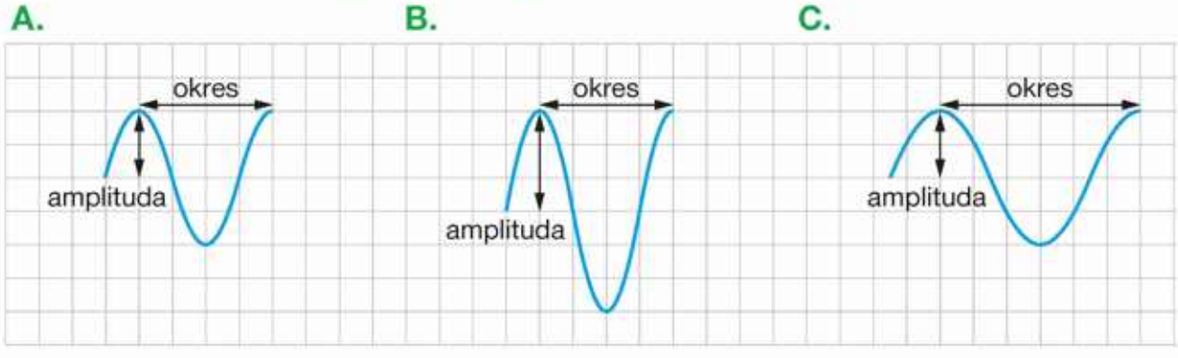
▲ Częstotliwość drgań źródła dźwięku, częstotliwość fali dźwiękowej i częstotliwość drgań błony bębenkowej ucha są równe (rozważamy tu przypadek, gdy źródło dźwięku i osoba słuchająca się nie poruszają)

W doświadczeniu zaobserwowaliśmy, że:

Dźwięk wyższy to dźwięk o wyższej częstotliwości, a **dźwięk głośniejszy** to dźwięk o większej amplitudzie.

W ramce poniżej przedstawiamy, jak na podstawie wykresu porównać, który dźwięk jest wyższy albo głośniejszy.

Wielkości opisujące dźwięk



Dźwięk na wykresie B jest głośniejszy niż na wykresie A, ponieważ ma większą amplitudę.

Dźwięk na wykresie C jest niższy niż na wykresie A, ponieważ ma dłuższy okres, a wobec tego – mniejszą częstotliwość.

Prędkość dźwięku

Prędkość dźwięku w powietrzu wynosi 344 $\frac{m}{s}$, czyli ok. 1200 $\frac{km}{h}$. Ściślej mówiąc, taka jest jej wartość w temperaturze 20°C, gdyż prędkość dźwięku **zależy od temperatury** – zwiększa się wraz z jej wzrostem.
To duża prędkość, ale w wodzie i innych cieczach dźwięk porusza się szybciej, a w ciałach stałych – jeszcze szybciej (patrz tabela obok). Wynika to z budowy cząsteczkowej substancji. Dźwięk rozchodzi się dzięki oddziaływaniu cząsteczek, więc im silniejsze są te oddziaływania i im mniejsze odległości między cząsteczkami, tym większa jest prędkość dźwięku.

Tabela. Prędkość dźwięku

Ośrodek	$v\left[\frac{m}{s}\right]$	$v\left[\frac{km}{h}\right]$
Powietrze (20°C)	344	1240
Powietrze (0°C)	332	1195
Powietrze (–20°C)	319	1148
Hel (20°C)	1015	3650
Woda (20°C)	1482	5340
Stal	6000	22 000
Diament	18 000	65 000

Częstotliwość i długość fali dźwiękowej

Dla fali dźwiękowej zachodzi ta sama zależność między prędkością v, częstotliwością f i długością fali λ co dla każdego rodzaju fal:

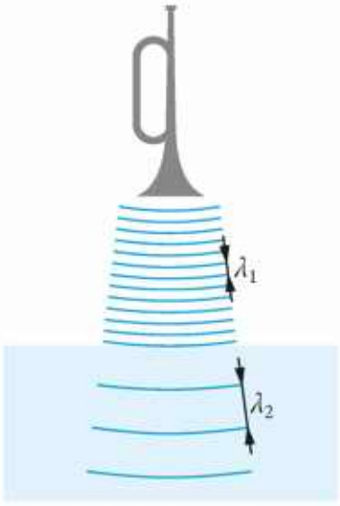
$$v = \lambda f$$

czyli:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Ze wzoru wynika, że **wyższy dźwięk** (czyli dźwięk o wyższej częstotliwości) to **krótsza fala** dźwiękowa. Jednak ten wniosek obowiązuje dla stałej prędkości, czyli w ramach jednego ośrodka.

Gdy wraz ze zmianą ośrodka zmienia się prędkość fali, np. gdy dźwięk przechodzi z powietrza do wody, gdzie rozchodzi się znacznie szybciej, musi się zmienić albo długość fali, albo częstotliwość.
Okazuje się, że **częstotliwość nie ulega zmianie**. To nic dziwnego: tuż przy granicy powietrza i wody zarówno woda, jak i powietrze muszą drgać w tym samym rytmie. Przecież drgania wody są wywoływane przez drgania powietrza. W takim razie zmianie ulega długość fali.



▲ Dźwięk przebywa drogę λ_1 w powietrzu w tym samym czasie, co drogę λ_2 w wodzie

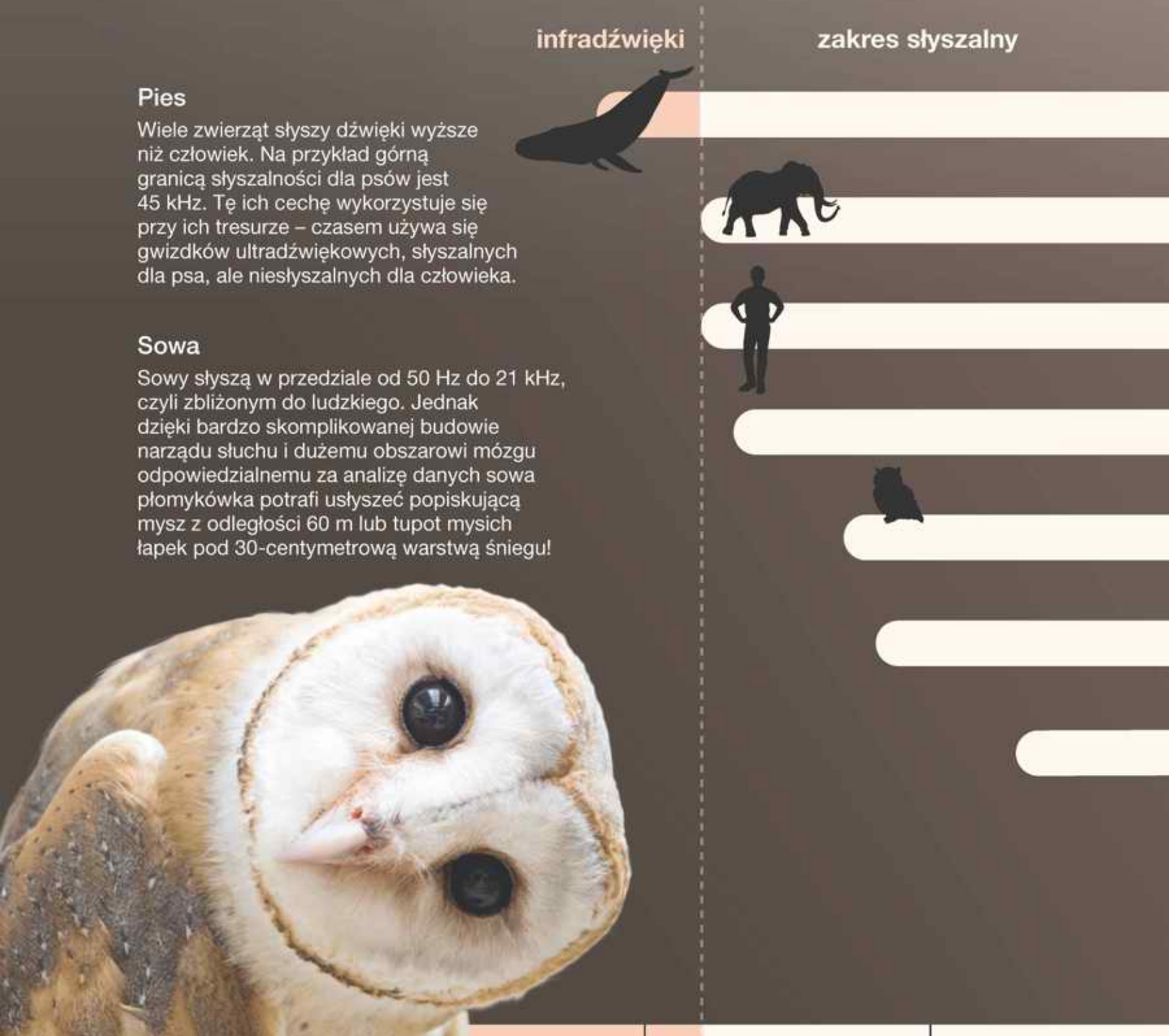
Podczas przejścia fali do innego ośrodka częstotliwość nie ulega zmianie, natomiast długość fali może się zmienić.

Ta reguła dotyczy wszystkich fal, nie tylko dźwięku. Będziemy z niej jeszcze wielokrotnie korzystać, również w odniesieniu do światła.

Ultradźwięki i infradźwięki

Nie wszystkie dźwięki są słyszalne dla człowieka – nasz zmysł słuchu jest wrażliwy tylko na dźwięki z pewnego przedziału częstotliwości. Ponadto nie wszyscy ludzie słyszą tak samo. Z wiekiem obniża się górna granica słyszalności. Dzieci i młodzież często słyszą dźwięki aż do 20 kHz, ale dorośli tylko do kilkunastu, a osoby starsze – nawet tylko do kilku kHz.

Maksymalny zakres dźwięków, które słyszy człowiek, obejmuje częstotliwości od 16 Hz do 20 kHz. Dźwięki niższe to **infradźwięki**, a wyższe – **ultradźwięki**.



Pies

Wiele zwierząt słyszy dźwięki wyższe niż człowiek. Na przykład górną granicą słyszalności dla psów jest 45 kHz. Tę ich cechę wykorzystuje się przy ich tresurze – czasem używa się gwizdków ultradźwiękowych, słyszalnych dla psa, ale niesłyszalnych dla człowieka.

Sowa

Sowy słyszą w przedziale od 50 Hz do 21 kHz, czyli zbliżonym do ludzkiego. Jednak dzięki bardzo skomplikowanej budowie narządu słuchu i dużemu obszarowi mózgu odpowiedzialnemu za analizę danych sowa płomykówka potrafi usłyszeć popiskującą mysz z odległości 60 m lub tupot mysich łapek pod 30-centymetrową warstwą śniegu!

Nietoperz

Nietoperze wydają i słyszą dźwięki w przedziale od 2 kHz do 210 kHz. Zwierzęta te nie tylko posługują się dźwiękami w celach godowych i do komunikacji, lecz także stosują je do echolokacji. Dzięki wysokim częstotliwościom wydawanych i słyszanych dźwięków są w stanie rozróżnić obiekty będące w odległości 1 mm od siebie.



ultradźwięki

Płetwal błękitny 7-8 Hz – 22 kHz

Słoń 16 Hz – 12 kHz

Człowiek 16 Hz – 20 kHz

Kot 20 Hz – 65 kHz

Sowa 50 Hz – 21 kHz

Pies 67 Hz – 45 kHz

Delfin 200 Hz – 160 kHz

Mysz 1000 Hz – 90 kHz

Nietoperz 2000 Hz – 210 kHz

10^3 10^4 10^5 Hz

Delfiny

Delfiny mają jeden z najlepszych zmysłów słuchu wśród wszystkich zwierząt. Wydają dźwięki od 200 Hz do 160 kHz, przy czym komunikują się dźwiękami z przedziału od 200 Hz do 50 kHz, a wyższe częstotliwości wykorzystują do echolokacji. Każdy delfin wydaje też własny, unikalny krótki (poniżej 1 s) dźwięk z przedziału od 7 kHz do 15 kHz, który stanowi jego identyfikator w stadzie.



A to ciekawe

Tsunami to fala powstająca na skutek trzęsienia ziemi. Na otwartym oceanie ma zaledwie 1 m wysokości, ale za to nawet 100 km długości. Kiedy fala tsunami wpływa na płytsze wody, jej prędkość maleje, a co za tym idzie – zmniejsza się jej długość. Cała masa wody, która znajdowała się powyżej jej średniego poziomu na długości wielu kilometrów, nagle musi się zmieścić na znacznie krótszym odcinku. Woda się spiętrza i fala osiąga wysokość nawet 30–40 m.



Przykład

Obliczanie długości fali dźwiękowej

Dźwięk oznaczany w muzyce a^1 ma częstotliwość 440 Hz. Jaka jest długość fali dźwiękowej o takiej częstotliwości w powietrzu, a jaka w wodzie?

Dane:

$f = 440$ Hz – częstotliwość dźwięku

$v_p = 344 \frac{m}{s}$ – prędkość dźwięku w powietrzu

$v_w = 1482 \frac{m}{s}$ – prędkość dźwięku w wodzie

Szukane:

$\lambda_p = ?$ – długość fali w powietrzu

$\lambda_w = ?$ – długość fali w wodzie

Wartości prędkości dźwięku w powietrzu i wodzie odczytaj z tablic.

Rozwiązanie: Ze wzoru $v = \lambda f$ po przekształceniach otrzymujemy:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Wobec tego po podstawieniu danych dla powietrza i dla wody otrzymujemy:

$$\lambda_p = \frac{344 \frac{m}{s}}{440 \text{ Hz}} = 0{,}78 \text{ m} = 78 \text{ cm}$$

$$\lambda_w = \frac{1482 \frac{m}{s}}{440 \text{ Hz}} = 3{,}4 \text{ m}$$

Odpowiedź: W powietrzu fala dźwiękowa o tej częstotliwości ma długość 78 cm, a w wodzie 3,4 m.

W wodzie długość fali jest większa, ponieważ ze względu na większą prędkość fala zdąży przemieścić się dalej w tym samym czasie (równym okresowi drgań).

To najważniejsze

- Dźwięk jest falą podłużną, polega na rozchodzeniu się zgęszczeń i rozrzedzeń ośrodka.
- **Wysokości dźwięku** odpowiada jego **częstotliwość**, a **głośności** – **amplituda**.
- **Prędkość dźwięku** w powietrzu wynosi ok. 340 $\frac{m}{s}$ i rośnie z temperaturą. W cieczach jest zwykle większa niż w gazach, a w ciałach stałych jeszcze większa niż w cieczach.
- Podczas przejścia fali do innego ośrodka jej **częstotliwość nie ulega zmianie**, natomiast długość fali się zmienia, jeśli w drugim ośrodku fala porusza się z inną prędkością.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Gdy chcemy obliczyć w przybliżeniu, w jakiej odległości od nas uderzył piorun, dzielimy czas między błyskawicą a grzmotem (wyrażony w sekundach) przez 3. Otrzymujemy wynik w kilometrach. Uzasadnij, że jest to dobry sposób szacowania odległości dzielącej nas od burzy.

2. Ratownik na basenie użył gwizdka o częstotliwości dźwięku 2700 Hz. Oblicz, jaką długość ma wytworzona fala dźwiękowa w powietrzu, a jaką w wodzie.



3. Na rysunkach przedstawiono wykresy dźwięku uzyskane za pomocą aplikacji Phyphox.

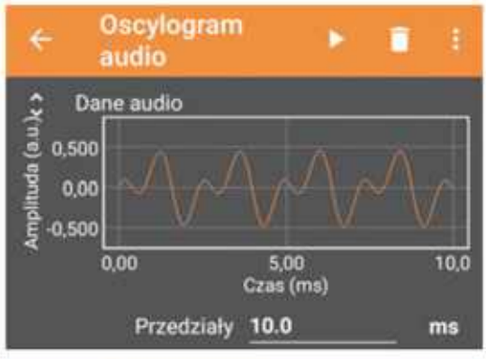
   a) Dwa z tych dźwięków miały zbliżoną wysokość. Które to są dźwięki? Czy trzeci dźwięk był od nich wyższy, czy niższy?

   b) Który dźwięk był głośniejszy: I czy II?

I.



II.



III.



Doświadczenie domowe

Badanie dźwięku instrumentów muzycznych

1. Przygotuj telefon z aplikacją Phyphox albo komputer z programem Oscilloscope.
2. Zbadaj, jak wyglądają wykresy dźwięku różnych instrumentów muzycznych, na których jest grana ta sama nuta. Możecie umówić się w klasie, aby różne osoby przygotowały i wydrukowały wykresy różnych instrumentów.
3. Porównajcie kształt wykresów. Który z nich jest najbardziej zbliżony do sinusoidy (patrz s. 91)?





TEMAT DODATKOWY

Dźwięki muzyki

Cele lekcji:

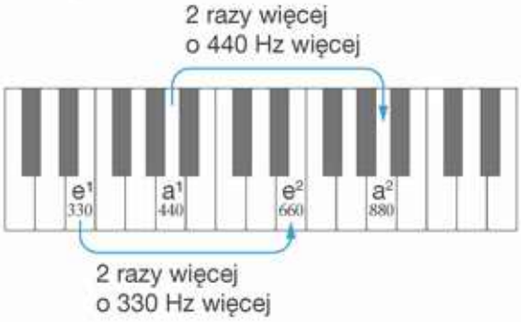
- Dowiesz się, jak harmonijne współbrzmienie jest związane z częstotliwością dźwięku.
- Przekonasz się, w jaki sposób na jednej strunie powstają jednocześnie dźwięki o różnej częstotliwości – alikwoty.

O tyle samo czy tyle samo razy

Rozważania o współbrzmieniu dźwięków zaczniemy od ważnej obserwacji.

> Gdy w muzyce mówimy o jednakowej odległości między dźwiękami (jednakowym interwale), chodzi o jednakowy stosunek ich częstotliwości, a nie o różnicę tych wartości.

Na przykład dźwięk o oktawę wyższy to dźwięk o częstotliwości wyższej dwa razy. Nie oznacza to, że wszystkie dźwięki oddalone od siebie o oktawę różnią się o tyle samo herców (patrz rys.).



◀ Jednakowy interwał (odległość między dźwiękami, np. oktawa) to jednakowy stosunek częstotliwości dźwięków

Wynika to z działania naszego mózgu, który w ten sposób ocenia częstotliwości. Tę samą melodię możemy zagrać w innej tonacji, czyli zwiększyć lub zmniejszyć częstotliwość wszystkich dźwięków **tyle samo razy**. Słuchacz nie będzie miał wątpliwości, że jest to ta sama melodia. Gdybyśmy natomiast zmniejszyli albo zwiększyli

częstotliwość wszystkich dźwięków o tyle samo herców, powstałe dźwięki nie nadawałyby się do słuchania.
Dzieje się tak dlatego, że zwiększenie częstotliwości np. o 10 Hz ma bardzo duże znaczenie w przypadku niskiego dźwięku (np. zmiana z 20 Hz do 30 Hz), natomiast niewielkie w przypadku dźwięku wysokiego (np. zmiana z 1000 Hz na 1010 Hz).
Podobnie jest z oceną innych bodźców. Na przykład gdy w pokoju, w którym świeci się jedna żarówka, zapalimy drugą, zauważymy znaczną zmianę. Natomiast w sali oświetlonej przez 100 żarówek nie zauważymy zapalenia kolejnej.

Współbrzmienie a częstotliwość

Dwa dźwięki zagrane jednocześnie albo po kolei mogą brzmieć przyjemnie lub nieprzyjemnie. Możemy przypuszczać, że zależy to od stosunku ich częstotliwości. Jaka jednak jest to zależność? Zbadajmy ją doświadczalnie.

Doświadczenie 12.

Badanie współbrzmienia dźwięków

1. Znajdź w internecie generator czystych tonów (online Tone Generator). Włącz go w dwóch kartach przeglądarki. Możesz też skorzystać z aplikacji Phyphox włączonej jednocześnie w dwóch telefonach.
2. Częstotliwość jednego z generatorów ustaw na 420 Hz, a drugiego kolejno na: 445 Hz, 560 Hz, 630 Hz. Oceń, kiedy dźwięki współbrzmią przyjemnie, a kiedy powstaje niemiły dysonans.

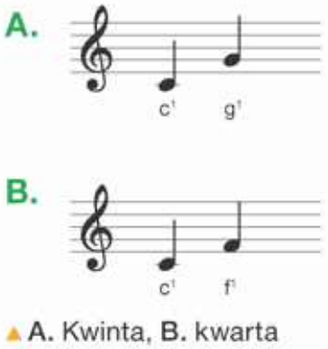


Wydawałoby się, że odczucie ładnego brzmienia powinno być czysto subiektywne. Okazuje się jednak, że oceniamy je w bardzo podobny sposób, który w dodatku można łatwo opisać za pomocą matematyki.

Współbrzmienie dwóch lub więcej dźwięków może sprawiać wrażenie przyjemnego (konsonans) lub nieprzyjemnego (dysonans).

Dźwięki harmonijnie współbrzmią (powstaje konsonans), jeśli stosunek ich częstotliwości można opisać za pomocą niewielkich liczb naturalnych.

- Dźwięki o częstotliwościach 630 Hz i 420 Hz ładnie współbrzmią, ponieważ stosunek ich częstotliwości wynosi $\frac{3}{2}$. Taki stosunek częstotliwości nazywamy w muzyce **kwintą**.
- Również dźwięki 560 Hz i 420 Hz współbrzmią ładnie – ich stosunek częstotliwości to $\frac{4}{3}$, czyli **kwarta**.
- Natomiast dźwięki o częstotliwościach 445 Hz i 420 Hz nie współbrzmią ładnie, ponieważ stosunek ich częstotliwości nie da się zapisać za pomocą małych liczb naturalnych: $\frac{445}{420} = \frac{89}{84}$ (w przybliżeniu jest to $\frac{18}{17}$, ale 18 i 17 to nadal dość duże liczby).



▲ A. Kwinta, B. kwarta

Strój równomiernie temperowany

Stosunek częstotliwości równy dokładnie 3:2 albo 4:3 da się uzyskać tylko w przypadku instrumentów, na których można zagrać dźwięk o dowolnej częstotliwości. Należą do nich np. skrzypce, które nie mają progów jak gitara, więc ich strunę można docisnąć w dowolnym miejscu.

Natomiast w przypadku fortepianu, gitary i wielu innych instrumentów stosuje się **strój równomiernie temperowany**, czyli podział oktawy na 12 równych części – półtonów. Oczywiście przez „równe części" rozumiemy tutaj jednakowy stosunek częstotliwości (tyle samo razy), a nie jednakową różnicę (tyle samo herców).

Skoro 12 półtonów daje łącznie podwojenie częstotliwości (oktawę), to jeden półton oznacza stosunek częstotliwości $\sqrt[12]{2} \approx 1{,}05946$. Zatem kwinta, czyli 7 półtonów, odpowiada stosunkowi: $(\sqrt[12]{2})^7 \approx 1{,}4983$.

Jak widzimy, nie jest to dokładnie 1,5, czyli 3:2, ale różnica jest bardzo mała.

Drgania struny

Struny instrumentów muzycznych drgają zbyt szybko, abyśmy mogli bezpośrednio obserwować ich ruch. Dlatego posłużymy się modelem struny.

Doświadczenie 13.

Model drgań struny

1. Przygotuj sprężynę zabawkę (tzw. slinky). Zamocuj jeden z jej końców (np. do klamki) lub daj go do potrzymania drugiej osobie.
2. Trzymaj sprężynę za drugi koniec i odsuń się na tyle, aby sprężyna była napięta.
3. Wpraw sprężynę w drgania takie jak na kolejnych rysunkach A–C. W tym celu musisz odpowiednio dobrać częstotliwość ruchu ręki. Kiedy drgania twojej ręki mają wyższą częstotliwość?

A. B. C.



Jak zaobserwowaliśmy w doświadczeniu, struna może drgać na wiele sposobów. Częstotliwość tych drgań jest różna. Okazuje się, że struna instrumentu może wykonywać te drgania **jednocześnie**. Jej drgania przenoszą się na pudło rezonansowe i powodują powstawanie fali dźwiękowej.

Zatem gdy gramy na gitarze albo skrzypcach jedną nutę, tworzymy jednocześnie fale o wielu częstotliwościach, będących wielokrotnościami częstotliwości podstawowej.

Gdy na instrumencie strunowym gramy dźwięk o częstotliwości f, jednocześnie powstają dźwięki o częstotliwościach $2f$, $3f$ itd. Nazywamy je **składowymi harmonicznymi** albo **alikwotami**.

Od proporcji udziału alikwotów zależy barwa dźwięku instrumentu, która pozwala nam odróżnić tę samą nutę zagraną np. na skrzypcach i na fortepianie.

To najważniejsze

- Jednakowa odległość między dźwiękami w muzyce (jednakowy **interwał**) oznacza nie jednakową różnicę częstotliwości, ale ich jednakowy stosunek.
- **Dźwięki współbrzmią harmonicznie**, jeśli stosunek ich częstotliwości można opisać niewielkimi liczbami naturalnymi, np. $\frac{4}{3}$ albo $\frac{3}{2}$.
- **W stroju równomiernie temperowanym** oktawa jest podzielona na 12 równych części – półtonów. Dźwięk o półton wyższy to dźwięk o częstotliwości wyższej $\sqrt[12]{2}$ razy.
- Drgająca struna wytwarza jednocześnie dźwięki o wielu różnych częstotliwościach.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Odczytaj z ilustracji na ostatniej stronie tablic częstotliwość dźwięku c^2. Oblicz częstotliwość dźwięku c^3 (wyższego o oktawę od dźwięku c^2).

2. Cztery pierwsze dźwięki hejnału mariackiego to: c^1, e^1, g^1, c^2.
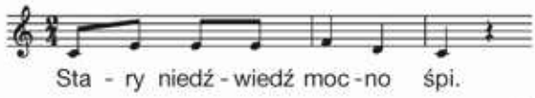


a) Zapisz częstotliwości odpowiadające tym dźwiękom.

b) Oblicz, jakie częstotliwości miałyby pierwsze cztery dźwięki hejnału zagranego o kwintę wyżej.

c) Jeśli potrafisz, zagraj na dowolnym instrumencie hejnał w obu tych tonacjach.
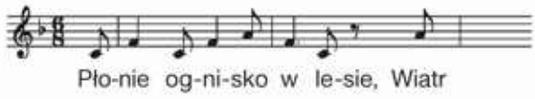
3. W skali równomiernie temperowanej tercja wielka to cztery półtony. Jakiemu stosunkowi częstotliwości odpowiada taki interwał? Podaj wynik z dokładnością do trzech cyfr znaczących. Sprawdź, że w przybliżeniu jest to $\frac{5}{4}$.

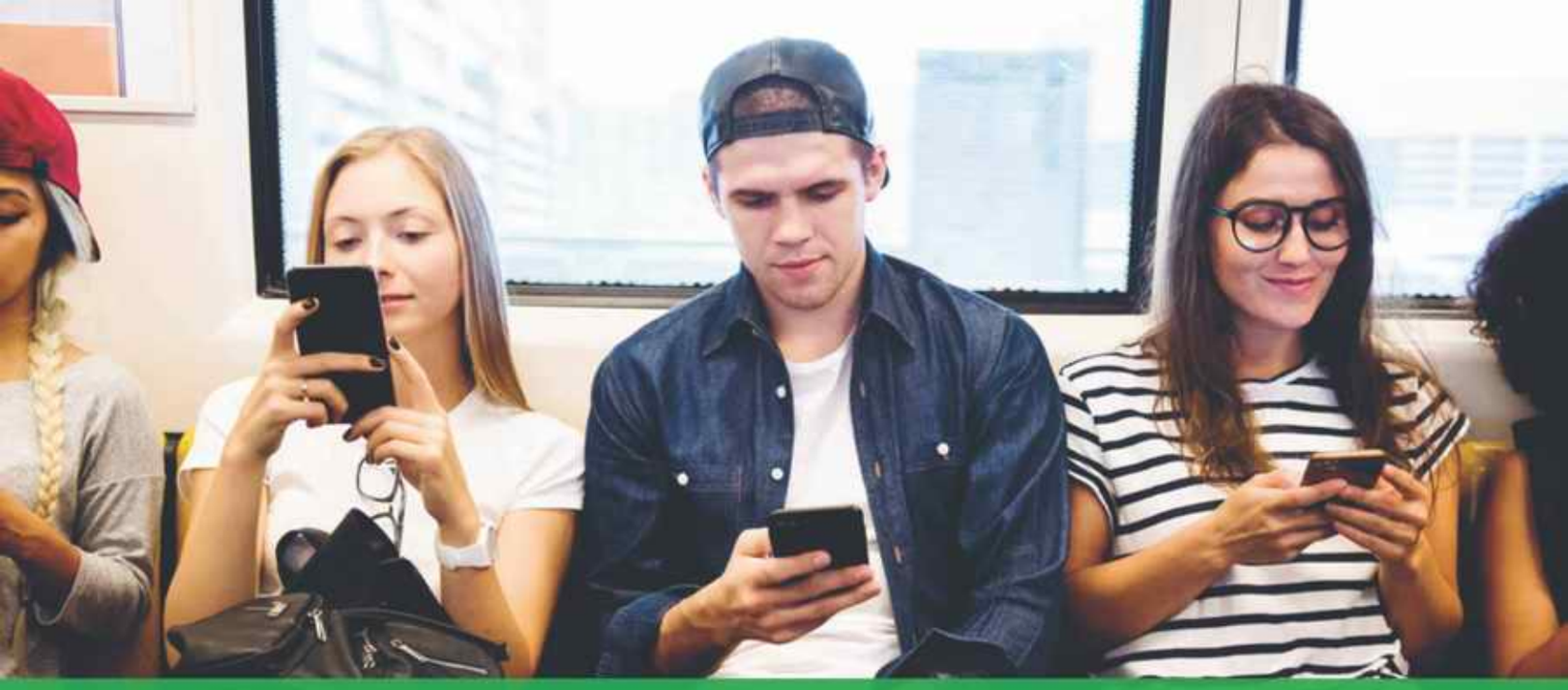
Uwaga. Tercja wielka występuje np. między pierwszymi dwoma nutami piosenki *Stary niedźwiedź mocno śpi.*



4. Kwarta to stosunek częstotliwości $\frac{4}{3}$. Ile to półtonów w stroju równomiernie temperowanym?

Uwaga. Kwarta występuje między pierwszymi dwoma nutami piosenki *Płonie ognisko w lesie.*





17. Fale elektromagnetyczne

Cele lekcji:

- Poznasz naturę fal elektromagnetycznych.
- Poznasz naukowe znaczenie słowa *teoria*.

Co już wiesz o falach elektromagnetycznych

Światło widzialne, promieniowanie ultrafioletowe, fale radiowe i promieniowanie rentgenowskie są przykładami fal elektromagnetycznych. O takich falach uczyłeś się już w szkole podstawowej. Dowiedziałeś się wtedy, że nie są to fale mechaniczne, ponieważ mogą rozchodzić się w próżni, tak jak na przykład światło, które ze Słońca dociera do Ziemi.

Jednak dopiero teraz, gdy znasz już pojęcia pola elektrycznego i pola magnetycznego, możemy powiedzieć, jaka jest ich natura.

W zeszłym roku szkolnym badaliśmy zjawiska elektryczne i magnetyczne. Przypomnijmy dwa wykonane wówczas doświadczenia:

- Gdy do igły magnetycznej zbliżyliśmy przewód, w którym płynie prąd, igła się odchylała (zdjęcie A).
- Gdy do zwojnicy zbliżaliśmy magnes, w trakcie jego ruchu pomiędzy końcami zwojnicy pojawiało się napięcie elektryczne (zdjęcie B).

A.



B.

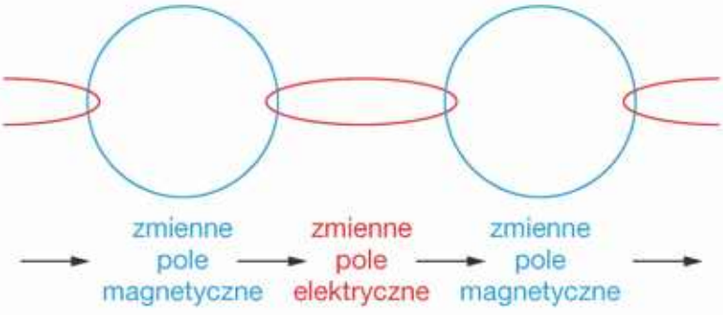


▲ Związek magnetyzmu z prądem elektrycznym

Związek między elektrycznością i magnetyzmem

Okazuje się, że zjawiska podobne do przypomnianych na pierwszej stronie lekcji mogą zachodzić bez przewodów z prądem.

- Nie tylko prąd przemienny, ale już samo zmienne pole elektryczne może powodować powstawanie pola magnetycznego.
- I odwrotnie – zmienne pole magnetyczne powoduje powstawanie pola elektrycznego, nawet jeśli nie ma w pobliżu żadnego przewodnika.
- Powstałe w ten sposób pole elektryczne może wywoływać powstawanie pola magnetycznego itd. (patrz rys. poniżej).



Ten schemat dotyczy wszystkich fal elektromagnetycznych, np. mikrofal i światła.

◀ Schemat powstawania fali elektromagnetycznej

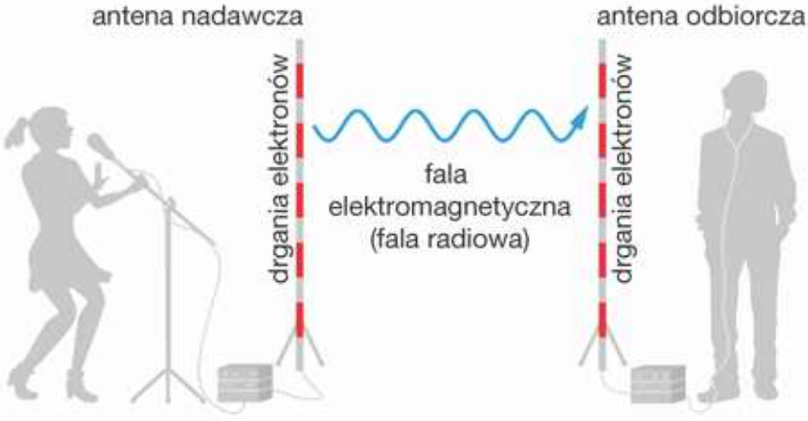
Gdy w przestrzeni rozchodzą się zmienne pole elektryczne i zmienne pole magnetyczne, mówimy, że rozchodzi się **fala elektromagnetyczna**.

W falach elektromagnetycznych drga nie ośrodek, ale pola elektryczne i magnetyczne, dlatego fale te **mogą rozchodzić się** nawet **w próżni**. To zasadnicza różnica między falami elektromagnetycznymi a falami mechanicznymi (np. dźwiękiem). Poza tym jednak między tymi rodzajami fal jest wiele podobieństw, które wkrótce poznasz.

Nadawanie i odbiór fal radiowych

Drgania elektronów związane z przepływem prądu przemiennego wykorzystujemy także w łączności radiowej (chodzi nie tylko o audycje rozgłośni radiowych, lecz także np. telefonię komórkową). Kiedy w antenie nadawczej płynie prąd przemienny, znajdujące się w niej elektrony poruszają się ruchem drgającym. Ich drgania powodują powstawanie fali elektromagnetycznej.

Gdy taka fala dociera do anteny odbiorczej, wywołuje w niej uporządkowany ruch elektronów, czyli prąd elektryczny. Odbiornik radiowy albo telefon przekształca prąd w dźwięk.



◀ Wytwarzanie i odbiór fal radiowych

Widmo fal elektromagnetycznych

Wszystkie fale elektromagnetyczne maja taką samą naturę, choć różnią się długością i częstotliwością.

Od długości i częstotliwości zależą właściwości fal elektromagnetycznych oraz ich zastosowanie.



Telefony komórkowe używają częstotliwości ok. 1 GHz.

10^6 Hz (1 MHz) | 10^9 Hz (1 GHz) | 10^{12} Hz

FALE RADIOWE | **PODCZERWIEŃ**

długie | średnie | krótkie | UKF | mikrofale

Długość fali 1 km | 1 m | 1 mm

Większość rozgłośni radiowych używa dziś **fal ultrakrótkich (UKF)**.



Promieniowanie cieplne większości otaczających nas ciał (włącznie z naszymi ciałami) należy do zakresu **podczerwieni**.





Także **światło widzialne** to fale elektromagnetyczne. Różnym częstotliwościom odpowiadają różne barwy.



Promieniowanie X (rentgenowskie) przenika przez tkanki miękkie, ale nie przez kości, dlatego wykorzystujemy je do prześwietleń.

10^{15} Hz | 10^{18} Hz | 10^{21} Hz **Częstotliwość**

promieniowanie **NADFIOLETOWE** | promieniowanie **RENTGENOWSKIE** | promieniowanie **GAMMA**

10^{-6} m (1 µm) | 10^{-9} m (1 nm) | 10^{-12} (1 pm)

Promieniowanie ultrafioletowe (nadfioletowe) sprawia, że się opalamy, ale w dużych dawkach może powodować raka skóry. Jest też wykorzystywane m.in. do sprawdzania autentyczności banknotów. Niektóre zwierzęta widzą nadfiolet.

Bardzo przenikliwe **promieniowanie gamma** powstaje podczas przemian jądrowych. Powiemy o tym więcej w rozdziale 11.





Różne fale elektromagnetyczne

Fale elektromagnetyczne o różnych częstotliwościach tworzą razem **widmo fal elektromagnetycznych**. Przypominamy je w infografice na poprzednich stronach.

> Prędkość fal elektromagnetycznych w próżni nie zależy od ich częstotliwości i zawsze wynosi $c \approx 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

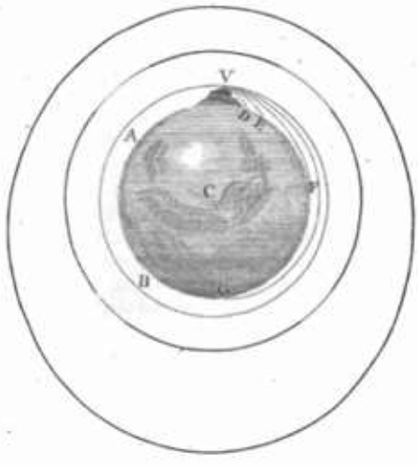
Nazywamy ją **prędkością światła**, ponieważ światło nie jest wyjątkiem i także porusza się z taką prędkością. Trzeba jednak pamiętać, że chodzi o **prędkość światła w próżni**. W innych ośrodkach fale elektromagnetyczne poruszają się wolniej, a ich prędkość zależy od częstotliwości.
W przypadku powietrza różnica jest minimalna, ale już w wodzie zaczyna być istotna. Jak zobaczymy w następnym rozdziale, właśnie ta różnica jest przyczyną wielu zjawisk optycznych.

To aż teoria!

Omawianie fal elektromagnetycznych to dobra okazja, aby wyjaśnić, jakie jest znaczenie słowa *teoria* w fizyce i w innych naukach przyrodniczych.
Zacznijmy od tego, że dla fizyków ważne jest nie tylko odkrywanie nowych zjawisk i praw, lecz także dostrzeganie związków między już znanymi zjawiskami. Na przykład trudno na pierwszy rzut oka zauważyć związek między spadaniem jabłka z drzewa a ruchem Księżyca wokół Ziemi. Dziś wiemy, że przyczyna tych zjawisk jest wspólna: to siła grawitacji. Trzeba było jednak umysłu **Izaaka Newtona**, aby to zrozumieć.
W badaniach nad elektrycznością i magnetyzmem taką kluczową rolę odegrał XIX-wieczny szkocki uczony **James Clerk Maxwell** (czyt. dżejms klerk maksłel). Zauważył on, że zaledwie kilkoma prawami dotyczącymi pola elektrycznego i pola magnetycznego można wyjaśnić wszystkie znane zjawiska elektryczne i magnetyczne. Taki uporządkowany system wiedzy nazywamy **teorią naukową**.
Z teorii Maxwella wynikało jednak coś więcej: istnienie fal elektromagnetycznych, czyli zupełnie **nowego, nieobserwowanego wcześniej zjawiska**. Gdy zostało ono potwierdzone doświadczalnie, teorię Maxwella powszechnie uznano za poprawne wyjaśnienie wszystkich zjawisk elektrycznych i magnetycznych.
Zwróć uwagę, że w języku potocznym słowo *teoria* dotyczy przypuszczeń, o których mówimy: „to tylko teoria".

> W nauce teorią nazywamy system wiedzy potwierdzony doświadczalnie.

Teorię fizyczną uznaje się za w pełni sprawdzoną dopiero wtedy, kiedy wynikające z niej nowe, nieznane wcześniej zjawiska zostaną potwierdzone doświadczalnie.
W nauce należy więc raczej mówić: „to aż teoria".



▲ Czy pamiętasz z pierwszej klasy działo Newtona – sposób wyjaśnienia ruchu Księżyca przez analogię z ruchem pocisku?

To najważniejsze

- **Fala elektromagnetyczna** to rozchodzące się zaburzenia pola elektrycznego i magnetycznego.
- **Widmem fal elektromagnetycznych nazywamy** pełen zakres promieniowania elektromagnetycznego, który dzieli się na fale radiowe (do których należą mikrofale), podczerwień, światło widzialne, nadfiolet, promieniowanie rentgenowskie, promieniowanie gamma.
- **Teoria** w nauce to uporządkowany system wiedzy, sprawdzony w wielu doświadczeniach.
- **Teorię fizyczną** uważa się za potwierdzoną dopiero wtedy, gdy pozwoli ona przewidzieć istnienie nieznanych wcześniej zjawisk i potwierdzić je doświadczalnie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dobierz do poszczególnych zdań ich zakończenia.

A. Zmienne pole magnetyczne powoduje powstawanie...

B. Zmienne pole elektryczne powoduje powstawanie...

C. Fala elektromagnetyczna polega na rozchodzeniu się...

D. Światło i fale radiowe mają taką samą naturę, ale różnią się...

I. ... częstotliwością.
II. ... zmiennego pola magnetycznego.
III. ... zmian pola elektrycznego i magnetycznego.
IV. ... zmiennego pola elektrycznego.

2. Prąd stały, podobnie jak zmienny, także wytwarza pole magnetyczne. Dlaczego nie powoduje ono powstawania fali elektromagnetycznej?

3. Prąd przemienny z domowej sieci elektrycznej powoduje powstawanie fali elektromagnetycznej. Podaj jej częstotliwość i oblicz długość. Porównaj tę długość z wielkościami znanymi z geografii.

4. Przepisz do zeszytu opisy rodzajów fal elektromagnetycznych w kolejności od fal o najmniejszej częstotliwości do największej. Przy każdym zapisz nazwę zakresu promieniowania: mikrofale, podczerwień, światło widzialne lub nadfiolet.

a) światło niebieskie

b) promieniowanie twojego ciała

c) promieniowanie służące do wykrywania fałszywych banknotów

d) fale służące do przekazywania informacji przez telefon komórkowy

e) fale emitowane przez router wi-fi

Doświadczenie domowe

Oglądamy podczerwień

1. Przygotuj pilota do urządzeń RTV z diodą podczerwoną (jak na zdjęciu) oraz aparat cyfrowy (może być w telefonie komórkowym).

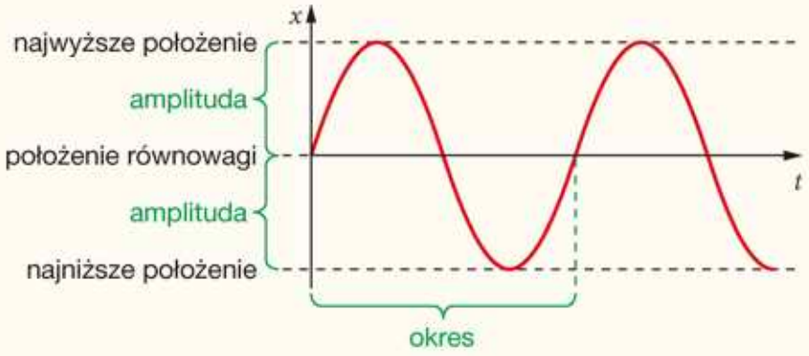
2. Włącz aparat i skieruj w niego pilota. Wciśnij przycisk na pilocie. Co widzisz na wyświetlaczu aparatu?



Powtórzenie Drgania i fale

- Do opisu ruchu drgającego stosujemy następujące **wielkości**:
  - **amplituda** A to maksymalne wychylenie z położenia równowagi,
  - **okres** T to czas trwania pełnego cyklu drgań,
  - **częstotliwość** f to liczba okresów na jednostkę czasu, np. na sekundę:

$$f = \frac{1}{T}$$

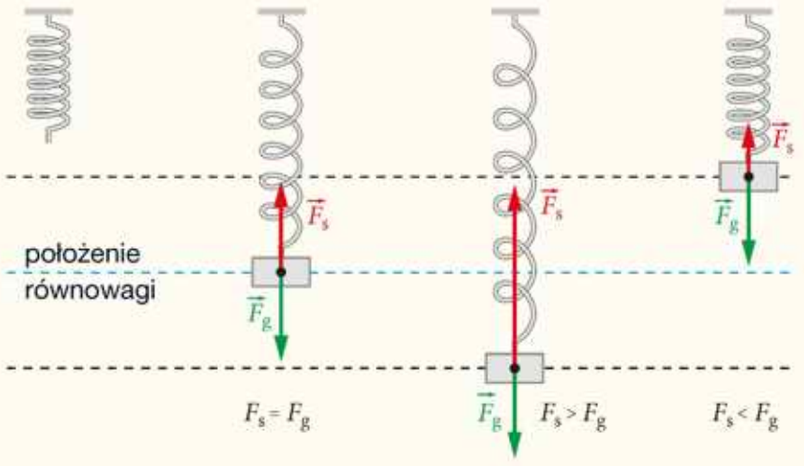


- Przyrost długości sprężyny jest wprost proporcjonalny do działającej na nią siły. Tę zależność nazywamy **prawem Hooke'a.**
  - Prawo Hooke'a obowiązuje tylko do pewnego granicznego rozciągnięcia, potem sprężyna może się trwale odkształcić lub zerwać.
  - **Współczynnik sprężystości** to stosunek siły do przyrostu długości: $k = \frac{F}{\Delta l}$, stąd:

$$F = k \cdot \Delta l$$

F – siła rozciągająca sprężynę; Δl – przyrost długości (o ile zwiększyła się długość); k – współczynnik sprężystości

- Siły działające na ciężarek na sprężynie: **siła ciężkości** $\vec{F}_g$ (nie zależy od położenia), **siła sprężystości** $\vec{F}$ (tym większa, im bardziej jest rozciągnięta sprężyna).
  - Wypadkowa tych sił jest zawsze zwrócona w stronę położenia równowagi.

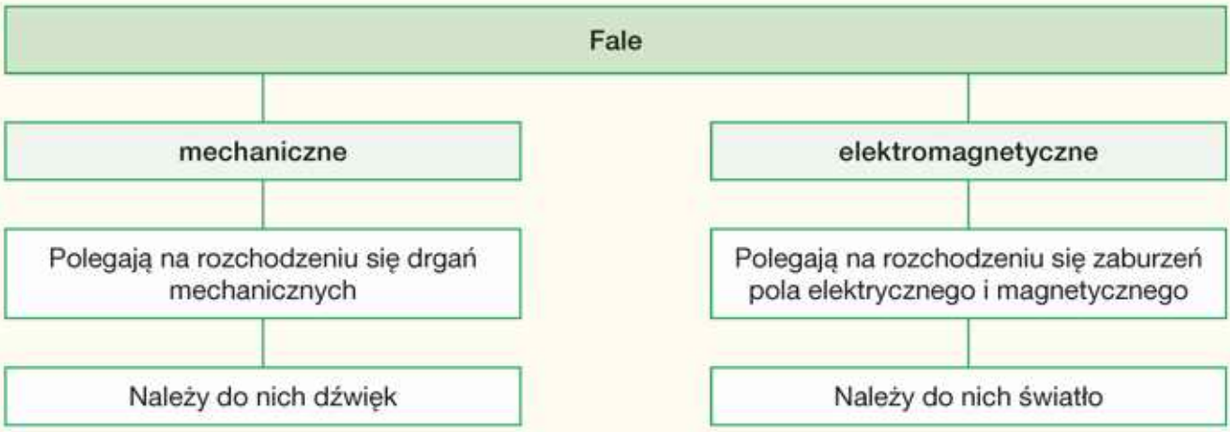


▲ Siły działające na ciężarek na sprężynie: $\vec{F}_s$ – siła sprężystości, $\vec{F}_g$ – siła ciężkości

- W ruchu ciężarka zawieszonego na sprężynie **cyklicznym przemianom ulegają** następujące **formy energii:**
  - **energia kinetyczna** – tym większa, im szybciej porusza się ciężarek,
  - **energia potencjalna grawitacji** – tym większa, im wyżej znajduje się ciężarek,
  - **energia potencjalna sprężystości** – tym większa, im mocniej jest rozciągnięta sprężyna (i im niżej znajduje się ciężarek).



- Gdy na ciało działa siła zewnętrzna zmieniająca się z częstotliwością równą częstotliwości drgań własnych ciała, amplituda drgań szybko rośnie. To zjawisko nazywamy **rezonansem**.
  - Ze wzrostem amplitudy rosną także opory ruchu, dlatego nie rośnie ona w nieskończoność.



- **Źródłem fali mechanicznej jest drgające ciało**. Taka fala może wprawić w ruch drgający inne ciało, do którego dotrze.



  - **Ośrodek nie porusza się razem z falą!** Gdy słyszymy dźwięk przez zamknięte okno, powietrze nie przenika przez szybę.

- **Wielkości opisujące falę:**
  - Częstotliwością fali (f), okresem fali (T) i amplitudą fali (A) nazywamy odpowiednio częstotliwość, okres i amplitudę rozchodzących się drgań.
  - Częstotliwość fali świetlnej odpowiada jej barwie, a częstotliwość dźwięku – jego wysokości.
  - Długość fali (λ) to odległość między kolejnymi grzbietami fali.

Prędkość fali

- Zależność między prędkością rozchodzenia się fali v a długością fali, okresem i częstotliwością:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

- Fale elektromagnetyczne rozchodzą się w próżni z prędkością:

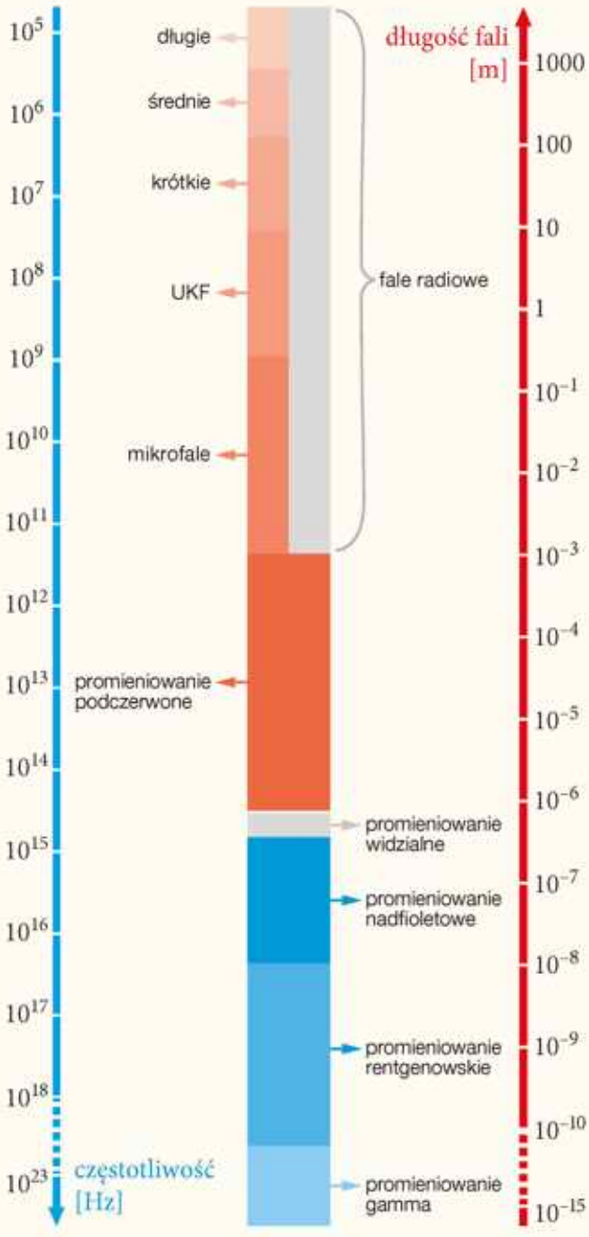
$$c \approx 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

W powietrzu fale elektromagnetyczne rozchodzą się tylko minimalnie wolnej niż w próżni. W innych ośrodkach rozchodzą się wolniej.

- **Fale dźwiękowe** rozchodzą się w powietrzu z prędkością ok. $340\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, w cieczach na ogół szybciej, a w ciałach stałych jeszcze szybciej. W próżni nie rozchodzą się wcale.
- Gdy fala przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się z inną prędkością, zmienia się jej długość, a częstotliwość pozostaje bez zmian.

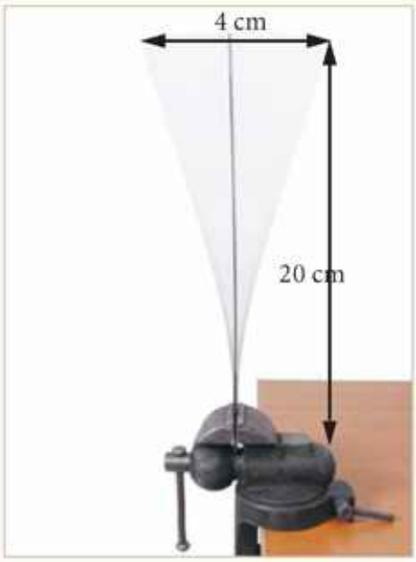
Widmo fal elektromagnetycznych

- Fale elektromagnetyczne o różnych częstotliwościach tworzą razem widmo fal elektromagnetycznych (patrz rys. obok).



▲ Widmo fal elektromagnetycznych

Informacja do zadań 1.–3.



Jeden koniec linijki zamocowano w imadle, a drugi koniec wychylono i puszczono. Linijka zaczęła drgać. W ciągu jednej sekundy poruszyła się 2 razy od jednego skrajnego wychylenia do drugiego i z powrotem.

1. Jaka jest amplituda drgań końca linijki?

A. 2 cm **B.** 4 cm
C. 10 cm **D.** 20 cm

2. Jaka jest częstotliwość drgań linijki?

A. $\frac{1}{4}$ Hz
B. $\frac{1}{2}$ Hz
C. 2 Hz
D. 4 Hz

3. Jaki jest okres drgań linijki?

A. $\frac{1}{4}$ s **B.** $\frac{1}{2}$ s
C. 2 s **D.** 4 s

4. Siła 10 N działająca na pewną sprężynę powoduje jej rozciągnięcie o 4 cm. Jaka siła powoduje rozciągnięcie tej samej sprężyny o 1 cm?

A. 2,5 N **B.** 4 N
C. 25 N **D.** 40 N

5. Uzupełnij zdanie.

Gdy ciężarek na sprężynie znajduje się poniżej położenia równowagi, siła sprężystości jest **A**/ **B** od siły ciężkości, a ich wypadkowa jest skierowana **C**/ **D**.

A. większa
B. mniejsza
C. w górę
D. w dół

6. Janek siedzi w domu i przez zamknięte okno słyszy hałas kosiarki do trawy. Jest to możliwe, ponieważ:

A. przez szybę przechodzi część powietrza poruszanego przez silnik kosiarki.
B. powietrze przepływa od kosiarki do szyby, a inna porcja powietrza przepływa od szyby do uszu Janka.
C. dźwięk nie polega na przepływie powietrza, tylko na rozchodzeniu się drgań.

7. Grzmot usłyszeliśmy 6 s po błyskawicy. W jakiej odległości od nas uderzył piorun?

A. ok. 0,5 km
B. ok. 1 km
C. ok. 2 km
D. ok. 6 km

8. Gdy słyszymy niższy dźwięk, to znaczy, że docierająca do nas fala dźwiękowa ma:

A. niższą częstotliwość.
B. wyższą częstotliwość.
C. mniejszą amplitudę.
D. większą amplitudę.

9. W próżni:

A. mogą się rozchodzić zarówno dźwięk, jak i światło.

B. może się rozchodzić dźwięk, ale nie światło.

C. może się rozchodzić światło, ale nie dźwięk.

D. nie mogą się rozchodzić ani dźwięk, ani światło.

10. Dopasuj nazwy zakresów fal elektromagnetycznych A–D do przykładów ich emisji I–IV.

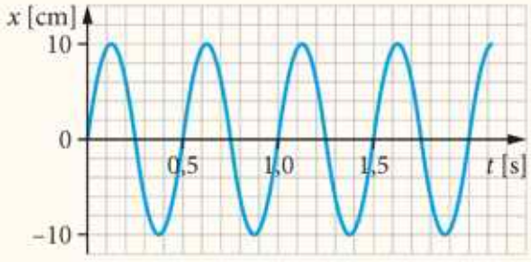
A. mikrofale
B. podczerwień
C. ultrafiolet
D. promieniowanie rentgenowskie

I. solarium II. telefonia komórkowa
III. prześwietlenie przy złamaniu kości
IV. promieniowanie rozgrzanego garnka

ZADANIA POWTÓRZENIOWE — To powinieneś umieć

Informacja do zadań 1. i 2.

Wykres przedstawia ruch wahadła sprężynowego. Oś x skierowana jest w górę.



1. Odczytaj z wykresu amplitudę i okres drgań tego wahadła, a następnie oblicz ich częstotliwość.

2. Odpowiedz na podstawie wykresu, czy w chwili $t = 0{,}2$ s:

a) ciężarek porusza się w górę czy w dół,

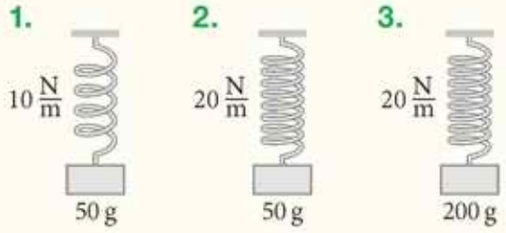
b) siła wypadkowa działająca na ciężarek jest skierowana w górę czy w dół,

c) prędkość ciężarka rośnie, czy maleje.

3. Zygmunt chce rozkołysać dzwon. Siły wystarcza mu jednak tylko na jego lekkie odchylenie, przy którym serce nie uderza jeszcze w płaszcz dzwonu. Opisz, w jaki sposób może osiągnąć swój cel. Z jakiego zjawiska fizycznego skorzysta?

4. Rysunek przedstawia trzy wahadła sprężynowe. Wskaż, które z wahadeł ma dłuższy okres drgań:

a) nr 1 czy nr 2, **b)** nr 2 czy nr 3.



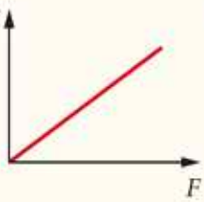
5. Odległość między Ziemią a Słońcem to ok. 150 mln km. Światło porusza się w próżni z prędkością 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$. Oznacza to, że gdyby Słońce zgasło, zauważylibyśmy to po upływie:

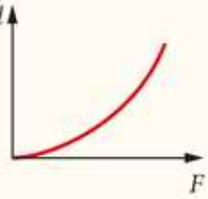
A. 0,002 s.
B. 0,5 s.
C. 500 s.
D. 2000 s.

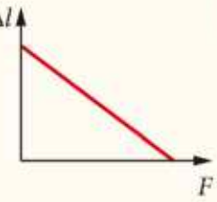
6. Najniższy dźwięk kontrabasu ma częstotliwość 40 Hz. Oblicz długość fali dźwiękowej o takiej częstotliwości rozchodzącej się w powietrzu.

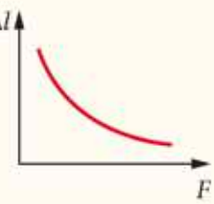
ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

1. Który z wykresów przedstawia zależność przyrostu długości sprężyny od przyłożonej siły zgodnie z prawem Hooke'a?

A.


C.


B.


D.


2. Współczynnik sprężystości sprężyny wynosi 40 $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$. O ile rozciągnie się ta sprężyna pod działaniem siły 2 N?

A. 2 cm
B. 4 cm
C. 5 cm
D. 8 cm

3. Ciężarek na sprężynie porusza się w górę i znajduje się poniżej położenia równowagi.

a) Opisz, jak wówczas zmieniają się (rosną czy maleją) energia potencjalna grawitacji, energia potencjalna sprężystości oraz energia kinetyczna.

b) Opisz przemiany energii zachodzące w tej sytuacji.

4. Fale radiowe wykorzystywane w telefonii 5G mają częstotliwość do 39 GHz. Oblicz długość takiej fali.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. Gdy nie rozciągamy sprężyny, ma ona długość 20 cm. Jej współczynnik sprężystości wynosi 10 $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$. Narysuj wykres przedstawiający zależność długości sprężyny od rozciągającej ją siły.

Wskazówka. Zwróć uwagę, że w poleceniu napisano o długości sprężyny, a **nie** o przyroście długości.

2. Zależność między długością l wahadła matematycznego, a jego okresem T przedstawia się wzorem:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

gdzie g jest przyspieszeniem ziemskim.

a) Oblicz okres wahadła o długości 28 m znajdującego się w muzeum Kopernika we Fromborku.

b) Oblicz długość wahadła, którego okres wynosi 3 s.

c) Na Księżycu przyciąganie grawitacyjne jest 6 razy słabsze niż na Ziemi. Jak długie powinno być wahadło, aby miało okres wahań taki sam jak dwumetrowe wahadło na Ziemi?

d) Opisz, jak można za pomocą wahadła matematycznego wyznaczyć przyspieszenie ziemskie.

Projekt Ten zegar stary…

Wprowadzenie

Dlaczego w projekcie do rozdziału o ruchu drgającym zajmiemy się zegarami? Otóż zarówno zegary mechaniczne, jak i elektroniczne działają dzięki zliczaniu powtarzających się zjawisk.

Pytania i polecenia

Uwaga. Ten projekt warto wykonywać w grupie. Wówczas możecie podzielić się zagadnieniami w zależności od swoich zainteresowań. Jeśli jednak realizujesz go sam, wybierz niektóre z poniższych pytań i poleceń.

1. Wyszukaj najważniejsze daty z historii zegarów i przedstaw je na osi czasu. Zaznacz na niej – dla porównania – także znane wydarzenia z historii politycznej i historii kultury.
2. Dowiedz się, na czym polegał mechanizm zegara z wychwytem. Spróbuj zbudować działający (choćby niedługo) model takiego zegara.
3. Czy w twojej miejscowości albo jej okolicy są zabytkowe zegary na wieżach? Jeśli tak, poznaj ich historię, wykonaj zdjęcia – jeśli to możliwe, także zdjęcia mechanizmu. A może przy tej okazji uda ci się znaleźć nieznane dotąd informacje na temat historii twojego regionu?
4. Dlaczego aż do XVIII w. tak dużym problemem dla żeglarzy było wyznaczanie długości geograficznej? W jaki sposób posiadanie dokładnego zegara pozwala rozwiązać ten problem? Dowiedz się więcej na ten temat. Wyjaśnij też, dlaczego z szerokością geograficzną nie było takiego kłopotu.
5. Jak działa zegar kwarcowy (elektroniczny)? Czy on także zlicza drgania mechaniczne, czy też wykorzystuje jakieś inne zjawisko okresowe?



▲ Zegar astronomiczny z bazyliki Mariackiej w Gdańsku oprócz godzin wskazuje m.in. fazy Księżyca, dni tygodnia, daty świąt (w tym świąt ruchomych), położenie Słońca i Księżyca na tle znaków zodiaku



9 Zjawiska falowe

Pasażerowie samolotu mogą czasami widzieć jego cień na chmurach, ponad którymi lecą. Skąd jednak tęczowa aureola?



18. Powierzchnie falowe. Odbicie fali

Cele lekcji:

- Nauczysz się opisywać fale za pomocą powierzchni falowych i promieni fal.
- Poznasz kilka rodzajów fal: płaskie, koliste i kuliste.
- Przypomnisz sobie prawo odbicia.

Koliste i płaskie fale na wodzie

Grzbiety fal mogą się układać w różne kształty. Dwa najbardziej charakterystyczne z nich zbadamy doświadczalnie w przypadku fal na wodzie.

Doświadczenie 14.

Obserwacja fal kolistych i płaskich

1. Przygotuj duże prostokątne naczynie o jasnym dnie, długą linijkę i lampkę.
2. Nalej do naczynia trochę wody.
3. Ustaw naczynie tak, aby dokładnie widzieć jego wnętrze (np. na niskim stoliku), a następnie oświetl je mocno od góry.
4. Uderzaj palcem w powierzchnię wody pośrodku naczynia. Obserwuj rozchodzące się fale (zdjęcie A).
5. Uderzaj linijką albo deseczką w powierzchnię wody (zdjęcie B) w pobliżu brzegu naczynia. Obserwuj fale rozchodzące się zarówno przed odbiciem od brzegów naczynia, jak i po odbiciu.

   Naszkicuj w zeszycie, jak rozchodzą się fale w obu przypadkach.

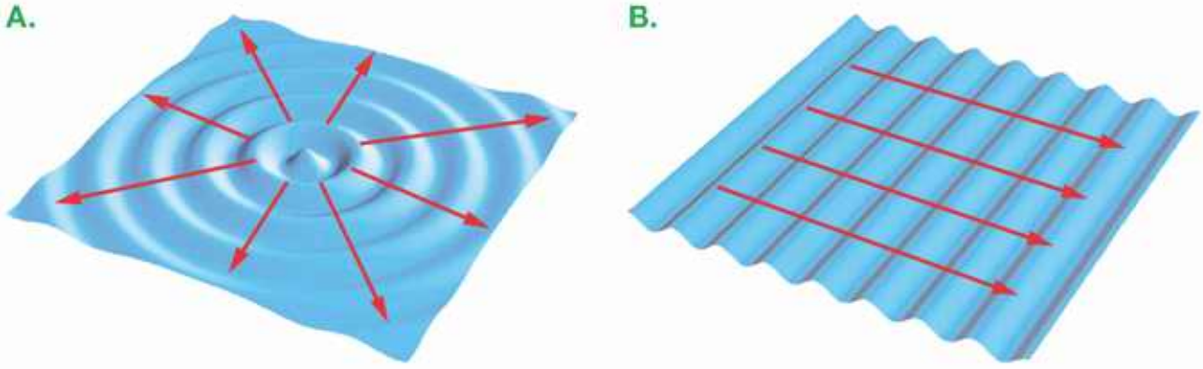
A.



B.



Gdy obserwujemy fale na wodzie, możemy zauważyć, że ich grzbiety i doliny układają się w linie. Na rysunku A (na stronie obok) tworzą okręgi, a na rysunku B – odcinki linii prostej. W pierwszym przypadku mówimy o **fali kolistej**, w drugim – o **fali płaskiej**.



▲ Fale koliste (A) i płaskie (B) na wodzie. Czerwone linie to promienie fali

Zauważ, że na rysunku fale te przedstawiono wraz z ich promieniami.

Promień fali to linia prostopadła do grzbietów i dolin fal, która wskazuje kierunek rozchodzenia się fali.

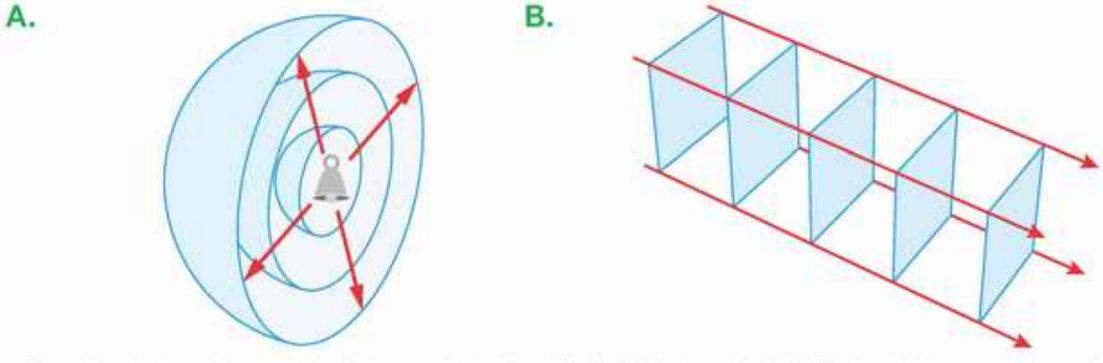
Na pewno znasz pojęcie *promień światła*, ale można mówić także o promieniach innych fal. Na przykład promień fali dźwiękowej to linia pokazująca, jak rozchodzi się dźwięk.

Powierzchnie falowe

W przypadku fal dźwiękowych odpowiednikiem grzbietu fali jest miejsce, gdzie powietrze jest maksymalnie zagęszczone. Takie grzbiety układają się w powierzchnie zwane **powierzchniami falowymi.**

Jeśli powierzchnia falowa ma kształt sfery (powierzchni kuli), falę nazywamy **kulistą**. Jeśli ta powierzchnia jest fragmentem płaszczyzny, falę nazywamy **płaską**.

Tak więc fala kulista to trójwymiarowy odpowiednik fali kolistej. Fale kuliste i płaskie rozchodzące się w przestrzeni przedstawia rysunek. Czerwone strzałki to promienie fal.



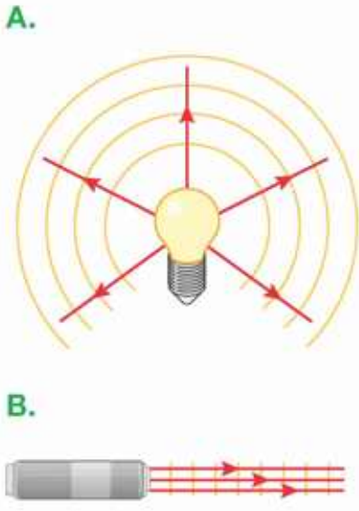
▲ Promienie i powierzchnie falowe: **A.** kulistej fali dźwiękowej, **B.** fali płaskiej w przestrzeni

Oba te pojęcia opisują wyidealizowaną sytuację, jednak mają zastosowanie w rzeczywistości. Gdy źródło fali dźwiękowej emituje ją we wszystkie strony mniej więcej równomiernie, w przybliżeniu mamy do czynienia z falą kulistą. Z kolei gdy obserwujemy falę docierającą do niewielkiego obszaru z dala od źródła, jest ona w przybliżeniu płaska.

Światło – fala kulista czy płaska

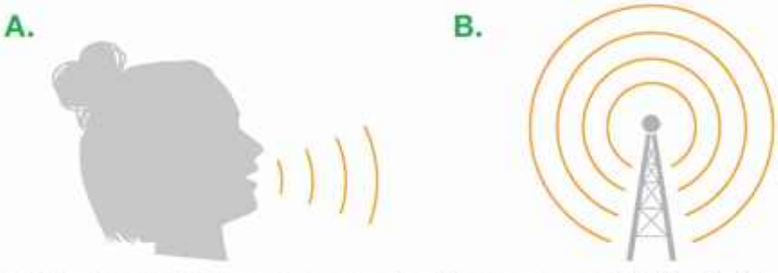
Również w przypadku fal elektromagnetycznych, w tym światła, można mówić o grzbietach fali, czyli miejscach, gdzie w danym momencie pole elektryczne jest najsilniejsze. Takie grzbiety układają się w powierzchnie falowe. Na przykład nieosłonięta żarówka wytwarza falę świetlną zbliżoną do kulistej (patrz rys. A). Natomiast laser wytwarza falę płaską, w której promienie są równoległe (rys. B).

Uwaga. Pojęcia *promień* używamy w fizyce w dwóch znaczeniach. Mówimy o promieniu fali jako o wyobrażonej linii, ale realną wąską, równoległą wiązkę światła także nazywamy promieniem.



▲ Nieosłonięta żarówka wytwarza w przybliżeniu kulistą falę świetlną (A), a laser – falę płaską (B)

Fale radiowe często przedstawia się na schematycznych rysunkach jako fale kuliste, choć nie jest to ściśle zgodne z fizyką (patrz ramka „A to ciekawe" na s. 119).



▲ Gdy na schematycznym rysunku chcemy przedstawić dźwięk (A) albo fale radiowe (B), rysujemy fragmenty powierzchni falowych fali kulistej

Odbicie fali

Pojęcia powierzchni falowych i promienia fali posłużą nam do opisu kilku zjawisk, które zachodzą dla wszystkich fal, niezależnie od ich natury. Zajmiemy się nimi na kilku najbliższych lekcjach.

Pierwsze z tych zjawisk to **odbicie** fali. Dla fal na wodzie mogliśmy je obserwować na początku lekcji.

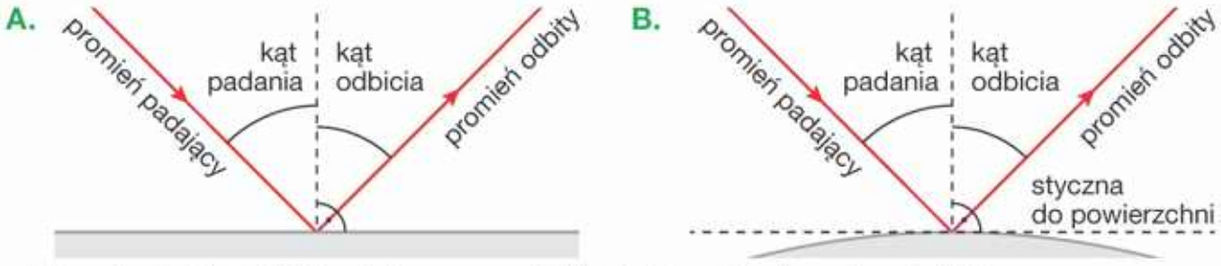
Ze szkoły podstawowej pamiętasz z pewnością odbicie światła od zwierciadła (patrz zdjęcie).

Choć fale na wodzie i światło mają zupełnie inną naturę fizyczną, w obu doświadczeniach bieg promieni fal był podobny. Aby móc go dokładniej opisać, wprowadzimy dwa pojęcia: kąt padania i kąt odbicia.



▲ Odbicie promienia światła od zwierciadła

Kąt padania to kąt między promieniem padającym a prostą prostopadłą do powierzchni odbijającej. Analogicznie, **kąt odbicia** to kąt między promieniem odbitym a prostą prostopadłą do powierzchni odbijającej.



▲ Kąt padania i kąt odbicia od płaszczyzny (A) i od zakrzywionej powierzchni (B)

Gdy fala odbija się od zakrzywionej powierzchni, kąty mierzymy względem prostej prostopadłej do powierzchni stycznej w miejscu odbicia (patrz rys. B powyżej).
Teraz możemy sformułować **prawo odbicia**:

> Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Oba te kąty leżą w jednej płaszczyźnie.

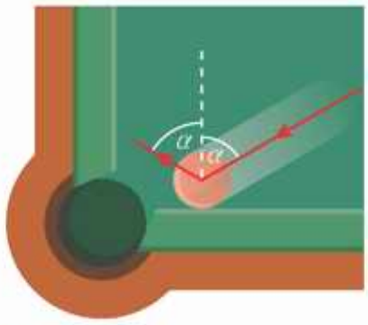
To prawo znasz ze szkoły podstawowej z lekcji o świetle. Teraz będziemy je stosować do wszystkich rodzajów fal.

Odbicie dźwięku

Również fale dźwiękowe ulegają odbiciu. Łatwo się o tym przekonać, gdy słyszymy echo, czyli gdy dociera do nas fala dźwiękowa odbita od przeszkody, np. od wysokich budynków, skał, ściany lasu.
Niektóre zwierzęta, np. nietoperze i delfiny, wykorzystują odbicie fal dźwiękowych do orientacji w przestrzeni. Zwykle posługują się ultradźwiękami.

Prawo odbicia nie tylko dla fal

Na koniec warto podkreślić, że prawo odbicia jest spełnione **nie tylko dla fal**. Kula bilardowa też odbija się od bandy stołu pod takim samym kątem, pod jakim w nią uderza (patrz rys. obok). Dlatego sam fakt, że światło podlega prawu odbicia, nie pozwala jednoznacznie stwierdzić, że jest ono falą.
O zjawiskach, które są charakterystyczne **tylko** dla fal, powiemy w lekcjach 23.–25.



▲ Prawo odbicia dla kul bilardowych

A to ciekawe

W latach 1974–1991 maszt w Konstantynowie niedaleko Płocka, nadający Program Pierwszy Polskiego Radia, był najwyższą budowlą na świecie. Ponieważ antena działa najlepiej, gdy jej długość jest równa połowie długości fali, a rozgłośnia nadawała audycje na falach długich, więc postawiono maszt o wysokości 646 m.
Dlaczego jednak nie ułożono po prostu przewodu o takiej długości poziomo na ziemi? Otóż antena radiowa nie emituje fali kulistej. W miejscach położonych na jej przedłużeniu sygnał jest bardzo słaby, najlepiej zatem, aby te jej końce były skierowane w głąb ziemi i w niebo.

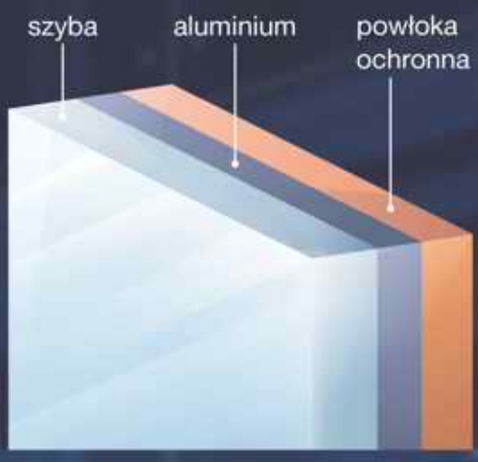


Lustro weneckie

Lustra weneckie to rodzaj zwierciadeł, przez które osoba znajdująca się po jednej stronie może patrzeć jak przez szybę, a osoba po drugiej stronie widzi tylko odbicie.

Zwykłe lustra

wykonuje się w taki sposób, że pokrywa się szybę substancją odbijającą światło, np. aluminium. Następnie nakłada się powłokę ochronną. Takie lustro jest całkowicie nieprzezroczyste.



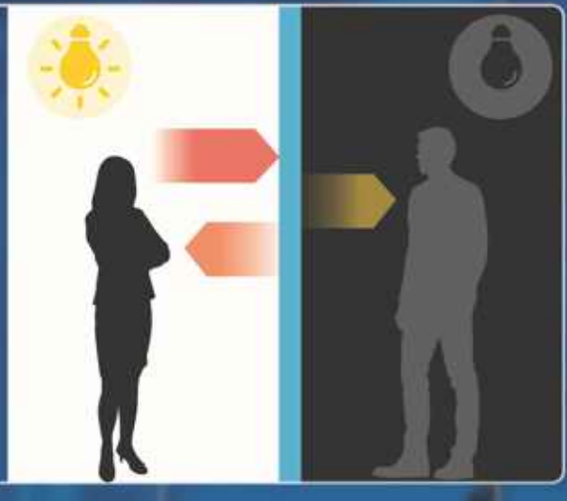
Lustra weneckie

różnią się od zwykłych tym, że nie mają powłoki ochronnej, a warstwa aluminium jest bardzo cienka i tylko część światła się od niej odbija. Pozostała jego część przedostaje się na drugą stronę.



Jak to działa

Z powyższego opisu wynika, że lustro weneckie działa tak samo w obydwie strony. Jak to się zatem dzieje, że z jednej strony możemy patrzeć przez lustro, a z drugiej widzimy tylko odbicie? Kluczową rolę gra tutaj różnica w oświetleniu po jednej i po drugiej stronie lustra. Z tej strony, gdzie jest jaśniej, zobaczymy swoje odbicie, z drugiej – będziemy widzieć przez lustro (to jak widzimy obrazują strzałki na rysunku obok).



Czy można rozpoznać, na jakie lustro patrzymy: zwykłe czy weneckie?

Zazwyczaj tak. W zwykłych lustrach aluminium napyla się na tylną stronę szyby o dużej przezroczystości. Szyba chroni powierzchnię aluminium przed uszkodzeniem. Takie rozwiązanie pozwala również nałożyć z tyłu warstwę farby ochronnej.

W lustrach weneckich często dla wzmocnienia różnicy w ilości światła padającego z obu stron na warstwę aluminium stosuje się szybę przyciemnianą. Dlatego metal musi być na nią nałożony po tej stronie, po której chcemy uzyskać efekt odbicia. Inaczej przyciemniona szyba byłaby widoczna, a samo odbicie – znacznie ciemniejsze.

Dlatego jeśli przyłożymy coś do powierzchni zwykłego lustra, między obiektem i jego odbiciem będzie niewielki odstęp, wynikający z grubości szyby. W przypadku lustra weneckiego przedmiot i jego odbicie będą się stykać.



Lustra weneckie znamy np. z filmowych sal przesłuchań, ale nie tylko. Znajdują zastosowanie nawet w budynkach biurowych i zwykłych domach, gdy chcemy zmniejszyć naświetlenie pomieszczeń w dzień a jednocześnie uniemożliwić ciekawskim zaglądanie do środka. Przykładem luster weneckich są również okulary przeciwsłoneczne, tzw. lustrzanki.



To najważniejsze

- Grzbiety fal układają się w **powierzchnie falowe**.
- W zależności od kształtu powierzchni falowych wyróżniamy **fale płaskie** i **koliste** na płaszczyźnie (np. na powierzchni wody) oraz **fale płaskie** i **kuliste** w przestrzeni.
- **Promienie fal** to linie prostopadłe do powierzchni falowych.
- **Prawo odbicia:** Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Oba te kąty leżą w jednej płaszczyźnie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Jakiego rodzaju fala powstanie w opisanym przypadku: płaska, kulista czy kolista?
   Wiadomo, że określenie rodzaju fali jest pewnym przybliżeniem. Wyjaśnij w każdym z przypadków, na czym polega to przybliżenie.
   a) Uderzamy palcem w powierzchnię wody.
   b) Uderzamy krawędzią linijki w powierzchnię wody.
   c) Zapałka płonie i emituje światło.
   d) Reflektor rzuca na scenę równoległą wiązkę światła.
2. Oblicz częstotliwość fal radiowych nadawanych przez maszt w Konstantynowie (patrz „A to ciekawe" na s. 119).
3. Kąt między promieniem padającym a promieniem odbitym wynosi 60°. Narysuj tę sytuację w zeszycie. Zaznacz kąt padania i kąt odbicia, a następnie oblicz ich miary.
4. Porównaj działanie echosondy używanej przez marynarzy i radaru na lotnisku. Co mają ze sobą wspólnego te urządzenia? Czym się różnią? Potrzebne informacje znajdź w dostępnych źródłach. Zapisz w zeszycie, z jakich źródeł korzystasz.

Doświadczenie domowe

Czy papierem można wzmocnić dźwięk

1. Włącz w telefonie komórkowym generator dźwięków, np. online albo w aplikacji Phyphox.
2. Weź kartonową rurkę, np. po ręczniku papierowym, jeden jej koniec przyłóż do ucha, a drugi zbliż do głośnika telefonu. Następnie odsuń rurkę. Jak się zmienia głośność dźwięku?
3. Wyjaśnij obserwowane zjawisko. Zwróć uwagę, że rurka nie ma źródła energii.





19. Rozpraszanie fali

Cele lekcji:

- Dowiesz się, dlaczego w kartce papieru nie da się przejrzeć.
- Nauczysz się demonstrować rozpraszanie światła w ośrodku.
- Zrozumiesz, dlaczego niebo w dzień jest błękitne, a zachodzące słońce – czerwone.

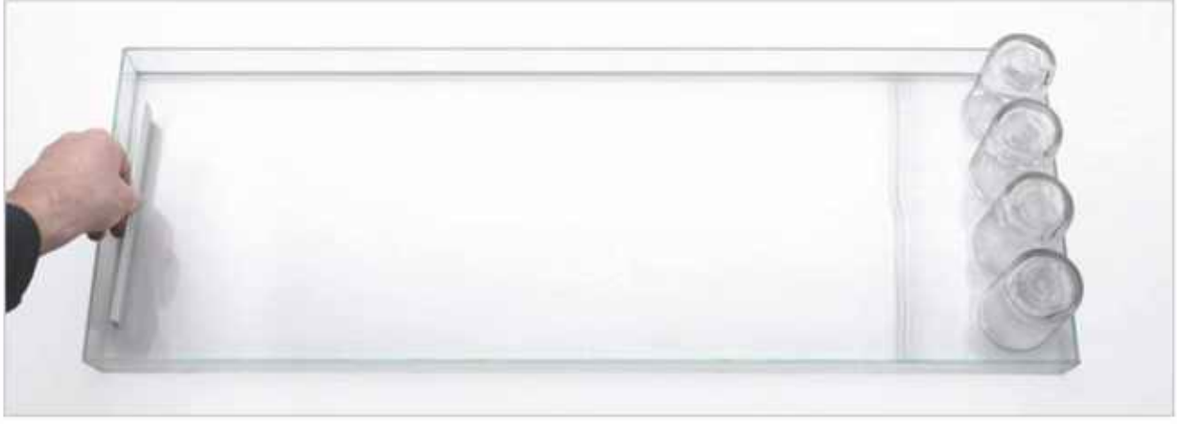
Rozpraszanie podczas odbicia

Wykonajmy jeszcze raz doświadczenie z falami na wodzie, jednak tym razem w zmodyfikowanej wersji.

Doświadczenie 15.

Rozpraszanie fal na wodzie

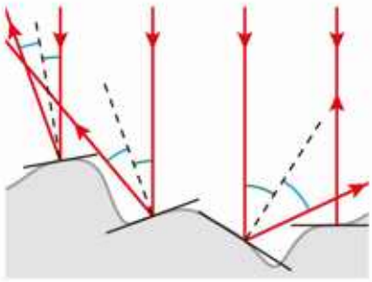
1. Przygotuj duże prostokątne naczynie o jasnym dnie, lampkę, kilka małych szklanek albo podobnych przedmiotów, deseczkę lub linijkę. Nalej do naczynia trochę wody.
2. Ustaw naczynie tak, aby dokładnie widzieć jego wnętrze (np. na niskim stoliku), a następnie oświetl je mocno od góry.
3. Na jednym końcu naczynia ustaw przeszkodę z kilku szklanek (patrz zdjęcie).
4. Za pomocą deseczki puść z przeciwległego końca naczynia pojedynczy impuls fali płaskiej. Obserwuj, co się stanie, gdy fala dotrze do szklanek.



Jak widzimy w doświadczeniu, po napotkaniu nieregularnej powierzchni utworzonej przez szklanki fala płaska się odbiła. Jednak fala odbita nie była już płaska – jej powierzchnie falowe były bardzo nieregularne. Mówimy, że fala została **rozproszona**.

W każdym z miejsc z osobna fala odbijała się zgodnie z prawem odbicia, tzn. kąt odbicia był równy kątowi padania, ale były to kierunki mierzone względem różnych prostych (patrz rys. obok).

W podobny sposób zachowuje się światło. Biała kartka odbija światło równie dobrze jak lustro. Jednak lustro jest gładkie, a kartka chropowata, nawet jeśli gołym okiem wydaje się gładka (patrz zdjęcie). Dlatego kartka rozprasza światło i nie tworzy obrazu jak zwierciadło – nie da się w niej przejrzeć.



▲ Rozproszenie po odbiciu od nieregularnej powierzchni. Dla każdego z promieni zaznaczono styczną do powierzchni, linię do niej prostopadłą oraz kąt padania i kąt odbicia



▲ W dużym powiększeniu widać, że kartka papieru nie jest gładka

Rozpraszanie w ośrodku

Światło ulega rozpraszaniu nie tylko przy odbiciu od powierzchni. To zjawisko zachodzi także wtedy, gdy w czasie biegu przez ośrodek światło napotyka jego niejednorodności.

Doświadczenie obowiązkowe

Obserwacja rozpraszania światła w ośrodku

1. Przygotuj szklankę, mleko, łyżeczkę oraz wskaźnik laserowy. Doświadczenie lepiej wykonać przy słabym oświetleniu, zwłaszcza jeśli laser ma niewielką moc.

Uwaga. Nawet laser o małej mocy może być niebezpieczny, gdy jego wiązkę skierujemy do oka. Zwróć więc uwagę, aby nie zaświecić nim w oczy ani sobie, ani innym osobom.

2. Nalej wodę do szklanki prawie do pełna. Zaświeć laserem z góry do wody. Co obserwujesz?
3. Dodaj do wody jedną małą kroplę mleka i dokładnie wymieszaj. Ponownie zaświeć z góry laserem. Jak się zmieniło obserwowane zjawisko?



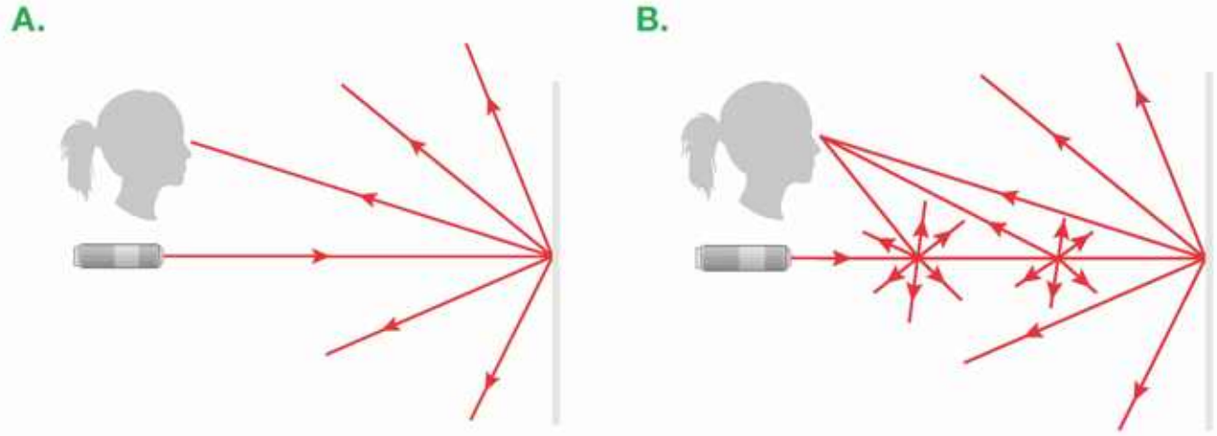
Po dodaniu do wody mleka wiązkę światła widać znacznie wyraźniej niż bez niego. Dlaczego tak się dzieje?

Przede wszystkim zwróćmy uwagę na fakt, że światło widzimy wtedy, gdy dociera do naszych oczu, a nie wtedy, gdy biegnie obok nas w inną stronę. Wiązkę światła biegnącą przez próżnię możemy zobaczyć z boku tylko w filmach fantastycznych (patrz zdjęcie na następnej stronie) jako efekt specjalny.



◀ *Star Trek* to film fantastycznonaukowy. Ale akurat na tym kadrze widzimy obraz sprzeczny z nauką – w próżni nie widać biegnącego światła

W powietrzu na ogół także nie widzimy wiązki światła. Na przykład gdy w pokoju świecisz wskaźnikiem laserowym, widzisz plamkę światła na ścianie, ale na ogół nie obserwujesz wiązki światła biegnącej od lasera do plamki (patrz rys. A poniżej). Napisaliśmy: „na ogół", ponieważ dużo kurzu albo dymu w powietrzu powoduje, że światło odbija się od zawieszonych w powietrzu pyłków (rys. B). Tworzy ono wtedy jasną linię między laserem a plamką, zupełnie jak w scenie ze *Star Treka*.



▲ Co widać, gdy światło lasera rozchodzi się w powietrzu: **A.** czystym, **B.** pełnym pyłków kurzu lub dymu

Zwróćmy uwagę, że światło odbija się od pyłków w różnych kierunkach. Mówimy, że ulega ono **rozproszeniu**. Tylko niewielka część rozproszonego światła dociera do naszych oczu. I całe szczęście – taka ilość światła nie jest szkodliwa dla wzroku.

Promień światła **rozprasza się** na niejednorodnościach ośrodka.

Podobne zjawisko obserwowaliśmy w doświadczeniu. W czystej wodzie światło ulega rozproszeniu w małym stopniu. Natomiast po dodaniu mleka w wodzie pojawiły się mikroskopijne krople tłuszczu, cząsteczki białka i innych substancji. Na tych drobnych niejednorodnościach światło może się rozpraszać, a część rozproszonego światła trafia do naszych oczu.

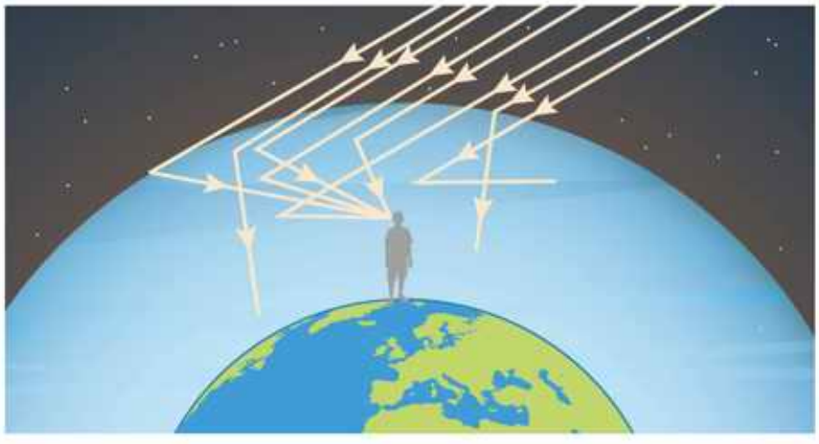
Dlaczego niebo w dzień jest jasne

Rzadko zastanawiamy się nad tym, dlaczego w ciągu dnia niebo nie jest czarne. O tym, że mogłoby tak być, świadczą zdjęcia z Księżyca (patrz zdjęcie obok). Nawet gdy Słońce i Ziemia świecą jasno na jego niebie, samo niebo nad Księżycem pozostaje ciemne.

Tę różnicę między Ziemią a Księżycem zawdzięczamy istnieniu na naszej planecie atmosfery. Światło słoneczne dociera do Ziemi jako wiązka niemal równoległych promieni. Ulega jednak rozproszeniu w atmosferze, a rozproszone promienie biegną w najrozmaitszych kierunkach. Część z nich trafia akurat do naszych oczu (patrz rys. poniżej). Ponieważ dochodzą one do oczu ze wszystkich stron, wydaje nam się, że otacza nas wielka błękitna pokrywa, którą nazywamy niebem.



▲ Niebo widziane z Księżyca zawsze jest ciemne



Na rysunku przedstawiono głównie promienie docierające do oczu obserwatora, ale znacznie więcej promieni po rozproszeniu biegnie w różnych innych kierunkach.

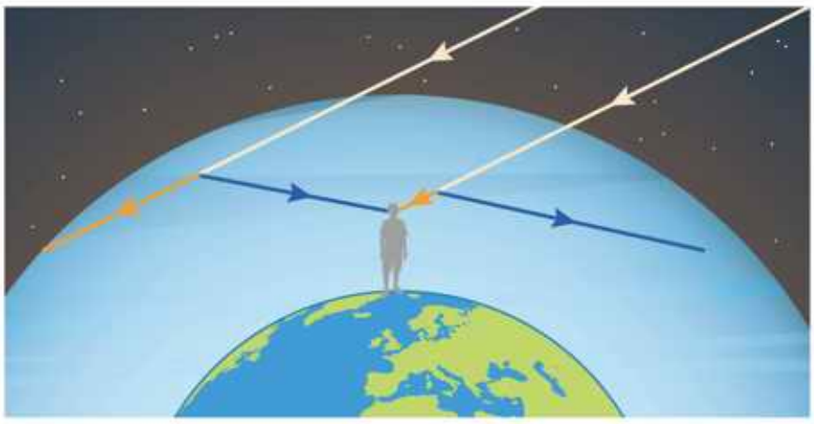
▲ Światło rozproszone w atmosferze dociera do naszych oczu

W rzeczywistości nic takiego nie istnieje. Gdy patrzymy do góry, widzimy po prostu światło rozproszone w powietrzu. Nie ma też sensu pytać, jak wysoko nad nami znajduje się błękitne niebo – światło odbija się od niejednorodności powietrza na różnych wysokościach.

Dlaczego niebo jest błękitne

Skoro jednak światło jasnego nieba w rzeczywistości jest rozproszonymi promieniami słonecznymi, to dlaczego niebo jest błękitne, a nie żółte jak Słońce?

Przede wszystkim, światło emitowane przez Słońce jest białe, a nie żółte (możemy to zobaczyć, gdy spojrzymy na naszą gwiazdę znad atmosfery, np. z satelity). Jednak gdy dociera ono do atmosfery, fale o różnej długości ulegają rozproszeniu w różnym stopniu: krótsze, czyli fioletowe i niebieskie silniej, pozostałe słabiej (patrz rysunek na następnej stronie). Te pozostałe długości odbieramy łącznie jako żółtą barwę słońca. Światła fioletowego jest w widmie Słońca niewiele. Natomiast rozproszone światło niebieskie dociera do nas z różnych stron i właśnie to światło widzimy jako błękit nieba.



Gdy białe światło słoneczne dociera do atmosfery, światło niebieskie rozprasza się silniej niż pozostałe barwy (łącznie widoczne jako żółte)

Dlaczego zachodzące słońce jest czerwone

Zauważmy, że im dłuższa droga promienia słonecznego w atmosferze, tym więcej krótkich fal ulega rozproszeniu i tym bardziej barwa słońca jest zbliżona do czerwieni. Z czym ci się to kojarzy?

Gdy słońce jest nisko nad horyzontem, jego światło przebywa dłuższą drogę w atmosferze (patrz rys. poniżej) i jest silniej rozpraszane. Stąd właśnie czerwony kolor wschodzącego i zachodzącego słońca.

Czerwona barwa zachodzącego słońca jest szczególnie intensywna po wybuchach wulkanów, gdyż wówczas w powietrzu jest więcej pyłu.



Tuż po wschodzie i tuż przed zachodem Słońca jego światło przebywa dłuższą drogę w atmosferze niż ma to miejsce w południe

To najważniejsze

- Gdy fala odbija się od nieregularnej powierzchni, ulega **rozproszeniu**, tzn. jej promienie odbijają się w różne strony.
- Fala ulega rozproszeniu także na niejednorodnościach ośrodka, w którym się rozchodzi.
- Niebo w dzień jest jasne, ponieważ światło słoneczne rozprasza się na niejednorodnościach w atmosferze. Światło niebieskie ulega silniejszemu rozproszeniu – dlatego niebo jest niebieskie.
- Gdy Słońce znajduje się nisko nad horyzontem, jego światło przebywa dłuższą drogę w atmosferze i w większym stopniu ulega rozproszeniu. Dlatego dociera do nas głównie światło czerwone.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Przepisz do zeszytu zdania i uzupełnij je nazwami odpowiednich barw.

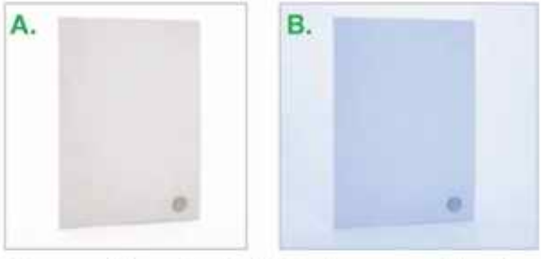
   Słońce emituje ////. światło, złożone z wielu różnych barw. W atmosferze Ziemi światło //// rozprasza się mocniej niż pozostałe barwy i dociera do nas ze wszystkich stron jako światło błękitnego nieba. Natomiast światło Słońca pozbawione częściowo niebieskiego odbieramy jako barwę ////, a gdy Słońce jest nisko nad horyzontem – jako ////.

2. W wielu filmach widzimy, jak osoby włamujące się do pomieszczenia chronionego alarmem rozpylają dym, co pozwala im zobaczyć promienie światła w instalacji alarmowej.



   Wyjaśnij, dlaczego światło zaczyna być widoczne dopiero po rozpyleniu dymu.

3. Na zdjęciach widzisz tę samą białą kartkę sfotografowaną w bezchmurny dzień w dwóch miejscach: oświetlonym bezpośrednio przez słońce (zdjęcie A) oraz w cieniu drzewa (zdjęcie B). Dlaczego zdjęcie B jest niebieskawe? Dlaczego zdjęcie A nie ma takiego zabarwienia?



4. Zastanów się, jaki kolor ma Słońce widziane z Księżyca:

   a) gdy znajduje się wysoko na księżycowym niebie,

   b) tuż przed zachodem.

5. Niebo w nocy jest ciemne, ale nie jest całkowicie czarne. Zaproponuj, jak można doświadczalnie poznać jego kolor. Możesz spróbować zastosować swój sposób w praktyce.

Doświadczenie domowe

Jaki kolor ma dym

1. Przygotuj kadzidełko. Upewnij się, czy nie jesteś uczulony na jego dym. Doświadczenie przeprowadź w pokoju, w którym jest tylko jedno źródło światła – jedna lampa albo światło padające z okna po jednej stronie pokoju.
2. Zapal kadzidełko. Spójrz na jego dym dwa razy: pod światło oraz stojąc tyłem do światła. Czym się różni barwa dymu w obu przypadkach?
3. Wyjaśnij obserwacje na podstawie wiadomości z tej lekcji.

Wskazówka. Dym zawiera wielką liczbę bardzo drobnych cząstek.





20. Załamanie fal

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak zmienia się kierunek fali przy przejściu do innego ośrodka.
- Zrozumiesz, dlaczego przedmioty częściowo zanurzone w wodzie wyglądają jak złamane.

Przejście fali do innego ośrodka

Kiedy nurkujesz w basenie, słyszysz dźwięki powstające poza wodą. To znaczy, że fala dźwiękowa może przejść z jednego ośrodka do drugiego, w tym przypadku: z powietrza do wody. Również światło przechodzi z powietrza do wody, w przeciwnym wypadku tuż pod powierzchnią wody panowałaby całkowita ciemność.
Na tej lekcji zajmiemy się zjawiskami zachodzącymi podczas przechodzenia fali z jednego ośrodka do drugiego. Na początek przypomnijmy ze szkoły podstawowej proste doświadczenie ilustrujące załamanie światła na granicy wody i powietrza.

Doświadczenie 16.

Załamanie światła

1. Przygotuj jasne, matowe, prostopadłościenne pudełko o wysokości co najmniej 8 cm oraz laser.

Wskazówka. Doświadczenie wykonaj w półmroku.

2. Nalej wody do połowy pudełka.
3. Ustaw laser równolegle do jednej ze ścianek naczynia (jak najbliżej niej) tak, aby światło lasera padało do wody pod pewnym kątem i jednocześnie tworzyło na ściance naczynia widoczną linię (patrz zdjęcie).
4. Naszkicuj w zeszycie bieg promienia światła w tym doświadczeniu.
5. Ponad powierzchnią wody umieść niewielki biały przedmiot (jak na zdjęciu), tak aby światło lasera odbite od wody tworzyło na nim kolorową plamkę.



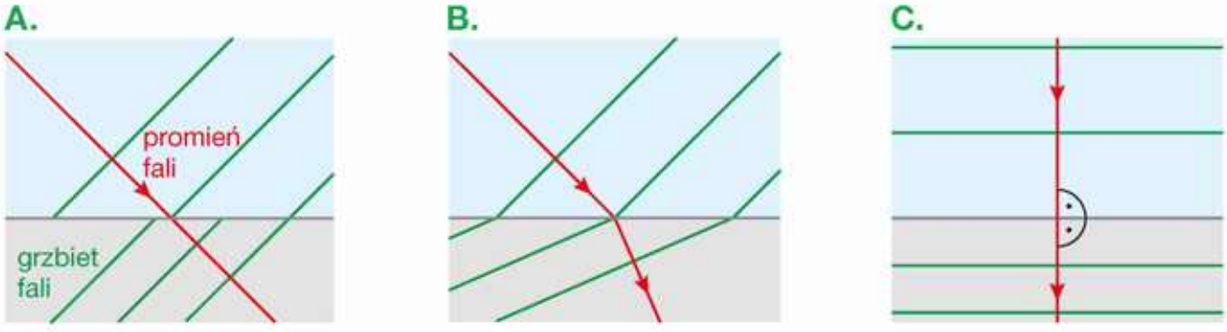
Z doświadczenia 16. wynika, że światło przechodzące z powietrza do wody zmienia kierunek rozchodzenia się.

> Zmiana kierunku rozchodzenia się fali podczas przejścia z jednego ośrodka do drugiego nazywa się **załamaniem fali**.

Zauważmy od razu, że **nie całe światło przechodzi do wody i ulega załamaniu – jego część się odbija**. Światło odbite mogliśmy zaobserwować w punkcie 5. doświadczenia. Dzięki temu samemu zjawisku można się przejrzeć w lustrze wody.
Załamanie i odbicie na granicy dwóch ośrodków zachodzi także w przypadku fal dźwiękowych. Jest ono trudniejsze do zaobserwowania, gdyż niełatwo jest dokładnie śledzić kierunek rozchodzenia się fali dźwiękowej.

Przyczyna załamania fali

Jak wiesz ze szkoły podstawowej, w próżni światło rozchodzi się z prędkością ok. 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$, a w powietrzu – tylko nieco wolniej niż w próżni. Jednak w wodzie albo w szkle prędkość światła jest dużo mniejsza. Jak wyjaśnialiśmy na s. 93, kiedy fala przechodzi **z jednego ośrodka do drugiego** i zmienia się jej prędkość, **nie zmienia się jej częstotliwość**, zatem musi się zmienić długość fali. Dotyczy to także światła.
Właśnie ze zmianą długości fali jest związane jej załamanie. Spójrz na rysunki poniżej. Gdyby długość fali miała się zmniejszyć bez zmiany kierunku, grzbiety musiałyby ulec przerwaniu (rys. A). Jednak grzbiety fali tworzą linie ciągłe (rys. B), a to jest możliwe tylko po zmianie jej kierunku. Wyjątkiem jest jedynie sytuacja, gdy fala pada na granicę ośrodków prostopadle. Wówczas kierunek fali się nie zmienia, ale nie wiąże się to z zerwaniem grzbietów (rys. C).



▲ Aby grzbiety fali nie zostały rozerwane (A), po zmianie jej długości musi się także zmienić kierunek rozchodzenia (B). Tylko fala padająca prostopadle na granicę ośrodków nie zmienia kierunku promieni (C)

Zjawiska związane z załamaniem światła

Załamanie światła jest przyczyną powstawania wielu **złudzeń optycznych**. Łyżeczka włożona do szklanki z wodą wydaje się złamana. Kiedy patrzymy na basen, może nam się wydawać, że wody jest mniej niż w rzeczywistości. Także powstawanie fatamorgany (patrz zdjęcie na następnej stronie) wynika z załamania światła.



▲ Ze względu na załamanie światła słomka wydaje się złamana

To samo zjawisko wykorzystujemy w praktyce w urządzeniach zawierających soczewki: aparatach fotograficznych, lornetkach, mikroskopach itp.

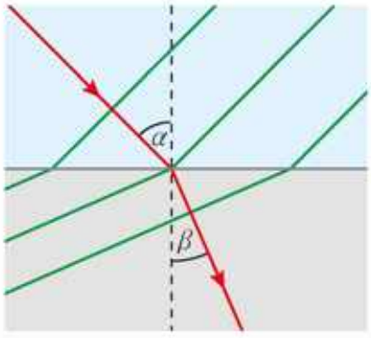
Soczewka działa dzięki załamaniu światła przy jego przejściu z powietrza do szkła i ze szkła do powietrza.



◀ Fatamorgana także jest skutkiem załamania światła

W którą stronę załamuje się fala

Do opisu zjawiska załamania wygodnie używać dwóch pojęć: kąt padania (kąt α na rysunku) i kąt załamania (kąt β na rysunku). Kąty te mierzymy względem prostej prostopadłej do granicy ośrodków (patrz rys. obok), podobnie jak w przypadku odbicia światła.



▲ Załamanie fali: α – kąt padania, β – kąt załamania

Gdy fala przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się wolniej, kąt załamania jest mniejszy od kąta padania.

Natomiast gdy fala przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej, kąt załamania jest większy od kąta padania.

Uwaga. Tych zależności nie trzeba się uczyć na pamięć. Zawsze można naszkicować sobie przebieg grzbietów fali i kierunek promieni.

D Prawo Snelliusa

Łatwo zaobserwować, że im większy kąt padania, tym większy kąt załamania. Nie jest to jednak proporcjonalność prosta. Zależność między tymi kątami opisuje **prawo Snelliusa** (albo **Snella**):

Stosunek sinusa kąta padania do sinusa kąta załamania jest taki sam jak stosunek prędkości fali w pierwszym ośrodku do prędkości fali w drugim ośrodku, a więc jest stały dla danych dwóch ośrodków.

To prawo można zapisać za pomocą równości:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2} = \text{const}$$

gdzie: α – kąt padania, β – kąt załamania, v_1 i v_2 – prędkość fali odpowiednio w pierwszym i drugim ośrodku.

To najważniejsze

- Gdy fala przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się z inną prędkością, zmienia się jej długość, a **częstotliwość pozostaje bez zmian**.
- Przy takiej zmianie ośrodka fala **się załamuje**, czyli zmienia kierunek.
- Załamanie nie zachodzi, kiedy fala pada na granicę ośrodków prostopadle do niej.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



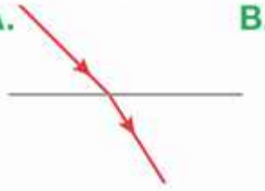
1. Na otwartym morzu fale poruszają się w różne strony. Jednak w pobliżu brzegu wszystkie biegną prostopadle do niego. Wyjaśnij dlaczego.

Wskazówka. Fale na płytszej wodzie rozchodzą się z mniejszą prędkością.

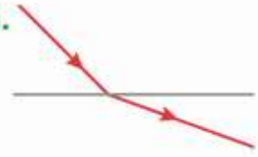


2. Wskaż, na którym z rysunków przedstawiono przechodzenie światła z powietrza do szkła, a na którym – ze szkła do powietrza.

A.



B.



3. Określ, czy kąt załamania jest większy czy mniejszy od kąta padania, gdy światło przechodzi:

a) z wody do lodu,

b) ze szkła do wody,

c) z lodu do szkła.

Wskazówka. Skorzystaj z tablicy prędkości światła w różnych ośrodkach na s. 331.

4. Fala dźwiękowa przechodzi z powietrza do wody. Wskaż, który z kątów jest większy: padania czy załamania. Czy w przypadku światła jest tak samo?

5. Dowiedz się, jak powstaje fatamorgana. Zapisz w kilku zdaniach zdobyte informacje i zanotuj, z jakiego źródła pochodzą. Wykonaj rysunek przedstawiający mechanizm powstawania tego zjawiska.

Doświadczenie domowe

Załamanie światła przez wodę w naczyniu

1. Przyjrzyj się zdjęciom zamieszczonym obok.

2. Przygotuj szklankę z wodą i dwukolorowe tło. Postaraj się uzyskać obraz taki jak na zdjęciu A. Spróbuj wyjaśnić ten efekt.

3. Przygotuj inne tło, aby uzyskać bardziej skomplikowany, ciekawy artystycznie obraz. Inspiracją może być zdjęcie B, ale nie naśladuj go dokładnie.

4. Wykonaj zdjęcie. Postaraj się wyjaśnić obserwowane zjawisko.

A.



B.





21. Całkowite wewnętrzne odbicie

Cele lekcji:

- Dowiesz się, na czym polega całkowite wewnętrzne odbicie fali.
- Poznasz zasadę działania światłowodu i zbudujesz jego prosty model.

Przejście światła z wody do powietrza

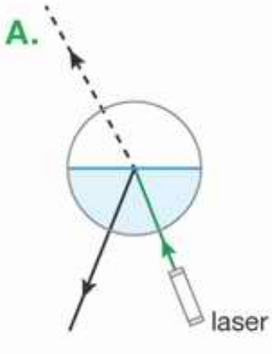
Obserwowaliśmy już przejście światła z powietrza do wody. Teraz zbadamy jego bieg w przeciwną stronę. Oczywiście nie będziemy zanurzali lasera w wodzie.

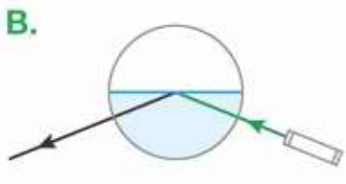
Doświadczenie 17.

Częściowe i całkowite wewnętrzne odbicie

1. Przygotuj laser, szklany słoik o pionowych ściankach (choćby na pewnym odcinku) wraz z pokrywką oraz mleko. Nalej do słoika wody do połowy wysokości, dodaj kroplę mleka, wymieszaj ciecze i dokładnie zakręć słoik.
2. Połóż słoik poziomo w takim miejscu, aby za nim znajdowała się biała ściana albo inna jasna powierzchnia. Skieruj na jego ściankę światło lasera tak, aby padało wzdłuż średnicy słoika (patrz zdjęcie). W tej sytuacji światło nie zmieni kierunku przy wejściu do wody.
3. Obserwuj promienie: biegnący w wodzie do jej powierzchni (na rysunku A zaznaczony jako zielony), odbity od tej powierzchni (czarny) oraz taki, który przeszedł z wody do powietrza (linia przerywana).
4. Zwiększaj teraz kąt padania (rys. B). Obserwuj, jak zmieniają się kąt załamania i jasność promienia odbitego.

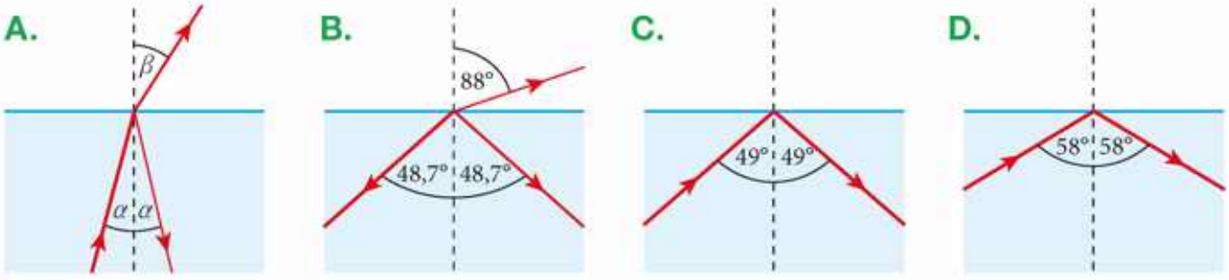






Całkowite wewnętrzne odbicie

Gdy światło przechodzi z wody do powietrza – albo ogólniej: do ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej – kąt załamania β jest większy od kąta padania α.



▲ Odbicie wewnętrzne: częściowe (A i B), całkowite (C i D)

Spójrz na rysunki A–D. Każdy z nich przedstawia promień padający z wody na granicę wody i powietrza. Na rysunku A zachodzi zarówno załamanie, jak i odbicie. Podobnie jest na rysunku B, ale tym razem kąt załamania jest bliski kąta prostego. W tej sytuacji mniejsza część światła ulega załamaniu, a większa – odbiciu. Na rysunku C kąt padania jest równy **kątowi granicznemu** (osiągnął ok. 49°). Dla takiego kąta padania kąt załamania byłby równy kątowi prostemu, jednak promień załamany już nie istnieje, ponieważ całe światło się odbija. Przy dalszym zwiększaniu kąta padania (rys. D) nadal mamy do czynienia tylko z odbiciem, bez załamania.

> Dla kątów padania równych kątowi granicznemu i większych od niego promień padający nie przechodzi do drugiego ośrodka (nie załamuje się), tylko w całości odbija się od powierzchni granicznej.

To zjawisko nazywamy **całkowitym wewnętrznym odbiciem**. Zachodzi ono tylko na granicy z ośrodkiem, **w którym światło rozchodzi się szybciej**, np. w wodzie na granicy z powietrzem. W odwrotnej sytuacji, np. kiedy światło przechodzi z powietrza do wody, zawsze zachodzi zarówno odbicie, jak i załamanie.

Kąt graniczny zależy od obu ośrodków, a ściślej: od prędkości światła w każdym z nich. Dla kilku wybranych par ośrodków kąty graniczne zebrano w tabeli obok.

Tabela. Kąt graniczny

Granica ośrodków	Kąt graniczny
Woda i powietrze	49°
Szkło i powietrze	42°
Szkło i woda	63°
Diament i powietrze	24°
Lód i powietrze	50°
Cukier i powietrze	40°
Cukier i woda	58°
Diament i woda	33°

D Kąt graniczny a prawo Snelliusa

Korzystając z prawa Snelliusa (s. 131), możesz wyznaczyć kąt graniczny dla dowolnych dwóch ośrodków, jeśli tylko znasz prędkość światła w tych ośrodkach.

Jest to taki kąt padania, dla którego kąt załamania wynosiłby 90°. Wówczas promień załamany musiałby biec po granicy obu ośrodków, co nie jest możliwe. Wystarczy więc podstawić do prawa Snelliusa $\beta = 90°$, aby obliczyć kąt padania α.

A to ciekawe

Czy wiesz, dlaczego brylanty (oszlifowane diamenty) tak pięknie się mienią? Otóż kąt graniczny dla diamentu (na granicy z powietrzem) jest niewielki, dlatego łatwo w nim o całkowite wewnętrzne odbicie. Kiedy jubiler szlifuje diament, nadaje mu taki kształt, aby światło opuszczało brylant tylko w określonych kierunkach.
Podobne właściwości ma imitacja diamentu, cyrkonia, czyli kryształ tlenku cyrkonu. Cyrkonie rzadko występują w przyrodzie, ale łatwo wytwarzać je sztucznie, więc są znacznie tańsze od brylantów.

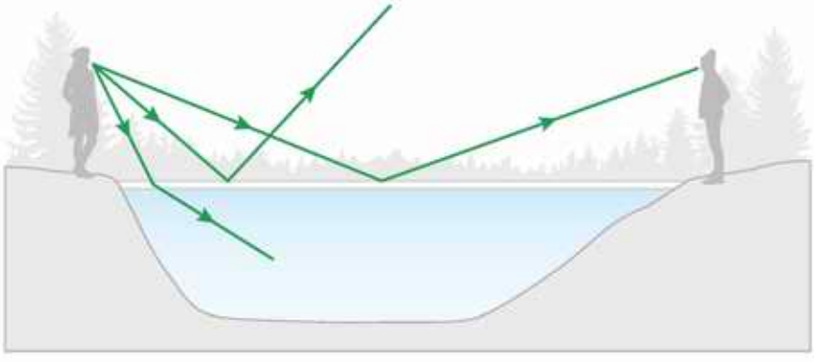


Całkowite wewnętrzne odbicie dźwięku

Choć całkowite wewnętrzne odbicie obserwowaliśmy dla światła, zachodzi ono dla wszystkich rodzajów fal, również fal mechanicznych. Także w ich przypadku spełniona jest reguła mówiąca, że to zjawisko może zajść tylko wtedy, gdy fala pada na granicę ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej.
Fale dźwiękowe rozchodzą się znacznie szybciej w metalach niż w powietrzu. Dlatego gdy fala dźwiękowa rozchodząca się w powietrzu pada pod odpowiednio dużym kątem na stalową blachę, w ogóle nie przechodzi do metalu, ale w całości się od niej odbija (patrz zdjęcie).
Odbija się ona także od powierzchni wody, dlatego łatwo słyszeć dźwięki z drugiego brzegu jeziora.



▲ Dzięki całkowitemu odbiciu dźwięku od stalowej blachy dziecko na końcu rury doskonale słyszy kolegów mówiących do jej drugiego końca



◀ Dzięki całkowitemu odbiciu dźwięku od powierzchni wody nad jeziorem słychać dźwięk z drugiego brzegu

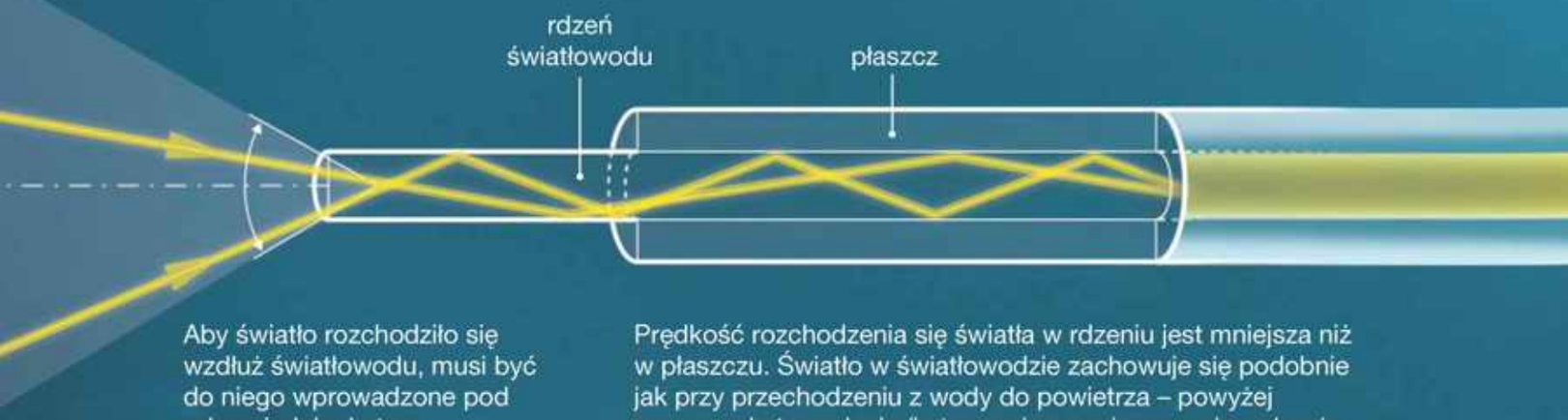
Dźwięk ulega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu na granicy wody i powietrza, gdy pada na nią od strony powietrza. Światło natomiast – gdy pada od strony wody. Skąd się bierze ta różnica?
W obu wypadkach całkowite wewnętrzne odbicie zachodzi, gdy fala pada na granicę tego ośrodka, **w którym porusza się szybciej**. Jednak dźwięk porusza się szybciej w wodzie niż w powietrzu, a światło – na odwrót.

Światłowody

Przesyłanie informacji, np. sygnału internetowego albo programów telewizji kablowej, za pomocą światłowodów stało się powszechne. Światłowodowe kable telekomunikacyjne położone na dnie oceanów łączą kontynenty. Jak działa taki światłowód? Jak zbudowany jest kabel światłowodowy?

Działanie światłowodu

Światłowód działa dzięki zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia. Głównym elementem światłowodu jest w najprostszym przypadku włókno zrobione z dwóch rodzajów szkła lub tworzywa sztucznego tworzących tzw. rdzeń i płaszcz.

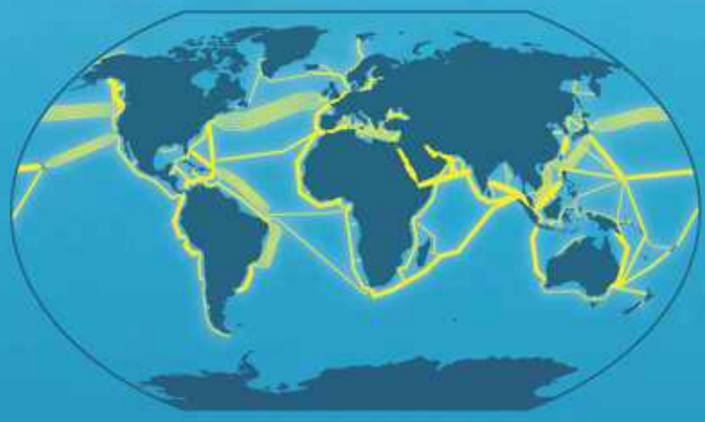


Aby światło rozchodziło się wzdłuż światłowodu, musi być do niego wprowadzone pod odpowiednim kątem.

Prędkość rozchodzenia się światła w rdzeniu jest mniejsza niż w płaszczu. Światło w światłowodzie zachowuje się podobnie jak przy przechodzeniu z wody do powietrza – powyżej pewnego kąta padania (kąta granicznego) na granicę rdzenia i płaszcza nie ulega już załamaniu, a jedynie – całkowitemu wewnętrznemu odbiciu.

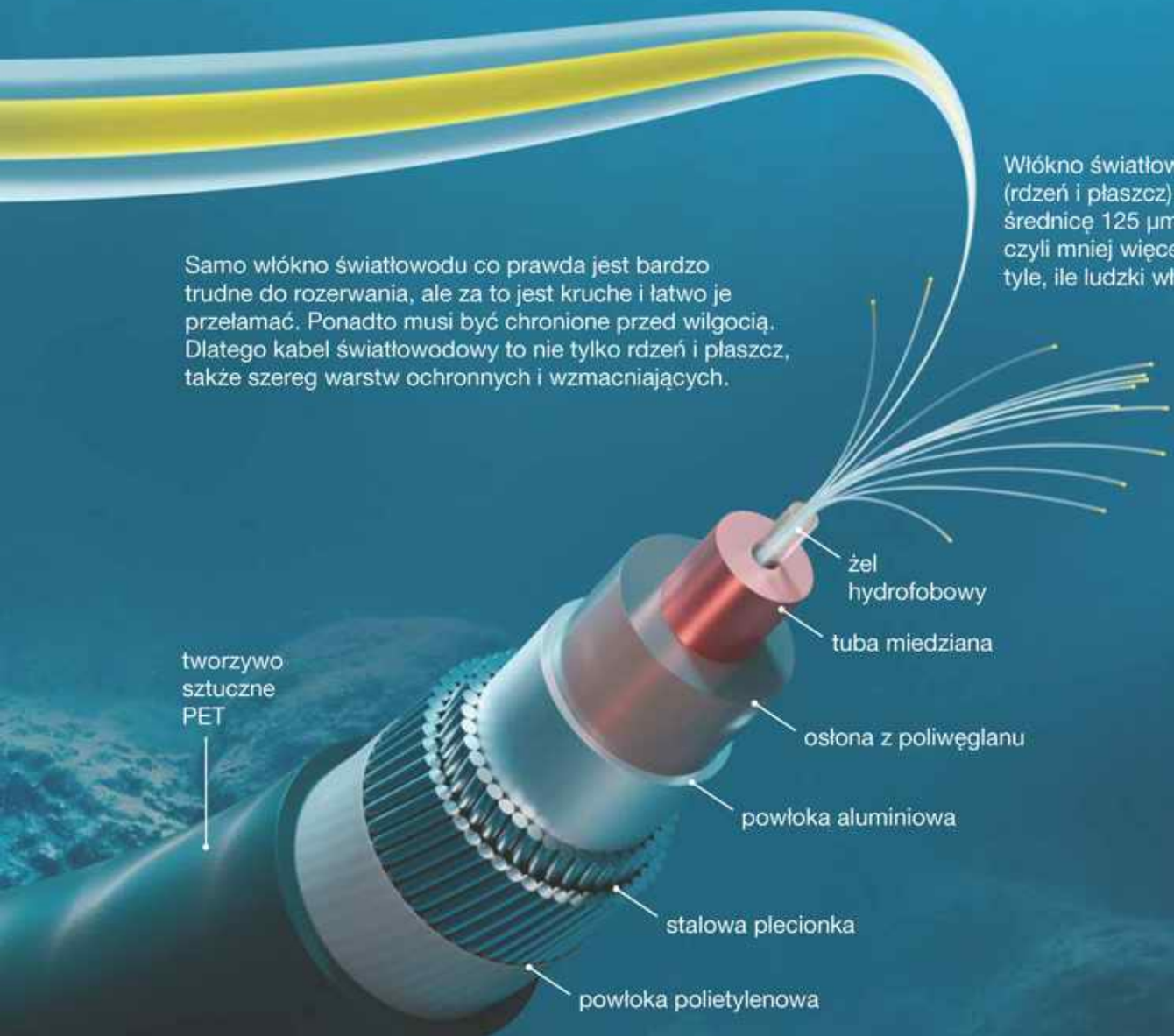
Podmorskie kable światłowodowe

Obecnie jest ok. 400 podmorskich kabli światłowodowych, które mogą przesyłać informacje z prędkością nawet 210 Tbit/s. Tak wielka przepustowość wynika stąd, że każdy kabel składa się z bardzo wielu włókien, a każde z nich może jednocześnie przenosić wiele sygnałów. Światłowodami przepływa 95% informacji z całego ruchu telekomunikacyjnego (obejmującego także tradycyjne kable miedziane i komunikację satelitarną).



Samo włókno światłowodu co prawda jest bardzo trudne do rozerwania, ale za to jest kruche i łatwo je przełamać. Ponadto musi być chronione przed wilgocią. Dlatego kabel światłowodowy to nie tylko rdzeń i płaszcz, także szereg warstw ochronnych i wzmacniających.

Włókno światłowodowe (rdzeń i płaszcz) ma średnicę 125 µm, czyli mniej więcej tyle, ile ludzki włos.



To najważniejsze

- Gdy światło przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej, np. ze szkła do powietrza, załamuje się i jednocześnie odbija.
- Gdy kąt załamania zbliża się do 90°, coraz większa część światła się odbija, a coraz mniejsza załamuje. Pod kątem padania granicznym lub większym światło w całości ulega odbiciu, bez załamania – mówimy wówczas o **całkowitym wewnętrznym odbiciu**.
- Całkowite wewnętrzne odbicie wykorzystujemy w praktyce w **światłowodach**.

Pytania i zadania

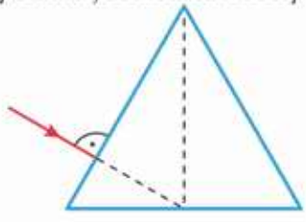
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Określ, czy całkowite wewnętrzne odbicie zachodzi, jeśli promień światła pada na granicę powietrza i wody:
   a) od strony wody pod kątem 40°,
   b) od strony wody pod kątem 60°,
   c) od strony powietrza pod kątem 40°,
   d) od strony powietrza pod kątem 60°.
2. Zdjęcie przedstawia całkowite wewnętrzne odbicie promienia światła w płytce pleksiglasu umieszczonego w powietrzu. Co można na podstawie tego zdjęcia powiedzieć o kącie granicznym dla pary ośrodków pleksiglas–powietrze?



3. Szklany pryzmat ma kształt graniastosłupa o podstawie trójkąta równobocznego. Promień światła pada prostopadle na jedną ze ścianek. Przerysuj rysunek do zeszytu i naszkicuj dalszy bieg promienia światła w dwóch przypadkach:
   a) pryzmat znajduje się w powietrzu,
   b) pryzmat jest zanurzony w wodzie.



4. Dowiedz się, w jaki sposób wykorzystuje się całkowite wewnętrzne odbicie w pryzmacie do budowy lornetek.
   Wskazówka. Skorzystaj z rozwiązania zadania 3a.

Doświadczenie domowe

Światłowód z wody

Zbudujemy prosty, działający, choć nietrwały światłowód.

1. Przygotuj laser, dużą butelkę po wodzie mineralnej i gwóźdź. Przyda się pomoc drugiej osoby.
2. W ściance butelki w pobliżu dna zrób gwoździem niewielki otwór. Ścianka powinna być pionowa, przynajmniej w okolicach otworu.
3. Nalej do butelki wody do pełna i trzymaj ją nad wanną. Poproś o zgaszenie światła.
4. Trzymaj butelkę pionowo i świeć na nią laserem po przeciwnej stronie, niż znajduje się otwór (patrz rys.). Obserwuj, jak światło biegnie przez zakrzywiony strumień wody.





22. Tęcza i halo

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie, w jaki sposób światło białe rozszczepia się na różne barwy.
- Dowiesz się, jak powstaje tęcza na niebie.
- Poznasz zjawisko optyczne w atmosferze zwane halo.

Rozszczepienie światła

Do tej pory powiedzieliśmy o pochodzeniu błękitnej barwy nieba i czerwonego koloru zachodzącego słońca. Znajomość zjawiska załamania światła pozwoli nam omówić także inne zjawiska optyczne w atmosferze – tęczę i halo.

Jak wiesz ze szkoły podstawowej, **światło białe** jest mieszaniną fal o różnych częstotliwościach, czyli różnych barwach.

W jaki sposób da się je **rozszczepić**, czyli rozdzielić na poszczególne barwy? Można w tym celu wykorzystać jedno z dwóch zjawisk: interferencję (o której powiemy w jednej z następnych lekcji) albo znane ci już załamanie światła.

Światło się rozszczepia, ponieważ w większości ośrodków, m.in. w powietrzu, wodzie i szkle, im mniejsza długość fali światła, tym mocniej załamuje się ono przy przejściu do innego ośrodka.

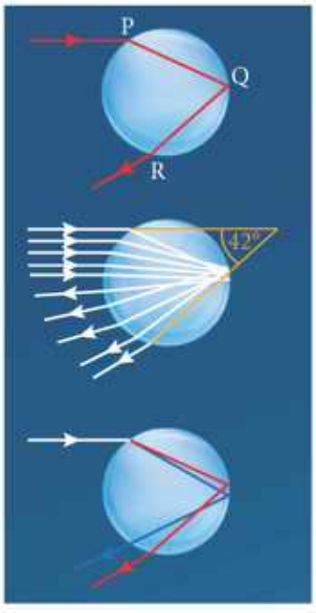


▲ Rozszczepienie światła za pomocą pryzmatu – układ doświadczalny i schemat zjawiska

Tak więc najmocniej załamuje się światło fioletowe, nieco słabiej niebieskie itd., aż do światła czerwonego, które załamuje się najsłabiej.
Rozszczepienie światła białego przy przejściu do innego ośrodka wykorzystujemy np. w pryzmacie (patrz zdjęcie i schemat na poprzedniej stronie).
Również powstawanie tęczy na niebie jest przykładem rozszczepienia światła podczas jego załamania.

Rozszczepienie światła przez kroplę wody

Aby wyjaśnić powstawanie tęczy, zastanówmy się najpierw, co się dzieje, kiedy promień białego światła pada na kulistą kroplę wody.



Światło przechodzi z powietrza do kropli wody i ulega załamaniu (punkt P). Następnie jego część odbija się od granicy wody i powietrza (punkt Q). Dalej przechodzi z wody do powietrza i ponownie ulega załamaniu (punkt R).

Okazuje się, że spośród wielu równoległych promieni najwięcej opuszcza kroplę pod kątem ok. 42° w stosunku do kierunku, z którego przybyło.

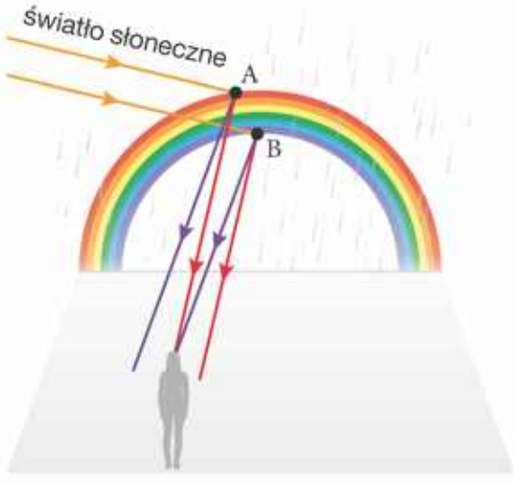
Miara tego kąta zależy od barwy światła – jest najmniejsza dla światła fioletowego, a największa dla czerwonego.

Tęcza na niebie

Aby na niebie zobaczyć tęczę, musimy stać tyłem do słońca i jednocześnie patrzeć w stronę obszaru, gdzie pada deszcz. Musi być on bezpośrednio oświetlony przez słońce (więc jest ono tam widoczne na bezchmurnej części nieba) – ten warunek jest spełniony rzadko, dlatego właśnie tęcza nie jest częstym zjawiskiem.
Deszcz to bardzo wiele kropel. Każda z nich rozszczepia światło na wszystkie barwy. Jednak spośród opuszczających daną kroplę promieni światła o różnych barwach tylko jeden może trafić do oczu obserwatora (patrz rys.).

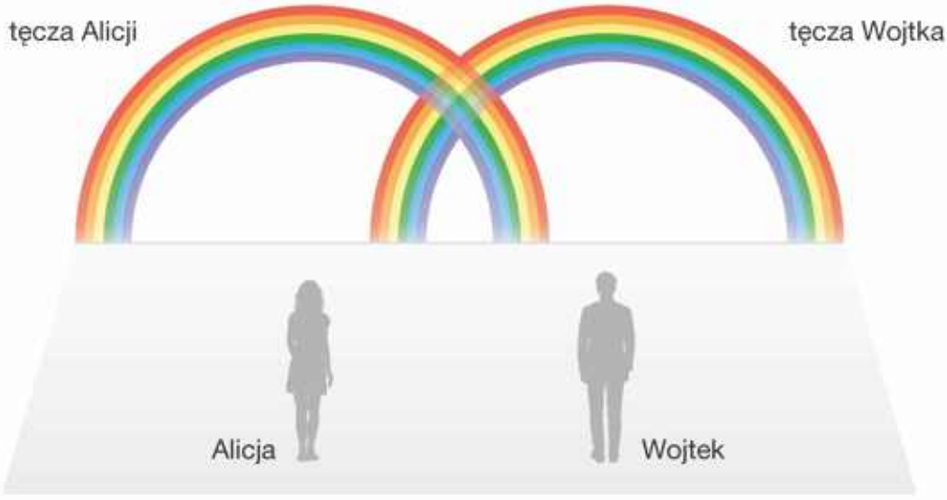
> Do konkretnego obserwatora od jednej kropli wody dochodzi tylko światło jednej barwy.

Widzimy jednak wiele barw tęczy, ponieważ dochodzi do nas światło od bardzo wielu kropel.



▲ Powstawanie tęczy

Na rysunku na poprzedniej stronie zaznaczyliśmy dwa przykładowe promienie światła. Jeden z nich rozszczepia się w kropli znajdującej się w punkcie A. Z tego punktu do obserwatora trafia tylko światło czerwone. Inne promienie (z których dla uproszczenia zaznaczyliśmy tylko fioletowy) biegną w inne strony i omijają obserwatora. Podobnie kropla w punkcie B rozszczepia światło na wszystkie barwy, ale do naszego obserwatora dochodzi tylko światło fioletowe.
Zwróćmy uwagę, że rysunek przedstawia tęczę widzianą przez jednego obserwatora. Gdyby stanął on gdzie indziej, do jego oka docierałoby światło z innych kropli. Nawet jeśli dwie osoby stoją obok siebie i jednocześnie oglądają tęczę, to tak naprawdę każda z nich ogląda własną tęczę – powstaje ona w innych kroplach wody (patrz rys. poniżej).



▲ Każdy obserwator widzi własną tęczę, ponieważ do jego oczu docierają promienie załamane w innych kroplach wody

Jaki kształt ma tęcza

Na ogół widzimy tęczę w postaci łuku. W wielu językach od tego kształtu pochodzi jej nazwa (np. ang. *rainbow* – dosł. deszczowy łuk). W rzeczywistości ten łuk jest tylko częścią tęczy. Pełna tęcza ma **kształt okręgu**.
Zwykle nie widzimy jego części poniżej horyzontu. Pełną tęczę udaje się czasem zaobserwować w górach lub z pokładu samolotu (patrz zdjęcie).

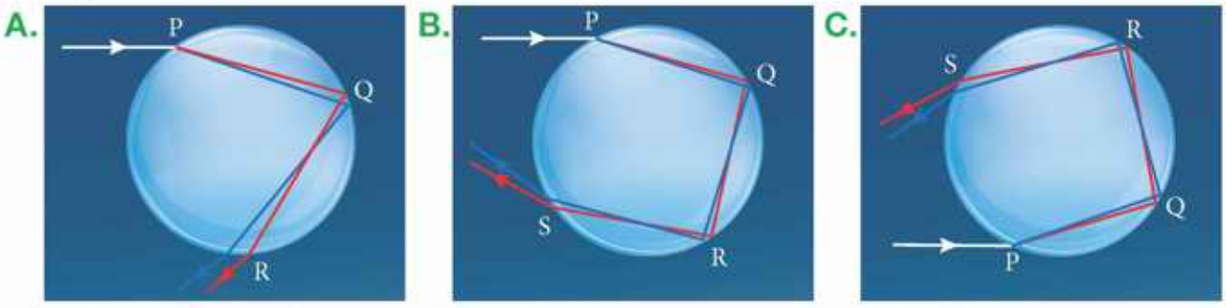


◀ Tęcza ma kształt okręgu, ale widać to tylko wtedy, gdy patrzymy na nią z dużej wysokości

Druga tęcza

Przypomnijmy rysunek przedstawiający rozszczepienie światła w kropli wody (rys. A). Promień wchodzi do kropli w punkcie P, odbija się od wewnętrznej powierzchni w punkcie Q i wychodzi z kropli w punkcie R.

Jednak część światła odbija się od wewnętrznej powierzchni także w punkcie R. Przedstawiamy to na rysunku B. Taka ilustracja niewiele wyjaśnia, ponieważ promienie załamane w punkcie S są kierowane w górę, więc nie dotrą do obserwatora stojącego na ziemi. Pamiętajmy jednak, że białe promienie światła słonecznego padają na całą oświetloną powierzchnię kropli. Wybierzmy zatem inny promień, dla którego punkt P położony jest tak, jak to pokazano na rysunku C. Zobaczymy wówczas, że promienie zostają skierowane w dół.



▲ Powstawanie drugiej (zewnętrznej) tęczy

> Promienie odbite dwukrotnie od wewnętrznej powierzchni kropli po wyjściu na zewnątrz tworzą zewnętrzną, słabszą tęczę, widoczną czasami na niebie.

Z powodu podwójnego odbicia promienie o różnych barwach zamieniają się miejscami, więc zewnętrzna tęcza ma barwy ułożone w odwrotnej kolejności.

A czy może powstać jeszcze trzecia tęcza, tworzona przez promienie, które wewnątrz kropli odbiły się aż trzy razy i dopiero ją opuściły? W zasadzie tak, ale jest ona tak słaba, że nie da się jej zaobserwować.

Jak duża jest tęcza

Jeśli spróbujemy pójść do końca tęczy, nie znajdziemy nie tylko legendarnego garnka ze złotem, ale nawet samego końca tęczy. W sytuacji przedstawionej na rysunku Marysia widzi, że Filip znajduje się na końcu tęczy, ale Filip nie widzi tej tęczy, a czuje jedynie, że pada na niego deszcz. Tęcza nie jest prawdziwym obiektem umieszczonym gdzieś w przestrzeni.

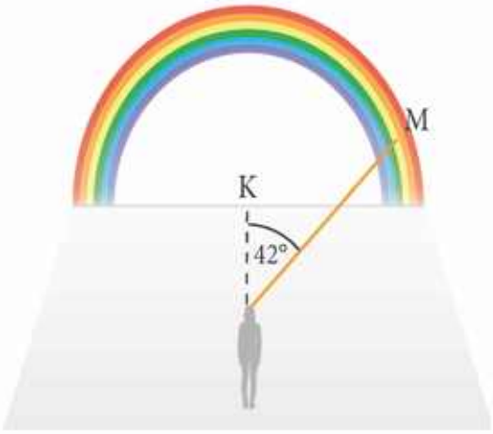


◀ Z punktu widzenia Marysi Filip znajduje się na końcu tęczy. On sam jednak nic takiego nie obserwuje

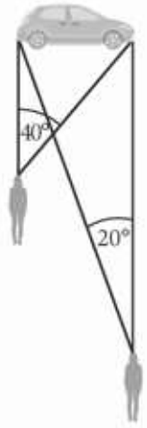
Tęcza jest złudzeniem optycznym, więc nie możemy określić jej położenia ani rozmiarów.

Możemy natomiast określić jej **promień kątowy**, czyli kąt między kierunkiem od obserwatora do środka tęczy (punkt K na rysunku A) a kierunkiem od obserwatora do dowolnego punktu na tęczy (np. do punktu M na rysunku). Ten kąt wynosi 42°. Kiedy idziemy w stronę tęczy, tęcza wygląda, jakby przed nami uciekała, stale bowiem zachowuje ten sam rozmiar kątowy. Obiekty materialne nie mają tej właściwości – ich rozmiar kątowy wzrasta wraz ze zbliżaniem się do nich. Tak dzieje się np. z samochodem przedstawionym na rysunku B poniżej.

A.



B.



▲ A. Promień kątowy tęczy wynosi zawsze 42° B. Rozmiar kątowy samochodu jest tym większy, im bliżej do niego podejdziemy

Halo

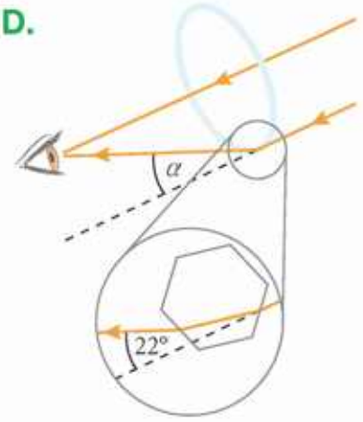
W zimny dzień, gdy w powietrzu zamiast kropel wody znajdują się płaskie, sześciokątne kryształki lodu, zamiast tęczy może tworzyć się **halo** – niemal biały okrąg wokół Słońca (patrz zdjęcie C poniżej).

W tym przypadku światło nie odbija się od wewnętrznej powierzchni kryształka, ale tylko ulega załamaniu (patrz rys. D poniżej). Światło zmienia kierunek jedynie o ok. 22°, a ten kąt bardzo słabo zależy od barwy światła. Halo jest więc prawie białe – trudno dostrzec jego kolory. Jeśli jednak uda się je zaobserwować, warto zwrócić uwagę na ich ustawienie. Czerwień znajduje się tutaj wewnątrz łuku, czyli odwrotnie niż w przypadku tęczy.

C.



D.



▲ C. Halo słoneczne,
D. Schemat jego powstawania

Tęcza

W tęczy jest nieskończenie wiele różnych barw, ponieważ częstotliwość światła zmienia się w sposób ciągły. Jednak kiedy mamy te barwy wymienić, ograniczamy się zaledwie do kilku.

Dokładna liczba barw tęczy zależy m.in. od tego, które kolory w naszym języku ojczystym traktujemy jako całkowicie różne, a które jako odcienie tej samej barwy. Wpływ ma także to, ilu barw się spodziewamy: jeśli ktoś czytał w dzieciństwie wiersze o „siedmiobarwnej tęczy", to będzie doszukiwał się takiej właśnie liczby kolorów.

W różnych epokach i kulturach podawano różną liczbę barw tęczy. W IV w. p.n.e. Arystoteles pisał o trzech. Tysiąc lat później Izydor z Sewilli, dziś uznawany w Kościele katolickim za świętego i patrona internetu, wyróżniał cztery barwy. Tę liczbę przyjął na podstawie ówczesnej teorii czterech żywiołów (ziemi, wody, powietrza i ognia). Dopiero Izaak Newton wpadł na pomysł, aby wyróżniać siedem barw tęczy. Uczynił tak jednak nie na podstawie obserwacji, ale przez analogię do siedmiu dźwięków gamy.





▲ Fragment mozaiki *Historie Noego* (XII–XIV w.), znajdującej się w bazylice św. Marka w Wenecji. Tęcza jest czterokolorowa

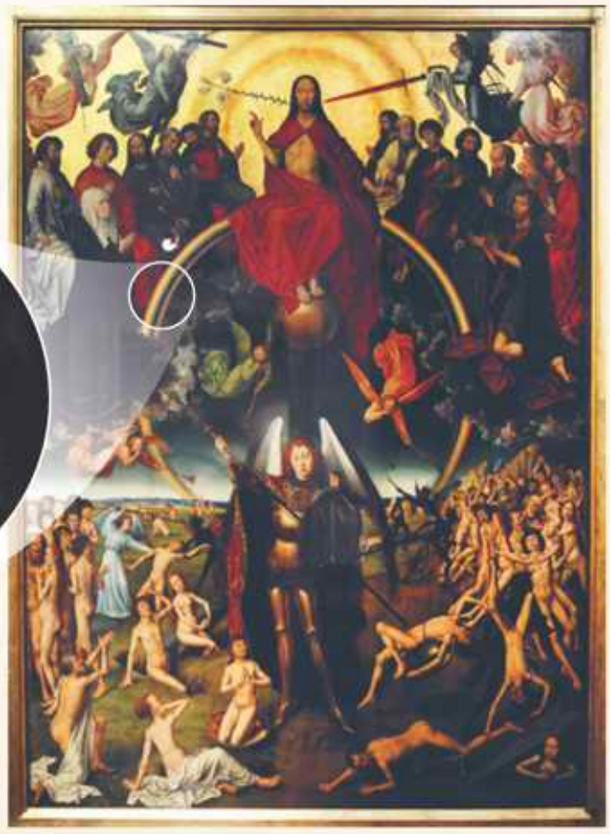




▲ Fragment obrazu *Pora deszczowa w tropikach* (XIX w.) Frederica Edwina Churcha. Tęcza ma trzy kolory i jest podwójna

Również artyści przedstawiali tęczę w różny sposób. Na przykład na obrazie *Sąd Ostateczny* Hansa Memlinga widzimy Chrystusa siedzącego na pięciobarwnej tęczy. Przy okazji zauważmy, że tęcza ma tam kształt niemal pełnego okręgu – i właśnie tak wyglądałaby widziana z dużej wysokości.





▶ Środkowa część tryptyku Hansa Memlinga *Sąd Ostateczny* (II poł. XV w.). Obraz możesz obejrzeć w Muzeum Narodowym w Gdańsku, a jego kopię – w Bazylice Mariackiej w tym mieście. Tęcza ma pięć barw i ma kształt okręgu

To najważniejsze

- Tęczę widzimy, gdy stoimy tyłem do słońca, a przed nami pada deszcz.
- Kulista kropla wody rozszczepia światło słoneczne na poszczególne barwy.
- Z danej kropli do danego obserwatora dociera światło tylko jednej barwy. Światło dochodzące z wielu różnych kropel widzimy jako tęczę.
- **Halo** powstaje podobnie jak tęcza, ale na skutek załamania światła w kryształkach lodu, a nie w kroplach wody.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Wyjaśnij, jakie są podobieństwa między tęczą a halo. Czym różnią się te dwa zjawiska?
2. Poszukaj w internecie ilustracji przedstawiającej legendarny rysunek na okładce płyty *The Dark Side of The Moon* zespołu Pink Floyd. Zobaczysz na niej rozszczepienie światła w pryzmacie. Czy zostało ono przedstawione realistycznie? Uzasadnij odpowiedź.
3. Kiedy zbliżasz się do jakiegoś domu, samochodu albo innego obiektu, wygląda on na coraz większy. Czy tak samo jest z tęczą?
4. Obejrzyj na kanale „Physics Girl" film *How Rainbows Form*: https://www.youtube.com/watch?v=xkDhQGXqwCM

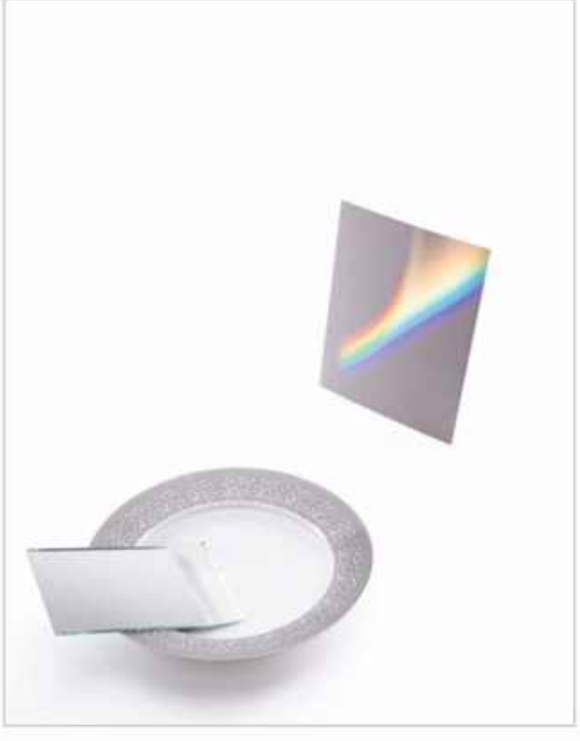
   a) Wyjaśnij na jego podstawie, dlaczego niebo jest ciemniejsze ponad łukiem tęczy niż poniżej niego.

   b) O jakim zagadnieniu nieporuszonym w podręczniku była jeszcze mowa w filmie?
5. Mówi się często, że tęcza składa się z siedmiu barw. Dowiedz się, jakie to barwy i jaka jest ich kolejność.

Doświadczenie domowe

Tęcza w domu

1. Przygotuj głęboki talerz, lusterko kieszonkowe i białą kartkę.
2. W słoneczny dzień nalej wody na talerz (do pełna) i postaw go w miejscu oświetlonym przez promienie słoneczne.
3. Włóż do talerza lusterko. Oprzyj je o brzeg talerza, tak aby było umieszczone ukośnie. Promienie słoneczne powinny padać nie tylko na suchą część lusterka, lecz także na jego część zanurzoną w wodzie.
4. Naprzeciwko lusterka, ale tak, aby nie zasłaniać padającego na nie światła, ustaw kartkę, która posłuży za ekran. Być może będziesz musiał poszukać odpowiedniego ustawienia – takiego, aby na kartkę padało światło odbite od lusterka.





23. Dyfrakcja

Cele lekcji:

- Dowiesz się, kiedy fale uginają się na przeszkodach, czyli ulegają dyfrakcji.
- Nauczysz się doświadczalnie demonstrować dyfrakcję światła i fal na wodzie.
- Zrozumiesz, dlaczego pod mikroskopem nie można obserwować wirusów, a płyta BluRay pozwala uzyskać lepszą jakość obrazu niż DVD.

Czy fale rozchodzą się tylko po linii prostej

Wynikiem prostoliniowego rozchodzenia się światła jest m.in. powstawanie cienia.

Z codziennego doświadczenia wiesz, że światło rozchodzi się po liniach prostych, natomiast dźwięk może omijać przeszkody.

Taką sytuację przedstawia rysunek. Na korytarzu jest ciemno, a światło wydostające się z sali przez uchylone drzwi oświetla bezpośrednio tylko niewielki obszar, do którego może dotrzeć po linii prostej. Człowiek znajduje się w cieniu.

Ponieważ do naszych oczu dociera tylko światło emitowane przez przedmioty albo od nich odbite, więc osoba z rysunku nie widzi, co dzieje się w sali.

Natomiast hałas dobiegający z sali można bez trudu usłyszeć na korytarzu. Z podobnymi sytuacjami spotykamy się bardzo często. Na przykład zanim zobaczymy samochód wyjeżdżający z bramy, słyszymy hałas silnika. Najwyraźniej dźwięk może zmieniać kierunek i ominąć przeszkodę w postaci ściany, choć światło tego zrobić nie mogło.

Skoro zarówno światło, jak i dźwięk to fale, dlaczego więc zachowują się w tak różny sposób?



▲ Człowiek nie widzi, co dzieje się w sali, ale może to usłyszeć

Ugięcie fal na wodzie

Aby zrozumieć różnicę między rozchodzeniem się światła i dźwięku w sytuacji opisanej na poprzedniej stronie, wykonamy doświadczenie z trzecim rodzajem fal: falami na wodzie.

Doświadczenie 18.

Obserwacja zjawiska dyfrakcji fali na szczelinie

1. Przygotuj układ do badania fal na wodzie taki jak do doświadczenia 14 na s. 116. oraz dwa metalowe kątowniki albo inne podobne przedmioty.
2. Ustaw kątowniki w wodzie tak, aby powstała pomiędzy nimi wąska szczelina (zdjęcie A). Za pomocą linijki lub deseczki wytwórz falę płaską, która będzie padać na przegrodę utworzoną z kątowników.
3. Zmieniaj szerokość szczeliny. Zauważ, co się dzieje z falą po przejściu przez szczelinę.
4. Zaobserwuj, w jaki sposób zachowanie fali zależy od szerokości szczeliny.





W doświadczeniu mogliśmy zaobserwować, że zachowanie fal zależy od szerokości szczeliny:

- gdy szczelina jest szeroka, fale prawie nie zmieniają kierunku,
- gdy szczelina jest wąska – fale mocno się uginają.

Jednak w przypadku człowieka na korytarzu, przedstawionego na poprzedniej stronie, szczelina była tak samo szeroka dla światła jak dla dźwięku. Skąd więc różnica w zachowaniu obu rodzajów fal?
Otóż, liczy się nie bezwzględna szerokość szczeliny w centymetrach, ale jej **stosunek do długości fali**.
Fale dźwiękowe mają długość co najmniej kilkudziesięciu centymetrów, a czasem nawet kilku metrów, więc szczelina w drzwiach jest dla nich wąska. Natomiast dla fali światła, której długość wynosi mniej niż 0,001 mm, ta sama szczelina jest bardzo szeroka.

Dyfrakcja to ugięcie fali na przeszkodzie lub przy przejściu przez szczelinę. Najłatwiej ją zaobserwować, gdy rozmiary przeszkody lub szczeliny są zbliżone do długości fali lub od niej mniejsze.

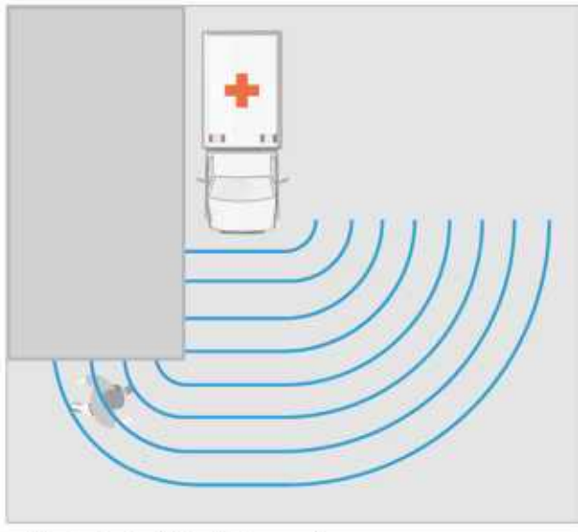


▲ Dyfrakcja fal na falochronie

Okazuje się jednak, że nie jest to jedyna sytuacja, w której można zaobserwować ugięcie fali.

Ugięcie na krawędzi przeszkody

Dyfrakcję fali możemy zaobserwować także na brzegu przeszkody, nawet dużej, byle krawędź tej przeszkody była równa. Określenie „równa" oznacza tutaj, że jej nierówności powinny być mniejsze od długości fali.
Właśnie dlatego samochód znajdujący się za rogiem (patrz rys.) możemy usłyszeć, ale nie oświetlą nas jego reflektory. Dla fali światła nawet milimetrowa nierówność krawędzi budynku jest duża, ale z punktu widzenia dźwięku taka nierówność nie ma znaczenia.



▲ Ugięcie fal dźwiękowych na krawędzi budynku

> Dyfrakcję można obserwować także na krawędzi przeszkody, jeśli jej nierówności są małe w stosunku do długości fali.

Ta ostatnia informacja pozwoli nam zaobserwować dyfrakcję światła. Jako ciało o ostrej krawędzi wykorzystamy żyletkę albo nożyk do tapet.

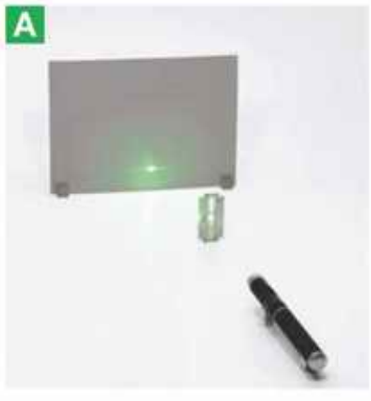
Doświadczenie 19.

Obserwacja zjawiska dyfrakcji światła

1. Przygotuj wskaźnik laserowy, żyletkę lub nożyk do tapet i ekran (może to być jasna ściana).

Uwaga. Do wykonania doświadczenia najlepiej użyć wskaźnika o zielonym świetle, gdyż wytwarza on światło o większym natężeniu niż typowy, czerwony laser. Doświadczenie powinno być wykonywane w zaciemnionym pomieszczeniu. Jeśli używasz czerwonego wskaźnika, jest to konieczne.

2. Umieść żyletkę w odległości ok. 30 cm od ekranu, a wskaźnik w jednej linii z żyletką w odległości ok. 60 cm od ekranu.
3. Skieruj światło wskaźnika na żyletkę tak, aby tylko część jego wiązki padała na żyletkę (zdjęcie A). Co obserwujesz na ekranie? Czy w całym obszarze zasłoniętym przez żyletkę jest cień?





Kiedy plamka światła padała w części na żyletkę, a w części na ekran, było widać dodatkową poziomą smugę światła na ekranie, i to zarówno po jednej, jak i po drugiej stronie plamki (patrz zdjęcie B). Dowodzi to, że światło ulega dyfrakcji. Podobnie jest z falami elektromagnetycznymi o innej długości.
Zauważ jednak, że aby zaobserwować to zjawisko, musieliśmy stworzyć specjalne warunki. Na ogół spotykamy zjawiska, w których ugięcie światła jest niewielkie. Zatem w większości zjawisk optycznych, z którymi mamy na co dzień do czynienia, dyfrakcję można pomijać.

Praktyczne znaczenie dyfrakcji światła

Dyfrakcja światła powoduje, że obiektów o wielkości porównywalnej z długością fali światła nie można obserwować pod mikroskopem optycznym. Dlatego pod takim mikroskopem nie da się zobaczyć wirusa. Zwiększanie powiększenia nic tu nie pomoże, najwyżej ujrzymy trochę większą rozmazaną plamę. Wirusy możemy oglądać jedynie pod mikroskopem elektronowym.

Wprowadzenie systemu BluRay także było spowodowane ograniczeniami wynikającymi z dyfrakcji światła. Informacja na płytach CD i DVD jest kodowana za pomocą bardzo małych jasnych i ciemnych obszarów. Do jej odczytywania służy czerwony laser, dlatego te obszary muszą być większe niż długość fali czerwonego światła.

Aby móc zagęścić informacje na płycie BluRay, a tym samym zmieścić ich więcej, trzeba było użyć lasera wytwarzającego krótsze fale świetlne – fioletowego zamiast czerwonego.

To najważniejsze

- **Dyfrakcja** to ugięcie fali na przeszkodzie, podczas przejścia przez szczelinę albo na krawędzi przeszkody.
- Najłatwiej ją zaobserwować, gdy przeszkoda, szczelina albo nierówności krawędzi przeszkody są niewielkie w stosunku do długości fali.
- Dyfrakcja ogranicza rozdzielczość przyrządów optycznych, np. uniemożliwia obserwację wirusów pod mikroskopem.

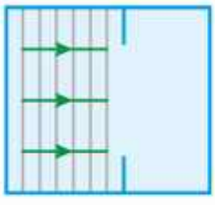
Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

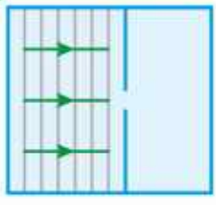


1. Rysunek przedstawia falę rozchodzącą się na wodzie w naczyniu z przegrodą. Szarymi liniami zaznaczono grzbiety fal, a zielonymi – ich promienie. Przerysuj rysunek do zeszytu i zaznacz, jak będzie się rozchodzić fala za przeszkodą. W którym przypadku fala mocniej się ugnie?

a)



b)



2. Oprócz zwykłych mikroskopów optycznych istnieją także mikroskopy wykorzystujące nadfiolet. Taki mikroskop nie pozwala obserwować obrazu bezpośrednio za pomocą oka – jest on rejestrowany za pomocą układu elektronicznego i wyświetlany na ekranie komputera. Wyjaśnij, dlaczego opisany mikroskop ma większą rozdzielczość niż mikroskop optyczny. Czy jest ona wystarczająca do obserwacji wirusów?

3. Przez otwarte okno dochodzi śpiew osoby znajdującej się w domu. Zastanów się, w którym przypadku fala dźwiękowa ulega ugięciu w większym stopniu: gdy osoba ta śpiewa basem, czy sopranem?



24. Interferencja fal

Cele lekcji:

- Poznasz zjawisko interferencji fal i warunki, w jakich ono zachodzi.
- Nauczysz się demonstrować doświadczalnie interferencję dźwięku i światła.
- Dowiesz się, kiedy interferencja powoduje wzmocnienie fali, a kiedy jej osłabienie.

Superpozycja fal

Do tej pory na ogół mówiliśmy o falach pochodzących z jednego źródła. Często jednak obserwujemy jednocześnie fale pochodzące z wielu źródeł. Takie fale biegną niezależnie od siebie, ale kiedy dochodzą do jednego punktu, nakładają się, czyli odpowiadające im wychylenia się sumują. Takie nakładanie fal nazywamy ich **superpozycją**.

Zasada superpozycji fal: Jeśli do danego punktu w przestrzeni dociera więcej niż jedna fala, to docierające fale się nakładają. Wychylenie fali w danym punkcie jest sumą wychyleń wszystkich fal, które do niego docierają w tej samej chwili.

Przez wychylenie rozumiemy tutaj zmianę odpowiedniej wielkości, np.:
- wysokości powierzchni wody w przypadku fal na wodzie,
- gęstości powietrza w przypadku dźwięku rozchodzącego się w powietrzu,
- pola elektrycznego w przypadku światła i innych fal elektromagnetycznych itd.

Szczególnie interesującym przypadkiem superpozycji fal jest interferencja.

Interferencja to superpozycja fal wytwarzanych przez dwa źródła o jednakowej częstotliwości.

Interferencja dźwięku

Interferencję fal dźwiękowych dość łatwo zademonstrować doświadczalnie. Wykonajmy w tym celu prosty eksperyment.

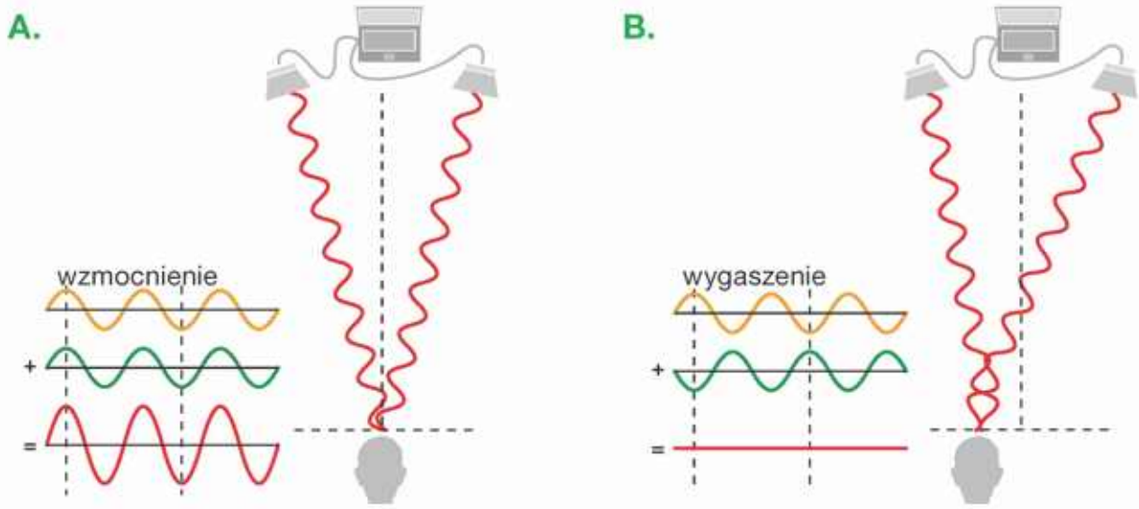
Doświadczenie 20.

Badanie interferencji fal dźwiękowych

1. Przygotuj komputer z dwoma głośnikami. Znajdź w internecie generator czystych tonów (*pure tone generator*) i ustaw go na częstotliwość 2000 Hz.
2. Postaw głośniki na krzesłach przy krótszej ścianie pokoju w odległości ok. 1 m od siebie. Włącz generator.
3. Kucnij przy przeciwległej ścianie w takiej samej odległości od obu głośników. Zakryj dłonią jedno ucho. Powoli przesuwaj się wzdłuż ściany. Zwróć uwagę, jak zmienia się głośność dźwięku.

W naszym doświadczeniu w niektórych miejscach dźwięk był głośny, a w innych – bardzo cichy. Zwłaszcza ta druga obserwacja jest zaskakująca: dlaczego dwa dźwięki dają łącznie ciszę? Przyjrzyj się rysunkom.

W sytuacji na rysunku A grzbiet fali (czyli maksymalne zgęszczenie powietrza) z jednego głośnika spotyka się przy twoim uchu z grzbietem fali z drugiego głośnika, a dolina (maksymalne rozrzedzenie) spotyka się z doliną. Wówczas zgodnie z zasadą superpozycji następuje wzmocnienie fal i z dwóch dźwięków otrzymujemy głośniejszy dźwięk.



▲ Interferencja fal dźwiękowych: **A.** wzmocnienie fal, **B.** wygaszenie fal

Inaczej jest w przypadku przedstawionym na rysunku B. Tym razem grzbiet spotyka się z doliną, fale się wygaszają i z dwóch dźwięków w sumie powstaje cisza.

Pomiędzy tymi skrajnymi przypadkami są też sytuacje pośrednie, w których możemy usłyszeć dźwięk, ale cichszy.

Interferencja dźwięku a codzienne obserwacje

Na co dzień nie obserwujemy interferencji dźwięku. Na przykład gdy dwie osoby grają tę samą melodię na dwóch gitarach, nie znajdziemy obszaru ciszy.

Przyczyny są dwie. Po pierwsze, nigdy się nie zdarza, aby dwie osoby uderzały w struny idealnie w tej samej chwili i w tym samym tempie. Po drugie, miejsca wzmocnień i wygaszeń zależą od długości fali, a w dźwięku obecne są fale różnych długości. Inaczej było w doświadczeniu 20., gdzie głośniki emitowały czyste tony o jednej, ściśle określonej długości fali.

A to ciekawe

Do redukcji hałasu zwykle używa się słuchawek częściowo pochłaniających fale dźwiękowe. Od niedawna dostępne są także słuchawki z aktywnym tłumieniem hałasu. Emitują one falę dźwiękową podobną do dochodzącej z zewnątrz, ale odwróconą. Kiedy z zewnątrz dochodzi grzbiet fali, w dźwięku emitowanym przez słuchawki wypada dolina i na odwrót. Dzięki zjawisku interferencji obie fale się wygaszają, a użytkownik słuchawek może cieszyć się muzyką bez szumu ulicy w tle.



Interferencja światła

Interferencję obserwujemy doświadczalnie także w przypadku światła.

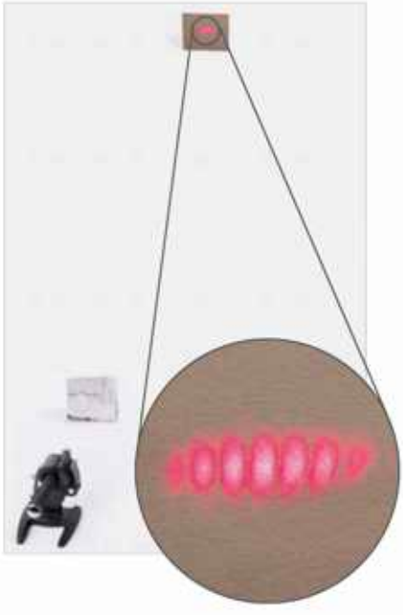
Doświadczenie 21.

Badanie interferencji światła

1. Przygotuj czerwony wskaźnik laserowy, żyletkę lub nożyk do tapet i kawałek folii aluminiowej.

Uwaga. Jeśli używasz słabego lasera, doświadczenie lepiej wykonać w częściowo zaciemnionym pomieszczeniu.

2. Za pomocą żyletki lub nożyka wytnij ostrożnie w kawałku folii dwa równoległe nacięcia długości ok. 1–2 cm, oddalone od siebie o ok. 0,5 mm. Aby uzyskać równoległe nacięcia, użyj ekierki i linijki.
3. Ustaw folię pionowo na tle białej ściany lub białej kartki i skieruj na nacięcia strumień światła z lasera. Kartka powinna znajdować się kilka metrów od folii z nacięciami. Jaki obraz powstaje?



W doświadczeniu możemy zaobserwować powstawanie **obrazu interferencyjnego**: ułożonych na przemian jasnych i ciemnych prążków. Jest on analogiczny do wyniku doświadczenia 20. – tam obserwowaliśmy na przemian miejsca, w których dźwięk był głośny i cichy.
Podobne jest także wyjaśnienie wyniku tego doświadczenia. Jasne prążki powstają tam, gdzie następują **wzmocnienia fali** – fale spotykają się grzbiet z grzbietem i dolina z doliną, a ciemne – tam, gdzie są **wygaszenia fali** – dolina spotyka się z grzbietem.

Interferencja światła a codzienne obserwacje

Na poprzedniej stronie wyjaśnialiśmy, dlaczego na co dzień nie obserwujemy interferencji dźwięku. Okazuje się, że zjawiska wynikające z interferencji światła obserwujemy na co dzień, tylko nie każdy wie, jaka jest ich natura. Do takich zjawisk należą tęczowe barwy baniek mydlanych, ubarwienie niektórych zwierząt, a także wiele efektownych zjawisk w atmosferze. Powiemy o nich więcej na następnej lekcji.

Warunki wzmocnienia i wygaszenia fal

Zastanówmy się teraz, w których miejscach następuje maksymalne wzmocnienie fal. Zakładamy, że oba źródła emitują jednakowe fale i że grzbiety fal powstają w obu źródłach w tym samym momencie.

Z maksymalnym wzmocnieniem mamy do czynienia, kiedy odległości obserwatora od obu źródeł fali są jednakowe (rys. A poniżej). Ale nie jest to jedyna możliwość. Jeśli te odległości różnią się dokładnie o jedną długość fali lub jej wielokrotność, to grzbiety fali i tak będą do obserwatora docierać jednocześnie (rys. B). Co prawda spotykające się grzbiety nie były wysłane jednocześnie, ale nie ma to znaczenia – wszystkie grzbiety są jednakowe. Podobnie jeśli tramwaje danej linii kursują co 5 minut i wszystkie są opóźnione o 5 minut, to pasażer oczekujący na przystanku nie zauważy spóźnienia.

Maksymalne wzmocnienie fali następuje w tych miejscach, których odległości od obu źródeł są równe lub różnią się o całkowitą wielokrotność długości fali.

Możemy to zapisać w postaci wzoru:

$$\Delta s = n \cdot \lambda$$

gdzie Δs – różnica dróg przebytych przez falę (czyli różnica odległości od obserwatora do obu źródeł), n – dowolna liczba całkowita, λ – długość fali.

Z kolei **całkowite wygaszenie fali** nastąpi, kiedy różnica dróg przebytych przez falę będzie równa 0,5 lub 1,5, lub 2,5 długości fali itd. Wtedy fala przebywająca dłuższą drogę zdąży się akurat „odwrócić": zamiast grzbietu wypadnie dolina, a zamiast doliny – grzbiet.

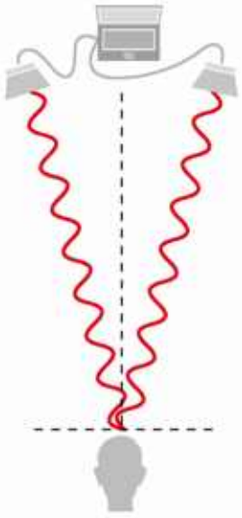
Całkowite wygaszenie fali następuje w tych miejscach, których odległości od obu źródeł różnią się o całkowitą wielokrotność długości fali i jeszcze połowę jej długości.

Możemy to zapisać w postaci wzoru:

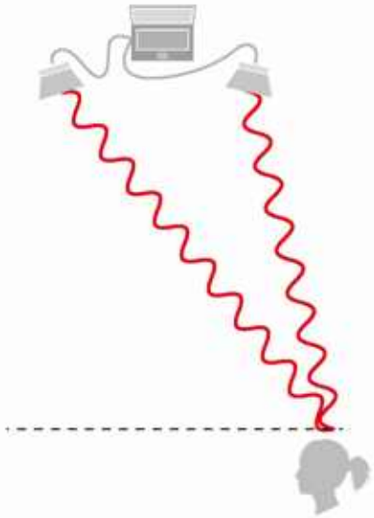
$$\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

w którym znaczenie symboli jest takie, jak powyżej.

A.



B.

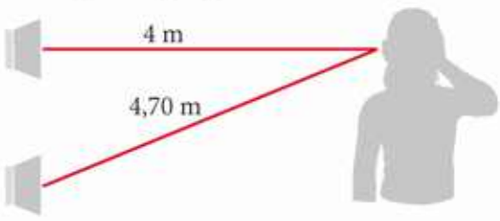


▲ Maksymalne wzmocnienie fali następuje w miejscach, których odległości od obu źródeł są równe (A) lub różnią się o całkowitą wielokrotność długości fali (B)

Przykład

Zastosowanie warunków wzmacniania i wygaszania fal

Dwa głośniki emitują jednakowe fale dźwiękowe o długości 20 cm. Co usłyszy obserwator w odległości 4 m od jednego głośnika oraz 4,70 m od drugiego?



Dane:

$\lambda = 20\ \text{cm} = 0{,}20\ \text{m}$

$s_1 = 4\ \text{m}$

$s_2 = 4{,}7\ \text{m}$

Rozwiązanie: Różnica dróg przebywanych przez fale wynosi:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = 4{,}70\ \text{m} - 4\ \text{m} = 0{,}70\ \text{m}$$

Musimy się przekonać, ile razy Δs jest większa od długości fali, wykonujemy więc dzielenie:

$$\frac{\Delta s}{\lambda} = \frac{0{,}70\ \text{m}}{0{,}2\ \text{m}} = 3{,}5$$

Skoro $\Delta s = 3{,}5\lambda$, czyli $\Delta s = \left(3 + \frac{1}{2}\right)\lambda$, a więc w miejscu, gdzie stoi obserwator, nastąpi całkowite wygaszenie.

Odpowiedź: Obserwator nic nie usłyszy – fale się wygaszą.

Uwaga. Stwierdziliśmy, że w miejscu, w którym znajduje się obserwator, fale całkowicie się wygaszą i panować będzie cisza. Pomijaliśmy jednak zarówno wymiary źródeł dźwięku, jak i ucha obserwatora. Ponieważ w rzeczywistości ani jedno, ani drugie nie jest punktem, w doświadczeniu 20. zawsze było słychać dźwięk, chociaż czasami bardzo słaby.

To najważniejsze

- **Zasada superpozycji fal:** Jeśli do danego punktu w przestrzeni dociera więcej niż jedna fala, to fale te się nakładają. Wychylenie fali w danym punkcie jest sumą wychyleń wszystkich fal, które do niego docierają w tej samej chwili.
- **Interferencja** to superpozycja fal wytwarzanych przez dwa źródła o jednakowej częstotliwości.
- Interferencja zachodzi w przypadku wszystkich fal, m.in. dźwięku i światła.
- Gdy do danego miejsca docierają jednocześnie grzbiety (lub doliny) fal z obu źródeł, **fale ulegają wzmocnieniu**. Dzieje się tak, kiedy odległości od obserwatora do źródeł różnią się o wielokrotność długości fali: $\Delta s = n \cdot \lambda$.
- Gdy do danego miejsca grzbiet fali z jednego źródła dociera jednocześnie z doliną fali z drugiego źródła, **fale się wygaszają** (obserwujemy ciszę dla dźwięku lub ciemność dla światła). Dzieje się tak, kiedy odległości od obserwatora do źródeł różnią się o pół długości fali i ewentualnie jeszcze o całkowitą liczbę długości fali: $\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$.

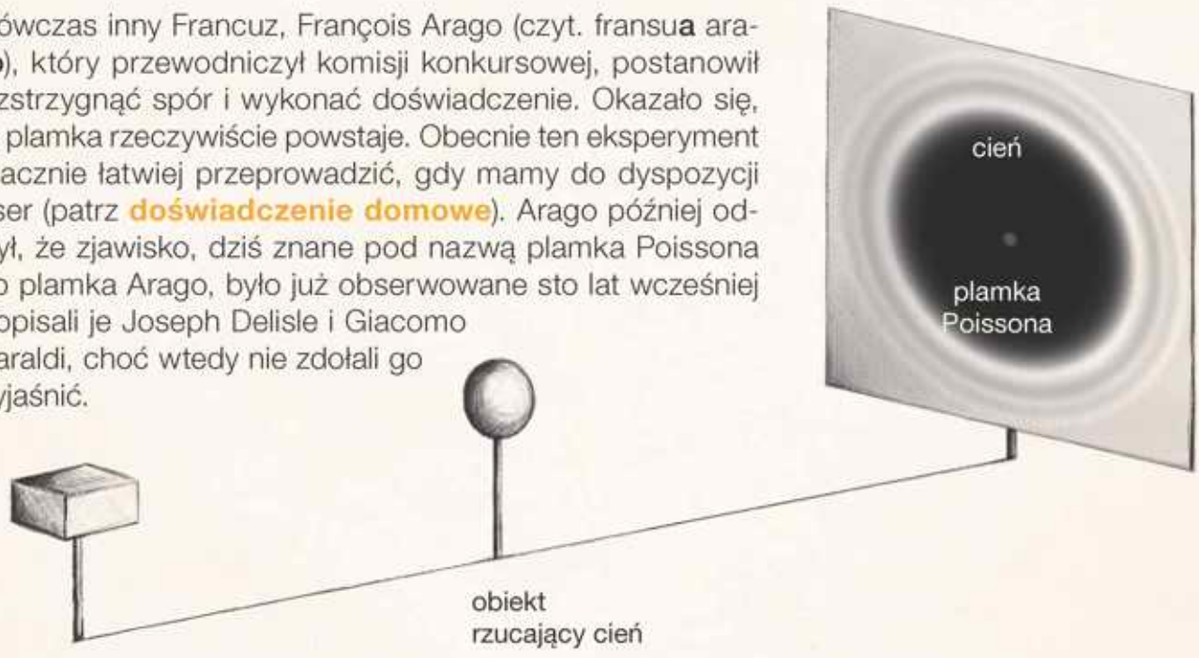
Plamka Poissona, plamka Arago

Pamiętasz, jak James Clerk Maxwell przewidział istnienie nieznanych wcześniej fal elektromagnetycznych? Jeszcze bardziej niezwykły był przypadek potwierdzenia falowej teorii światła, ponieważ tym razem istnienie nowego zjawiska przewidział przeciwnik tej teorii. Był to francuski uczony Siméon Poisson (czyt. simeą płasą).

W 1818 r. Francuska Akademia Nauk ogłosiła konkurs mający wyjaśnić naturę światła. Wystartował w nim Augustin Fresnel (czyt. ogistę frenel) i przedstawił teorię, zgodnie z którą światło miało mieć naturę falową.

Poisson zasiadał w komisji konkursowej i jako przeciwnik teorii falowej natury światła chciał znaleźć błędy w teorii Fresnela. Stwierdził, że zgodnie z teorią falową po oświetleniu nieprzezroczystej kuli równoległą wiązką światła ujrzymy za nią jasną plamkę – efekt interferencji. A ponieważ zamiast plamki widzimy w tym miejscu najgłębszy cień, zatem światło nie może mieć natury falowej.

Wówczas inny Francuz, François Arago (czyt. fransua arago), który przewodniczył komisji konkursowej, postanowił rozstrzygnąć spór i wykonać doświadczenie. Okazało się, że plamka rzeczywiście powstaje. Obecnie ten eksperyment znacznie łatwiej przeprowadzić, gdy mamy do dyspozycji laser (patrz **doświadczenie domowe**). Arago później odkrył, że zjawisko, dziś znane pod nazwą plamka Poissona lub plamka Arago, było już obserwowane sto lat wcześniej – opisali je Joseph Delisle i Giacomo Maraldi, choć wtedy nie zdołali go wyjaśnić.



▲ Idea eksperymentu Arago

François Arago



François Arago (1786–1853) był nie tylko matematykiem i fizykiem, lecz także lewicowym działaczem politycznym. W czasie rewolucji lutowej 1848 roku został ministrem rządu tymczasowego i wydał dekret znoszący niewolnictwo w koloniach francuskich. Dekretu nie cofnięto nawet po upadku rewolucji.

Siméon Poisson



Siméon Poisson (1781–1840) zajmował się z sukcesami wszystkimi znanymi wówczas działami fizyki. Ponadto wprowadził do niej nowe metody matematyczne. W optyce był zwolennikiem cząsteczkowej teorii światła, ostatecznie przyczynił się jednak do zwycięstwa teorii falowej.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Dwa głośniki emitują jednakowe fale dźwiękowe o długości 40 cm. Oceń, co usłyszy osoba znajdująca się w odległości:

   a) 230 cm od jednego z głośników i 350 cm od drugiego,

   b) 120 cm od jednego z głośników i 180 cm od drugiego.

2. Dwa głośniki emitują jednakowe fale o długości λ. Obserwator znajduje się w odległości 6 m od jednego z głośników i 6,5 m od drugiego. Wykonaj schematyczny rysunek tej sytuacji. Określ, czy obserwator stwierdzi wzmocnienie czy wygaszenie fal. Rozważ następujące długości fali:

   a) λ = 10 cm,

   b) λ = 20 cm,

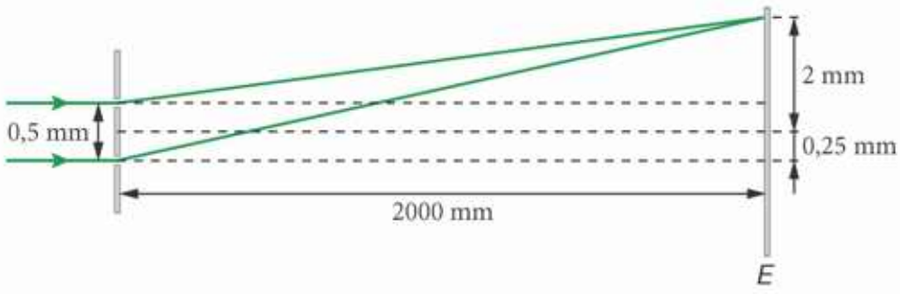
   c) λ = 25 cm,

   d) λ = 50 cm.

3. Dwie osoby grają na identycznych instrumentach tę samą melodię. Czy zaobserwujemy interferencję dźwięku? Odpowiedź uzasadnij.

4. Uczniowie wykonali doświadczenie analogiczne do doświadczenia 21., ale użyli zielonego lasera o długości fali 520 nm. Odległość między szczelinami wynosiła 0,5 mm, a odległość od przegrody ze szczelinami do ekranu była równa 2 m. Jaki obraz uzyskali w miejscu odległym o 2 mm od środkowego jasnego prążka?

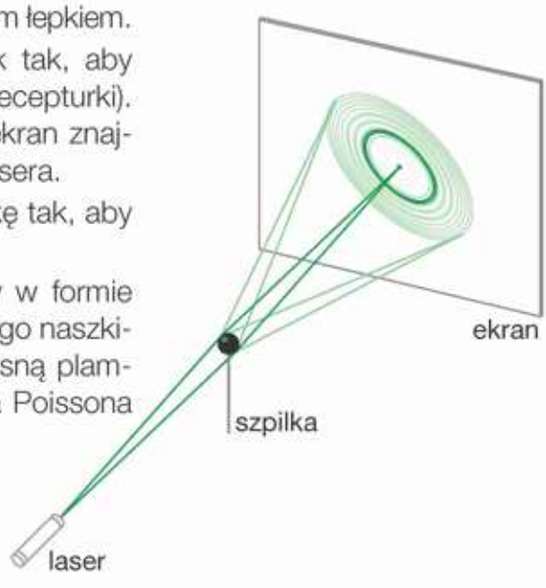
   Wskazówka. Posłuż się schematycznym rysunkiem i skorzystaj z twierdzenia Pitagorasa.

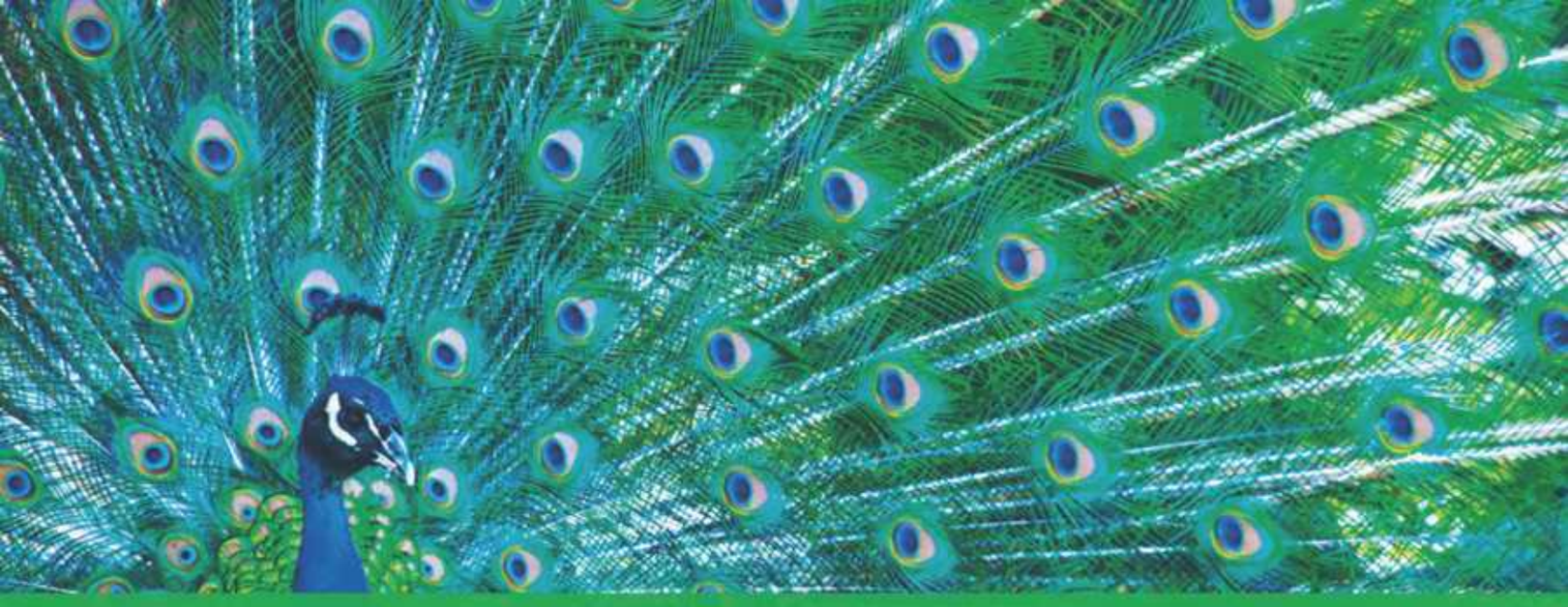


Doświadczenie domowe

Plamka Poissona

1. Przygotuj zielony laser i szpilkę z dużym czarnym łepkiem.
2. Ustaw laser w poziomie i zablokuj włącznik tak, aby cały czas świecił (możesz użyć np. gumki recepturki). Światło powinno padać na ścianę lub inny ekran znajdujący się w odległości co najmniej 5 m od lasera.
3. W odległości ok. 2 m od lasera umieść szpilkę tak, aby jej łepek znajdował się w środku promienia.
4. Na ścianie zaobserwujesz obraz dyfrakcyjny w formie koncentrycznych pierścieni. Przyjrzyj mu się i go naszkicuj lub zrób mu zdjęcie. Zwróć uwagę na jasną plamkę w samym środku obrazu. Jest to plamka Poissona (patrz „Z historii" na poprzedniej stronie).





25. Dyfrakcja i interferencja światła w przyrodzie

Cele lekcji:

- Nauczysz się dostrzegać zjawiska falowe w otaczającym świecie.
- Dowiesz się, dlaczego pysk mandryla jest kolorowy, choć nie zawiera barwników.
- Poznasz kolejne zjawiska optyczne w atmosferze.

Interferencja a rozszczepienie światła

Zbadamy teraz inny – oprócz znanego ci już zjawiska załamania – mechanizm pozwalający na rozszczepienie światła na poszczególne barwy.

Doświadczenie 22.

Obserwacja interferencji światła na siatce dyfrakcyjnej

1. Przygotuj niepotrzebną albo uszkodzoną płytę CD, ostry nożyk, np. do tapet, taśmę klejącą, czerwony laser, laser innego koloru, lampkę z tradycyjną żarówką.
2. Natnij niesrebrzystą powierzchnię płyty nożykiem, aby uzyskać kwadrat o boku ok. 2 cm (zdjęcie A). Naklej na tak obrysowany obszar szeroką taśmę klejącą i oderwij ją szybkim ruchem, a srebrzyste pokrycie odejdzie razem z taśmą (zdjęcie B).
3. Weź czerwony laser i skieruj jego światło prostopadle na płytę, za którą w odległości kilkudziesięciu centymetrów znajduje się biała kartka. Co obserwujesz?
4. Zamień laser na zielony lub niebieski. Co się zmieniło?
5. Zamień laser na tradycyjną żarówkę z rozgrzanym włóknem. Jak teraz wygląda obraz?
6. Sprawdź, jaki obraz tworzy światło po odbiciu od nienaruszonej srebrzystej strony płyty. Wykorzystaj po kolei oba lasery i lampkę.

Uwaga. Laser ustawiaj tak, aby odbite światło nie wpadło do oczu ani tobie, ani innym osobom.

A.



B.



W doświadczeniu 21. na s. 152 do wytworzenia interferencji światła używaliśmy przesłony z dwiema szczelinami. Gdyby takich szczelin było więcej – setki lub nawet tysiące – efekt byłby znacznie silniejszy. Przesłona z wieloma szczelinami to **siatka dyfrakcyjna**. Rolę prostej siatki dyfrakcyjnej może odgrywać płyta CD pozbawiona srebrnej folii. Kolejne ścieżki, na których nagrywa się dane (np. muzykę), tworzą układ przezroczystych i nieprzezroczystych prążków. Takie samo zjawisko zachodzi przy odbiciu od srebrzystej powierzchni płyty. Działa ona jak siatka dyfrakcyjna połączona ze zwierciadłem.
Aby zrozumieć wynik doświadczenia, musimy przypomnieć sobie, że położenie jasnych prążków interferencyjnych zależy od długości fali, czyli od barwy światła. Dlatego w zależności od barwy światła lasera prążki powstawały w różnych miejscach ekranu.
Natomiast światło białe złożone jest z fal o różnej długości (czyli o różnej barwie). Każda z tych fal ulega interferencji, a prążki o różnych barwach tworzą się w różnych miejscach ekranu. W ten sposób możemy rozdzielić światło białe na poszczególne barwy.
W przyrodzie występują struktury działające podobnie jak siatka dyfrakcyjna.

Barwy strukturalne

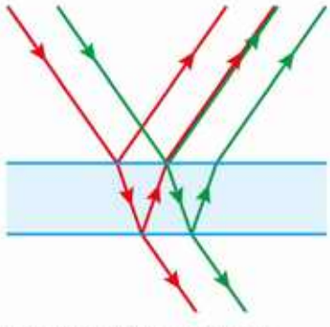
Przypomnijmy, że na ogół barwa przedmiotu wynika z tego, jak zawarte w nim substancje odbijają światło o różnych długościach fali. Na przykład zielony liść odbija tylko zielone światło, a pozostałe barwy pochłania.
Zdarza się jednak, że obserwowane przez nas barwy nie wynikają z selektywnego pochłaniania światła przez barwniki, ale z jego interferencji. Dzieje się tak w przypadku wielu organizmów żywych, m.in. owadów (niektóre motyle), ptaków (pióra pawia), a nawet ssaków.
Przykładem gatunku z tej ostatniej gromady jest mandryl barwnolicy (patrz zdjęcie), którego nazwa gatunkowa pochodzi właśnie od tej niezwykłej własności. Skóra wspomnianej małpy nie zawiera ani niebieskiego, ani czerwonego barwnika. Znajdują się w niej jedynie ułożone w odpowiedni sposób włókna kolagenu, które działają jak siatka dyfrakcyjna.



▲ Niezwykłe jak na ssaka barwy na pysku mandryla powstają dzięki interferencji światła

Bańki mydlane

Skąd biorą się tęczowe barwy baniek mydlanych? Gdy światło pada na powierzchnię takiej bańki, jego część odbija się od powierzchni, a część załamuje. Z promienia załamanego część odbija się od wewnętrznej powierzchni, a część przechodzi na drugą stronę błony, do wnętrza bańki.
Na rysunku widzisz, jak promień odbity od zewnętrznej powierzchni bańki (zaznaczony na zielono) nakłada się na odbity od wewnętrznej powierzchni (zaznaczony na czerwono). Te promienie przebyły różną drogę, będą więc ze sobą interferować – wzmacniać się lub wygaszać.



▲ Interferencja na błonie bańki mydlanej; kolory promieni służą tylko ich rozróżnieniu na rysunku, w rzeczywistości są to promienie światła białego

Dyfrakcja i interferencja a zjawiska w atmosferze

Światło słońca lub księżyca ulega dyfrakcji i interferencji przy przejściu przez bardzo drobne krople wody i przy odbiciu od takich kropel. W efekcie możemy zaobserwować ciekawe zjawiska optyczne. Podajemy także ich nazwy angielskie, co pomoże ci znaleźć więcej informacji i zdjęć.



Gdy księżyc lub słońce są przesłonięte cienką chmurą, dyfrakcja światła w kroplach wody i kryształkach lodu powoduje powstawanie **wieńca** (*corona*). Aby wygodnie i bezpiecznie obserwować wieniec wokół słońca, wyciągnij przed siebie rękę i zasłoń słońce dłonią.



Gdy z wysokiego szczytu patrzymy na znajdujące się poniżej nas chmury, czasami możemy na nich dostrzec własny cień, zwany **widmem Brockenu** (*Brocken spectre*). Często otacza go tęczowy okrąg zwany **glorią**. Jeśli kilka osób ogląda wspólnie widmo Brockenu, każdy widzi glorię tylko wokół własnej głowy.



Iryzacja chmury (*cloud iridescence*) powstaje podobnie do wieńca. Jest to dość częste zjawisko. Pojawia się, kiedy warstwa chmur na niebie jest cienka. Aby je obserwować, należy zasłonić słońce dłonią.



Glorię (*glory*) można obserwować także z samolotu – wokół jego cienia na chmurach. Środek glorii każdy widzi w środku własnego cienia. Na przykład to zdjęcie wykonał pasażer siedzący z przodu samolotu.

Ponieważ błona bańki mydlanej ma w różnych miejscach różną grubość, a występowanie wzmocnień i wygaszeń dla różnych długości fal zależy właśnie od grubości błony, więc na powierzchni bańki obserwujemy wiele różnych barw jednocześnie.

To najważniejsze

- **Siatka dyfrakcyjna** składa się z bardzo wielu równoległych szczelin. Dzięki temu interferencję światła można zaobserwować znacznie wyraźniej niż w przypadku przegrody z dwiema szczelinami.
- Barwy niektórych zwierząt nie wynikają z obecności barwnika, ale z interferencji światła na włóknach kolagenowych, tworzących naturalną siatkę dyfrakcyjną.
- Barwy baniek mydlanych wynikają z interferencji światła odbitego od wewnętrznej i od zewnętrznej powierzchni błony.
- Światło słońca lub księżyca ulega dyfrakcji i interferencji przy przejściu przez drobne kropelki wody i odbiciu od takich kropelek. Dzięki temu obserwujemy niektóre zjawiska optyczne w atmosferze.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dopasuj zakończenia zdań do ich początków. Przepisz zdania do zeszytu.

A. Siatka dyfrakcyjna pozwala rozłożyć światło na poszczególne barwy, ponieważ...

B. Tęcza powstaje, ponieważ...

C. Wieniec wokół słońca lub księżyca powstaje, ponieważ...

I. ... światło ulega załamaniu przy przejściu z powietrza do wody.
II. ... światło ulega dyfrakcji i interferencji przy przejściu przez drobne kropelki wody.
III. ... położenie jasnych prążków interferencyjnych zależy od długości fali.

2. Wymień kilka zwierząt, których barwy powstają dzięki interferencji światła. Spróbuj znaleźć także informacje o gatunkach, których nie wymieniliśmy w podręczniku.

3. Czy gdyby wykonać płytkę szklaną tak cienką jak błona bańki mydlanej, to także powstawałyby na niej tęczowe barwy?

4. Które ze zdjęć przedstawia halo, a które wieniec wokół księżyca? Uzasadnij swoją odpowiedź. Przypomnij, które z tych zjawisk zachodzi dzięki załamaniu światła, a które – dzięki interferencji.

A.



B.



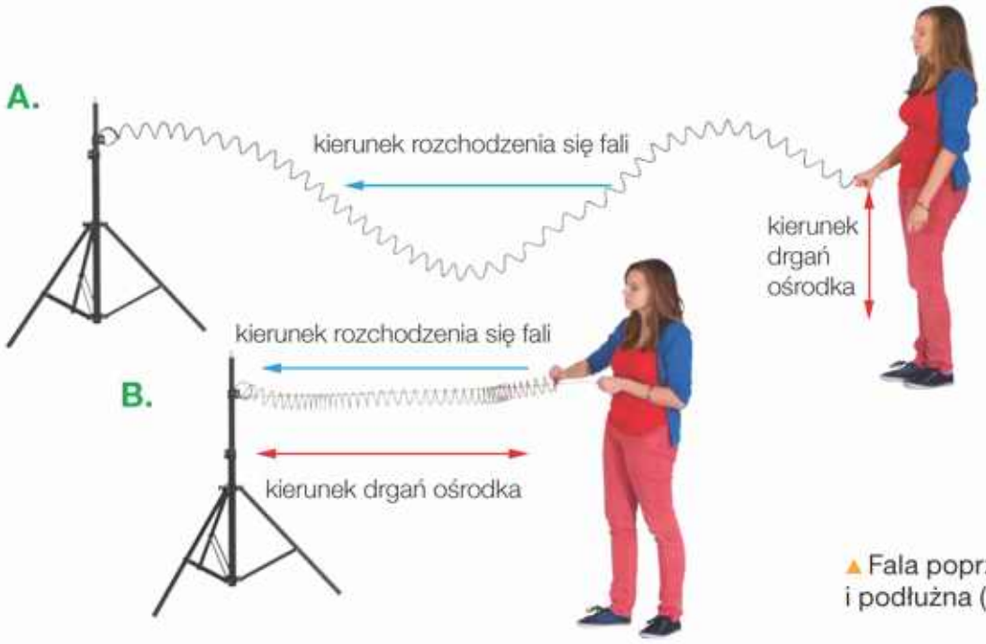
26. Polaryzacja światła

Cele lekcji:

- Zapoznasz się ze zjawiskiem polaryzacji światła.
- Zrozumiesz, jak działają okulary polaryzacyjne i wyświetlacze LCD.

Fale poprzeczne i podłużne

Czy spotkałeś się kiedyś z okularami polaryzacyjnymi? Aby wyjaśnić, czym jest światło spolaryzowane i jak działają takie okulary, przypomnij sobie różnicę między falami podłużnymi i poprzecznymi (patrz rysunek).



▲ Fala poprzeczna (A) i podłużna (B)

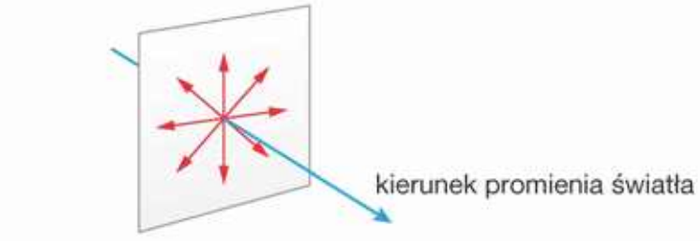
Czy dla fal elektromagnetycznych pojęcie fal podłużnych albo fal poprzecznych ma sens? Co prawda te fale nie polegają na drganiach ośrodka, okazuje się jednak, że jeśli w obszarze rozchodzenia się fali umieścimy ładunek, to pole elektryczne związane z falą spowoduje jego ruch **prostopadły** do kierunku rozchodzenia się fali.

Dlatego fale elektromagnetyczne, w tym światło, uważamy za **fale poprzeczne**. Dzięki tej właściwości możemy rozważać polaryzację fal.

Światło spolaryzowane

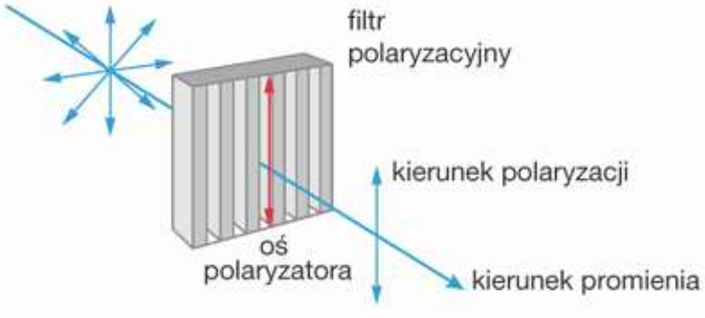
Kierunków prostopadłych do kierunku rozchodzenia się światła, czyli do jego promienia, jest nieskończenie wiele (patrz rys.). Dlatego drgania pola elektrycznego w fali elektromagnetycznej mogą zachodzić w wielu kierunkach.

Kierunek drgań pola elektrycznego w fali świetlnej nazywamy **polaryzacją** tej **fali**.



◀ Istnieje nieskończenie wiele kierunków prostopadłych do promienia światła

Na ogół światło jest mieszaniną fal o różnej polaryzacji. Istnieją jednak substancje, które przepuszczają światło tylko o jednej polaryzacji. Z takiej substancji możemy wykonać **polaryzator**. Otrzymujemy w ten sposób **światło spolaryzowane**, w którym drgania występują tylko w jednym kierunku.



◀ Schemat działania polaryzatora

Działanie tego przyrządu zbadamy w doświadczeniu, w którym światło spolaryzowane wytworzone przez jeden polaryzator będzie padać na drugi.

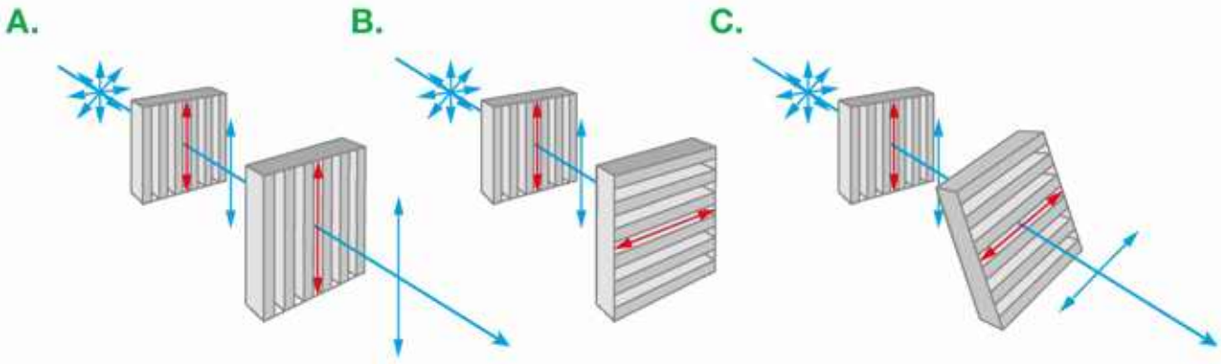
Doświadczenie obowiązkowe

Działanie polaryzatora

1. Przygotuj dwa filtry polaryzacyjne. Możesz np. zdjąć folię polaryzacyjną z wyświetlacza zepsutego kalkulatora lub zegarka cyfrowego albo wziąć dwa szkiełka z okularów polaryzacyjnych.
2. Nałóż jeden filtr na drugi i popatrz przez nie w stronę jasnego nieba albo lampy. Obracaj jeden z filtrów. Co widzisz?



W zależności od wzajemnego ustawienia polaryzatorów, przechodzi przez nie więcej albo mniej światła. Dlaczego tak się dzieje? Po przejściu przez pierwszy polaryzator (licząc od źródła światła) światło jest już spolaryzowane. Kiedy natrafia na drugi polaryzator ustawiony w ten sam sposób (rys. A), przechodzi przez niego bez przeszkód. Jeśli jednak drugi polaryzator jest ustawiony tak, że jego oś jest prostopadła do kierunku polaryzacji padającego światła (rys. B), zatrzymuje światło.



▲ Przejście światła przez dwa kolejne polaryzatory

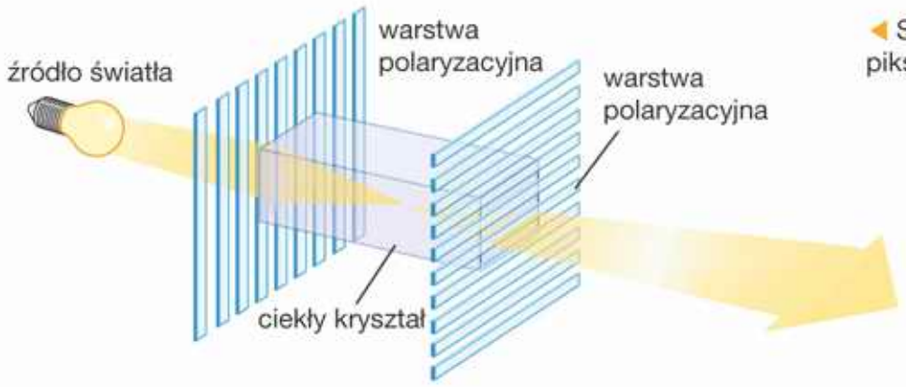
Najtrudniej wyjaśnić wynik obserwacji doświadczenia z polaryzatorem ustawionym pod dowolnym kątem (rys. C), kiedy przez drugi polaryzator przechodzi część światła. Dlaczego przepuszcza on światło o polaryzacji innej, niż wynika to z jego ustawienia?
Otóż światło o pośredniej polaryzacji można traktować jako sumę światła spolaryzowanego zgodnie z kierunkiem drugiego polaryzatora i światła spolaryzowanego prostopadle. Drugi polaryzator przepuszcza więc tę pierwszą część, a blokuje drugą.

Wyświetlacze LCD

Ekrany telefonów i laptopów oraz większości telewizorów to **wyświetlacze ciekłokrystaliczne**, w skrócie LCD (*liquid crystal display*). Taki wyświetlacz zawiera dwa skrzyżowane polaryzatory, między którymi umieszczone są ciekłe kryształy – po jednym na każdy piksel ekranu.
Ciekły kryształ skręca polaryzację światła, więc może ono przejść przez oba polaryzatory. Kiedy jednak do kryształu podłączymy napięcie, efekt skręcenia polaryzacji znika i piksel staje się czarny. W ten sposób, poprzez włączanie i wyłączanie napięcia dla poszczególnych pikseli, możemy sterować obrazem na ekranie.



▲ Wyświetlacze ciekłokrystaliczne stosuje się m.in. w telefonach komórkowych



◀ Schemat pojedynczego piksela ekranu LCD

Polaryzacja przez odbicie

Zbadamy teraz inny sposób uzyskiwania światła spolaryzowanego.

Doświadczenie 23.

Obserwacja polaryzacji przez odbicie

1. Przygotuj lampkę biurową, polaryzator oraz gładką powierzchnię (może to być szyba, błyszczący blat biurka, panele podłogowe lub okładka tego podręcznika).
2. Skieruj światło lampki ukośnie na gładką powierzchnię (jak na zdjęciu A).
3. Obracaj polaryzator i obserwuj światło odbite (zdjęcia B i C). Co obserwujesz?







Jak widzisz, światło odbite od płaskiej powierzchni jest częściowo spolaryzowane. Dlatego właśnie używamy okularów z polaryzatorem, które takie odbite światło osłabiają. Przydają się one narciarzom i osobom przebywającym np. nad jeziorem.

To najważniejsze

- Światło jest **falą poprzeczną**. Różne możliwe kierunki drgań to różne polaryzacje światła.
- **Polaryzator** przepuszcza tylko tę część światła, która ma odpowiednią polaryzację.
- Światło odbite od gładkiej powierzchni jest częściowo spolaryzowane.
- Polaryzację światła wykorzystujemy w ekranach LCD.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Zastanów się, czy na wstążce mogą rozchodzić się fale poprzeczne. A fale podłużne? Wyjaśnij dlaczego.
2. Czy fala dźwiękowa może być spolaryzowana? Dlaczego?
3. Okulary polaryzacyjne mają wiele zalet, ale też jedną wadę: nie zawsze można w nich patrzeć na wyświetlacze LCD, a to może być potrzebne np. w czasie jazdy samochodem. Jak odczytać wskazanie takiego wyświetlacza bez zdejmowania okularów?
4. Okulary polaryzacyjne są dostosowane do sytuacji, w których większość oślepiających nas odblasków pochodzi od powierzchni poziomych, np. tafli wody albo śniegu. Jak należałoby je przerobić, aby chroniły przed odblaskami od powierzchni pionowych, np. szklanych ścian biurowców?
5. W ciekawostce na s. 119 piszemy, że w miejscach położonych na przedłużeniu nadawczej anteny radiowej sygnał jest bardzo słaby. Czy na podstawie wiadomości z tej lekcji umiesz wyjaśnić, dlaczego tak się dzieje?

Doświadczenie domowe

Polaryzacja wokół nas

1. Przygotuj polaryzator. Możesz kupić kawałek folii polaryzacyjnej albo delikatnie zdjąć taką folię z wyświetlacza zepsutego kalkulatora, zegarka cyfrowego lub innego urządzenia z wyświetlaczem. Możesz też użyć okularów polaryzacyjnych albo filtra polaryzacyjnego do aparatu fotograficznego. W tym ostatnim przypadku musisz trzymać filtr tak, aby był skierowany w twoją stronę gwintem, którym przykręca się go do aparatu.
2. Popatrz przez polaryzator: na ekran laptopa, na żarówkę, na białą kartkę, na niebo w pobliżu słońca (ale nie na słońce!) oraz dalej od słońca.
3. Obracaj polaryzator, aby stwierdzić, czy światło jest spolaryzowane.







27. Efekt Dopplera

Cele lekcji:

- Dowiesz się, dlaczego słyszana częstotliwość dźwięku zależy od prędkości źródła względem obserwatora.
- Nauczysz się obliczać, jak duża jest spowodowana tym zmiana częstotliwości.

Źródło fali przybliża się do obserwatora

Dźwięk syreny wydawany przez przejeżdżającą karetkę pogotowia wydaje nam się wyższy, gdy pojazd się do nas zbliża, niż gdy się oddala. Osoby w karetce słyszą jednak stale taki sam dźwięk. Aby wyjaśnić ten efekt, zastanówmy się nad podobnym zjawiskiem w przypadku fal na wodzie.

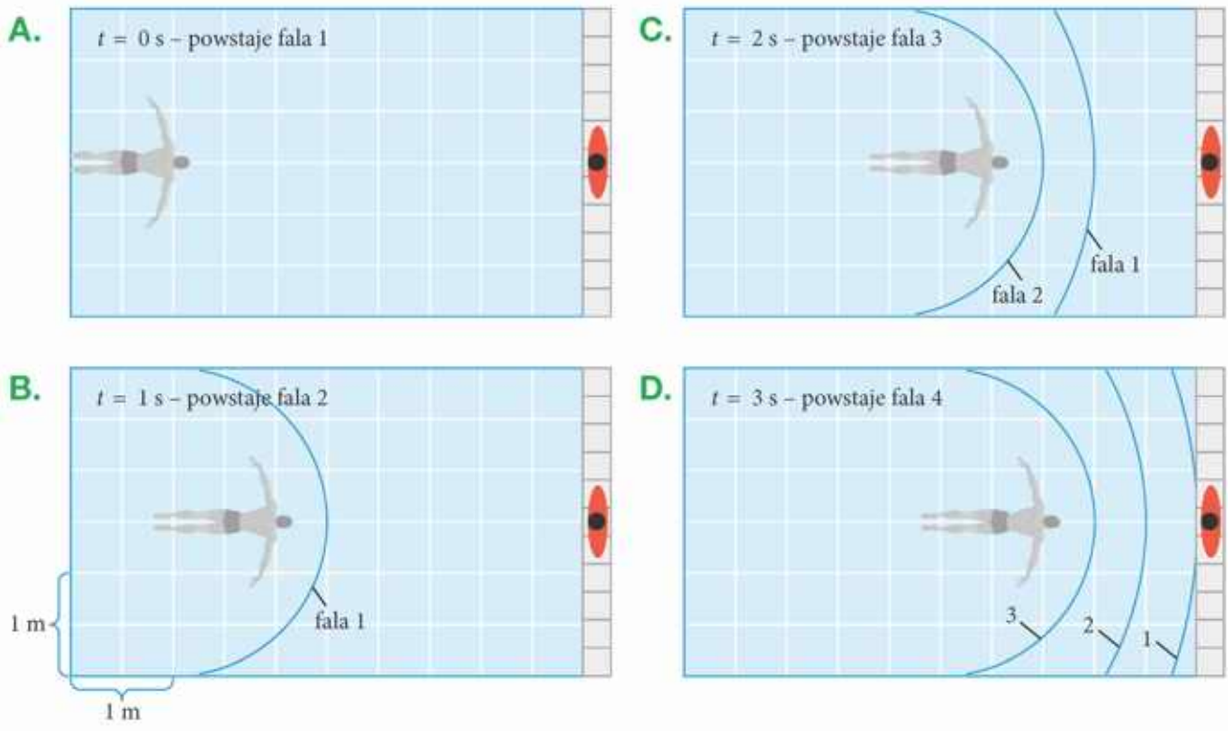
Wyobraź sobie, że stoisz na brzegu basenu, a w twoją stronę płynie człowiek. Uderza on w wodę co 1 s, więc wytwarza falę o częstotliwości 1 Hz.

Na kolejnych rysunkach na następnej stronie przedstawiliśmy sytuacje zarejestrowane co 1 s. Dla uproszczenia narysowaliśmy jedną falę kolistą zamiast dwóch dość skomplikowanych fal tworzonych przez ramiona. Przyjęliśmy, że pływak porusza się z prędkością 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, a fala – z prędkością 1,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Fala wytwarzana przez pływaka ma częstotliwość 1 Hz i prędkość 1,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. W czasie równym okresowi drgań (1 s) fala pokonuje 1,5 m. Gdyby pływak wytwarzał kolejne fale, podskakując w miejscu, długość fali byłaby równa 1,5 m.

Jednak kolejne fale nie powstają w tym samym miejscu, ponieważ w czasie 1 s pływak zdąży przebyć 1 m. Zatem fala wyprzedzi go tylko o 0,5 m. Z brzegu obserwujesz więc falę o długości 0,5 m. A ponieważ porusza się ona z prędkością 1,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, w ciągu sekundy docierają do ciebie aż trzy grzbiety. Obserwujesz więc, że częstotliwość fali wynosi 3 Hz.

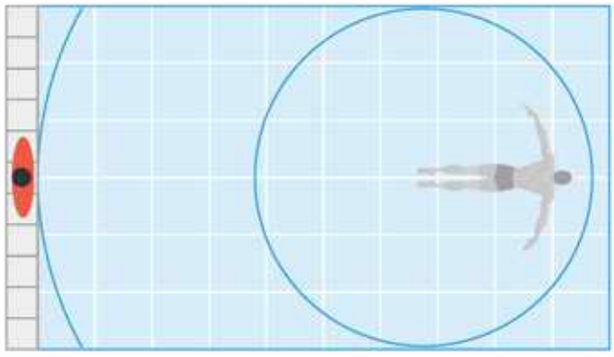
Na rysunkach dla uproszczenia pokazano tylko fragmenty fal rozchodzące się w stronę obserwatora i pominięto odbicie od brzegów basenu.



▲ Efekt Dopplera dla fal na wodzie – źródło zbliża się do obserwatora

Źródło oddala się od obserwatora

A co obserwowalibyśmy z drugiego końca basenu, od którego pływak się oddala?



▲ Efekt Dopplera dla fal na wodzie - źródło oddala się do obserwatora

Spójrz na rysunek powyżej. Do obserwatora dociera właśnie fala wytworzona 2 s wcześniej. Kolejna fala została wytworzona o 1 m dalej od obserwatora. Dotrze ona do niego po czasie $\frac{2{,}5\,\text{m}}{1{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 1{,}7\,\text{s}$. Obserwator odbiera więc fale o częstotliwości mniejszej niż 1 Hz (konkretnie $\frac{1}{1{,}7\,\text{s}} = 0{,}6\,\text{Hz}$).

Efekt Dopplera dla fali dźwiękowej

W przypadku fal dźwiękowych sytuacja jest podobna jak dla fal na wodzie. Kiedy źródło się porusza, kolejne grzbiety fali dźwiękowej, czyli miejsca maksymalnego zgęszczenia powietrza, są emitowane z różnych miejsc.

Na rysunku A na następnej stronie przedstawiliśmy samochód, który stoi z włączonym klaksonem. Obaj obserwatorzy X i Y słyszą dźwięk o takiej samej wysokości.

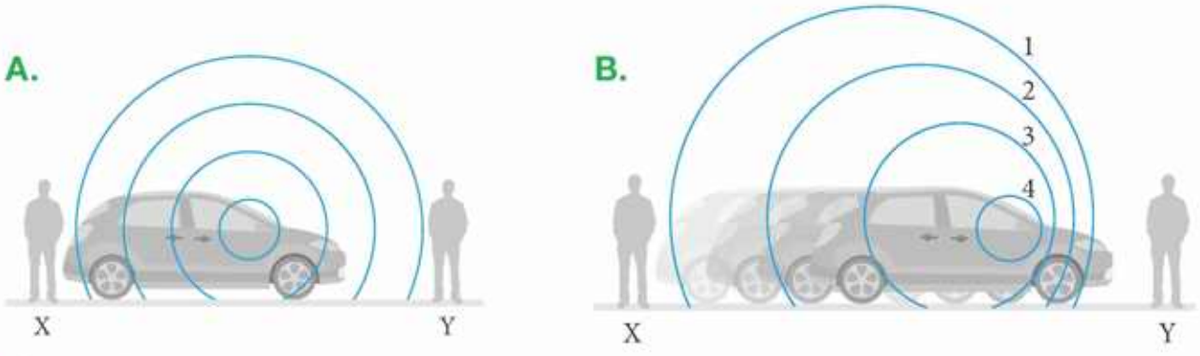
Przyjrzyj się teraz rysunkowi B. Tym razem samochód jedzie. Kolejnymi numerami oznaczono grzbiety fal emitowanych w kolejnych chwilach.
Zwróć uwagę, że przed samochodem (od strony obserwatora Y) grzbiety są bliżej siebie niż w przypadku pojazdu nieruchomego, a więc fala ma mniejszą długość, a co za tym idzie – większą częstotliwość.

Gdy **źródło dźwięku zbliża się** do obserwatora, słyszy on **dźwięk wyższy** niż emitowany przez źródło.

Odwrotnie jest w przypadku obserwatora X. Do niego docierają grzbiety oddalone od siebie bardziej niż w przypadku nieruchomego pojazdu. Tworzą one falę o większej długości, a więc mniejszej częstotliwości.

Gdy **źródło dźwięku oddala się** od obserwatora, słyszy on **dźwięk niższy** niż emitowany przez źródło.

To zjawisko, zwane **efektem Dopplera**, zachodzi dla wszystkich rodzajów fal.



▲ Samochód z włączonym klaksonem: w spoczynku (A), w ruchu (B)

Jak silny jest efekt Dopplera

Kiedy mija nas orkiestra dęta, nie obserwujemy zmiany częstotliwości. Czy to dlatego, że efekt Dopplera jest zbyt słaby? Aby się o tym przekonać, musimy poznać wzór opisujący to zjawisko.

Gdy prędkość źródła fali jest znacznie mniejsza od prędkości fali, zmianę częstotliwości można obliczyć z przybliżonej proporcji:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{v_{źr}}{v_f}$$

gdzie: Δf – zmiana częstotliwości (różnica między częstotliwością odbieraną a wysyłaną), f – częstotliwość emitowanej fali, $v_{źr}$ – prędkość źródła fali, v_f – prędkość fali.

Ten wzór można stosować zarówno wtedy, gdy źródło zbliża się do obserwatora, jak i wtedy, gdy się od niego oddala. Trzeba tylko zwrócić uwagę, kiedy częstotliwość się zwiększa, a kiedy zmniejsza. Najłatwiej przypomnieć sobie dźwięk mijającej cię karetki.

Przykład

Obliczanie częstotliwości w przypadku ruchu źródła dźwięku

Orkiestra dęta idzie ulicą z prędkością 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. W pewnej chwili muzyk gra nutę o częstotliwości 110 Hz. Jaki dźwięk usłyszy stojący na chodniku przechodzień, do którego orkiestra się zbliża? Jaki dźwięk usłyszy, kiedy orkiestra będzie się od niego oddalać?

Dane:

$v_{\text{źr}} = 1\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ – prędkość orkiesty (źródła dźwięku)

$f = 110$ Hz – częstotliwość granego dźwięku

Szukane:

$f_{\text{zb}} = ?$ – częstotliwość dźwięku słyszanego przez osobę, do której zbliża się orkiestra

$f_{\text{odd}} = ?$ – częstotliwość dźwięku słyszanego przez osobę, od której oddala się orkiestra

Rozwiązanie: Z proporcji $\frac{\Delta f}{f} = \frac{v_{\text{źr}}}{v}$ mamy:

$$\Delta f = \frac{v_{\text{źr}}}{v} f$$

Prędkość dźwięku $v = 344\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ znajdujemy w tablicach.

czyli po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$\Delta f = \frac{1\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{344\ \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 110\ \text{Hz} = 0{,}3\ \text{Hz}$$

$$f_{\text{zb}} = f + \Delta f = 110{,}3\ \text{Hz}, \qquad f_{\text{odd}} = f - \Delta f = 109{,}7\ \text{Hz}$$

Odpowiedź: Kiedy orkiestra się zbliża, przechodzień słyszy dźwięk 110,3 Hz, a kiedy się oddala 109,7 Hz.

Gdy orkiestra mija przechodnia, częstotliwość dźwięku zmienia się tylko o ok. 0,5%. Jest to kilka razy mniej niż jeden półton. Nawet osoba o bardzo dobrym słuchu nie usłyszy takiej różnicy.

Natomiast w przypadku pojazdów poruszających się znacznie szybciej od pieszych różnica jest zauważalna, o czym się przekonasz w trakcie rozwiązywania zadań.

To najważniejsze

- Gdy źródło dźwięku o częstotliwości f **zbliża się** do obserwatora, słyszy on dźwięk o wyższej częstotliwości.
- Jeśli **źródło dźwięku oddala się** od obserwatora, słyszy on dźwięk o niższej częstotliwości.
- Analogiczne zjawisko zachodzi dla innych rodzajów fal.
- Gdy źródło porusza się znacznie wolniej od fali, obowiązuje przybliżona zależność:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{v_{\text{źr}}}{v_{\text{f}}}$$

gdzie: Δf – zmiana częstotliwości (różnica między częstotliwością odbieraną a wysyłaną), f – częstotliwość emitowanej fali, $v_{\text{źr}}$ – prędkość źródła fali, v_{f} – prędkość fali.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Muzyk o słuchu absolutnym został porwany i jest przewożony w zamkniętej furgonetce. W pewnym momencie usłyszał dzwony pobliskiego kościoła, jednak o pół tonu wyższe niż zwykle. Czy na tej podstawie muzyk może wnioskować o kierunku jazdy furgonetki: w stronę kościoła lub w przeciwną?

2. Grupa wycieczkowiczów idzie piechotą z prędkością 3 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ i prowadzi rowery. Co 10 minut jeden z turystów wsiada na rower, odłącza się od grupy i jedzie dalej z prędkością 20 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Co ile minut kolejny rowerzysta dociera do celu wycieczki? Jaki związek ma to zadanie z tematem tej lekcji?



3. Pływak porusza się z prędkością 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ i co 2 s wytwarza na wodzie falę poruszającą się z prędkością 2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jaka jest częstotliwość fali z punktu widzenia:
   a) pływaka,
   b) osoby, do której pływak się zbliża,
   c) osoby, od której pływak się oddala.

   Wskazówka. Twoje rozumowanie będzie podobne do naszych rozważań ze s. 167.

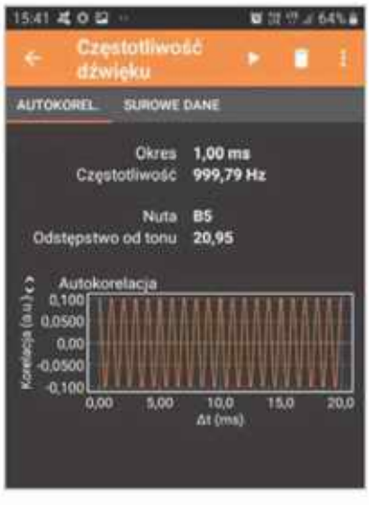
4. Syrena radiowozu jadącego z prędkością 90 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ emituje w pewnej chwili dźwięk o częstotliwości 500 Hz. Oblicz częstotliwość dźwięku, który słyszy obserwator stojący obok drogi, gdy radiowóz:
   a) zbliża się do niego,
   b) oddala się od niego.

5. Oblicz, przy jakiej prędkości źródła dźwięku obserwator słyszy dźwięk podwyższony o pół tonu (czyli dźwięk o częstotliwości o 6% wyższej).

Doświadczenie domowe

Obserwacja efektu Dopplera za pomocą smartfona

1. Przygotuj telefon z aplikacją Phyphox oraz źródło dźwięku o stałej częstotliwości (komputer z włączonym generatorem tonów albo drugi telefon).
2. Ustaw częstotliwość źródła dźwięków na 1000 Hz.
3. W aplikacji Phyphox włącz opcję „Częstotliwość dźwięku".
4. Przytrzymaj telefon przez chwilę bez ruchu blisko źródła dźwięku, następne oddal go szybkim ruchem, przez chwilę potrzymaj nieruchomo i przybliż szybkim ruchem do źródła dźwięku. Jeśli jako źródła dźwięku używasz drugiego telefonu, wygodniej będzie poruszać źródłem.
5. Obserwuj, jak zmieniają się wyniki pomiaru podczas ruchu. Spróbuj za ich pomocą oszacować prędkość ruchu telefonu.





28. Więcej o efekcie Dopplera

Cele lekcji:

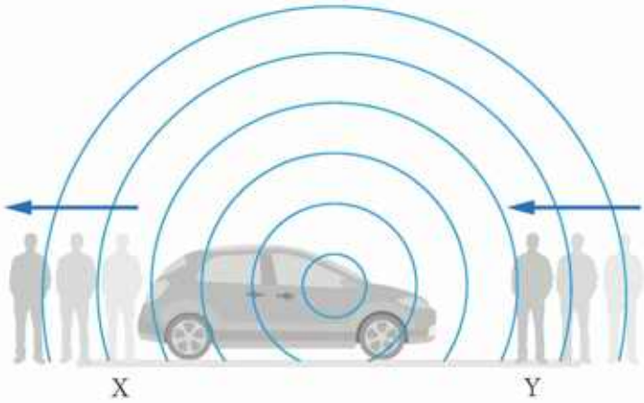
- Zrozumiesz, dlaczego efekt Dopplera zachodzi także w przypadku ruchu obserwatora.
- Poznasz zastosowania efektu Dopplera.
- Zrozumiesz, dlaczego słyszymy huk, kiedy w pobliżu przelatuje samolot ponaddźwiękowy.

Efekt Dopplera dla ruchomego obserwatora

Do tej pory mówiliśmy o poruszającym się źródle dźwięku. Jednak efekt Dopplera można zaobserwować także wtedy, **gdy porusza się obserwator**. Przykładem może być sytuacja, kiedy jedziesz samochodem, a na poboczu stoi karetka z włączonym sygnałem. Podczas zbliżania się do karetki słyszysz dźwięk wyższy, niż gdybyś stał obok niej, a podczas oddalania się – niższy.

To zjawisko można wyjaśnić podobnie jak w wypadku ruchomego źródła. Na rysunku widzisz zaparkowany samochód z włączonym klaksonem oraz dwóch obserwatorów, X i Y, poruszających się w kierunku wskazanym przez strzałki.

Obserwator X oddala się od samochodu, jakby uciekał przed kolejnymi grzbietami fali dźwiękowej, więc docierają one do niego rzadziej, niż gdyby spoczywał. Z kolei obserwator Y zbliża się do pojazdu, jakby wychodził naprzeciw kolejnym grzbietom fali.



Efekt Dopplera dla ruchomego obserwatora

Efekt Dopplera dla poruszającego się obserwatora można łatwo zrozumieć także w przypadku fal na wodzie. Jeśli płyniesz łódką naprzeciw falom, spotykasz je częściej niż wtedy, gdy płyniesz w tę samą stronę co one.

Podany w poprzedniej lekcji wzór $\frac{\Delta f}{f} = \frac{v_{zr}}{v_f}$ można stosować również w przypadku ruchu obserwatora, jeśli porusza się on znacznie wolniej od fali.

D Ruchomy obserwator i względność ruchu

Czy przypadek ruchomego obserwatora trzeba rozważać osobno? Może wystarczy stwierdzić, że ruch jest względny i nie ma znaczenia, czy porusza się obserwator, czy źródło fal? Otóż – nie wystarczy. Musimy tak naprawdę rozważyć **trzy** ciała: źródło fal, obserwatora oraz ośrodek (czyli na ogół powietrze). Fala dźwiękowa po wyemitowaniu ze źródła porusza się z określoną prędkością względem powietrza, niezależnie od tego, jak szybko porusza się źródło.

- Różnica jest najbardziej widoczna, kiedy obserwator oddala się od źródła z prędkością większą od prędkości dźwięku. Wówczas dźwięk w ogóle go nie dogoni.
- Natomiast gdy obserwator spoczywa, a źródło się oddala z prędkością ponaddźwiękową, dźwięk do obserwatora dotrze, tyle że będzie bardzo niski.

Tylko dla niewielkich prędkości efekt zachodzi w przybliżeniu tak samo, niezależnie od tego, czy względem powietrza porusza się obserwator czy źródło.

Efekt Dopplera dla fal elektromagnetycznych

Z efektem Dopplera mamy do czynienia również w przypadku fal elektromagnetycznych. Jak wiesz, światło także należy do tych fal, a jego częstotliwość odbieramy jako barwę. Oznacza to, że gdy zbliżamy się do źródła światła, powinniśmy obserwować nieco inną barwę, niż gdy się od niego oddalamy.

Tak rzeczywiście się dzieje, ale efekt Dopplera jest zauważalny dopiero wtedy, gdy prędkość źródła (albo obserwatora) jest bardzo duża. Nawet prędkość rakiet kosmicznych jest w tym przypadku zbyt mała. Okazuje się jednak, że właśnie ten efekt pozwolił odkryć ruch galaktyk we Wszechświecie.



▲ Dzięki efektowi Dopplera został odkryty ruch galaktyk we Wszechświecie

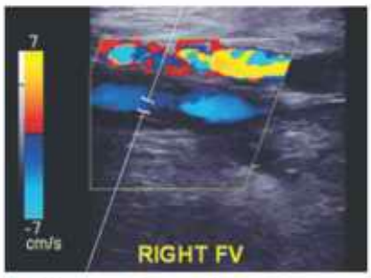
Zastosowania efektu Dopplera

Większość zastosowań efektu Dopplera jest związana z **pomiarem prędkości**. Tak właśnie działa policyjny radar. Kiedy fala elektromagnetyczna wysyłana przez to urządzenie odbija się od karoserii nadjeżdżającego samochodu, mamy do czynienia z podwójnym podwyższeniem częstotliwości. Z punktu widzenia poruszającego się samochodu częstotliwość fali docierającej do niego jest większa niż wysłana przez radar. Z kolei po odbiciu fala jest wysłana przez ciało w ruchu (karoserię samochodu), więc radar odbiera jeszcze wyższą częstotliwość.



◀ Podczas radarowego pomiaru prędkości występuje dwukrotne zwiększenie częstotliwości

Dopplerowskie **badanie ultrasonograficzne** jest podobne do pomiaru prędkości przez policję. Wykorzystuje się w nim jednak falę ultradźwiękową, a poruszającym się obiektem jest krew. Dzięki pomiarowi jej prędkości można wykryć nawet niewielkie zwężenia naczyń krwionośnych, gdyż w zwężonym naczyniu krew musi poruszać się szybciej. W ten sposób można w porę zapobiec np. zawałowi serca albo udarowi mózgu. Badanie dopplerowskie stosuje się także do wykrywania nowotworów, ponieważ wewnątrz guza przepływ krwi jest inny niż w otaczającej tkance.



▲ Obraz z badania dopplerowskiego USG. Poszczególne kolory oznaczają różną prędkość przepływu krwi zgodnie z podaną obok skalą

D Ruch ponaddźwiękowy

Zanim przejdziemy do omawiania ruchu ponaddźwiękowego, przypomnijmy, że kiedy z dużej odległości obserwujemy samolot pasażerski, odgłos silników słyszymy w innym miejscu niż to, w którym widzimy maszynę. Światło porusza się bardzo szybko, można więc przyjąć, że samolot dostrzegamy tam, gdzie rzeczywiście się w danej chwili znajduje. Dźwięk jednak przemieszcza się znacznie wolniej. Jeśli samolot znajduje się 10 km od nas, to usłyszymy go dopiero po pół minuty, podczas gdy on w tym czasie przebędzie 6–7 km.



▲ Powstawanie fali uderzeniowej

Wyobraź sobie teraz, że stoisz na ziemi, a w twoją stronę (oczywiście na odpowiedniej wysokości) z prędkością ponaddźwiękową leci myśliwiec. Początkowo widzisz samolot, ale go nie słyszysz, ponieważ dźwięk nie zdążył jeszcze do ciebie dotrzeć (rys. A na poprzedniej stronie).
W pewnej chwili dociera do ciebie cały zaległy hałas emitowany przez maszynę w dłuższym czasie. Słyszysz go jako wielki huk – falę uderzeniową (rys. B). Później słyszysz już zwyczajny hałas samolotu, dochodzący do ciebie z pewnym opóźnieniem (rys. C).

Fala uderzeniowa powstaje przez cały czas ruchu z prędkością ponaddźwiękową.

Błędne jest więc przeświadczenie, że powstaje ona tylko w chwili przekraczania prędkości dźwięku. Czy w takim razie huk powinien być słyszalny przez cały czas?
Owszem, powinien i jest słyszalny, tylko nie przez cały czas z tego samego miejsca. Gdyby wzdłuż trasy samolotu stał rząd ludzi, przez cały czas ktoś z nich słyszałby huk fali uderzeniowej, tyle że nie byłaby to stale ta sama osoba.

To najważniejsze

- Podany w poprzedniej lekcji wzór $\frac{\Delta f}{f} = \frac{v_{źr}}{v_f}$ można stosować również w przypadku ruchu obserwatora, jeśli porusza się on znacznie wolniej od fali.
- Efekt Dopplera wykorzystujemy do pomiaru prędkości samochodów za pomocą radaru oraz do pomiaru prędkości przepływu krwi (badanie dopplerowskie).

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Dróżnik twierdzi, że pociągi z Warszawy do Pruszkowa jeżdżą co 20 minut. Maszynista pociągu z Pruszkowa do Warszawy twierdzi, że spotyka je co 10 minut. Czy to możliwe, że obaj mają rację? Jaki związek z tematem lekcji ma opisana w zadaniu sytuacja?

2. Klakson ciężarówki stojącej na poboczu szosy wydaje dźwięk o częstotliwości 150 Hz. Oblicz częstotliwość dźwięku słyszanego przez kierowcę samochodu, który z prędkością $100\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$:
   a) zbliża się do ciężarówki,
   b) oddala się od ciężarówki.

3. Kierowca został zatrzymany przez policję, ponieważ przejechał przez skrzyżowanie na czerwonym świetle. Aby uniknąć mandatu, tłumaczył się, że na skutek efektu Dopplera światło wydawało mu się zielone. Co powinien zrobić policjant, jeśli uwierzy kierowcy?

4. Radar policyjny wysyła mikrofale o częstotliwości 24 GHz. Jaka jest częstotliwość fali wracającej do niego po odbiciu od samochodu zbliżającego się do policjanta z prędkością $150\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$?

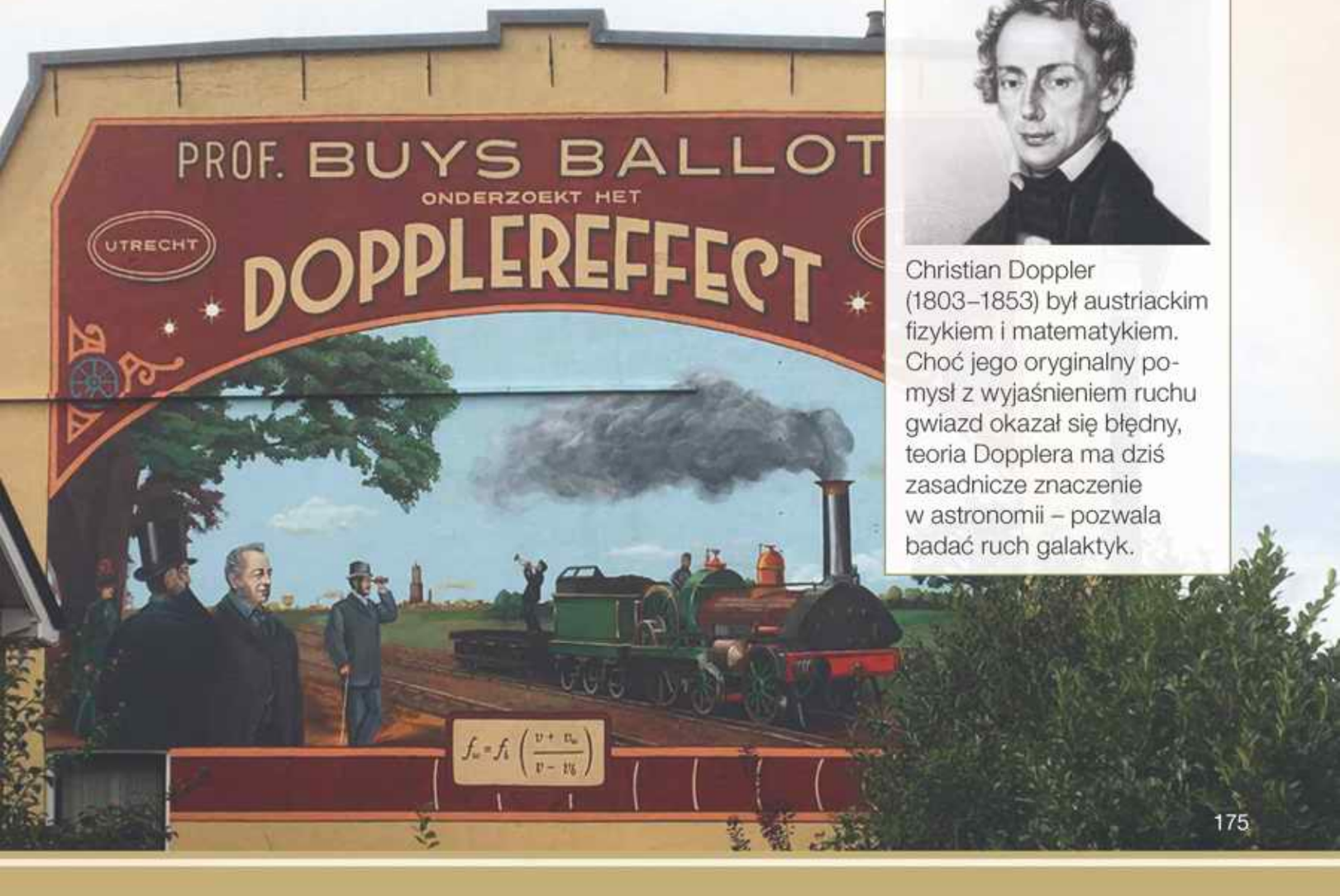
   Wskazówka. Pamiętaj o dwukrotnym zwiększeniu częstotliwości.

Doświadczenie z efektem Dopplera

Christian Doppler nie obserwował doświadczalnie efektu nazwanego później swoim imieniem. Przewidział go jedynie na drodze teoretycznej, kiedy za jego pomocą próbował wyjaśnić różnice w barwach gwiazd.

Efekt Dopplera dla dźwięku potwierdził w 1845 r. holenderski uczony Christophorus Buys-Ballot (czyt. kristofores bajs balot). Ruchome źródło dźwięku stanowił trębacz w otwartym wagonie kolejowym, a częstotliwość dźwięku oceniali za pomocą własnego słuchu muzycy stojący przy torach na kolejnych stacjach. Później role się zamieniły – muzyk w pociągu oceniał wysokość dźwięku granego przez trębacza na stacji.

Przeprowadzenie doświadczenia było trudne. Aby różnica wysokości dźwięku była zauważalna dla muzyków, pociąg musiał jechać szybko, a wówczas bardziej hałasował i jego przejazd przez stację trwał krócej. Wyniki okazały się jednak – w granicach niepewności – zgodne z przewidywaniami.



▼ Mural na budynku w Utrechcie, upamiętniający eksperyment przeprowadzony przez Buys-Ballota

Christophorus Buys-Ballot



Christophorus Buys-Ballot (1817–1890) zajmował się przede wszystkim meteorologią. Do dziś jedno z praw opisujących kierunek wiatru nazywane jest jego imieniem.

Christian Doppler

Christian Doppler (1803–1853) był austriackim fizykiem i matematykiem. Choć jego oryginalny pomysł z wyjaśnieniem ruchu gwiazd okazał się błędny, teoria Dopplera ma dziś zasadnicze znaczenie w astronomii – pozwala badać ruch galaktyk.

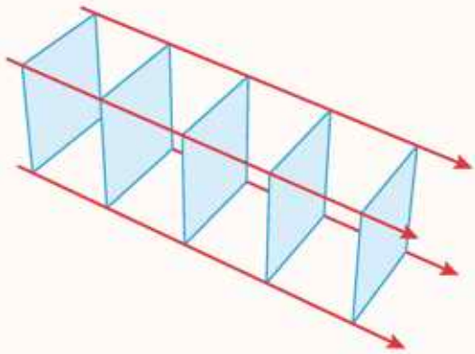
Powtórzenie Zjawiska falowe

- **Promienie i powierzchnie falowe** kulistej fali dźwiękowej (A), fali płaskiej w przestrzeni (B)

A.

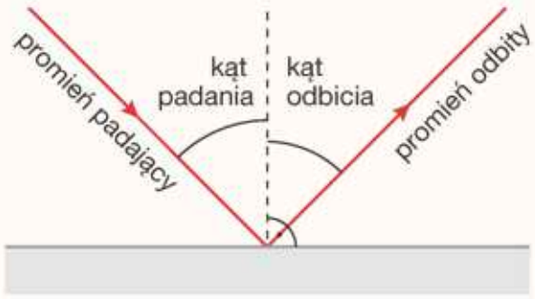


B.

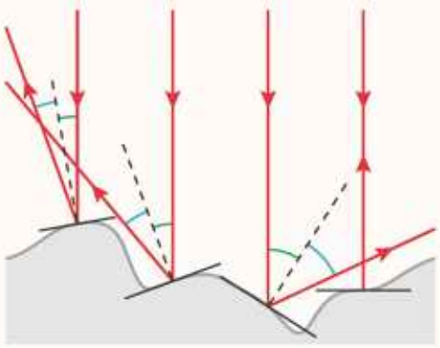


- **Odbicie fali i jej rozproszenie**
  - Zmiana kierunku fali następuje między innymi przy **odbiciu** (spełnione jest prawo odbicia – patrz rys. C). Gdy fala odbija się od nierównej powierzchni, ulega **rozproszeniu** (rys. D).

C.

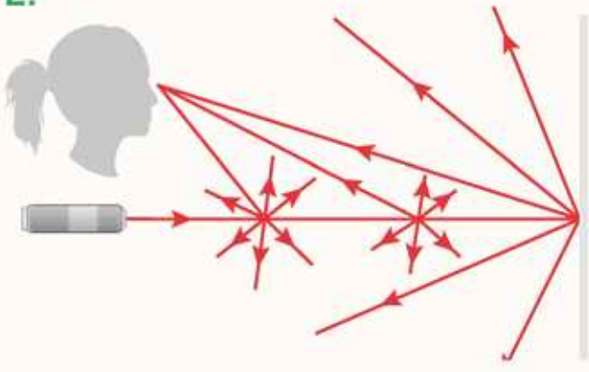


D.



  - Światło ulega rozproszeniu także na niejednorodnościach ośrodka, przez który przechodzi. Dlatego w zakurzonym pomieszczeniu widzimy promień światła z lasera (rys. E).

E.



F.

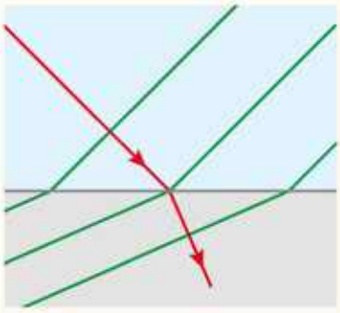


  - Dzięki rozproszeniu światła w atmosferze niebo w dzień nie jest czarne. Na Księżycu, gdzie nie ma atmosfery, niebo jest czarne nawet w dzień.
  - Kolor nieba jest niebieski, ponieważ krótsze fale zostają mocniej rozproszone.
  - O zachodzie słońca światło przebywa w atmosferze dłuższą drogę i krótsze fale zostają mocniej rozproszone, dlatego zachodzące słońce jest czerwone (rys. F).

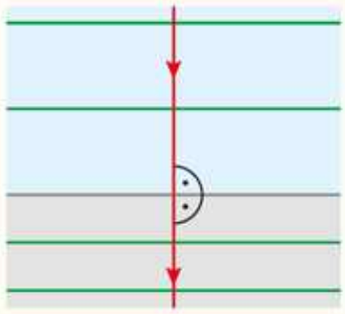
Załamanie fali

- Jeśli fala przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się z inną prędkością, nie zmienia się częstotliwość fali, więc zmianie ulega jej długość. Aby grzbiety fali nie zostały rozerwane, zmienia ona kierunek, czyli **załamuje się** (rys. A).
- Załamanie nie następuje w przypadku promienia padającego prostopadle na granicę ośrodków (rys. B).
- Gdy fala pada na granicę ośrodków, tylko część fali przechodzi do drugiego ośrodka, a część się odbija. Dlatego możemy przeglądać się w wodzie.

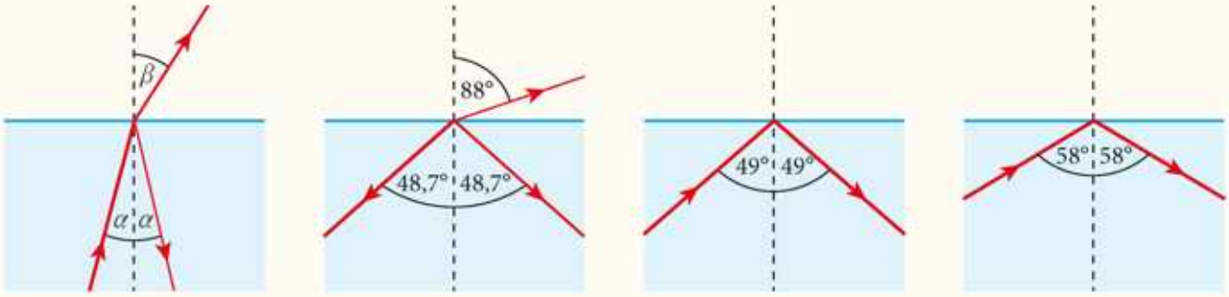
A.



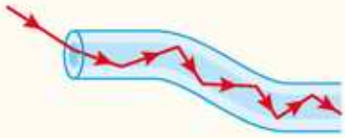
B.



- Jeśli fala pada na granicę ośrodków **od strony ośrodka, w którym rozchodzi się wolniej**, to przy coraz większych kątach padania coraz mniejsza jej część przechodzi do drugiego ośrodka. Dla kątów równych kątowi granicznemu i większych od niego fala wcale nie przechodzi do drugiego ośrodka, ale cała się odbija. Jest to **całkowite wewnętrzne odbicie**.



- Całkowite wewnętrzne odbicie wykorzystujemy w praktyce w **światłowodach**, za pomocą których przesyłamy informacje.

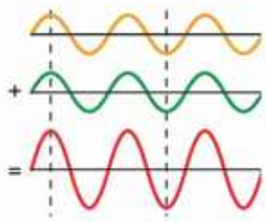


Dyfrakcja i interferencja



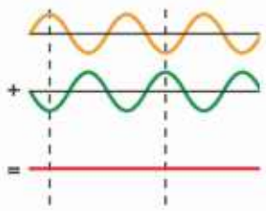
- **Siatka dyfrakcyjna** składa się z bardzo wielu równoległych szczelin. Dzięki temu pozwala bardzo wyraźnie obserwować dyfrakcję i interferencję.
- **Interferencja fal** polega na nakładaniu się fal wytwarzanych przez dwa źródła o jednakowej częstotliwości.

Wzmocnienie:



$$\Delta s = n \cdot \lambda$$

Wygaszenie:



$$\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

gdzie: Δs – różnica odległości od obserwatora do źródeł fali, n – dowolna liczba naturalna, λ – długość fali.

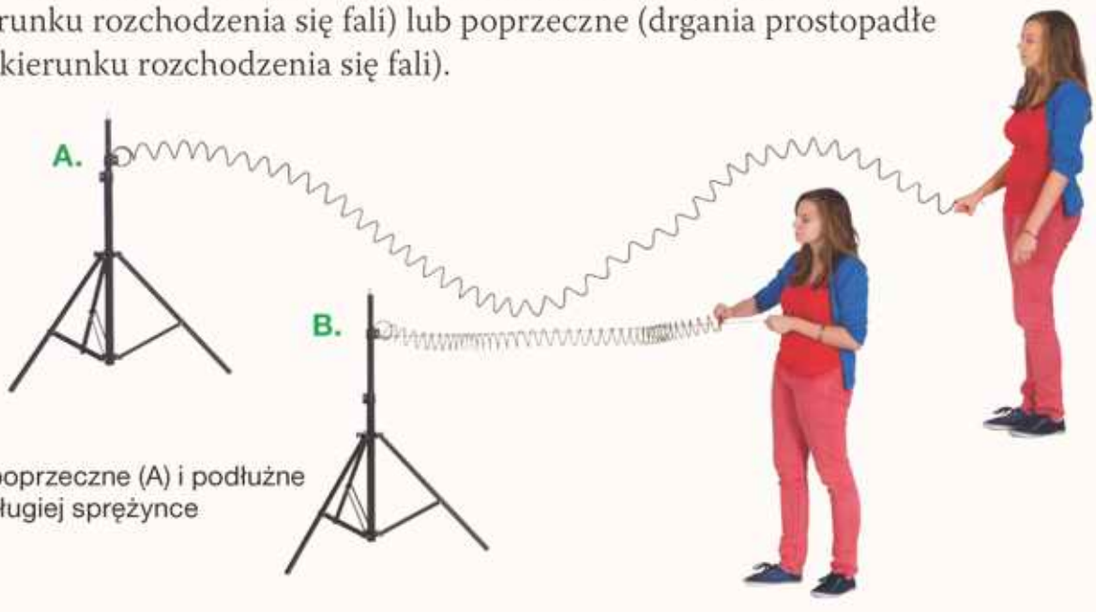
Zjawiska optyczne wokół nas

Powstające dzięki załamaniu światła	Powstające dzięki dyfrakcji i interferencji
• złudzenia polegające na pozornym złamaniu przedmiotu częściowo zanurzonego w wodzie • tęcza (rozszczepienie światła w kroplach wody) • halo (rozszczepienie światła w kryształkach lodu)	• barwy strukturalne (np. pióra pawia) • barwy cienkich warstw (np. baniek mydlanych) • wieniec wokół słońca lub księżyca • iryzacja chmury • widmo Brockenu

- Zjawiska wymienione w diagramie wyżej przedstawiono na zdjęciach na stronach 141, 143, 159.

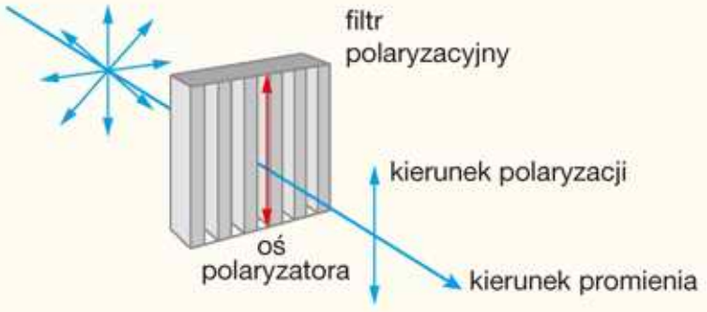
Fale podłużne i poprzeczne

- Fale mechaniczne mogą być podłużne (drgania równoległe do kierunku rozchodzenia się fali) lub poprzeczne (drgania prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali).



▲ Fale poprzeczne (A) i podłużne (B) na długiej sprężynce

- **Dźwięk** to przykład fali podłużnej.
- **Fale elektromagnetyczne** (w tym światło) to fale poprzeczne.
- **Światło spolaryzowane** to takie, w którym drgania odbywają się w jednym kierunku spośród wszystkich kierunków prostopadłych do promienia. Polaryzacja światła jest możliwa dlatego, że światło jest falą poprzeczną.



Schemat działania polaryzatora

- Światło ulega polaryzacji podczas przejścia przez niektóre substancje (polaryzatory) oraz podczas odbicia od gładkich powierzchni.
- Polaryzację światła wykorzystujemy m.in. w ekranach LCD.

Efekt Dopplera

- Ruch źródła fali dźwiękowej lub obserwatora powoduje, że słyszy on falę o innej częstotliwości (dźwięk o innej wysokości) niż emitowana przez źródło.
- Efekt Dopplera zachodzi także dla innych rodzajów fal.
- Gdy źródło porusza się znacznie wolniej od fali, spełniony jest w przybliżeniu warunek:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{v_{\text{źr}}}{v_{\text{f}}}$$

gdzie: Δf – zmiana częstotliwości (różnica między częstotliwością odbieraną a wysyłaną), f – częstotliwość emitowanej fali, $v_{\text{źr}}$ – prędkość źródła fali, v_{f} – prędkość fali.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To trzeba umieć

1. W białej kartce papieru nie można się przejrzeć jak w lustrze, ponieważ:

   A. prawie całe światło padające na kartkę ulega odbiciu, ale odbija się w ono w różnych kierunkach.

   B. tylko niewielka część światła padającego na kartkę ulega odbiciu.

   C. światło odbija się od kartki zawsze w tym kierunku, z którego na nią padało.

   D. przy odbiciu od kartki zachodzi zjawisko załamania światła.

2. Przedstawione na zdjęciu złudzenie optyczne jest skutkiem:

   A. odbicia światła od zakrzywionej powierzchni szklanki.

   B. załamania światła na granicy dwóch ośrodków.

   C. rozproszenia światła.

   D. polaryzacji światła przy odbiciu.



3. Nauczyciel geografii używa wskaźnika laserowego, aby pokazywać uczniom odpowiednie miejsca na dużej mapie. Czy jest możliwe, aby uczniowie widzieli promień światła w postaci świetlistej linii w powietrzu biegnącej od lasera do mapy?

   A. Nie jest to możliwe, a ilustracja do zadania to tylko fotomontaż.

   B. Tak, taką smugę zawsze widać.

   C. Tak, jest to możliwe, ale tylko jeśli w powietrzu jest dużo kurzu.



4. Które z podanych zdań nie ma związku z rozszczepieniem światła podczas tworzenia się tęczy?

   A. Światło różnych barw porusza się w powietrzu z praktycznie jednakową prędkością, natomiast w wodzie prędkość światła zależy od jego barwy.

   B. Światło białe jest mieszaniną fal o różnych częstotliwościach, czyli barwach.

   C. Światło o różnych częstotliwościach załamuje się pod różnymi kątami podczas przejścia z powietrza do wody lub z wody do powietrza.

   D. Podczas odbicia od wody światło ulega częściowej polaryzacji.

5. Gdy za rogiem budynku szczeka pies, słyszymy go, choć nie widzimy. Dzieje się tak przede wszystkim dlatego, że fala dźwiękowa ulega:

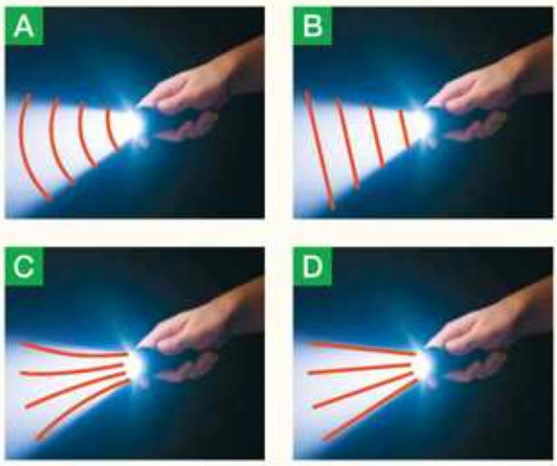
   A. załamaniu.

   B. odbiciu.

   C. dyfrakcji.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To powinieneś umieć

1. Na którym rysunku poprawnie przedstawiono powierzchnie falowe światła emitowanego przez latarkę?



2. W powietrzu rozchodzi się fala dźwiękowa o częstotliwości 3400 Hz i długości 10 cm. Gdy przejdzie do wody, będzie miała:

A. częstotliwość równą 3400 Hz i długość mniejszą od 10 cm.

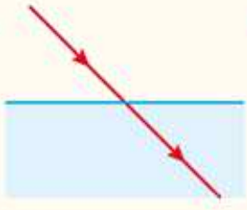
B. częstotliwość równą 3400 Hz i długość większą od 10 cm.

C. długość równą 10 cm i częstotliwość mniejszą od 3400 Hz.

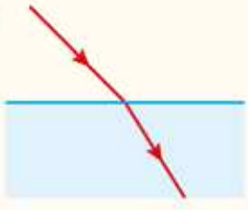
D. długość równą 10 cm i częstotliwość większą od 3400 Hz.

3. Który z rysunków poprawnie przedstawia przejście światła z powietrza do wody?

A.



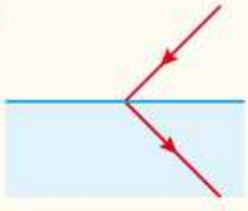
C.



B.



D.



4. Dopasuj opisy A–G do zjawisk fizycznych I–IV. **Uwaga.** Zjawiska mogą się powtarzać.

A. Na niebie pojawiła się tęcza.

B. Niebo w dzień jest niebieskie.

C. Bańka mydlana mieni się różnymi barwami.

D. Wiosło częściowo zanurzone w wodzie wydaje się złamane.

E. Zachodzące słońce jest czerwone.

F. Światło nie opuszcza światłowodu, chociaż jest on wygięty.

G. W nocy widać smugę światła biegnącego z reflektora samochodu.

I. załamanie światła

II. rozproszenie światła na niejednorodnościach ośrodka

III. dyfrakcja i interferencja światła

IV. całkowite wewnętrzne odbicie

5. Dwa głośniki emitują identyczne fale dźwiękowe o długości 50 cm. Jeśli znajdujemy się 420 cm od jednego głośnika, a 545 cm od drugiego, to:

A. dźwięk jest bardzo głośny – obserwujemy wzmocnienie dźwięku.

B. dźwięk jest tak głośny, jakby pochodził od jednego głośnika.

C. dźwięk jest bardzo cichy – obserwujemy wygaszenie fali.

6. Początkowo dwa polaryzatory są ustawione tak, że przepuszczają całe padające na nie światło. Opisz, co się stanie, gdy jeden z polaryzatorów obrócimy względem pierwotnego położenia o:

a) 45°,

b) 90°,

c) 180°.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

1. W powietrzu rozchodzi się fala dźwiękowa o długości 20 cm. Fala ta przechodzi do wody. Oblicz częstotliwości fali w powietrzu i w wodzie oraz długość fali w wodzie.

2. Światło odbija się od białej kartki papieru w różne strony. Czy jest to sprzeczne z prawem odbicia?

3. W których wypadkach może zajść całkowite wewnętrzne odbicie? Wybierz wszystkie poprawne odpowiedzi.

   A. Gdy światło pada na granicę powietrza i wody od strony powietrza.

   B. Gdy światło pada na granicę powietrza i wody od strony wody.

   C. Gdy dźwięk pada na granicę powietrza i wody od strony powietrza.

   D. Gdy dźwięk pada na granicę powietrza i wody od strony wody.

4. Kąt graniczny dla granicy diamentu i powietrza wynosi 24°. Całkowite wewnętrzne odbicie może zajść, gdy promień światła pada na granicę diamentu z powietrzem pod kątem:

   A. 20° od strony diamentu.

   B. 20° od strony powietrza.

   C. 60° od strony diamentu.

   D. 60° od strony powietrza.



5. Czy fala dźwiękowa może zostać spolaryzowana? Jeśli tak – w jaki sposób to osiągnąć? Jeśli nie – dlaczego?

6. Maszynista pociągu zbliżającego się do stacji z prędkością 120 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ włączył syrenę, która emituje dźwięk o częstotliwości 800 Hz. Oblicz częstotliwość dźwięku słyszanego przez osobę stojącą na peronie.

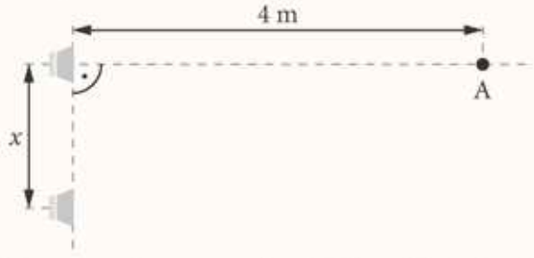
ZADANIA POWTÓRZENIOWE Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. Zenon twierdzi, że Słońce naprawdę zmienia okresowo barwę światła emitowanego w kosmos i dlatego rano i wieczorem jest ona inna niż w południe. Jak obalić taką hipotezę?

   Uwaga. Nie wyjaśniaj, z czego naprawdę wynika zmiana obserwowanej barwy światła, ale wytłumacz, dlaczego wyjaśnienie tego zjawiska przez Zenona nie może być prawdziwe.

2. Dwa głośniki (patrz rys.) emitują jednakowe fale dźwiękowe o długości 10 cm. Jaka powinna być ich wzajemna odległość x, aby w punkcie A zachodziło całkowite wygaszanie fali?

   Uwaga. Istnieje nieskończenie wiele takich odległości x, znajdź najmniejszą z nich.



3. Pieszy stojący na chodniku obok jezdni słyszy dźwięk klaksonu samochodu jako wyższy o jeden półton, czyli wyższy o 6%. Z jaką prędkością porusza się ten samochód? Podaj wynik w kilometrach na godzinę. Czy samochód zbliża się do pieszego czy oddala?

Cywilizacja zgiełku

Hałas to skutek uboczny współczesnej cywilizacji, powodujący więcej problemów, niż nam się wydaje. Lekarze mówią wprost: głuchniemy!



Jak wylicza Europejska Agencja Ochrony Środowiska (EEA), nadmierny hałas przyczynia się do 16,6 tys. przedwczesnych zgonów rocznie, i to tylko wśród mieszkańców Europy. I choć wielu przypadkom śmierci moglibyśmy zapobiec, nadal robimy niewiele, by bronić się przed problemem.

Nadmiar decybeli

Żyjemy w czasach niebywałego hałasu. (...) Na terenie 33 badanych państw europejskich znajdziemy zaledwie 18% obszarów niezanieczyszczonych hałasem. Nomenklatura ekologiczna nie pojawiała się tu przypadkiem, bo o problemach z hałasem mówi się najczęściej w kategoriach zanieczyszczenia lub skażenia, a według badań EEA jest to drugi, zaraz po smogu, największy problem Europejczyków. Trzeba jednak podkreślić, że nie dotyczy on tylko naszego kontynentu – dotyka ludzi na całym świecie.

Eksperci spierają się o górną granicę szkodliwości hałasu. Najczęściej przyjmuje się, że stanowi ją dźwięk o natężeniu 85 dB, choć niektórzy zalecają nieprzekraczanie 78 dB. Ciekawie wygląda na tym tle zeszłoroczny raport Europejskiej Agencji Środowiska, który ostrzega, że szkodliwe mogą być już dźwięki powyżej 55 dB w dzień i 50 dB w nocy. W rzeczywistości wszystko zależy od intensywności zgiełku i czasu przebywania w nim. Mniejszy hałas, ale towarzyszący nam regularnie przez większą część dnia, potrafi wyrządzić więcej szkód niż jednorazowa wizyta na głośnym koncercie. A czasem ciężko się od niego uwolnić, bo ten towarzyszy nam nawet w domu.

Kilka lat temu w ramach eksperymentu naukowcy (...) zatrzymywali na ulicach Melbourne i Sydney przypadkowych przechodniów, którzy słuchali muzyki przez słuchawki, i mierzyli poziom preferowanej przez nich głośności. Okazało się, że co czwarta osoba puszczała muzykę tak głośno, że groziło to uszkodzeniem słuchu. Im szczelniejsza słuchawka, tym gorzej, bo ukierunkowuje dźwięk wprost do ucha.

– Słuchać muzyki przez słuchawki powinniśmy nie dłużej niż 90 min dziennie i to przy maksymalnie 80-procentowej głośności. Kiedy raz uszkodzimy słuch, nie ma odwrotu – ostrzega prof. Davin McAlpine.



Chorobliwe dźwięki

Hałas negatywnie oddziałuje na cały organizm człowieka, a w skrajnym przypadku może nawet zabić. Jakim cudem? Otóż stały albo powracający hałas powoduje poważny stres, co prowadzi do podwyższenia ciśnienia krwi, zaburzeń snu, obniżenia zdolności umysłowych, chorób układu nerwowego, a w końcu przedwczesnego zgonu.

– Samo mieszkanie w okolicy lotniska zwiększa ryzyko wystąpienia chorób kardiologicznych nawet o 17%. Im bliżej, tym gorzej – konkluduje prof. Stephen Stansfeld z Queen Mary University of London.

Hałas wpływa destrukcyjnie również na układ nerwowy, powodując rozdrażnienie, niepokój, nadpobudliwość, apatię, agresję, zmęczenie, lęki i brak koncentracji. Ze strony układu pokarmowego mogą pojawić się z kolei problemu z metabolizmem, tycie, wrzody żołądka (...) Hałaśliwe otocznie przyspiesza wreszcie i nasila rozwój zaburzeń psychicznych, wylicza Willy Passchier-Vermeer w pracy „Noise exposure and public health".

Kamil Nadolski
(skrócona wersja artykułu opublikowanego w czasopiśmie „Wiedza i Życie" 2018, nr 12)

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Wyjaśnij pojęcia i zwroty: nomenklatura, preferowany, choroby kardiologiczne, apatia, metabolizm.

2. Oszacuj, ile osób rocznie w Polsce umiera przedwcześnie z powodu hałasu. Załóż, że odsetek takich przypadków jest w Polsce taki sam jak w całej Europie.

3. Wypisz z tekstu co najmniej trzy słowa i wyrażenia o znaczeniu podobnym do wyrazu „hałas".

4. Czy poniższe zdania są prawdziwe? Zapisz w zeszycie odpowiedzi oraz cytaty z artykułu, na podstawie których można to ocenić.

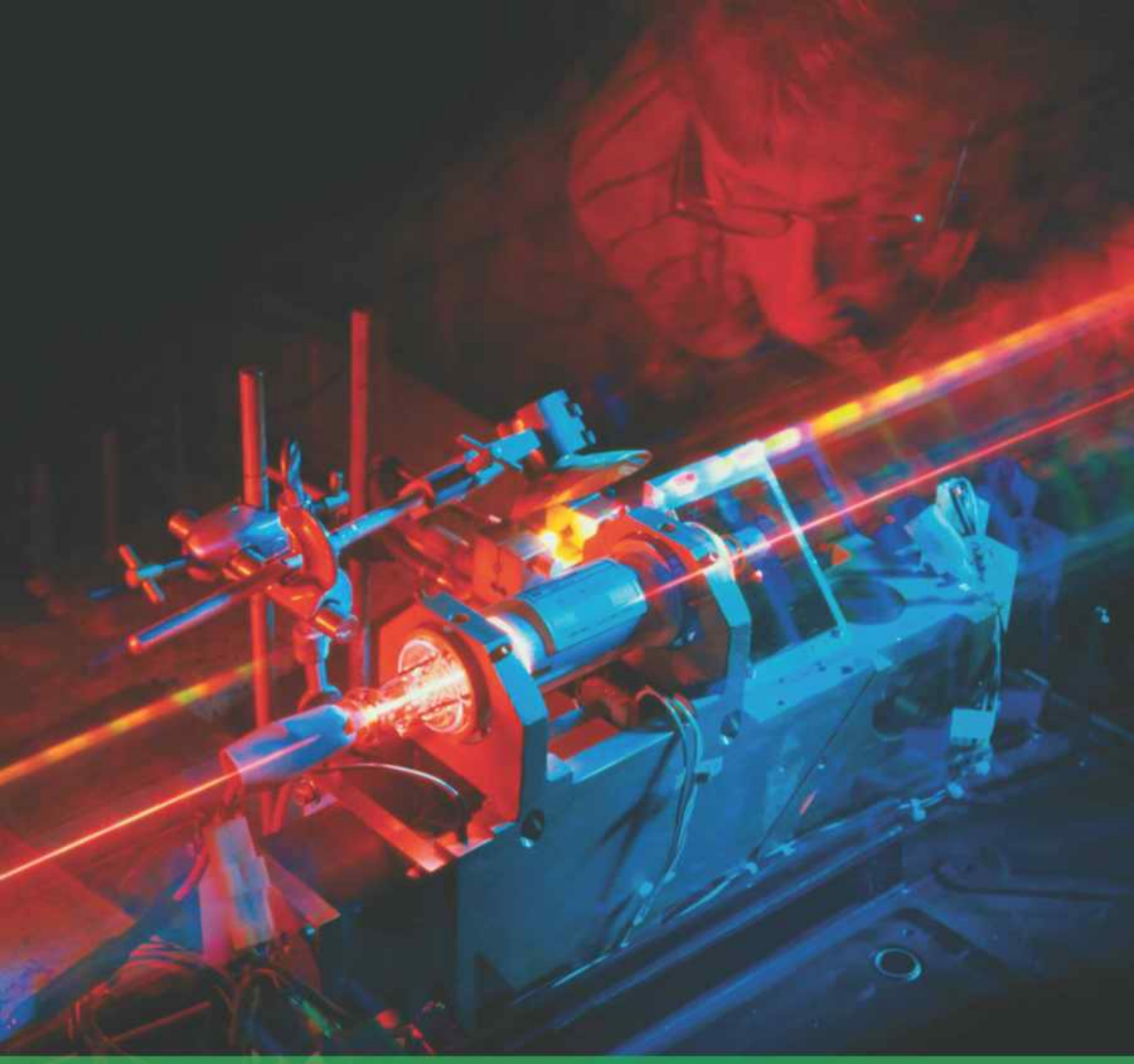
a) Na terenie 18% spośród 33 badanych państw nie występuje zanieczyszczenie hałasem.

b) Nie należy słuchać muzyki przez słuchawki więcej niż przez półtorej godziny dziennie i nie należy ustawiać głośności wyższej niż 80%.

c) Hałas może powodować choroby serca.

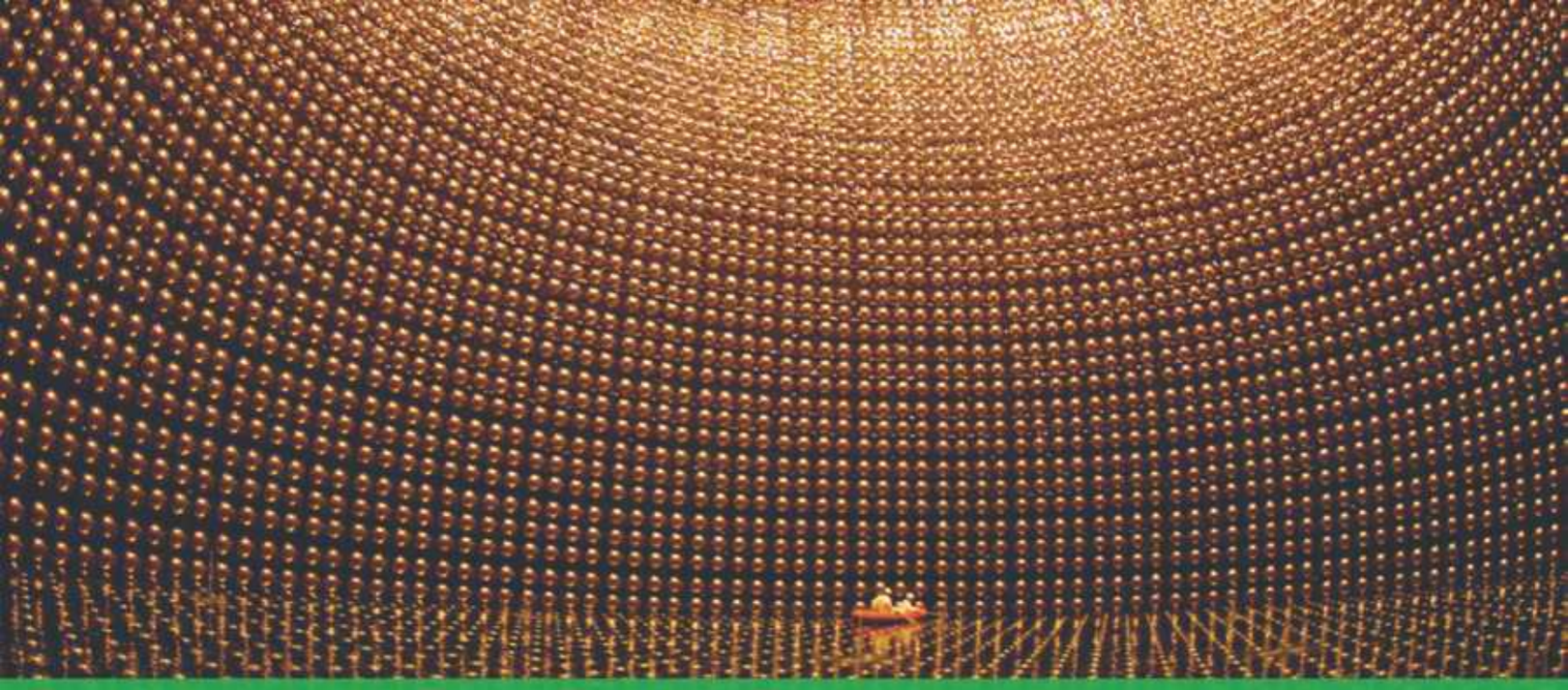
d) Hałas może powodować nadmierny wzrost masy ciała.

5. W tekście pojawia się decybel (dB) – jednostka poziomu natężenia dźwięku. Znajdź w odpowiednim źródle potrzebne informacje na temat tej wielkości. Oblicz na ich podstawie, ile razy większa energia dźwięku dociera do człowieka, gdy natężenie dźwięku wynosi 80 dB, w stosunku do sytuacji, gdy wynosi ono 50 dB.



10 Fizyka atomowa

Czy zastanawiałeś się kiedyś, skąd znamy budowę i właściwości gwiazd oraz dalekich planet?



29. Podwójna natura światła

Cele lekcji:

- Dowiesz się, w jaki inny sposób możemy opisywać światło.
- Zaznajomisz się z pojęciem fotonu.
- Poznasz zjawiska, które można wyjaśnić za pomocą hipotezy o cząsteczkowej (korpuskularnej) naturze światła.

Czym jest światło

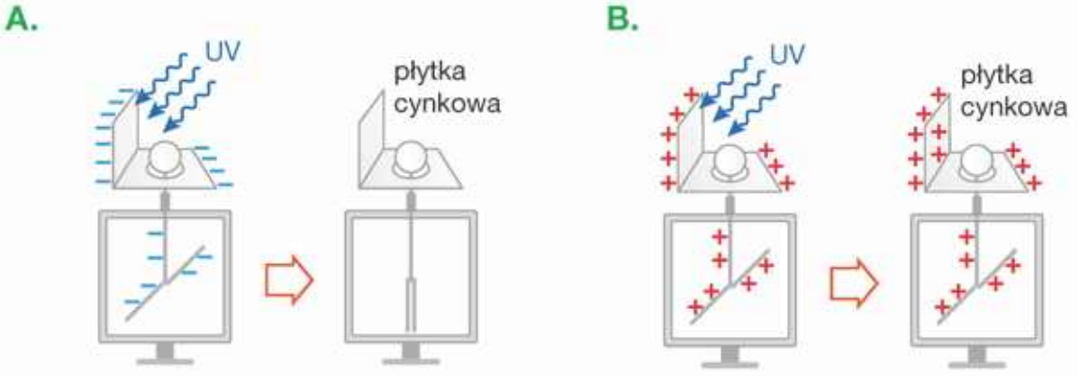
Jak wiesz z poprzedniego rozdziału, światło widzialne jest jednym z rodzajów fal elektromagnetycznych. Często ogólnego określenia „światło" używamy do opisu innych fal elektromagnetycznych, a dla fal widocznych dla ludzkiego oka rezerwujemy dokładniejsze określenie „światło widzialne". Pod wieloma względami światło jest podobne do fal mechanicznych, m.in. tak jak one podlega zjawiskom dyfrakcji i interferencji. Na początku XIX w. uznano to za dowód jego falowej natury. Jednak już kilkadziesiąt lat później odkryto zjawisko fotoelektryczne, którego nie dało się wyjaśnić założeniem, że światło jest zwykłą falą. Na czym polega to zjawisko?

Zjawisko fotoelektryczne

Zjawisko, którego falowa teoria światła nie była w stanie wyjaśnić, w najprostszej postaci możesz zaobserwować w szkolnej pracowni. Jeśli do kulki **elektroskopu** przymocujesz płytkę wykonaną z cynku i naładujesz ją ładunkiem ujemnym, a następnie oświetlisz promieniowaniem ultrafioletowym (np. światłem lampy kwarcowej, patrz rys. A na s. 187), płytka i elektroskop się rozładują.
Jeśli jednak płytkę i elektroskop naładujemy dodatnio i oświetlimy tak jak wcześniej, nie ulegną one rozładowaniu (patrz rys. B na następnej stronie).

Prosty elektroskop to metalowy pręt, na którego końcu są przymocowane dwa listki z cienkiej folii przewodzącej prąd. Po zetknięciu pręta z ciałem naładowanym elektrycznie część ładunku przepływa do listków elektroskopu, a listki folii odpychają się i rozsuwają.

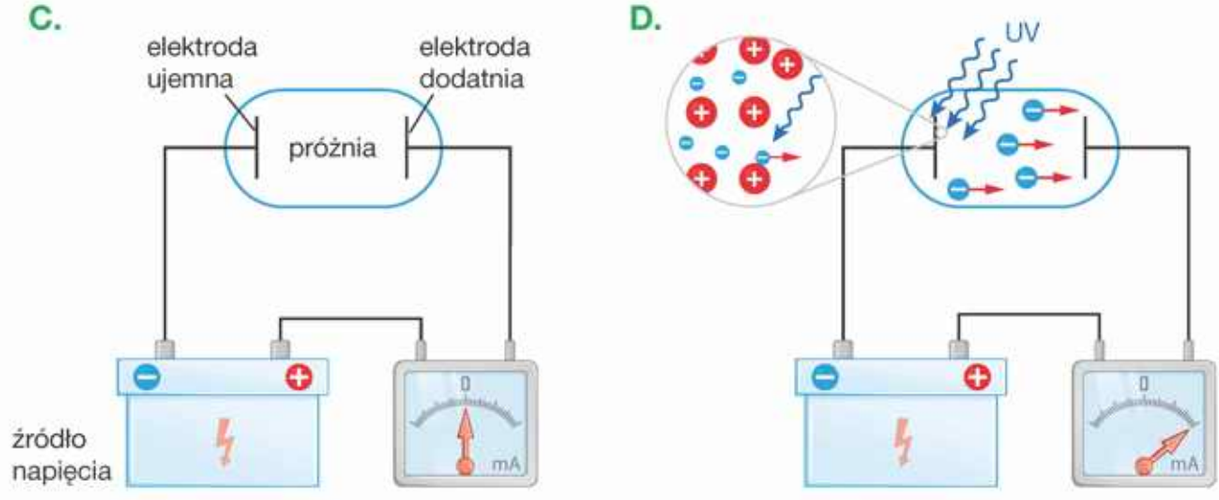
Dzieje się tak dlatego, że promieniowanie ultrafioletowe, które niesie pewną energię, wybija elektrony z płytki cynkowej. Gdy elektroskop jest naładowany ujemnie, elektronów jest zbyt dużo, dlatego po wybiciu niektórych z nich elektroskop staje się obojętny elektrycznie. Gdy elektroskop i płytka są naładowane dodatnio, wybite elektrony są do niego przyciągane i bardzo szybko wracają, dlatego ich ewentualne wybicie nie spowoduje rozładowania.



▲ Ujemnie naładowany elektroskop (A) rozładowuje się pod wpływem promieniowania ultrafioletowego (UV). Dodatnio naładowany elektroskop (B) nie ulega rozładowaniu

Światło a przepływ prądu

Przejdźmy do opisu bardziej profesjonalnej wersji doświadczenia. Wyobraź sobie przezroczystą szklaną bańkę opróżnioną z powietrza, wewnątrz której znajdują się dwie elektrody, czyli kawałki metalu (np. cezu) połączone z przewodami wyprowadzonymi na zewnątrz (rys. C poniżej). Jeśli do elektrod podłączymy źródło napięcia, prąd nie popłynie, ponieważ elektrony nie mogą wydostać się z metalu.
Sytuacja zmieni się jednak, gdy elektrodę ujemną oświetlimy. Wówczas prąd zaczyna płynąć (rys. D).
Jak to możliwe? Otóż światło niesie ze sobą pewną energię. Kosztem tej energii elektron może zostać wybity z elektrody. Kiedy tak się stanie, jest odpychany od elektrody ujemnej i przyciągany do dodatniej. Elektrony przemieszczają się więc od elektrody ujemnej do dodatniej, co oznacza, że w obwodzie zaczyna płynąć prąd elektryczny.



▲ Prąd nie płynie (C). Światło wybija elektrony z elektrody ujemnej i prąd płynie (D)

Podsumujmy nasze spostrzeżenia:

> Światło (lub inne promieniowanie elektromagnetyczne) może wybić elektrony z powierzchni metalu. Zjawisko to nazywamy **zjawiskiem (efektem) fotoelektrycznym**.

Zadziwiająca obserwacja

To, co do tej pory napisaliśmy o zjawisku fotoelektrycznym, można było wyjaśnić na podstawie znanych już praw fizyki. Wiadomo przecież, że fale elektromagnetyczne niosą energię, a więc mogą ją przekazać elektronom, co umożliwia im ucieczkę z metalu. Okazuje się jednak, że zjawisku temu towarzyszy pewien trudny do wyjaśnienia fakt.

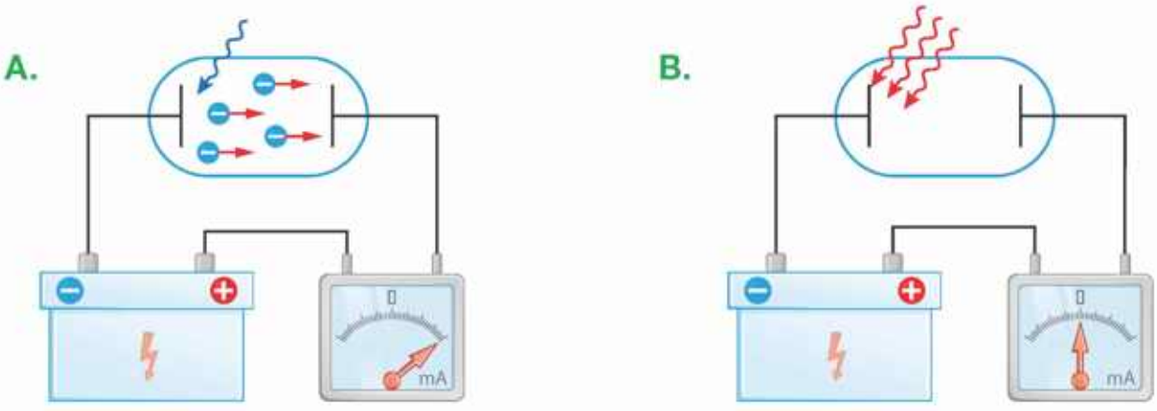
> Zjawisko fotoelektryczne zachodzi wyłącznie pod wpływem promieniowania o częstotliwości równej **częstotliwości granicznej**, charakterystycznej dla danego metalu, lub od niej większej.

Częstotliwość, dla której zachodzi to zjawisko, **zależy od metalu**, z jakiego jest wykonana elektroda ujemna. Na przykład w przypadku cezu zjawisko fotoelektryczne zostanie wywołane przez światło niebieskie, nawet o niewielkim natężeniu, czyli bardzo słabe (rys. A), natomiast nie wywoła go światło czerwone, nawet o bardzo dużym natężeniu (rys. B). A przecież energia światła zależy od jego natężenia, więc światło jaśniejsze (o większym natężeniu) powinno przekazywać więcej energii i wybijać więcej elektronów. Jak to wyjaśnić?

Falowa teoria światła nie dawała odpowiedzi na postawione wyżej pytanie. Impas przełamał dopiero **Albert Einstein**, który w 1905 r. **przedstawił** uznawane do dziś **wyjaśnienie zjawiska fotoelektrycznego**. Warto wspomnieć, że w 1921 r. otrzymał za to Nagrodę Nobla.



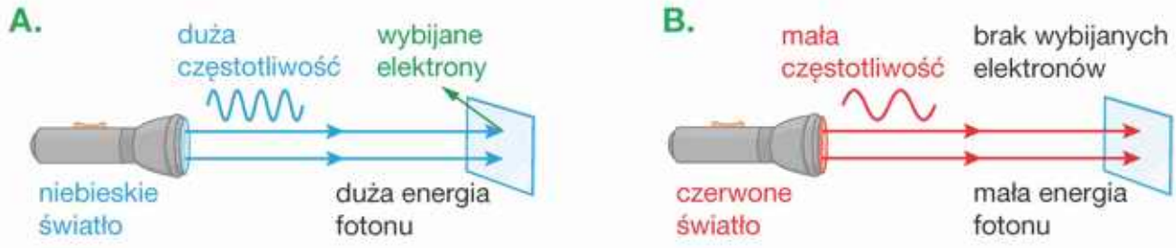
▲ Albert Einstein



▲ Światło niebieskie wybija elektrony z cezu (A), natomiast światło czerwone – nawet o dużym natężeniu – ich nie wybija (B)

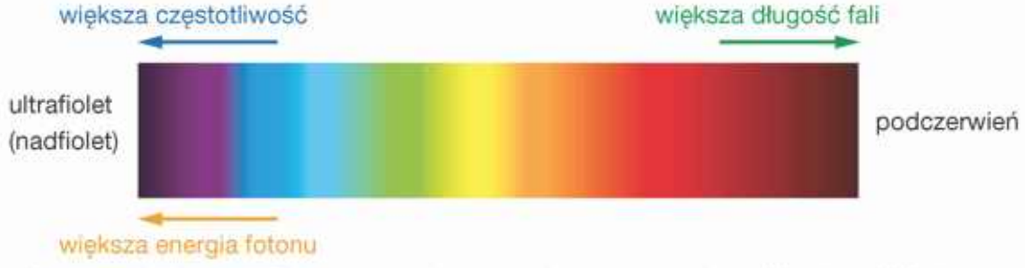
Fotony a energia

Einstein założył, że zarówno światło, jak i każda inna fala elektromagnetyczna jest strumieniem cząstek, zwanych **fotonami**, z których każda niesie energię tym większą, im większa jest częstotliwość światła. W słabym niebieskim świetle (użytym w opisanym wyżej doświadczeniu) jest niewiele fotonów, ale każdy z nich ma dużą energię, wystarczającą do wybicia elektronu z cezu. Natomiast w jasnym świetle czerwonym jest dużo fotonów, ale każdy z nich ma niewielką energię, która nie wystarcza do wybicia elektronu (patrz rys. poniżej). Musiałyby w niego jednocześnie uderzyć dwa fotony, a to praktycznie się nie zdarza.



▲ Zaistnienie zjawiska fotoelektrycznego zależy od częstotliwości światła, a nie od jego natężenia

W przypadku niektórych metali, np. żelaza, efekt fotoelektryczny zachodzi tylko dla promieniowania nadfioletowego. Jego fotony mają bowiem wyższą częstotliwość, a więc również większą energię niż światło widzialne (patrz rys. poniżej).
Zjawisko fotoelektryczne możemy zatem porównać do sytuacji, gdy chcemy rozbić szybę. Nie uda się tego zrobić nawet wieloma kulkami z papieru, ale bez problemu stłuczemy ją jedną stalową kulką, nawet jeśli jej energia będzie mniejsza niż łączna energia wszystkich papierowych kulek.



▲ Widmo światła widzialnego. Zaznaczono, jak zmienia się częstotliwość, długość fali i energia fotonu dla poszczególnych składowych światła

Energia fotonu jest proporcjonalna do częstotliwości promieniowania.

Einstein opisał energię fotonu za pomocą wzoru:

$$E = hf$$

gdzie f – częstotliwość promieniowania, h – stała o wartości $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s.
Stałej h nie wprowadził do fizyki Einstein. Była ona znana już wcześniej dzięki pracom Maxa Plancka (o tym uczonym piszemy więcej na s. 203). Nazywamy ją **stałą Plancka**.

Praca wyjścia

Aby wyrwać elektron z powierzchni metalu, trzeba mu dostarczyć energię, którą tradycyjnie nazywamy **pracą wyjścia**. Zależy ona od rodzaju metalu. Aby elektron został wyrwany z elektrody, musi pochłonąć foton o energii równej co najmniej pracy wyjścia. Podsumujmy:

> Praca wyjścia to energia, jaką trzeba dostarczyć elektronowi, aby został wyrwany z powierzchni metalu.

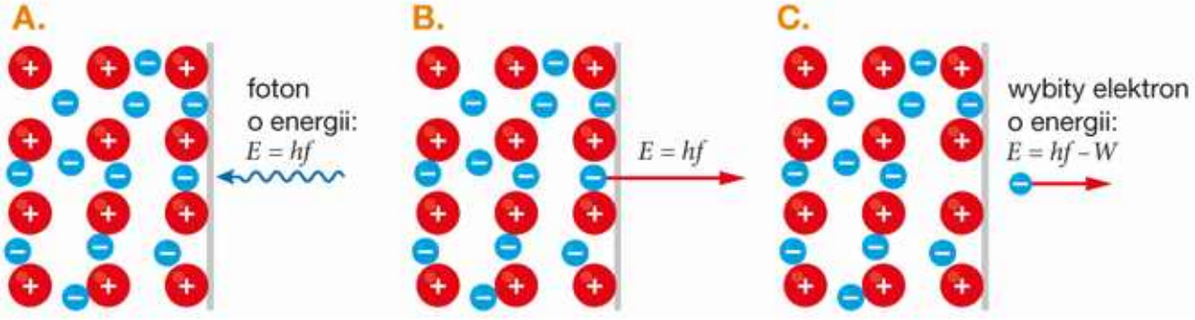
Tabelę z wartościami prac wyjścia dla różnych metali znajdziesz na s. 331.

Bilans energetyczny zjawiska fotoelektrycznego

Jak duża będzie energia elektronu po opuszczeniu przez niego metalu? Oznaczmy pracę wyjścia literą W.
Elektron na wydostanie się z metalu traci energię równą pracy wyjścia, więc pozostanie mu energia kinetyczna:

$$E_k = hf - W$$

Przeanalizuj poniższe rysunki. Foton o energii hf pada na powierzchnię metalu (rys. A). Elektron, znadujący się w tym metalu, pochłania energię hf (rys. B). Wybity elektron ma energię kinetyczną mniejszą od energii fotonu o pracę wyjścia W (rys. C).



Elektronowolt

Pracę wyjścia i energię fotonów można wyrażać w dżulach. Wówczas jednak musimy posługiwać się bardzo małymi ułamkami dżula. Dlatego wprowadzimy nową jednostkę pracy i energii – **elektronowolt** (1 eV).

$$1\ \text{eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

Jak wiesz już z drugiej klasy, ładunek 1 C przepływający między biegunami baterii o napięciu 1 V może wykonać pracę 1 J. Oznacza to, że 1 J = 1 C · 1 V, a więc dżul można nazwać „kulombowoltem". Definicja elektronowolta brzmi podobnie, ale dotyczy tylko jednego elektronu, a nie strumienia elektronów mierzonego w kulombach.

$$1\ \text{eV} = 1\ \text{e} \cdot 1\ \text{V} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot \frac{\text{J}}{\text{C}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

Gdy energię wyraża się w elektronowoltach, stałą Plancka można zapisać jako:

$$h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}$$

Z tak wyliczonej stałej Plancka można korzystać podczas rozwiązywania zadań.

Przykład

Obliczanie energii elektronu w efekcie fotoelektrycznym

Elektrodę sodową oświetlamy światłem ultrafioletowym o długości fali 350 nm. Czy w tym wypadku zajdzie efekt fotoelektryczny? Jeśli tak, to jaką energię będzie miał wybity elektron?

Dane:

$\lambda = 350\ \text{nm}$

$W = 2{,}75\ \text{eV}$

$h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}$

Szukane:

$E_k = ?$

Pracę wyjścia dla sodu znajdujemy w tabeli na końcu podręcznika.

Rozwiązanie: Na początku obliczmy częstotliwość padającego promieniowania. Fotony poruszają się z prędkością światła c, więc zależność między prędkością, długością a częstotliwością fali ($v = \lambda f$) przybiera dla nich postać:

$$c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$$

Podstawiamy dane liczbowe i otrzymujemy:

$$f = \frac{300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}}{350\ \text{nm}} = \frac{3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3{,}5 \cdot 10^{-7}\ \text{m}} = \frac{3}{3{,}5} \cdot 10^{8-(-7)}\ \frac{1}{\text{s}} = 0{,}857 \cdot 10^{15}\ \text{Hz} = 8{,}57 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

Obliczamy energię fotonu ze wzoru $E_{fot} = hf$ i otrzymujemy:

$$E_{fot} = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s} \cdot 8{,}57 \cdot 10^{14}\ \frac{1}{\text{s}} = 35{,}5 \cdot 10^{-1}\ \text{eV} = 3{,}55\ \text{eV}$$

Energia fotonów jest większa od pracy wyjścia dla sodu (która wynosi 2,75 eV). Efekt fotoelektryczny będzie więc zachodzić.

Część energii fotonu zostanie wykorzystana na wybicie elektronu z metalu, reszta będzie stanowić energię kinetyczną E_k wybitego elektronu.

$$E_k = E_{fot} - W$$

$$E_k = 3{,}55\ \text{eV} - 2{,}75\ \text{eV} = 0{,}8\ \text{eV}$$

Odpowiedź: W opisanym przypadku zajdzie efekt fotoelektryczny, a wybity elektron będzie miał energię 0,8 eV.

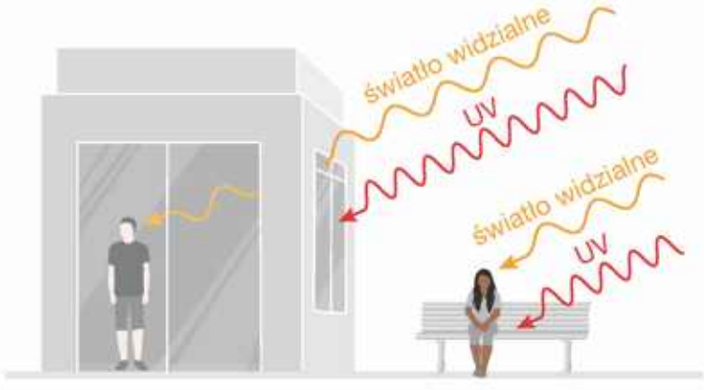
Uwaga. Można obliczyć, że prędkość elektronu o takiej energii jest równa ok. $530\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$. W życiu codziennym (makroskopowym) taką prędkość uznalibyśmy za gigantyczną. Nawet sondy kosmiczne osiągają prędkość zaledwie kilkudziesięciu kilometrów na sekundę. Jednak w świecie mikroskopowym ta wartość, stanowiąca niecałe 0,2% prędkości światła, nie jest bardzo duża – wiele cząstek porusza się znacznie szybciej.

Zjawisko fotochemiczne

Teorię, zgodnie z którą światło jest strumieniem fotonów, przyjęto jako wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego. Założenie to wykorzystujemy również do wyjaśnienia wielu innych zjawisk. Najprostszym z nich jest zjawisko fotochemiczne, w którym światło o odpowiedniej częstotliwości jest potrzebne do tego, aby zaszła reakcja chemiczna.

Gdy reakcja chemiczna zachodzi na skutek promieniowania elektromagnetycznego o odpowiednio wysokiej częstotliwości, mówimy o **zjawisku fotochemicznym**.

Jednym z przykładów zjawiska fotochemicznego jest **opalanie się**. Jak wiesz, opalenizna powstaje na skutek promieniowania ultrafioletowego pochodzącego ze Słońca albo ze specjalnej lampy w solarium. Światłem widzialnym można się ogrzać, można się nawet dotkliwie poparzyć (np. za pomocą lasera), ale nie wywoła ono opalenizny. Reakcja chemiczna, podczas której w skórze jest wytwarzany brązowy barwnik, wymaga bowiem fotonu o odpowiedniej energii. Nie zastąpi go nawet wiele fotonów światła widzialnego, z których każdy ma za małą energię. Dlatego nie możemy się opalić przez szybę, która nie przepuszcza ultrafioletu.



Do opalania się jest potrzebny ultrafiolet, którego szkło nie przepuszcza

Innym przykładem zjawiska fotochemicznego zachodzącego pod wpływem światła ultrafioletowego w naszym organizmie jest **synteza witaminy D**. Dlatego osoby przebywające głównie w zamkniętych pomieszczeniach, nawet jasno oświetlonych światłem widzialnym, mogą produkować jej zbyt mało. Wówczas lekarz zaleca zażywanie witaminy w kroplach lub kapsułkach.
Kolejnymi bardzo ważnymi zjawiskami fotochemicznymi są **fotosynteza** – proces, dzięki któremu rośliny pozyskują energię światła słonecznego, oraz **proces widzenia** – detekcji fotonów światła przez barwnik naszych oczu, rodopsynę. W obu przypadkach reakcja jest wywoływana tylko przez fotony o określonej energii.

A to ciekawe

Zjawisko fotochemiczne jest wykorzystywane np. podczas obróbki tradycyjnego czarno-białego zdjęcia (wywoływania negatywu). Gdy robimy zdjęcie, soczewka aparatu tworzy na kliszy obraz, a w oświetlonych miejscach pokrywająca ją substancja się zaczernia. Aby otrzymać zdjęcia, najpierw musimy wyjąć kliszę z aparatu. Nie możemy jednak zrobić tego przy zwykłym świetle, ponieważ klisza by się prześwietliła, czyli cała zostałaby zaczerniona.
Z kolei praca w całkowitej ciemności nie byłaby wygodna. Okazuje się jednak, że ciemnia – pomieszczenie do pracy fotografa – może być oświetlona światłem czerwonym. Jego fotony mają zbyt małą energię, aby spowodować reakcję fotochemiczną w materiale pokrywającym kliszę.

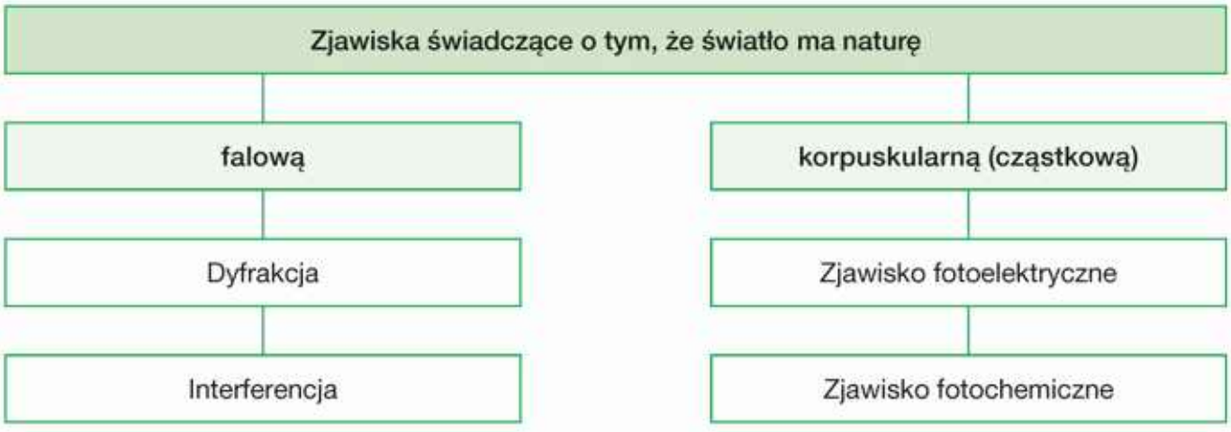


Dualizm korpuskularno-falowy

Jaka więc jest natura światła: czy jest ono falą, czy strumieniem cząstek? Przez kilkaset lat uważano te dwie koncepcje światła za sprzeczne i spierano się, która z nich jest prawdziwa.

Dziś możemy przyjąć, że oba opisy się dopełniają i np. światło fioletowe w pewnych sytuacjach możemy opisywać jako falę o długości ok. 400 nm, a w innych – jako strumień fotonów, z których każdy niesie energię ok. 3,1 eV.

Mówimy więc o **dualizmie korpuskularno-falowym**, czyli o podwójnej naturze światła.



Kiedy patrzymy na światło jako zbiór cząstek – fotonów, mówimy o kwantowej naturze światła. **Kwant** oznacza po prostu najmniejszą możliwą porcję czegoś. Jeśli więc stwierdzamy, że coś jest skwantowane, to oznacza, że występuje w porcjach już dalej niepodzielnych.

W pewnym sensie teoria Demokryta – greckiego uczonego sprzed niemal 2500 lat, który jako pierwszy uznał, że istnieją najmniejsze, niepodzielne cząstki materii – również była teorią kwantową. Podobnie skwantowany jest choćby nasz system monetarny – nie możemy zapłacić kwoty mniejszej niż jeden grosz, a każda inna kwota jest wielokrotnością grosza.

To najważniejsze

- **Dualizm korpuskularno-falowy** opisuje własności promieniowania elektromagnetycznego. W trakcie niektórych doświadczeń, gdy np. ulega dyfrakcji i interferencji, zachowuje się ono jak fala, a w innych, np. podczas zjawiska fotoelektrycznego – jak strumień cząstek.
- **Zjawisko fotoelektryczne** zachodzi, gdy światło (lub inne promieniowanie elektromagnetyczne) padające na metal wybija z niego elektrony.
- Pełne wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego jest możliwe wyłącznie po przyjęciu założenia, że światło jest strumieniem fotonów, z których każdy niesie porcję energii: $E = hf$, gdzie f – częstotliwość promieniowania, h – stała Plancka o wartości $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s.
- Efekt fotoelektryczny zachodzi wyłącznie pod wpływem promieniowania o częstotliwości równej lub większej od **częstotliwości granicznej**, charakterystycznej dla danego metalu.
- Również wiele reakcji chemicznych zachodzi tylko pod wpływem promieniowania, czyli fotonów o określonej energii. Taki efekt nazywamy **zjawiskiem fotochemicznym**.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. Skorzystaj z tabeli pracy wyjścia na s. 331.

1. Wskaż wszystkie wielkości, które decydują o występowaniu efektu fotoelektrycznego.

   A. Częstotliwość promieniowania padającego na metal.

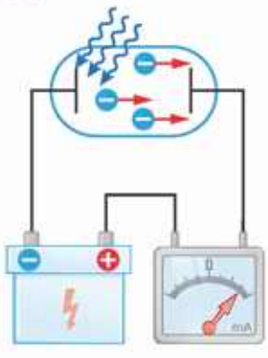
   B. Całkowita energia promieniowania padającego w określonym czasie na metal.

   C. Energia pojedynczego fotonu.

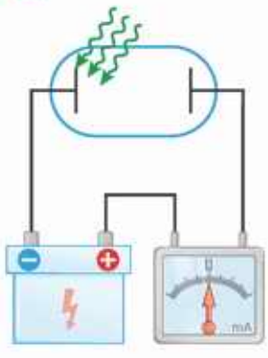
2. Elektrodę cezową oświetlamy promieniowaniem ultrafioletowym o długości fali 300 nm. Oblicz energię wybitych elektronów.

3. W pewnym metalu efekt fotoelektryczny może być wywołany przez światło niebieskie, ale nie przez zielone (patrz rys.)

A.



B.



Efekt fotoelektryczny w tym metalu można wywołać za pomocą światła:

A. czerwonego.

B. pomarańczowego.

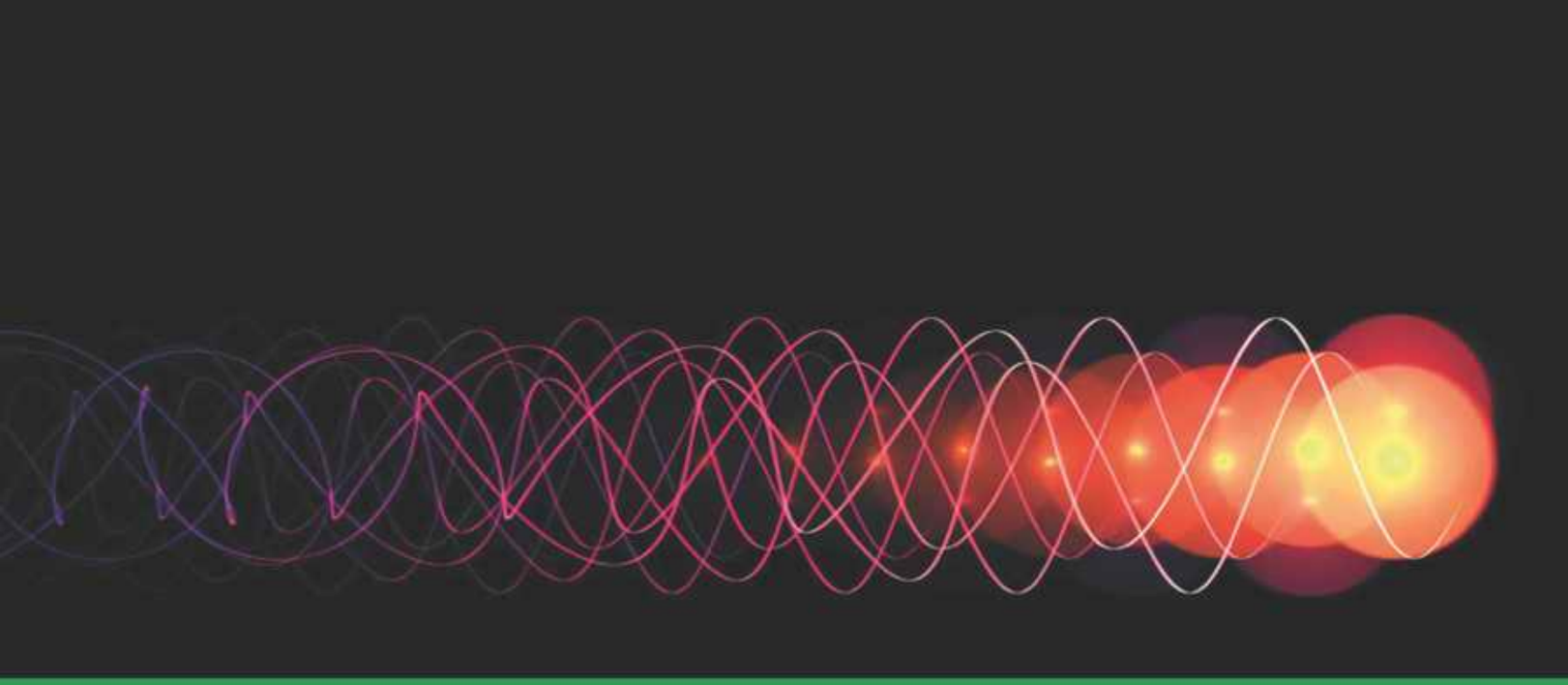
C. żółtego.

D. fioletowego.

4. Światło widzialne obejmuje długości fal od 400 nm (fiolet) do 750 nm (czerwień). Oblicz maksymalną i minimalną częstotliwość światła widzialnego oraz odpowiadające im wartości energii fotonów. Odpowiedz, dla jakich metali efekt fotoelektryczny może zostać wywołany przez światło widzialne.

5. W solariach używamy lamp kwarcowych (patrz zdjęcie). Dowiedz się i zapisz, dlaczego takie lampy wytwarzają promieniowanie ultrafioletowe. Skąd pochodzi ich nazwa?





30. Fale czy cząstki? Cząstki czy fale?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak pogodzić ze sobą modele światła: falowy i korpuskularny.
- Innym okiem spojrzysz na świat wokół siebie.

Fale de Broglie'a

Z poprzedniej lekcji już wiesz, że światło ma zarówno cechy fali, jak i strumienia cząstek. Można się zastanawiać, czy światło – i ogólnie fale elektromagnetyczne – jest wyjątkiem, czy też istnieją jeszcze inne obiekty o takiej podwójnej naturze.
Kiedy badania natury światła były już bardzo zaawansowane, młody francuski fizyk, książę **Louis Victor de Broglie** (czyt. lu**i** wikt**o**r de br**o**j), postawił pewne nurtujące go pytanie. Jeżeli fala, jaką jest światło, przejawia niekiedy własności strumienia cząstek, to czy może się zdarzyć, że cząstki mikroświata, takie jak elektrony, zachowają się jak fala? Według jego hipotezy odpowiedź jest twierdząca – istnieją fale materii. De Broglie zaproponował także wzór na długość takiej fali.
Fala materii cząstki o masie m poruszającej się z prędkością v ma długość:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

gdzie h jest stałą Plancka.

Już wkrótce tę hipotezę potwierdzono doświadczalnie. Jak tego dokonano? Przypomnijmy sobie, że kluczowymi właściwościami fal są dyfrakcja i interferencja. To one doprowadziły kiedyś do odkrycia falowej natury światła. Dlatego po ogłoszeniu hipotezy de Broglie'a rozpoczęto poszukiwania tych zjawisk również w doświadczeniach z innymi cząstkami.



▲ Louis de Broglie

Dyfrakcja elektronów

Wyobraźmy sobie strumień elektronów poruszających się z prędkością 3 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$, stanowiącą 1% prędkości światła. Zgodnie ze wzorem de Broglie'a taki strumień powinien przejawiać także właściwości fali. Obliczmy jej długość.

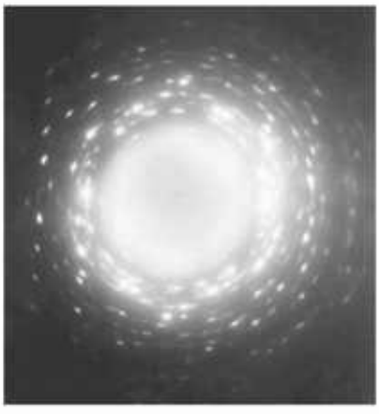
$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,\text{J} \cdot \text{s}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} \cdot 3 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 2{,}4 \cdot 10^{-10}\,\text{m} \approx 0{,}24\,\text{nm}$$

Długość tej fali zbliżona jest do wielkości atomu. Aby wykazać falowe właściwości elektronów, należałoby zastosować siatkę dyfrakcyjną o odległości między szczelinami zbliżonej do 0,24 nm. Jej konstrukcja byłaby dzisiaj bardzo trudna, a w czasach de Broglie'a zupełnie niemożliwa.

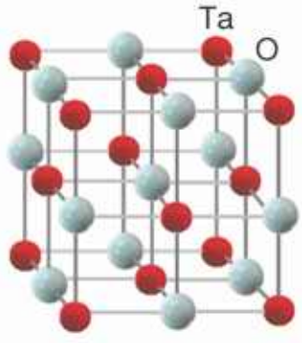
Na szczęście takich siatek nie trzeba wytwarzać – istnieją one w naturze. Jak wiesz, atomy w krysztale są ułożone w regularne struktury (patrz rys. poniżej). Dlatego kryształ może pełnić funkcję siatki dyfrakcyjnej dla strumienia elektronów.

W 1927 r. po raz pierwszy potwierdzono doświadczalnie, że strumień elektronów ulega dyfrakcji i interferencji podczas przejścia przez kryształ. Powstały obraz, rejestrujący położenia elektronów po przejściu przez kryształ, dowodzi, że poruszający się elektron zachowuje się tak jak fala rozchodząca się w całej przestrzeni pomiędzy atomami.

A.



B.



▲ Obraz interferencyjny powstały po przepuszczeniu wiązki elektronów przez kryształ tlenku talu (A) oraz schematyczny rysunek ułożenia atomów w tym krysztale (B)

Nie tylko elektrony

Jak się okazuje, zjawiskom dyfrakcji i interferencji podlegają wszystkie cząstki mikroświata, a ściślej biorąc: wszystkie cząstki świata – nawet obiekty tak duże jak piłeczki pingpongowe i my sami. Pomiędzy światem klasycznym a mikroświatem nie ma żadnej wyraźnej granicy, od której zaczynałyby obowiązywać inne prawa fizyki.

> Zarówno światło, jak i inne obiekty mikroświata niekiedy zachowują się jak fale, a innym razem wykazują cechy cząstek.

W życiu codziennym, w makroświecie, nie obserwujemy jednak dyfrakcji fal materii, gdyż mamy do czynienia z ciałami o dużej masie, a więc o małej długości fali (patrz przykład poniżej). Zatem nie zaobserwujemy interferencji związanej np. z naszym przejściem przed gęsty las, pełniący funkcję siatki dyfrakcyjnej.

Przykład

Obliczanie długości fali materii

Oblicz długość fali materii odpowiadającej myszy o masie 20 g biegnącej z prędkością 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Porównaj uzyskany wynik z promieniem atomu wodoru, wynoszącym $5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m.

Dane:

$m = 20\ \text{g} = 0{,}02\ \text{kg}$

$v = 1\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Szukane:

$\lambda = ?$

Rozwiązanie: Długość fali materii obliczymy ze wzoru:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy:

$$\lambda = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}}{0{,}02\ \text{kg} \cdot 1\ \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 332 \cdot 10^{-34}\ \text{m} = 3{,}32 \cdot 10^{-32}\ \text{m}$$

$$\left[\frac{\text{J} \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}} = \text{m}\right]$$

Sprawdzimy, ile razy promień atomu wodoru jest większy od obliczonej długości fali:

$$\frac{r}{\lambda} = \frac{5{,}3 \cdot 10^{-11}\ \text{m}}{3{,}32 \cdot 10^{-32}\ \text{m}} = 1{,}6 \cdot 10^{21}$$

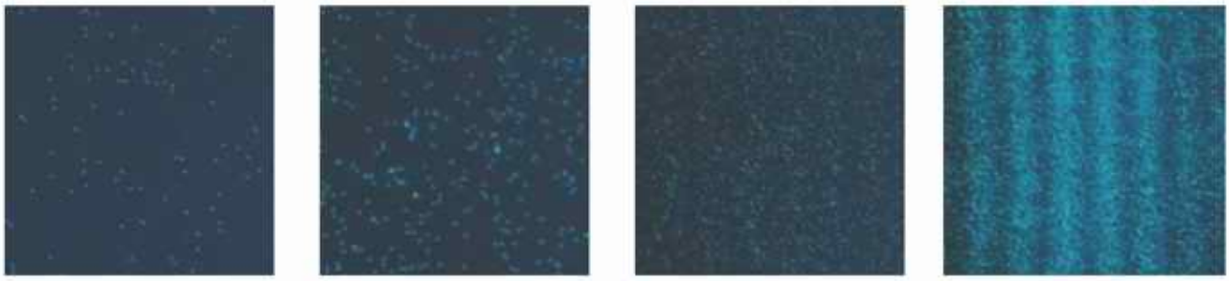
Odpowiedź: Fala materii odpowiadająca biegnącej myszy ma długość $3{,}32 \cdot 10^{-32}$ m. Jest ona $1{,}6 \cdot 10^{21}$ (czyli 1600 mld mld) razy krótsza od promienia atomu wodoru.

Nic dziwnego, że nie obserwujemy myszy jako fali. Gdybyśmy bowiem powiększyli długość fali materii obliczoną w przykładzie powyżej do rozmiarów promienia atomu wodoru, to powiększony tyle samo razy atom wodoru miałby promień 220 razy większy niż odległość od Ziemi do Księżyca (odległość ta wynosi niemal 400 000 km). Dzisiaj zjawiska dyfrakcji i interferencji fal materii nie budzą już zdumienia fizyków, są wręcz wykorzystywane do ich codziennej pracy. Dzięki nim badamy m.in. strukturę wielu związków chemicznych.

Falowa natura pojedynczej cząstki

Gdy obserwujemy interferencję wiązki elektronów, możemy sobie **błędnie** pomyśleć, że elektrony interferują ze sobą nawzajem. O tym, że jest to wyobrażenie nieprawidłowe, możemy się przekonać za pomocą zmodyfikowanego doświadczenia z interferencją.

Tym razem użyjemy źródła, które emituje pojedynczy elektron co sekundę. Ekran pokryjemy natomiast substancją, która trwale się przebarwia, gdy pochłonie elektron. Każdy elektron uderza w jedno konkretne miejsce i tworzy jedną plamkę. Po długim czasie wszystkie plamki tworzą prążki interferencyjne (patrz rys. s. 198), czyli układają się w obraz interferencyjny bardzo podobny do utworzonego przez światło.



▲ Tworzenie obrazu interferencyjnego przez elektrony. Kolejne zdjęcia powstawały w miarę upływu czasu, po uderzeniu coraz większej liczby elektronów

Dzieje się tak, mimo że każdy kolejny elektron jest wysyłany dopiero po pochłonięciu poprzedniego, nie ma więc mowy o oddziaływaniu lecących razem elektronów.

> Nawet pojedyncza cząstka, np. elektron, ma naturę falową.

Fala materii związana z **pojedynczym** elektronem porusza się jednocześnie wieloma drogami i ulega dyfrakcji i interferencji. Chociaż konkretny elektron można zaobserwować w jednym określonym miejscu, nie da się tego miejsca wcześniej przewidzieć – można tylko obliczyć prawdopodobieństwo, z jakim elektron się tam znajdzie.

To najważniejsze

- Zarówno światło, jak i inne elementy mikroświata niekiedy zachowują się jak fale, a niekiedy wykazują cechy cząstek.
- Cząstki możemy w niektórych sytuacjach opisywać także jako fale, zwane **falami materii** lub **falami de Broglie'a**.
- Falowe własności mają również makroskopowe ciała znane nam z życia codziennego, jednak ich falowa natura jest praktycznie niemożliwa do zaobserwowania.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Wskaż właściwe dokończenie zdań.

a) Jeśli obie cząstki poruszają się z tą samą prędkością, to dłuższa fala materii powstaje:

A. w przypadku elektronu.

B. w przypadku protonu.

b) Jeśli dwa protony poruszają się z różną prędkością, to większą długość fali będzie miała fala materii:

C. protonu wolniejszego.

D. protonu szybszego.

2. Oblicz długość fali materii związanej z człowiekiem o masie 50 kg poruszającym się z prędkością 6 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ (szybki spacer).

3. Oblicz długość fali elektronu poruszającego się z prędkością 10 000 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Porównaj ją z długością fali światła widzialnego.



31. Promieniowanie termiczne

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak promieniowanie wysyłane przez rozgrzane ciała zależy od ich temperatury.
- Poznasz sposób pomiaru temperatury obiektów, których nie możemy dotknąć.

Promieniowanie ciał

Jak przypomnieliśmy w pierwszym rozdziale, jednym ze sposobów przekazywania ciepła jest promieniowanie cieplne (termiczne). Przymiotniki „cieplne" albo „termiczne" określają sposób powstawania tego promieniowania. Nie oznaczają one natomiast, że chodzi o szczególny rodzaj promieniowania.

Promieniowanie cieplne to promieniowanie elektromagnetyczne wysyłane przez rozgrzane ciała. Może to być podczerwień, światło widzialne, a nawet nadfiolet.

Proste doświadczenie pozwala nam zbadać, od czego zależy jego częstotliwość.

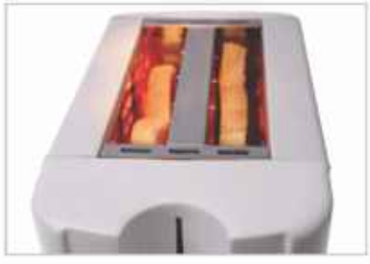
Doświadczenie 24.

Obserwacja promieniowania termicznego

1. Włącz do prądu spiralę grzejną.

Uwaga. Jeśli w pracowni nie ma takiej spirali, można skorzystać z opiekacza do grzanek (patrz zdjęcie).

2. Obserwuj, jak rozgrzana spirala zaczyna świecić.



Zależność promieniowania cieplnego od temperatury

Wszystkie ciała emitują (wysyłają) promieniowanie cieplne, czyli fale elektromagnetyczne. Jego częstotliwość zależy od temperatury ciała. Gdy temperatura jest niska,

promieniowanie cieplne ciała jest niewidoczne dla naszych oczu, gdyż jego znaczna część jest emitowana w podczerwieni.
Można to zauważyć w opisanym wyżej doświadczeniu:

- Dopóki spirala jest zimna, jej promieniowania nie da się zaobserwować za pomocą zmysłów. Wysyła ona promieniowanie, ale w zakresie dalekiej podczerwieni.
- Gdy podnosi się temperatura spirali, możemy poczuć, że jest rozgrzana, jeśli ostrożnie zbliżymy do niej rękę. Wyczuwamy wtedy emitowaną przez spiralę podczerwień.
- Gdy temperatura urządzenia jest bardzo wysoka, widzimy, jak spirala staje się najpierw ciemnoczerwona, a potem coraz jaśniejsza.



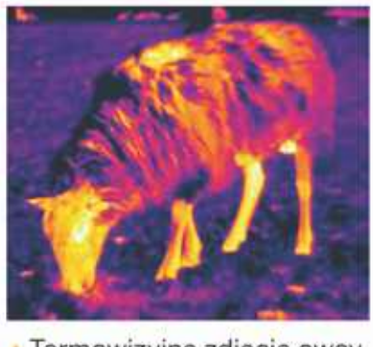
◀ Temperatura lawy wulkanicznej może być określona na podstawie koloru i jasności emitowanego przez nią promieniowania. Na zdjęciu w najjaśniejszych, żółtych obszarach lawa ma temperaturę od 1000°C do 1200°C

Im wyższa temperatura ciała, tym wyższa częstotliwość i mniejsza długość fali wysyłanego przez nie promieniowania.

Ciała bardzo gorące mogą wysyłać promieniowanie o mniejszej długości fali niż światło czerwone. Z rozgrzanej do ok. 5500°C powierzchni Słońca dociera do nas przede wszystkim promieniowanie o różnych długościach z zakresu światła widzialnego. Tę mieszaninę barw, czyli fal o różnych długościach, widzimy jako światło białe.
Gorętsze gwiazdy świecą na biało z odcieniem błękitu, ponieważ w ich promieniowaniu przeważają krótsze fale – więcej jest barwy błękitnej i fioletowej niż czerwonej czy pomarańczowej. Najgorętsze gwiazdy świecą bardzo jasno także w świetle widzialnym, ale maksimum ich promieniowania przypada na ultrafiolet.

Świat w kamerze termowizyjnej

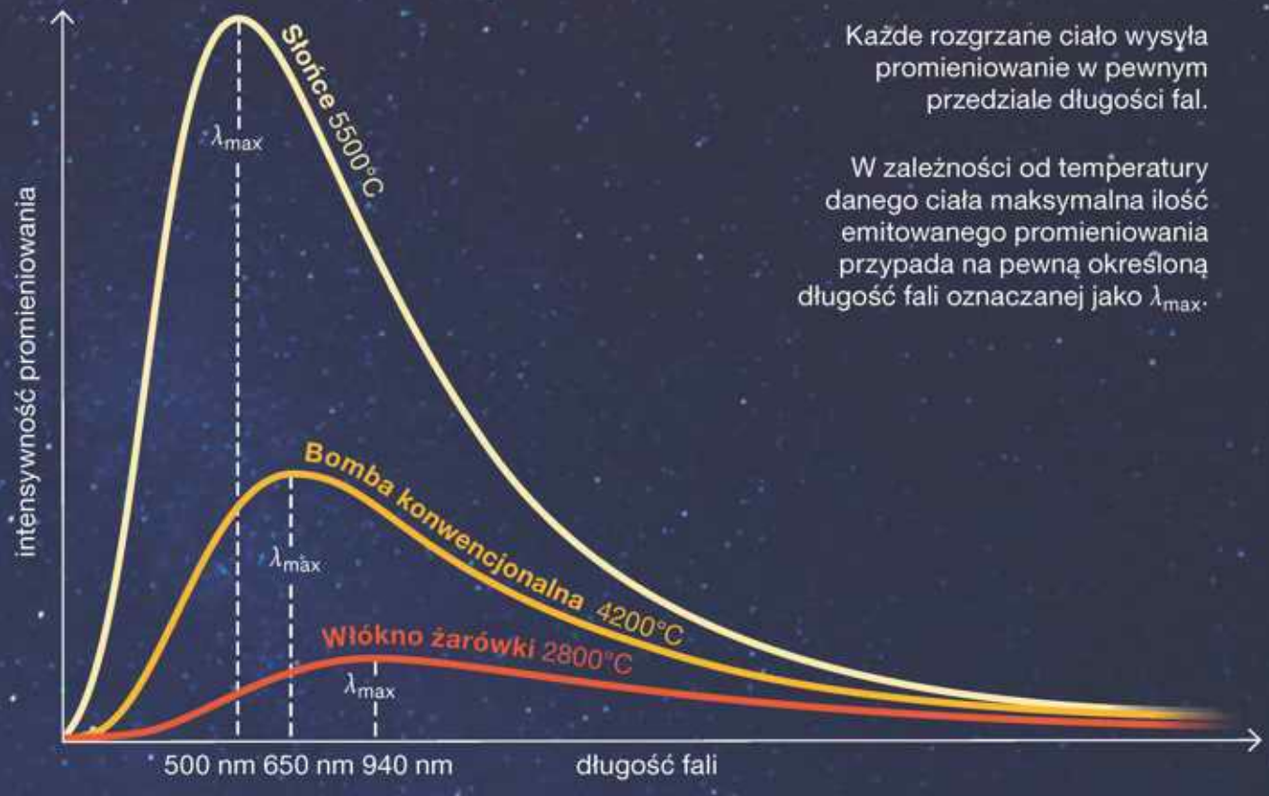
Spójrzmy na obiekty z życia codziennego przez kamerę termowizyjną – urządzenie, które rejestruje promieniowanie podczerwone i wyświetla je w formie widzialnego dla nas obrazu. Różne kolory na obrazie oznaczają różne długości fali, czyli energie fotonów wysyłanych przez badane obiekty, co z kolei odpowiada różnym temperaturom. Na zdjęciu obok widzimy obszary o różnej temperaturze na owcy: najcieplejsze są fragmenty odsłoniętej skóry, najchłodniejsze – pokryte futrem izolującym powierzchnię od ciepłego wnętrza owcy.



▲ Termowizyjne zdjęcie owcy

Długość fali promieniowania termicznego

Słońce emituje światło widzialne o różnych barwach, a także nadfiolet i podczerwień. Jednak nadfioletu i podczerwieni jest stosunkowo mało, a różne barwy światła widzialnego odbieramy łącznie jako światło białe.



Każde rozgrzane ciało wysyła promieniowanie w pewnym przedziale długości fal.

W zależności od temperatury danego ciała maksymalna ilość emitowanego promieniowania przypada na pewną określoną długość fali oznaczanej jako λ_{max}.

Okazuje się, że im wyższa temperatura ciała, tym mniejsze jest λ_{max}.

Jak wyznaczyć temperaturę gwiazdy?

Można ją obliczyć z zależności między długością fali λ_{max} a temperaturą – wystarczy zmierzyć, jakiego promieniowania (o jakiej długości fali) dana gwiazda emituje najwięcej.

$T = 5500°C$
$\lambda_{max} = 500$ nm

$T = 9000°C$
$\lambda_{max} = 310$ nm

$T = 2800°C$
$\lambda_{max} = 940$ nm

Długość fali odpowiadająca najsilniejszemu promieniowaniu

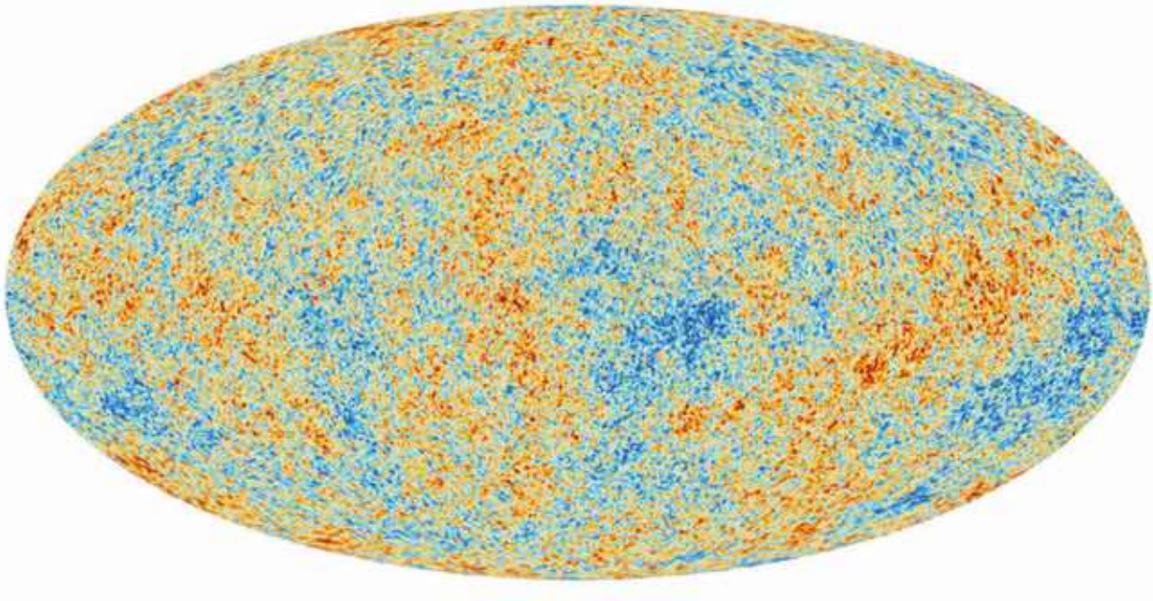
Gdy mówimy, że długość fali promieniowania cieplnego maleje wraz z temperaturą, musimy pamiętać, że chodzi o długość λ_{max}, dla której promieniowanie ma największą intensywność. Oczywiście ciało promieniuje także w innych długościach fali, tylko słabiej, tak jak przedstawiają to wykresy na poprzedniej stronie.
Oto orientacyjne zakresy:

- ciało o temperaturze poniżej −270°C emituje głównie fale radiowe lub mikrofale,
- ciało o temperaturze od −270°C do 3600°C emituje głównie podczerwień,
- ciało o temperaturze od 3600°C do 7000°C emituje głównie światło widzialne,
- ciało o temperaturze od 7000°C do 300 tys. °C emituje głównie ultrafiolet,
- ciało o temperaturze od 300 tys. °C do 3 mld °C emituje głównie promieniowanie rentgenowskie,
- ciało o temperaturze ponad 3 mld °C emituje głównie promieniowanie gamma.

Próby wyjaśnienia zależności między temperaturą ciała a wysyłanym przez nie promieniowaniem powiodły się dopiero wówczas, gdy fizycy przyjęli, że ciała mogą wysyłać promieniowanie tylko w skończonych porcjach – kwantach, które dziś nazywamy fotonami. To kolejne ze zjawisk, którego nie da się wytłumaczyć za pomocą falowej natury światła.

Promieniowanie z początku Wszechświata

Na zdjęciu widzimy cały Wszechświat, a raczej odchylenia od średniej temperatury jego poszczególnych fragmentów, zbadane dzięki promieniowaniu zarejestrowanemu przez kosmiczny teleskop Plancka. Odpowiada ono promieniowaniu ciała o temperaturze zaledwie o 2,7°C wyższej od zera bezwzględnego. Tu widoczne są minimalne odchylenia od tej średniej temperatury, czyli obszary nieznacznie cieplejsze oraz chłodniejsze, z których z czasem powstały gromady galaktyk i kosmiczne pustki. Promieniowanie, które teraz widzimy, leciało do nas przez ponad 13 mld lat, a zatem ukazuje Wszechświat na bardzo wczesnym etapie, w wieku zaledwie 380 000 lat.



Max Planck – rewolucjonista mimo woli

Niemiecki fizyk Max Planck (czyt. maks plank), ojciec mechaniki kwantowej, wyjaśnił charakter zależności promieniowania ciała od jego temperatury dzięki założeniu, że nie promieniuje ono w dowolny sposób, lecz wysyła energię w porcjach o wielkości *hf*. Stałą *h* nazwano później stałą Placka. Niemieckie Towarzystwo Fizyczne za wybitne osiągnięcia w dziedzinie fizyki przyznaje medal Plancka.



▲ Medal Plancka

Początkowo Planck nie dostrzegł wagi swojego odkrycia: uważał, że stanowi ono tylko formalny wybieg pozwalający na uzyskanie właściwego wyniku, ale nie ma odbicia w rzeczywistości. Z czasem uczony – choć niechętnie – przekonał się do teorii kwantowej, jednak zdarzało mu się czasem powtarzać: „Nowa prawda naukowa nie zwycięża dlatego, że przekonuje swoich przeciwników, ale raczej dlatego, że jej przeciwnicy w końcu umierają i wyrasta nowe pokolenie, dla którego jest ona oczywista".



A tak o Plancku i jego odkryciu wyrażał się inny znany uczony – Max Born: „Z natury był umysłem konserwatywnym – nie miał nic z rewolucjonisty i pozostawał całkowicie sceptyczny wobec spekulacji. Jednak jego wiara w siłę logicznego rozumowania opartego na faktach była tak nieugięta, że nie cofnął się przed ogłoszeniem najbardziej rewolucyjnej idei, jaka kiedykolwiek wstrząsnęła fizyką".

◀ Albert Einstein odbierający nagrodę – medal Plancka od samego Plancka w lipcu 1929 r. W czasie tej samej uroczystości medal Plancka otrzymał... Planck

Max Planck (1858–1947) – był niemieckim fizykiem, laureatem Nagrody Nobla z 1918 r. Zajmował się nie tylko teorią kwantów, lecz także termodynamiką, optyką, energią, promieniowaniem ciała doskonale czarnego i teorią względności. Był również luterańskim teologiem i utalentowanym muzykiem – grał na fortepianie, organach, wiolonczeli oraz komponował.

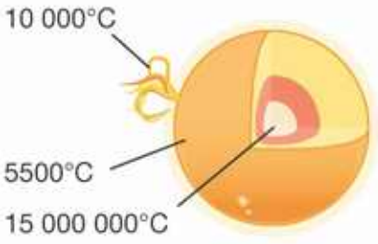
To najważniejsze

- Wszystkie ciała wysyłają termiczne **promieniowanie elektromagnetyczne**. Im wyższa temperatura ciała, tym wyższa częstotliwość i mniejsza długość emitowanych fal.
- Wyjaśnienie zależności między temperaturą ciała a długością emitowanych fal wymaga przyjęcia, że światło jest strumieniem cząstek.
- Ciała o temperaturze pokojowej emitują **maksimum promieniowania** w zakresie podczerwieni.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. We wnętrzu Słońca panuje temperatura 15 mln stopni. Jakiego rodzaju fale elektromagnetyczne są tam najczęściej emitowane?



2. Energia typowego fotonu emitowanego we wnętrzu Słońca wynosi ok. 6400 eV. Po emisji błądzi on po wnętrzu gwiazdy i powoli przedziera się ku jej powierzchni. W tracie tej drogi, która zajmuje mu nawet kilkadziesiąt tysięcy lat, zamienia się w wiele fotonów światła o niższej energii, przede wszystkim światła widzialnego. Oszacuj, jak wiele fotonów światła widzialnego może powstać z jednego fotonu wyemitowanego w jądrze Słońca.

3. Podkowa, którą widzisz na zdjęciu, ma temperaturę ok. 600°C. W jakim zakresie widma mieści się maksimum promieniowania podkowy? Jak myślisz, czemu widzimy podkowę jako czerwoną?



OBSERWACJA

Barwy gwiazd

1. Posłuż się mapą nieba i z jej pomocą spróbuj odnaleźć na niebie gwiazdy o nazwach: Koza (zwana też Kapellą), Arktur, Aldebaran i Altair. Jeśli możesz, posłuż się lornetką.

2. Jeśli warunki obserwacji na to pozwolą, przypatruj się każdej z tych gwiazd na tyle długo, aby ocenić, jaką ma barwę. Opisz w zeszycie wyniki obserwacji.

Uwaga. Oczywiście, w pierwszej chwili wszystkie gwiazdy wydadzą ci się białe. Dopiero po jakimś czasie zauważysz, że niektóre świecą światłem białobłękitnym, a inne są pomarańczowe lub czerwone.

3. Kolor gwiazdy świadczy o jej temperaturze. Oceń temperaturę powierzchni gwiazd na podstawie poniższego rysunku.



▲ Temperatura powierzchni gwiazdy w zależności od jej barwy



32. Mechanizm efektu cieplarnianego

Cele lekcji:

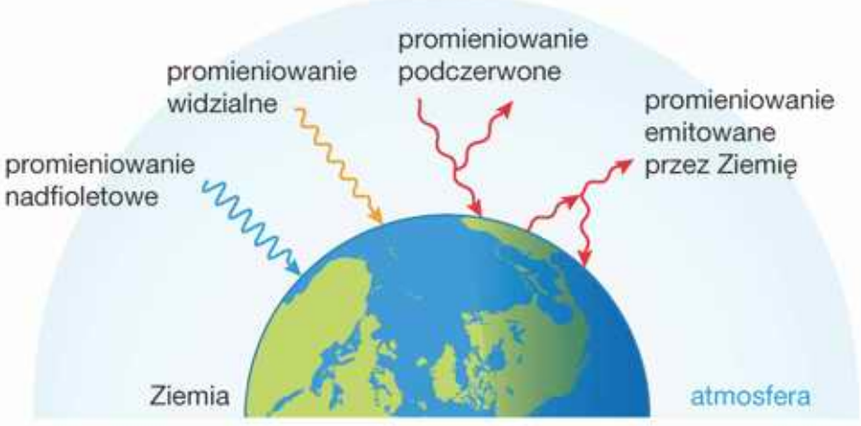
- Poznasz zjawisko efektu cieplarnianego oraz jego przyczyny.
- Zrozumiesz, jakie są skutki efektu cieplarnianego dla przyrody i dla ludzi.

Na czym polega efekt cieplarniany

Poznane na ostatniej lekcji własności promieniowania termicznego pomogą ci zrozumieć ważne zjawisko, jakim jest efekt cieplarniany.

Ziemia otrzymuje ciepło w postaci promieniowania słonecznego. Jednak sama także wypromieniowuje energię. Jak już wiesz, długość fali promieniowania jest tym większa, im niższa jest temperatura ciała. Dlatego Ziemia, znacznie chłodniejsza od Słońca, wysyła przede wszystkim promieniowanie podczerwone.

Atmosfera Ziemi bardzo dobrze przepuszcza promieniowanie widzialne (jest przecież przezroczysta), ale zawiera gazy, które częściowo pochłaniają promieniowanie podczerwone, a następnie emitują je we wszystkich kierunkach. Należą do nich m.in. dwutlenek węgla i metan. Z tego powodu energia słoneczna z łatwością dociera do Ziemi, ale energia emitowana przez Ziemię częściowo odbija się z powrotem w stronę powierzchni planety (patrz rysunek poniżej).



◀ Powstawanie efektu cieplarnianego

Podobnie działają szyby w szklarni (cieplarni), dlatego ten ocieplający efekt wywołany przez niektóre składniki atmosfery nazywamy **efektem cieplarnianym**, a wywołujące go gazy, np. dwutlenek węgla i metan – **gazami cieplarnianymi**.

> Gazy zawarte w atmosferze odbijają w stronę Ziemi część emitowanego przez nią promieniowania podczerwonego. Powoduje to podniesienie temperatury Ziemi. To zjawisko nazywamy efektem cieplarnianym.

Podnosząca się temperatura zwiększa parowanie i sprawia, że w atmosferze mieści się więcej pary wodnej, która również jest gazem cieplarnianym. Jej ilość wiąże się więc z poziomem pozostałych gazów cieplarnianych. Gdybyśmy obniżyli jego stężenie, zmalałaby też ilość pary wodnej w atmosferze – nadmiarowa para szybko by się skropliła.

Globalne ocieplenie

Niewielka ilość dwutlenku węgla w ziemskiej atmosferze sprzyja utrzymaniu życia: to dzięki niej średnia temperatura Ziemi utrzymuje się na poziomie ok. 13°C. Bez gazów cieplarnianych byłoby to zaledwie ok. –20°C.

Ta korzystna sytuacja się zmienia, ponieważ wprowadzamy do atmosfery dodatkowe zasoby CO_2. Robimy to od ok. 200 lat przez spalanie paliw kopalnych, które gromadzą w atmosferze węgiel, nieobecny w niej od wielu milionów lat. Jakie są skutki podnoszącego się poziomu dwutlenku węgla?

Po pierwsze, obserwujemy **podniesienie średniej temperatury Ziemi**. Od czasów sprzed epoki przemysłowej wzrosła już ona o ok. 1°C. Jeśli nie zmniejszymy emisji CO_2, to w ciągu najbliższych 30 lat temperatura wzrośnie o kolejny stopień, a do 2100 r. wzrost temperatury w stosunku do czasów sprzed rewolucji przemysłowej może wynieść nawet 4°C.

Taki wzrost może się wydawać niewielki, jeśli myślimy o zmianie **pogody**. Jednak w przypadku **klimatu** jest to duża różnica. Dla porównania: 21 tys. lat temu, podczas epoki lodowcowej, średnia temperatura Ziemi była zaledwie o ok. 4°C niższa niż obecnie (patrz rysunek poniżej).

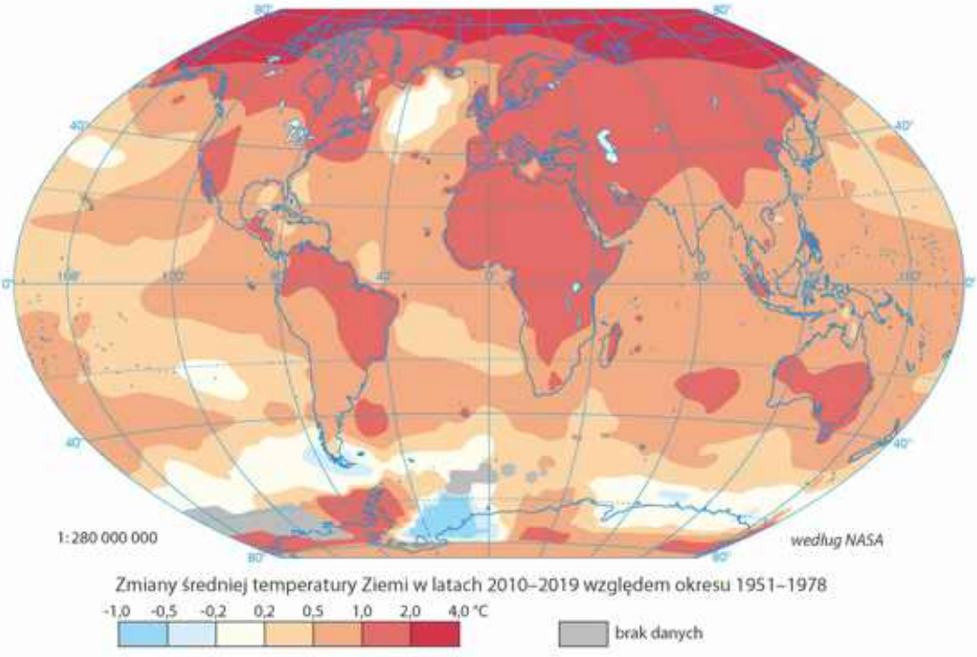


▲ Ocieplenie od epoki lodowcowej do temperatur, do jakich dziś jesteśmy przyzwyczajeni, trwało 21 000 lat. Podobnej skali ocieplenia możemy się spodziewać jeszcze za naszego życia

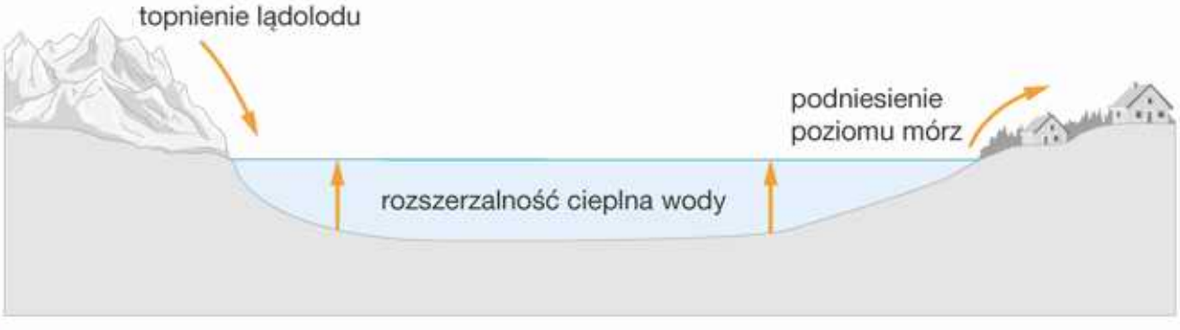
Zmiana średniej temperatury Ziemi o 4°C to różnica między epoką lodowcową a czasami obecnymi. Współcześnie tak duże ocieplenie klimatu możemy spowodować w czasie zaledwie kilkudziesięciu lat.

Zmiany średniej temperatury Ziemi

Mapka pokazuje zmianę średniej temperatury Ziemi w latach 2010–2019 w porównaniu z latami 1951–1978. Jak łatwo zauważyć, postępujące ocieplenie nie jest równomierne: najbardziej ogrzały się okolice północnego bieguna Ziemi. Z szarych obszarów nie mamy wystarczających danych. Natomiast ochłodzenie mórz wokół Antarktydy wynika ze spływania do nich zimnej wody z topniejących lodowców.



Oznacza to cieplejszy, a często bardzo gorący klimat na znacznych obszarach Ziemi. Jednak skutki ocieplenia na tym się nie kończą. Dodatkowa ilość ciepła zgromadzona w ziemskiej atmosferze topi lodowe czapy polarne i podgrzewa ziemski ocean. Cieplejsza woda ma większą objętość, ponieważ woda morska zawsze rozszerza się ze wzrostem temperatury, również poniżej 4°C. Wraz z jej dodatkową ilością pochodzącą z roztopów na lądolodach Antarktydy i Grenlandii oraz górskich lodowcach prowadzi to do podniesienia poziomu mórz (patrz rysunek poniżej).



▲ Za wzrost poziomu morza odpowiadają w równym stopniu zwiększająca się ilość wody i jej rozszerzanie się pod wpływem rosnącej temperatury

Coraz więcej atmosferycznego dwutlenku węgla rozpuszcza się w wodzie i stopniowo ją zakwasza. Zmieniający się poziom zakwaszenia oceanów ma szkodliwy wpływ na wiele morskich organizmów, np. koralowców.

Klimat to skomplikowany system. Zmiana średniej temperatury na Ziemi uruchamia procesy, które z kolei wpływają na dalsze jej podwyższanie:

- Śnieg i lód odbijają światło słoneczne, jednak gdy stopnieją, pod spodem ukazuje się ciemna gleba albo głęboka woda oceanu, które pochłaniają światło i ciepło.
- Gdy rozmarza wieloletnia zmarzlina (zwana dawniej wieczną zmarzliną), uwięziony pod lodem metan wydostaje się na powierzchnię.
- Ogrzane oceany szybciej parują, a w gorącym powietrzu mieści się więcej pary wodnej, która także jest gazem cieplarnianym.

Dlatego sumaryczny efekt jest większy, niż wynika to z obecności CO_2 w atmosferze.

To najważniejsze

- **Efekt cieplarniany** to zjawisko podnoszenia średniej temperatury Ziemi przez gazy cieplarniane, a zwłaszcza dwutlenek węgla i metan.
- Emisja dodatkowego dwutlenku węgla z paliw kopalnych, spowodowana działalnością człowieka, powoduje zwiększenie efektu cieplarnianego i bardzo szybką zmianę ziemskiego klimatu.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Ludzkość w ciągu roku emituje do atmosfery ok. 40 mld ton dwutlenku węgla. Średnia gęstość tego gazu w warunkach normalnych to $2\ \frac{kg}{m^3}$.

a) Oblicz, jaką objętość w warunkach normalnych ma wyemitowany dwutlenek węgla. Jakie byłyby wymiary pojemnika, w którym można by go przechować pod normalnym ciśnieniem? Wskaż jeden lub dwa obiekty o podobnej objętości.

b) W butli gazowej o objętości 40 l można zmagazynować 30 kg sprężonego dwutlenku węgla. Jaką objętość zajęłyby butle z naszą roczną emisją?

2. Każdy Polak w ciągu dnia zużywa średnio 10 kg węgla, 3 l ropy i 1 m^3 gazu ziemnego. Z ich spalania uzyskuje się energię 85 kWh. Szacunkowo 1 m^2 paneli fotowoltaicznych w Polsce może w ciągu roku dostarczyć 200 kWh energii.

a) Jaką powierzchnię musiałyby zająć panele, które wyprodukowałyby energię dla statystycznego Polaka?

b) Jaka byłaby powierzchnia paneli dla wszystkich mieszkańców Polski? Porównaj ją z powierzchnią naszego kraju.

3. Dotychczasowe zmiany klimatu w Polsce nie wpłynęły znacząco na roczną ilość opadów. Zmienił się jednak rodzaj opadów: pada znacznie mniej śniegu, a więcej deszczy, często ulewnych. Opisz, jaki wpływ ma ta zmiana na przyrodę i na ludzi.



4. Zapytaj najstarszych członków rodziny o ich wspomnienia z dzieciństwa. Jak często zimą padał śnieg? Jak długo się utrzymywał? Jak bawili się oni jako dzieci na dworze zimą? Zapisz zebrane wspomnienia. Porównaj je ze swoimi doświadczeniami.



33. Ograniczanie efektu cieplarnianego

Cele lekcji:

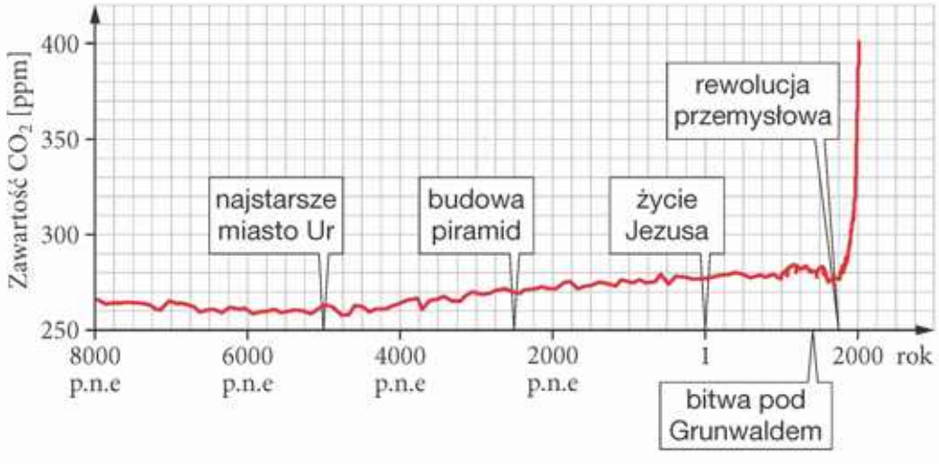
- Poznasz główne źródła emisji gazów cieplarnianych.
- Dowiesz się, jak możemy ograniczyć efekt cieplarniany.

Skutki globalnego ocieplenia dla Ziemi i człowieka

Czy mamy się martwić narastającym efektem cieplarnianym? Zdecydowanie tak. Pamiętajmy, że postępujące ocieplenie dopiero się rozpoczyna i jego konsekwencje będą coraz poważniejsze. Raz wypuszczony do atmosfery CO_2 wpływa na ziemski klimat przez co najmniej kilkanaście tysięcy lat.

Nawet bardzo optymistyczne scenariusze przewidują, że pod koniec tego stulecia poziom mórz znacząco wzrośnie, co zagrozi większości nadmorskich miast i osad. Znaczna ilość energii zgromadzona w atmosferze wyzwala coraz gwałtowniejsze zjawiska pogodowe – huragany, burze, deszcze nawalne.

Jeśli nie ograniczymy globalnego ocieplenia, wzrastająca temperatura na okołorównikowych obszarach Ziemi uniemożliwi tam nie tylko uprawy, ale nawet przeżycie



▲ Koncentracja CO_2 w atmosferze wyrażona w częściach milionowych (ppm – *parts per million*)

stałocieplnych organizmów, w tym ludzi. Oznacza to gigantyczne migracje mieszkańców tamtych rejonów ku chłodniejszym strefom klimatycznym, a dla środowiska, wolniej reagującego na gwałtowne zmiany – zagładę wielu gatunków roślin i zwierząt.

> Dalszy wzrost temperatury w gorących regionach świata spowoduje zniszczenie środowiska i wielkie migracje ludzi.

Problemem jest nie tylko wzrost stężenia CO_2 w atmosferze, lecz także gwałtowność tego zjawiska (patrz wykres na poprzedniej stronie). W historii Ziemi bywały okresy, w których poziom CO_2 był wyższy od obecnego. Jednak zarówno jego wzrost, jak i późniejszy spadek odbywały się powoli, przez setki tysięcy lub nawet miliony lat. Przyroda miała wówczas czas na łagodne dostosowanie się do rosnących temperatur, a za zakwaszaniem oceanów nadążały powolne procesy obniżające ich kwasowość. Teraz, w wyniku działalności człowieka, zmiany zachodzą niezwykle szybko i powodują skutki, jakie w dawnych epokach nie występowały.

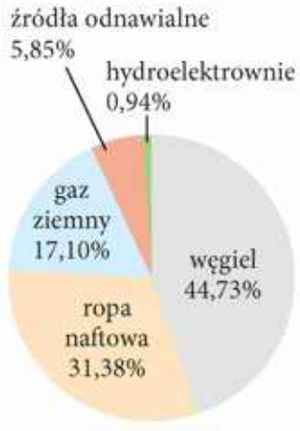
Przeciwdziałanie dalszemu ocieplaniu klimatu

Co więc możemy zrobić, aby ograniczyć globalne ocieplenie? Najlepiej byłoby usunąć nadmiarowy CO_2 z atmosfery. Dziś nie mamy jeszcze technologii, dzięki którym moglibyśmy to robić skutecznie, wydajnie i długofalowo. Jednym z doraźnych rozwiązań jest **wykorzystywanie roślin**, które w trakcie swego życia pochłaniają CO_2. Jednak nawet zalesienie całej Polski nie pozwoliłoby zrównoważyć ilości dwutlenku węgla, jaką obecnie w niej produkujemy. Pamiętajmy też, że prędzej czy później każde drzewo umiera, a podczas jego rozkładu lub spalania dwutlenek węgla stopniowo trafia do globalnego obiegu.

> Ponieważ nie potrafimy pozbyć się nadmiaru CO_2 z atmosfery, trzeba ograniczyć jego emisję.

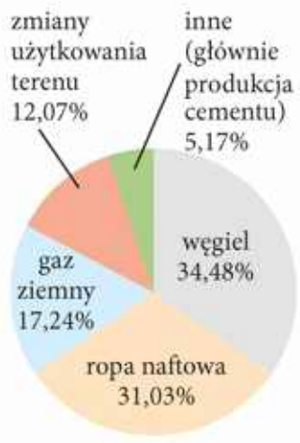
Jakie są główne źródła emisji gazów cieplarnianych? Dwutlenek węgla – jak widzimy na diagramie B – emitowany jest przede wszystkim poprzez spalanie węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego. Kolejnymi co do znaczenia czynnikami przyczyniającymi się do zwiększenia stężenia CO_2 są zmiany w sposobie użytkowania terenów (np. wycinanie lasów do celów rolniczych) oraz produkcja cementu. Do wzrostu poziomu metanu w atmosferze przyczyniamy się przede wszystkim poprzez rolnictwo – uprawę ryżu, hodowlę bydła, owiec i kóz, a także emisję tego gazu z paliw kopalnych (w tym gazu ziemnego).

A.



▲ Źródła energii w Polsce w 2019 r.

B.



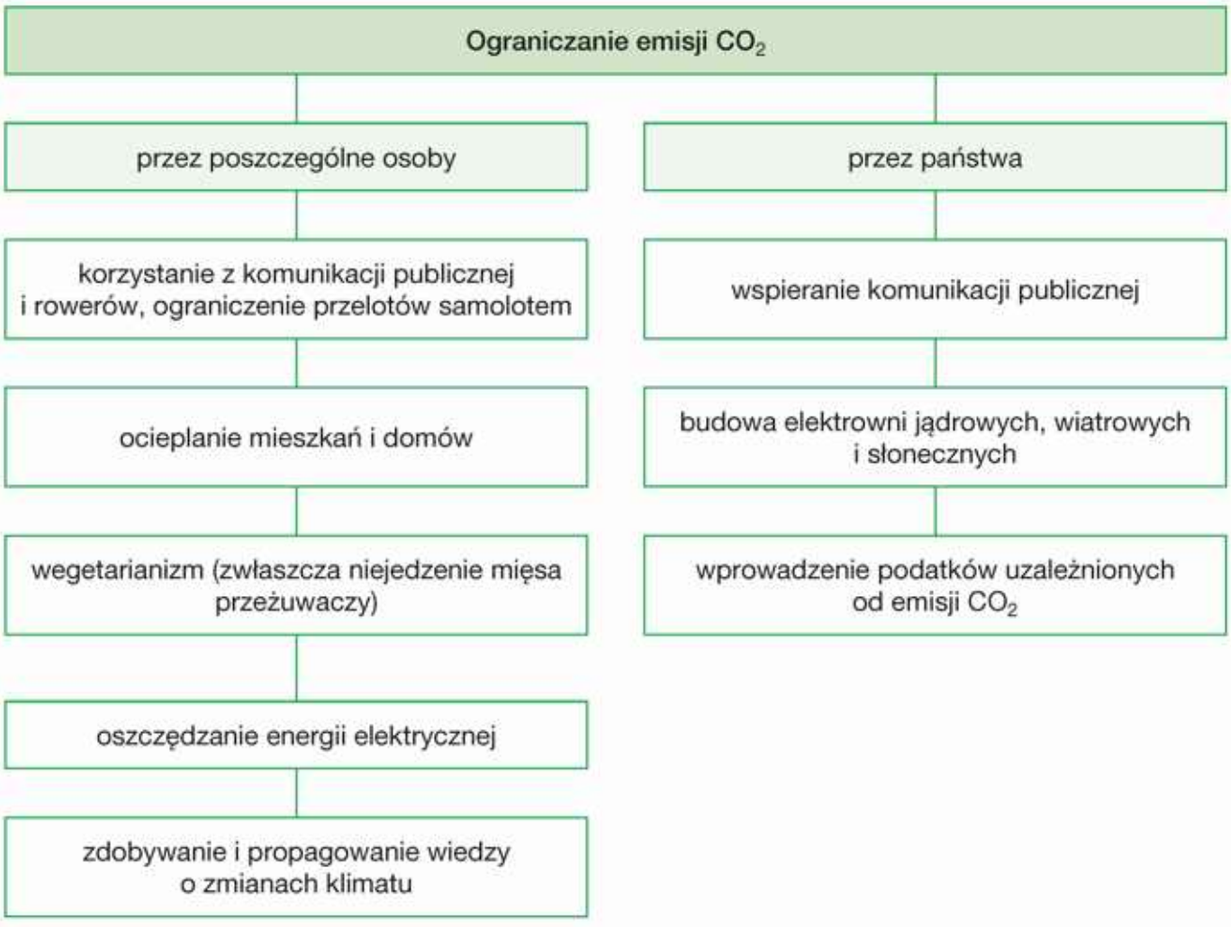
▲ Roczna emisja CO_2 spowodowana przez działalność człowieka (średnio na świecie)

A to ciekawe

Chów zwierząt odpowiada za ok. 15% emisji gazów cieplarnianych. To tyle samo, ile wytwarza ich cały transport lądowy, wodny i lotniczy. Pamiętajmy, że hodowla zwierząt oznacza nie tylko ich karmienie, lecz także zamianę terenów lesistych na pastwiska, produkcję nawozów, ogrzewanie pomieszczeń, a także późniejszy transport produktów zwierzęcych. Przeżuwacze dodatkowo wytwarzają też drugi ważny gaz cieplarniany – metan.



W jaki sposób możemy ograniczyć emisję gazów cieplarnianych? Spójrzmy na diagram poniżej.



Przyjrzyj się diagramowi. Jak widzisz, nawet jako jednostka możesz zrobić wiele dla klimatu. Inne działania pozostają w kompetencji państwa, ale przecież już niedługo jako pełnoletni obywatel i wyborca także ty będziesz miał wpływ na jego politykę.

To najważniejsze

- Aby ograniczyć wzrost temperatury na Ziemi, musimy **ograniczyć ilość emitowanego dwutlenku węgla**.
- Wymaga to inwestycji w odnawialne źródła energii i energię jądrową, dobrego ocieplenia domów, ograniczenia transportu opartego na paliwach kopalnych oraz zmniejszenia spożycia mięsa, zwłaszcza przeżuwaczy.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. W internecie znajduje się wiele kalkulatorów do obliczania emisji dwutlenku węgla przez każdego z nas. Znajdź taki kalkulator i przeprowadź analizę dla siebie. W jaki sposób najbardziej przyczyniasz się do emisji CO_2? Jak myślisz, co mógłbyś zrobić, aby to zmienić?

2. Pięćdziesiąt osób codziennie jedzie tam i z powrotem do pracy oddalonej od ich domów o 5 km. Oblicz, jaka jest miesięczna emisja CO_2 ze spalonego paliwa przypadająca na jedną osobę, jeśli:

   a) wszyscy jadą jednym autobusem emitującym 880 g CO_2 na 1 km,

   b) każda z tych osób jedzie swoim samochodem typu off-road (emisja 140 g na 1 km),

   c) każda z tych osób jedzie swoim samochodem hybrydowym (emisja 35 g na 1 km).

   Załóż, że każdy pracuje średnio 20 dni w miesiącu.

3. Zajrzyj na stronę internetową www.naukaoklimacie.pl i poszukaj odpowiedzi na poniższe pytania. Sformułuj także własne pytanie dotyczące zmian klimatycznych i poszukaj na nie odpowiedzi.

   a) Czy wulkany emitują więcej czy mniej dwutlenku węgla niż ludzie? Ile razy mniej albo więcej?

   b) Energia słoneczna dochodząca do Ziemi zmienia się w czasie. Czy w ostatnich kilkudziesięciu latach ta energia rosła, czy malała?

Doświadczenie domowe

Czy dwutlenek węgla grzeje

Uwaga. W słoneczny, letni dzień wykonaj doświadczenie pokazujące, że CO_2 jest gazem cieplarnianym.

1. Przygotuj dwie szklanki, butelkę coli, garnek, folię aluminiową, dwie łyżki cukru pudru, termometr.
2. Odgazuj ćwierć szklanki coli. W tym celu gotuj ją przez kilka minut.
3. Poczekaj, aż cola wystygnie, i włóż ją do lodówki. Obok postaw zamkniętą butelkę nieodgazowanej coli. Zostaw oba napoje na kilka godzin w lodówce.
4. Wyjmij napoje z lodówki i nalej do osobnych szklanek taką samą ilość (ok. pół szklanki) coli z gazem i bez gazu.
5. Owiń szklanki folią aluminiową tak, aby powierzchnia cieczy pozostała odsłonięta.
6. Ustaw szklanki w nasłonecznionym miejscu. Do każdej z nich wsyp łyżkę cukru pudru. Przyspieszy to uwalnianie z napoju dwutlenku węgla. Ponieważ jest on cięższy od powietrza, utrzymuje się w szklance ponad powierzchnią coli.
7. Po kilkunastu minutach zmierz temperaturę coli w obu szklankach. Co zauważyłeś?





34. Widmo liniowe

Cele lekcji:

- Zbadasz nowy rodzaj widma promieniowania.
- Dowiesz się, jak poznajemy budowę gwiazd.

Informacje ze światła

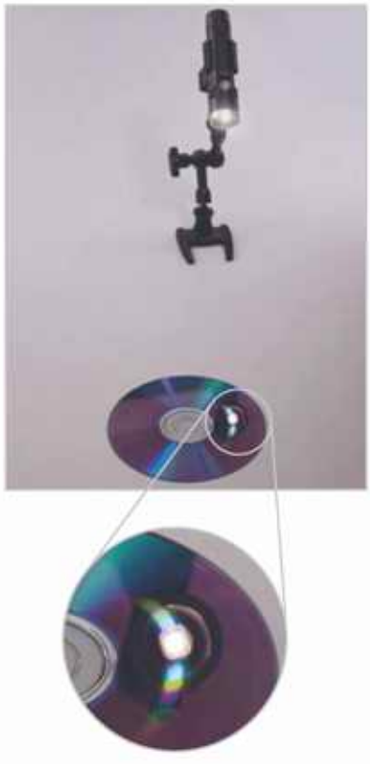
Prawie wszystkie informacje o odległych obiektach docierają do nas dzięki wysyłanemu przez nie światłu. W tej lekcji dowiesz się, jak analiza tego promieniowania doprowadziła do poznania składu gwiazd, odkrycia nowych pierwiastków i przyczyniła się do zrozumienia budowy atomów.

Doświadczenie 25.

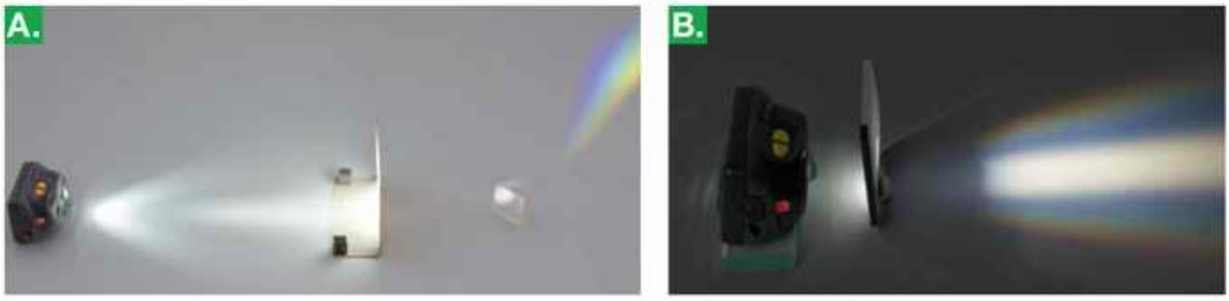
Jak świecą żarówki

1. Przygotuj siatkę dyfrakcyjną, lampkę, żarówkę tradycyjną, świetlówkę kompaktową (czyli żarówkę energooszczędną).
2. Spójrz przez siatkę dyfrakcyjną na tradycyjną żarówkę (z rozgrzanym włóknem). Co obserwujesz?
3. Popatrz przez siatkę dyfrakcyjną na świetlówkę kompaktową. Jak zmienił się obraz?

Uwaga. Jeśli nie masz siatki dyfrakcyjnej, możesz popatrzeć, jak światło z poszczególnych źródeł odbija się od płyty CD (patrz zdjęcie obok).



Pierwsza część doświadczenia nie była dla ciebie zaskoczeniem. Już w poprzednim rozdziale (s. 139 i 157) wykonywaliśmy doświadczenia, w których pryzmat i siatka dyfrakcyjna pozwoliły nam rozdzielić światło na poszczególne barwy, czyli na fale o różnych długościach.



▲ Widmo światła białego po przejściu przez: pryzmat (A) i siatkę dyfrakcyjną (B)

Ciekawe jednak, że światło świetlówki, choć także wygląda na białe, po rozdzieleniu na poszczególne barwy nie stworzyło płynnej tęczy – zobaczyliśmy tylko kilka kolorowych pasków przedzielonych obszarami czerni.



▲ Przykładowe widmo świetlówki kompaktowej

Promieniowanie wysyłane przez obiekt rozszczepione na poszczególne kolory nazywamy **widmem**.

W trakcie badań obserwujemy zarówno widma ciągłe, jak i widma liniowe. W doświadczeniu 25. najpierw obserwowaliśmy widmo ciągłe włókna żarówki.

W **widmie ciągłym** poszczególne kolory światła płynnie przechodzą z jednego w drugi.

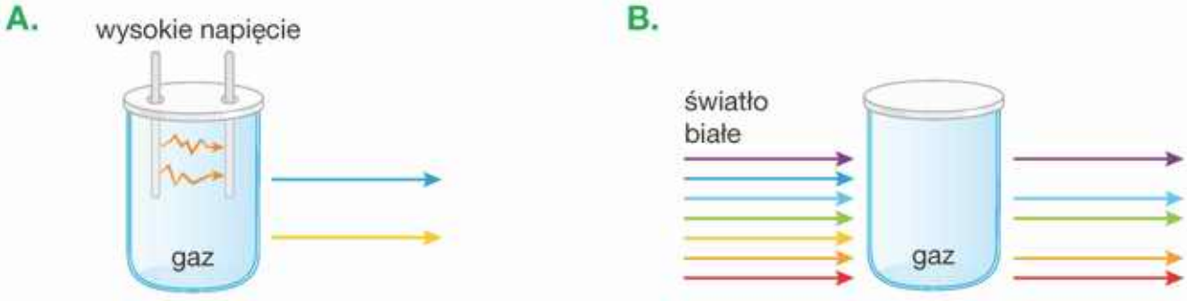
Natomiast obserwowane w tym samym doświadczeniu widmo świetlówki, złożone z kilku osobnych barw, to przykład widma liniowego.

W **widmie liniowym** obserwujemy tylko pojedyncze paski o różnych kolorach, zwane liniami widmowymi.

W jakich sytuacjach powstaje widmo ciągłe? Jak już wiemy z lekcji 31., jego przykładem jest widmo promieniowania emitowanego przez rozgrzane ciała, takie jak np. gorące włókno żarówki, płomień zapałki albo Słońce.
Zajmijmy się teraz powstawaniem widma liniowego.

Widmo emisyjne i absorpcyjne

Widmo liniowe może powstać na dwa sposoby.
1. Pobudzamy atomy gazu do świecenia np. przez wyładowania elektryczne. Pobudzone atomy wysyłają (emitują) widmo liniowe o charakterystycznej długości fali, zwane **widmem emisyjnym** (rys. A na stronie obok). Dzieje się tak np. w świetlówce (jak w dośw. 25.).
2. Przez gaz przepuszczamy promieniowanie o widmie ciągłym. Wtedy fale o długościach takich jak opisane powyżej są pochłaniane (ulegają absorpcji) w wyniku przejścia światła białego przez gaz (rys. B). W ten sposób powstaje **widmo absorpcyjne**.



▲ Gaz wysyła widmo emisyjne (A). Gaz pochłania dokładnie te długości fal, które były wysyłane przez taki sam gaz pobudzony do świecenia (B)

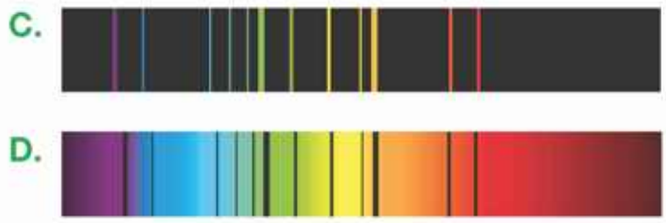
Czy układy linii obserwowanych w widmie gazów są przypadkowe? Jak się okazuje – nie.

> Każda substancja w stanie gazowym emituje unikalny układ linii widmowych, który pozwala ją zidentyfikować.

Zauważ, że widmo emisyjne składa się ze stosunkowo niewielkiej liczby fal o określonych długościach. Natomiast widmo absorpcyjne to niemal cała tęcza, w której brakuje tylko niektórych długości fal – właśnie tych występujących w widmie emisyjnym (porównaj rys. C i D).
Jak widzisz, pobudzony do świecenia gaz emituje oprócz promieniowania termicznego również promieniowanie o określonych długościach fali. Te same długości fali są pochłaniane przez gaz, przez który przepuścimy światło.



▲ Widma: ciągłe światła białego (A) i liniowe (B)



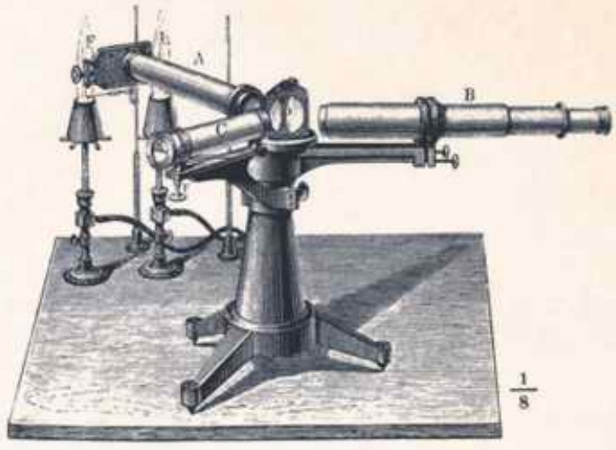
▲ Widma liniowe węgla: emisyjne (C), absorpcyjne (D)

To najważniejsze

- Promieniowanie rozszczepione na poszczególne barwy nazywamy **widmem**. Widma rozgrzanych ciał mają charakter ciągły.
- Atomy pobudzonych do świecenia gazów oprócz promieniowania termicznego wysyłają i pochłaniają promieniowanie o ściśle określonych częstotliwościach – mają **widmo liniowe**. Każda substancja tworzy inne widmo.
- **Widmo emisyjne** powstaje, gdy atomy gazu pobudzone do świecenia, np. przez wyładowania elektryczne, wysyłają (emitują) światło.
- **Widmo absorpcyjne** tworzy się wtedy, gdy pomiędzy ciałem emitującym widmo ciągłe i obserwatorem znajduje się gaz pochłaniający (absorbujący) światło o określonych częstotliwościach.
- W widmie absorpcyjnym danej substancji brakuje pasm tych samych częstotliwości, które znajdują się w jej widmie emisyjnym.

Tęcza z przerwami

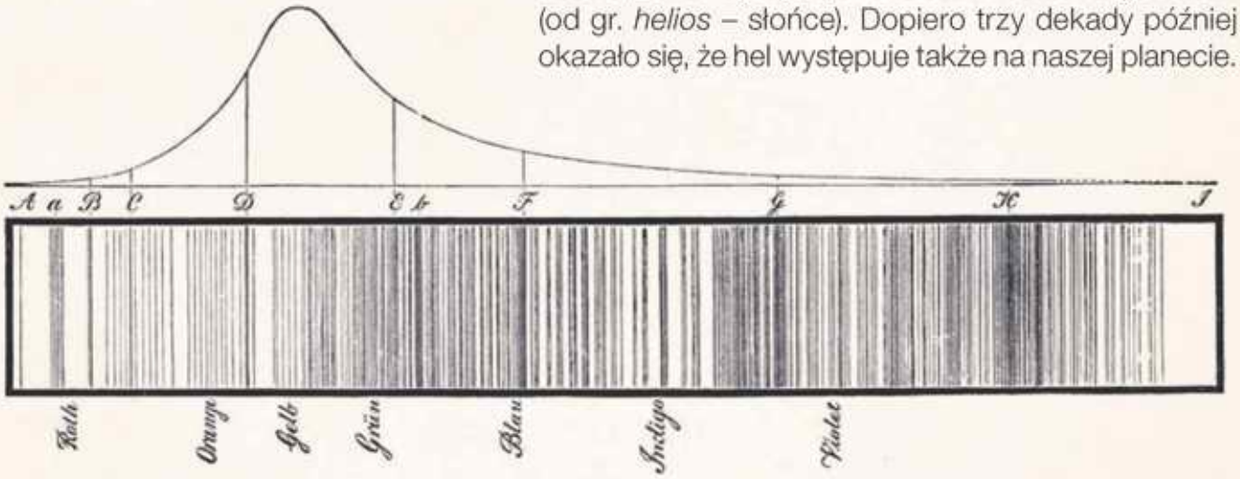
Gdy patrzymy na tęczę, nie widzimy w niej żadnych przerw. Jednak dokładniejsza analiza światła słonecznego za pomocą spektroskopu (przyrządu do obserwacji widma) pozwala dostrzec w jego widmie cienkie linie. Nazywamy je liniami Fraunhofera, od nazwiska badacza, który na początku XIX w. dokonał ich odkrycia.



▲ Spektroskop zbudowany przez Fraunhofera

W 1868 r. fizycy skojarzyli brakujące długości fal w widmie Słońca z liniami w widmie gazów i słusznie uznali, że powstają one w wyniku pochłaniania niektórych fal w zewnętrznych warstwach Słońca lub w atmosferze Ziemi. Dzięki temu ustalono, z jakich pierwiastków są zbudowane gwiazdy, w tym Słońce.

Przy okazji odkryto też nowy pierwiastek, o którym sądzono, że nie występuje na Ziemi. Nazwano go helem (od gr. *helios* – słońce). Dopiero trzy dekady później okazało się, że hel występuje także na naszej planecie.



▲ Rysunek sporządzony przez Fraunhofera przedstawiający widmo słoneczne



▲ Linie Fraunhofera widoczne na barwnym widmie Słońca

Joseph Fraunhofer



Joseph Fraunhofer (1787–1826) urodził się jako jedenaste dziecko w ubogiej rodzinie i nie miał szans na naukę. Jako czternastoletni chłopak cudem ocalał z zawalonego budynku, w którym pracował. Książę Bawarii, wzruszony losem dziecka, dał mu pewną sumę pieniędzy. Joseph zainwestował ją w książki do matematyki i optyki oraz urządzenie do obróbki szkła. Wkrótce mimo braku formalnego wykształcenia został dyrektorem działu produkcji instrumentów optycznych. Ze względu na ochronę przed szpiegostwem przemysłowym część swoich badań prowadził na terenie zamkniętego klasztoru.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Żarówka tradycyjna i świetlówka kompaktowa (żarówka energooszczędna) często wyglądają identycznie. W jaki sposób w warunkach domowych można rozpoznać, z którym rodzajem oświetlenia mamy do czynienia?
2. Odpowiedz na pytania:
   a) Czy na poniższym rysunku przedstawiono widmo ciągłe czy liniowe?
   b) Czy jest to widmo emisyjne czy absorpcyjne?



3. Dopasuj widma absorpcyjne do emisyjnych. Które widmo zostało bez pary? Czy jest to widmo absorpcyjne czy emisyjne?

A. 

B. 

C. 

D. 

E. 

Doświadczenie domowe

Sól i miedź w płomieniu



1. Przygotuj szczyptę soli, kilka centymetrów cienkiego miedzianego przewodu bez izolacji oraz kombinerki. Będziesz także potrzebować dostępu do kuchenki gazowej.
2. Złap kombinerkami miedziany przewód i umieść go w płomieniu gazowym. Przypatrz się płomieniowi: jakie barwy możesz w nim zauważyć?
3. Zwilż koniec kombinerek i dotknij nim soli, aby się przyczepiła, a następnie umieść sól w płomieniu. Jaka teraz jest barwa płomienia?
4. Znajdź widma miedzi, sodu i chloru (sól kuchenna to chlorek sodu). Możesz użyć np. darmowego programu Spektruś, dostępnego w internecie.
5. Które barwy z widma miedzi było widać w płomieniu? Czy barwa płomienia po umieszczeniu w nim soli to promieniowanie chloru czy sodu?



35. Jak powstaje widmo liniowe

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak powstaje widmo liniowe gazu.
- Zrozumiesz, na czym polega zjawisko jonizacji.

Widmo liniowe a budowa atomu

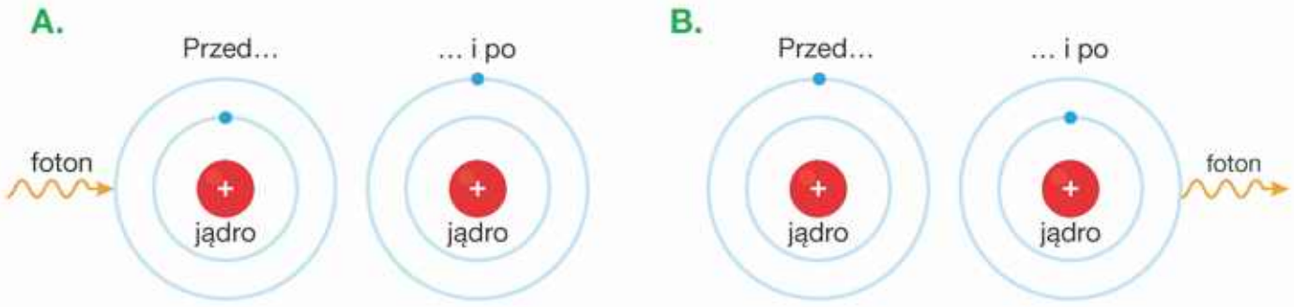
Wiesz już, że pobudzony do świecenia gaz emituje promieniowanie o niewielu ściśle określonych częstotliwościach – jego widmo jest liniowe. Teraz wyjaśnimy, **dlaczego** tak się dzieje. W tym celu odwołamy się do budowy atomu.
W uproszczeniu możemy sobie wyobrażać, że elektrony krążą wokół jądra atomu. Jednak w odróżnieniu od satelitów, które mogą obiegać Ziemię w dowolnej odległości, elektrony muszą się znaleźć na konkretnych, dozwolonych orbitach.

> Elektrony mogą się znajdować w atomie tylko na określonych orbitach.

Energia elektronu znajdującego się na danej orbicie zależy od jego odległości od jądra: im wyższa (dalsza od jądra) jest orbita, tym większa jest energia elektronu. Tak więc również energia elektronu w atomie nie może być dowolna.

> Elektron w atomie nie może mieć dowolnej energii, ale musi mieć energię odpowiadającą orbicie, na której się znajduje.

Stwierdzenie, że energia elektronu nie może przyjmować dowolnej wartości, ale tylko jedną spośród niewielu dopuszczalnych, pozostaje prawdziwe także w świetle współczesnej fizyki.
Aby znaleźć się na wyższej orbicie, elektron musi więc otrzymać dodatkową energię. Dzieje się tak, gdy pochłonie on foton. Z kolei kiedy elektron przeskoczy na orbitę o niższej energii, emituje foton.

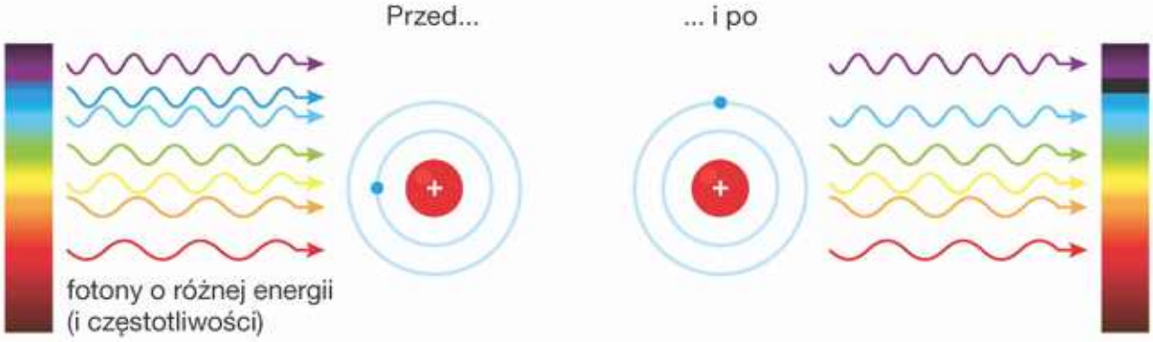


▲ Pochłanianie (absorpcja) fotonu (A). Wysyłanie (emisja) fotonu (B)

Powstawanie widma absorpcyjnego

Wyobraźmy sobie elektron na pierwszej, najbliższej jądru orbicie, którą nazywa się zwykle **orbitą podstawową**. Jeśli chcielibyśmy, aby przeskoczył on na orbitę wyższą, musimy mu **dostarczyć** dodatkową **energię**. Musi ona mieć ściśle określoną wartość, równą różnicy energii elektronu na pierwszej i wyższej orbicie.

Jeśli na atomy pada światło, może ono zawierać fotony o odpowiedniej energii. Pochłaniające je elektrony przeskakują na wyższe orbity, a światło przechodzące przez gaz traci fotony o tej energii. Natomiast fotony o innych, niepasujących do danego atomu energiach nie są pochłaniane i przechodzą przez gaz bez przeszkód (patrz rysunek).



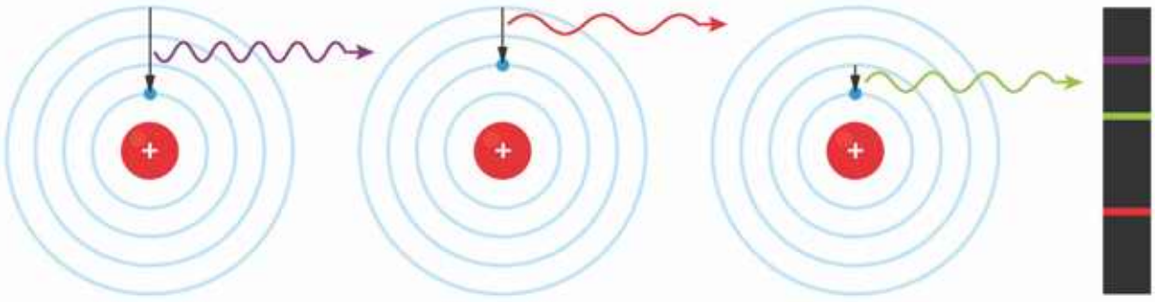
▲ Atom gazu pochłania tylko fotony o pewnej energii

Obserwujemy wówczas widmo absorpcyjne: z całej świetlnej tęczy są usuwane wąskie prążki. Dlaczego prążki, a nie tylko jeden prążek? W widmie zaobserwujemy ubytek fotonów pochłanianych przez elektrony przeskakujące z pierwszej orbity na drugą, z pierwszej na trzecią, z drugiej na trzecią itd. Każdej z tych możliwości odpowiada inna energia, a więc inny prążek widma.

Powstawanie widma emisyjnego

A jak powstaje widmo emisyjne? W pobudzonym do świecenia gazie, wiele elektronów znajduje się na wysokich orbitach (odległych od jądra). Mogą one jednak przechodzić na orbity niższe, o ile pozbędą się części energii – różnicy energii, jaką mają na wyższej orbicie, i energii, jaką musiałyby mieć na orbicie niższej. W tym celu emitują odpowiedni foton.

Elektron wracający z wysokiej orbity do stanu podstawowego może to zrobić na wiele sposobów: przeskakiwać po jednym poziomie albo skakać po kilka poziomów naraz. Emituje przy tym fotony o ściśle określonych energiach, a więc także o określonych długościach fali. Dzięki temu w widmie emisyjnym widzimy wiele jasnych prążków.



▲ Przeskoki między różnymi orbitami wiążą się z różną utratą energii, a więc z różnymi energiami emitowanych fotonów. Fotony o różnej energii tworzą widmo liniowe

W powyższym opisie mowa o jednym elektronie. Jednak nie należy zapominać, że liczba elektronów okrążających jądro zależy od pierwiastka. W przypadku wodoru mamy do czynienia z jednym elektronem, ale jądra pozostałych pierwiastków okrąża wiele elektronów.
Każdy z nich może pochłonąć foton i przeskoczyć na wyższy poziom, o ile energia fotonu jest równa różnicy energii między danymi poziomami.
Dlatego też widma gazów o wielu elektronach zawierają wiele linii. Część z nich obserwujemy w świetle widzialnym, a część – za pomocą odpowiednich przyrządów – w podczerwieni lub nadfiolecie.

Widmo absorpcyjne a widmo emisyjne

Widzimy teraz, dlaczego prążki w widmach emisyjnych i absorpcyjnych są dla danego gazu w tym samym miejscu: odpowiadają fotonom o energiach umożliwiających elektronom przeskoki pomiędzy poszczególnymi orbitami. W przypadku widma emisyjnego fotony te są emitowane przez gaz, a w przypadku widma absorpcyjnego są przez niego pochłaniane.

> Dla danego gazu prążki w widmach emisyjnych i absorpcyjnych pojawiają się przy tych samych częstotliwościach.

Warto też dodać, że swoje indywidualne widma mają nie tylko gazy składające się z pojedynczych atomów, lecz także gazy o cząsteczkach złożonych z wielu atomów. W nich również elektrony poruszają się pomiędzy kolejnymi orbitami o różnych energiach i pochłaniają lub emitują fotony.

A to ciekawe

Gdy na miejscu przestępstwa policja znajdzie choćby śladową ilość niezidentyfikowanej substancji, sprawdza jej skład. Jeśli substancji jest zbyt mało do przeprowadzenia klasycznej analizy chemicznej, wtedy stosuje się analizę widma. Polega ona na badaniu promieniowania substancji doprowadzonej do postaci gazowej poprzez ogrzewanie. Pozwala to określić skład próbki i ułatwia ustalenie źródła jej pochodzenia.



Mechanika kwantowa

Pod koniec XIX w. wydawało się, że w fizyce nie da się już dokonać wielu nowych odkryć. Do wyjaśnienia zostało tylko kilka szczegółów, m.in. promieniowanie termiczne i efekt fotoelektryczny.

W 1899 r. Max Planck udowodnił, że promieniowanie gorących ciał można poprawnie opisać, jeśli założymy, że emitują one energię w kwantach – porcjach o wielkości $E = hf$. Wkrótce Albert Einstein skorzystał z tego samego założenia, aby wyjaśnić efekt fotoelektryczny. Odkrycia te przyczyniły się wkrótce do powstania nowej teorii, zwanej **mechaniką kwantową**, opisującej podwójną, cząstkowo-falową naturę materii.

Mechanika kwantowa budzi zdumienie, ponieważ przewiduje zjawiska sprzeczne z naszą intuicją. Jedno z nich już znasz: elektron może interferować sam ze sobą i przemieszczać się ze źródła do detektora dwiema drogami jednocześnie. Inną ważną, a trudną do zrozumienia cechą zjawisk opisywanych przez mechanikę kwantową jest brak możliwości przewidzenia, jak one zajdą – można tylko określić prawdopodobieństwo określonego wyniku.

Prawa mechaniki kwantowej zostały potwierdzone nie tylko w tysiącach doświadczeń w laboratoriach fizyków, lecz także w praktycznych zastosowaniach. Komputer, telefon komórkowy i telewizor nie działałyby, gdyby założenia mechaniki kwantowej były błędne.

A pomyśleć, że Planckowi odradzano studia z fizyki, gdyż w tej nauce miało już nie być nic do odkrycia!

▼ Jeśli chcecie na wyciągnięcie ręki mieć wszystkich najsłynniejszych fizyków – twórców mechaniki kwantowej, spójrzcie na to zdjęcie. Nazwiska podano rzędami od lewej strony.

A. PICARD E. HENRIOT P. EHRENFEST E. HERSEN T. DE DONDER E. SCHRÖDINGER E. VERSCHAFFELT W. PAULI
W. HEISENBERG R. H. FOWLER L. BRILLOUIN

P. DEBYE M. KNUDSEN, W.L. BRAGG, H.A. KRAMERS, P.A.M. DIRAC, A.H. COMPTON, L.de BROGLIE, M. BORN, N. BOHR

I. LANGMUIR, M. PLANCK, M. SKŁODOWSKA-CURIE H.A. LORENTZ, A. EINSTEIN, P. LANGEVIN, C.E. GUYE, C.T.R. WILSON,
O.W. RICHARDSON



Energia jonizacji

Wróćmy jednak do elektronu, który znajduje się na jednej z atomowych orbit. Aby przeskoczyć na wyższą orbitę, nie może pochłonąć dowolnego fotonu – musi być to foton o określonej energii. Istnieje jednak pewna energia, zwana energią jonizacji, która jest wystarczająco duża, aby nie tylko przenieść elektron na wyższą orbitę, ale po prostu całkowicie oderwać go od jądra.

Energia jonizacji to energia, którą musimy dostarczyć elektronowi znajdującemu się na orbicie podstawowej w atomie, aby na stałe wyrwać go z atomu.

Jeśli elektron pochłonie foton o energii równej energii jonizacji, oderwie się od jądra i stanie elektronem swobodnym. Gdy energia pochłoniętego fotonu będzie wyższa od energii jonizacji, część z niej posłuży do oderwania elektronu od jądra, a reszta dostarczy mu energii kinetycznej.



▲ Jonizacja atomu jest wywołana absorpcją fotonu o wysokiej energii

Jonizacja jest kolejnym zjawiskiem, które można wyjaśnić tylko z pomocą cząsteczkowej natury światła. Nawet bardzo jasne światło o zbyt małej częstotliwości fali nie wywoła jonizacji gazu, którą zaobserwujemy, jeśli oświetlimy go promieniowaniem o wystarczająco dużej częstotliwości (czyli większej energii fotonu).

Powstawanie widma ciągłego

Atomy ciała stałego również emitują fotony podczas przejścia elektronów z wyższej orbity na niższą. Jednak w tym przypadku oddziaływanie elektronów między atomami jest na tyle skomplikowane, że powstaje ogromna liczba linii widmowych, które się zlewają i tworzą widmo ciągłe.

To najważniejsze

- Elektron w atomie może się znaleźć na jednej ze ściśle określonych orbit. Każdej orbicie odpowiada określona energia elektronu.
- Elektron przeskakujący między dwiema orbitami **emituje lub pochłania foton**, którego energia jest równa różnicy energii tego elektronu na obu orbitach.
- W wyniku pochłonięcia fotonu o odpowiednio dużej energii atom można **zjonizować** – elektron może uwolnić się z atomu. Zamiast atomu pozostanie dodatnio naładowany jon.
- Gdy energia pochłoniętego fotonu jest zbyt mała, aby zjonizować atom, ale odpowiada różnicy energii między obecną orbitą elektronu a inną, wyższą orbitą, elektron **może się przemieścić na wyższą orbitę**. Jednak z czasem **wraca do stanu podstawowego** i emituje przy tym nadmiar energii w postaci fotonów – jednego lub kilku (jeśli przejście zachodzi etapami).

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dobierz zakończenia zdań do ich początków. Do jednego początku może pasować więcej niż jedno zakończenie. Zapisz wszystkie powstałe zdania w zeszycie.

A. Energia elektronu w atomie...

B. Elektron emituje (wysyła) foton...

C. Elektron absorbuje (pochłania) foton...

D. Elektron nie może pochłonąć dowolnego fotonu...

I. ... gdy jego energia się zwiększa.
II. ... może przyjmować tylko ściśle określone wartości.
III. ... ale tylko taki, który pozwala elektronowi wskoczyć na określoną orbitę.
IV. ... jest inna na każdej orbicie.
V. ... gdy przeskakuje na niższą orbitę.
VI. ... gdy przeskakuje na wyższą orbitę.
VII. ... gdy jego energia się zmniejsza.
VIII. ... nie może być dowolna.

2. Wyobraź sobie elektron poruszający się po orbicie 4. Z czasem powróci on na orbitę 1. Na ile sposobów może do tego dojść? Narysuj wszystkie możliwości i podaj liczbę fotonów emitowanych w każdym przypadku.



3. Energia jonizacji atomu wodoru wynosi 13,6 eV. W jakim zakresie widma emitowane są fotony, które mogą zjonizować ten pierwiastek?

4. Obejrzyj krótki film na stronie https://www.youtube.com/watch?v=jOFiETncmZM i napisz, z którymi uczonymi widocznymi w tym materiale spotkałeś się w podręczniku. A może znasz te postaci z innych źródeł? Jeśli tak, napisz z jakich.



TEMAT DODATKOWY

Model atomu Bohra

Cele lekcji:

- Poznasz najprostszy model, za pomocą którego można ilościowo opisać widmo atomu.
- Nauczysz się obliczać promienie orbit i energie elektronów w atomie wodoru.

Widmo wodoru

Spójrzmy dokładniej na widmo wodoru – gazu, którego atom ma najprostszą budowę. W wysyłanym przez wodór świetle obserwujemy kilka kolejnych serii, czyli oddzielonych od siebie grup linii widmowych.



▲ Widmo liniowe wodoru – seria linii w świetle widzialnym

Na początku odkryta i opisana została seria wchodząca w skład światła widzialnego, złożona z częstotliwości podpisanych na rysunku powyżej. W pierwszej chwili te częstotliwości wyglądają na przypadkowe. Można w nich jednak zaobserwować pewną prawidłowość: gdy patrzymy na tę serię od lewej do prawej strony, odległości między liniami stają się coraz mniejsze, a częstotliwość nigdy nie przekracza pewnej wartości granicznej. Szwajcarski fizyk Johann Balmer w 1884 r. jako pierwszy ustalił, że częstotliwość fali poszczególnych linii można opisać za pomocą stosunkowo prostego wzoru, który można zapisać w postaci:

$$f = cR\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

gdzie $n = 3, 4, 5, \ldots$ to kolejne liczby naturalne, c oznacza prędkość światła, a R – pewną stałą, nazywaną stałą Rydberga ($R \approx 1{,}1 \cdot 10^7 \frac{1}{\mathrm{m}}$).

Później odkryto kolejne serie linii niewidocznych gołym okiem. Należą one do podczerwieni i nadfioletu. Ich częstotliwości można opisać ogólnie za pomocą wzoru:

$$f = cR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Dla $m = 2$ wzór Balmera opisuje serię prążków obecną w świetle widzialnym, innym wartościom m odpowiadają pozostałe serie. Za każdym razem n to numer prążka w serii. Linie w serii numerujemy nie od $n = 1$, ale od $n = m + 1$.

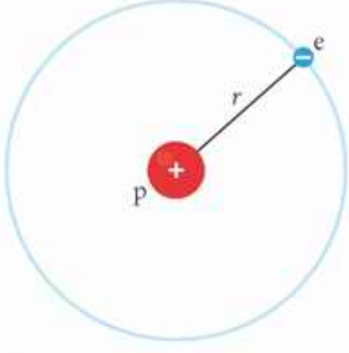
Wyjaśnienie Bohra

Wzór Balmera pozwala przewidzieć położenia kolejnych linii widma wodoru, ale nie wyjaśnia, dlaczego są one właśnie takie. Pierwszą odpowiedź na to pytanie przyniosła teoria duńskiego fizyka Nielsa Bohra (czyt. nilsa bora). W 1913 r. uczony przedstawił model budowy atomu, który pozwolił wyjaśnić przyczynę powstawania linii widmowych. Zaledwie dziewięć lat później otrzymał za tę pracę Nagrodę Nobla. Choć dziś model Bohra został zastąpiony przez dokładniejszą i bardziej skomplikowaną teorię – mechanikę kwantową, jego elementy wciąż są wykorzystywane do poglądowego opisywania zachowania atomów.
Niels Bohr sformułował kilka postulatów, których podstaw nie wyjaśniał, ale na nich opierał dalsze wnioski.

Postulaty Bohra

Podstawowe założenie modelu Bohra brzmi: orbity, po których elektrony poruszają się wokół jądra, nie są dowolne, ale mają ściśle określone promienie. Spełniony jest dla nich warunek:

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} \quad \text{dla } n = 1, 2, 3, \ldots$$



▲ Atom wodoru według Bohra

gdzie:
m – masa elektronu,
v – jego prędkość,
r – promień orbity (odległość elektronu od jądra),
h – stała Plancka.

Podczas ruchu po takich orbitach energia elektronu się nie zmienia.

> Elektron nie może poruszać się w dowolnej odległości od jądra, ale wyłącznie po jednej ze ściśle określonych orbit. Podczas ruchu po takiej orbicie energia elektronu się nie zmienia.

Kolejny postulat Bohra, który poznałeś już w trakcie poprzedniej lekcji, głosił, że elektron przeskakujący między dwiema stabilnymi orbitami w atomie emituje lub pochłania energię w postaci fotonu.

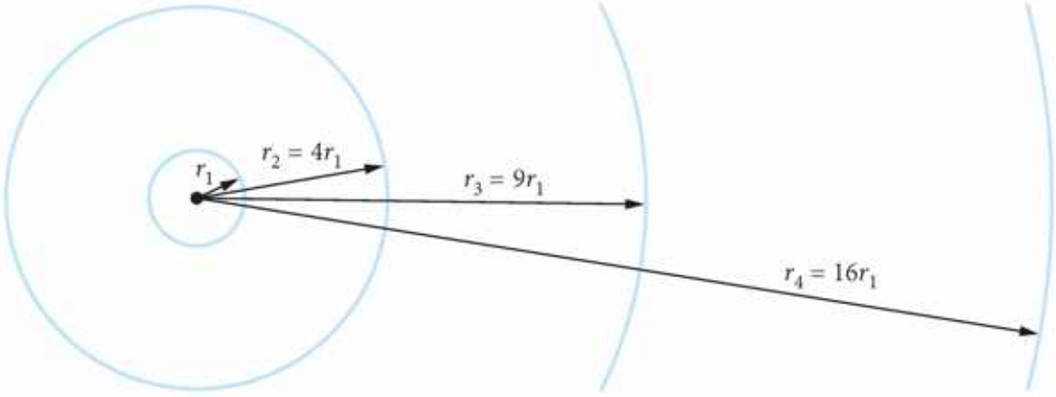
Elektron przeskakujący między dwiema orbitami emituje lub pochłania foton, którego energia jest równa różnicy energii elektronu na obu orbitach.

Promień orbity atomu wodoru

Dzięki postulatom Bohra możliwe było obliczenie promienia pierwszej orbity (r_1) w atomie wodoru i sformułowanie wzoru na promienie kolejnych orbit:

$$r_n = n^2 r_1$$

gdzie n jest numerem orbity, a r_1 jest promieniem pierwszej orbity, $r_1 = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m.



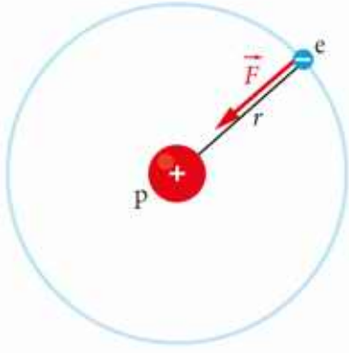
▲ Cztery pierwsze orbity atomu wodoru z zachowaniem proporcji odległości

Jak obliczyć promień orbity

Pokażemy teraz, jak obliczyć promień n-tej orbity elektronu w atomie wodoru.
Siłę przyciągania między elektronem i jądrem (które składa się z jednego protonu) określa prawo Coulomba:

$$F = \frac{k\,|q_1 q_2|}{r^2}$$

gdzie $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\mathrm{N \cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}$.



▲ Siła działająca na elektron w atomie Bohra

W tym przypadku oddziałują elektron i proton, których ładunki mają jednakową wartość bezwzględną e, czyli $|q_1| = |q_2| = e$. Stąd:

$$F = \frac{ke^2}{r^2}$$

Siła przyciągania elektrostatycznego pełni funkcję siły dośrodkowej. Możemy więc te siły przyrównać:

$$\frac{mv^2}{r} = k\frac{e^2}{r^2} \quad | \cdot r^2$$

$$mv^2 r = ke^2$$

W miejsce v wstawmy wyrażenie $\frac{nh}{2\pi mr}$ wyznaczone z postulatu Bohra:

$$m\left(\frac{nh}{2\pi mr}\right)^2 r = ke^2$$

Po uproszczeniu otrzymujemy:

$$\frac{n^2h^2}{4\pi^2mr} = ke^2 \Rightarrow 4\pi^2mr = \frac{n^2h^2}{ke^2}$$

czyli:

$$r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2mke^2}$$

Aby doprecyzować, że chodzi o promień na orbicie o numerze n, oznaczmy go r_n. Zatem:

$$r_n = \frac{h^2}{4\pi^2mke^2} \cdot n^2$$

Zauważmy, że gdy do tego wzoru podstawimy $n = 1$, okaże się, że r_1 równe jest wyrażeniu stojącemu przed n^2. W ten sposób nie tylko otrzymaliśmy wzór:

$$r_n = r_1 \cdot n^2$$

na promień n-tej orbity, lecz także wiemy, jak obliczyć promień pierwszej orbity:

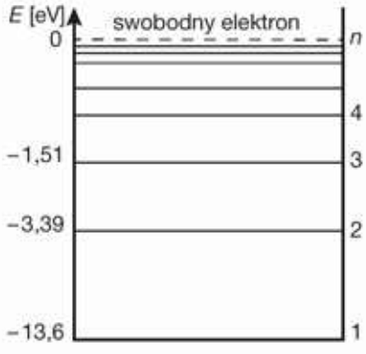
$$r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2mke^2}$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymamy $r_1 = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m.

Energia elektronu w atomie

Z modelu Bohra wynika, że elektron na orbicie o numerze n ma ściśle ustaloną energię potencjalną i kinetyczną. Energię potencjalną w polu elektrycznym, podobnie jak energię potencjalną grawitacji, liczymy zawsze względem pewnego wybranego umownie poziomu. W tym przypadku najwygodniej przyjąć, że $E_p = 0$ dla elektronu niezwiązanego z atomem. Wówczas wzór na energię całkowitą przybiera postać:

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}$$



▲ Kolejnym orbitom w atomie wodoru odpowiadają ściśle określone wartości energii

gdzie $E_0 = 13{,}6$ eV.

Oznacza to, że energia na pierwszej orbicie jest ujemna:

$$E_1 = -E_0 = -13{,}6 \text{ eV}$$

Na wyższych orbitach energia jest większa niż na pierwszej orbicie (łatwiej taki elektron wybić z atomu), ale wciąż ujemna.

Jakie fotony emituje atom wodoru

Elektron może wyemitować foton podczas przejścia z wyższej orbity na niższą. Jeśli np. przenosi się z orbity n na orbitę m, emituje foton o energii:

$$hf = E_n - E_m = -E_0\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

Rozumiemy już, że widmo emisyjne wodoru nie jest ciągłe, ponieważ energia elektronu nie może się zmieniać w dowolny sposób, a energia emitowanych fotonów

nie może być dowolna. Wiemy także, co oznacza numer serii (m) i numer linii w serii (n) we wzorze Balmera. Linię tę tworzą fotony emitowane wtedy, gdy elektron przeskakuje z orbity o numerze n na orbitę o numerze m. Powyższy wzór można przekształcić do postaci:

$$f = -\frac{E_0}{h}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) = \frac{E_0}{h}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Porównajmy otrzymany zapis ze wzorem Balmera, opisującym linie widmowe.

$$f = cR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Wzory te wyglądają podobnie. Różnią się tylko występującymi w nich stałymi. Porównajmy wartość tych stałych.

$$cR = 300\,000\,000\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1{,}1 \cdot 10^7\ \text{m} = 3{,}3 \cdot 10^{15}\ \frac{1}{\text{s}}$$

$$\frac{E_0}{h} = \frac{13{,}6\ \text{eV}}{4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}} = 3{,}3 \cdot 10^{15}\ \frac{1}{\text{s}}$$

$$cR = \frac{E_0}{h}$$

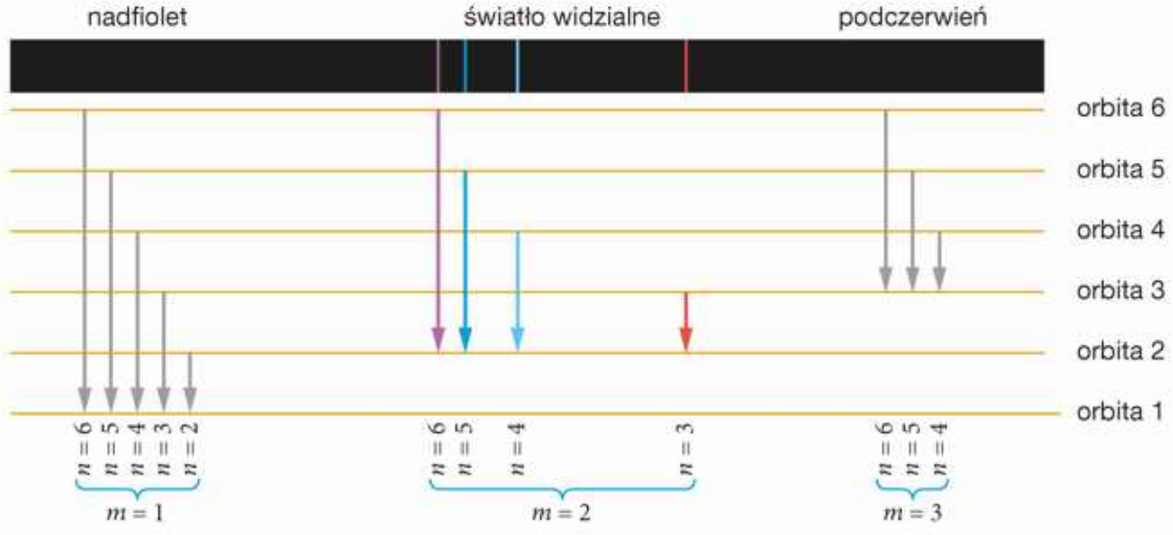
Stałe są równe, a więc wzór wynikający z modelu Bohra to po prostu wzór Balmera.

Związek między modelem Bohra a wzorem Balmera

Podsumujmy powyższe rozważania. Dowiedliśmy, że z modelu atomu Bohra otrzymujemy wzór Balmera. Wiemy też, że gdy elektron przeskakuje z orbity o numerze n na orbitę o numerze m, w widmie wodoru pojawia się linia o numerze n w serii o numerze m (patrz rys. poniżej).

> Model atomu Bohra wyjaśnia, dlaczego widmo wodoru można opisać wzorem Balmera.

Sukces modelu atomu Bohra polegał na wyjaśnieniu zarówno wzoru Balmera, jak i mechanizmu powstawania linii widmowych na podstawie prostych założeń. Założenia Bohra pokazały jednak, że do wyjaśnienia zjawisk w mikroświecie nie wystarczają prawa znanej nam dotychczas fizyki.



▲ Linie widmowe odpowiadają poszczególnym przeskokom elektronów pomiędzy orbitami

Przykład

Energia przeskoku

Elektron w atomie wodoru przeskakuje z orbity 4 na 2. Oblicz długość fali emitowanego promieniowania. Ustal, do której serii widmowej należy to promieniowanie.

Sposób I:

Gdy elektron przeskakuje z orbity 4 na 2, powstaje promieniowanie linii o numerze $n = 4$ z serii $m = 2$. Jego częstotliwość można obliczyć ze wzoru Balmera:

$$f = cR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Wiemy, że $f = \frac{c}{\lambda}$, więc:

$$\frac{c}{\lambda} = cR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \mid : c$$

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1{,}1 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}} \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right) = 0{,}206 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}$$

$$\lambda = \frac{1}{0{,}206} \cdot 10^{-7}\,\text{m} = 4{,}9 \cdot 10^{-7}\,\text{m} = 490\,\text{nm}$$

Sposób II:

Obliczymy energię na orbitach 4 i 2, a następnie różnicę tych energii.

$$E_4 = -\frac{13{,}6\,\text{eV}}{4^2} = -0{,}85\,\text{eV}$$

$$E_2 = -\frac{13{,}6\,\text{eV}}{2^2} = -3{,}4\,\text{eV}$$

$$\Delta E = E_4 - E_2 = -0{,}85\,\text{eV} - (-3{,}4\,\text{eV}) = 2{,}55\,\text{eV}$$

Obliczona wartość to energia fotonu.

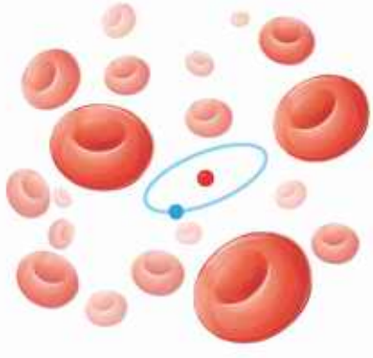
$$E = hf, \text{ więc } E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4{,}14 \cdot 10^{-15}\,\text{eV} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2{,}55\,\text{eV}} = 4{,}9 \cdot 10^{-7}\,\text{m} = 490\,\text{nm}$$

Odpowiedź: Powstaje promieniowanie o długości 490 nm, należące do drugiej serii widmowej. Z rysunku na poprzedniej stronie można odczytać, że ta długość fali odpowiada niebieskiej linii widma.

A to ciekawe

Teoretycznie atom wodoru ma nieskończenie wiele orbit. Jednak na bardzo odległych z nich energia elektronu jest tak duża, że bardzo łatwo odrywa się on od atomu – wystarczy do tego nawet niewielka energia dodana na skutek zderzenia atomów. Powiększone do setnych części milimetra atomy, o wielkościach porównywalnych np. z czerwonymi krwinkami, można wytworzyć w próżni laboratoryjnej. Przeżywają one ułamki sekund, ale badanie ich właściwości pomaga zrozumieć wewnętrzną strukturę atomów.



Następcy modelu Bohra

Model Bohra po raz pierwszy wyjaśniał podstawowe właściwości atomów. Nie tłumaczył jednak, z czego wynikają przyjęte założenia. Nie pozwolił też opisać własności atomów pierwiastków innych niż wodór. Obecnie zjawiska mikroświata lepiej wyjaśnia nowsza i bardziej ogólna teoria – mechanika kwantowa, ale model Bohra nadal umożliwia ich poglądowe wyobrażenie.

To najważniejsze

- Zgodnie z **postulatem Bohra** elektron w atomie nie może poruszać się w dowolnej odległości od jądra, ale po jednej ze ściśle określonych orbit. Dla orbity o numerze n promień orbity, prędkość elektronu i jego masa są związane zależnością $mvr = \frac{nh}{2\pi}$, gdzie $n = 1, 2, 3, \ldots$
- **Promień orbity elektronu** jest proporcjonalny do kwadratu jej numeru $r_n = r_1 n^2$.
- **Energia elektronu** na n-tej orbicie $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$, gdzie E_0 to energia jonizacji.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



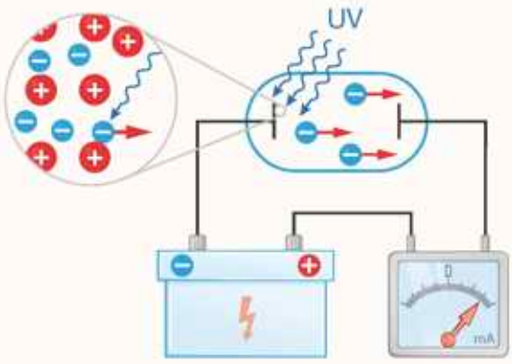
1. Oblicz częstotliwość prążka o numerze 4 w trzeciej serii widma wodoru i energię fotonu promieniowania o tej częstotliwości. Ustal, czy emitowany foton jest fotonem światła widzialnego, nadfioletu czy podczerwieni.
2. Czy elektron może się poruszać po orbicie, na której jego odległość od jądra jest pięciokrotnie większa od minimalnej? A 25-krotnie większa? Odpowiedź uzasadnij.
3. Ile wynosi długość fali promieniowania emitowanego przez atomy wodoru, w których elektrony przechodzą między poziomami 107 i 106 (patrz „A to ciekawe" na s. 229)? Jakiemu zakresowi widma fal elektromagnetycznych odpowiada to promieniowanie? Ile wynosi długość jego fali?
4. Korzystając ze wzoru de Broglie'a, oblicz długość fali materii związanej z elektronem poruszającym się z prędkością równą jego prędkości w ruchu orbitalnym na pierwszej orbicie atomu wodoru ($2{,}2 \cdot 10^6 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$). Porównaj ją z długością tej orbity. Co zauważasz?

- Światło i każdą inną falę elektromagnetyczną można również przedstawić jako strumień **fotonów** – cząstek, z których każda ma energię równą:

$$E = hf$$

gdzie: f – częstotliwość fali, h – **stała Plancka** $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s} = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}$.

- Elektrony mogą zostać wybite z powierzchni metalu przez fotony. Zjawisko to jest nazywane **efektem fotoelektrycznym** i zachodzi w przypadku promieniowania elektromagnetycznego o odpowiednio dużej częstotliwości fali.

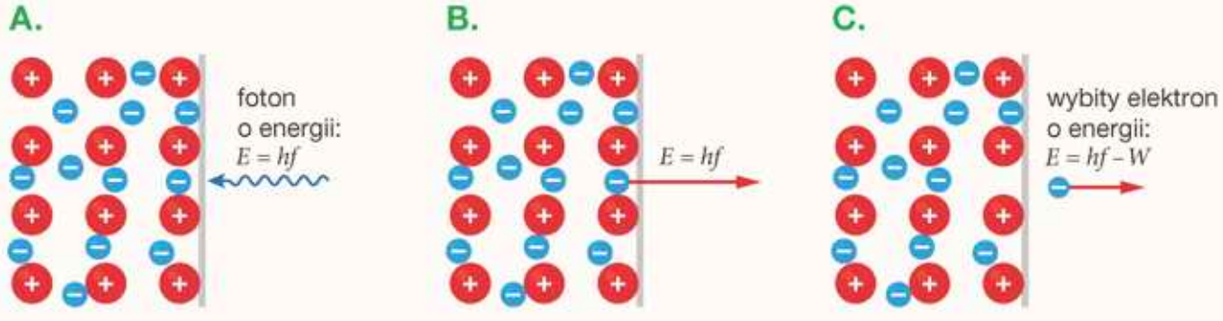


- Efekt fotoelektryczny można wyjaśnić przy założeniu istnienia fotonów. To samo założenie jest potrzebne do wyjaśnienia efektu fotochemicznego.
- Aby foton mógł wybić elektron z powierzchni metalu, musi mieć energię większą od pracy wyjścia W – wielkości zależnej od rodzaju metalu.
- Energia kinetyczna elektronu wybitego z powierzchni metalu jest równa:

$$E_k = hf - W$$

gdzie: W – praca wyjścia, h – stała Plancka, f – częstotliwość fali.

- Foton o energii hf pada na powierzchnię metalu (rys. A). Elektron znadujący się w tym metalu pochłania energię hf (rys. B). Wybity elektron ma energię kinetyczną mniejszą o pracę wyjścia W od energii fotonu (rys. C).



- Nie tylko fotony, lecz także inne cząstki elementarne (elektrony, protony itd.), a nawet obiekty życia codziennego wykazują właściwości falowe. Cząstce o masie m poruszającej się z prędkością v odpowiada **fala materii** o długości:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

gdzie: h – stała Plancka.

- Zgodnie z tym wzorem długość fali odpowiadającej obiektom z życia codziennego jest tak mała, że nie obserwujemy zjawisk falowych z ich udziałem. Można je jednak obserwować dla elektronów i innych cząstek mikroświata.

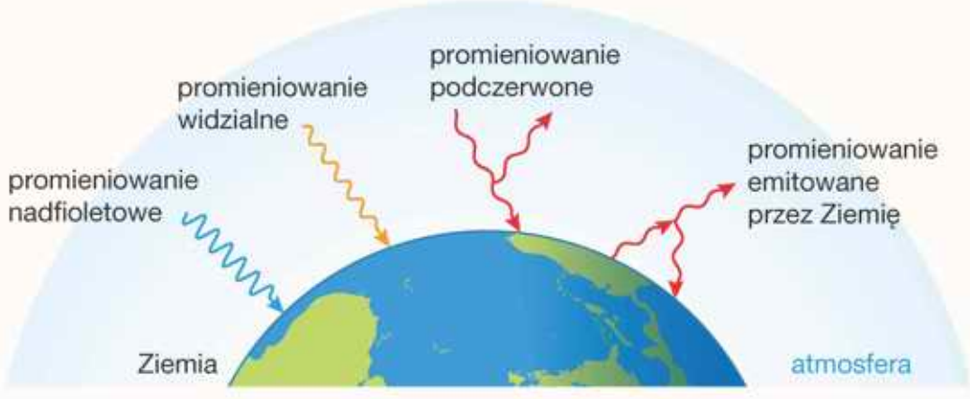
- Wszystkie rozgrzane ciała wysyłają promieniowanie termiczne w postaci fal elektromagnetycznych. Im wyższa temperatura ciała, tym wyższa częstotliwość fal.



- **Efekt cieplarniany** to zjawisko podnoszenia średniej temperatury Ziemi przez znajdujące się w jej atmosferze gazy cieplarniane, a zwłaszcza dwutlenek węgla i metan.

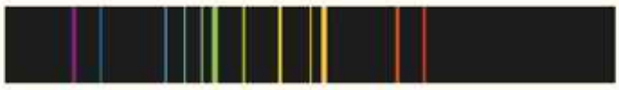
- Emisja dodatkowego dwutlenku węgla spowodowana działalnością człowieka powoduje zwiększenie efektu cieplarnianego i bardzo szybką zmianę ziemskiego klimatu. Aby spowolnić wzrost temperatury Ziemi, musimy ograniczyć emisję dwutlenku węgla, a przede wszystkim ograniczyć spalanie paliw kopalnych.

- Na rysunku poniżej przedstawione jest powstawanie efektu cieplarnianego.

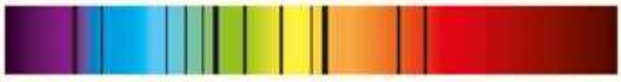


- Promieniowanie rozszczepione na poszczególne barwy nazywamy **widmem**. Widma włókna żarówki oraz innych rozgrzanych ciał stałych i cieczy są ciągłe, kolory w części widzialnej widma płynnie przechodzą od czerwieni do fioletu.

- Atomy pobudzonych do świecenia gazów wysyłają i pochłaniają promieniowanie o ściśle określonych częstotliwościach – mają **widmo liniowe**. Każdy pierwiastek tworzy inne widmo. Dzięki temu na podstawie widma gazu można ustalić jego skład chemiczny.



widmo emisyjne



widmo absorpcyjne

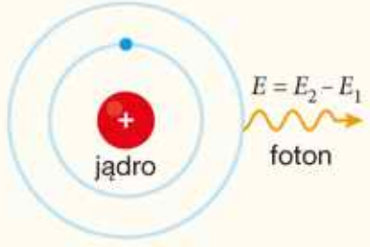
- **Widmo emisyjne** powstaje, gdy atomy gazu pobudzone do świecenia, np. przez wyładowania elektryczne, wysyłają (emitują) światło.
- **Widmo absorpcyjne** tworzy się wtedy, gdy pomiędzy ciałem emitującym widmo ciągłe i obserwatorem znajduje się nieco chłodniejszy gaz, pochłaniający (absorbujący) światło o określonej częstotliwości.

■ Zgodnie z uproszonym modelem budowy atomu elektron może krążyć wokół jądra atomowego tylko po ściśle określonych orbitach.

- Im wyższa (bardziej oddalona od jądra) orbita, tym większa energia elektronu.
- Aby przeskoczyć na wyższą orbitę, elektron musi pochłonąć foton o energii równej różnicy energii elektronu na tych orbitach.
- Gdy elektron spada na niższą orbitę, emituje foton. Podczas ruchu elektronu po danej orbicie jego energia się nie zmienia. Gdy elektron pochłonie foton o wystarczająco dużej energii, może zostać trwale oderwany od atomu. Najmniejszą energię, która umożliwia takie uwolnienie elektronu od jądra, nazywamy **energią jonizacji**, a sam proces – jonizacją atomu.



▲ Atom przed emisją fotonu



▲ Atom po emisji fotonu

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To trzeba umieć

1. Który z podanych rodzajów promieniowania składa się z fotonów o najniższej energii?
   A. podczerwień
   B. światło widzialne
   C. ultrafiolet
   D. promieniowanie gamma

2. Czy istnieje metal, w którym do wywołania efektu fotoelektrycznego wystarczy:
   a) światło fioletowe, ale nie czerwone,
   b) światło czerwone, ale nie fioletowe,
   c) promieniowanie podczerwone, ale nie widzialne,
   d) światło widzialne, ale nie ultrafiolet?

3. Elektron w atomie:
   A. emituje foton po każdym obiegu orbity.
   B. emituje foton, gdy przechodzi na orbitę o niższej energii.
   C. emituje foton, gdy przechodzi na orbitę o wyższej energii.
   D. nie emituje fotonów, ale je pochłania.

4. Efekt cieplarniany:
   A. polega na podgrzewaniu substancji za pomocą grzejnika spalającego gaz.
   B. jest wynikiem odbicia światła od gładkich substancji przypominających szkło.
   C. wywołamy, zacierając ręce na mrozie.
   D. powstaje w obecności dwutlenku węgla i metanu w atmosferze Ziemi.

5. Które z wymienionych ciał emituje promieniowanie o największej długości?
   A. lód
   B. włączony kaloryfer
   C. grzałka w czajniku elektrycznym
   D. płomień zapałki

6. Efekt fotoelektryczny można wyjaśnić, jeśli przyjmie się założenie, że:
   A. światło jest strumieniem cząstek – fotonów.
   B. światło ma naturę falową.
   C. wszystkie obiekty mikroświata mają naturę falową.
   D. elektrony poruszają się wokół jądra atomowego tylko po ściśle określonych orbitach.

7. Które z podanych źródeł światła emituje widmo liniowe?
   A. płomień świeczki
   B. żarówka
   C. świetlówka kompaktowa
   D. płomień kuchenki gazowej

8. Jakie fale emituje ciało o temperaturze zbliżonej do temperatury Słońca?
   A. głównie fale radiowe
   B. głównie promieniowanie gamma
   C. odpowiedź A lub B, zależnie od substancji, z jakiej jest zbudowane ciało
   D. różne długości fal, najwięcej światła widzialnego

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To powinieneś umieć

1. Nie istnieje foton:
   A. podczerwieni.
   B. światła czerwonego.
   C. światła białego.
   D. promieniowania rentgenowskiego.

2. Ile wynosi energia fotonu o częstotliwości 10^{15} Hz?

3. Ile wynosi energia fotonu światła o długości fali 405 nm?

4. Jaką barwę ma światło, którego fotony mają energię 2,35 eV?

5. Co należy zrobić, aby ograniczyć efekt cieplarniany? Wskaż błędną odpowiedź.
   - **A.** Zmniejszyć spalanie paliw kopalnych.
   - **B.** Ocieplić budynki.
   - **C.** Ograniczyć spożycie mięsa.
   - **D.** Ograniczyć podlewanie upraw.

6. Złoto jest oświetlane promieniowaniem złożonym z fotonów o energii 6 eV. Oblicz maksymalną energię kinetyczną wybitych z niego elektronów.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE — To warto umieć

1. Aluminium jest oświetlane promieniowaniem o długości fali 200 nm. Oblicz energię wybitych z niego elektronów.

2. Wskaż poprawne dokończenie zdania. Efekt fotoelektryczny dla rubidu mogą wywołać następujące rodzaje promieniowania:
   - **A.** nadfioletowe, fioletowe i zielone.
   - **B.** fioletowe, zielone i czerwone.
   - **C.** zielone, żółte i czerwone.
   - **D.** żółte, czerwone i podczerwone.

3. Jaką długość musi mieć fala elektromagnetyczna, aby mogła wywołać efekt fotoelektryczny dla baru?

4. Czy długość fali elektronu poruszającego się z prędkością 7000 $\frac{km}{s}$ jest większa czy mniejsza od długości fali światła zielonego? Ile razy?

Uwaga. W zadaniach 5–7 rozważamy elektron w atomie wodoru zmieniający orbitę z trzeciej na drugą. Zadania dotyczą tematu dodatkowego „Model atomu Bohra".

5. Oblicz energię fotonu emitowanego przez ten elektron.

6. Oblicz długość fali powstającej podczas przejścia tego elektronu pomiędzy orbitami.

7. Wskaż poprawne dokończenie zdania. Powstała fala należy do:
   - **A.** podczerwieni.
   - **B.** światła widzialnego.
   - **C.** ultrafioletu.
   - **D.** promieniowania rentgenowskiego.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE — Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. Foton o energii 17,1 eV został pochłonięty przez elektron poruszający się po pierwszej orbicie atomu wodoru. Co się stało z elektronem? Ile wyniosła jego końcowa prędkość?

2. Foton wyemitowany podczas przechodzenia elektronu w atomie wodoru z drugiej orbity do stanu podstawowego spowodował wybicie elektronu z wolframu. Oblicz prędkość wybitego elektronu.

Projekt Spektroskop

Wstęp

W doświadczeniu na s. 213 badaliście widmo światła za pomocą płyty kompaktowej.

Taki prosty przyrząd wystarcza do odróżnienia widma ciągłego od liniowego. Okazuje się jednak, że gdy do płyty dodamy kartonowe pudełko, uzyskamy znacznie lepsze efekty.

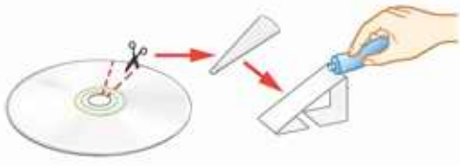
Instrukcja budowy spektroskopu

1. Znajdź albo sklej z kartonu podłużne pudełko o długości 20–30 cm i pozostałych wymiarach 5–10 cm. Możesz pomalować je od środka na czarno, choć nie jest to konieczne.
2. Wytnij fragmenty pudełka w sposób pokazany na rys. A.
3. Wytnij ze starej płyty CD wycinek o szerokości ok. 3 cm (rys. B).
4. Za pomocą kleju i paska kartonu umocuj kawałek płyty naprzeciwko okienka wyciętego w bocznej ścianie pudełka (rys. C).
5. Na odcięte denko załóż folię aluminiową (uważaj, aby jej nie pognieść) i ostrym nożykiem delikatnie wykonaj w niej wąskie nacięcie (rys. D).

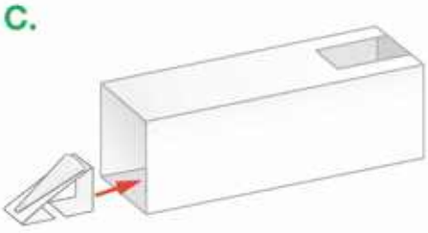
A.



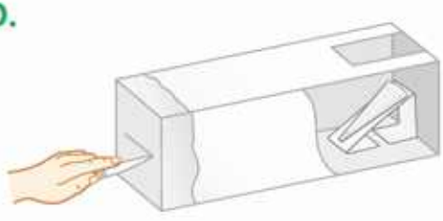
B.



C.



D.



Zadania i polecenia

1. Spektroskop wykonany według powyższej instrukcji ustaw szczeliną w kierunku źródła światła i zajrzyj do okienka, a zobaczysz widmo światła. Oko trzeba przyłożyć do okienka tak, aby do wnętrza przyrządu nie dostawało się światło z zewnątrz. Możesz także nakryć głowę ciemną tkaniną, jak robili XIX-wieczni fotografowie. Spod tkaniny powinna wystawać tylko część spektroskopu ze szczeliną.
2. Za pomocą spektroskopu zbadaj widma światła z różnych źródeł. Opisz swoje obserwacje jak najdokładniej (możesz np. podać liczbę prążków o różnych barwach w widmie świetlówki).

Uwaga. Nie patrz za pomocą spektroskopu (ani żadnych innych przyrządów) na Słońce – możesz stracić wzrok! Widmo Słońca można obserwować na ekranie. Zastanów się, jak wykorzystać cień spektroskopu, aby ustawić go szczeliną w stronę Słońca.



11 Fizyka jądrowa. Gwiazdy i Wszechświat

Oglądamy je na niebie jako ledwie widoczne plamki.
A przecież każda z galaktyk składa się z miliardów gwiazd.
Czy wiesz, dlaczego gwiazdy świecą?

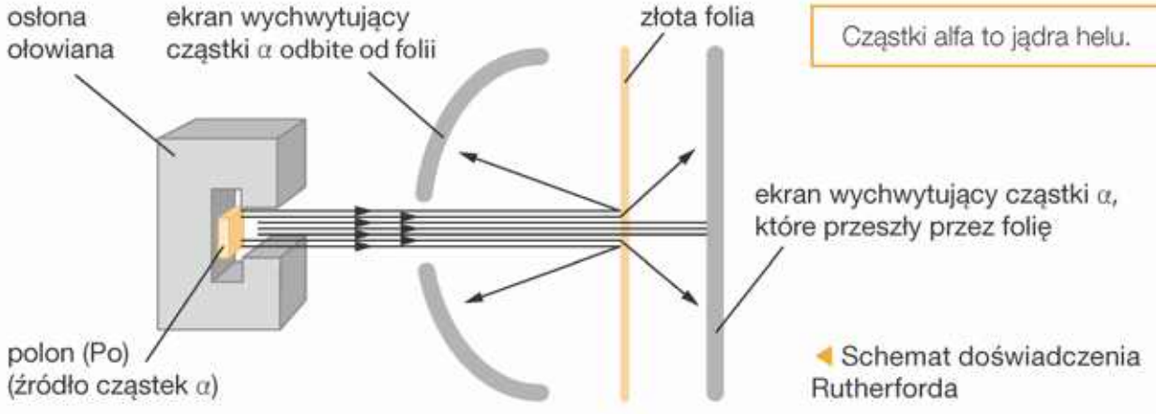
36. Budowa jądra atomowego

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak jest zbudowane jądro atomowe i jak je odkryto.
- Nauczysz się rozpoznawać poszczególne pierwiastki na podstawie budowy ich atomów.

Odkrycie jądra atomowego

Strukturę atomu pozwoliło nam poznać doświadczenie, które w 1911 r. opisał Ernest Rutherford (czyt. radeford). Badał w nim odchylenie toru posiadających dodatni ładunek jąder helu, zwanych także cząstkami alfa, podczas bombardowania nimi bardzo cienkiej złotej folii. Poniżej widzisz schemat tego doświadczenia.



Cząstki alfa to jądra helu.

◀ Schemat doświadczenia Rutherforda

Większość cząstek alfa przechodziła przez folię bez zmiany kierunku, czyli atom musiał być w większości pusty. Jednak część cząstek odchylała się od swojego toru ruchu, a niektóre – odbijały się pod kątem niemal 180°. Jak wspominał Rutherford, „to było tak, jakby piętnastocalowy pocisk wystrzelony w kawałek bibułki odbił się od niej i trafił w strzelającego". Takie odchylenie wskazywało, że cząstki te musiały napotkać na swojej drodze duży ładunek skupiony w bardzo małej objętości. Rutherford założył,

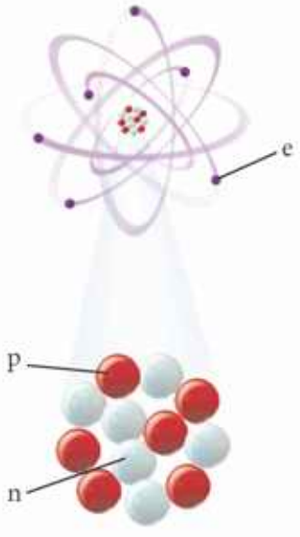
że był to ładunek dodatni (potwierdziły to późniejsze doświadczenia). Obszar, w którym się on znajduje, nazwano jądrem atomowym.

Średnica atomu węgla ^{12}C to $1{,}4 \cdot 10^{-10}$ m, a jego jądra to ok. $5{,}5 \cdot 10^{-15}$ m, czyli 25 500 razy mniej.

Budowa jądra atomowego

W poprzednim rozdziale mówiliśmy już o budowie atomu. Skupiliśmy się wówczas na elektronach poruszających się wokół jądra i na tym, jak podczas zmiany orbity emitują lub pochłaniają (absorbują) one światło. O jądrze powiedzieliśmy tylko tyle, że składa się z protonów i neutronów. Te dwa rodzaje cząstek nazywamy łącznie **nukleonami**. W tym rozdziale dokładniej omówimy samo jądro atomowe oraz przemiany jądrowe, w których ulega ono zmianom. Dzięki temu będziemy mogli wyjaśnić sposób działania elektrowni jądrowych i zastosowania fizyki jądrowej w medycynie. Poznanie właściwości materii w tak małej skali pozwoli nam także zrozumieć procesy zachodzące w skali astronomicznej.

Protony, neutrony i elektrony we wszystkich atomach są identyczne. Atomy różnych pierwiastków różnią się między sobą liczbą poszczególnych składników. Na przykład najczęściej występujący atom sodu ma 11 protonów, 12 neutronów i 11 elektronów, a najczęściej występujący atom złota ma 79 protonów, 118 neutronów i 79 elektronów.



▲ Model atomu węgla i jego jądra, oznaczenia: e – elektron, p – proton, n – neutron

W każdym niezjonizowanym atomie liczba elektronów poruszających się wokół jądra jest taka sama jak liczba protonów w jądrze.

Dzięki temu atom jako całość jest obojętny elektrycznie.

Siły przyciągania jądrowego

Protony w jądrze odpychają się siłami elektrostatycznymi, gdyż wszystkie mają ładunek dodatni. Dlaczego zatem jądro się nie rozpada? Otóż między nukleonami działają jeszcze **siły przyciągania jądrowego**. Działają one na bardzo małą odległość – praktycznie tylko między sąsiednimi nukleonami – i równoważą oddziaływania elektrostatyczne.

Izotopy

Gdybyśmy mogli spojrzeć na atomy przez mikroskop o dostatecznie dużym powiększeniu i policzyć protony w jądrze, rozpoznalibyśmy, jaki pierwiastek obserwujemy. Na przykład jądro wodoru zawiera tylko jeden proton, jądro żelaza – 26 protonów, a jądro uranu – aż 92 protony. Czy wszystkie jądra danego pierwiastka są identyczne? Niekoniecznie. Mogą się różnić liczbą neutronów. Takie odmiany atomów tego samego pierwiastka nazywamy **izotopami**.

Izotopy wodoru

Na ilustracjach przedstawiono schematycznie trzy izotopy wodoru: na czerwono zaznaczono proton, na fioletowo – elektron, a neutrony zostały zaznaczone na biało.

Jądro najczęściej występującego izotopu wodoru to pojedynczy proton (taki wodór nosi nazwę prot, rys. A). Jednak atomy wodoru mogą mieć w jądrze dodatkowo jeden neutron (taki wodór nazywa się deuter, rys. B) lub dwa neutrony (taki wodór to tryt, rys. C). Elektronów w atomie jest zawsze tyle samo, ile protonów, czyli w przypadku wodoru – jeden.

A. prot



B. deuter



C. tryt



Poszczególne **izotopy danego pierwiastka** mają tę samą liczbę protonów w jądrze, ale różnią się liczbą neutronów.

Izotopy tego samego pierwiastka mają jednakowe właściwości chemiczne, ponieważ wynikają one z oddziaływań elektronów. Na przykład każdy z przedstawionych wyżej izotopów wodoru może łączyć się z tlenem i tworzyć wodę. W wodzie z kranu w każdym milionie atomów wodoru znajduje się ok. 156 atomów deuteru.

Symbole izotopów

Aby dokładnie określić skład jądra atomowego, podajemy symbol chemiczny pierwiastka, a obok niego dwie liczby: **liczbę atomową**, informującą o tym, ile protonów zawiera jądro, oraz **liczbę masową**, określającą łączną liczbę protonów i neutronów, np.:

liczba masowa

$^{3}_{1}\mathrm{H}$

liczba atomowa

Trzy atomy wodoru przedstawione w ramce powyżej mają odpowiednio symbole: $^{1}_{1}\mathrm{H}$ (prot), $^{2}_{1}\mathrm{H}$ (deuter), $^{3}_{1}\mathrm{H}$ (tryt).

Liczby atomowe i masowe wybranych pierwiastków znajdziesz w tabeli na końcu podręcznika. Liczbę atomową pierwiastka można odczytać także z układu okresowego.

Liczba atomowa oznacza liczbę protonów w jądrze. Liczba masowa – łączną liczbę protonów i neutronów.

A.



$^{12}_{6}\mathrm{C}$

B.



$^{14}_{6}\mathrm{C}$

▲ Jądra atomów węgla: **A.** najczęściej występującego izotopu węgla $^{12}_{6}\mathrm{C}$ (6 protonów i 6 neutronów), **B.** rzadziej występującego izotopu $^{14}_{6}\mathrm{C}$ z dwoma dodatkowymi neutronami (6 protonów i 8 neutronów)

Ponieważ wszystkie izotopy danego pierwiastka mają tę samą liczbę atomową, czasami podaje się tylko liczbę masową. Na przykład deuter określamy jako $^{2}\mathrm{H}$ albo wodór-2.

Przeanalizuj poniższe przykłady, aby utrwalić sobie sposób odczytywania informacji o jądrze atomowym.

Przykład 1

Izotop azotu

W skład jądra jednego z izotopów azotu wchodzi 7 protonów i 8 neutronów. Zapisz jego symbol.

Rozwiązanie: Liczba atomowa tego izotopu to 7 (tyle protonów jest w jądrze tego izotopu). Jego liczba masowa jest równa łącznej liczbie protonów i neutronów, wynosi zatem:

$$7 + 8 = 15$$

Odpowiedź: Symbol tego izotopu azotu to $^{15}_{7}\mathrm{N}$.

Przykład 2

Izotop uranu

Najczęściej spotykany izotop uranu oznaczamy symbolem $^{238}_{92}\mathrm{U}$. Ile neutronów zawiera jego jądro?

Rozwiązanie: Przedstawiony w treści zadania zapis oznacza, że liczba atomowa tego izotopu uranu jest równa 92, a jego liczba masowa to 238. W jądrze znajdują się zatem 92 protony, a protonów i neutronów jest łącznie 238. Liczba neutronów wynosi więc:

$$238 - 92 = 146$$

Odpowiedź: Jądro tego izotopu uranu zawiera 146 neutronów.

A.



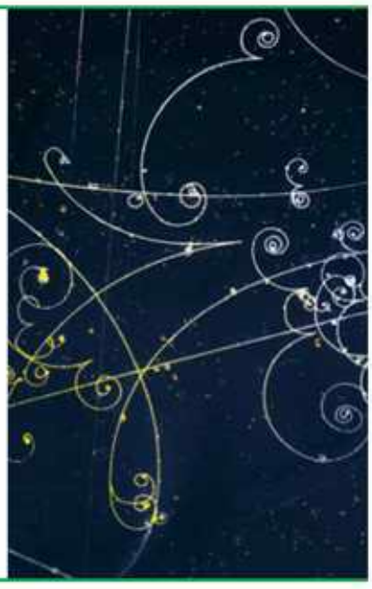
B.



▲ Liczbę atomową można odczytać z układu okresowego: **A.** dla azotu wynosi 7, **B.** dla uranu to 92

A to ciekawe

Proton, neutron i elektron (podobnie jak inne cząstki, o których tu nie mówimy) mają swoje antycząstki, czyli cząstki do nich podobne, o takiej samej masie, ale przeciwnym ładunku, o ile cząstka jest naładowana. Takie dwie cząstki mogą powstać z fotonu – mówimy wtedy o kreacji (patrz zdjęcie). Obecnie w laboratoriach fizycy wytwarzają antyatomy wodoru, w których wokół antyprotonu krąży antyelektron. Bada się też zbudowane z antyprotonów i antyneutronów jądra antyhelu. Przechowywanie antymaterii nie jest łatwe, ponieważ zderzenie antyatomu ze zwykłym atomem powoduje zniknięcie obu tych obiektów (anihilację) i wytworzenie olbrzymiej ilości energii, najczęściej w postaci wysokoenergetycznych fotonów. Na szczęście we Wszechświecie antymaterii jest bardzo mało.



To najważniejsze

- Jądro atomowe składa się z **protonów** i **neutronów**. Jądro otaczają **elektrony**, których liczba jest równa liczbie protonów w jądrze.
- Atomy tego samego pierwiastka mają tyle samo protonów w jądrze, ale mogą się różnić liczbą neutronów. Mówimy wówczas o różnych **izotopach** tego samego pierwiastka.
- **Liczba atomowa** jest równa liczbie protonów w jądrze, a **liczba masowa** to łączna liczba protonów i neutronów.
- W jądrze między nukleonami działają **siły przyciągania jądrowego**. Równoważą one odpychające siły elektrostatyczne działające między protonami.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Znajdź w układzie okresowym pierwiastek, którego:

   a) jądro zawiera 5 protonów i 5 neutronów,

   b) liczba atomowa wynosi 12,

   c) liczba masowa wynosi 250, a jądro zawiera 154 neutronów.

2. Na rysunkach kolorem czerwonym oznaczono protony, a białym – neutrony. Zapisz symbole zilustrowanych izotopów. Podaj nazwy pierwiastków.

   a) b) c)



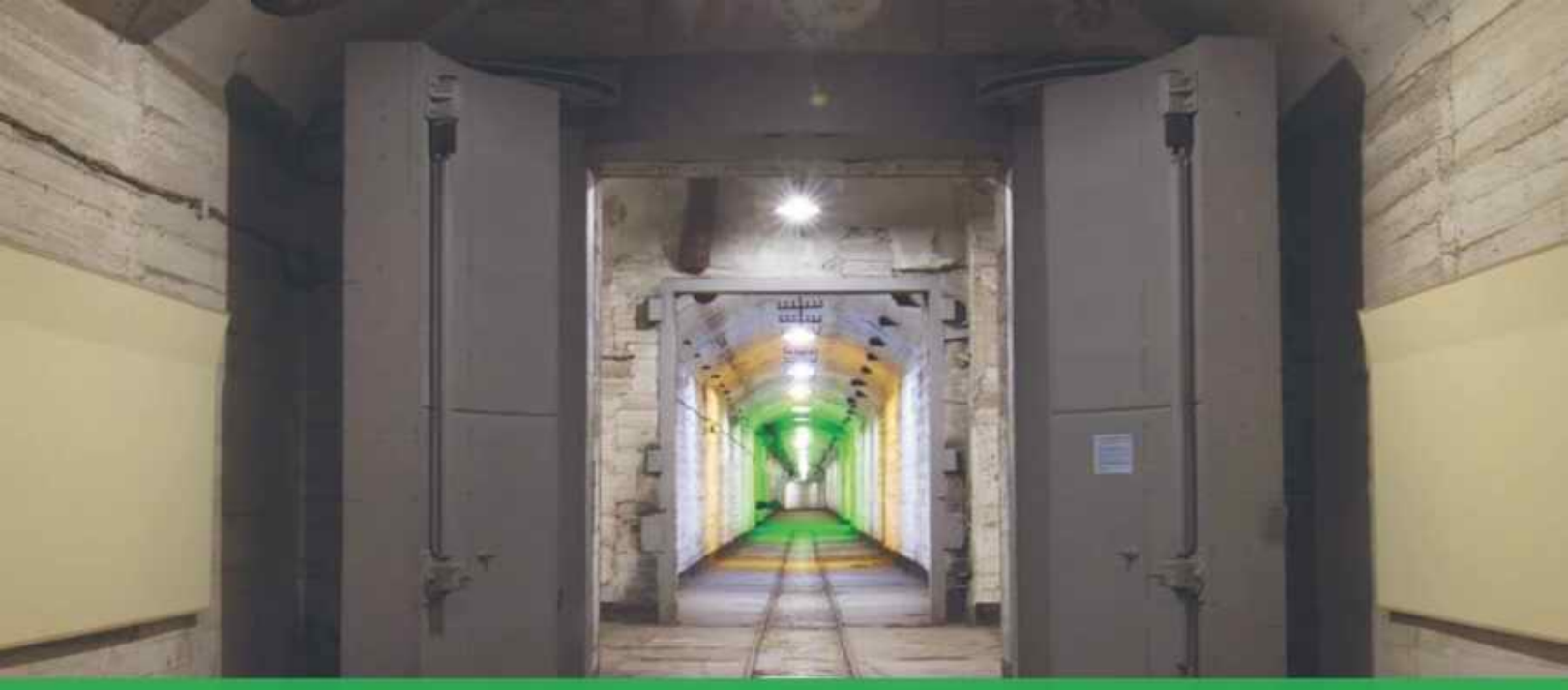
3. Narysuj schematycznie jądra izotopów litu o liczbie masowej 6 i 7. Zapisz ich symbole.

4. Ile neutronów jest w jądrze podanego izotopu?

   a) $^{14}_{7}\mathrm{N}$ b) $^{56}_{26}\mathrm{Fe}$ c) $^{4}_{2}\mathrm{He}$

5. Czy niezjonizowane atomy różnych izotopów tego samego pierwiastka mogą się różnić liczbą elektronów? Dlaczego?

6. Czy jądra różnych pierwiastków mogą mieć jednakową liczbę masową? Jeśli nie – wyjaśnij dlaczego, jeśli tak – podaj przykłady.



37. Promieniowanie jądrowe

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jakie znamy rodzaje promieniowania.
- Poznasz sposoby ochrony przed jego poszczególnymi rodzajami.

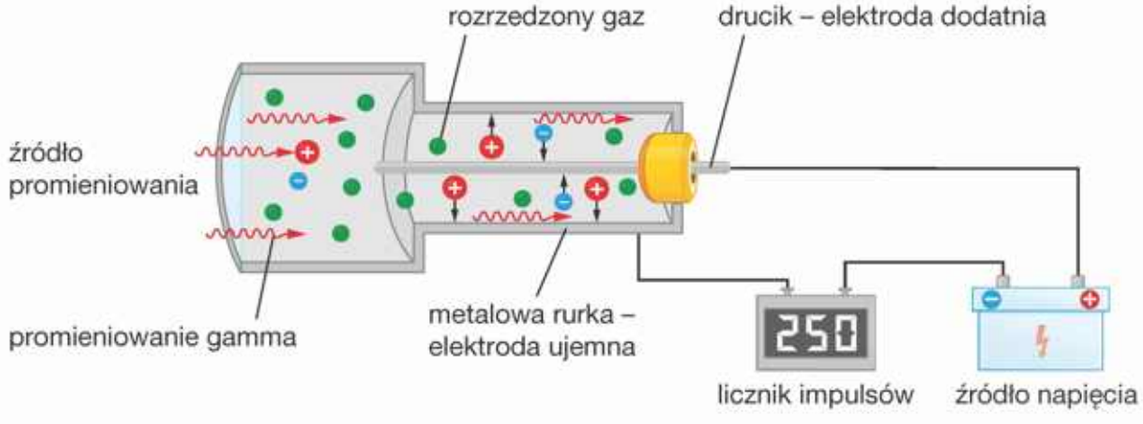
Przemiany jądrowe

Wiesz już, że istnieją różne izotopy tego samego pierwiastka. Większość jąder izotopów w materii wokół nas jest trwała, ale są też takie, które samorzutnie się rozpadają i przekształcają w jądra innych pierwiastków. Na kolejnych lekcjach dowiesz się, kiedy jest to możliwe.

Podczas takich samorzutnych przemian jądrowych jest emitowane **promieniowanie**. Zjawisko polegające na samorzutnym rozpadzie jąder izotopów z jednoczesnym wysłaniem promieniowania nazywa się **promieniotwórczością naturalną**.

Wykrywanie promieniowania jądrowego

Do wykrywania i pomiaru promieniowania służy m.in. licznik Geigera–Müllera (patrz rys. poniżej).



▲ Schemat licznika Geigera–Müllera

Licznik tworzy szklana bańka wypełniona rozrzedzonym gazem, wewnątrz której znajdują się elektrody: ujemna w postaci metalowej rurki oraz dodatnia w postaci drucika. Do elektrod jest stale przyłożone wysokie napięcie. Gdy do szklanej bańki wpadnie cząstka promieniowania, jonizuje ona atomy gazu i umożliwia wyładowanie – przepływ prądu między elektrodami. Dzięki zliczaniu wyładowań jesteśmy w stanie oszacować liczbę cząstek trafiających w licznik, czyli ocenić, jak silne jest promieniowanie.

Jonizacja polega na wyrwaniu jednego lub więcej elektronów z atomu. W ten sposób atomy rozpadają się na naładowane dodatnio jony i naładowane ujemnie elektrony.

Doświadczenie 26.

Promieniotwórczość wokół nas

1. Dowiedz się, czy w wyposażeniu szkolnej pracowni fizycznej znajduje się licznik Geigera–Müllera.
2. Przygotuj licznik Geigera–Müllera, różne substancje, np. skałę, sól, warzywa, suszone grzyby, orzeszki brazylijskie (chodzi o gatunek orzeszków, a nie kraj pochodzenia), wodę.
3. Po włączeniu licznika ustaw jego zakres tak, aby reagował nawet nieprzyłożony do żadnych próbek.
4. Sprawdź, jak zachowuje się licznik zbliżony do różnych substancji, które przygotowałeś, oraz do ścian, a także do ciała człowieka. Co zauważasz?



Dzięki temu doświadczeniu można się przekonać, że z promieniowaniem mamy do czynienia stale, gdyż wiele otaczających nas substancji promieniuje. Dociera do nas również promieniowanie kosmiczne.

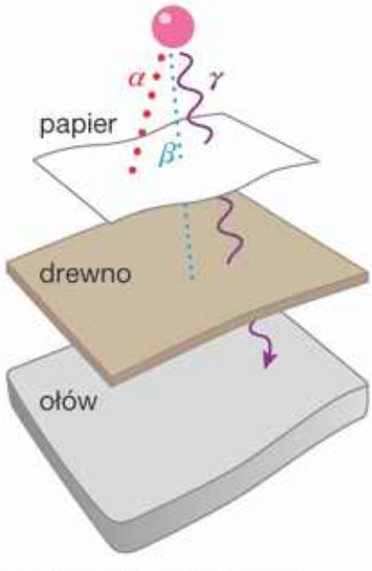
Promieniowanie alfa, beta, gamma

Omówimy trzy rodzaje promieniowania jądrowego. Oznaczamy je kolejnymi literami alfabetu greckiego: α – alfa, β – beta oraz γ – gamma.

▸ **Promieniowanie alfa** (α)

Jest to strumień cząstek złożonych z dwóch protonów i dwóch neutronów, czyli jąder helu ($^4_2\mathrm{He}$). Każda cząstka alfa jest naładowana dodatnio. Promieniowanie α w powietrzu może przebyć kilka centymetrów, a w tkance – jedynie ułamek milimetra. Zatrzymuje się nawet na kartce papieru. Mówimy, że jest mało przenikliwe lub że jest bardzo silnie pochłaniane przez materię.

Promieniowanie alfa (α) to strumień cząstek zbudowanych z 2 protonów i 2 neutronów, czyli jąder helu. Jest to promieniowanie mało przenikliwe.



▲ Zasięg promieniowania alfa, beta i gamma

Niewidzialne promieniowanie

W 1896 r. francuski naukowiec Henri Becquerel (czyt. anri bekerel) w trakcie badań nad fluorescencją, czyli samoistnym świeceniem ciała wcześniej oświetlonego, odkrył zjawisko promieniotwórczości. Umieścił próbkę naświetlanego na słońcu uranu w pobliżu kliszy fotograficznej. Gdy ją wywołał, okazało się, że jest naświetlona. Becquerel początkowo błędnie przypisał ten efekt zjawisku fluorescencji. Później jednak odkrył, że klisza zostaje naświetlona również w obecności uranu, który nie był wcześniej wystawiony na działanie słońca. Jak to możliwe? Badacz uznał, że uran promieniuje samorzutnie.

Wkrótce tajemniczym zjawiskiem zainteresowała się Maria Skłodowska-Curie, do której z czasem dołączył jej mąż Piotr Curie. Uczeni postanowili sprawdzić, czy promieniowanie próbek jest proporcjonalne do zawartości uranu. Jak się okazało, wcale tak nie było. Niektóre rudy uranu okazały się znacznie bardziej aktywne, choć były w ten pierwiastek uboższe. Co więcej, jeden z badanych minerałów – chalkolit, odtworzony w laboratorium na drodze sztucznej syntezy z uranu, fosforu i miedzi, promieniował znacznie słabiej niż chalkolit z kopalni.

Państwo Curie doszli do wniosku, że za promieniowanie naturalnego chalkolitu musi odpowiadać inny, nieznany dotąd pierwiastek, który nazwali polonem. Wkrótce odkryli kolejny pierwiastek promieniotwórczy: rad. Stwierdzili też, że promieniowanie obu odkrytych pierwiastków nie tylko zaczernia kliszę fotograficzną, lecz także rozładowuje elektroskop i ulega odchyleniu w polu elektrycznym.

W 1903 r. Becquerel i małżonkowie Curie otrzymali Nagrodę Nobla za badania nad zjawiskiem promieniotwórczości naturalnej. A w 1911 r. Maria Skłodowska-Curie otrzymała drugą Nagrodę Nobla za odkrycie polonu, radu oraz wyodrębnienie czystego radu.

Henri Becquerel



Henri Becquerel (1852–1908) pochodził z rodziny o tradycjach naukowych. Jego dziadek i ojciec także byli fizykami i szczycili się dużymi osiągnięciami. Dziadek – Antoni Becquerel odkrył efekt fotowoltaiczny, natomiast ojciec – Aleksander Becquerel jako pierwszy zmierzył temperaturę za pomocą ogniwa termoelektrycznego.

Maria Skłodowska-Curie



Maria Skłodowska-Curie (1867–1934) w 1891 r. wyjechała na studia do Francji. Pozostała w pamięci zarówno ze względu na dwie Nagrody Nobla, jak i dzięki organizacji opieki medycznej dla żołnierzy podczas I wojny światowej. Auta wyposażone przez nią w aparaty rentgenowskie nazywano „małymi Curie".

Pierre Curie



Pierre Curie (1859–1906) był fizykiem, badaczem własności elektrycznych i magnetycznych materii, a później również zjawisk promieniotwórczości. Małżonkowie Curie byli nie tylko zgranym zespołem badaczy materii, lecz także parą zapalonych rowerzystów – rowerami wybrali się nawet w swoją podróż poślubną.

Promieniowanie beta (β)

Stanowi je strumień szybko poruszających się elektronów. Promieniowanie to jest nieco bardziej przenikliwe od α – może przebyć w powietrzu nawet kilka metrów, a w materii (np. w naszym ciele) do kilku milimetrów. Aby się od niego odgrodzić, wystarczy cienka osłona, np. z drewna (patrz rys. na s. 244).

> Promieniowanie beta (β) to strumień szybko poruszających się elektronów. Jest bardziej przenikliwe od promieniowania alfa.

Promieniowanie gamma (γ)

O tym promieniowaniu wspominaliśmy już w rozdziale „Drgania i fale". Jest to rodzaj fal elektromagnetycznych o bardzo małej długości fali i bardzo wysokiej częstotliwości. Teraz możesz wnioskować, że składa się ono z fotonów o bardzo wysokiej energii. Jest to najbardziej przenikliwy rodzaj promieniowania. Aby się przed nim osłonić, potrzeba grubej tarczy, np. ołowianej lub betonowej.

> Promieniowanie gamma (γ) jest falą elektromagnetyczną, czyli strumieniem fotonów. Jest bardzo przenikliwe.

Wykorzystanie promieniowania jądrowego

Promieniowanie jądrowe znalazło zastosowanie w wielu dziedzinach. Wymienimy je teraz krótko, a do niektórych spośród podanych przykładów wrócimy później.

Wiele izotopów promieniotwórczych wykorzystujemy w przemyśle. Wysyłanym przez nie promieniowaniem prześwietla się różne substancje i uwydatnia ich strukturę, dzięki czemu można wykryć różnego rodzaju defekty. Niektóre izotopy radioaktywne są stosowane w detektorach przeciwpożarowych.

W rolnictwie i przetwórstwie żywności promieniowanie służy m.in. do sterylizacji żywności. Jest ona naświetlana taką dawką promieniowania, aby bakterie zostały zniszczone, ale sama żywność nie stała się promieniotwórcza.

Promieniowanie wykorzystuje się również w medycynie zarówno do diagnostyki, jak i do zwalczania komórek nowotworowych (radioterapii). Do wszystkich tych celów często używa się promieniowania gamma. Nie zawsze jego źródłem są procesy rozpadu promieniotwórczego – do wielu zastosowań wygodniej jest je produkować w akceleratorach.

W nauce również korzystamy z właściwości substancji promieniotwórczych – robią to np. archeolodzy i geolodzy, datujący za ich pomocą badane obiekty.

Zasilane energią rozpadu promieniotwórczego sondy kosmiczne badają dalekie rubieże Układu Słonecznego.



▲ Czujnik dymu wykorzystujący izotop promieniotwórczy



▲ Oznaczenie żywności, której przydatność do spożycia została przedłużona dzięki napromieniowaniu. Najczęściej wykorzystuje się w tym celu promieniotwórczy kobalt-60 i cez-137

To najważniejsze

- Niektóre izotopy emitują **promieniowanie jądrowe**.
- Ważnymi formami promieniowania jądrowego są: **alfa** (jądra helu), **beta** (elektrony) i **gamma** (fale elektromagnetyczne).
- Promieniowanie **alfa** jest najmniej przenikliwe – można je zatrzymać nawet kartką papieru.
- Promieniowanie **beta** jest bardziej przenikliwe niż promieniowanie alfa. W powietrzu może przebyć kilka metrów.
- Promieniowanie **gamma** jest najbardziej przenikliwe. Osłony przed tym rodzajem promieniowania wykonuje się m.in. z ołowiu i betonu.
- Promieniowanie jądrowe jest wykorzystywane w wielu dziedzinach życia, m.in. w przemyśle, medycynie i energetyce.

Pytania i zadania

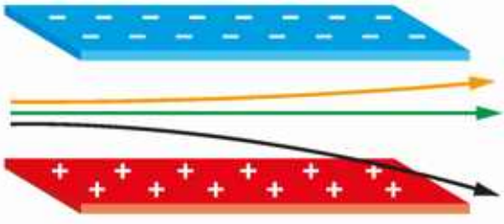
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Jakim rodzajem promieniowania jest strumień:

a) jąder helu?

b) szybko poruszających się elektronów?

2. Kolorowe strzałki przedstawiają tory ruchu cząstek, które powstały w wyniku przemian jądrowych i poruszają się między naładowanymi elektrycznie płytami. Jakim rodzajom promieniowania (alfa, beta, gamma) odpowiadają poszczególne tory?



3. Który z rodzajów promieniowania jest najbardziej podobny do światła widzialnego? Na czym polega różnica między tym promieniowaniem a światłem?

4. Jakie rodzaje promieniowania oznaczono schematycznie poszczególnymi kolorami na fotografii?





38. Wpływ promieniowania na materię i organizmy

Cele lekcji:

- Poznasz pojęcia: *promieniowanie jonizujące* i *promieniowanie niejonizujące*.
- Dowiesz się, jak promieniowanie jonizujące wpływa na organizmy żywe.
- Poznasz zastosowanie promieniowania w medycynie.

Promieniowanie jonizujące i niejonizujące

Promieniowanie jądrowe to rodzaj **promieniowania jonizującego**, czyli takiego, które jest w stanie oderwać jeden lub więcej elektronów od atomu.

> Promieniowanie jonizujące powoduje jonizację materii, czyli wybijanie elektronów z atomów.



▲ Promieniowanie kosmiczne odkryto w 1912 r. podczas pomiarów wykonywanych z balonów

Oprócz promieniowania jądrowego do promieniowania jonizującego zaliczamy np. promieniowanie rentgenowskie, a także znaczną część promieniowania kosmicznego. Promieniowanie kosmiczne składa się z rozpędzonych protonów, cząstek alfa i elektronów oraz wysokoenergetycznego promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez Słońce i inne obiekty astronomiczne. Przed jego wpływem częściowo chroni nas pole magnetyczne i atmosfera Ziemi.

Z kolei promieniowanie o energii zbyt niskiej, aby jonizować atomy, nazywamy **promieniowaniem niejonizującym**. Przykładami są fale radiowe, światło i mikrofale.

> Promieniowanie niejonizujące nie powoduje dużych zmian w materii, na którą pada, choć może podgrzewać substancje, na które oddziałuje, a także wywoływać reakcje chemiczne, np. fotosyntezę.

Promieniowanie jonizujące a materia

Skutki oddziaływania promieniowania jonizującego na substancje, na które pada, zależą od rodzaju promieniowania.

- Promieniowanie alfa i beta może wywołać przemianę jądrową – zmienić atom w inny pierwiastek lub izotop.
- Może też sprawić, że napromieniowane atomy same staną się promieniotwórcze.
- Pod wpływem promieniowania jonizującego doraźnie obniża się opór elektryczny w urządzeniach elektrycznych i elektronicznych, co może prowadzić do ich uszkodzeń.
- Takie promieniowanie może też rozbijać cząsteczki związków chemicznych i zmieniać przebieg reakcji chemicznych.

Promieniowanie jonizujące a nasze zdrowie

Czy powinniśmy się obawiać promieniowania jonizującego, a w szczególności promieniowania jądrowego? To w znacznym stopniu zależy od jego **dawki** (patrz infografika na s. 250). Jak sprawdziliśmy w trakcie doświadczenia 26. na poprzedniej lekcji, w naszym otoczeniu stale znajduje się niewielka ilość substancji promieniotwórczych, które nieustannie wysyłają pewne niewielkie promieniowanie. Również my sami jesteśmy jego źródłem. Emituje je np. jeden z izotopów potasu ($^{40}_{19}K$), wchodzący w skład naszych kości. Takie naturalne dawki promieniowania nie szkodzą zdrowiu. Z niektórych badań wynika nawet, że są dla ludzkiego organizmu korzystne.



▲ W irańskim mieście Ramsar promieniotwórczość naturalna jest wielokrotnie większa niż w Polsce, ale nie obserwuje się negatywnych skutków tego zjawiska

> Słabe promieniowanie, jakie stale nas otacza, nie jest szkodliwe dla zdrowia.

Sytuacja wygląda inaczej, gdy człowiek ma kontakt z dużą ilością substancji promieniotwórczych lub jest narażony na silne promieniowanie, np. po awarii reaktora jądrowego lub wybuchu bomby atomowej.

Silne promieniowanie uszkadza lub zabija żywe komórki, a wystawiony na nie organizm zapada na **chorobę popromienną**. Skutek napromieniowania zależy m.in. od ilości oraz rodzaju pochłoniętego promieniowania (czy jest to promieniowanie α, β czy γ).

Niebezpieczna dla zdrowia może być również sytuacja, gdy substancja promieniotwórcza dostanie się do wnętrza organizmu, np. z pożywieniem. Skutki takiego promieniowania są różne w zależności od rodzaju napromieniowanej tkanki. Wśród osób, które zostały silnie napromieniowane, znacznie częściej zdarzają się przypadki zachorowań na nowotwory.



▲ Substancje promieniotwórcze są oznaczone charakterystycznym znakiem

> Silne promieniowanie może wywołać chorobę popromienną, a nawet doprowadzić do śmierci.

Dawki promieniowania

Bezpieczne czy groźne? Dokładniejsza analiza pochłanianych przez nas dawek promieniowania przynosi zaskakujące dla wielu osób wyniki. Jak sądzisz, czy większą dawkę promieniowania pochłania osoba przebywająca w pobliżu elektrowni jądrowej czy paląca papierosy?

SIWERT (Sv)
jednostka dawki pochłoniętego promieniowania z uwzględnieniem rodzaju tego promieniowania oraz skutków jego działania na organizm.



Rentgen stomatologiczny — 0,005 mSv



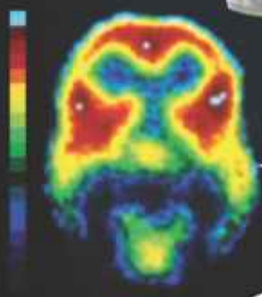
Roczna dawka pochłonięta przez mieszkańca okolic elektrowni jądrowej — 0,01 mSv



Dawka otrzymana rocznie wskutek spania obok innego człowieka przez 8 godzin na dobę ($^{40}_{19}K$) — 0,02 mSv



Dawka otrzymana rocznie wskutek palenia 30 papierosów dziennie ($^{210}_{82}Pb$ i $^{210}_{84}Po$) — od 0,06 do 0,16 mSv



Tomografia komputerowa głowy — od 0,8 do 5 mSv



Promieniowanie naturalne – średnia dawka roczna — 2–3 mSv



Promieniowanie naturalne w irańskim mieście Ramsar – średnio rocznie — 260 mSv



Astronauta w przestrzeni międzyplanetarnej – średnio rocznie — 400 mSv

A to ciekawe

Izotopy promieniotwórcze wykorzystujemy do budowy **baterii jądrowych** – wprawdzie o małej mocy, ale za to o długim czasie pracy. W najprostszej takiej baterii jest umieszczony izotop promieniotwórczy, stanowiący jedną elektrodę, oraz odizolowana od niego druga elektroda. Izotop podczas rozpadu emituje promieniowanie β, które jest wychwytywane przez przeciwległą elektrodę. Elektroda z radioizotopem uzyskuje ładunek elektryczny dodatni, a druga – ładunek ujemny. Dzięki temu może przepłynąć prąd.
Innym zastosowaniem energii rozpadu promieniotwórczego są radioizotopowe generatory termoelektryczne, które zmieniają ciepło powstałe podczas rozpadu pierwiastka radioaktywnego na energię elektryczną. Są one źródłem energii dla wielu sond kosmicznych i łazików marsjańskich (na zdjęciu).



Korzystne promienie

Zdolność promieniowania do niszczenia żywych komórek wykorzystujemy zarówno w diagnostyce, jak i w leczeniu chorób nowotworowych. W wielu terapiach stosuje się naświetlania, a nawet podaje doustnie lub wstrzykuje pierwiastki promieniotwórcze. Pod wpływem promieniowania najszybciej giną dzielące się młode komórki – a takie zwykle są komórki rakowe.
Wiedza na temat właściwości danej tkanki nowotworowej pozwala przewidzieć, jaki pierwiastek będzie ona wchłaniać. Do leczenia używa się wówczas promieniotwórczego izotopu tego pierwiastka, który dociera do chorej tkanki i ułatwia odnalezienie ognisk choroby lub powoduje ich zniszczenie (patrz ramka poniżej).

Promieniotwórczość w diagnostyce medycznej

Podczas podawania pacjentce izotopu promieniotwórczego pielęgniarka ma założony ołowiany fartuch ochronny, a strzykawka znajduje się w osłonie (zdjęcie A). Urządzenie rejestrujące promieniowanie jądrowe, gamma-kamera, pozwala sprawdzić, czy w organizmie są zmiany nowotworowe (zdjęcie B). Ciemne plamy na zdjęciu C to obszary, w których zgromadził się izotop, a więc potencjalne ogniska chorobowe.

A.



B.



C.



To najważniejsze

- **Silne promieniowanie jonizujące** jest szkodliwe dla zdrowia i może być przyczyną powstawania nowotworów.
- Takie promieniowanie może też rozbijać cząsteczki związków chemicznych i zmieniać przebieg reakcji chemicznych.
- **Z niewielkimi ilościami promieniowania jonizującego** mamy do czynienia stale, ale w małych dawkach nie jest ono szkodliwe.
- Wiele rodzajów promieniowania jądrowego jest wykorzystywane w medycynie, zarówno do diagnostyki, jak i do leczenia chorób nowotworowych.
- Mikrofale (z kuchenki, wi-fi czy telefonu) nie należą do promieniowania jonizującego.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Przeczytaj artykuł ze strony http://ncbj.edu.pl/zasoby/wyklady/ld_stud_podypl/05_zastosowania.pdf. Wybierz z niego trzy najciekawsze twoim zdaniem zastosowania promieniowania jądrowego i krótko opisz je swoimi słowami.

2. Na podstawie infografiki na s. 250 oceń, ile papierosów trzeba wypalić w ciągu roku, aby pochłonięta wskutek tego dawka promieniowania była taka sama jak dawka pochłonięta przez mieszkańca okolic elektrowni jądrowej.

3. Wskaż zdania prawdziwe.

   A. Promieniowanie zawsze jest szkodliwe dla zdrowia.

   B. Szkodliwe są tylko niektóre rodzaje promieniowania.

   C. Szkodliwe są duże dawki promieniowania jądrowego.

4. Jak myślisz, od czego zależy dawka promieniowania kosmicznego pochłonięta przez pasażerów lotów międzykontynentalnych? Dlaczego w badaniach nad tym problemem szczególnie dokładnie przyjrzano się załogom samolotów, których trasy przebiegały nad okolicami biegunów?





39. Reakcje jądrowe

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak powstaje promieniowanie jądrowe.
- Nauczysz się zapisywać reakcje przemian promieniotwórczych.

Skąd się bierze promieniowanie

W lekcji 37. powiedzieliśmy, że niektóre jądra atomowe są trwałe, czyli **stabilne**, a inne samorzutnie przekształcają się w jądra innych pierwiastków i wysyłają przy tym promieniowanie. Te drugie nazywamy jądrami **niestabilnymi**. Przekształcanie się jąder nietrwałych izotopów w jądra innych pierwiastków jest przykładem **przemian jądrowych**, czyli **reakcji jądrowych**. Przemiany te różnią się więc od reakcji chemicznych, w których zmieniają się jedynie połączenia atomów w cząsteczce.

> W reakcji chemicznej jądra atomów się nie zmieniają. Inaczej dzieje się w przypadku reakcji jądrowej, podczas której jądra atomów ulegają przemianom i atomy jednego pierwiastka zmieniają się w atomy innego pierwiastka.

Niektóre jądra atomowe się rozpadają, gdyż są zbyt duże, aby mogły być stabilne. Dzieje się tak ze wszystkimi jądrami mającymi więcej niż 82 protony w jądrze. Przyjrzyjmy się reakcjom jądrowym, w których powstają znane ci z poprzedniej lekcji dwa rodzaje promieniowania: alfa i beta.



▲ Wkrótce po odkryciu radu wykorzystywano go do pokrywania wskazówek zegarków, które dzięki temu świeciły w ciemności

Rozpad alfa (α)

Jedną z przemian jądrowych jest rozpad α, czyli wysłanie przez atom cząstki złożonej z dwóch protonów i dwóch neutronów. Na schemacie na następnej stronie przedstawiono przykładową przemianę tego rodzaju.

uran (92 protony, 146 neutronów) —rozpad α→ tor (90 protonów, 144 neutrony) + cząstka α (jądro helu) (2 protony, 2 neutrony)

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

W wyniku przedstawionej wyżej reakcji powstaje cząstka alfa, dlatego tę reakcję nazywamy **rozpadem alfa** lub **przemianą alfa**.

Zauważ, że liczba protonów po obu stronach równania jest taka sama: 92 = 90 + 2. Podobnie liczba neutronów: 146 = 144 + 2. Z tego wynika, że także liczba masowa po obu stronach równania jest taka sama: 238 = 234 + 4. Jądro uranu rozpadło się na dwie części: jądro toru i cząstkę α.

W rozpadzie alfa jądro dzieli się na dwie części. Produktami rozpadu są jądro innego pierwiastka oraz cząstka alfa (jądro helu).

Rozpad beta (β)

Powiedzieliśmy, że promieniowanie beta to strumień szybko poruszających się elektronów. Ale w jaki sposób z jądra atomowego może wydostać się elektron, skoro w jądrze nie ma elektronów, a jedynie protony i neutrony?

Neutron w pewnych warunkach może zamienić się w proton i elektron. Kiedy to nastąpi, elektron opuszcza jądro, a proton w nim zostaje. Powstający podczas takich reakcji strumień elektronów nazywamy **promieniowaniem β**.

W trakcie rozpadu beta powstaje również dodatkowa cząstka, zwana antyneutrinem elektronowym, jednak jest ona niezwykle trudna do zaobserwowania (największy zbudowany dotychczas detektor neutrin Super Kamiokande przedstawiono na górze s. 186).
Zauważ – skoro jądro otrzymało dodatkowy proton, to zmieniła się liczba atomowa, więc dany atom stał się atomem innego pierwiastka.

A to ciekawe

Choć hel jest bardzo lekki, to wydobywamy go w kopalniach, powstaje on bowiem na skutek rozpadu α izotopów zawartych w skałach.
Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo posiada jedyną w Unii Europejskiej instalację do pozyskiwania helu. Corocznie uzyskuje go ok. 3 mln m^3. Hel przechowuje się w stanie ciekłym w temperaturze poniżej –268°C. Izolacja zbiornika magazynującego musi być bardzo efektywna. Gdyby zamiast helu umieszczono w nim szklankę wrzącej wody, ostygłaby ona w ciągu roku zaledwie o 1°C.



Przykład 1

Rozpad węgla ^{14}C

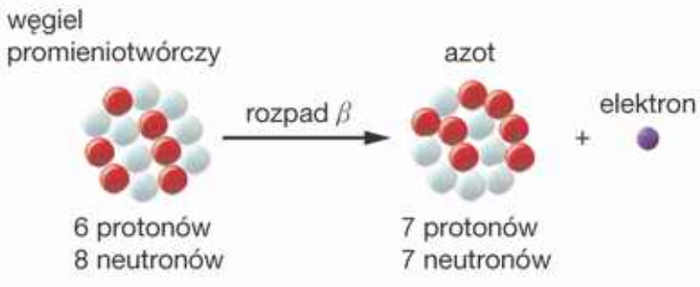
Promieniotwórcze jądro izotopu węgla $^{14}_{6}C$ rozpada się w przemianie beta. Jaki pierwiastek powstaje w wyniku tej przemiany? Zapisz symbol powstałego izotopu.

Rozwiązanie:

Jądro $^{14}_{6}C$ zawiera 6 protonów oraz 14 – 6 = 8 neutronów. Jeden z tych neutronów zamienia się w proton i elektron. Zatem liczba masowa nie ulega zmianie, ale liczba atomowa zwiększa się o 1. Elektron obserwujemy jako promieniowanie beta.

W jądrze pozostaje 7 neutronów i 7 protonów. Liczba protonów inna niż w jądrze węgla oznacza, że powstał inny pierwiastek. Jego liczba atomowa jest równa liczbie protonów, czyli wynosi 7. W układzie okresowym możemy sprawdzić, że tym pierwiastkiem jest azot, którego symbol to N.

Skoro liczba atomowa wynosi 7, a liczba masowa 7 + 7 = 14, to symbol tego izotopu zapiszemy jako $^{14}_{7}N$.



$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + e$$

Odpowiedź: W wyniku przemiany beta z węgla $^{14}_{6}C$ powstaje azot $^{14}_{7}N$.

Zasada zachowania ładunku

W zeszłym roku mówiliśmy o **zasadzie zachowania ładunku elektrycznego**, zgodnie z którą łączny ładunek elektryczny izolowanego układu ciał nie ulega zmianie. W przypadku omawianych wtedy zjawisk, takich jak elektryzowanie ciał czy przepływ prądu elektrycznego, zasada ta była dość oczywista. Skoro nie zmieniała się ani liczba protonów, ani liczba elektronów, to nie zmieniał się również ich łączny ładunek. Jest tak również w przemianie alfa.

Podczas rozpadu beta z jednego neutronu powstają proton i elektron. Zwróć uwagę, że również podczas tej przemiany ładunek został zachowany:

$$\begin{array}{ccccc} 0 & = & +1 & + & (-1) \\ (\text{ładunek} & & (\text{ładunek} & & (\text{ładunek} \\ \text{neutronu}) & = & \text{protonu}) & + & \text{elektronu}) \end{array}$$

Czyli przed rozpadem neutronu ładunek wynosił zero i po jego rozpadzie łączny ładunek także wynosi zero: (+1) + (–1) = 0.

Zasada zachowania liczby nukleonów

W trakcie przemiany α nie zmienia się ani liczba protonów, ani liczba neutronów. W przemianie β zmniejsza się liczba neutronów, ale jednocześnie zwiększa się liczba protonów, więc łączna liczba nukleonów się nie zmienia. Zarówno w przemianie α, jak i β nie zmienia się więc łączna liczba nukleonów. Okazuje się, że jest to ogólna zasada obowiązująca we wszystkich przemianach jądrowych. Nazywamy ją **zasadą zachowania liczby nukleonów**.

> W przemianach jądrowych łączna liczba nukleonów przed reakcją i po reakcji pozostaje taka sama.

Promieniowanie gamma (γ)

W czasie przemiany alfa lub beta razem z cząstkami alfa lub beta z jądra jest emitowane promieniowanie gamma. Może być ono wysyłane również wtedy, gdy w wyniku reakcji jądrowej powstaje nowe jądro, które ma bardzo dużą energię i oddaje ją w postaci fali elektromagnetycznej, czyli fotonów o wysokiej energii. Podczas oddawania tej nadwyżki energii jądro nie ulega dalszej przemianie.

Zasady zachowania i równanie reakcji jądrowej

Liczba atomowa, czyli liczba protonów w jądrze, to jednocześnie ładunek elektryczny jądra (wyrażony w ładunkach elementarnych *e*). Na przykład jądro węgla $^{12}_{6}C$ (albo każdego izotopu węgla) ma 6 protonów w jądrze, a więc ładunek jądra wynosi 6*e*.

Natomiast **liczba masowa** to po prostu liczba nukleonów.

Dlatego elektron oznaczamy $^{0}_{-1}e$. Jego ładunek wynosi $-1 \cdot e$, a liczba nukleonów 0 (ponieważ nie jest nukleonem).

W równaniu reakcji jądrowej powinna się zgadzać zarówno liczba nukleonów, jak i ładunek.

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

$$238 = 234 + 4$$

$$92 = 90 + 2$$

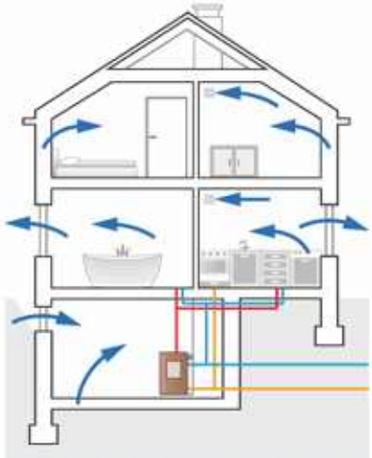
$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$$

$$14 = 14 + 0$$

$$6 = 7 + (-1)$$

A to ciekawe

Promieniotwórczy pierwiastek rad znajduje się w glebie i skałach. Wchodzi też w skład materiałów budowlanych. Opisana w przykładzie 2. na s. 257 przemiana radu w radon zachodzi więc też w ścianach naszych domów. Radon jest pierwiastkiem promieniotwórczym i źródłem największej promieniotwórczości naturalnej. Gaz ten przemieszcza się wewnątrz skał i uwalnia do otoczenia, a także dobrze rozpuszcza w wodzie. Jego zawartość w pomieszczeniach, zwłaszcza w piwnicach, kuchniach i łazienkach, bywa nawet kilkakrotnie większa niż na otwartej przestrzeni. Rozprzestrzenianie się radonu w budynku mieszkalnym przedstawiono na rysunku obok.



Przykład 2

Przemiana radu

Odkryty przez Marię Skłodowską-Curie izotop radu $^{226}_{88}\text{Ra}$ ulega przemianie, w wyniku której powstaje radon $^{222}_{86}\text{Rn}$. Jakiego rodzaju jest to przemiana?

Rozwiązanie:

Informacje o składzie jąder przed reakcją i po niej możemy zapisać w tabeli.

	Przed reakcją	Po reakcji	Zmiana
Liczba atomowa (liczba protonów)	88	86	–2
Liczba neutronów	138	136	–2
Liczba masowa	226	222	–4

Liczbę neutronów obliczyliśmy przez odjęcie liczby atomowej (czyli liczby protonów) od liczby masowej (czyli łącznej liczby protonów i neutronów). Z tabeli możemy odczytać, że z jądra radu ubyły 2 protony i 2 neutrony. Cząstki te tworzą razem cząstkę alfa (jądro helu).

Przemianę radu $^{226}_{88}\text{Ra}$ w radon $^{222}_{86}\text{Rn}$ możemy zapisać następująco:

$$^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^{4}_{2}\text{He}$$

Odpowiedź: Rad $^{226}_{88}\text{Ra}$ ulega przemianie alfa.



▲ Maria Skłodowska-Curie w laboratorium

Jak widzisz, w rozpadzie radu zachodzącym w ścianach naszych domów powstaje nie tylko radon, lecz także hel.

Przykład 3

Rozpad jodu

Izotop jodu $^{131}_{53}\text{I}$ uległ przemianie, w wyniku której powstał ksenon $^{131}_{54}\text{Xe}$. Jakiego rodzaju przemiana zaszła?

Rozwiązanie:

Liczby masowe ksenonu i jodu są takie same, zatem łączna liczba protonów i neutronów się nie zmieniła. Widzimy natomiast, że liczba atomowa po przemianie jodu w ksenon zwiększyła się o 1. Oznacza to, że w jądrze przybył jeden proton.

Ten dodatkowy proton powstał z neutronu, a podczas przemiany neutronu w proton jest wysyłany elektron, czyli zachodzi przemiana beta. Przemianę jodu $^{131}_{53}\text{I}$ w ksenon $^{131}_{54}\text{Xe}$ można więc zapisać następująco:

$$^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{131}_{54}\text{Xe} + {}^{0}_{-1}\text{e}$$

Odpowiedź: Jod $^{131}_{53}\text{I}$ uległ przemianie beta.

To najważniejsze

- W reakcji chemicznej jądra atomów się nie zmieniają. Inaczej dzieje się w przypadku **reakcji jądrowej**, podczas której jądra atomów ulegają przemianom, a atomy jednego pierwiastka mogą się zmieniać w atomy innego pierwiastka.
- **Promieniowanie alfa** powstaje w wyniku rozpadu jądra na dwie części, a produktami rozpadu są inne jądra oraz cząstka alfa (jądro helu, czyli 2 protony i 2 neutrony).
- **Promieniowanie beta** powstaje, gdy w jądrze jeden z neutronów ulega przemianie w proton i elektron. Proton zostaje wówczas w jądrze, a elektron je opuszcza.
- Rozpad (przemiana promieniotwórcza) zawsze wiąże się ze zmianą jądra jednego pierwiastka w jądro innego pierwiastka.
- Przemianom promieniotwórczym może towarzyszyć emisja **promieniowania gamma**.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Czy równanie przedstawia rozpad α czy β? Jaką cząstkę zastąpiono symbolem X?

a) $^{198}_{79}\mathrm{Au} \rightarrow {}^{198}_{80}\mathrm{Hg} + \mathrm{X}$

b) $^{144}_{60}\mathrm{Nd} \rightarrow {}^{140}_{58}\mathrm{Ce} + \mathrm{X}$

2. Wskaż poprawne zakończenia zdań spośród podanych (I–IV).

a) Podczas przemiany α...

b) Podczas przemiany β...

I. ... zmienia się liczba atomowa, natomiast nie zmienia się liczba masowa.

II. ... zmieniają się zarówno liczba atomowa, jak i liczba masowa.

III. ... zmienia się liczba masowa, natomiast nie zmienia się liczba atomowa.

IV. ... nie zmieniają się ani liczba atomowa, ani liczba masowa.

3. Obecny w naszych domach izotop radonu $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$ ulega rozpadowi alfa. Uzupełnij tabelę z informacjami o pierwiastkach przed tym rozpadem i po nim.

a) Ile protonów i neutronów jest w jądrze $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$?

b) Ile protonów i ile neutronów znajduje się w jądrze izotopu powstałego w wyniku jego rozpadu?

c) Jaki izotop powstaje w wyniku tej przemiany promieniotwórczej? Zapisz jego symbol.

Przed rozpadem		Po rozpadzie	
Izotop $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$		Izotop	
protony	neutrony	protony	neutrony

4. Izotop azotu $^{16}_{7}\mathrm{N}$ ulega rozpadowi beta.

a) Ile protonów i ile neutronów znajduje się w jądrze tego izotopu?

b) Ile protonów i ile neutronów jest w jądrze izotopu pierwiastka powstałego w wyniku jego rozpadu?

c) Jaki izotop powstał w wyniku tej przemiany? Zapisz jego symbol.

5. Podczas rozpadu radu $^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ powstaje promieniowanie gamma, którego foton ma energię 186 keV.

a) Oblicz długość fali tego promieniowania.

b) Ile fotonów światła zielonego ma energię taką jak jeden foton opisanego promieniowania gamma?



40. Czas połowicznego rozpadu

Cele lekcji:

- Poznasz prawa rządzące tempem przemian jądrowych.
- Dowiesz się, jak możemy wyznaczyć wiek obiektów sprzed tysięcy lat.

Rozpad nie do powstrzymania

Fizycy pracujący z niektórymi izotopami promieniotwórczymi muszą organizować swoje badania bardzo precyzyjnie. Gdyby pomiary trwały zbyt długo, nie byłoby czego mierzyć – promieniotwórcze jądra w badanej próbce zdążyłyby się rozpaść. Procesu tego nie można w żaden sposób opóźnić, np. przez włożenie próbki do lodówki, żeby się nie zepsuła. Nie da się go też przyspieszyć.

Jak długo żyją jądra niestabilne

Czy możemy przewidzieć, kiedy rozpadnie się jądro izotopu promieniotwórczego? Okazuje się, że jest to niemożliwe, gdyż te rozpady zachodzą przypadkowo. Gdy jednak jąder jest wiele, zdarzenia przypadkowe się uśredniają, a w rezultacie liczba jąder zmniejsza się dość regularnie.

Dla każdego izotopu promieniotwórczego można określić czas T, w jakim rozpadnie się średnio połowa jego jąder. Czas ten nazywamy **czasem (okresem) połowicznego rozpadu**.

Rozważmy przykład: Czas połowicznego rozpadu izotopu azotu $^{13}_{7}N$ wynosi 10 minut.

- Jeżeli początkowo mamy próbkę zawierającą 1 000 000 atomów $^{13}_{7}N$, to po 10 minutach będziemy mieli tylko połowę ich początkowej liczby, czyli 500 000.
- W ciągu kolejnych 10 minut rozpadnie się znowu połowa z istniejących wówczas 500 000 atomów izotopu azotu i pozostanie ich 250 000.
- Po kolejnych 10 minutach atomów azotu będzie już tylko 125 000 itd.

Prawo połowicznego rozpadu opisuje prawdopodobieństwo rozpadu w danym czasie. Jeśli pozostanie nam bardzo mała liczba atomów azotu, np. jeden, to nie będziemy wiedzieć na pewno, kiedy się on rozpadnie. Zawsze jednak wiemy, że prawdopodobieństwo rozpadu atomu po jednym okresie połowicznego rozpadu danego izotopu wynosi 50%.

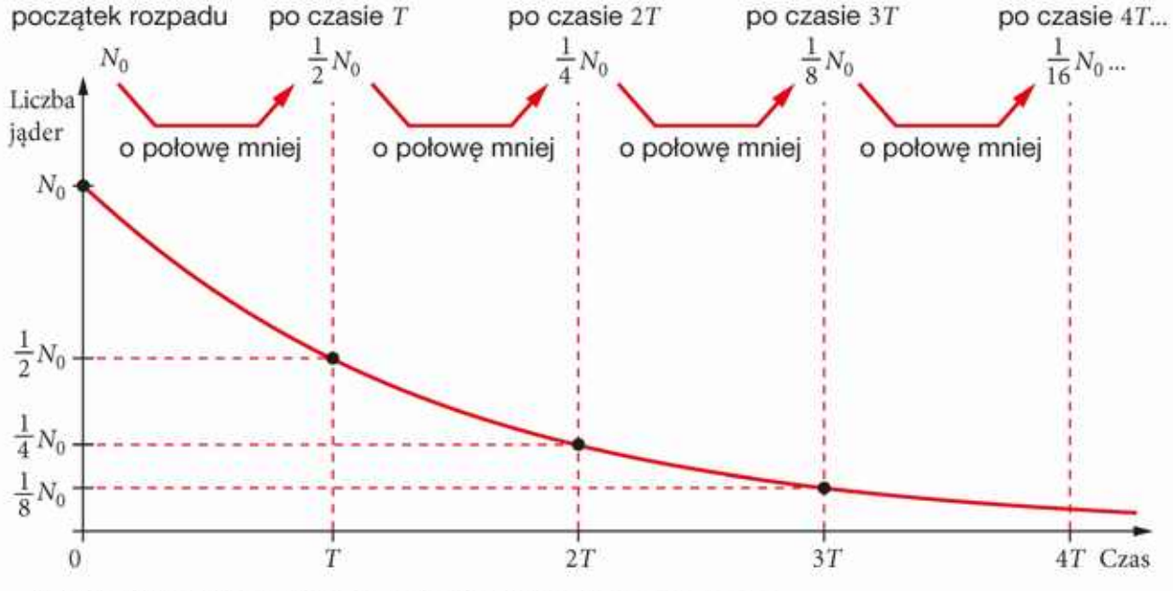


▲ Ponieważ czas połowicznego rozpadu fluoru $^{18}_{9}F$ używanego w diagnostyce medycznej wynosi niecałe 2 h, na strzykawce trzeba napisać, o której godzinie preparat powinno się podać pacjentowi, aby dawka nie była ani za mała, ani za duża

Jeżeli zamiast liczby atomów znamy masę próbki, postępujemy podobnie. Z 1 kg izotopu azotu $^{13}_{7}N$ po 10 minutach pozostaje nam tylko $\frac{1}{2}$ kg. Nie oznacza to oczywiście, że druga połowa masy zniknęła. Azot w wyniku przemiany przekształcił się w węgiel $^{13}_{6}C$, zatem po 10 minutach mamy $\frac{1}{2}$ kg azotu i $\frac{1}{2}$ kg węgla.

Wykres liczby jąder w czasie rozpadu promieniotwórczego

Rozpad jąder można przedstawić na schemacie lub wykresie. Po każdorazowym upływie czasu połowicznego rozpadu T, który jest charakterystyczny dla danego izotopu, liczba jąder zmniejszy się o połowę.



▲ Zależność liczby jąder izotopu promieniotwórczego od czasu

Czas połowicznego rozpadu dla poszczególnych izotopów może być bardzo różny, ale dla każdego z nich jest ściśle określony, np.:

- dla uranu $^{238}_{92}U$ sięga aż 4,5 miliarda lat,
- dla węgla $^{14}_{6}C$ wynosi 5730 lat,
- dla litu $^{8}_{3}Li$ jest równy zaledwie 0,8 sekundy.

Przykład 1

Rozpad litu

Próbka izotopu litu $^{8}_{3}\mathrm{Li}$ o czasie połowicznego rozpadu $T = 0{,}8$ s ma masę $m_0 = 1$ kg.

a) Ile litu pozostanie w próbce po upływie $t_a = 1{,}6$ s?

b) Po jakim czasie pozostanie w niej $\frac{1}{8}$ początkowej ilości atomów $^{8}_{3}\mathrm{Li}$?

Rozwiązanie:

a) Po 0,8 s w próbce pozostanie połowa początkowej ilości litu. Po kolejnych 0,8 s (czyli w sumie po 1,6 s) – połowa z połowy, czyli $\frac{1}{4}$ początkowej masy próbki. Zatem:

$$m_a = \frac{1}{4} m_0 = \frac{1}{4}\,\mathrm{kg}$$

b) Zauważmy, że podany ułamek możemy zapisać jako $\frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$, czyli aby z początkowej ilości izotopu pozostała $\frac{1}{8}$, czekamy trzy okresy połowicznego rozpadu. Skoro dla $^{8}_{3}\mathrm{Li}$ wynosi on 0,8 s, to znaczy, że czas ten wyniesie:

$$t_b = 3 \cdot 0{,}8\ \mathrm{s} = 2{,}4\ \mathrm{s}$$

Odpowiedź: Po 1,6 s pozostanie $\frac{1}{4}$ kg izotopu $^{8}_{3}\mathrm{Li}$, natomiast $\frac{1}{8}$ kg – po 2,4 s.

Model rozpadu promieniotwórczego

Prawdziwych eksperymentów związanych z rozpadem promieniotwórczym zwykle nie można prowadzić w szkolnej pracowni. Zamiast tego wykonamy doświadczenie modelowe, w którym litery na tablicy będą symbolizować jądra atomowe.

Doświadczenie 27.

Model rozpadu promieniotwórczego azotu

1. Niech każdy uczeń w klasie przygotuje dowolną monetę.
2. Na tablicy napiszcie tyle liter N, ile jest osób w klasie. Każda z tych liter symbolizuje jądro azotu. Podpiszcie je swoimi imionami.
3. Na znak dany przez nauczyciela rzucacie swoimi monetami.
4. Komu wypadła reszka, ściera swoje N i zamiast niego pisze C (co symbolizuje jądro węgla). Ta osoba nie rzuca już więcej monetą.
5. Nauczyciel notuje, ile jąder węgla i azotu jest na tablicy i daje znak do kolejnego rzutu. Rzucają tylko osoby z literą N.
6. Kiedy wszystkie atomy azotu zmienią się w węgiel, zróbcie wykres liczby atomów azotu od czasu na podstawie danych zanotowanych przez nauczyciela. Przyjmijcie, że kolejne rzuty odbywały się w odstępach równych czasowi połowicznego rozpadu azotu, czyli co 10 minut.
7. Porównajcie też czas życia poszczególnych jąder atomowych. Ile czasu minęło, zanim rozpadło się ostatnie jądro?
8. Jeśli macie więcej czasu, przeprowadźcie symulację jeszcze raz i porównajcie wyniki. Czy łączny czas, jaki minął do chwili, gdy rozpadło się ostatnie jądro azotu, był taki sam? Czy wykresy wyglądały podobnie?

Uwaga. Jeśli klasa jest nieliczna, każdy uczeń może się zaopiekować dwoma atomami i jednocześnie rzucać dwiema monetami.

Oczywiście nasza symulacja ma charakter przybliżony. Prawdziwe jądra atomowe nie sprawdzają co 10 minut, czy nie czas już się rozpaść, i nie podejmują decyzji w jednej chwili. Proces rozpadu promieniotwórczego zachodzi cały czas, ale jego tempo jest takie, że gdybyśmy zliczali atomy co 10 minut, otrzymalibyśmy wynik podobny do przeprowadzonej przez nas symulacji.

Datowanie skał

Dzięki zjawisku rozpadu promieniotwórczego możemy ustalić wiek Układu Słonecznego. Robimy to przez mierzenie zawartości poszczególnych pierwiastków w meteorytach, które powstały podczas tworzenia się Układu Słonecznego. Od chwili, gdy pierwotne pyły i gazy utworzyły skałę, która dziś jest meteorytem, jej skład już się niemal nie zmieniał. Jeśli jednak w pierwotnej materii znajdowały się pierwiastki promieniotwórcze, to rozpadały się one i ustępowały miejsca innym pierwiastkom – produktom swojego rozpadu.

Gdy porównamy na przykład ilość uranu $^{238}_{92}U$ i powstałego w wyniku jego rozpadu ołowiu $^{206}_{82}Pb$, możemy ustalić, ile czasu minęło od zapoczątkowania tego rozpadu, czyli od początku istnienia Układu Słonecznego. Dzięki tym badaniom wiek Układu Słonecznego określono na 4,57 mld lat.



▲ Meteoryty – najstarsze skały w Układzie Słonecznym

Datowanie zabytków

Podobnie jak skały możemy też datować zabytki. Stosuje się w tym celu radioaktywny izotop węgla $^{14}_{6}C$. Powstaje on w ziemskiej atmosferze, gdy cząstki promieniowania kosmicznego uderzają w jądra azotu. Atomy $^{14}_{6}C$ dostają się do roślin dzięki procesowi fotosyntezy. Następnie węgiel $^{14}_{6}C$ trafia do kolejnych organizmów w łańcuchu pokarmowym.

Dopóki organizm żyje, zawartość promieniotwórczego węgla jest w nim utrzymywana na stałym poziomie – co prawda część izotopu się rozpada, ale jest on stale uzupełniany. Po śmierci, gdy atomy nie są już wymieniane z otoczeniem, ilość $^{14}_{6}C$ w organizmie tylko maleje. Jej pomiar pozwala archeologom wyznaczać wiek starych przedmiotów pochodzenia zwierzęcego i roślinnego, np. drewnianych łodzi lub narzędzi ludów pierwotnych.

Metodę datowania radiowęglowego opracował w 1949 r. amerykański chemik Willard Libby (czyt. łilard lybi), za co w 1960 r. dostał Nagrodę Nobla.



▲ Łódź z Gokstad (czyt. goksta), znaleziona w Norwegii w 1880 r. Dzięki datowaniu za pomocą węgla $^{14}_{6}C$ wiemy, że została zbudowana w IX w. Znajdowała się w niej komora grobowa ze szczątkami wodza Wikingów

Przykład 2

Tajemniczy ludzie z Roopkund

W 1942 r. w himalajskim jeziorze Roopkund (czyt. rupkund) na terenie Indii odnaleziono szczątki ok. pół tysiąca osób. Zbadana w 2004 r. zawartość izotopu $^{14}_{6}C$ była w nich na poziomie 87% wartości typowych dla żywych ludzi. Kiedy zmarli tajemniczy ludzie z jeziora?

Rozwiązanie: Aby odpowiedzieć na pytanie, skorzystamy z wykresu zależności liczby jąder od czasu. Przyjmujemy, że początkowa liczba jąder N_0 odpowiada 100% i na osi z tą wielkością odnajdujemy punkt 87%, a następnie prowadzimy przez niego poziomą linię do miejsca przecięcia z wykresem.



Od tego punktu prowadzimy linię pionową w dół. Przecina ona oś czasu w punkcie $0{,}2T$, czyli wiek szczątków stanowi $0{,}2T$, gdzie T jest czasem połowicznego rozpadu węgla $^{14}_{6}C$. Czas połowicznego rozpadu tego izotopu wynosi $T = 5730$ lat. Oznacza to, że szczątki liczyły w chwili badania:

$$0{,}2 \cdot T = 0{,}2 \cdot 5730 \text{ lat} \approx 1150 \text{ lat}$$

Zbadane w 2004 r. szczątki pochodzą więc z roku: $2004 - 1150 = 854$.

Odpowiedź: Ludzie ci zmarli ok. 850 r. n.e.

A to ciekawe

Polski reaktor jądrowy Maria zapewnia ok. 20% światowego zapotrzebowania na molibden-99 ($^{99}_{42}Mo$), który jest podstawowym materiałem do wytwarzania technetu-99 ($^{99}_{43}Tc$) – izotopu niezbędnego w medycynie i stosowanego m.in. w badaniach mózgu, nerek, serca czy kości.
Krótki czas połowicznego rozpadu technetu-99, wynoszący 6 h, uniemożliwia jego przechowywanie. Zamiast tego do szpitali dostarcza się molibden-99, a z niego już na miejscu powstaje technet-99. Molibden-99 musi być dostarczany co tydzień, ponieważ jego okres połowiczego rozpadu jest wprawdzie dłuższy niż technetu-99, ale i tak wynosi tylko 66 h.



To najważniejsze

- **Czas (okres) połowicznego rozpadu** to czas, w którym połowa jąder danego izotopu promieniotwórczego ulega rozpadowi.
- Badania, w których wykorzystuje się pomiar zawartości pierwiastka promieniotwórczego i produktu jego rozpadu, umożliwiły określenie **wieku Układu Słonecznego** na 4,57 mld lat. Pozwalają również oceniać wiek szczątków organicznych.
- Nie jesteśmy w stanie określić, które dokładnie jądra atomowe w danej próbce się rozpadną, ale wiemy, jaka ich część rozpadnie się w określonym czasie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Geologowie ocenili, że w nowo odkrytym złożu uranu $^{238}_{92}U$ znajduje się tona tego izotopu. Ile było go w tym złożu 4,5 miliarda lat temu, gdy powstawała Ziemia?

2. Do zbadania 16 pacjentów przygotowano pewną ilość technetu $^{99}_{43}Tc$. Badania nie mogły być jednak wykonywane w danym dniu z powodu awarii urządzeń diagnostycznych. Ich naprawa miała potrwać 24 godziny. Ilu pacjentów będzie można przebadać po usunięciu usterki sprzętu, jeśli pracownia ma do dyspozycji przygotowaną pierwotnie ilość technetu?

3. W 1835 r. w Haraldskaer w Danii odkryto zmumifikowane ciało kobiety. Wydawało się, że pochodzi ono z niezwykle dawnych czasów. W 1977 r. do ustalenia daty jej śmierci wykorzystano technikę datowania węglem $^{14}_{6}C$. Jak się okazało, zawartość węgla $^{14}_{6}C$ zmalała w tym ciele do 74% wartości początkowej. Jak dawno temu zmarła kobieta?

4. W piramidzie faraona Dżesera znaleziono przedmioty wykonane z drewna akacji. W 1950 r. zawierały one tylko 57% ilości węgla $^{14}_{6}C$, jaka jest obecna w żywych drzewach. Oblicz przybliżoną datę śmierci faraona przy założeniu, że akacja została ścięta w tym samym roku, w którym umarł faraon.



5. Wyobraź sobie, że w probówce masz próbkę zawierającą jeden atom $^{99}_{43}Tc$. Jakie jest prawdopodobieństwo, że po jednej dobie nadal nie ulegnie on rozpadowi?



41. Energia jądrowa

Cele lekcji:

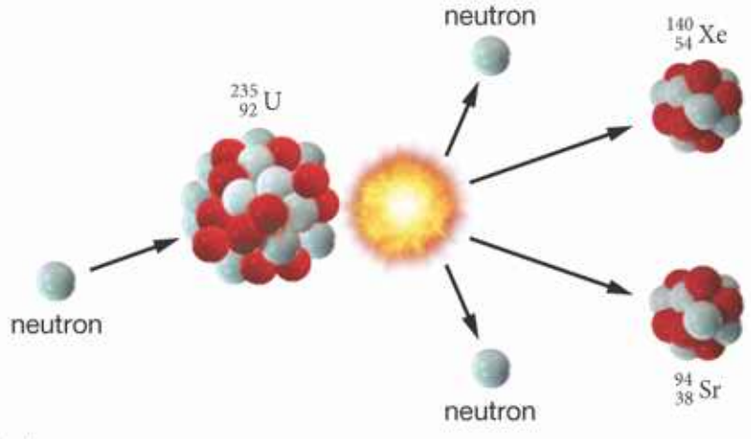
- Dowiesz się, z jakich procesów czerpią energię elektrownie jądrowe i gwiazdy.
- Poznasz budowę elektrowni jądrowej.

Rozszczepianie jąder atomów

Oprócz przemian alfa i beta do reakcji jądrowych zaliczamy również **rozszczepienie**. W wyniku rozszczepienia z jądra jednego pierwiastka otrzymujemy dwa mniejsze jądra innych pierwiastków. W procesie tym wydziela się dużo energii, którą można wykorzystać. Rozszczepienie jądra atomowego może zajść samorzutnie w przyrodzie, ale może być też wywołane w sposób sztuczny przez człowieka.

Rozszczepienie uranu

Z reakcji jądrowych kontrolowanych przez człowieka potrafimy czerpać energię. Wykorzystujemy wówczas zjawisko rozszczepienia ciężkich jąder atomowych, np. uranu $^{235}_{92}U$ czy plutonu $^{239}_{94}Pu$. Jak przebiega taka reakcja?
Neutron uderza w jądro uranu i rozszczepia je na dwa lżejsze jądra (patrz rys. poniżej).



▲ Rozszczepienie jądra uranu

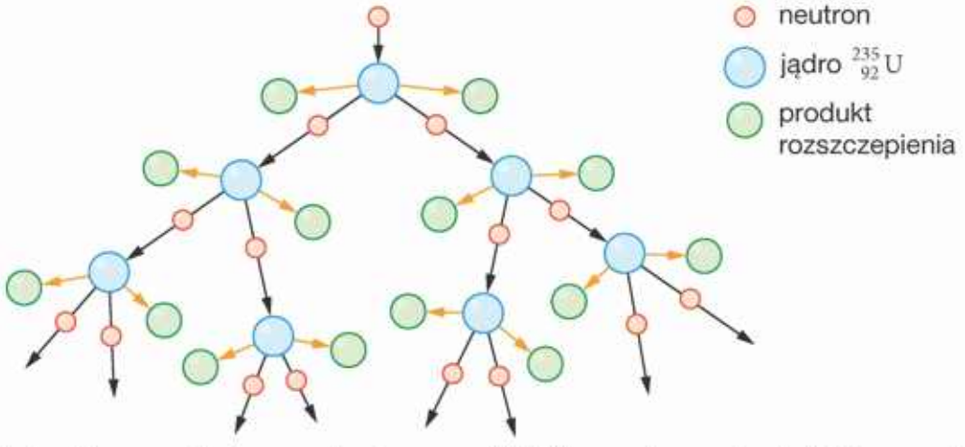
W wyniku rozszczepienia jądra uranu powstaje energia (jest to energia kinetyczna jąder otrzymanych w wyniku rozszczepienia oraz energia fotonów promieniowania γ), a także dwa lub trzy neutrony.
Powstałe neutrony mogą uderzyć w następne jądra i spowodować ich rozpad, podczas którego wydzieli się kolejna porcja energii i powstaną kolejne neutrony. One z kolei uderzą w kolejne jądra atomowe itd.
Przykładowo, gdy neutron uderzy w jądro uranu $^{235}_{92}U$, może ono ulec rozszczepieniu, podczas którego powstaną jądra ksenonu $^{140}_{54}Xe$ i strontu $^{94}_{38}Sr$ oraz dwa nowe neutrony.

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{94}_{38}Sr + 2\,{}^{1}_{0}n$$

Każdy z tych neutronów może rozbić następny atom uranu, w wyniku czego powstają kolejne neutrony rozbijające kolejne jądra itd. Reakcja rozpadu następuje coraz szybciej: w próbce znajduje się coraz więcej neutronów, które rozszczepiają coraz więcej jąder atomowych. Zachodzi **reakcja łańcuchowa**.

Jeśli neutron uderzy w jądro ciężkiego pierwiastka, np. uranu, może spowodować **reakcję rozszczepienia**. Wydziela się wówczas energia i wysyłane są nowe neutrony rozbijające kolejne jądra uranu. Reakcję tę nazywamy **reakcją łańcuchową**.

Metodę obliczania ilości wydzielonej energii w reakcjach jądrowych poznasz na kolejnej lekcji.



▲ Reakcja łańcuchowa zachodząca w bryle uranu $^{235}_{92}U$ (bez zachowania skali). Czarne strzałki przedstawiają tory ruchu neutronów, które spowodowały rozszczepienie kolejnych jąder uranu

Skąd wziąć pierwszy neutron do zapoczątkowania reakcji łańcuchowej? Neutrony powstają w uranie cały czas, ponieważ jego jądra powoli rozpadają się też samorzutnie. Trzeba tylko zgromadzić w jednym miejscu taką ilość uranu, aby powstające neutrony trafiały w kolejne jądra uranu, a nie uciekały poza próbkę. Tę ilość nazywa się **masą krytyczną**. Dla kuli uranu $^{235}_{92}U$ wynosi ona 52 kg.

Elektrownia jądrowa i bomba jądrowa

W bombie jądrowej (atomowej) zachodzi reakcja łańcuchowa. Wybuch takiej bomby trwa 10^{-6} s (jedną milionową sekundy), ale powstała w jego wyniku energia może zniszczyć całe miasto.

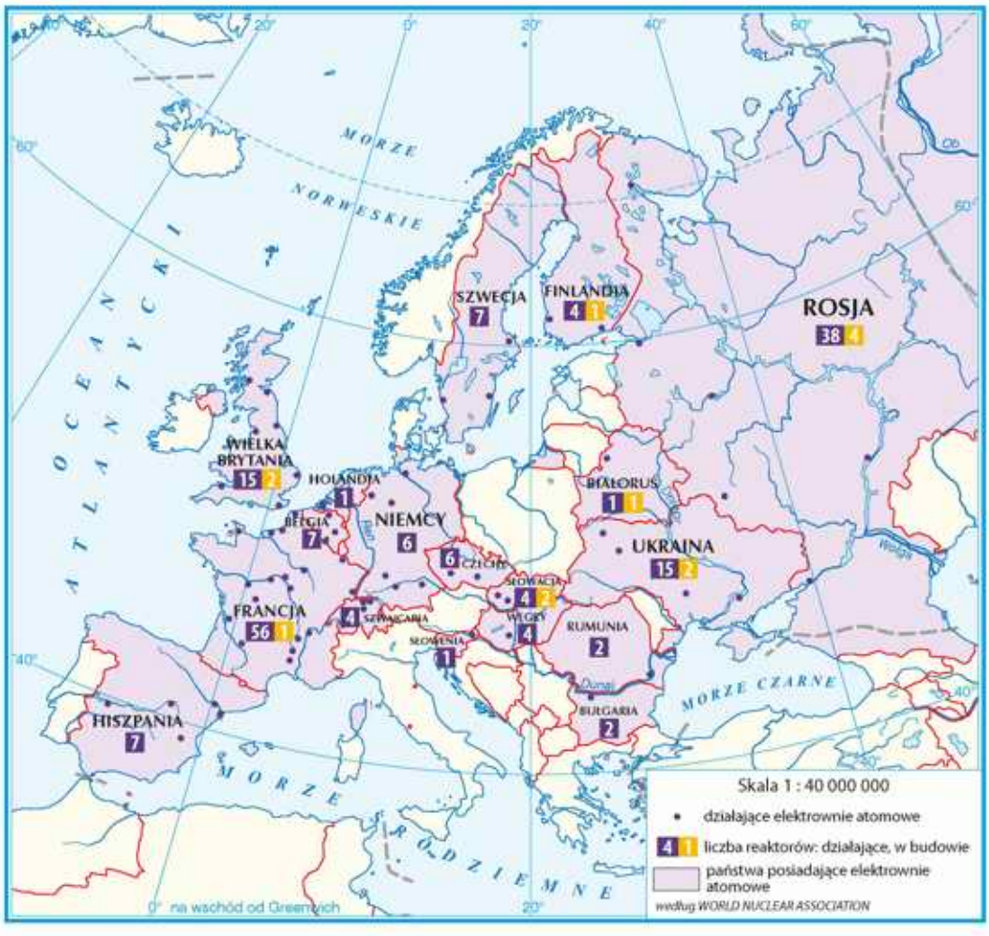
W elektrowniach jądrowych nie zależy nam jednak na bardzo szybkim, wybuchowym tempie reakcji – chcemy spokojnego, kontrolowanego przebiegu rozszczepienia. Najważniejszym elementem takiej elektrowni jest **reaktor jądrowy**. Zasada jego działania opiera się na kontrolowanej reakcji łańcuchowej. Budowa reaktora została przedstawiona na s. 270–271.

Nie wszystkie reaktory służą wyłącznie do uzyskiwania energii. Głównym celem niektórych z nich jest wytwarzanie izotopów potrzebnych w medycynie i przemyśle. Różnią się one od reaktorów w elektrowniach jądrowych. Choć nie buduje się ich z myślą o produkcji energii, to w procesie wytwarzania różnych izotopów wydziela się jej duża ilość, którą także można wykorzystać.

Bomba jądrowa i elektrownia jądrowa wytwarzają energię dzięki rozszczepianiu jąder ciężkich pierwiastków, np. niektórych izotopów uranu. W przeciwieństwie do bomby w reaktorze proces ten przebiega powoli i w sposób kontrolowany.

Produkcja energii jądrowej w Europie

Polska jest jednym z niewielu krajów Europy, w których nie istnieją elektrownie jądrowe. Jest to jednak najlepszy sposób na zapewnienie stałych dostaw energii bez spalania węgla nawet w dni bezwietrzne i pochmurne, gdy nie działają elektrownie wiatrowe i słoneczne. Dlatego planuje się budowę takiej elektrowni. W Świerku koło Warszawy pracują dwa reaktory jądrowe Ewa i Maria, służące do badań naukowych oraz produkcji izotopów do celów medycznych.



Odpady promieniotwórcze

Z czasem ilość paliwa jądrowego, np. uranu, w prętach paliwowych elektrowni zmniejsza się tak bardzo, że trzeba je wymienić na nowe. Zużyte paliwo, czyli tzw. **odpady promieniotwórcze**, jest silnie promieniotwórcze, dlatego musi być składowane w starannie kontrolowanych warunkach.

Przez pewien czas, gdy promieniuje szczególnie silnie, paliwo przechowuje się na terenie elektrowni. Później przenosi się je do bezpiecznych, niezamieszkałych przez człowieka miejsc, np. do wyeksploatowanych kopalni lub tuneli wydrążonych w górach.



▲ Fragment pręta paliwowego

Zalety i wady energetyki jądrowej

Czy warto budować elektrownie atomowe? Aby odpowiedzieć na to pytanie, trzeba najpierw sobie uzmysłowić, jakie mamy inne możliwości.

Zamiast elektrowni jądrowej możemy wybudować elektrownię węglową, gazową, hydroelektrownię albo też postawić elektrownię wiatrową lub panele fotowoltaiczne. Każde z tych źródeł ma swoje plusy i minusy. Jeśli warunki środowiskowe nie sprzyjają hydroelektrowni, a my potrzebujemy źródła stałej, przewidywalnej mocy, to w grę wchodzą na razie tylko elektrownie jądrowe, węglowe i gazowe.

Poniżej krótko podsumowujemy zalety i wady elektrowni jądrowej w porównaniu z pozostałymi rozwiązaniami energetycznymi dostępnymi w Polsce.



▲ Kominy elektrowni węglowej

Energetyka jądrowa

Zalety

- Bardzo duża wydajność paliwa. Elektrownia jądrowa o mocy 1000 MW potrzebuje w ciągu roku ok. 30 t paliwa jądrowego, podczas gdy węglowa – ok. 2,5 mln t węgla.
- W trakcie pracy nie powstaje CO_2, powodujący globalne ocieplenie.
- Tania w utrzymaniu.
- Stabilna produkcja energii przez cały okres użytkowania.

Wady

- W trakcie działania powstają odpady promieniotwórcze, których dalsze bezpieczne zagospodarowanie jest kosztowne.
- Wysokie koszty budowy.
- Zagrożenie awarią i terroryzmem.

Dodatkowo **warto wiedzieć**:

- Zasoby paliw jądrowych na Ziemi przy umiarkowanej eksploatacji wystarczą na ok. 100 lat.
- Elektrownie węglowe wytwarzają 1290 $\frac{\text{g CO}_2}{\text{kWh}}$ (dwutlenku węgla na kilowatogodzinę) w emisji bezpośredniej (komin) i pośredniej (wydobycie, transport), podczas gdy energia jądrowa wytwarza tylko 30 $\frac{\text{g CO}_2}{\text{kWh}}$.
- Na terawatogodzinę (1000 miliardów kilowatogodzin) wygenerowanej w Europie energii elektrycznej węgiel jest odpowiedzialny za 0,12 zgonów w wypadkach, 25 zgonów z powodu zanieczyszczeń i 225 przypadków poważnych chorób. Energia jądrowa – za 0,02 przypadkowych zgonów, 0,05 zgonów spowodowanych zanieczyszczeniem i 0,22 przypadków zachorowań.

To najważniejsze

- Neutron uderzający w jądro ciężkiego pierwiastka, np. uranu, może spowodować jego **rozszczepienie**. Wydziela się przy tym dużo energii i emitowane są neutrony, które mogą rozszczepiać kolejne jądra. W taki sposób zachodzi **reakcja łańcuchowa**.
- Reakcja łańcuchowa stanowi podstawę działania zarówno bomby jądrowej (atomowej), jak i elektrowni jądrowej. W przeciwieństwie do bomby w elektrowni energia jest wyzwalana powoli, w sposób kontrolowany.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Pierwsze ze zdań uzupełnij właściwą liczbą, a drugie – przykładem ciała o właściwej masie. Zapisz w zeszycie uzupełnione w ten sposób zdania.

   Elektrownia węglowa potrzebuje paliwa o masie /// razy większej niż elektrownia jądrowa o tej samej mocy.

   Tyle samo razy masa człowieka jest większa od masy ///.

2. Oblicz, ile razy więcej ludzi traci życie z powodu pracy elektrowni węglowych niż jądrowych (przy tej samej produkcji energii).

3. Przepisz do zeszytu i uzupełnij opis rozpadu jądra uranu:

   $$^{1}_{0}\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{91}_{36}\text{Kr} + /// + 3\,{}^{1}_{0}\text{n}$$

4. Obejrzyj film *Oklo, the Two Billion Year Old Nuclear Reactor* na kanale „SciShow". Zapisz w kilku zdaniach, czego się dowiedziałeś. Zastanów się i napisz, dlaczego działanie naturalnego reaktora jądrowego było możliwe 2 mld temu, ale nie jest możliwe dziś.

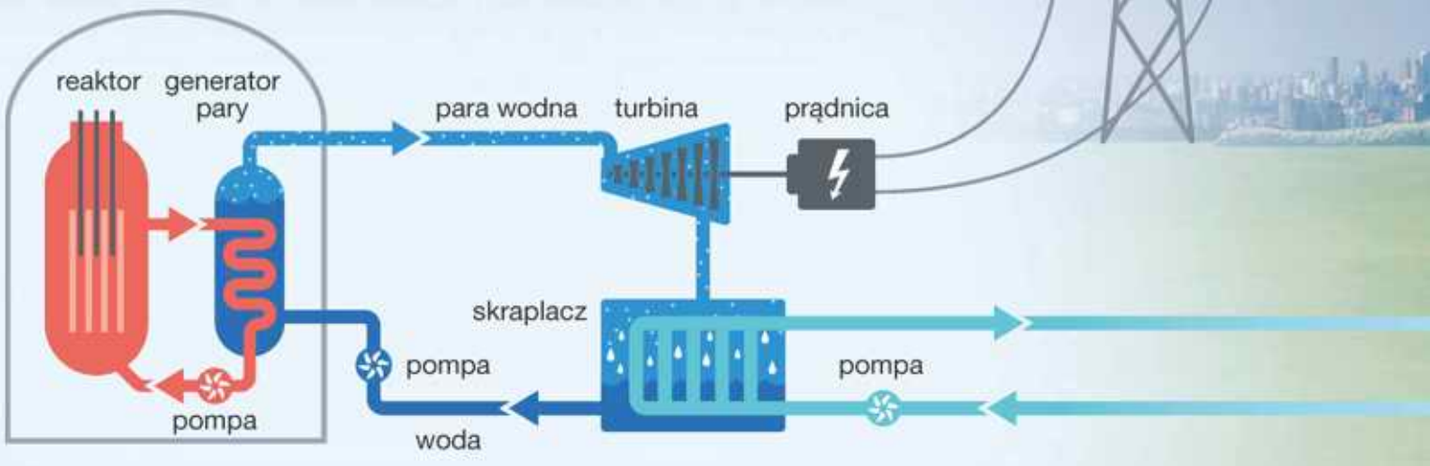
   https://www.youtube.com/watch?v=yS53AA_WaUk

Elektrownia jądrowa

Zarówno w elektrowni jądrowej, jak i węglowej prąd jest wytwarzany przez prądnicę napędzaną parą wodną. Różnica sprowadza się do sposobu ogrzewania wody. W elektrowni węglowej źródłem energii jest spalanie węgla, a w jądrowej energia pochodzi z reakcji rozszczepienia zachodzącej w reaktorze jądrowym. Istnieje wiele typów reaktorów. Poniżej przedstawiamy jeden z najczęściej spotykanych.

Obiegi wody w elektrowni

Obecnie w elektrowniach stosuje się podwójny obieg wody. Napromieniowana woda pozostaje zamknięta w obiegu reaktora.



Obieg pierwotny

Gorąca woda (ponad 300°C) nie wrze dzięki wysokiemu ciśnieniu (150–160 atm). Ciepło oddaje w generatorze pary.

Obieg wtórny

Woda pod niższym ciśnieniem (70–80 atm) pobiera ciepło w generatorze pary, wrze i zamienia się w parę napędzającą turbiny.

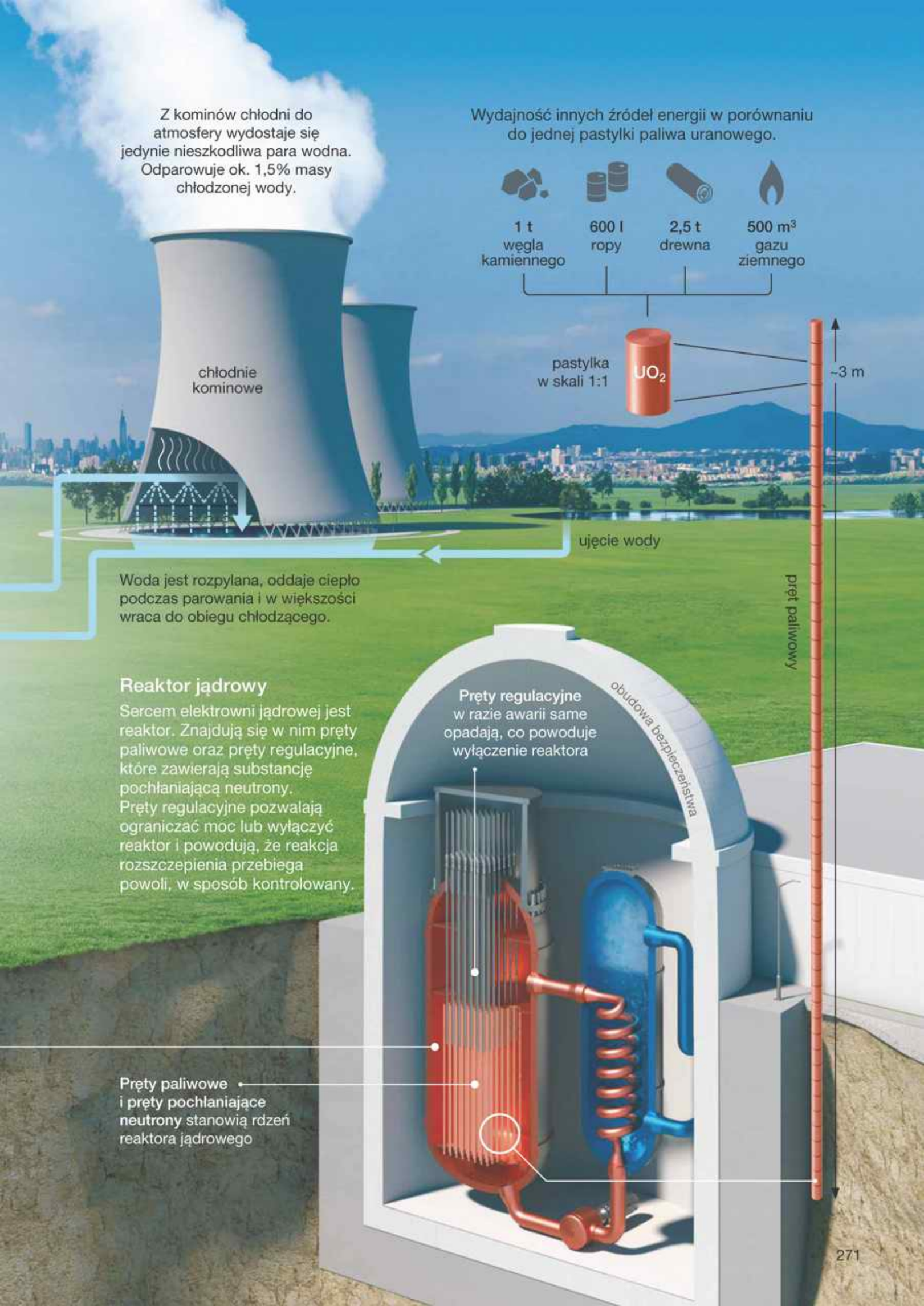
Obieg chłodzący

Woda pod normalnym ciśnieniem odbiera ciepło od pary w skraplaczu, dzięki czemu para w obiegu wtórnym ulega skropleniu. Ogrzana woda jest schładzana w chłodniach kominowych.



Woda umieszczona ponad reaktorem pochłania neutrony.

Zbiornik reaktora musi stale wytrzymywać wysokie ciśnienie, do 160 atm, dzięki któremu woda nie wrze. Dlatego grubość ścian zbiornika wynosi od 10 do 20 cm. Musi także być odporny na wysokie temperatury do 350°C.


Z kominów chłodni do atmosfery wydostaje się jedynie nieszkodliwa para wodna. Odparowuje ok. 1,5% masy chłodzonej wody.
chłodnie kominowe
Wydajność innych źródeł energii w porównaniu do jednej pastylki paliwa uranowego.
1 t węgla kamiennego
600 l ropy
2,5 t drewna
500 m³ gazu ziemnego
pastylka w skali 1:1
UO2
~3 m
ujęcie wody
Woda jest rozpylana, oddaje ciepło podczas parowania i w większości wraca do obiegu chłodzącego.
pręt paliwowy
Reaktor jądrowy
Sercem elektrowni jądrowej jest reaktor. Znajdują się w nim pręty paliwowe oraz pręty regulacyjne, które zawierają substancję pochłaniającą neutrony. Pręty regulacyjne pozwalają ograniczać moc lub wyłączyć reaktor i powodują, że reakcja rozszczepienia przebiega powoli, w sposób kontrolowany.
Pręty regulacyjne w razie awarii same opadają, co powoduje wyłączenie reaktora
obudowa bezpieczeństwa
Pręty paliwowe i pręty pochłaniające neutrony stanowią rdzeń reaktora jądrowego



42. Energia syntezy termojądrowej

Cele lekcji:

- Dowiesz się, dlaczego Słońce i inne gwiazdy świecą.
- Poznasz zasadę działania bomby termojądrowej (wodorowej).
- Dowiesz się, dlaczego tak trudno zbudować elektrownię termojądrową.

Synteza termojądrowa

Innym źródłem energii, jeszcze wydajniejszym od rozszczepienia, jest **reakcja syntezy**, czyli łączenia się jąder lekkich pierwiastków (lżejszych od żelaza).

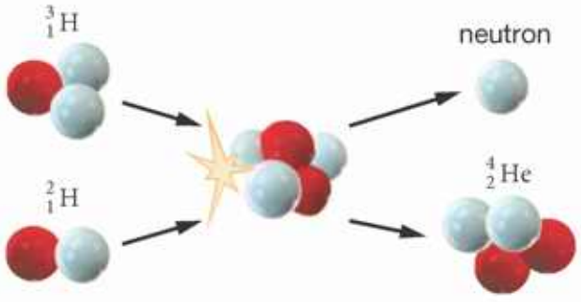
Najwięcej energii można uzyskać z reakcji łączenia jąder atomów wodoru w jądra helu. Doprowadzenie do rozpoczęcia tej reakcji jest jednak niezwykle trudne. Protony są naładowane dodatnio, odpychają się więc siłami elektrostatycznymi. Trzeba zmusić je do zbliżenia się na tak małą odległość, aby zaczęły działać między nimi siły przyciągania jądrowego. Dlatego gaz, w którym zachodzi reakcja, musi być gęsty i niezwykle gorący – znajdujące się w nim cząstki będą wówczas miały wystarczająco dużą energię kinetyczną, aby zbliżyć się do siebie na odpowiednią odległość. Temperatura gazu, w którym zachodzi podobna reakcja, musi wynosić co najmniej kilka milionów stopni Celsjusza.

Właśnie dlatego te reakcje nazywamy **termojądrowymi**. Synteza termojądrowa jest źródłem energii Słońca i innych gwiazd.

W bardzo wysokiej temperaturze i pod dużym ciśnieniem jądra wodoru łączą się w reakcji syntezy w jądra helu. Wydziela się przy tym ogromna energia. Reakcja taka stanowi źródło energii Słońca.

W przykładowej reakcji syntezy z jąder trytu i deuteru powstaje jądro helu i neutron:

$$ {}_{1}^{3}\mathrm{H} + {}_{1}^{2}\mathrm{H} \rightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + {}_{0}^{1}\mathrm{n} $$



▲ Reakcja syntezy jąder trytu i deuteru

Energia termojądrowa

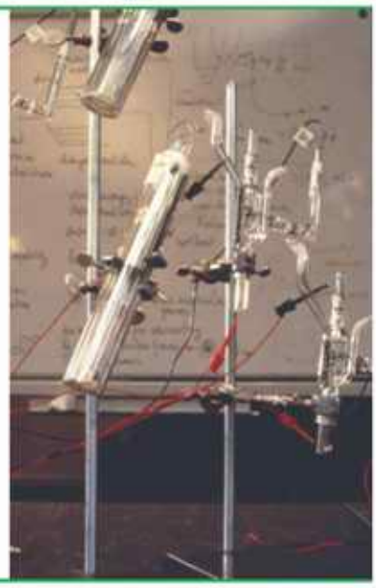
Budowa elektrowni termojądrowej byłaby wielkim osiągnięciem dla ludzkości. Wodoru jest na Ziemi pod dostatkiem (można go czerpać z wody), a w reakcji termojądrowej powstaje ogromna ilość energii i mała ilość odpadów promieniotwórczych. Niestety, do tej pory nie udało się zbudować takiej elektrowni. W laboratoriach wykonuje się eksperymenty z syntezą termojądrową na bardzo małą skalę. Otrzymana w ten sposób energia jest jednak mniejsza niż potrzebna do przeprowadzenia eksperymentu. Na terenie Francji budowany jest obecnie międzynarodowy reaktor termojądrowy ITER, w którym ilość wyprodukowanej energii po raz pierwszy ma przekroczyć energię niezbędną do rozpoczęcia reakcji (patrz zdjęcie na górze poprzedniej strony). Natomiast już od kilkudziesięciu lat ludzie potrafią wywołać niekontrolowaną reakcję termojądrową. Na takim mechanizmie opiera się działanie **bomby termojądrowej**, czyli wodorowej, która jest kilkaset razy silniejsza od bomby atomowej. Bomba atomowa służy w bombie wodorowej tylko jako zapalnik.

Łączenie czy rozpad

Energia może się uwalniać zarówno podczas syntezy (łączenia) pierwiastków lekkich, jak i w wyniku reakcji rozszczepienia pierwiastków ciężkich. Granicznym pierwiastkiem jest **żelazo**. W jego przypadku nie jesteśmy w stanie uzyskać energii ani podczas procesu łączenia jąder, ani na drodze ich rozszczepienia.

A to ciekawe

Jaka szkoda, że fuzja termojądrowa zachodzi tylko w skrajnie wysokich temperaturach i pod olbrzymim ciśnieniem. Ale czy na pewno? W 1989 r. świat obiegła sensacyjna wiadomość: amerykańscy chemicy Stanley Pons i Martin Fleischmann (czyt. flajszman) zaobserwowali oznaki tzw. zimnej fuzji deuteru, czyli łączenia jąder izotopu wodoru w temperaturze pokojowej. Naukowcy z innych ośrodków ruszyli do sprawdzania niesamowitych wyników. Niestety – okazało się, że badaczom żadnego z laboratoriów świata nie udało się ich potwierdzić. Prawdopodobnie Amerykanie zbyt optymistycznie zinterpretowali wyniki eksperymentu. Ich wnioski – jak wiele innych odważnych i ciekawych doniesień – nie wytrzymały procesu naukowej weryfikacji.



Alchemicy są wśród nas

Od tysięcy lat ludzie pragnęli wytwarzać złoto z innych substancji. Już w starożytności alchemicy poszukiwali kamienia filozoficznego, czyli sposobu na taką przemianę.



Chociaż alchemią zajmowali się nie tylko oszuści i szarlatani, lecz także prawdziwi uczeni, ich wysiłki zdały się na nic. Wszyscy oni próbowali zmieniać pierwiastki w przemianach chemicznych, co nie jest możliwe.

Pierwszym fizykiem, który użył alchemicznego terminu *transmutacja*, oznaczającego zamianę jednego pierwiastka w inny, we współczesnych badaniach był Frederick Soddy (czyt. sodi). W 1901 r. wraz z Ernestem Rutherfordem odkryli, że radioaktywny tor przekształca się w rad. Gdy uczony uświadomił sobie, czego jest świadkiem, miał – jak wspominał po latach – wykrzyknąć: „Rutherford, to jest transmutacja!". Usłyszał żartobliwą odpowiedź: „Na litość boską, Soddy, nie nazywaj tego transmutacją! Zetną nam głowy jako alchemikom!".

Dopiero dziś umiemy zamieniać jedne pierwiastki w drugie. W 1980 r. w laboratorium Uniwersytetu Kalifornijskiego noblista Glenn Seaborg (czyt. siborg) przekształcił kilka tysięcy atomów bizmutu w złoto przez usunięcie z nich części protonów i neutronów. Chociaż metoda Seaborga jest zbyt droga, aby umożliwić komercyjną produkcję złota, jednak przez chwilę jego laboratorium było prawdziwym kamieniem filozoficznym.

Ernest Rutherford



Ernest Rutherford (1871–1937) był brytyjskim fizykiem pochodzącym z Nowej Zelandii, odkrywcą jądra atomowego (zob. s. 238). Ustalił też, że promieniowanie jądrowe może mieć ładunek dodatni lub ujemny. Za badania rozpadu promieniotwórczego otrzymał w 1908 r. Nagrodę Nobla.

Frederick Soddy



Frederick Soddy (1877–1956) był brytyjskim chemikiem, profesorem na uniwersytecie w Oksfordzie. W wyniku prac prowadzonych z Ernestem Rutherfordem odkrył, że cząstki alfa to jądra helu. Uczeni wspólnie stworzyli teorię rozpadu radioaktywnego. Za swoje prace w dziedzinie chemii związków radioaktywnych Soddy otrzymał w 1921 r. Nagrodę Nobla.

To najważniejsze

- W reakcjach łączenia lekkich jąder, np. jąder wodoru w jądra helu, wydziela się duża ilość energii. Reakcje takie nazywamy **reakcjami syntezy termojądrowej**. Są one m.in. źródłem energii Słońca i wielu innych gwiazd, jak również bomby termojądrowej (wodorowej).
- Do tej pory nie zbudowano elektrowni termojądrowych, ponieważ reakcja łączenia jąder wodoru zachodzi tylko w bardzo wysokiej temperaturze i pod dużym ciśnieniem.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Jak myślisz, czy podczas reakcji polegającej na rozbijaniu jądra helu na jądra wodoru wydzielałaby się energia?
2. Oceń, czy poniższe zdania są prawdziwe. Jeśli nie, popraw je tak, aby stały się prawdziwe.

A. Energia wydziela się, gdy jądra atomowe się łączą.

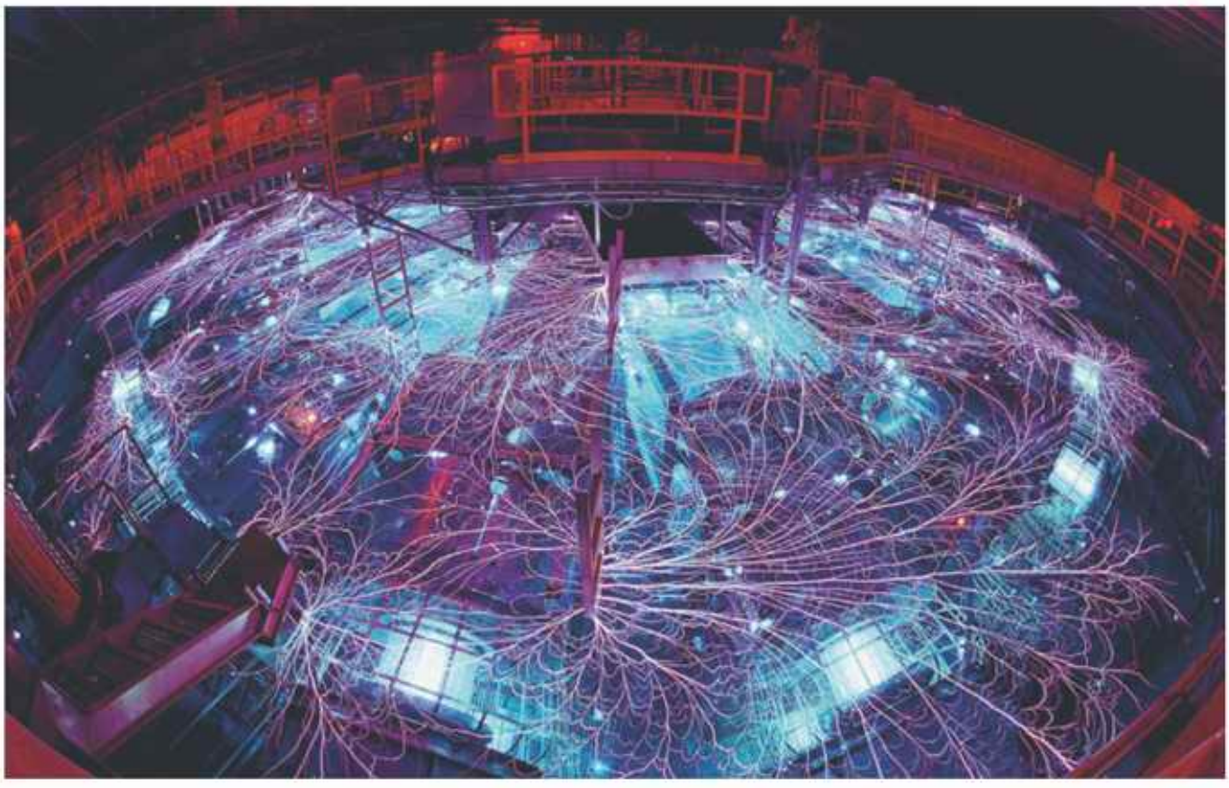
B. Energia wydziela się, gdy jądra atomowe dzielą się na mniejsze części.

3. Czy prawdziwe jest zdanie: „Słońce działa na tej samej zasadzie, co elektrownia atomowa"? Krótko uzasadnij odpowiedź.
4. Zastanów się, jaka substancja powstawałaby jako produkt końcowy w elektrowni termojądrowej, gdyby się udało ją zbudować. Czy ta substancja byłaby bezpiecznym odpadem? Do czego mogłaby służyć?
5. Znajdź w internecie informacje na temat Maszyny Z (ang. *Z-machine*), patrz zdjęcie poniżej. Odpowiedz na pytania:

a) Do czego służy?

b) Jakie temperatury uzyskuje się w tej maszynie?

c) W jaki sposób są uzyskiwane te temperatury?





43. Masa i energia

Cele lekcji:

- Dowiesz się, skąd pochodzi energia wyzwalana podczas różnych zjawisk.
- Poznasz sens najsłynniejszego wzoru fizycznego.

Skąd się bierze energia wyzwalana w reakcjach jądrowych

Jak wiesz już z poprzedniej lekcji, w trakcie reakcji jądrowych wydziela się ogromna ilość energii. Ale skąd właściwie bierze się ta energia i czy przed przeprowadzeniem reakcji jesteśmy w stanie obliczyć, ile jej uzyskamy?
Aby odpowiedzieć na te pytania, skorzystamy z najsłynniejszego wzoru fizyki:

$$E = mc^2$$

gdzie: E – energia, m – masa ciała, c – prędkość światła.

Co on oznacza? Kiedy ciało emituje pewną energię, traci na masie, a gdy zyskuje energię – jego masa się zwiększa. Do przeliczania tych wielkości służy współczynnik c^2, czyli kwadrat prędkości światła. Odpowiada on ogromnej liczbie. Przecież już sama prędkość światła jest wielka, a co dopiero jej kwadrat!

$$c^2 = (3 \cdot 10^8 \tfrac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 9 \cdot 10^{16} \tfrac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \approx 10^{17} \tfrac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Zatem zmiana masy o 1 kg odpowiada zmianie energii o ok. 10^{17} J (sto milionów miliardów dżuli). Zmiana energii o 1 J odpowiada zmianie masy o ok. 10^{-17} kg (jedna stumilionowa jednej miliardowej kilograma). Nic dziwnego, że na co dzień nie obserwujemy zmian masy związanych ze zmianą energii.



▲ Miniaturowe reaktory jądrowe wkrótce polecą na Księżyc. Będą tam zasilały urządzenia budujące bazy załogowe

Przykład 1

Mieszanina piorunująca

Jeżeli połączymy 1 kg wodoru i 8 kg tlenu, wydzieli się $1{,}2 \cdot 10^{11}$ J energii. Jaka dokładnie masa wody powstanie w wyniku tej reakcji?

Dane:

$m_H = 1$ kg

$m_O = 8$ kg

$E = 1{,}2 \cdot 10^{11}$ J

Szukane:

$m_{H_2O} = ?$

W wodzie na jeden atom tlenu przypadają dwa atomy wodoru, ale atom tlenu ma 16 razy większą masę niż atom wodoru. Dlatego na 1 kg wodoru przypada 8 kg tlenu.

Rozwiązanie: Łączna masa tlenu i wodoru to:

$$1 \text{ kg} + 8 \text{ kg} = 9 \text{ kg}$$

Podczas reakcji wydzieliła się energia, która odpowiada masie:

$$\Delta m = \frac{E}{c^2}$$

$$\Delta m = \frac{1{,}2 \cdot 10^{11}}{(3 \cdot 10^8)^2} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{11}}{9 \cdot 10^{16}} \approx 0{,}13 \cdot 10^{-5} \approx 1{,}3 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

$$\left[\frac{\text{J}}{(\frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}}{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \text{kg}\right]$$

$$\Delta m \approx 1{,}3 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = 1{,}3 \text{ mg}$$

Zatem zamiast dokładnie 9 kg wody powstanie:

$$m_{H_2O} \approx 9 \text{ kg} - 0{,}0000013 \text{ kg} = 8{,}9999987 \text{ kg}$$

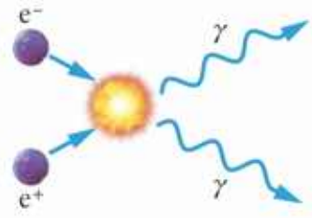
Odpowiedź: Masa wody powstałej w wyniku tej reakcji wynosi ok. 8,9999987 kg.

Zwróć uwagę na kontrast między ogromną wyzwoloną energią a praktycznie niezauważalnym ubytkiem masy w przykładzie 1. W wyniku reakcji wodoru z tlenem wydziela się bardzo dużo energii, dlatego mieszaninę tych gazów nazywamy mieszaniną piorunującą. Energia $1{,}2 \cdot 10^{11}$ J wystarczy, aby przeciętną żarówkę LED zasilać przez 800 lat bez przerwy. Tymczasem brakujący miligram masy jest niezwykle trudny do zarejestrowania.

Czy można zmienić całą masę w energię

W ramce „A to ciekawe" na s. 241 napisaliśmy, że gdy antyatom spotka się ze zwykłym atomem, oba znikają i wytwarzają przy tym olbrzymią ilość energii. Taki proces, zwany **anihilacją**, to sposób na uwolnienie całej energii zawartej w danej masie. Energię tę nazywamy **energią spoczynkową** ciała.

Energia spoczynkowa to energia odpowiadająca całej masie ciała.



▲ Anihilacja elektronu i pozytonu (antyelektronu). W jej wyniku otrzymujemy tylko energię w postaci promieniowania

Przykład 2

Anihilacja

Jaka energia powstaje, kiedy 1 kg antymaterii anihiluje z taką samą ilością materii? Całkowita moc maksymalna największej w Polsce elektrowni w Bełchatowie to 4400 MW. Ile czasu potrzebuje ona na wytworzenie takiej energii?

Dane:

$m = 1\ \text{kg} + 1\ \text{kg} = 2\ \text{kg}$

$P = 4400\ \text{MW} = 4{,}4 \cdot 10^9\ \text{W}$

Szukane:

$E = ?$

$t = ?$

Rozwiązanie: Energię powstałą w wyniku anihilacji wyznaczamy z zależności:

$$E = mc^2$$

$$E = 2 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 2 \cdot 9 \cdot 10^{16} = 18 \cdot 10^{16} = 1{,}8 \cdot 10^{17}$$

$$\left[\text{kg} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}\right]$$

$$E = 1{,}8 \cdot 10^{17}\ \text{J}$$

Aby obliczyć, po jakim czasie elektrownia w Bełchatowie wyprodukuje energię E, korzystamy ze wzoru definiującego moc:

$$P = \frac{E}{t}$$

i wyznaczamy z niego czas t:

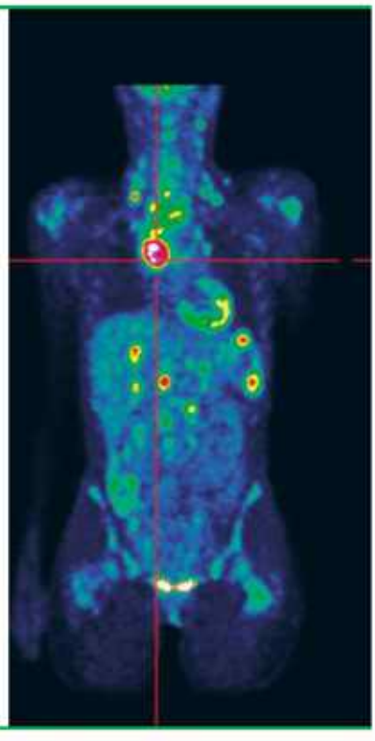
$$t = \frac{E}{P}$$

$$t = \frac{1{,}8 \cdot 10^{17}\ \text{J}}{4{,}4 \cdot 10^9\ \text{W}} \approx 0{,}4 \cdot 10^8\ \text{s} \approx 4 \cdot 10^7\ \text{s} \approx 463\ \text{dni} \approx 1\ \text{rok}\ 3\ \text{miesiące}$$

Odpowiedź: W wyniku anihilacji powstaje $1{,}8 \cdot 10^{17}$ J energii, co odpowiada energii wytwarzanej w Bełchatowie w czasie ok. 1 roku i 3 miesięcy.

A to ciekawe

Czy antymaterię można spotkać w naszym codziennym życiu? Taką okazję mają pacjenci w trakcie badania techniką pozytonowej tomografii emisyjnej PET, podczas której podaje się im substancję promieniotwórczą podlegającą tzw. rozpadowi beta plus. Taka reakcja jest podobna do znanej ci już reakcji rozpadu beta, ale zamiast elektronu powstaje pozyton (antyelektron). Rozpadowi beta plus ulega np. izotop fluoru. Kiedy wzbogacony w niego cukier, deoksyglukoza, dostanie się do organizmu chorego, zaczynają go pochłaniać najżarłoczniejsze komórki organizmu (a do takich należą komórki rakowe). Fluor rozpada się i emituje pozytony. Pozytony wkrótce anihilują z pobliskimi elektronami, a z każdej takiej anihilacji powstają dwa fotony, biegnące w przeciwne strony. Są one wykrywane przez detektory otaczające pacjenta. Dzięki temu można określić dokładne miejsce powstania pozytonów i zidentyfikować najaktywniejsze metabolicznie obszary w ciele.



Zgodnie ze wzorem $E = mc^2$ w wyniku anihilacji dwa kilogramy masy (1 kg materii i 1 kg antymaterii) zmieniają się całkowicie w energię, do jakiej wytworzenia elektrownia konwencjonalna – taka jak przedstawiona na zdjęciu na początku tematu elektrownia w Bełchatowie – musi spalić ponad 40 mln ton węgla brunatnego.

To najważniejsze

- Ciało emitujące energię traci masę. Utratę masy można obliczyć ze wzoru $E = mc^2$.
- Całkowitą ilość energii, jaką można wyzwolić, gdy zamieni się na nią całą masę ciała, nazywamy **energią spoczynkową** tego ciała.
- Zasada zachowania energii obowiązuje również w trakcie przemian chemicznych i jądrowych: bardzo dokładne rachunki wymagają wówczas uwzględnienia energii zawartej w zmieniającej się masie.

Pytania i zadania

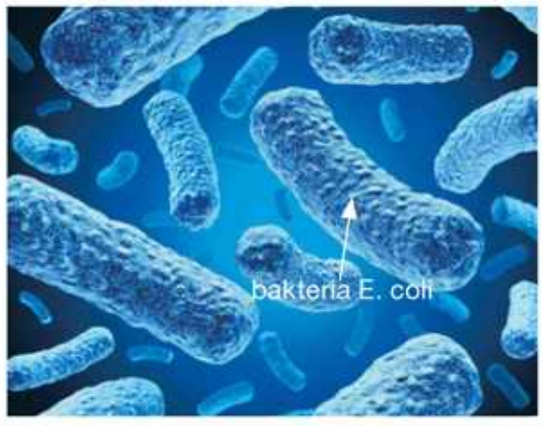
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Porównaj energię spoczynkową królika o masie 6 kg z roczną produkcją energii elektrycznej w Polsce, która wynosi ok. $7{,}4 \cdot 10^{17}$ J.



2. Ciało wpadające do rotującej czarnej dziury może wypromieniować w postaci energii nawet 40% swojej masy. Oblicz, jaką energię udałoby się uzyskać, gdyby do takiej czarnej dziury wrzucić kubełek śmieci o masie 10 kg. W 2019 r. średnie zapotrzebowanie na moc w Polsce wynosiło 23 451 MW. Na jak długo wystarczyłaby Polsce energia z tego kubełka?

3. Ania podgrzała w czajniku litr wody od 20°C do 100°C. O ile wzrosła masa podgrzanej wody? Wyraź tę różnicę w liczbie bakterii E. coli. Przyjmij, że jedna bakteria waży 10^{-15} kg.



4. Moc promieniowania Słońca wynosi $P = 4 \cdot 10^{26}$ W.

a) Oblicz, ile masy traci w ciągu sekundy Słońce wskutek wypromieniowania energii. Jakie rozmiary miałaby granitowa kostka o tej samej masie? Gęstość granitu to $d = 2750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

b) Załóżmy, że Słońce świeci ze zbliżoną mocą od 4,5 mld lat. Oblicz masę, jaka zamieniła się w tym czasie w energię. Porównaj tę masę z masą Ziemi $m_Z = 6 \cdot 10^{24}$ kg.



44. Deficyt masy

Cele lekcji:

- Dowiesz się, skąd pochodzi energia wydzielana podczas reakcji jądrowych.
- Nauczysz się obliczać i porównywać wydajność poszczególnych reakcji jądrowych.

Deficyt masy i energia wiązania

Co się dzieje z masą w reakcjach jądrowych? Również w tym przypadku proces wyzwolenia energii wiąże się z utratą masy. Przeanalizuj poniższy przykład.

Przykład 1

Synteza helu

O ile różni się masa jądra helu od sumy mas jego poszczególnych składników? Jaki to procent sumy mas składników? Dane odczytaj z tablic fizycznych. Ponieważ różnica masy może być niewielka, obliczenia należy wykonać z dużą dokładnością.



Dane:

$m_{\text{protonu}} = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$

$m_{\text{neutronu}} = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$

$m_{\text{jądra helu}} = 6{,}6447 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$

Szukane:

$\Delta m = ?$

Rozwiązanie: Obliczamy łączną masę dwóch protonów i dwóch neutronów.

$$2m_{\text{protonu}} + 2m_{\text{neutronu}} = 2 \cdot 1{,}6726 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} + 2 \cdot 1{,}6749 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} = 6{,}6950 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$$

Obliczamy różnicę sumy poszczególnych składników i masy jądra helu.

$$\Delta m = 2m_{\text{protonu}} + 2m_{\text{neutronu}} - m_{\text{jądra helu}}$$

$$\Delta m = 6{,}6950 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} - 6{,}6447 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} = 0{,}0503 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} = 5{,}03 \cdot 10^{-29}\ \text{kg}$$

W stosunku do łącznej masy cząstek przed połączeniem różnica ta wynosi:

$$\frac{\Delta m}{2m_{\text{protonu}} + 2m_{\text{neutronu}}} = \frac{0{,}0503 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}}{6{,}6950 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}} \approx 0{,}008 \approx 0{,}8\%$$

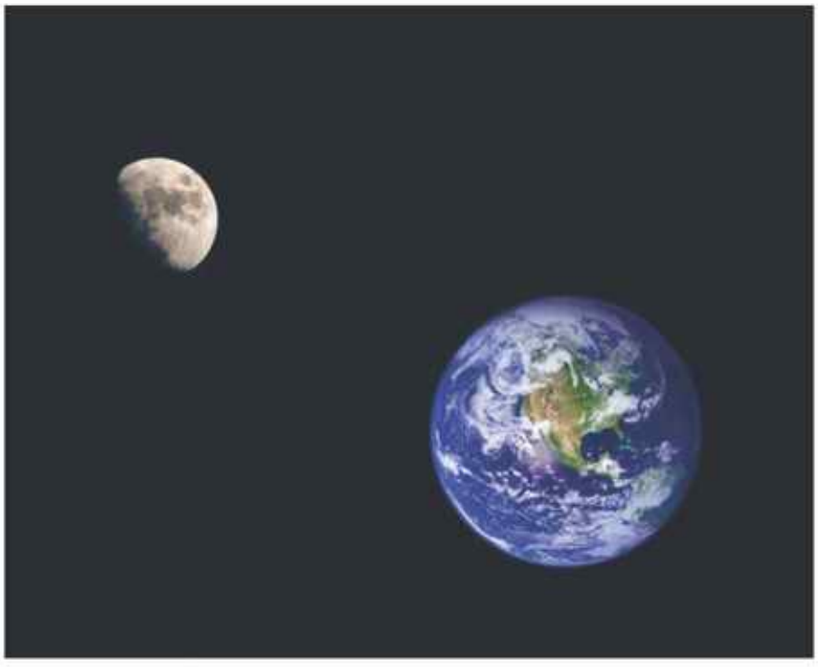
Odpowiedź: Masa jądra helu jest mniejsza od masy jego poszczególnych składników o $5{,}03 \cdot 10^{-29}$ kg, czyli o ok. 0,8%.

Różnicę między masą składników jądra a masą jądra nazywamy **deficytem masy**.

W przypadku jądra helu deficyt masy wynosi $5{,}03 \cdot 10^{-29}$ kg, co zgodnie ze wzorem $E = mc^2$ odpowiada w przybliżeniu energii $4{,}5 \cdot 10^{-12}$ J. Właśnie taka jej ilość wyzwoli się podczas syntezy jądra helu z dwóch protonów i dwóch neutronów.
Jeśli chcielibyśmy jądro helu rozszczepić na protony i neutrony, musielibyśmy ponownie dostarczyć do niego taką energię. Dlatego nazywamy ją **energią wiązania jądra**.

Energia E wiązania jądra to energia potrzebna do rozszczepienia jądra na poszczególne składniki. Jej wartość zależy od deficytu masy zgodnie ze wzorem $E = mc^2$.

Jeśli podzielimy energię wiązania jądra przez liczbę znajdujących się w nim protonów i neutronów, otrzymamy energię wiązania przypadającą na jeden nukleon. Im większa jest ta energia, tym mocniej są ze sobą związane nukleony i trudniej dane jądro rozszczepić. Największą energię wiązania mają jądra żelaza – dlatego właśnie nie można uzyskać energii ani z ich rozszczepienia, ani z syntezy.



Masa układu złożonego z Ziemi i krążącego wokół niej Księżyca jest o kilkaset milionów ton mniejsza niż suma mas tych ciał niebieskich umieszczonych z dala od siebie

Pojęcie energii wiązania możemy wykorzystać nie tylko do zagadnień związanych z przemianami jądrowymi. W poprzednim rozdziale mówiliśmy, że aby oderwać elektron od jądra atomowego, należy mu dostarczyć energii, zwanej energią jonizacji. Jest to energia wiązania elektronu w atomie.
Podobnie możemy np. rozważać energię wiązania układu Ziemia–Księżyc, czyli ilość energii, jaką trzeba by dostarczyć naszemu satelicie, aby na zawsze uwolnił się od naszej planety. W każdej sytuacji, w której ciała są ze sobą związane i do ich rozdzielenia potrzebna jest dodatkowa energia, ich łączna masa jest mniejsza od masy rozdzielonych składników o $m = \frac{E_{\text{wiązania}}}{c^2}$ (patrz rys. na poprzedniej stronie).

Energia rozpadu i energia syntezy

Wzór $E = mc^2$ pozwala obliczyć, ile energii wydziela się w reakcjach jądrowych.

Przykład 2

Rozszczepienie uranu

Oblicz, ile energii wydzieli się podczas rozszczepienia 1 kg uranu w procesie opisanym za pomocą równania:

$$^{235}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{93}_{36}\text{Kr} + {}^{140}_{56}\text{Ba} + 3{}^{1}_{0}\text{n}$$

Potrzebne masy odczytaj z tablic na końcu podręcznika.

Dane:

$m_{\text{U}} = 390{,}2158 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$

$m_{\text{n}} = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$

$m_{\text{Kr}} = 154{,}2832 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$

$m_{\text{Ba}} = 232{,}2760 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$

Szukane:

$E = ?$

Rozwiązanie: Obliczamy różnicę między masą jąder przed rozszczepieniem i po nim.

$$\Delta m = (390{,}2158 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} + 1{,}6749 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}) - (154{,}2832 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} + 232{,}2760 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} + 3 \cdot 1{,}6749 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}) = 0{,}3068 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$$

Obliczamy, jaki ułamek masy jąder uranu stanowi ten ubytek masy.

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{0{,}3068 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}}{390{,}2158 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}} = 0{,}000786 = 0{,}0786\%$$

W takim razie podczas rozszczepienia 1 kg uranu ubytek masy będzie stanowić 0,000786 kg. Rozszczepieniu temu odpowiada energia:

$$E = mc^2$$

$$E = 0{,}000786\ \text{kg} \cdot 3 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0{,}000786\ \text{kg} \cdot 9 \cdot 10^{16}\ \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \approx 7 \cdot 10^{13}\ \text{J}$$

Odpowiedź: Podczas rozszczepienia 1 kg uranu wydzieli się ok. $7 \cdot 10^{13}$ J energii.

W przykładzie 2. obliczyliśmy, że z 1 kg uranu można otrzymać w przybliżeniu $7 \cdot 10^{13}$ J energii. Aby uzyskać taką samą energię w tradycyjnej elektrowni, trzeba

spalić ponad 2 tysiące ton węgla. Małe ilości potrzebnego paliwa to jeden z powodów wykorzystania reaktorów jądrowych nie tylko do napędzania turbin elektrowni, lecz także niektórych wielkich okrętów (patrz np. lodołamacz na s. 280).

> Energię wyzwoloną podczas reakcji jądrowych można obliczyć przez porównanie mas substratów i produktów reakcji.

W podobny sposób można obliczyć, ile energii uzyskalibyśmy z syntezy helu z wodoru, gdyby udało się nam zbudować elektrownię termojądrową.

To najważniejsze

- Różnicę między masą składników jądra a masą jądra nazywamy **deficytem masy**.
- **Energia wiązania jądra** E to energia potrzebna do rozszczepienia jądra na poszczególne składniki. Jej wartość zależy od deficytu masy zgodnie ze wzorem $E = mc^2$.
- Energię wyzwoloną podczas reakcji jądrowych można obliczyć przez porównanie masy substratów i produktów reakcji.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Oblicz deficyt masy i energię wiązania jądra węgla $^{12}_{6}C$.

2. Oblicz energię, jaka wydzieliłaby się w procesie uzyskania 1 kg węgla z protonów i neutronów. Następnie porównaj ją z energią uzyskaną ze spalenia tego węgla, równą $3{,}3 \cdot 10^7$ J.



3. Nasze Słońce pod koniec swojego życia będzie czerpało energię z reakcji, w której trzy jądra helu $^{4}_{2}He$ łączą się w jedno jądro węgla $^{12}_{6}C$. Jaka energia wydzieli się podczas reakcji 1 kg helu?

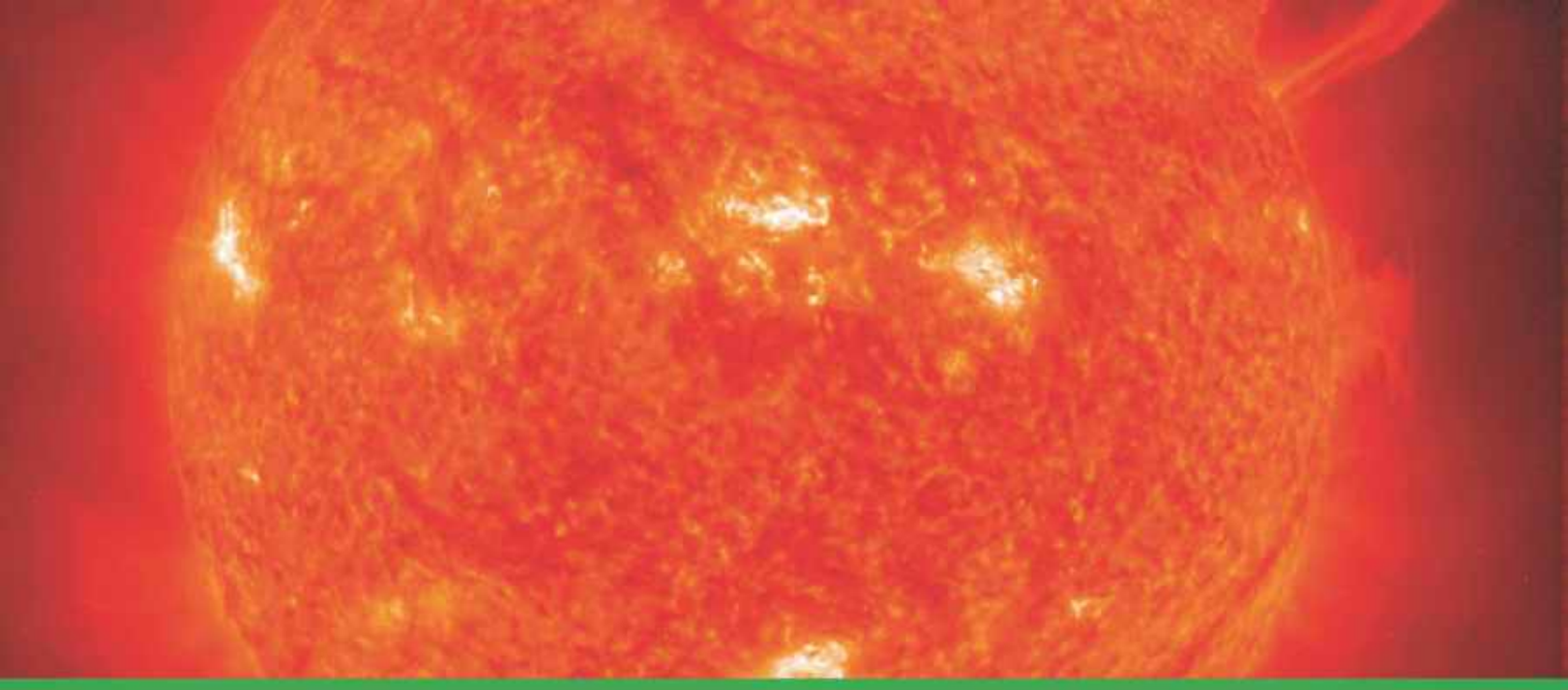
4. W planowanym reaktorze termojądrowym ITER ma zachodzić następująca reakcja:

$$^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$

a) Oblicz, ile energii można by uzyskać z kilograma mieszaniny potrzebnych izotopów wodoru.

b) Porównaj otrzymaną wielkość z energią uzyskaną ze spalania 1 kg węgla ($3{,}3 \cdot 10^7$ J). Zapisz w zeszycie wnioski.

5. Podaj najwyższą wartość temperatury, jaką udało się osiągnąć w laboratoriach na Ziemi. Znajdź w internecie informację, jaką metodą tego dokonano i jak długo taka temperatura się utrzymała. Zapisz, z jakich źródeł korzystałeś.



45. Życie Słońca

Cele lekcji:

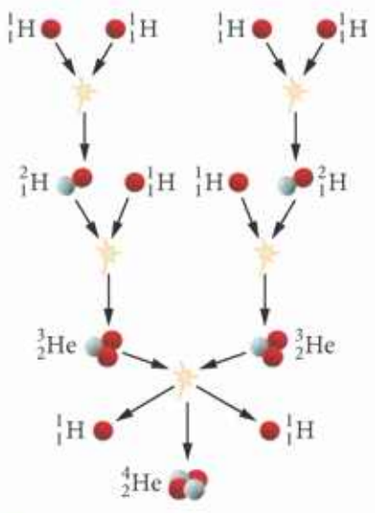
- Dowiesz się, jak powstało Słońce i jakie będą jego dalsze losy.
- Poznasz przyszłość Ziemi i Układu Słonecznego.

Dlaczego Słońce świeci

Jak długo będzie żyło Słońce? Dlaczego świeci? Nad tymi pytaniami zastanawiano się od bardzo dawna. Jeszcze pod koniec XIX w. odpowiedź na nie wydawała się niemożliwa do uzyskania.

Dzięki wykopaliskom paleontologów wiedziano, że Ziemia i Słońce istniały od co najmniej kilkuset milionów lat (dziś wiemy, że od ok. 4,5 mld lat). Nikt nie umiał sobie jednak wyobrazić, co mogłoby podtrzymywać świecenie Słońca przez tak długi czas. Gdyby całe Słońce było zbudowane np. z płonącego węgla, wypaliłoby się dawno temu. Skąd zatem czerpie energię?

Rozwiązanie tej zagadki przyniosła dopiero fizyka jądrowa. Jak już wiesz, Słońce – gazowa kula, składająca się głównie z wodoru i helu – jest olbrzymim reaktorem termojądrowym. W jego ściśniętym jądrze, rozgrzanym do temperatury 15 mln stopni, nieustannie zachodzi **synteza helu z wodoru**.



▲ Uproszczony schemat syntezy wodoru w hel

> Słońce świeci dzięki reakcjom termojądrowym łączenia (syntezy) jąder wodoru w jądra helu. Reakcje te zachodzą w jego wnętrzu w bardzo wysokiej temperaturze i pod bardzo wysokim ciśnieniem.

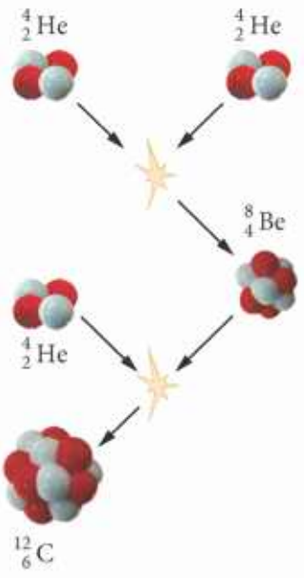
Jest to więc taka sama reakcja termojądrowa, jak w bombie wodorowej.

Wiek i dalsze losy Słońca

Wiemy, że Słońce liczy sobie ponad 4,5 mld lat. Oceniamy, że jego początkowy zapas wodoru powinien wystarczyć na ponad 11 mld lat. To oznacza, że obecnie znajduje się w nim zapas wodoru na jeszcze ok. 7 mld lat. Zatem Słońce można traktować jako gwiazdę znajdującą się niemal w połowie życiowej drogi.

Kiedy za około 6 mld lat od dziś cały wodór dostępny w słonecznym jądrze zmieni się w hel, jądro nieco się skurczy, a nasza gwiazda zacznie prowadzić syntezę wodoru w hel w otoczce jądra. Wtedy zewnętrzne warstwy znacznie zwiększą swoją objętość.

Słońce powiększy się wówczas tak bardzo, że pochłonie orbitę Wenus, a być może również Ziemi. Za to warunki sprzyjające życiu mogą się wówczas pojawić na powierzchni księżyców Jowisza i Saturna. Słońce zmieni też kolor z żółtego na czerwony i stanie się **czerwonym olbrzymem**.



▲ Schemat reakcji przemiany helu w węgiel

Nieco później w jądrze Słońca zacznie się synteza węgla z helu:

$$3\,{}^4_2\mathrm{He} \rightarrow {}^{12}_6\mathrm{C}$$

> Za ok. 7 mld lat w jądrze Słońca rozpocznie się reakcja przemiany helu w węgiel.

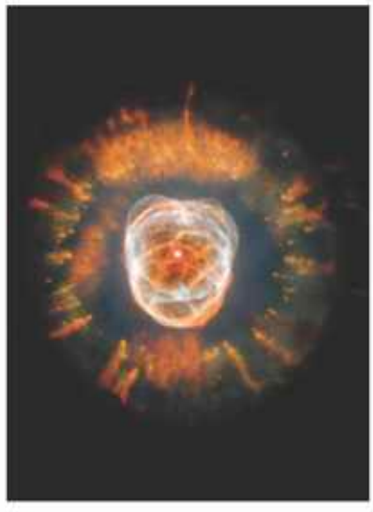
W tej reakcji nie wyzwala się już tak dużo energii jak podczas przemiany wodoru w hel. Przewiduje się, że helu wystarczy tylko na ok. 100 mln lat. Pod koniec tego okresu nasza gwiazda będzie gwałtowne traciła gaz i odrzucała znaczną część zewnętrznych warstw.

Schyłek życia

Gdy wyczerpie się również hel, historia Słońca zacznie zmierzać do finału. Gwiazda pozbawiona źródła energii zacznie przygasać i stygnąć. Zewnętrzne warstwy ulecą w przestrzeń kosmiczną i odsłonią wciąż gorące jądro.

Przez kilkanaście tysięcy lat jego ultrafioletowe promieniowanie będzie pobudzało do świecenia odrzuconą otoczkę, która rozbłyśnie różnymi kolorami. Z odległych światów będzie można ją podziwiać jako piękną **mgławicę planetarną**.

A później? Pozostanie już tylko stygnące, niezwykle małe i gęste jądro dawnego Słońca. Jego masa będzie dwukrotnie mniejsza od dzisiejszej i zawrze się w kuli o promieniu zaledwie kilku tysięcy kilometrów. Tak niewielkie, ale gęste obiekty nazywamy **białymi karłami**.



▲ Mgławica planetarna. Tak będzie wyglądać Słońce za ponad 7 mld lat

Po kolejnych miliardach lat gasnące i stygnące Słońce stanie się czarnym karłem – zimną, gęstą kulą, trudną do zauważenia z okolic innych gwiazd. Czy ludzkość będzie jeszcze wówczas istniała? Jeśli tak, to osiedlona w innym układzie planetarnym.

To najważniejsze

- Słońce świeci **dzięki reakcjom termojądrowym** łączenia (syntezy) jąder wodoru w jądra helu, zachodzącym we wnętrzu gwiazdy w bardzo wysokiej temperaturze i pod bardzo wysokim ciśnieniem.
- Słońce ma już ok. 4,5 mld lat, a wodoru wystarczy w nim jeszcze na ok. 7 mld lat.
- Gdy wodór w jądrze się skończy, Słońce będzie uzyskiwać energię dzięki **reakcji syntezy** jąder helu w jądra węgla. Potem synteza ustanie, a Słońce ostygnie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Załóżmy, że ludzkość dotrwa do chwili, gdy za ok. 6 mld lat Słońce stanie się czerwonym olbrzymem. Załóżmy, że żyć będą wtedy nasi potomkowie. Oszacuj, ile pokoleń przeminie, zanim się to stanie.

2. Podaj właściwą kolejność etapów życia Słońca.

czerwony olbrzym • biały karzeł • gwiazda produkująca hel z wodoru • czarny karzeł

3. Uzupełnij zdania.

Aby uzyskać jedno jądro $^{12}_{6}C$, trzeba połączyć ////////// jądra helu $^{4}_{2}He$. Taka reakcja będzie zachodzić w Słońcu za ok. ////////// lat i przebiegać znacznie szybciej niż obecny proces syntezy helu z wodoru.

4. Promień Słońca wynosi w tej chwili ok. $7 \cdot 10^8$ m. Gdy stanie się ono czerwonym olbrzymem, będzie miało masę podobną do dzisiejszej, ale jego promień będzie mniej więcej równy obecnej odległości Ziemi od Słońca ($1{,}5 \cdot 10^{11}$ m). Z kolei, gdy Słońce zostanie białym karłem, jego promień skurczy się do rozmiarów tylko nieznacznie większych od promienia Ziemi (ok. 9000 km). Masa Słońca zmniejszy się wtedy dwukrotnie i będzie wynosiła ok. 10^{30} kg. Oblicz średnią gęstość Słońca:

a) obecnie,

b) gdy stanie się ono czerwonym olbrzymem,

c) gdy stanie się ono białym karłem.

46. Życie gwiazd – kosmiczna menażeria

Cele lekcji:

- Poznasz przebieg ewolucji gwiazd znacznie masywniejszych od Słońca.
- Dowiesz się, jak powstają supernowe i czarne dziury.

Narodziny gwiazd

Gwiazdy powstają z olbrzymich, ale bardzo rozrzedzonych obłoków gazowych. Z czasem obłok pod wpływem grawitacji zaczyna się kurczyć i zapadać. Następnie dzieli się na mniejsze fragmenty.

W miarę jak fragmenty obłoku się kurczą, ich temperatura rośnie. Po pewnym czasie w środku każdego mniejszego obłoku powstaje gorąca kula gazowa – przyszła gwiazda – otoczona resztkami wciąż spływającej na nią materii.

Dalszy cykl życia gwiazdy

Gdy temperatura we wnętrzu kuli wzrośnie na tyle, aby mogła zostać w niej zainicjowana reakcja łączenia (syntezy) jąder wodoru w hel, rozpoczyna się zwykłe życie gwiazdy. Niekiedy z resztek materii, która nie opadła na gwiazdę, mogą powstać planety – właśnie w ten sposób narodził się nasz Układ Słoneczny.

Chociaż pierwszy etap życia gwiazd przebiega podobnie, ich dalsze losy zależą od ich masy.

> Cykl życia gwiazdy zależy od jej masy.

Przedstawiamy go na ilustracji na kolejnych stronach. Przeanalizuj życie gwiazd. Zastanów się, jaki los czekałby Słońce, gdyby miało większą masę.



▲ Z widocznych na zdjęciu obłoków międzygwiezdnego pyłu i gazu w mgławicy Orzeł powstaje nowe pokolenie gwiazd

Życie gwiazd

Jak myślisz, czy życie wszystkich gwiazd wygląda tak samo? Jak się okazuje, los większości z nich zależy od początkowej masy gwiazdy.

GWIAZDA CIĄGU GŁÓWNEGO

W pierwszym, najdłuższym okresie życia gwiazdy w jej wnętrzu z wodoru powstaje hel. Na tym etapie jest obecnie Słońce.



najlżejsze gwiazdy

BIAŁY KARZEŁ

Gdy przemiany termojądrowe dobiegną końca, gwiazda odrzuca zewnętrzne warstwy i staje się białym karłem – supergęstą stygnącą kulą gazową.



CZARNY KARZEŁ

Gdy biały karzeł wypromieniuje wszystkie zapasy energii, staje się ciemną i zimną kulą materii.



Wzbogacona w ciężkie pierwiastki materia odrzucona przez supernowe i inne tracące masę gwiazdy wraca do obłoków międzygwiezdnych, z których utworzy się kolejne pokolenie gwiazd.

POCZĄTEK

OBŁOK GAZOWY

Na początku materia przyszłej gwiazda ma postać rozległego obłoku gazu i pyłu.

Pod wpływem grawitacji obłok kurczy się, gęstnieje i wzrasta jego temperatura. W końcu zaczynają zachodzić reakcje termojądrowe – powstaje gwiazda.

CZERWONY OLBRZYM

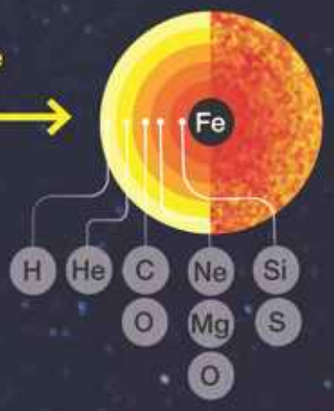
W jądrze gwiazdy zakończyła się synteza helu z wodoru i proces ten przenosi się do otoczki jądra. Gwiazda powiększa się i ochładza – staje się czerwonym olbrzymem. Wkrótce rozpoczyna się synteza węgla z helu.

Kiedy wyczerpie się zapas helu, jądra węgla łączą się i tworzą jądra kolejnych pierwiastków o jeszcze większej liczbie protonów. Zwykle reakcja ta zatrzymuje się na produkcji niezbyt ciężkich pierwiastków, a gwiazda staje się białym karłem. Czasem jednak reakcja trwa do chwili, gdy w jądrze gwiazdy powstanie żelazo.

TWORZĄ SIĘ KOLEJNE PIERWIASTKI

Gdy we wnętrzu gwiazdy powstanie żelazo, w procesie łączenia jego jąder nie można już uzyskać energii. Pozbawiona paliwa gwiazda się zapada, po czym jej zewnętrzne warstwy odbijają się od wnętrza i gwiazda wybucha jako supernowa.

najcięższe gwiazdy



gwiazda o masie podobnej do Słońca

WYBUCH SUPERNOWEJ

Pozostała po wybuchu część materii zaczyna się zapadać pod wpływem własnej grawitacji. Staje się bardzo gęstą, złożoną głównie z neutronów gwiazdą neutronową lub czarną dziurą.

GWIAZDA NEUTRONOWA

Gęstość gwiazdy neutronowej przekracza 1 mld $\frac{kg}{cm^3}$. Niektóre gwiazdy neutronowe (tzw. pulsary) obracają się nawet setki razy na sekundę, emitując regularne błyski.

CZARNA DZIURA

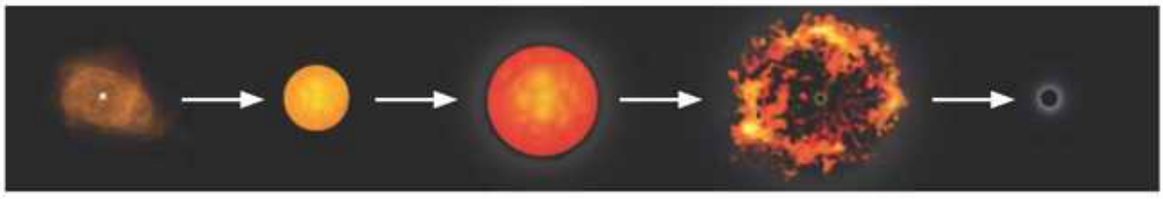
Z najmasywniejszych supernowych powstają czarne dziury – gwiazdy, z których nie może uciec nawet światło. Czarnych dziur nie możemy bezpośrednio zaobserwować, ale wiemy, że istnieją, ponieważ obserwujemy ich wpływ na inne gwiazdy. Umiemy też rejestrować fale grawitacyjne wysyłane przez zderzające się czarne dziury – zjawisko przewidziane przez teorię względności.

To najważniejsze

- Gwiazdy tworzą się z obłoków gazowych kurczących się pod wpływem grawitacji.
- Najlżejsze gwiazdy stygną, gdy cały dostępny w jądrze wodór zmieni się w hel.
- W gwiazdach o większej masie hel zmienia się w węgiel. Jeśli gwiazda ma bardzo dużą masę, węgiel zmienia się w kolejne pierwiastki do momentu, aż powstanie żelazo.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Czy powyższy rysunek przedstawia losy gwiazdy lekkiej czy ciężkiej? Wymyśl i zapisz w zeszycie podpisy do poszczególnych ilustracji.
2. Pewien pulsar o promieniu 12 km obraca się 50 razy na sekundę wokół własnej osi. Oblicz prędkość, z jaką poruszają się punkty na jego równiku.
3. Promień pewnej gwiazdy neutronowej wynosi 12 km, a jej masa jest równa masie Słońca ($2 \cdot 10^{30}$ kg). Oblicz:

   a) średnią gęstość tej gwiazdy,

   b) jaką masę miałaby szklanka materii pochodzącej z tej gwiazdy? Szklanka ma objętość ok. 250 cm^3.

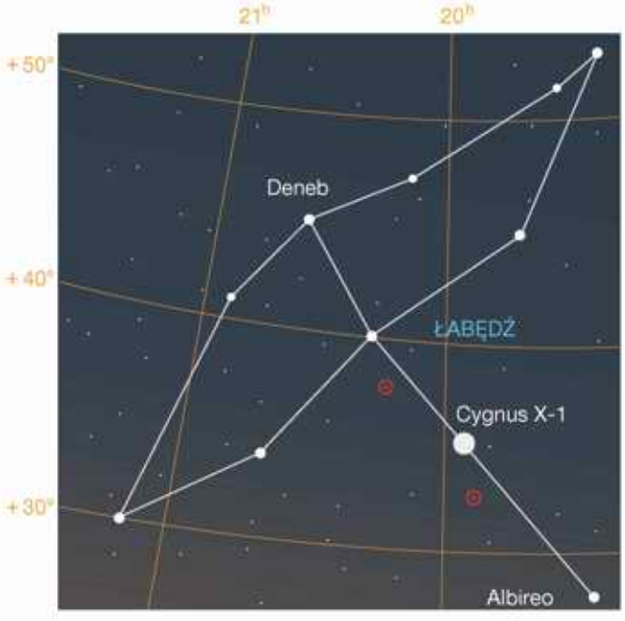
Obserwacje

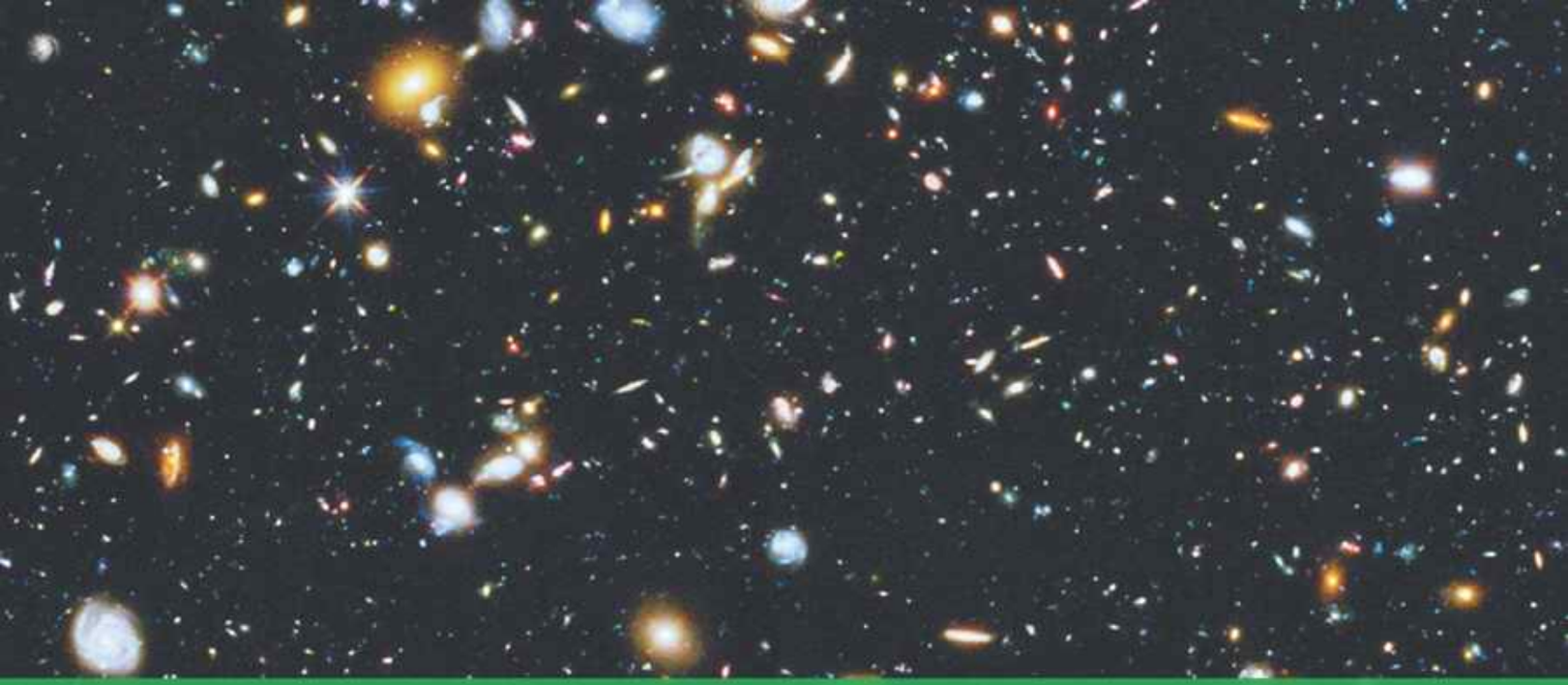
Gdzie jest czarna dziura

Uwaga. Nie obiecujemy, że ją zobaczysz, bo czarnych dziur po prostu nie widać. Możesz jednak znaleźć na niebie miejsce, gdzie taka gwiazda się znajduje.

1. Znajdź na niebie gwiazdozbiór Łabędzia (w Polsce jest to możliwe od wiosny do jesieni). Jest on pokazany na rysunku obok.

2. Znajdź na rysunku miejsce w połowie szyi łabędzia, oznaczone białym punktem. Czarna dziura znajduje się w tym miejscu.





47. Wszechświat

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak Wszechświat rozpoczął swoje istnienie.
- Poznasz losy Wszechświata i metody ich badania.

Wszechświat się rozszerza



▲ Galaktyka Andromedy

Wszystkie gwiazdy, które widzisz na niebie, znajdują się w naszej **Galaktyce** (Drodze Mlecznej), a emitowane przez nie światło biegnie na Ziemię najwyżej kilkadziesiąt tysięcy lat. Jednak Wszechświat jest o wiele większy – nawet położone stosunkowo blisko inne skupisko gwiazd, **Galaktyka Andromedy**, znajduje się w odległości ok. 2,5 mln lat świetlnych od nas. To oznacza, że światło biegnie od niej ku Ziemi przez 2,5 mln lat.
Galaktyka Andromedy i Droga Mleczna to największe galaktyki z **Grupy Lokalnej**, na którą składa się ponadto kilkadziesiąt małych galaktyk.
Tysiące razy dalej znajduje się wiele innych galaktyk. Gdy astronomowie nauczyli się wyznaczać odległości do nich i ich prędkości, okazało się, że dalekie galaktyki oddalają się od nas szybciej niż położone bliżej. Tę zależność odkrył Edwin Hubble (czyt. edłin habl), dlatego nazywamy ją **prawem Hubble'a**.
W swoich pomiarach wykorzystał on efekt Dopplera. Podczas obserwacji światła dochodzącego z odległych galaktyk wykrył, że ma ono większą długość fali niż światło nieruchomej galaktyki. Wydłużanie się fali, czyli tzw. przesunięcie mierzonej barwy światła ku czerwieni, pozwala dokładnie mierzyć prędkość ucieczki galaktyk.

> Im dalej od Drogi Mlecznej znajduje się galaktyka, tym szybciej się od niej oddala – galaktyka znajdująca się dwa razy dalej, oddala się dwa razy szybciej.

Czy wynika stąd, że Droga Mleczna jest wyjątkowa? Czy może jest obiektem, od którego uciekają wszystkie inne galaktyki?

Doświadczenie 28.

Uciekające galaktyki

1. Na powierzchni balonika zaznacz pisakiem kilka kropek. Będą one symbolizować galaktyki.
2. Nadmuchuj balon i obserwuj, jak zmieniają się odległości między kropkami-galaktykami.
3. Czy widzisz jakąś wyróżnioną galaktykę, od której uciekają wszystkie inne, czy może odległości między wszystkimi kropkami na balonie zmieniają się w podobny sposób?

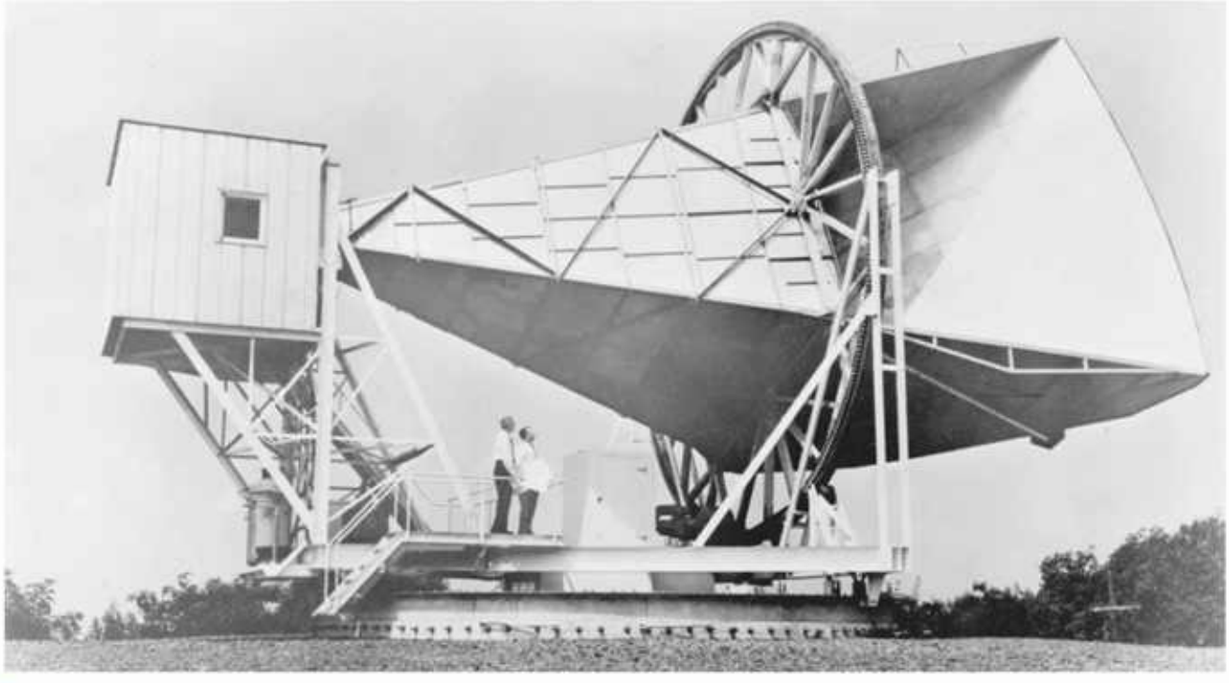


Te obserwacje pomagają zrozumieć, dlaczego galaktyki oddalają się od siebie – tym szybciej, im większa dzieli je odległość. Wynika to z rozszerzania się całego Wszechświata. Jeśli w odległej galaktyce żyją istoty rozumne, to ze swojej perspektywy mogą obserwować ucieczkę galaktyk tak samo jak my.

Jak badamy kosmos

Jednym z najważniejszych zjawisk badanych przez kosmologów, którzy próbują odpowiedzieć na pytania o przeszłość i dalsze losy Wszechświata, jest mikrofalowe promieniowanie tła, powstałe ok. 380 000 lat po początku Wszechświata.

Promieniowanie tła odkryli w latach 60. XX w. dwaj młodzi pracownicy Bell Labs: Arno Penzias (czyt. penzies) i Robert Wilson. Prowadzili radiowe obserwacje astronomiczne za pomocą anteny zbudowanej pierwotnie w celu utrzymywania łączności poprzez sztuczne satelity. Jednak badania utrudniał im radiowy szum. Dopiero gdy naukowcy przypadkiem dowiedzieli się, że taki szum jest już od ponad roku bezskutecznie poszukiwany przez pobliską grupę kosmologów, zrozumieli jego istotę.



▲ Antena, za pomocą której odkryto mikrofalowe promieniowanie tła (jego mapę widziałeś na s. 202)

Wielki Wybuch

Skoro Wszechświat się rozszerza, to znaczy, że kiedyś musiał być znacznie mniejszy. Początek Wszechświata, czyli moment, gdy powstał i zaczął się rozszerzać, nazywamy **Wielkim Wybuchem** (rys. A). Szacuje się, że miał on miejsce niemal 14 mld lat temu.

> Rozszerzanie się Wszechświata rozpoczęło się ok. 14 mld lat temu, w momencie Wielkiego Wybuchu.

Wiemy, co się działo ułamek sekundy po Wielkim Wybuchu. Wszechświat był wówczas supergęsty, a jego temperatura wielokrotnie przekraczała miliard miliardów stopni Celsjusza.

Jednak rozszerzająca się materia szybko stygła i już po upływie jednej milionowej sekundy od Wielkiego Wybuchu pojawiły się warunki do przetrwania protonów i neutronów. Półtorej minuty później część z tych cząstek elementarnych połączyła się ze sobą i utworzyła jądra helu oraz niewielkie ilości litu (rys. B). Później temperatura spadła tak bardzo, że proces syntezy termojądrowej się zakończył.

Oznacza to, że stygnący Wszechświat wypełniały początkowo tylko trzy pierwiastki: wodór (jądrem wodoru jest proton), hel i lit. Wszystkie pierwiastki cięższe od litu powstawały później w gorących wnętrzach gwiazd lub podczas wybuchów supernowych.

A.



Wielki Wybuch

B.



jądra helu, protony, elektrony, promieniowanie

C.



pierwsze gwiazdy oraz małe galaktyki

D.



galaktyki, gromady galaktyk

▲ Wybrane kadry z ewolucji Wszechświata

Pierwsze gwiazdy i galaktyki powstały zapewne kilkaset milionów lat po Wielkim Wybuchu, gdy Wszechświat wystarczająco ostygł (rys. C). Różniły się one od dzisiejszych – składały się tylko z pierwiastków powstałych tuż po Wielkim Wybuchu, a ich masa była ponadstukrotnie większa od słonecznej.

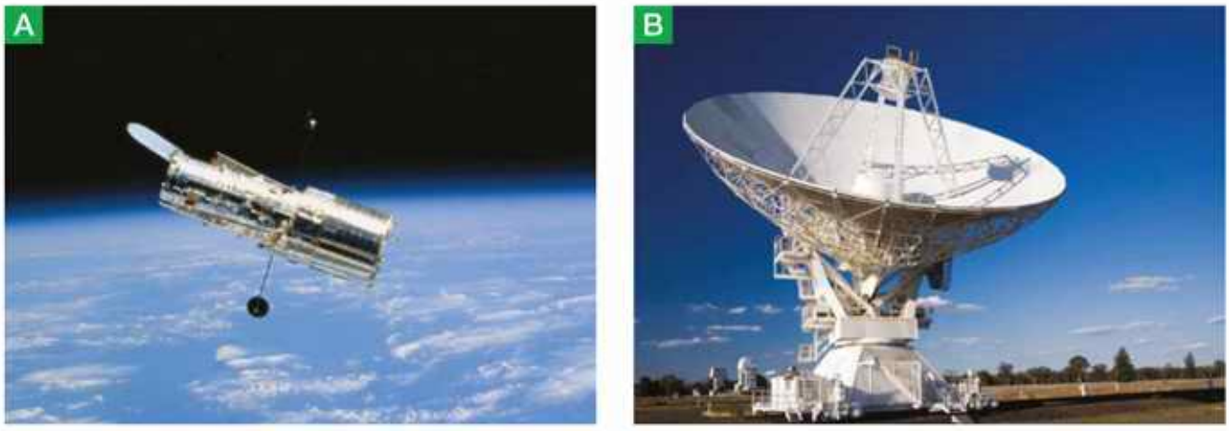
Nic dziwnego, że to pierwsze gwiezdne pokolenie szybko zakończyło życie w potężnych wybuchach supernowych. Rozsiały one po kosmosie cięższe pierwiastki, co umożliwiało powstanie planet podobnych do Ziemi.

Również młode galaktyki były znacznie mniejsze od dzisiejszych. Jednak zachodzące przez miliardy lat procesy ich zderzeń i łączenia doprowadziły do powstania współczesnego Wszechświata (rys. D).

Oglądamy przeszłość

Wszystkie te procesy możemy obserwować na własne oczy. Dzięki temu, że światło biegnie przez kosmos ze skończoną prędkością 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$, dalekie obiekty obserwujemy takimi, jakimi były dawniej.

Jeśli więc patrzymy na galaktykę odległą od nas o 10 mld lat świetlnych, to nie widzimy, jak wygląda obecnie, ale dowiadujemy się, jak wyglądała 10 mld lat temu.



▲ **A.** Teleskop Hubble'a jest umieszczony na orbicie. Dzięki temu w obserwacjach Kosmosu nie przeszkadza ziemska atmosfera. **B.** Radioteleskopy umożliwiają badanie odległych zakątków Wszechświata

Światło biegnące od najdalszych galaktyk, dostrzegalnych tylko przez największe teleskopy, biegło do nas niemal 13 mld lat, dzięki czemu wiemy, jak wyglądały te skupiska gwiazd i planet w chwili, gdy młody Kosmos liczył sobie niecały miliard lat.
Obserwacja bliższych obiektów pozwala nam poznać jego późniejsze losy. Możemy zatem prześledzić dziecięce, młodzieńcze i współczesne, dojrzałe już oblicze Wszechświata.

Dalsze losy Wszechświata

Niemal do końca ubiegłego stulecia badacze zastanawiali się, czy Wszechświat będzie się rozszerzał w nieskończoność, czy może kiedyś jego ekspansja zwolni, zatrzyma się, a później rozpocznie się kurczenie i zapadanie całej kosmicznej materii.
Dzisiaj na podstawie kilku niezależnych przełomowych obserwacji i pomiarów tempa rozszerzania się Wszechświata uważa się, że nie tylko nieustannie się on rozszerza i będzie rozszerzać się nadal, ale wręcz robi i będzie to robić coraz szybciej.
Za odkrycie zjawiska przyspieszającej ekspansji Wszechświata poprzez obserwacje odległych supernowych Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt (czyt. szmit) i Adam G. Riess (czyt. ris) otrzymali w 2011 r. Nagrodę Nobla.
Fizycy nie są jeszcze w stanie wyjaśnić dokładnie, dlaczego Wszechświat rozszerza się coraz szybciej. Jak widać, nauka nie zbadała jeszcze wielu problemów. Może niektóre z nich rozwiążesz właśnie ty?



▲ Trzej nobliści: **A.** Adam G. Riess, **B.** Brian P. Schmidt, **C.** Saul Perlmutter

Powstawanie pierwiastków

Na początku rozdziału była mowa o tym, że jedne pierwiastki mogą się zmieniać w inne. Jądra pierwiastków lekkich mogą się ze sobą łączyć i tworzyć pierwiastki cięższe, a jądra pierwiastków cięższych, począwszy od bizmutu, samorzutnie się rozpadają.

Wiesz także, skąd wzięły się wszystkie spotykane na Ziemi i w kosmosie pierwiastki. Tylko wodór, hel i lit powstały już na samym początku istnienia Wszechświata. Wszystkie inne, takie jak tlen i węgiel w twoim ciele, azot w atmosferze, krzem w ziarnkach piasku czy złoto z każdej obrączki, zostały wytworzone we wnętrzu jakiejś gwiazdy.



▲ Mgławica pozostała po wybuchu supernowej obserwowanej najprawdopodobniej w 1054 r.

Dzieci gwiazd

W jaki zatem sposób powstałe w gwiazdach pierwiastki trafiły na Ziemię? Przypomnij sobie historię życia gwiazd. Na którymś etapie swojego życia każda z nich traci część masy. W przestrzeń kosmiczną trafia wówczas materia przetworzona w jej wnętrzu. Wyprodukowane w gwiazdach cięższe pierwiastki dołączają do międzygwiezdnych obłoków wodoru i helu.

Z czasem takie obłoki się zapadają i dają początek kolejnemu pokoleniu gwiazd. Cały Układ Słoneczny wraz ze Słońcem powstał z takiego wzbogaconego przez dawne gwiazdy obłoku.

Fizycy potrafią dziś stwierdzić, że niektóre spotykane na Ziemi izotopy dotarły na naszą planetę na skutek wybuchu supernowych, inne z kolei pochodzą z gwiazd podobnych do Słońca, które zakończyły już swój cykl życiowy. Można więc powiedzieć, że jesteśmy prawdziwymi dziećmi gwiazd.



▲ Mgławica Orzeł

Miliardy innych światów

Nowe gwiazdy i planety powstają we Wszechświecie również obecnie. Jednym z obszarów ich tworzenia jest Mgławica Orzeł (M16) w gwiazdozbiorze Węża (patrz zdjęcie i obserwacje po tej lekcji). Dziś trudno jeszcze stwierdzić, jak wiele planet obiega gwiazdy, ale podejrzewamy, że jest ich w Galaktyce co najmniej tyle samo co gwiazd. Obecnie znamy tysiące pozasłonecznych planet. Większość z nich jest podobna do Jowisza lub Neptuna, część stanowią też kilkakrotnie masywniejsze od naszej planety super-Ziemie.

A to ciekawe

Pierwsze planety obiegające gwiazdę inną niż Słońce odkrył w 1992 r. polski astronom Aleksander Wolszczan. Mają one już swoje nazwy: Międzynarodowa Unia Astronomiczna ochrzciła pierwsze pozasłoneczne planety imionami Poltergeista (złośliwego i hałaśliwego ducha), Fobetora (boga sennych koszmarów) i Draugra (żywego trupa) – fantastycznych istot, które po śmierci wróciły do świata żywych, aby straszyć i przerażać. Macierzysta gwiazda otrzymała imię Lich, oznaczające istotę, w którą po śmierci zamieniają się czarnoksiężnicy.
Trudno się spodziewać, aby warunki panujące na tych planetach przypominały ziemskie. Być może jednak już niedługo odnajdziemy gwiazdę podobną do Słońca obieganą przez planety podobne do Ziemi. Czy będą bardzo odległe? W jaki sposób będziemy je badać? Te pytania wciąż czekają na odpowiedzi.



▲ Aleksander Wolszczan

Koniec książki, ale nie koniec fizyki

Być może zastanawiało cię, dlaczego w tym rozdziale skojarzyliśmy dwa odległe działy fizyki: fizykę obiektów bardzo małych, czyli fizykę jądra atomowego, i bardzo dużych, czyli astrofizykę. Teraz już wiesz, że dziedziny te ściśle się ze sobą łączą. Nie sposób pojąć, dlaczego gwiazdy świecą, dopóki się nie zrozumie, na czym polegają reakcje jądrowe. Z drugiej strony badania fizyki gwiazd umożliwiają nam lepsze zrozumienie procesów zachodzących w mikroświecie, a poznanie źródła energii gwiazd pozwoliło pomyśleć o budowie elektrowni termojądrowych.
Kosmos wciąż kryje przed nami wiele tajemnic. Nie wiemy jeszcze na przykład, jak wygląda materia wewnątrz gwiazd neutronowych ani co (i czy w ogóle coś) kryją w sobie czarne dziury.
Może to ty kiedyś odpowiesz na te pytania. Ale jeśli nawet nie będziesz zawodowo zajmować się fizyką ani astronomią, mamy nadzieję, że dzięki wiedzy z tych dziedzin lepiej zrozumiesz otaczający cię świat. Z pewnością przyda ci się też wiedza o tym, jak naukowcy poznają świat, ponieważ podobnych metod dochodzenia do prawdy można używać w najróżniejszych codziennych sytuacjach.

To najważniejsze

- Galaktyki oddalają się od siebie nawzajem. Im dalsza galaktyka, tym szybciej się od nas oddala.
- Oddalanie się galaktyk jest skutkiem rozszerzania się Wszechświata.
- Rozszerzanie się Wszechświata rozpoczęło się ok. **14 mld lat** temu. Zapoczątkował je **Wielki Wybuch**. Chwilę później Wszechświat był niezwykle gęsty i gorący. Potem, w miarę jak się rozszerzał, stawał się coraz chłodniejszy.
- Wodór oraz pewna ilość helu i litu powstały podczas Wielkiego Wybuchu, pierwiastki cięższe od litu – we wnętrzach gwiazd w procesach syntezy termojądrowej, a pierwiastki cięższe od żelaza – głównie podczas wybuchów supernowych.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Na rysunku przedstawiono schematycznie naszą Galaktykę widzianą z zewnątrz. Wyobraź sobie, że w tej chwili w pobliżu każdej z zaznaczonych gwiazd A–C znajdują się astronomowie wyposażeni w supertele-skopy, które pozwalają im dostrzec nie tylko Ziemię, lecz także to, co się na niej dzieje. Dopasuj do każdego z astronomów wydarzenie, które mógłby obserwować.

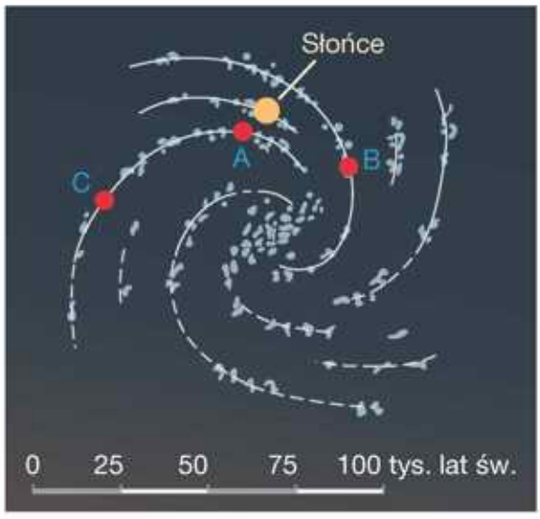
I. Budowa piramidy Cheopsa (ok. 4600 r. p.n.e.).

II. Cofnięcie się lądolodu skandynawskiego (10 tys. lat temu).

III. Wyginięcie neandertalczyków (30 tys. lat temu).

IV. Pojawienie się homo sapiens w Europie (50 tys. lat temu).

2. Czy w gazie, z którego uformowały się pierwsze gwiazdy powstałe po Wielkim Wybuchu, znajdowały się jądra żelaza? Odpowiedź uzasadnij.



3. Jedna z galaktyk obserwowanych przez badaczy oddala się od nas z prędkością $100\ \frac{km}{s}$, a druga z prędkością $300\ \frac{km}{s}$. Która z nich znajduje się dalej od nas, jeśli ich ruch wynika tylko z rozszerzania się Wszechświata?

4. Dawniej astronomowie sądzili, że rozszerzanie się Wszechświata zachodzi coraz wolniej. Jaką siłę mogli podejrzewać o hamowanie oddalających się od siebie galaktyk?

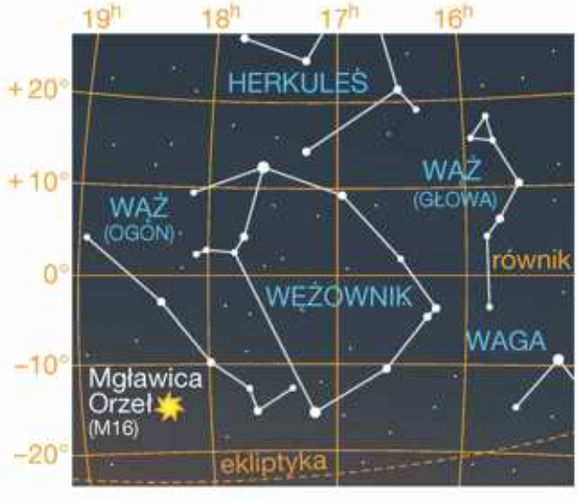
Obserwacje

Mgławica Orzeł

1. Obserwacje wykonaj latem, kiedy na polskim niebie widać gwiazdozbiór Węża.

2. Skorzystaj z mapki zamieszczonej obok. W lewym dolnym rogu zaznaczono miejsce, gdzie na niebie można znaleźć Mgławicę Orzeł.

3. Znajdź tę mgławicę na niebie. Jest to obszar, w którym powstają nowe gwiazdy.



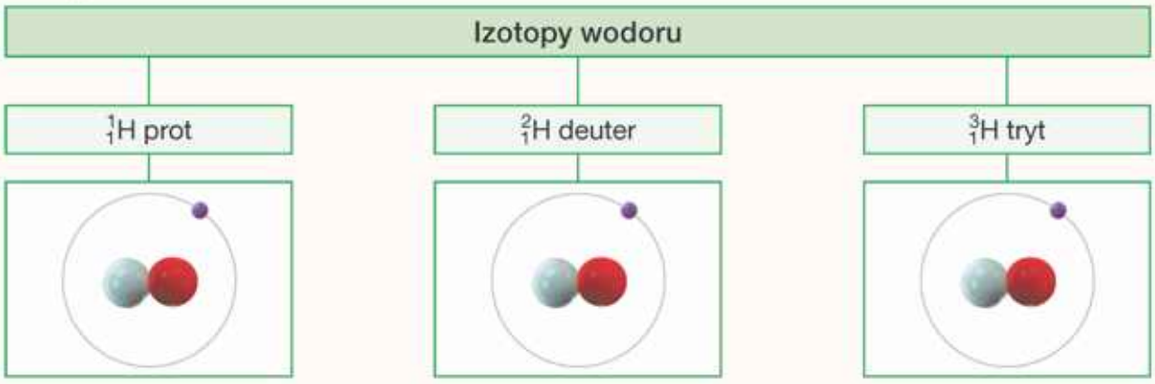
- **Jądro atomowe** składa się z nukleonów: **protonów** i **neutronów**. W każdym niezjonizowanym atomie liczba **elektronów** poruszających się wokół jądra jest taka sama jak liczba protonów w jądrze. Atomy danego pierwiastka mają ustaloną liczbę protonów w jądrze (**liczba atomowa**), jednak liczba neutronów może być różna.

liczba masowa – liczba nukleonów w jądrze

$^{12}_{6}C$ symbol pierwiastka

liczba atomowa – liczba protonów w jądrze

- Odmiany atomów tego samego pierwiastka o różnej liczbie neutronów nazywamy **izotopami**.



- W jądrze między nukleonami działają **siły przyciągania jądrowego** (rys. A). Równoważą one odpychające siły elektrostatyczne działające między protonami (rys. B).



▲ Siły jądrowe utrzymują nukleony w środku jądra (A) Siły elektrostatyczne próbują rozerwać jądro (B)

Niekiedy jądra atomowe nie są stabilne i ulegają **przemianom jądrowym**, którym towarzyszy emisja promieniowania.

We wszystkich przemianach jądrowych są spełnione zasady:

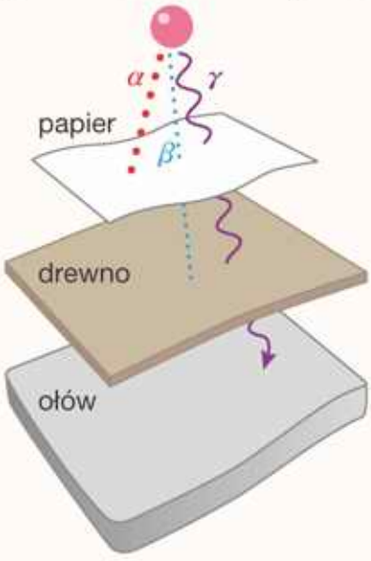
Zasada zachowania liczby nukleonów	Zasada zachowania ładunku
Łączna liczba nukleonów przed przemianą i po niej jest jednakowa.	Suma ładunków elektrycznych wszystkich cząstek przed reakcją i po niej jest jednakowa.

Promieniowanie	
alfa (α)	beta (β)
strumień jąder helu	strumień elektronów
Przykład: $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$	Przykład: $^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$
Jądro dzieli się na dwie części, z których jedna jest cząstką alfa.	W jądrze jeden z neutronów ulega przemianie w proton i elektron.

- **Promieniowanie gamma** (γ) jest falą elektromagnetyczną.

Promieniowanie alfa jest **mało przenikliwe**: w powietrzu może przebyć kilka centymetrów, a w tkance – jedynie ułamek milimetra.

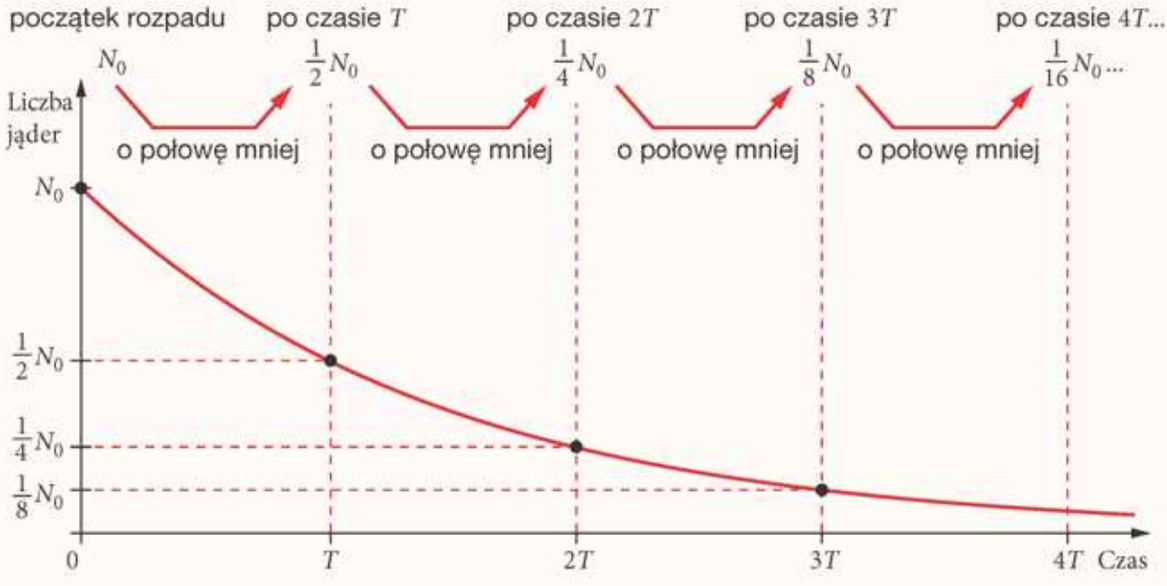
Promieniowanie beta jest bardziej przenikliwe niż alfa: w powietrzu może przebyć kilka metrów, a w materii do kilku milimetrów.



Promieniowanie gamma jest **najbardziej przenikliwe**. Aby się przed nim osłonić, potrzeba grubej tarczy, np. ołowianej.

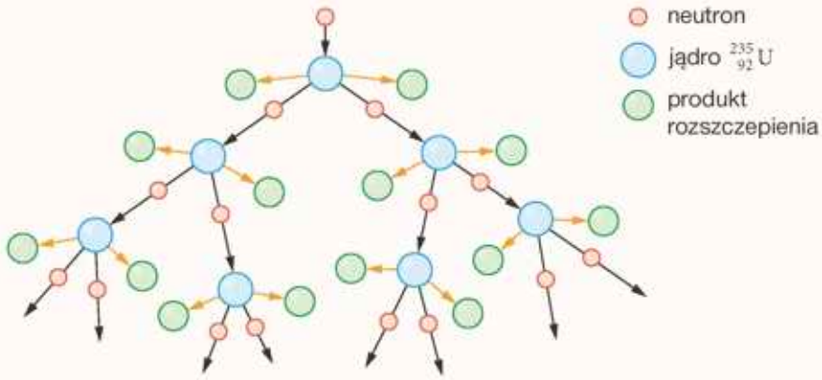
- Słabe promieniowanie jądrowe, które stale nas otacza, nie jest szkodliwe dla zdrowia. Natomiast silne promieniowanie może powodować chorobę popromienną, a nawet śmierć. Niektóre rodzaje promieniowania wykorzystujemy w diagnostyce medycznej i w celach terapeutycznych.

- Jądra niektórych izotopów ulegają **spontanicznemu rozpadowi**. Dla każdego izotopu można określić **czas połowicznego rozpadu** T, w ciągu którego rozpadnie się połowa jego jąder.



- Znajomość czasu połowicznego rozpadu wykorzystujemy m.in. do określania wieku skał i zabytków.

- Jeśli neutron uderzy w jądro ciężkiego pierwiastka, np. uranu, może spowodować **reakcję rozszczepienia**. Wydziela się wówczas energia i są wysyłane nowe neutrony rozbijające kolejne jądra uranu. Reakcję tę nazywamy **reakcją łańcuchową**.

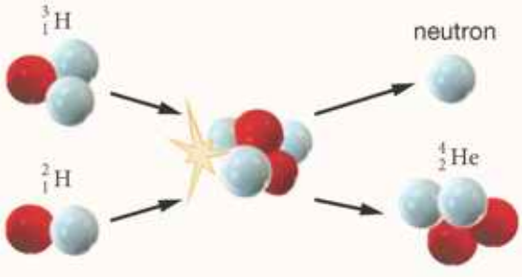


Bomba jądrowa i elektrownia jądrowa wytwarzają energię dzięki rozszczepianiu jąder ciężkich pierwiastków, np. uranu. W reaktorze elektrowni proces ten przebiega powoli i w sposób kontrolowany.

Energetyka jądrowa

Zalety	Wady
Bardzo duża wydajność paliwa. Elektrownia jądrowa o mocy 1000 MW potrzebuje w ciągu roku ok. 30 t paliwa jądrowego, podczas gdy węglowa – ok. 2,5 mln t węgla.	W trakcie działania powstają odpady promieniotwórcze, których dalsze bezpieczne zagospodarowanie jest kosztowne.
W trakcie pracy nie powstaje CO_2, powodujący globalne ocieplenie.	Wysokie koszty budowy.
Tania w utrzymaniu.	Zagrożenie awarią i terroryzmem.
Stabilna produkcja energii przez cały okres użytkowania.	

- **Synteza jądrowa** to uzyskiwanie energii w procesie łączenia lekkich jąder atomowych. Przykładowo w bardzo wysokiej temperaturze i pod dużym ciśnieniem jądra wodoru łączą się w reakcji syntezy i tworzą jądra helu.



- Gdy ciało traci pewną energię, zmniejsza się jego masa, a gdy ją zyskuje – masa się zwiększa. Związek między energią i masą to:



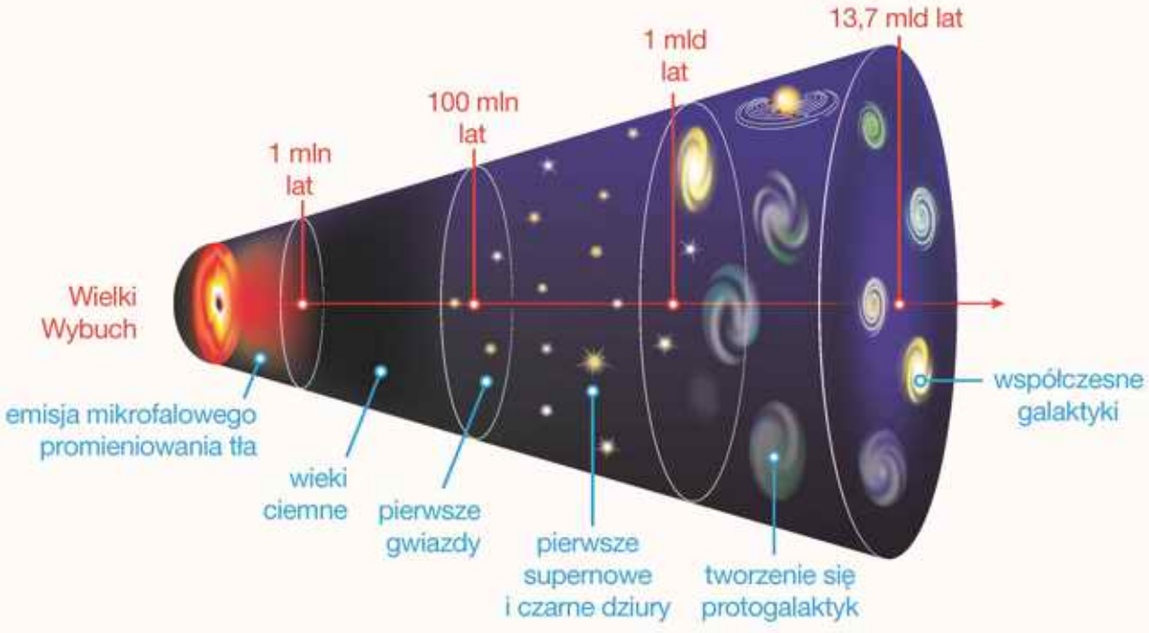
$$E = mc^2$$

gdzie c – prędkość światła, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- **Deficyt masy** to różnica między masą jądra atomowego a masą jego poszczególnych składników.
  - Energię odpowiadającą deficytowi masy, obliczoną ze wzoru $E = mc^2$, nazywamy **energią wiązania jądra**. Energię wyzwoloną podczas reakcji jądrowych obliczamy przez porównanie mas substancji przed reakcją i po niej.

- Liczące dziś ok. **4,5 mld lat Słońce** świeci dzięki zachodzącym w jego wnętrzu reakcjom termojądrowym łączenia (syntezy) jąder wodoru w jądra helu. Za ok. **7 mld lat** głównym źródłem energii Słońca zostanie reakcja przemiany helu w węgiel. Kiedy ta przemiana się zakończy, Słońce przestanie produkować energię i ostygnie.

- **Wszechświat** nieustannie się rozszerza. Oznacza to, że galaktyki oddalają się od siebie. Im dalej od siebie znajdują się dwie galaktyki, tym szybciej się od siebie oddalają.
  - Rozszerzanie się Wszechświata rozpoczęło się ok. **14 mld lat temu**. Zapoczątkował je Wielki Wybuch.
  - Tuż po nim Wszechświat był niezwykle gęsty i gorący.
  - W miarę jak Wszechświat się rozszerzał, stawał się coraz chłodniejszy. Powstał wodór oraz pewna ilość helu i litu.
  - Pierwiastki cięższe od litu utworzyły się we wnętrzach gwiazd w procesach syntezy termojądrowej, a także podczas wybuchów supernowych.



ZADANIA POWTÓRZENIOWE To trzeba umieć

1. Wskaż zdanie prawdziwe.

   A. Najmniejsza ilość wody to jeden atom wody.

   B. Najmniejsza ilość żelaza to jeden atom żelaza.

   C. W jądrze wodoru są dwa elektrony.

   D. W jądrze uranu jest mniej protonów niż w jądrze wodoru.

2. Jądro atomu izotopu wapnia $^{42}_{20}Ca$ składa się z:

   A. 20 protonów i 42 neutronów.

   B. 20 protonów i 22 neutronów.

   C. 20 neutronów i 22 protonów.

   D. 20 neutronów i 42 protonów

3. Jądro jednego z izotopów rtęci składa się z 80 protonów i 120 neutronów, czyli w sumie z 200 cząstek. W jądrze innego izotopu tego pierwiastka może się znajdować:

   A. 90 protonów i 120 neutronów.

   B. 90 protonów i 110 neutronów.

   C. 80 protonów i 116 neutronów.

   D. 90 protonów i 116 neutronów.

4. Wskaż **nieprawdziwe** dokończenie zdania. Promieniowanie jądrowe:

   A. powstaje wyłącznie w wyniku działalności człowieka.

   B. występowało na Ziemi już wówczas, gdy nie było na niej ludzi.

   C. może spowodować śmierć człowieka.

   D. może być wykorzystywane w celach medycznych.

5. W elektrowni jądrowej energia powstaje na skutek:

   A. rozszczepienia jąder uranu.

   B. łączenia się jąder wodoru.

   C. rozpadu jąder wodoru.

   D. utleniania uranu.

6. Czy można zamienić atom jednego pierwiastka w atom innego pierwiastka? Odpowiedź uzasadnij.

7. Jądro deuteru składa się z protonu i neutronu. Jego masa jest więc:

   A. równa sumie mas protonu i neutronu.

   B. nieco mniejsza od sumy mas protonu i neutronu.

   C. nieco większa od sumy mas protonu i neutronu.

   D. znacznie większa od sumy mas protonu i neutronu.

8. Słońce świeci dzięki:

   A. chemicznej reakcji spalania wodoru.

   B. przemianie termojądrowej wodoru w hel.

   C. rozszczepieniu jąder uranu.

   D. przemianie jądrowej helu w uran.

9. Wszechświat:

   A. zaczął się od Wielkiego Wybuchu i stale się rozszerza.

   B. kurczy się.

   C. ani się nie rozszerza, ani nie kurczy.

   D. istnieje od zawsze.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To powinieneś umieć

1. Jeśli z atomu usuniemy jeden elektron, powstanie:

A. jon.

B. inny izotop tego samego pierwiastka.

C. atom innego pierwiastka.

D. pierwiastek promieniotwórczy.

2. Wskaż rodzaj promieniowania, przed którym najtrudniej się zabezpieczyć.

A. alfa

B. beta

C. gamma

D. Przed każdym promieniowaniem jest tak samo trudno się ustrzec.

3. Rozpad beta polega na tym, że:

A. jeden z elektronów krążących wokół jądra opuszcza atom.

B. z jądra wysyłane są cząstki złożone z dwóch protonów i dwóch neutronów.

C. jeden z neutronów w jądrze zmienia się w proton i elektron.

D. jądro wysyła falę elektromagnetyczną o wysokiej częstotliwości.

4. Z izotopu azotu $^{16}_{7}N$ w wyniku przemiany jądrowej powstaje tlen $^{16}_{8}O$. Jest to przykład:

A. przemiany alfa.

B. przemiany beta.

C. reakcji syntezy.

D. reakcji rozszczepienia.

5. Czas połowicznego rozpadu izotopu fosforu $^{32}_{15}P$ wynosi dwa tygodnie. Oznacza to, że po czterech tygodniach ze 100 g tego izotopu:

A. nic nie zostanie.

B. zostanie 50 g izotopu.

C. zostanie 25 g izotopu.

D. zostanie 10 g izotopu.

6. Opisz wpływ promieniowania jądrowego na organizmy żywe.

7. W trakcie procesu przemiany wodoru w hel łączna masa jąder po reakcji:

A. jest taka sama jak przed reakcją.

B. jest mniejsza, ponieważ część masy zmienia się w energię.

C. jest większa, ponieważ powstaje większe jądro.

D. może być mniejsza lub większa niż przed reakcją – to zależy od konkretnej reakcji.

8. W czasie reakcji jądrowej masa substancji zmniejszyła się o $2 \cdot 10^{-9}$ g. Jaka ilość energii wyzwoliła się w tej reakcji?

9. Znajdź w internecie informacje o jądrach atomowych, które mają taką samą liczbę masową, ale różne liczby atomowe. Podaj 3 takie przykłady. Wskaż ich właściwości wspólne i różne.

10. Wkrótce po tym, gdy w słonecznym jądrze skończy się zapas wodoru:

A. Słońce zgaśnie.

B. w Słońcu rozpocznie się przemiana helu w węgiel.

C. Słońce wybuchnie jako supernowa.

D. hel znajdujący się w Słońcu zacznie rozpadać się na wodór.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

1. Największym problemem związanym z elektrowniami termojądrowymi jest:

   A. wytwarzanie przez nie dużej ilości odpadów promieniotwórczych.

   B. wykorzystywanie trudno dostępnego paliwa.

   C. zagrożenie wybuchem.

   D. skomplikowana technologia ich budowy.

2. Zapisz równanie reakcji rozpadu alfa izotopu neodymu o liczbie masowej 144.

3. Z próbki pewnego izotopu po minucie pozostała tylko $\frac{1}{64}$ jego początkowej masy. Jaki jest czas połowicznego rozpadu tego izotopu?

4. Oblicz energię, jaka wyzwoli się w czasie reakcji rozpadu jednego jądra radu przebiegającej zgodnie z równaniem:

   $$^{226}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

   Czy jest to rozpad alfa czy beta?

5. Po jakim czasie z początkowej liczby jąder radonu $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$ pozostanie tylko 40%?

6. Czy Słońce zmieni się kiedyś w czarną dziurę?

   A. Tak.

   C. Nie, ponieważ ma zbyt dużą masę.

   B. Nie, ponieważ ma zbyt małą masę.

   D. Nie, ponieważ jest zbyt jasne.

7. Przyrównajmy czasy i etapy życia Słońca do życia człowieka, który umiera w wieku 80 lat. Jako moment śmierci przyjmijmy przejście Słońca w białego karła. Określ, na jakim etapie „ludzkiego życia" Słońce znajduje się obecnie? W jakim „wieku" zacznie spalać hel w jądrze?

8. Podane w ramce pierwiastki podziel na 3 grupy:

   a) pierwiastki, z których można czerpać energię poprzez rozpad promieniotwórczy lub rozszczepienie,

   b) pierwiastki, z których można czerpać energię poprzez reakcję syntezy termojądrowej,

   c) pierwiastki, które nie dostarczają energii w przemianach jądrowych.

   hel • azot • żelazo • pluton • rad

ZADANIA POWTÓRZENIOWE Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. Napisz reakcję rozpadu radonu $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$ z emisją cząstki alfa. Ile energii wydzieli się w czasie rozpadu 1 g tej substancji?

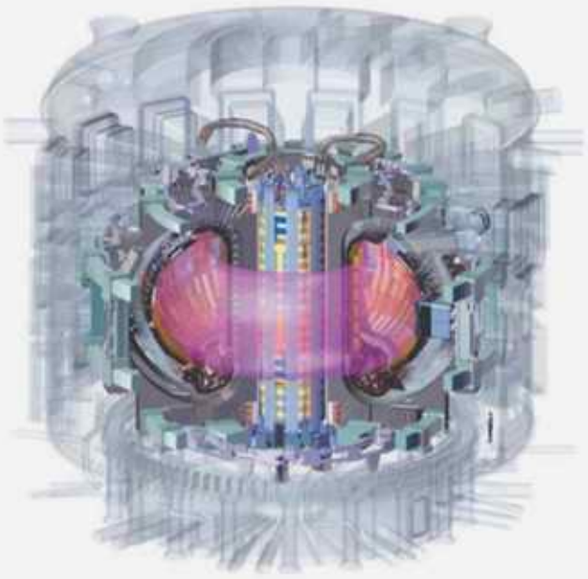
2. Gdy Słońce zostanie białym karłem, zmniejszy się mniej więcej do rozmiarów Ziemi. Ile wynosiłby promień Ziemi, gdyby skurczyła się w tej samej proporcji co Słońce?

3. Zawartość węgla $^{14}_{6}\mathrm{C}$ w drewnianych przedmiotach znalezionych w 2000 r. przez archeologów stanowi 85% jego zawartości w żywych drzewach. Z którego wieku pochodzą te przedmioty?

Analiza tekstu

Polacy w projekcie ITER

Polacy pomagają okiełznać energię gwiazd na Ziemi. Naukowcy z Politechniki Łódzkiej są zaangażowani w stworzenie tokamaka ITER – eksperymentalnego reaktora termonuklearnego, który powstaje we Francji. Realizowany na południu Francji projekt budowy reaktora ITER ma być podstawą dla przyszłych elektrowni termojądrowych.



Reaktor ITER ma konstrukcję tokamaka – urządzenia, które pozwala na przeprowadzenie kontrolowanej reakcji termojądrowej. Takie reakcje zachodzą w naturze – są one (obok energii grawitacyjnej) głównym źródłem energii gwiazd. Według ekspertów budowa reaktora, w którym można będzie przeprowadzać podobne reakcje, pomoże rozwiązać problem produkcji czystej energii elektrycznej. W praktyce oznacza to, że w przyszłości przy pomocy tokamaków można będzie wytwarzać energię elektryczną bez obciążania środowiska.

ITER – największy zbudowany do tej pory tokamak – pozwoli po raz pierwszy w historii na uzyskanie dodatniego bilansu energetycznego. To znaczy, że wyprodukuje on więcej energii, niż zostanie do niego dostarczone – mówi dr hab. inż Dariusz Makowski z Katedry Mikroelektroniki i Technik Informatycznych.

„W przypadku ITER w wyniku dostarczenia 50 MW planuje się uzyskać ok. 500 MW energii. Natomiast w przyszłości ta sprawność będzie mogła być znacznie podniesiona. Myślę, że synteza termojądrowa pozwoli uzyskiwać tyle samo albo więcej energii, niż w obecnych elektrowniach jądrowych" – dodał Makowski, który koordynuje projekt z ramienia politechniki.

ITER nie będzie pełnił funkcji elektrowni; jest projektem demonstracyjnym i typowo naukowym. Ma posłużyć do zbadania możliwości związanych z produkowaniem energii z użyciem kontrolowanej fuzji jądrowej na wielką skalę. „Główną zasadą jego działania jest odwzorowanie procesów, które zachodzą na Słońcu i produkują energię w potężnych ilościach. Paliwem wejściowym do tokamaka ITER będzie deuter i tryt, z których w reakcji termojądrowej powstaną cięższe pierwiastki, takie jak hel, oraz ogromne ilości energii, którą będzie można wykorzystać do produkcji energii elektrycznej. Finalnie dążymy do tego, aby nie produkować odpadów radioaktywnych, jak to jest w przypadku elektrowni jądrowych" – opowiada Makowski. [...]

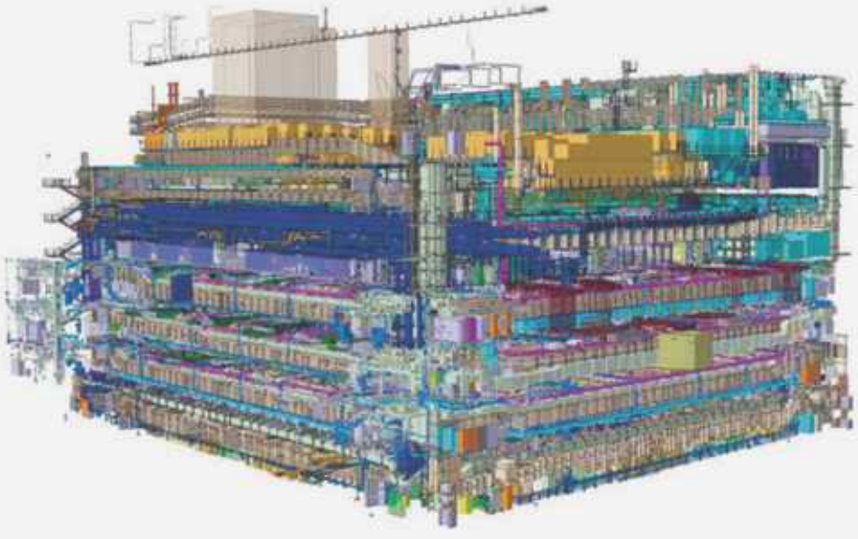
Do otrzymania kontrolowanej fuzji jądrowej niezbędny jest właśnie tokamak (urządzenie z cewkami toroidalnymi), w którym – dzięki silnemu polu magnetycznemu – utrzymywany jest

pierścień gorącej plazmy. „Plazma o temperaturze 200 mln stopni Celsjusza krąży w polu magnetycznym i dzięki temu możliwa jest synteza termojądrowa. Naszą rolą jest monitorowanie tego procesu tak, żeby plazma nie dotknęła ścianek komory" – dodał prof. Napieralski.

Naukowcy podkreślają, że w budowę ITER zaangażowane są UE, Stany Zjednoczone, Japonia, Korea Południowa, Chiny, Rosja i Indie. Naukowcy z Politechniki Łódzkiej [...] opracowują podsystemy oprzyrządowania i sterowania IC [...], zapewniające stabilne sterowanie tokamakiem, gwarantujące bezpieczeństwo pracy, diagnostykę plazmy oraz pozwalające na przeprowadzanie badań fizycznych. Do poważniejszych wyzwań badacze zaliczają opracowanie metodyki projektowania systemów diagnostycznych i dostarczenie kompletnych systemów elektronicznych i oprogramowania. [...]

W ocenie naukowca fuzja jądrowa to przyszłość energetyczna na Ziemi, która jednak nieprędko zostanie zrealizowana. W przypadku ITER pierwszy zapłon plazmy zaplanowano na 2025 r., a dopiero w 2035 r. tokamak powinien pracować z docelowymi parametrami. „Pierwsze elektrownie termojądrowe planowane są na lata 2040–2050. [...]

Kamil Szubański
Skrócona wersja artykułu opublikowanego w serwisie PAP „Nauka w Polsce"
https://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C33395%2Cpolacy-w-projekcie-iter-jednej-z-najdrozszych-inwestycji-naukowych-na



Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Czym jest tokamak?
2. Na czym polega polski wkład w budowę ITER?
3. Kiedy spodziewamy się pierwszych elektrowni termojądrowych?
4. Ile energii uzyska się z jednego dżula energii dostarczonej do urządzenia?



Zbiór zadań

Termodynamika
Drgania i fale
Zjawiska falowe
Fizyka atomowa
Fizyka jądrowa. Gwiazdy i Wszechświat

Termodynamika

1. Czy herbata stanie się słodka, gdy tylko wrzucimy do niej cukier, ale nie pomieszamy? Jeśli nie – to dlaczego? Jeśli tak – to po co w takim razie mieszać?



2. W domu pana Teofila obluzowała się listwa progowa. Aby poprawić mocowanie, Teofil wyciągnął listwę wraz ze śrubą mocującą, włożył do otworu w podłodze kilka zapałek, a następnie stanął na listwie ze śrubą i wepchnął ją z powrotem. W tym momencie spod listwy buchnął dym, a po domu rozszedł się zapach palonego fosforu. Wyjaśnij, dlaczego zapałki się zapaliły, skoro nie ocierały się o draskę.

3. Dobierz do zjawisk A–D ich wyjaśnienia I–III. Jedno z wyjaśnień pasuje do dwóch zjawisk.

A. Wodę bardzo trudno sprężyć w strzykawce, a powietrze – znacznie łatwiej.

B. Woda przybiera kształt naczynia, a kostka lodu zachowuje swój kształt.

C. Aby podgrzać wodę, trzeba jej dostarczyć energii.

D. Z 1 litra wody powstaje ponad 1700 litrów pary wodnej.

I. Odległości między cząsteczkami są znacznie większe w gazie niż w cieczy.

II. W wyższej temperaturze cząsteczki poruszają się szybciej, więc mają większą energię kinetyczną.

III. W ciele stałym cząsteczki drgają wokół położeń równowagi, a w cieczy poruszają się po całym naczyniu.

4. W języku potocznym można powiedzieć: „Dzisiaj jest ciepło". Słowo „ciepło" w tym zdaniu ma jednak inne znaczenie niż w fizyce, a nawet jest inną częścią mowy.

a) Jak wypowiedzieć to samo zdanie za pomocą terminów naukowych?

b) Jaką częścią mowy jest „ciepło" w podanym zdaniu?

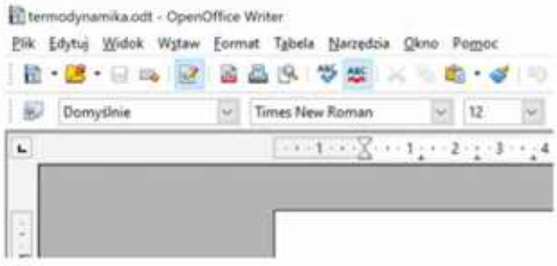
Wskazówka. Zauważ, że można też powiedzieć „Dzisiaj jest cieplej niż wczoraj".

c) Jaką częścią mowy jest słowo „ciepło" w terminologii fizycznej?

5. Uczniowie zorganizowali dyskotekę w sali gimnastycznej. Aby udekorować pomieszczenie, powiesili wysoko na drabinkach bardzo mocno nadmuchane baloniki. W czasie imprezy baloniki zaczęły po kolei pękać. Dlaczego?

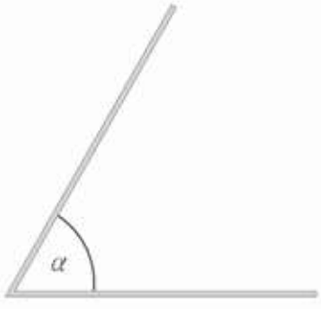


6. Wielkość czcionki wyraża się w punktach – tę jednostkę znasz już z edytora tekstu. W starych podręcznikach dla drukarzy można znaleźć tablice pozwalające na przeliczanie punktów na milimetry w temperaturze 25°C. Jakie znaczenie ma podana temperatura? Wyjaśnij, dlaczego obecnie nie uwzględnia się jej w podobnych przelicznikach.



7. Dlaczego gdy gramy na gitarze przy ognisku, instrument szybko się rozstraja?

8. Stalowy drut został wygięty pod kątem $\alpha = 60°$ (jak na rysunku). Czy kąt α się zmieni, gdy drut podgrzejemy? Jeśli tak, to czy się zmniejszy czy zwiększy?



★ **9.** Gdy ogrzewamy stalową nakrętkę, jej średnica zewnętrzna się zwiększa. A jak zmienia się jej średnica wewnętrzna?

10. Oblicz, ile energii należy dostarczyć, aby podgrzać:

a) 2 litry wody od 20°C do 80°C,

b) 3 kg lodu od −10°C do −5°C.

11. Oblicz, o ile ogrzeje się 1 kg danej substancji kosztem 1 kJ energii, jeśli tą substancją jest:

a) woda,

b) mosiądz.

12. W stalowym garnku o masie 0,75 kg znajduje się 1,5 l wody. Temperatura wody i garnka wynosi 80°C. Ile ciepła oddadzą garnek i woda podczas chłodzenia się do temperatury otoczenia, wynoszącej 20°C?

13. Do czajnika elektrycznego, którego tabliczkę znamionową przedstawiono na zdjęciu, wlaliśmy pół litra wody o temperaturze 15°C. Jak długo czajnik musi być włączony, aby woda się zagotowała?



14. Oblicz, na jak długo trzeba włączyć czajnik elektryczny o mocy 900 W, aby zagotować 200 g wody o początkowej temperaturze 10°C. Ile zapłacimy za zużytą energię elektryczną? Przyjmij cenę 80 $\frac{\text{gr}}{\text{kWh}}$.

15. Do czajnika elektrycznego o mocy 2 kW nalano 1,5 litra wody o temperaturze 10°C. Czajnik włączono na pół minuty. Jaka była końcowa temperatura wody?

16. Dowiedz się, jak działa szybkowar i w jakim celu się go stosuje. Zapisz, czego się dowiedziałeś i z jakich źródeł korzystałeś.

17. Dlaczego czujemy się gorzej, gdy powietrze jest gorące i wilgotne, niż gdy w tej samej temperaturze jest suche?

18. Dowiedz się, na czym polega zasiewanie chmur i po co się je stosuje. Zapisz, czego się dowiedziałeś i z jakich źródeł korzystałeś.

19. Dlaczego gorąca herbata szybko stygnie, gdy przelewamy ją z kubka do kubka?

★20. Czy para wodna może mieć temperaturę 1°C? A czy może mieć –1°C?

21. Ogrzewamy wodę w garnku bez pokrywki. Czy dłużej trwa podgrzanie od 20°C do 30°C, czy od 80°C do 90°C?

22. Ile energii potrzeba, aby stopić kostkę lodu o masie 20 g i temperaturze 0°C?

23. W czajniku elektrycznym o mocy 1800 W znajdują się kostki lodu i woda. Łączna masa kostek lodu wynosi 150 g. Temperatura wody i lodu jest jednakowa.

a) Jaka jest temperatura wody i lodu?

b) Na jak długo trzeba włączyć czajnik, aby lód stopniał?

★24. Na palniku gazowym postawiono garnek, do którego wlano wodę o temperaturze 20°C. Po dziesięciu minutach woda zaczęła wrzeć. Jak długo będzie trwało wrzenie, zanim cała woda wyparuje, jeśli nie zmienimy wielkości płomienia?

Uwaga. Pomiń straty energii, w tym energię potrzebną do ogrzania samego garnka (woda ma znacznie większe ciepło właściwe niż metale, z których są wykonane garnki).

25. Do 250 g wody o temperaturze 30°C wlano wodę o temperaturze 0°C. Po wymieszaniu okazało się, że temperatura wody wynosi 10°C.

a) Oblicz, ile wody zostało wlane.

b) Oblicz, ile lodu o temperaturze 0°C należałoby wrzucić, aby uzyskać ten sam spadek temperatury.

c) Porównaj odpowiedzi z punktów a) i b).

26. Wiele ekspresów do kawy pozwala uzyskiwać parę wodną, którą można spieniać mleko albo podgrzewać wodę. W szklance jest 200 g wody o temperaturze 20°C. Ile gramów pary wodnej o temperaturze 100°C należy wdmuchnąć do tej wody, aby ją podgrzać do temperatury 100°C?



27. Oszacuj, ile dżuli energii dostarcza zjedzenie kromki chleba z masłem.

★28. Gdy zjesz czekoladę, uzyskaną energię możesz wykorzystać np. do jazdy na rowerze. Wiążą się z tym straty energii. Wyobraź sobie jednak, że osoba o masie 60 kg może całą energię ze 100-gramowej tabliczki czekolady przekształcić bez żadnych strat w energię kinetyczną w czasie rozpędzania na rowerze o masie 10 kg. Do jakiej prędkości mogłaby się rozpędzić? Podaj wynik w kilometrach na godzinę.

Informacja do zadań 29.–31.

Wartość energetyczna benzyny wynosi $32\ \frac{\text{MJ}}{\text{l}}$.

29. W baku samochodu mieści się 45 l benzyny. Ile energii dostarcza ta ilość paliwa?

30. Czy tańsza jest energia elektryczna z sieci domowej czy energia benzyny? Ile razy tańsza? Przyjmij cenę benzyny $5\ \frac{\text{zł}}{\text{l}}$ i cenę energii elektrycznej $80\ \frac{\text{gr}}{\text{kWh}}$.

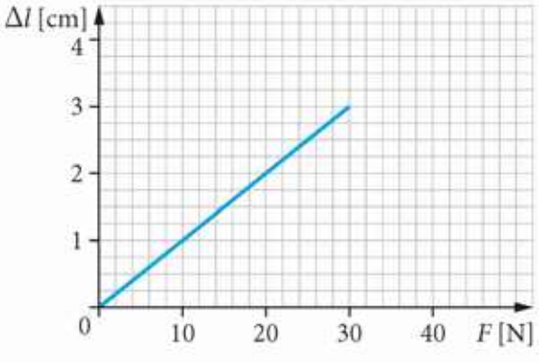
31. Czekolada ma wartość energetyczną $\frac{600\ \text{kcal}}{100\ \text{g}}$. Litr benzyny ma masę 700 g. Porównaj wartość energetyczną czekolady i benzyny. Która jest większa i ile razy?

Drgania i fale

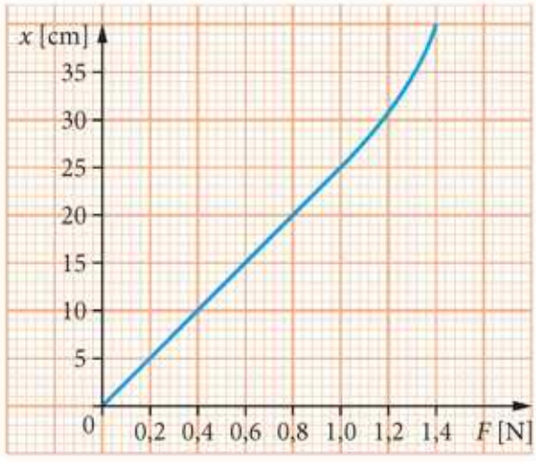
1. Na sprężynie o długości 10 cm powieszono ciężarek o masie 20 g. Długość sprężyny zwiększyła się do 10,5 cm. Ile będzie wynosiła, jeśli oprócz opisanego ciężarka zawiesimy jeszcze drugi, o masie 100 g?

2. Oblicz współczynnik sprężystości sprężyny, którą można rozciągnąć o 2 cm siłą 15 N.

3. Wykres przedstawia zależność przyrostu długości sprężyny od działającej siły. Na jego podstawie wyznacz współczynnik sprężystości tej sprężyny.



★ **4.** Wykres przedstawia zależność przyrostu długości sprężyny od działającej siły. Odczytaj, dla jakiego zakresu sił jest spełnione prawo Hooke'a. Wyznacz współczynnik sprężystości dla tego zakresu.



5. Na zdjęciu widzisz powiększony fragment siłomierza, na którym odległość na podziałce między „0" i „1" wynosi 1 cm. Wyznacz współczynnik sprężystości sprężyny.



6. Niektóre gwiazdy okresowo zmieniają swoją jasność. Należy do nich jaśniejsza z dwóch obiegających się gwiazd tworzących układ znanej ci Gwiazdy Polarnej. Zmiany jej jasności

są zbyt małe, aby dostrzec je gołym okiem, ale możemy je zaobserwować za pomocą odpowiednich przyrządów. Dowiedz się, jaki jest okres zmian jasności jaśniejszego składnika Gwiazdy Polarnej. Zapisz, z jakich źródeł korzystałeś.

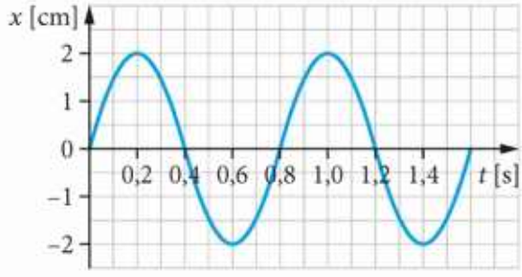
7. Wykres przedstawia ruch ciężarka na sprężynie (oś x jest skierowana w górę). Na podstawie wykresu odpowiedz na pytania:

a) W jakim punkcie znajdował się ciężarek w chwili $t = 0{,}15$ s?

b) Kiedy ciężarek po raz pierwszy osiągnął najniższe położenie?

c) W którą stronę (w górę czy w dół) poruszał się ciężarek w chwili $t = 0{,}3$ s?

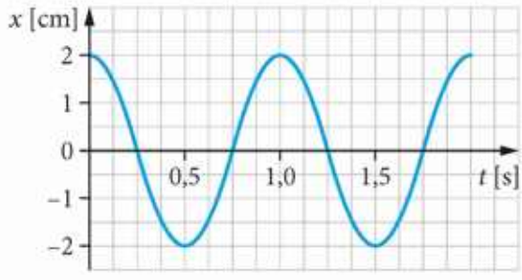
d) Gdzie znajdzie się ciężarek w chwili $t = 2$ s?



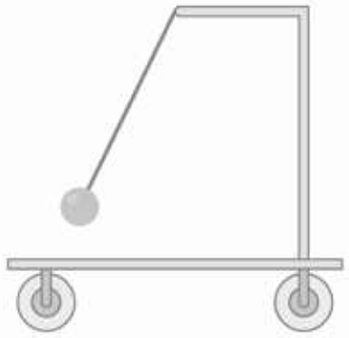
8. Na rysunku pokazano wykres zależności wychylenia drgającego ciężarka od czasu.

a) Odczytaj z wykresu amplitudę oraz okres drgań ciężarka.

b) Oblicz liczbę pełnych cykli drgań wykonywanych przez ciężarek w czasie 1 minuty.



9. Na lekkim wózku poruszającym się prawie bez tarcia jest zamocowane ciężkie wahadło (patrz rys.). Wychylamy je w stronę jednego z końców wózka. Co się stanie, gdy je puścimy?



10. Zmierz swój puls. Oblicz okres i częstotliwość bicia swojego serca.

11. W generatorze spalinowym silnik napędza prądnicę prądu przemiennego. Na jeden obrót silnika przypada jeden cykl zmian napięcia. Ile obrotów w ciągu minuty powinien wykonywać silnik, aby prądnica wytwarzała prąd o obowiązującej w Europie częstotliwości 50 Hz?

12. Okres drgań ciężarka na sprężynie wynosi 4 s. O godzinie 12:00:00 ciężarek przechodzi przez położenie równowagi i porusza się w górę. Wypisz cztery najbliższe chwile, gdy znajdzie się w najwyższym położeniu, i cztery – gdy będzie ono najniższe.

13. Określ kierunek i zwrot siły wypadkowej działającej na ciężarek wahadła sprężynowego, gdy znajduje się on:

a) powyżej położenia równowagi,

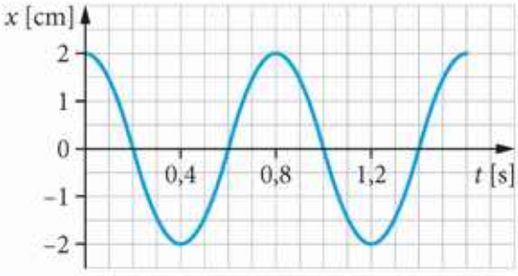
b) poniżej położenia równowagi,

c) w położeniu równowagi.

14. Ciężarek wahadła sprężynowego porusza się w dół i znajduje się poniżej położenia równowagi. Czy jego energia kinetyczna rośnie czy maleje? A jak zmieniają się energia potencjalna sprężystości i energia potencjalna grawitacji?

Informacja do zadań 15.–17.

Na rysunku pokazano wykres zależności wychylenia ciężarka drgającego na sprężynie od czasu (oś x jest skierowana w górę). Przyjmij, że amplituda drgań jest mniejsza od rozciągnięcia powodowanego przez nieruchomo zawieszony ciężarek.



15. Przyjrzyj się wykresowi, a następnie dla każdej z chwil równych 0,1 s, 0,3 s i 0,7 s określ następujące parametry ruchu ciężarka: kierunek ruchu (w dół/w górę), prędkość (rośnie/maleje) i siłę wypadkową (w dół/w górę/równa zeru). Możesz je ująć w postaci tabeli.

16. W którym momencie: $t = 0{,}1$ s czy $t = 0{,}2$ s, siła sprężystości działająca na ciężarek miała większą wartość? Uzasadnij odpowiedź.

17. Opisz przemiany energii w chwili:

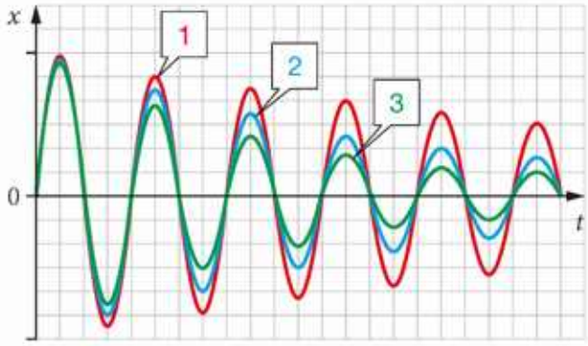
a) $t = 0{,}1$ s **c)** $t = 0{,}5$ s

b) $t = 0{,}3$ s **d)** $t = 0{,}7$ s

18. Przyjrzyj się rysunkowi. Na jego podstawie uzasadnij, że jeśli w wahadle sprężynowym zwiększymy dwukrotnie masę ciężarka, a jednocześnie zamienimy sprężynę na taką o dwa razy większej stałej sprężystości, to okres drgań się nie zmieni.



19. Na rysunku przedstawiono trzy wykresy drgań tłumionych. W którym przypadku straty energii podczas drgań były największe, a w którym najmniejsze? Załóż, że masy drgających ciał są takie same.



20. Wymień po dwa przykłady pożytecznego wykorzystania rezonansu oraz jego szkodliwego lub niebezpiecznego działania.

21. W jaki sposób dzieci na placu zabaw wykorzystują zjawisko rezonansu?

22. Gdy śpiewamy w pokoju, w którym znajduje się gitara, i nagle przerwiemy śpiew, możemy usłyszeć cichy dźwięk strun instrumentu, choć nikt na nim nie grał. Wyjaśnij to zjawisko.

23. Przeczytaj opowiadanie Agathy Christie *Twarz Heleny* ze zbioru *Tajemniczy pan Quin*. Zapisz w kilku zdaniach, który z bohaterów i w jaki sposób postanowił wykorzystać zjawisko rezonansu w celu morderstwa. Jaki był jego motyw? Czy jego plan się powiódł?

24. W pewnej chwili łódka znalazła się na grzbiecie fali. Siedząca w niej osoba przestała wiosłować. Czy od tej chwili zacznie się poruszać wraz z grzbietem fali? Uzasadnij odpowiedź.

25. Które ze zmysłów działają dzięki rejestracji fal przez narządy w naszym organizmie? Jakie to fale?

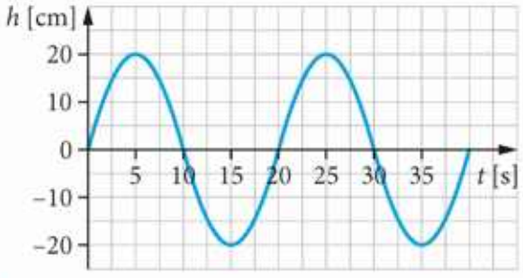
26. Fala na wodzie ma długość 6 m i okres drgań 0,5 s. Oblicz prędkość i częstotliwość tej fali.

27. W naczyniu z wodą powstała fala o długości 6 cm i prędkości 30 $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$.

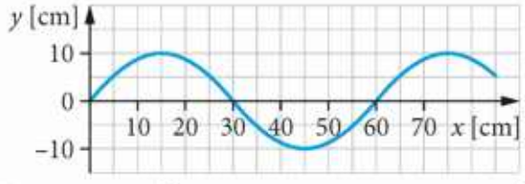
a) Jaka jest jej częstotliwość?

b) W jakim czasie ta fala pokona długość 90 cm?

28. Rysunek przedstawia wykres drgań wody w pewnym miejscu podczas rozchodzenia się fali. Które z wielkości można z niego odczytać lub obliczyć na jego podstawie: okres, częstotliwość, amplitudę, długość fali? Podaj te wielkości i wyjaśnij, dlaczego nie jest to możliwe w przypadku pozostałych.



29. Rysunek przedstawia wygląd fali na wodzie w pewnej chwili. Zwróć uwagę, że jest on podobny do wykresu z poprzedniego zadania, ale ma zupełnie inny sens.



Które z wielkości można z niego odczytać lub obliczyć na jego podstawie: okres, częstotliwość, amplitudę, długość fali? Podaj te wielkości i wyjaśnij, dlaczego nie jest to możliwe w przypadku pozostałych.

30. Oblicz długość fali dźwiękowej o częstotliwości 100 Hz rozchodzącej się:

a) w powietrzu, **b)** w stali.

31. Fala dźwiękowa o długości 30 cm przechodzi z powietrza do wody. Oblicz jej:

a) częstotliwość w powietrzu,
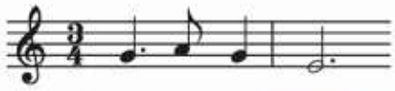
b) częstotliwość w wodzie,

c) długość w wodzie.

32. Oto nuty pierwszych dwóch taktów kolędy *Cicha noc*.

a) Który z dźwięków w tych dwóch taktach ma najwyższą częstotliwość, a który najniższą?

b) Której z wielkości fizycznych: częstotliwości, amplitudy czy długości fali dźwiękowej, nie da się określić na podstawie przedstawionego zapisu nutowego? Czy da się ją w ogóle zapisać w nutach?



33. Długość fali dźwiękowej wytwarzanej przez flet prosty zależy od długości słupa powietrza pomiędzy ustnikiem a najbliższą otwartą dziurką. Czy wysokość dźwięku granego na flecie będzie wyższa przy wyższej temperaturze powietrza?



Uwaga. Rozszerzalność cieplną fletu możemy pominąć.

34. Zastanów się, który z owadów macha skrzydełkami więcej razy w ciągu sekundy: trzmiel czy komar. Uzasadnij swoją odpowiedź.

35. Oblicz maksymalną i minimalną długość słyszalnych dla człowieka fal dźwiękowych rozchodzących się w powietrzu.

36. Znajdź w internecie kilka filmów, w których słychać dźwięk klaksonu lub syren różnych pojazdów. Za pomocą programu Oscilloscope wyznacz częstotliwości tych dźwięków.

37. Dźwięk a^1 ma częstotliwość 440 Hz, dźwięk a^2 jest od niego o oktawę wyższy, dźwięk a^3 jest o oktawę wyższy od a^2 itd. Po ilu oktawach dojdziemy w ten sposób od a^1 do ultradźwięków?

★38. Prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej w powietrzu nie zależy od jej częstotliwości. Jak się o tym przekonać bez użycia przyrządów pomiarowych?

39. W których urządzeniach wymienionych w ramce przepływ prądu powoduje powstanie pola magnetycznego? W których zmiany pola magnetycznego powodują powstanie napięcia elektrycznego? Które z urządzeń należy do obu tych grup?

elektromagnes • silnik elektryczny • prądnica • mikrofon • głośnik • transformator • kompas

40. Wybierz poprawne uzupełnienie i zapisz powstałe zdanie w zeszycie.

W fali elektromagnetycznej występowanie zmiennego pola elektrycznego jest *skutkiem/ przyczyną/ zarówno skutkiem, jak i przyczyną* występowania zmiennego pola magnetycznego.

41. Sprawdź doświadczalnie, że telefon komórkowy umieszczony pod grubą warstwą tkaniny odbiera fale radiowe (mikrofale), ale gdy owiniemy go dokładnie cienką warstwą folii aluminiowej, nie może się komunikować (jest poza zasięgiem). Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.

42. Przeczytaj tekst w ramce. Wypisz wszystkie rodzaje fal elektromagnetycznych, z którymi miała do czynienia Diana w opisanej sytuacji.

Diana usłyszała dźwięk budzika. Wstała z łóżka i zobaczyła, że słońce świeci już jasno. Na balkonie sąsiedniego bloku opalali się sąsiedzi.
Diana podgrzała mleko w kuchence mikrofalowej i zjadła je z płatkami.
Włączyła komputer, ale okazało się, że wi-fi nie działa, zadzwoniła więc do koleżanki, żeby się umówić na popołudnie. Niestety, koleżanka właśnie musiała się wybrać na prześwietlenie płuc.

43. Do każdego z zakresów fal elektromagnetycznych wymienionych w podręczniku dobierz obiekt, którego rozmiary są zbliżone do długości fali w danym zakresie.

44. Światło rozchodzi się znacznie szybciej od dźwięku. Dlaczego więc dźwięk i obraz docierające do nas z telewizora są zsynchronizowane?

45. W biologii mówimy o teorii ewolucji. Użycie słowa *teoria* oznacza w tym przypadku, że:

A. jest to najlepsze spójne wyjaśnienie wielu zjawisk obserwowanych w świecie przyrody,

B. jest to tylko przypuszczenie, które należy potwierdzić doświadczalnie,

C. prawda naukowa jest inna niż mówi teoria.

46. Podaj nazwy opisanych rodzajów fal elektromagnetycznych i ustaw je według rosnącej częstotliwości.

I. Do tego zakresu należy promieniowanie cieplne żelazka.

II. Powstaje w wyniku przemian zachodzących w jądrach atomowych.

III. Takie promieniowanie pozwala nam widzieć.

IV. Używa się go do prześwietleń.

47. Przeanalizuj poniższe zdania i ustaw je w odpowiedniej kolejności.

I. Astronomowie obserwowali, że Uran, wówczas najdalsza znana planeta, porusza się nieco inaczej, niż wynikałoby to z prawa grawitacji.

II. Okazało się, że planetę zaobserwowano w przewidzianym miejscu.

III. Podobnie było z teorią grawitacji Izaaka Newtona, która pozwoliła odkryć nieznaną wcześniej planetę – Neptuna.

IV. Teoria Maxwella została ostatecznie potwierdzona, gdy okazało się, że trafnie przewiduje istnienie fal elektromagnetycznych.

V. Założyli więc, że na jego ruch wpływa nieznana planeta i obliczyli, gdzie powinna się znajdować.

Zjawiska falowe

1. Odpowiedz na pytania na podstawie rysunków.

a) Którym kolorem zaznaczono na rysunku powierzchnie falowe, a którym – promienie falowe?

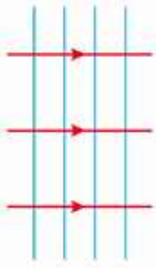
b) Który z rysunków przedstawia falę kolistą, a który – płaską?

c) Który z rysunków może przedstawiać fale świetlne emitowane przez laser, a który – przez żarówkę?

A.



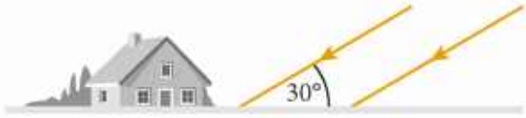
B.



2. W pewnej chwili słońce znajduje się 30° nad horyzontem, co oznacza, że promienie słoneczne tworzą z poziomą powierzchnią kąt 30° (patrz rysunek). Narysuj bieg promienia światła padającego na zwierciadło i odbitego od niego, jeśli zwierciadło jest ustawione:

a) poziomo, **b)** pionowo.

Zaznacz na swoich rysunkach kąty padania i odbicia. Zapisz ich miary.



3. Wyjaśnij, dlaczego w białej kartce papieru nie da się przejrzeć, skoro odbija padające na nią światło.

4. Turysta zbliżał się do osiedla na skraju miasta. W pewnej chwili krzyknął w stronę domów „Hej!" i po 4 s usłyszał echo swojego okrzyku. Jak daleko znajdował się od domów?

5. Na zdjęciu widzisz wiązkę światła z lasera. Wybierz wszystkie poprawne dokończenia zdania.
Taką wiązkę widać:

A. w próżni.

B. w czystym powietrzu.

C. w dymie.

D. we mgle nad dzióbkiem czajnika.



6. Wiktor powiedział, że nawet przy całkowitym zachmurzeniu ziemia jest oświetlona światłem słonecznym. Czy miał rację? Jeśli tak – jak to możliwe? Jeśli nie – dlaczego w takim razie przy całkowitym zachmurzeniu nie jest ciemno jak w nocy?

7. Gdy słońce zajdzie, całkowita ciemność nie zapada natychmiast. Nad ranem także robi się jasno, zanim słońce wzejdzie.

a) Dlaczego tak się dzieje? Wyjaśnij to zjawisko za pomocą schematycznej ilustracji.

b) Czy tak samo jest na Księżycu?

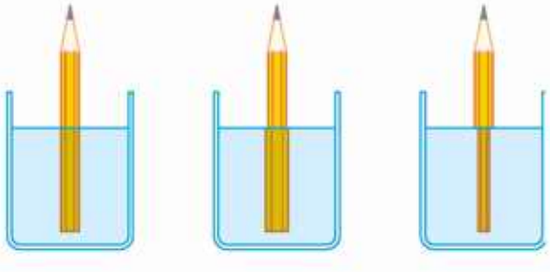
8. Wyjaśnij, dlaczego na Księżycu cienie są znacznie ostrzejsze niż na Ziemi i bardziej kontrastują z miejscami oświetlonymi.

9. Dwie zaprzyjaźnione rodziny jadą razem na wakacje samochodami. Kierowca drugiego samochodu stale utrzymuje taki dystans między pojazdami, aby jego przejechanie zajmowało 10 s. Czy odległość między samochodami się zmieni, gdy z autostrady zjadą one na boczną drogę? Co wspólnego ma to pytanie ze zmianą długości fali po przejściu do innego ośrodka?

10. Jak wygląda z boku ołówek wstawiony pionowo do szklanki z wodą?

a) Spróbuj to przewidzieć i wskaż odpowiedni rysunek.

A. **B.** **C.**



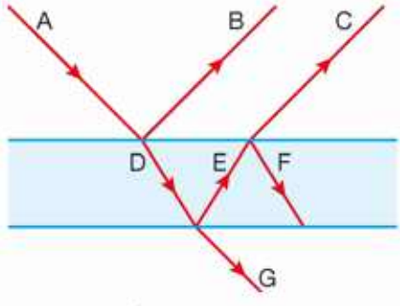
b) Sprawdź swoje przypuszczenia doświadczalnie.

11. Wycieraczki samochodowe są niezbędne w czasie deszczu, ponieważ bez nich przez szybę pokrytą kroplami deszczu kierowca nie widziałby otoczenia. Dlaczego w takim razie możemy oglądać ryby przez szybę akwarium, choć od wewnętrznej strony jest ona cała pokryta wodą?

12. Obejrzyj film *Why These Balls Become Invisible Under Water* i zapisz w kilku zdaniach odpowiedź na pytanie postawione w tytule. Jeśli będziesz miał problem w zrozumieniu mówionego tekstu, zawsze możesz włączyć napisy.

https://www.youtube.com/watch?v=nn-ljXKbQBQ

13. Najczęściej dla uproszczenia rysujemy tylko część promieni światła, które występują w danym zjawisku, np. tylko promień padający i załamany albo tylko padający i odbity. Tym razem na rysunku obrazującym przejście światła przez szklaną szybkę przedstawiliśmy więcej promieni.



a) Przepisz tekst i wstaw w miejsce znaków zapytania oznaczenia promieni A–G.

Gdy promień (?) pada z powietrza na szybę, rozdziela się na dwie części. Część (?) promienia odbija się od szyby, a część ulega załamaniu i jako promień (?)

wnika do szkła. Gdy dotrze do drugiej strony szyby, znów się rozdziela. Jego część (?) załamuje się i wychodzi ze szkła do powietrza. Natomiast promień (?) odbija się od granicy ośrodków i wraca do pierwszej powierzchni szyby, gdzie rozdziela się na promień przechodzący (załamany) (?) i promień odbity (?).

b) Co stanie się z promieniem F, gdy dotrze on do granicy szkła i powietrza?

Uwaga. W zadaniach 14.–16. wykorzystaj prawo Snelliusa (materiał nadobowiązkowy ze s. 131 podręcznika). Podczas ich rozwiązywania korzystaj z kalkulatora z funkcjami trygonometrycznymi albo z tablic funkcji trygonometrycznych.

14. Oblicz kąt załamania promienia światła padającego:

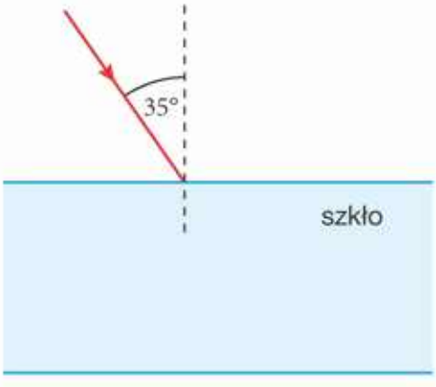
a) z powietrza do szkła, gdy kąt padania wynosi 40°,

b) z powietrza do wody, gdy kąt padania wynosi 10°,

c) z wody do powietrza, gdy kąt padania wynosi 20°.

15. Pod jakim kątem powinien padać promień światła z powietrza do wody, aby załamał się pod kątem 30°?

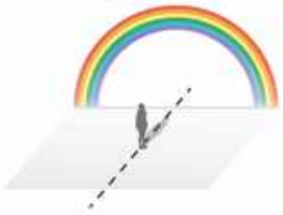
16. Przerysuj schemat do zeszytu i dorysuj dalszy bieg promienia światła. Zaznacz miary kątów.



17. O jakiej porze roku najłatwiej zaobserwować na niebie halo? Dlaczego?

18. Na którym rysunku prawidłowo pokazano cień osoby patrzącej na tęczę? Uzasadnij swoją odpowiedź.

A.



B.



C.



19. Maciek i Zosia mieszkają w Toruniu po dwóch stronach Wisły. Pewnego dnia Maciek zobaczył nad Wisłą piękną tęczę. Zadzwonił więc do Zosi, aby ona też mogła zaobserwować to samo zjawisko, tylko od drugiej strony. Czy koleżanka rzeczywiście miała taką możliwość?



20. Uliczny handlarz zachęca do zakupu bardzo tanich okularów polaryzacyjnych. Jak najłatwiej sprawdzić, czy cię nie oszukuje i nie sprzedaje zwykłych okularów przeciwsłonecznych?

21. Jakub chciał sfotografować swój dom, ale budynek nie mieścił się w kadrze.

Chłopak cofnął się więc o kilka kroków i już mógł wykonać zdjęcie. Czy może postąpić w podobny sposób, jeśli w kadrze nie zmieści mu się tęcza?

22. W szklanym akwarium znajduje się woda. Czy całkowite wewnętrzne odbicie może zachodzić przy przejściu światła:

a) z wody do szkła,

b) ze szkła do wody?

23. Określ, czy zachodzi całkowite wewnętrzne odbicie, gdy promień światła pada na granicę powietrza i szkła:

a) od strony szkła pod kątem 30°,

b) od strony szkła pod kątem 60°,

c) od strony powietrza pod kątem 30°,

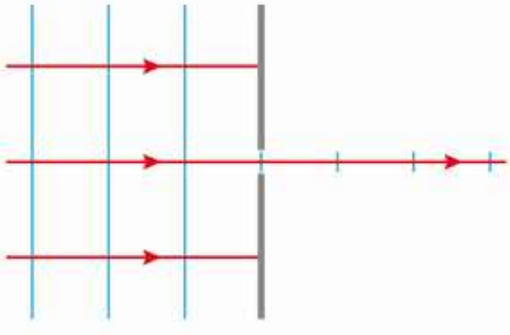
d) od strony powietrza pod kątem 60°.

24. To zdjęcie wykonał nurek aparatem fotograficznym skierowanym w górę. Dlaczego cały obraz mieści się w kole, a naokoło niego widać ciemny obszar?

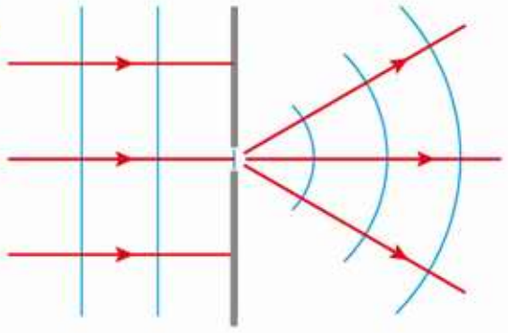


25. Na którym rysunku prawidłowo pokazano przejście fali przez wąską szczelinę? Uzasadnij swoją odpowiedź.

A.

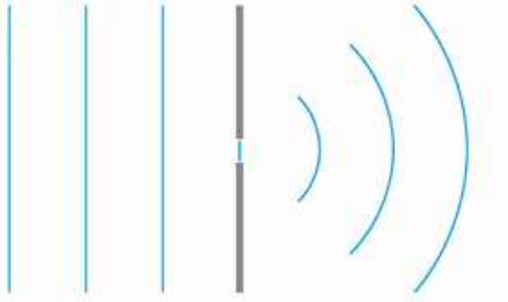


B.

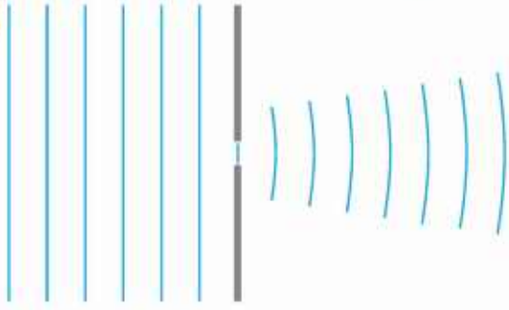


26. Na jednym z rysunków fala ulega dyfrakcji w znacznie większym stopniu niż na drugim, mimo że szczeliny są jednakowe. Dlaczego?

A.



B.



27. Dwa głośniki emitują identyczne fale dźwiękowe o częstotliwości 34,4 Hz. Znajdujemy się w punkcie oddalonym o x od jednego z nich i o y od drugiego. Które ze zjawisk zaobserwujemy: wygaszenie fal czy wzmocnienie?

a) $x = 4$ m, $y = 14$ m

b) $x = 20$ m, $y = 35$ m

c) $x = 8$ m, $y = 88$ m

28. Z głośników słyszymy piosenkę „Sto lat". Słuchacz znajdujący się w odległości 10 m od jednego z nich i 18,26 m od drugiego stwierdził, że co drugi dźwięk z dwóch pierwszych taktów (patrz nuty) słyszy bardzo słabo. Które dźwięki słyszał słabiej: g^1 (pierwsze

w taktach) czy e^1 (drugie w taktach)? Skorzystaj z tabeli na s. 331.



29. Na wodzie rozchodzi się fala o długości $\lambda = 24$ m. W chwili zerowej wychylenie źródła fali jest zerowe, a jego prędkość jest zwrócona do góry. Wykres A przedstawia zmiany wysokości falującej wody w miejscu, w którym znajduje się źródło fali. Określ, który z wykresów przedstawia zmiany wysokości falującej wody w punkcie odległym od źródła:

a) o 24 m,

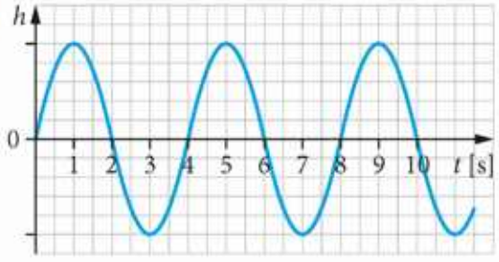
b) o 12 m,

c) o 240 m,

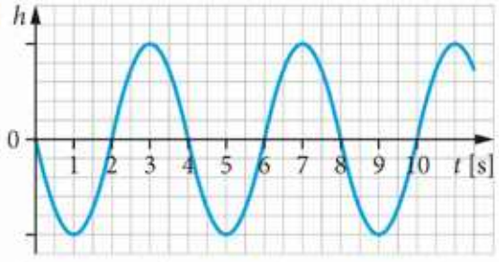
d) o 120 m,

e) o 252 m.

A.



B.



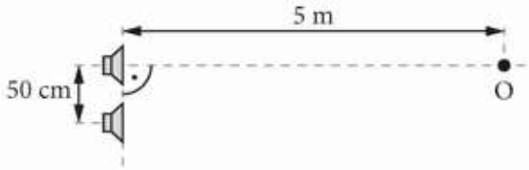
30. Zdjęcie przedstawia obraz świeczki widzianej przez firankę. Jasne plamki są efektem interferencji światła na firance.



Dlaczego układają się w dwuwymiarowy wzór, a nie w paski, tak jak w przypadku interferencji na szczelinie?

31. Dwa głośniki emitują identyczne fale dźwiękowe. Podaj dwa przykłady długości fali dźwiękowej, dla której obserwator stwierdzi wzmocnienie fal, i dwie długości, dla których stwierdzi wygaszanie.

Wskazówka. Skorzystaj z twierdzenia Pitagorasa.



32. Samochód pary młodej jedzie przez miasto z prędkością 40 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, trąbiąc klaksonem o częstotliwości 800 Hz. Jaką częstotliwość słyszy osoba, do której pojazd się zbliża, a jaką – osoba, od której pojazd się oddala?

33. Na jeziorze rozchodzi się fala o długości 6 m i prędkości 3 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz częstotliwość, z jaką fala unosi kajak:

a) dryfujący na wodzie,

b) płynący z prędkością 0,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ w tę samą stronę co fala,

c) płynący z prędkością 0,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ naprzeciw fali.

34. Radar policyjny emituje falę elektromagnetyczną o częstotliwości $f = 24$ GHz. Fala pada na samochód jadący w stronę radaru z prędkością 180 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, odbija się i wraca do radaru. Jaka jest częstotliwość fali rejestrowanej przez radar?

Wskazówka. Warto zauważyć, że zjawisko Dopplera zachodzi tutaj dwukrotnie.

Fizyka atomowa

1. Synteza witaminy D zachodzi pod wpływem promieniowania o długości fali ok. 300 nm. Oblicz jego częstotliwość oraz energię pojedynczego fotonu.

2. Oblicz, jaka jest minimalna częstotliwość fotonów wywołujących efekt fotoelektryczny dla platyny. Czy efekt fotoelektryczny dla tego metalu można wywołać za pomocą fotonów światła widzialnego? Jeśli tak, jaka może być jego barwa?

3. Srebrną elektrodę oświetlamy promieniowaniem UV o długości fali 256 nm. Oblicz maksymalną prędkość wybitych elektronów.

4. W układzie doświadczalnym do badania efektu fotoelektrycznego zamieniono bieguny źródła napięcia. Wskaż wszystkie zdania prawdziwe.

   A. Prąd popłynie, a jego natężenie nie będzie zależało od napięcia.

   B. Prąd popłynie, a jego natężenie będzie rosło wraz ze wzrostem napięcia.

   C. Prąd popłynie, a jego natężenie będzie malało wraz ze wzrostem napięcia.

   D. Prąd nie popłynie.

5. W 2019 roku fizycy badali interferencję cząsteczek $C_{284}H_{190}F_{320}N_4S_{12}$ rozpędzonych do prędkości 85 $\frac{m}{s}$. Jaka była długość fali de Broglie'a odpowiadającej takiej cząsteczce? Skorzystaj z układu okresowego pierwiastków.

6. Porównaj długość fali materii cząsteczki z poprzedniego zadania z długością fali światła niebieskiego (450 nm). Która z nich jest dłuższa i ile razy?

7. Dyfrakcja fali na przeszkodzie zachodzi wtedy, gdy rozmiary przeszkody są porównywalne z długością fali. Jaka powinna być prędkość elektronu, aby ulegał on dyfrakcji na krysztale soli kuchennej? Odległość między atomami w krysztale wynosi ok. 564 pm (piko to 10^{-12}).

8. Oszacuj bez obliczeń, która z fal materii będzie miała większą długość: słonia biegnącego z prędkością 5 $\frac{m}{s}$ czy myszy o prędkości 10 $\frac{m}{s}$?

9. Które ciało jest gorętsze: rozgrzane do białości czy rozgrzane do czerwoności? Odpowiedź uzasadnij.

10. Jakie zjawisko dowodzi, że Słońce emituje światło widzialne o różnych częstotliwościach? Jakie świadczy o tym, że emituje ono także nadfiolet? Podaj przynajmniej po jednym przykładzie takich zjawisk.

11. Gdyby włókno żarówki rozgrzać do 5000°C, emitowałoby ono głównie światło widzialne, podobnie jak powierzchnia Słońca. Wówczas żarówka miałaby większą sprawność. Dlaczego nie stosuje się takiego rozwiązania?

12. Oblicz długość fali promieniowania o częstotliwości 10^{18} Hz. Jaki to zakres fal elektromagnetycznych? Określ na podstawie informacji ze s. 202, jaką orientacyjnie temperaturę ma ciało, które promieniuje maksimum energii w tym zakresie.

13. Wskaż na podstawie informacji ze s. 202 prawidłowe dokończenie zdania. Średnią temperaturę Wszechświata możemy mierzyć:

a) w zakresie promieniowania widzialnego.

b) w ultrafiolecie.

c) w świetle gamma.

d) w falach radiowych.

14. Producenci samochodów często sprzedają ten sam model w dwóch wersjach: z silnikiem benzynowym i z silnikiem Diesla. Poszukaj informacji, która wersja jest bardziej ekologiczna, jeśli chodzi o:

a) przeciwdziałanie zmianom klimatu,

b) zapobieganie powstawaniu smogu.

15. Samochody z silnikiem elektrycznym nazywane są zeroemisyjnymi, co oznacza, że nie emitują do atmosfery dwutlenku węgla. Czy to słuszna nazwa, biorąc pod uwagę cały cykl życia samochodu? Czy odpowiedź na to pytanie zależy od tego, w jakim kraju używamy takiego samochodu?

16. Dowiedz się, dlaczego temperatura na Wenus wynosi ponad 400°C.

★17. Przy założeniu, że wskutek globalnego ocieplenia średnia temperatura powietrza podniosła się o jeden stopień, oblicz, jaka dodatkowa ilość energii została zmagazynowana w atmosferze, a jaka w wodzie oceanicznej. Przyjmij, że:

- promień Ziemi $R_Z = 6300$ km,
- atmosfera to warstwa powietrza o stałej gęstości 1,3 $\frac{kg}{m^3}$ i grubości 10 km,
- ciepło właściwe powietrza wynosi ok. 1005 $\frac{J}{kg \cdot °C}$,
- woda oceaniczna nagrzała się na razie na głębokość ok. 10 m,
- oceany zajmują 70% powierzchni Ziemi,
- ciepło właściwe wody wynosi 4200 $\frac{J}{kg \cdot °C}$.

Oszacuj, jak zmieniłby się wynik, gdyby woda ogrzewała się do głębokości 100 m.

18. Ocieplenie klimatu uruchamia wiele zjawisk, które stanowią dodatnie lub ujemne sprzężenie zwrotne, tzn. przyczyniają się do jego dalszego ocieplenia lub je ograniczają. Podziel zjawiska opisane niżej na te dwie grupy.

A. Morza szybciej parują, a para wodna także jest gazem cieplarnianym.

B. Rozmarza wieloletnia zmarzlina (do niedawna zwana „wieczną zmarzliną") i do atmosfery dostaje się metan.

C. Przy wyższym stężeniu CO_2 rośliny szybciej rosną i szybciej pochłaniają ten gaz.

D. Topnieją lodowce i obszary do tej pory białe stają się ciemne.

E. Przy wyższym stężeniu CO_2 obniżają się zdolności intelektualne ludzi, więc w końcu nie wiedzą, jak przeciwdziałać zmianom klimatu.

F. Na skutek katastrofy klimatycznej ludzie mogą wymrzeć, a wówczas przestaną spalać paliwa kopalne.

19. Podziel poniższe widma na absorpcyjne, emisyjne i ciągłe.

A.



B.



C.



D.



E.



20. Uszereguj widma emisyjne wskazane w poprzednim zadaniu w kolejności od pierwiastka o najmniejszej liczbie protonów w jądrze do pierwiastka, którego jądro zawiera ich najwięcej.

★21. Co stanie się z elektronem na orbicie podstawowej w atomie wodoru po pochłonięciu fotonu o energii 14,2 eV? Jaka będzie końcowa prędkość elektronu?

22. Elektron przeskoczył między dwiema kolejnymi orbitami w atomie wodoru i wysłał foton światła podczerwonego. Podaj przykładowe dwie orbity, między którymi mógł nastąpić ten przeskok.

Uwaga do zadań 23.–25. Zadania te dotyczą tematu dodatkowego „Model atomu Bohra".

23. Oblicz prędkość elektronu na pierwszej orbicie atomu wodoru. Jaka to część prędkości światła?

24. Zastanów się, czy elektron na wyższych orbitach będzie się poruszał szybciej czy wolniej niż na orbicie podstawowej. Aby się o tym przekonać, oblicz prędkość elektronu na jednej z wyższych orbit i porównaj ją z wynikiem poprzedniego zadania.

25. Oblicz częstotliwość prążka dla $n = 5$ w drugiej serii widma wodoru (należącej do światła widzialnego) oraz długość fali odpowiadającą tej częstotliwości.

Fizyka jądrowa. Gwiazdy i Wszechświat

1. Pewien pierwiastek o liczbie masowej 65 ma w jądrze 36 neutronów. Jaka jest liczba atomowa tego pierwiastka? Sprawdź w układzie okresowym nazwę tego pierwiastka.

2. Do jądra pewnego pierwiastka dołączono proton. Wskaż poprawne dokończenie zdania. W wyniku tej reakcji:

A. powstał inny pierwiastek o tej samej liczbie atomowej.

B. powstał inny pierwiastek o innej liczbie atomowej.

C. powstał inny izotop tego samego pierwiastka o tej samej liczbie atomowej.

D. powstał inny izotop tego samego pierwiastka o innej liczbie atomowej.

3. Do jądra pewnego pierwiastka dołączono neutron. Wskaż poprawne dokończenie zdania. W wyniku reakcji:

A. powstał inny pierwiastek o tej samej liczbie atomowej.

B. powstał inny pierwiastek o innej liczbie atomowej.

C. powstał inny izotop tego samego pierwiastka o tej samej liczbie atomowej.

D. powstał inny izotop tego samego pierwiastka o innej liczbie atomowej.

4. Jądro atomu pewnego pierwiastka składa się z 54 nukleonów, w tym 30 neutronów. Jaki to pierwiastek?

5. Do jądra atomu rutenu $^{101}_{44}Ru$ dołączył dodatkowy neutron. Zapisz równanie tej reakcji. Jaki pierwiastek powstał?

6. Wskaż poprawne dokończenie zdania. Izotop węgla $^{14}_{6}C$ ma w porównaniu z izotopem azotu $^{14}_{7}N$:

A. większą liczbę nukleonów.

B. mniejszą liczbę nukleonów.

C. większą liczbę neutronów.

D. mniejszą liczbę neutronów.

7. Ile neutronów jest w jądrze podanego izotopu?

a) $^{113}_{48}Cd$ **b)** $^{78}_{34}Se$ **c)** $^{18}_{8}O$

8. Jądro izotopu uległo rozpadowi promieniotwórczemu. Powstało nowe jądro zawierające o jeden proton więcej i o jeden neutron mniej niż jądro wyjściowe. Jakiego rozpadu dotyczy przedstawiony opis?

A. alfa **B.** gamma **C.** beta

9. Izotop $^{40}_{19}K$, obecny m.in. w bananach, ulega rozpadowi beta. Jaki pierwiastek powstaje w jego wyniku? Zapisz równanie tej reakcji.



10. Ile tomografii komputerowych głowy trzeba wykonać w ciągu roku, żeby pochłonięta dawka promieniowania była równa tej, jaką rocznie pochłaniają mieszkańcy irańskiej miejscowości Ramsar?

11. Podczas przejścia przez bramkę bezpieczeństwa na lotnisku otrzymujemy dawkę promieniowania równą 0,00007 mSv. W trakcie lotu z Warszawy do Dubaju ludzki organizm pochłania dawkę promieniowania ok. 0,0035 mSv. Ile razy trzeba przejść przez bramkę, aby obie pochłonięte dawki wynosiły tyle samo?



12. Jaką łączną dawkę promieniowania pochłonąłby astronauta lecący z Ziemi na Marsa? Podróż na Marsa trwa ok. 9 miesięcy. Porównaj tę wartość z dawką pochłoniętą podczas tomografii głowy. Która z nich jest większa i ile razy?

13. Chorą tarczycę leczy się m.in. izotopem promieniotwórczego jodu $^{131}_{53}I$. Tarczyca pochłania jod, który rozpada się w procesie beta i niszczy chore komórki. Jaki pierwiastek powstaje wskutek tego rozpadu?

14. Jądro radonu $^{224}_{86}Rn$ rozpada się kilkakrotnie kolejno w przemianach: beta, beta, alfa, alfa, alfa, beta, beta i alfa. Ostatni otrzymany izotop jest izotopem niepromieniotwórczym. Zapisz reakcje rozpadu i podaj nazwę ostatniego produktu opisanej reakcji.

15. Promet to jeden z dwóch pierwiastków o masie atomowej mniejszej niż uran nieposiadających żadnych stabilnych izotopów. Jednak izotop $^{147}_{61}Pm$ może powstać w procesie rozpadu alfa innego pierwiastka. Jak nazywa się ten pierwiastek?

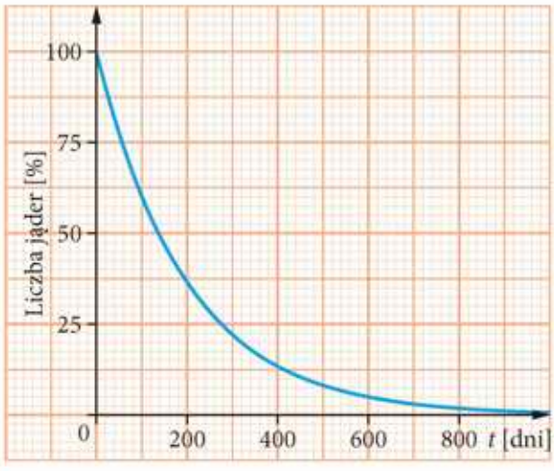
16. Oprócz prometu $_{61}Pm$ pierwiastkiem o masie atomowej mniejszej niż uran nieposiadającym żadnych stabilnych izotopów jest technet $_{43}Tc$. Jego izotop $^{99}_{43}Tc$ powstaje w wyniku rozpadu beta innego pierwiastka. Jaki to pierwiastek?

17. Podczas rozpadu beta izotopu $^{60}_{27}Co$ zostają uwolnione dwa fotony gamma o energii 1,17 MeV i 1,33 MeV.

a) Jaki pierwiastek powstaje w wyniku tego rozpadu?

b) Jaka jest długość fali obu wyemitowanych fotonów? Ile fotonów światła żółtego, o energii 2 eV, ma energię taką jak pierwszy oraz jak drugi z tych fotonów?

18. Poniższy wykres przedstawia krzywą rozpadu promieniotwórczego polonu $^{210}_{84}Po$. Odczytaj czas połowicznego rozpadu tego pierwiastka.



19. W szpitalu obliczono, że zapasy fosforu $^{32}_{15}P$ wystarczą na leczenie nowotworów u 32 pacjentów. Czas połowicznego rozpadu tego izotopu wynosi 14 dni. Dla ilu pacjentów wystarczy izotopu, jeśli leczenie odbędzie się dopiero po dwóch miesiącach?

★20. Potas $^{40}_{19}K$ może się rozpaść na dwa sposoby: z 90% jąder potasu powstaje wapń $^{40}_{20}Ca$, z pozostałych 10% jąder potasu powstaje argon $^{40}_{18}Ar$. W obu tych procesach czas połowicznego rozpadu potasu wynosi $1{,}277 \cdot 10^9$ lat. W próbce pewnej skały wulkanicznej wykryto 0,1 mola potasu $^{40}_{19}K$ oraz 0,01 mola zatopionego w skale argonu. Jak dawno temu zastygła próbka?

Wskazówka. Dopóki skała nie zastygnie, argon (który jest gazem) może się z niej swobodnie ulatniać.

21. W pojemniku zamkniętym od 6 lat odnaleziono 0,1 kg cezu $^{134}_{55}Cs$. Oblicz, ile cezu było w pojemniku w chwili jego zamknięcia. Czas połowicznego rozpadu tego izotopu wynosi dwa lata.

22. Siedem ósmych początkowej liczby jąder pewnego izotopu promieniotwórczego ulega rozpadowi w czasie 24 godzin. Wskaż poprawne dokończenie zdania. Okres połowicznego rozpadu tego izotopu jest równy:

A. 2 godziny. **C.** 8 godzin.

B. 4 godziny. **D.** 12 godzin.

23. Po zderzeniu z neutronem rozszczepienie jądra plutonu następuje zgodnie z równaniem:

$$^{239}_{94}Pu + n \rightarrow {}^{130}_{51}Sb + {}^{A}_{Z}X + 3n.$$

Podaj liczbę masową i atomową pierwiastka X oraz jego nazwę.

24. Wyobraź sobie, że musisz zbudować elektrownię atomową. Masz do dyspozycji: zapasy wodoru, pręty paliwowe, pojemnik otoczony polem

magnetycznym, pręty regulacyjne oraz pojemnik na odpady promieniotwórcze. Zapisz w zeszycie, jakie części składowe przydadzą się do budowy elektrowni jądrowej, a jakie do budowy elektrowni termojądrowej.

25. Gdy łączą się dwa jądra izotopu $^{2}_{1}H$, powstaje jądro izotopu $^{3}_{2}He$ i jeszcze jedna cząstka. Co to za cząstka? Przedstaw tę reakcję na rysunku i za pomocą równania.

26. Oblicz rozmiary kuli uranu-235 o masie krytycznej. Do którego z obiektów przedstawionych na zdjęciach pasowałaby wielkością? Gęstość uranu-235 to $d = 19\,050\ \frac{kg}{m^3}$.



27. W wyniku spalenia kilograma węgla uzyskujemy energię $3{,}3 \cdot 10^7$ J.

a) W procesie rozszczepienia promieniotwórczego kilograma paliwa jądrowego jest wytwarzana energia $8{,}8 \cdot 10^{13}$ J. Ile kilogramów węgla trzeba spalić, aby wytworzyć taką energię?

b) W reakcji syntezy kilograma helu z wodoru powstaje energia $6 \cdot 10^{14}$ J. Ile kilogramów węgla trzeba spalić, aby wytworzyć taką energię?

28. Gdy spotykają się elektron i jego antycząstka, czyli pozyton, oba ulegają anihilacji – znikają i zamieniają się najczęściej w dwa fotony.

a) Jaka jest łączna energia fotonów, jeśli masa elektronu $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg?

b) Ile fotonów światła fioletowego, o energii 3 eV, ma energię taką jak jeden z tych fotonów?

29. Jaka jest długość fali promieniowania powstałego wskutek anihilacji elektronu i jego antycząstki, czyli pozytonu, jeśli oba wyprodukowane wówczas fotony mają taką samą energię?

30. Oblicz swoją energię spoczynkową. Porównaj ją z całkowitym światowym zużyciem energii elektrycznej w 2017 r., które wyniosło 21 372 TWh.

31. W procesie spalania 1 kg węgla wydziela się energia $3{,}3 \cdot 10^7$ J. Oblicz, ile czasu świeciłoby Słońce, gdyby źródłem jego energii był płonący węgiel. Przyjmij, że masa Słońca wynosi $M_S = 2 \cdot 10^{30}$ kg. Załóż, że w tej masie węgiel i potrzebny do jego spalania tlen są zmieszane w odpowiednich, stechiometrycznych proporcjach. W ciągu sekundy nasza gwiazda wysyła $3{,}8 \cdot 10^{26}$ J energii.

32. Oblicz energię, jaka wydzieliłaby się podczas uzyskiwania 1 mola węgla w procesie, w którym w jedno jądro węgla $^{12}_{6}C$ łączą się ze sobą trzy jądra helu $^{4}_{2}He$.

33. Oblicz na podstawie wyników z poprzedniego zadania, jaką energię uzyskuje się w procesie syntezy kilograma węgla z helu.

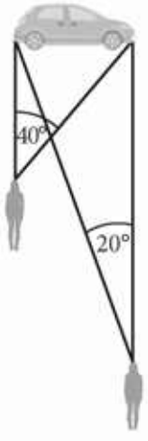
34. Oblicz deficyt masy i energię wiązania jądra żelaza $^{56}_{26}Fe$. Masa tego jądra wynosi $9{,}28821 \cdot 10^{-26}$ kg. Jaka energia wiązania przypada na jeden nukleon w tym jądrze?

35. Sprawdź w podręczniku, ile wynosi energia wiązania jądra helu $^{4}_{2}He$.

Oblicz energię wiązania przypadającą na jeden nukleon w tym jądrze. Porównaj wynik z energią wiązania w jądrze żelaza obliczoną w poprzednim zadaniu. Która z nich jest większa?

36. W trakcie końcowych etapów ewolucji Słońce zostanie białym karłem – gwiazdą o masie dwukrotnie mniejszej od obecnej masy i promieniu zaledwie 0,014 obecnego promienia. Porównaj obecne przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni Słońca z przyspieszeniem na powierzchni takiego białego karła.

Informacja do zadań 37.–39.



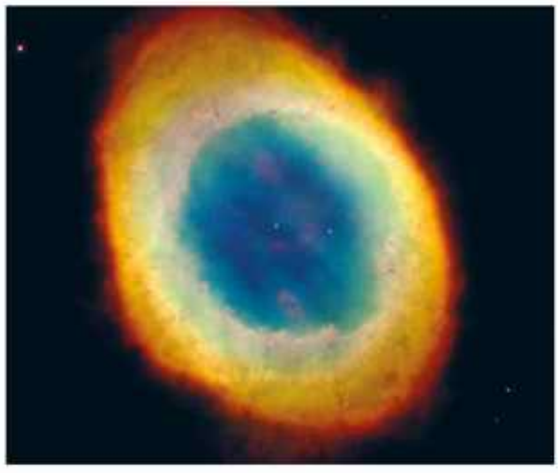
Dalekie obiekty wydają nam się mniejsze, ponieważ mniejszy jest ich rozmiar kątowy. To pojęcie wyjaśnia ilustracja. Dla osoby patrzącej z bliska samochód ma rozmiar kątowy 40°, a dla osoby patrzącej z daleka – zaledwie 20°.

Rozmiar kątowy obiektów astronomicznych zwykle jest mniejszy od 1°, dlatego wyrażamy go w minutach kątowych ($\frac{1}{60}$ stopnia) i sekundach kątowych ($\frac{1}{60}$ minuty, czyli $\frac{1}{3600}$ stopnia).

Dzięki znajomości rozmiaru kątowego i odległości do obiektu możemy obliczyć jego rzeczywisty rozmiar. Na przykład Księżyc znajduje się ok. 400 000 km od nas, a jego rozmiar kątowy to 0,5°. Ponieważ 0,5° to $\frac{1}{720}$ kąta 360°, więc średnica Księżyca to z dobrym przybliżeniem $\frac{1}{720}$ długości okręgu o promieniu 400 000 km, czyli:

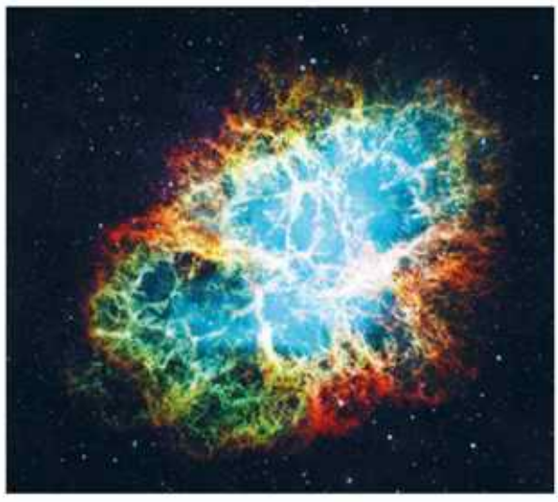
$$d = \frac{1}{720} \cdot 2\pi \cdot 400\,000\ \text{km} \approx 3500\ \text{km}$$

37. Z czasem Słońce stworzy mgławicę planetarną, podobną do widocznej na zdjęciu. Znajdująca się w odległości 2500 lat świetlnych od nas mgławica planetarna Pierścień ma na niebie rozmiary kątowe 1,4 minuty × 1,0 minuty. Jaka jest jej fizyczna średnica?



38. Mgławica planetarna Pierścień powiększa się na niebie o 1 sekundę kątową na stulecie. Jaka jest prędkość budującego ją gazu?

39. Mgławica Krab to pozostałość po supernowej, której wybuch odnotowano w chińskich kronikach w 1054 r. Obecnie ta odległa o 6500 lat świetlnych mgławica ma na niebie rozmiary kątowe ok. 6 minut × 4 minuty. Jaka jest prędkość materii w rozszerzającej się mgławicy? Porównaj ją z prędkością światła.



★40. Gdy jądro Słońca osiągnie temperaturę ok. 100 milionów stopni, gwałtownie rozpocznie się w nim reakcja

syntezy węgla z helu. Jak szacują badacze, w ciągu kilku minut w węgiel zamieni się 0,024 obecnej masy Słońca. Przyjmij, że będzie to 5 minut, i oszacuj, jaka energia wyzwoli się w tym procesie i jaka będzie moc Słońca w tym czasie. Porównaj ją z obecną mocą promieniowania Słońca. W jakim czasie obecnie wypromieniowuje ono taką samą energię?

Wskazówka. Wykorzystaj wyniki zad. 33.

41. Gwiazda neutronowa znajdująca się w centrum mgławicy Krab ma średnicę 30 km i okres obrotu 33 ms. Jaka jest liniowa prędkość punktów na równiku tej gwiazdy?

42. Oblicz średnią gęstość jądra atomowego na przykładzie jądra węgla. Promień i masa tego jądra wynoszą: $r_c = 2{,}2 \cdot 10^{-15}$ m, $m_c = 1{,}99 \cdot 10^{-26}$ kg. Porównaj tę gęstość z gęstością gwiazdy neutronowej w mgławicy Krab. Jej masę szacuje się na dwie masy Słońca.

43. Gwiazda supernowa emituje w ciągu wybuchu energię ok. 10^{44} J. O ile mniejsza jest łączna masa pozostałości po wybuchu od masy gwiazdy tuż przez eksplozją? Porównaj ten ubytek z masami Ziemi i Słońca.

44. Wyjaśnij sens porównania: „Półtorej sekundy po Wielkim Wybuchu cały Wszechświat stanowił jakby jedną potężną gwiazdę".

45. Astrofizyk Frank Drake, zastanawiający się nad szansą komunikacji z innymi kosmicznymi cywilizacjami, ułożył równanie:

$N = N_G \cdot f_P \cdot f_Ż \cdot f_J \cdot f_C \cdot f_K$

w którym:

N – liczba cywilizacji, z którymi możemy się skontaktować,

N_G – liczba gwiazd w Galaktyce,

f_P – odsetek gwiazd, które mają planety,

$f_Ż$ – odsetek planet, na których panują warunki umożliwiające powstanie życia,

f_J – odsetek planet z warunkami do życia, na których życie istotnie powstało,

f_C – odsetek planet goszczących życie, które zamieszkiwały inteligentne cywilizacje,

f_K – odsetek cywilizacji chętnych do kontaktu z innymi.

Dziś znamy już niektóre parametry tego równania. Wiemy, że w Galaktyce jest ok. 200 mld gwiazd i średnio każdą z nich obiega jedna planeta. Oblicz liczbę planet w Galaktyce, na których może istnieć życie, przy założeniu, że na co setnej planecie panują warunki umożliwiające powstanie życia, z czego na co piątej takie życie powstało. Zastanów się, jak oceniasz szansę na powstanie na nich życia inteligentnego i chętnego do komunikacji z innymi cywilizacjami? Ile planet w Galaktyce może twoim zdaniem gościć takie cywilizacje?

Tabela 1. Wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Przedrostek		Mnożnik	Przedrostek		Mnożnik	Przedrostek		Mnożnik	Przedrostek		Mnożnik
E	eksa	10^{18}	M	mega	10^{6}	d	decy	10^{-1}	n	nano	10^{-9}
P	peta	10^{15}	k	kilo	10^{3}	c	centy	10^{-2}	p	piko	10^{-12}
T	tera	10^{12}	h	hekto	10^{2}	m	mili	10^{-3}	f	femto	10^{-15}
G	giga	10^{9}	da	deka	10^{1}	μ	mikro	10^{-6}	a	atto	10^{-18}

Tabela 2. Stałe fizyczne

Stała Plancka	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s} = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}$
Prędkość światła	$c = 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Ładunek elementarny	$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$
Masa elektronu	$m_e = 9{,}1094 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}$
Masa protonu	$m_p = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$
Masa neutronu	$m_n = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$
Stała elektrostatyczna	$k = 9 \cdot 10^{9}\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$
Stała Rydberga	$R = 1{,}1 \cdot 10^{7}\ \frac{1}{\text{m}}$
Stała grawitacji	$G = 6{,}7 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$

Tabela 3. Kąt graniczny

Granica ośrodków	Kąt graniczny
Woda i powietrze	49°
Szkło i powietrze	42°
Szkło i woda	63°
Diament i powietrze	24°

Tabela 4. Ciepło właściwe wybranych substancji

Substancja	$c\ \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}\right]$
Gazy*	
Azot	1040
Powietrze	1000
Tlen	920
Wodór	14 000
Ciecze	
Benzyna	2100
Etanol	2400
Olej lniany	1800
Woda	4200

Substancja	$c\ \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}\right]$
Ciała stałe	
Aluminium	900
Asfalt	1700
Bazalt	900
Ciało człowieka	3500
Diament	510
Lód	2100
Miedź	390
Miedzionikiel MN25	380
Mosiądz	380

Substancja	$c\ \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}\right]$
Ołów	130
Sól kamienna	860
Srebro	240
Stal	460
Styropian	1200
Szkło termometryczne	840
Wolfram	130
Złoto	130
Żelazo	450

* ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu

Tabela 5. Temperatura topnienia, ciepło topnienia, temperatura wrzenia, ciepło parowania

Substancja	Ołów	Rtęć	Tlen	Woda	Złoto
Temperatura topnienia [°C]	327	–39	–219	0	1064
Ciepło topnienia $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$	24,5	11,8	13,8	334	64,5
Temperatura wrzenia [°C]	1756	357	–183	100	2800
Ciepło parowania w temperaturze wrzenia $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$	871	272	213	2256	1578

Tabela 6. Niektóre pierwiastki i ich izotopy występujące w przyrodzie

Liczba atomowa	Symbol chemiczny	Nazwa	Liczba masowa*
1	H	wodór	**1**, 2, 3
2	He	hel	**4**, 3
3	Li	lit	**7**, 6
4	Be	beryl	**9**
5	B	bor	**11**, 10
6	C	węgiel	**12**, 13, 14
7	N	azot	**14**, 15
8	O	tlen	**16**, 18, 17
9	F	fluor	**19**
10	Ne	neon	**20**, 22, 21
11	Na	sód	**23**
12	Mg	magnez	24, 26, 25
19	K	potas	**39**, 41, 40
26	Fe	żelazo	**56**, 54, 57, 58
36	Kr	krypton	84, 86, 82, 83 i in.
54	Xe	ksenon	132, 129, 131, 134 i in.
55	Cs	cez	**133**
56	Ba	bar	138, 137, 136 i in.
58	Ce	cer	140, 142, i in.
60	Nd	neodym	142, 143, 144, 146 i in.
77	Ir	iryd	193, 191
78	Pt	platyna	195, 194, 196 i in.
79	Au	złoto	**197**
80	Hg	rtęć	202, 200, 199, 201 i in.
81	Tl	tal	205, 203 i in.
82	Pb	ołów	208, 206, 207 i in.
84	Po	polon	210
86	Rn	radon	**222**
88	Ra	rad	**226** i in.
90	Th	tor	**232** i in.
92	U	uran	**238**, 235, 234
38	Sr	stront	**88**, 86, 87, 84

* Izotopy uporządkowano od najczęściej do najrzadziej spotykanych w przyrodzie. Sztucznie, przez odpowiednie reakcje jądrowe, można utworzyć także pierwiastki i izotopy niewystępujące naturalnie w przyrodzie. Wytłuszczono izotopy stanowiące ponad 80% masy danego pierwiastka w przyrodzie.

Tabela 7. Czasy połowicznego rozpadu izotopów

Izotop	Nazwa	Czas połowicznego rozpadu
$^{8}_{3}Li$	lit	0,8 s
$^{12}_{5}B$	bor	0,02 s
$^{12}_{7}N$	azot	0,011 s
$^{13}_{7}N$	azot	10 min
$^{16}_{7}N$	azot	7,2 s
$^{18}_{9}F$	fluor	110 min
$^{131}_{53}I$	jod	8 dób
$^{3}_{1}H$	wodór (tryt)	12 lat
$^{14}_{6}C$	węgiel	5730 lat
$^{40}_{19}K$	potas	1,3 mld lat
$^{99}_{43}Tc$	technet	6 h
$^{222}_{86}Rn$	radon	3,8 doby
$^{226}_{88}Ra$	rad	1600 lat
$^{238}_{92}U$	uran	4,5 mld lat
$^{218}_{84}Po$	polon	45 s

Tabela 8. Masy jąder wybranych izotopów i cząstek wchodzących w ich skład

Izotop	Nazwa	Masa [$\cdot 10^{-27}$ kg]
p	proton	1,6726
n	neutron	1,6749
$^{1}_{1}H$	wodór	1,6726
$^{2}_{1}H$	wodór (deuter)	3,3436
$^{3}_{1}H$	wodór (tryt)	5,0074
$^{4}_{2}He$	hel	6,6447
$^{12}_{6}C$	węgiel	19,9210
$^{93}_{36}Kr$	krypton	154,2832
$^{94}_{38}Sr$	stront	155,9155
$^{140}_{56}Ba$	bar	232,2760
$^{144}_{56}Ba$	bar	238,9387
$^{218}_{84}Po$	polon	361,9359
$^{222}_{86}Rn$	radon	368,5905
$^{226}_{88}Ra$	rad	375,2438
$^{235}_{92}U$	uran	390,2158
$^{239}_{94}Pu$	pluton	396,8698

Tabela 9. Prędkość dźwięku

Ośrodek	$[\frac{m}{s}]$	$[\frac{km}{h}]$
Powietrze (20°C)	344	1240
Powietrze (0°C)	332	1195
Powietrze (–20°C)	319	1148
Hel (20°C)	1015	3650
Woda (20°C)	1482	5340
Stal	6000	22 000
Diament	18 000	65 000

Tabela 10. Przybliżona prędkość światła

Ośrodek	Prędkość $[\frac{km}{s}]$
Próżnia	300 000
Powietrze	300 000
Woda	225 000
Szkło	200 000
Lód	229 000
Diament	124 000

Uwaga do tabeli 10

1. Wielkości w tabeli zaokrąglono do dwóch cyfr znaczących. Przy takim przybliżeniu nie widać różnicy między prędkością światła w powietrzu i w próżni.
2. Prędkość światła w próżni jest równa dokładnie 299 792 458 $\frac{m}{s}$, gdyż metr definiujemy jako drogę przebytą przez światło w próżni w czasie $\frac{1}{299\,792\,458}$ s.

Tabela 11. Prędkość światła w zależności od częstotliwości fali w różnych ośrodkach

Częstotliwość fali [Hz]	Prędkość światła $[\frac{km}{s}]$		
	w próżni	w powietrzu	w wodzie
$7{,}5 \cdot 10^{14}$	299 792	299 708	223 176
$5{,}0 \cdot 10^{14}$	299 792	299 709	224 968
$4{,}3 \cdot 10^{14}$	299 792	299 710	225 374

Tabela 12. Praca wyjścia elektronu z powierzchni metali

Metal	Praca wyjścia [eV]	Metal	Praca wyjścia [eV]
glin (aluminium)	4,2	platyna	5,3
arsen	5,1	rubid	2,2
bar	2,5	srebro	4,7
cez	2,1	stront	2,5
miedź	4,5	sód	2,75
ołów	4,0	wolfram	4,6
potas	2,2	złoto	4,4

Tabela 13. Częstotliwość dźwięków muzycznych

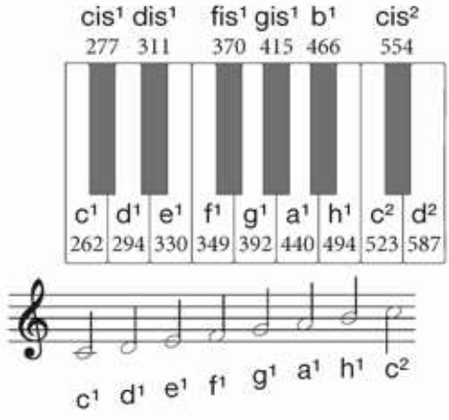
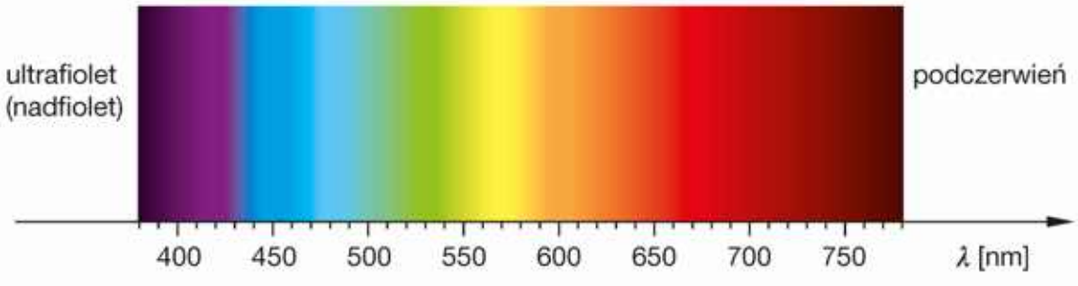


Tabela 14. Widmo światła widzialnego



Indeks

A
alikwoty 100
amplituda drgań 67
amplituda fali 86
anihilacja 241, 277
antycząstki 241
antymateria 241, 278
Arago, François 155
Arystoteles 144
atom wodoru 224, 240

B
Balmera wzór 224, 228
bańki mydlane 158
barwa nieba 126
barwa zachodzącego słońca 127
barwy strukturalne 158
Balmer, Johann 224
Becquerel, Henri 245
biały karzeł 285, 288
bilans cieplny 37
Bodaszewski, Łukasz 57
Bohr, Niels 221, 225
Broglie, Louis Victor de 195, 221
Brown, Robert 57
Buys-Ballot, Christophorus 175

C
całkowite wewnętrzne odbicie 133
Carnot, Sadi 22
choroba popromienna 249
cieplik 22
ciepło 10
ciepło parowania 33
ciepło topnienia 32
ciepło właściwe 19
ciepło właściwe wody 19, 48
ciepło właściwe, wyznaczanie 40
Curie, Piotr 245
czarna dziura 289, 290
czas (okres) połowicznego rozpadu 259, 330
cząstka alfa 238, 244
czerwony olbrzym 285, 289
częstotliwość drgań 68
częstotliwość fali 86
częstotliwość graniczna 188

D
dawka promieniowania 249, 250
deficyt masy 280, 281
długość fali 87, 92
Doppler, Christian 175
drgania tłumione 80
drgania wymuszone 81
dualizm korpuskularno-falowy 193
dwutlenek węgla 206, 210
dyfrakcja 146
dyfrakcja fal materii 196
dyfrakcja elektronów 196
dyfuzja 8
dysonans 99

E
efekt cieplarniany
– mechanizm 205, 206
– przyczyny, ograniczanie 206, 209
efekt Dopplera 166
efekt fotoelektryczny 186
Einstein, Albert 57, 189, 203, 221
elektron swobodny 222
elektronowolt 190
elektroskop 186
elektrownia jądrowa 266, 268, 270
elektrownia termojądrowa 273, 305
emisja CO_2, ograniczanie 209
energia elektronu 227
energia fotonu 189
energia potencjalna sprężystości 74
energia spoczynkowa 277
energia wewnętrzna 10
energia wiązania 280, 281

F
fala 84
fala elektromagnetyczna 103
fala kolista 117
fala kulista 117
fala mechaniczna 84
fala płaska 117
fala podłużna 86, 161
fala poprzeczna 86, 161
fala uderzeniowa 174
fale de Broglie'a, materii 195
fale radiowe 103, 104
faza 24
foton 189
fotosynteza 192
Fraunhofer, Joseph 216
Fraunhofera linie 216

G
galaktyka 291
Galaktyka 291
Galaktyka Andromedy 291
gazy cieplarniane 206
globalne ocieplenie 206
gloria 159
Grupa Lokalna 291
gwiazda neutronowa 289

H
halo 143
hel 238
Hooke, Robert 64

I
infradźwięki 94
interferencja 150
interwał muzyczny 98
iryzacja chmury 159
izotop 239, 240

J
jądro atomowe, stabilne, niestabilne 253, 259
jonizacja 222, 244

K
kamera termowizyjna 200
kąt graniczny 134
kilokaloria 45
klimat 49, 206
konsonans 99
kosmiczny teleskop Plancka 202
kryształ 26
kwant 193

L
LCD 163
liczba atomowa 240
liczba masowa 240
licznik Geigera–Müllera 243, 244
lodówka 34
lustro weneckie 120

M
makroświat 196
masa krytyczna 266
Maxwell, James Clerk 106
mechanika kwantowa 203, 221
metan 206, 210
mgławica planetarna 285
mikrofale 104, 248
mikrofalowe promieniowanie tła 292
model Bohra, założenia 225
postulat 225

N
nadfiolet 104, 192
natura światła, cząsteczkowa (korpuskularna), podwójna, falowa 193
neutron 239
Newton, Izaak 64, 106
nietoperze 94
Nobla Nagroda 188, 203, 225, 245, 262, 274, 294
nukleon 239

O
odbicie całkowite wewnętrzne 133
odbicie fali 119, 133
odpady promieniotwórcze 268
okres drgań 68
okres fali 86
orbita elektronu, promień 226

P
Perlmutter, Saul 294
pierwsza zasada termodynamiki 10
plamka Poissona (Arago) 155
Planck, Max 189, 203, 221
podczerwień 104
Poisson, Siméon 155
polaryzacja światła 162
polaryzacja światła przy odbiciu 164
polaryzator 162
położenie równowagi 67
postulaty Bohra 225
powierzchnia falowa 117
pozytonowa tomografia emisyjna PET 278
półton 100
praca wyjścia 190
prawo Hooke'a 62
prawo Hubble'a 291
prawo odbicia 119
prawo połowicznego rozpadu 259, 260
prawo Snelliusa 131
prędkość dźwięku 93
prędkość fali 87
prędkość światła 106
promieniowanie alfa 244
promieniowanie beta 246
promieniowanie cieplne 199
promieniowanie gamma 105, 246
promieniowanie jądrowe 243
promieniowanie niejonizujące 248
promieniowanie termiczne 199
promieniowanie X (rentgenowskie) 104
promień fali 117
proton 239
przemiana fazowa 24
przemiany (reakcje) jądrowe 253
przesunięcie ku czerwieni 291
pulsar 289

R
radarowy pomiar prędkości 173
reakcja łańcuchowa 266
reaktor jądrowy 270
rezonans 81
Riess, Adam G. 294
rozmiar kątowy 143, 327
rozpad alfa 253
rozpad beta 254
rozpraszanie fali 123
rozpraszanie światła w ośrodku 124
rozszczepienie jąder 265
rozszczepienie światła 139
rozszerzalność cieplna (temperaturowa) 13
rozszerzalność cieplna wody 47
rozszerzanie Wszechświata 291, 292
ruch drgający 60
ruch ponaddźwiękowy 173
ruchy Browna 57
Rutherford, Ernest 238, 274

S
Schmidt, Brian P. 294
siatka dyfrakcyjna 158
siła sprężystości 60
siły przyciągania jądrowego 239
siwert 250
składowe harmoniczne 100
Skłodowska-Curie, Maria 245
Słońce, wiek, ewolucja, przyszłość 284
Smoluchowski, Marian 57
smuga kondensacyjna 29
stała Plancka 189
stała Rydberga 224
stan podstawowy 219
stan skupienia 7, 24
strój równomiernie temperowany 100
supernowa 289
superpozycja fal 150

Ś
średnia temperatura Ziemi 207
światło widzialne 104, 186
światłowód 136
świetlówka, promieniowanie 213, 214

T
temperatura 9
teoria naukowa 106
termojądrowa synteza 272
tęcza 140
tsunami 96

U
ultradźwięki 94
ultrafiolet 104, 192
USG 173

W
wahadło matematyczne 70
wahadło sprężynowe 71
wahadło sprężynowe, badanie 76
wartość energetyczna 44
wartość opałowa 44
widmo Brockenu 159
widmo ciągłe, liniowe, absorpcyjne, emisyjne 214
widmo świetlówki kompaktowej 214
Wielki Wybuch 293
wieniec 159
witamina D, synteza 192
wodór, prot, deuter, tryt 240
Wolszczan, Aleksander 296
współczynnik sprężystości 62
Wszechświat 293

Z
zakwaszenie oceanów 207
załamanie fali 129
załamanie światła 129
zasada superpozycji fal 150
zasada zachowania liczby nukleonów 256
zasada zachowania ładunku 255
zjawisko fotochemiczne 192
zjawisko fotoelektryczne 186

Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań

7. Termodynamika

1. Cząsteczki i energia

Zadanie 2. **Wskazówka.** Od czego zależy temperatura ciała?

Zadanie 3. **Wskazówka.** Do lekarza przyszli ojciec i syn, obaj z temperaturą 39°C. Jaką temperaturę miał ojciec?

2. Rozszerzalność cieplna

Zadanie 1. **Wskazówka.** Najpierw zastanów się, kiedy długość przewodów jest większa.

Zadanie 2. **Wskazówka.** Możesz pominąć zmianę objętości opony związaną z tym, że przy niższym ciśnieniu bardziej się ona ugina.

Zadanie 3. **Wskazówka.** Szkło słabo przewodzi ciepło, dlatego gdy wnętrze szklanki jest już ochłodzone, część bardziej na zewnątrz może być nadal gorąca.

3. Ciepło właściwe

Zadanie 2. **Wskazówka.** Zastanów się, czym to zadanie różni się od zadania 1.

Zadanie 3. $Q = mc\Delta T = 84$ kJ

Zadanie 4. Aby ogrzać wodę. Przedstaw obliczenia!

Zadanie 5. $\Delta T = \frac{Pt}{mc} = 8{,}6°\text{C}$

4. Przemiany fazowe

Zadanie 2. **Wskazówka.** Kisiel przed przygotowaniem to drobny proszek.

Zadanie 4. **Wskazówka.** Czy większy płomień spowoduje zmianę temperatury wrzącej wody?

5. Ciepło topnienia i ciepło parowania

Zadanie 2. $Q = mL_t = 668$ kJ

Zadanie 3. $m = \frac{Pt}{L_t} = 26$ kg,
$E = Pt = 2{,}4$ kWh

Uwaga. Przeliczaj właściwie jednostki – godziny i sekundy oraz dżule i kilodżule!

Zadanie 4. $E = mL_p = 226$ kJ

6. Bilans cieplny

Uwaga. Pamiętaj, aby przeczytać nagłówki tabel ciepła właściwego i ciepła topnienia. Zwróć uwagę, czy energia jest podana w dżulach czy kilodżulach.

Zadanie 1.

$E = m(L_t + c_l\Delta T_l + c_w\Delta T_w) = 8{,}6$ kJ,

gdzie $\Delta T_l = 5°\text{C}$, $\Delta T_w = 20°\text{C}$

Zadanie 2. **Wskazówka.** Zastanów się najpierw i zapisz, które ciała oddają ciepło, a które je pobierają.

Zadanie 3. $m_l = \frac{m_w c_w \Delta T_w}{L_t} = 50$ g

Zadanie 4. $m_l = \frac{m_w c_w \Delta T_w}{L_t + c_l \Delta T_l} = 47$ g

7. Wyznaczanie ciepła właściwego

Zadanie 1. **Wskazówka.** Czy ścianki garnka mają tę samą temperaturę co woda wewnątrz?

Zadanie 2. Dla naszych danych: wielkość wyznaczona jest o około 17% mniejsza od tablicowej. Ty najprawdopodobniej także otrzymasz wynik niższy od tablicowego (dlaczego?).

Zadanie 4. Ciepło właściwe tego metalu
$c = \frac{m_w c_w \Delta T_w}{m_p \Delta T_p} = 900 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot°\text{C}}$,
mogło to być aluminium.

8. Wartość energetyczna

Zadanie 1. 280 MJ

Zadanie 2. a) 15 km, b) 1,7 km

Zadanie 4. **Wskazówka.** Możesz obliczyć najpierw, ile energii potrzeba do podgrzania tej wody, oraz ile energii dostarcza spalenie 1 m^3 gazu po odliczeniu strat energii.

$V = 0{,}037\ \text{m}^3 = 37$ l

Zadanie 5. ok. 13%

9. Niezwykłe właściwości wody

Zadanie 2. **Wskazówka.** Wigry to jedno z najgłębszych jezior w Polsce.

Zadanie 3. ok. 3,5 kg

Zadania powtórzeniowe

To trzeba umieć

1. A
2. A–II, B–I, C–III
3. D, 4. A, 5. B,
6. A–IV, B–V, C – I, II, D–V, E – III, V

To powinieneś umieć

1. D, 3. B

4. **Wskazówka.** Dlaczego wiosną cały lód nie topnieje natychmiast, gdy temperatura powietrza przekroczy 0°C?

5. B

6. $m = \frac{E}{L_t} = 3\text{ kg}$

7. **Wskazówka.** Mieszanie zwiększa powierzchnię parowania cieczy i przyspiesza wyrównywanie temperatur.

9. 2,24 MJ

To warto umieć

1. B

2. $\Delta T = \frac{m_ż c_ż \Delta T_ż}{m_w c_w} = 10{,}7°\text{C}$

3. $t = \frac{m_l L_t + (m_w + m_l) c_w \Delta T}{P} = 147\text{ s} = 2{,}4\text{ min}$

4. a) **Wskazówka.** Zastanów się, co się dzieje z dostarczaną do grzałki energią.

b) $t = \frac{mL_p}{P} = 25\text{ min}$

5. $\Delta T_s = \frac{m_w c_w \Delta T_w}{m_s Q_w} = 91°\text{C}$,
$T_{pocz} = 15°\text{C} + 91°\text{C} = 106°\text{C}$

6. $V = \frac{m_w c_w \Delta T_w}{Q_w} = 0{,}017\text{ m}^3$

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. **Wskazówka.** Do pierwszego opisanego doświadczenia: Szalka wagi i jej ramię mogą być metalowe i połączone metalowymi drutami. Do drugiego doświadczenia: Przypomnij sobie, co się dzieje, gdy wyciągniesz coś z zamrażarki.

2. **Wskazówka.** Na Księżycu nie ma atmosfery.

3. $h = \frac{c_w \Delta T}{g} = 420\text{ m}$

4. $h = \frac{L_t}{g} = 33{,}4\text{ km}$

5. $m = \frac{Pt}{Q_w} = 106\text{ l}$

8. Drgania i fale

10. Prawo Hooke'a

Zadanie 1. 26 cm

Zadanie 3. Z prawa Hooke'a – uzasadnij, dlaczego.

Zadanie 4. ok. 1700 $\frac{\text{N}}{\text{m}}$

11. Opis ruchu drgającego

Zadanie 1. $f = 0{,}5\text{ Hz}$, $T = 2\text{ s}$

Zadanie 2. $f = 0{,}5\text{ Hz}$, $T = 2\text{ s}$, $A = 5\text{ cm}$

Zadanie 4. a) Wahadło znajdzie się w skrajnym prawym położeniu i jego chwilowa prędkość będzie równa zeru.

12. Wahadło sprężynowe

Zadanie 1. Przy maksymalnym wychyleniu (w dół lub w górę) prędkość chwilowa jest równa zeru. Prędkość jest największa w chwili przechodzenia ciężarka przez położenie równowagi.

Zadanie 3. W położeniu B – w dół.

Zadanie 4. W położeniu B energia kinetyczna i energia potencjalna sprężystości zmieniają się w energię potencjalną grawitacji.

13. Badanie wahadła sprężynowego

Zadanie 3. a) Niepewność pomiaru $20T$ to ok. 1 s, a więc niepewność pomiaru T to ok. 0,05 s

b) 13,6 s; 0,68 s

14. Drgania wymuszone i tłumione. Rezonans

Zadanie 3. 3600 $\frac{\text{obr}}{\text{min}}$

Zadanie 4. $v = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 36\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$

15. Fale mechaniczne

Zadanie 2. a) 50 s, b) 7,2 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$

Zadanie 3. a) $v = 9\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$, b) 111 s

Zadanie 4. 2,5 m

16. Fale dźwiękowe

Zadanie 2. **Wskazówka.** Zadanie jest bardzo podobne do przykładu w tej lekcji.

Zadanie 3. **Wskazówka.** Okres to czas, po którym wykres zaczyna się dokładnie powtarzać. Przy wykresie bardziej skomplikowanym niż sinusoida nie każda „górka" jest taka sama, więc np. na wykresie III okres mierzymy między dwiema najwyższymi „górkami", a nie między jedną z najwyższych a jedną z niższych.

Temat dodatkowy. Dźwięki muzyki

Zadanie 3. 1,26

Zadanie 4. **Wskazówka.** Aby znaleźć odpowiedź, podnoś na kalkulatorze $\sqrt[12]{2}$ do kolejnych potęg, aż znajdziesz liczbę zbliżoną do $\frac{4}{3} = 1{,}333...$

17. Fale elektromagnetyczne

Zadanie 2. **Wskazówka.** Przypomnij sobie, w jakich warunkach zachodzi indukcja elektromagnetyczna.

Zadanie 3. 50 Hz, 6000 km

Zadania powtórzeniowe

To trzeba umieć

1. A, 2. C, 3. B, 4. A, 5. A.C, 6. C, 7. C, 8. A, 9. C, 10. A II, B IV, C I, D III

To powinieneś umieć

1. $A = 10$ cm, $T = 0{,}5$ s, $f = 2$ Hz

2. a) w dół, b) w dół, c) rośnie

3. Powinien skorzystać ze zjawiska rezonansu – popychać dzwon tak, aby wzmacniać jego wychylenia.

4. a) nr 1, b) nr 3, 5. C

6. 8,6 m

To warto umieć

1 A, 2 C,

3. a) E_{pg} rośnie, E_{ps} maleje, E_k rośnie,

b) E_{ps} zmienia się w E_{pg} i E_k

4. ok. 8 mm

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

Zadanie 2. a) 10,6 s, b) 2,2 m, c) 6 razy krótsze (zwróć uwagę, że wystarczy się zastanowić, co zrobić, żeby nie zmienił się iloraz $\frac{l}{g}$)

9. Zjawiska falowe

18. Powierzchnie falowe. Odbicie fali

Zadanie 2. $f = \frac{c}{\lambda} = 230$ kHz

19. Rozpraszanie fali

Zadanie 3. **Wskazówka.** Zastanów się, skąd dochodzi światło oświetlające kartkę w obu przypadkach.

Zadanie 5. **Wskazówka.** Potrzebny jest aparat fotograficzny, ale nie wystarczy taki w telefonie.

20. Załamanie fal

Zadanie 4. **Wskazówka.** Która z fal zwiększa, a która zmniejsza prędkość przy przejściu między ośrodkami?

21. Całkowite wewnętrzne odbicie

Zadanie 2. **Wskazówka.** Zmierz potrzebne kąty na rysunku.

22. Tęcza i halo

Zadanie 2. **Wskazówka.** Zwróć uwagę na bieg promienia wewnątrz pryzmatu.

Zadanie 5. Fioletowy, ciemnoniebieski, jasnoniebieski (indygo), zielony, żółty, pomarańczowy, czerwony.

Uwaga. Pamiętaj, że jest to umowny podział – barwy zmieniają się stopniowo.

24. Interferencja fal

Zadanie 1. b) $\Delta s = \frac{3}{2}\lambda$ – wygaszanie fali

Zadanie 2. a) $\Delta s = 5\lambda$ – wzmocnienie fali

Zadanie 4. $\Delta s = 0{,}0005$ mm $= 0{,}9615\,\lambda \approx \lambda$ – wzmocnienie fali

25. Dyfrakcja i interferencja światła w przyrodzie

Zadanie 4. **Wskazówka.** Zwróć uwagę na położenie Księżyca i kolejność barw.

26. Polaryzacja światła

Zadanie 2. **Wskazówka.** Fala dźwiękowa jest falą podłużną.

Zadanie 5. **Wskazówka.** Skorzystaj z faktu, że fala elektromagnetyczna jest falą poprzeczną.

27. Efekt Dopplera

Zadanie 2. **Wskazówka.** Rozważ moment, gdy uczestnik odłącza się od grupy. Jaką drogę przebył w tym czasie jego poprzednik na rowerze, a jaką – grupa idąca piechotą? W jakim czasie rowerzysta przebędzie tę drogę?

$t' = \frac{v_{row} - v_{piech}}{v_{row}} t = 8{,}5 \text{ min}$

Zadanie 3. $f = 0{,}5$ Hz, $f_{zbliż} = 1$ Hz, $f_{oddal} = 0{,}33$ Hz

Zadanie 4. a) 536 Hz,

b) 464 Hz

Zadanie 5. $v_{zr}' = \frac{\Delta f}{f} v_{dźw} = 74 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

28. Więcej o efekcie Dopplera

Zadanie 2. a) 162 Hz,

b) 148 Hz

Zadanie 3. **Wskazówka.** Oszacuj, z jaką prędkością musiałby jechać kierowca.

Zadanie 4.

$f' = f + 2\frac{v_{zr}'}{c} f = 24\,000\,006\,667$ Hz

Zadania powtórzeniowe

To trzeba umieć

1. A, 2. B, 3. B, 4. D, 5. C

To powinieneś umieć

1. A, 2. B, 3. C

4. A I, B II, C III, D I, E II, F IV, G II

Uwaga. Przy powstawaniu tęczy występuje wewnętrzne odbicie światła, ale nie całkowite.

5. C

6. a) światło przechodzące będzie słabsze,

b) światło nie będzie przechodzić,

c) światło będzie przechodzić

To warto umieć

1. W obu ośrodkach $f = 1720$ Hz, w wodzie $\lambda = 86$ cm

2. Nie – w różnych punktach kąty padania i odbicia mierzymy względem różnych kierunków.

3. B i C, 4. C

5. Nie, ponieważ jest falą podłużną, a jest tylko jeden kierunek równoległy do danego.

6. $f' = f + \frac{v_{zr}'}{v_{dźw}} f \approx 880$ Hz

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. **Wskazówka.** Czy w Ameryce słońce ma czerwoną barwę o zachodzie, czy o innej porze?

2. $x = 63$ cm

3. $v_{zr}' = \frac{\Delta f}{f} v_{dźw} \approx 70 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

10. Fizyka atomowa

29. Podwójna natura światła

Zadanie 2. $E = 2{,}04$ eV

Zadanie 4.

Fioletowe: $f = 7{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz, $E_f = 3{,}11$ eV

Czerwone: $f = 4 \cdot 10^{14}$ Hz, $E_f = 1{,}66$ eV

30. Fale czy cząstki? Cząstki czy fale?

Zadanie 2. $\lambda = 7{,}96 \cdot 10^{-36}$ m

Zadanie 3. $\lambda = 7{,}29 \cdot 10^{-8}$ m – kilka razy krótsza od fali światła widzialnego

31. Promieniowanie termiczne

Zadanie 2. Około 2000–3600 fotonów światła widzialnego.

32. Mechanizm efektu cieplarnianego

Zadanie 1. a) $V = 2 \cdot 10^{13}$ m^3, np. sześcian o krawędzi 27 km, podobną objętość ma cała woda w Morzu Bałtyckim

b) $V = 5{,}3 \cdot 10^{10}$ m^3 = 53 km^3

Zadanie 2. a) 155 m^2, b) 5955 km^2 – mniej niż $\frac{1}{50}$ powierzchni kraju

33. Ograniczanie efektu cieplarnianego

Zadanie 2. a) 3,5 kg, b) 28 kg, c) 7 kg

35. Jak powstaje widmo liniowe

Zadanie 2. Są cztery możliwości: $4 \to 1$ (jeden foton), $4 \to 2 \to 1$ (dwa fotony), $4 \to 3 \to 1$ (dwa fotony), $4 \to 3 \to 2 \to 1$ (trzy fotony)

Temat dodatkowy. Model atomu Bohra

Zadanie 1. $f = 1{,}6 \cdot 10^{14}$ Hz, podczerwień

Zadanie 3. 5,46 GHz, fale radiowe, 5,5 cm

Zadanie 4. $\lambda = 3{,}3 \cdot 10^{-10}$ m, obwód orbity $3{,}3 \cdot 10^{-10}$ m – taki sam, mieści się na nim jedna długość fali

Zadania powtórzeniowe

To trzeba umieć

1. A

2. Tak, w przypadku a)

3. B, 4. D, 5. A, 6. A, 7. C, 8. D

To powinieneś umieć

1. C, 2. $6{,}63 \cdot 10^{-19}$ J $= 4{,}14$ eV

3. $E = 4{,}91 \cdot 10^{-19}$ J $= 3{,}07$ eV,

4. zieloną

5. D

6. $E = 1{,}6$ eV $= 2{,}56 \cdot 10^{-19}$ J

To warto umieć

1. $E = 2{,}01$ eV $= 3{,}22 \cdot 10^{-19}$ J,

2. A

3. $\lambda = 497$ nm

4. mniejsza, ponad 5000 razy

5. $E = 1{,}9$ eV $= 3{,}04 \cdot 10^{-19}$ J

6. $\lambda = 655$ nm

7. B

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. Elektron oderwał się od jądra i porusza się z prędkością 1100 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

2. 1409 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$

11. Fizyka jądrowa. Gwiazdy i Wszechświat

36. Budowa jądra atomowego

Zadanie 1. a) bor $^{10}_{5}$B, b) magnez, c) kiur $^{250}_{96}$Cm

Zadanie 2. a) $^{16}_{8}$O – tlen, b) $^{10}_{5}$B – bor, c) $^{10}_{4}$Be – beryl

Zadanie 4. a) 7, b) 30, c) 2

Zadanie 5. nie

Zadanie 6. tak

37. Promieniowanie jądrowe

Zadanie 1. a) alfa, b) beta

Zadanie 4. czarne – alfa, czerwone – beta, zielone – gamma

38. Wpływ promieniowania na materię i organizmy

Zadanie 3. B, C

39. Reakcje jądrowe

Zadanie 1. a) beta, elektron, b) alfa, jądro helu

Zadanie 2. a–II, b–I

Zadanie 3. a) 86 protonów, 136 neutronów,

b) 84 protony, 134 neutrony,

c) polon $^{218}_{84}$Po

Zadanie 4. a) 7 protonów, 9 neutronów,

b) 8 protonów, 8 neutronów, c) tlen $^{16}_{8}$O

Zadanie 5. a) $\lambda = \frac{hc}{E} = 6{,}68$ pm,

b) $n = \frac{E}{E_z} \approx 80\,000$

40. Czas połowicznego rozpadu

Zadanie 1. 2 tony

Zadanie 2. 1 pacjenta

Zadanie 3. Z wykresu odczytujemy, że upłynęło około 0,42 $T = 2406$ lat, czyli 1977 – 2406, kobieta umarła przed 400 r. p.n.e.

Zadanie 4. Z wykresu odczytujemy, że upłynęło około 0,81 $T = 4641$ lat, czyli 1950 – 4641, faraon umarł około 2700 r. p.n.e.

Zadanie 5. $\frac{1}{16}$

41. Energia jądrowa

Zadanie 4. $^{142}_{56}$Ba

42. Energia syntezy termojądrowej

Zadanie 1. nie

Zadanie 2. A. Energia wydziela się, gdy lekkie (lżejsze od żelaza) jądra atomowe się łączą.

B. Energia wydziela się, gdy ciężkie (cięższe od żelaza) jądra atomowe dzielą się na mniejsze części.

Zadanie 3. Nie, Słońce czerpie energię z łączenia lekkich jąder, a nie rozpadu ciężkich jąder jak w elektrowniach jądrowych.

Zadanie 4. hel

43. Masa i energia

Zadanie 1. Dla królika: $E = mc^2 = 5{,}4 \cdot 10^{17}$ J, jest to wielkość zbliżona do rocznej produkcji energii w Polsce.

Zadanie 2. $E = 0{,}4mc^2 = 3{,}6 \cdot 10^{17}$ J,
$t = \frac{E}{P}$ czyli około 178 dni

Zadanie 3.
$E = 1\,\text{kg} \cdot 80°\text{C} \cdot 4200\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}} = 336\,000\ \text{J}$
$M = \frac{E}{c^2} = 3{,}7 \cdot 10^{-12}\ \text{kg}$
$\frac{M}{m} = 3700$ bakterii

Zadanie 4. a) $m = \frac{E}{c^2} = 4{,}4 \cdot 10^9$ kg,
$L = \sqrt[3]{\frac{m}{d}} = 117{,}3$ m,
b) prawie 105 mas Ziemi

44. Deficyt masy

Zadanie 1.

$m_{\text{deficyt}} = 6m_{\text{p}} + 6m_{\text{n}} - m_{\text{C}} = 1{,}64 \cdot 10^{-28}$ kg,
energia wiązania:
$E = m_{\text{deficyt}}c^2 = 1{,}48 \cdot 10^{-11}\ \text{J} = 92\ \text{MeV}$

Zadanie 2. **Wskazówka.** Skorzystaj z wyników poprzedniego zadania.
$E = 7{,}4 \cdot 10^{14}$ J

Zadanie 3. $E = 5{,}9 \cdot 10^{13}$ J

Zadanie 4. a) $E = 3{,}4 \cdot 10^{14}$ J,
b) 10 mln razy więcej niż przy spalaniu węgla

45. Życie Słońca

Zadanie 1. Słońce stanie się czerwonym olbrzymem za ok. 6 mld lat. Licząc 25 lat na pokolenie, oznacza to 240 mln pokoleń.

Zadanie 2. gwiazda produkująca hel z wodoru, czerwony olbrzym, biały karzeł, zimna i ciemna kula

Zadanie 3. W pierwszym zdaniu: 3, w drugim zdaniu: 7.

Zadanie 4. a) $d_1 = 1400\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$,
b) $d_2 = 1{,}4 \cdot 10^{-4}\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$,
c) $d_3 = 3{,}3 \cdot 10^8\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 330$ tys. $\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$

46. Życie gwiazd – kosmiczna menażeria

Zadanie 1. ciężkiej

Zadanie 2.
$v = 2\pi rf = 3{,}77 \cdot 10^6\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3770\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$

Zadanie 3. a) $d = 2{,}76 \cdot 10^{17}\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$,
b) szklanka miałaby masę:
$6{,}91 \cdot 10^{13}$ kg = 69,1 mld ton

47. Wszechświat

Zadanie 1. A – I, B – III, C – IV

Zadanie 2. Nie, bo powstało dopiero w pierwszych gwiazdach.

Zadanie 3. druga

Zadanie 4. grawitację

Zadania powtórzeniowe

To trzeba umieć

1. B, 2. B, 3. C, 4. A, 5. A, 6. tak, 7. B, 8. B, 9. A

To powinieneś umieć

1. A, 2. C, 3. C, 4. B, 5. C, 7. B
8. $1{,}8 \cdot 10^5$ J
10. B

To warto umieć

1. D
2. $^{144}_{60}\text{Nd} \rightarrow {}^{140}_{58}\text{Ce} + {}^{4}_{2}\text{He}$
3. 10 s
4. $E = 7{,}74 \cdot 10^{-13}$ J, rozpad alfa
5. po pięciu dniach
6. B
7. a) 31 lat, b) ponad 79 lat
8. pluton, rad; hel, azot; żelazo

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. $^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^{218}_{84}\text{Po} + {}^{4}_{2}\text{He}$, $E = 2{,}4 \cdot 10^9$ J
2. 58 km
3. z VII w. n.e

Zbiór zadań

Termodynamika

4. b) przysłówkiem (jak?)

5. **Wskazówka.** Gdy zaczyna się zabawa, powietrze się ogrzewa.

6. **Wskazówka.** Dawniej w druku używano metalowych czcionek.

9. **Wskazówka.** Wyobraź sobie, że na metalowej płytce narysowano okrąg. Czy przy podgrzewaniu płytki ten okrąg się powiększy, czy zmniejszy?

10. a) $E = mc_w\,\Delta t = 504$ kJ

b) $E = mc_l\Delta t = 31{,}5$ kJ

11. a) $\Delta t = \frac{E}{mc_w} = 0{,}24°C$

b) $\Delta t = \frac{E}{mc_m} = 2{,}6°C$

12. $E = 398{,}7$ kJ

13. $t = \frac{m_w c_w (100°C - T_0)}{P} = 210$ s

14. $t = \frac{m_w c_w (100°C - T_0)}{P} = 84$ s; 1,68 gr

15. $T_k = T_0 + \frac{Pt}{m_w c_w} = 19{,}5°C$

20. **Wskazówka.** Para wodna w powietrzu ma taką samą temperaturę jak powietrze.

21. **Wskazówka.** Samo podgrzanie wody wymaga tyle samo energii. A jak jest ze stratami energii? Jakie znaczenie ma fakt, że podgrzewamy wodę bez pokrywki?

22. $Q = mL_t = 6{,}68$ kJ

23. b) $t = \frac{m_l L_t}{P} \approx 28$ s

24. ok. 67 min

Wskazówka. Oblicz najpierw, ile razy więcej energii trzeba do odparowania wody niż do jej podgrzania od 20°C do 100°C. Zauważ, że nie zależy to od ilości wody. Dlaczego?

25. a) $m_2 = m_1 \frac{T_1 - T_k}{T_k - T_2} = 500$ g

b) $m_2' = m_1 \frac{c_w (T_1 - T_k)}{L_t + c_w (T_k - T_2)} = 56$ g

c) m_2' jest znacznie mniejsza od m_2

26. $m_p = \frac{m_w c_w (100°C - T_w)}{L_p} = 30$ g

27. łączna wartość energetyczna $Q = 620$ kJ

28. prawie 1000 $\frac{km}{h}$

29. $Q = V \cdot Q_w = 1440$ MJ

30. Energia z benzyny jest ok. 1,4 raza tańsza.

31. Wartość energetyczna benzyny jest 1,8 raza większa.

Drgania i fale

1. 13 cm

2. $k = \frac{F}{\Delta l} = 750\,\frac{N}{m}$

3. **Wskazówka.** Znajdź punkt wykresu leżący na przecięciu kratek.

$k = 1000\,\frac{N}{m}$

4. Prawo Hooke'a jest spełnione dla sił o wartościach mniejszych od ok. 1 N; $k = 4\,\frac{N}{m}$.

6. **Wskazówka.** Możesz poszukać wiadomości np. na stronie https://astrofan.pl/alpha-ursae-minoris-jako-przewodniczka-zeglarzy/

7. a) $x(t) = 1{,}9$ cm

b) $t = \frac{3}{4}T = 0{,}6$ s

11. 3000

12. Czwarte najwyższe położenie: 12:00:13. Czwarte najniższe położenie: 12:00:15.

15. Dla $t = 0{,}1$ s ciężarek porusza się w dół, jego prędkość rośnie, siła wypadkowa skierowana jest w dół.

17. d) E_k i E_{ps} zmieniają się w E_{pg}

18. **Wskazówka.** Możemy założyć, że poprzeczka na drugim rysunku ma masę bardzo małą w stosunku do masy ciężarków i nie wpływa na ich ruch.

24. nie (dlaczego?)

25. wzrok i słuch (jakie fale odbierają?)

26. $v = \frac{\lambda}{T} = 12\,\frac{m}{s}$; $f = \frac{1}{T} = 2$ Hz

27. a) $f = \frac{v}{\lambda} = 5$ Hz; b) $t = \frac{s}{v} = 3$ s

28. Nie można odczytać ani obliczyć długości fali.

29. Nie można odczytać ani obliczyć okresu i częstotliwości fali.

30. a) 3,4 m; b) 60 m

31. a) 1147 Hz

c) 1,3 m

33. wyższa

35. od 1,7 cm do 21,5 m

37. po 6 oktawach

39. Do obu grup należy transformator.

45. A

Zjawiska falowe

1. c) A – przez żarówkę, B – przez laser

2. a) kąt padania $\alpha = 60°$, kąt odbicia $\beta = 60°$

b) kąt padania $\alpha = 30°$, kąt odbicia $\beta = 30°$

4. ok. 700 m

5. C, D. Wyjaśnij dlaczego.

6. **Wskazówka.** Zastanów się, czy wszystkie chmury widziane z ziemi są całkowicie czarne i dlaczego.

7. **Wskazówka.** Na swoim rysunku uwzględnij zakrzywioną powierzchnię Ziemi, promienie słoneczne oraz atmosferę.

8. **Wskazówka.** Księżyc nie ma atmosfery.

9. **Wskazówka.** Samochody odpowiadają grzbietom fali.

14. a) 25°, b) 7,5°, c) 27°

15. 42°

16. Kąt załamania: 22,5°; promień po wyjściu ze szkła jest równoległy do promienia padającego na szkło.

17. **Wskazówka.** Jak powstaje halo?

18. **Wskazówka.** Widzisz tęczę przed sobą. Gdzie wówczas na niebie znajduje się słońce?

19. Nie – wyjaśnij dlaczego.

20. **Wskazówka.** Sprzedawca ma z pewnością więcej par okularów, możesz wykorzystać dwie.

22. a) nie

b) tak

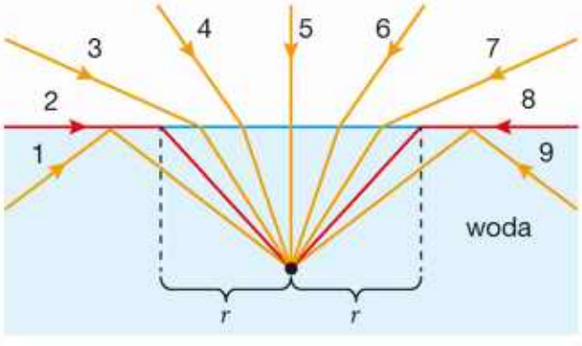
23. a) nie zachodzi

b) zachodzi

c) nie zachodzi

d) nie zachodzi

24. **Wskazówka.** Skorzystaj z rysunku.



25. B

26. **Wskazówka.** Zwróć uwagę na długości fal.

27. $\lambda = 10$ m

a) $|x-y| = 10\text{ m} = \lambda$ (wzmocnienie)

b) $|x-y| = 15\text{ m} = 1{,}5\,\lambda$ (wygaszenie)

28. $\Delta s = 8{,}26$ m

Słychać tylko dźwięk e^1.

29. wykres A: a, c, d

wykres B: b, e

30. **Wskazówka.** Przyjrzyj się firance w swoim domu. W czym jest podobna do siatki dyfrakcyjnej, a czym się różni?

31. $\Delta s = 2{,}5$ cm

wzmocnienie np. dla 2,5 cm i dla 1,25 cm

32. zbliżanie: $f_1 = f + \frac{v'_{zr}}{v} f = 826$ Hz

oddalanie: $f_2 = f - \frac{v'_{zr}}{v} f = 774$ Hz

33. a) $f_a = \frac{v_k}{\lambda} = 0{,}5$ Hz

b) $f_b = f - \frac{v_{kajaka}}{v_{fali}} f = 0{,}42$ Hz

c) $f_c = f + \frac{v_{kajaka}}{v_{fali}} f = 0{,}58$ Hz

34. $f' = 24{,}000008$ GHz

Fizyka atomowa

1. $f = \frac{c}{\lambda} = 10^{15}$ Hz;
$E = hf = 6{,}63 \cdot 10^{-19}$ J $= 4{,}14$ eV

2. $f_{min} = \frac{W}{h} = 1{,}28 \cdot 10^{15}$ Hz;
$\lambda_{max} = \frac{c}{f_{min}} = 234$ nm < 380 nm (światło widzialne ma zbyt dużą długość fali, żeby wywołać efekt fotoelektryczny w platynie)

3. $v_{max} = \sqrt{\frac{2}{m_e}\frac{hc}{\lambda} - W} = 2{,}3 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

4. C. Przy napięciu zwanym potencjałem hamowania natężenie płynącego prądu zmaleje do zera.

5. $\lambda_B = \frac{h}{mv} = 4{,}64 \cdot 10^{-13}$ m $= 0{,}464$ pm (masa cząsteczki $m(C_{284}H_{190}F_{320}N_4S_{12}) = 1{,}68 \cdot 10^{-23}$kg)

6. $\frac{\lambda_{św}}{\lambda_B} = 10^6$

7. $v = \frac{h}{m_e d} = 1{,}3 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

8. Większą długość ma fala związana z myszą (to zwierzę ma mniejszy pęd, czyli mianownik ułamka $\frac{h}{mv}$).

9. Większą temperaturę ma ciało rozgrzane do białości. Wraz ze wzrostem temperatury maleje długość fali, na której jest emitowana maksymalna ilość energii. Można się o tym przekonać podczas obserwacji ciała rozgrzewającego się do wysokiej temperatury: najpierw staje się ono czerwone, a potem białe.

10. Aby się przekonać, że Słońce emituje światło o różnych częstotliwościach, należy rozszczepić to promieniowanie pryzmatem i otrzymać kolorowe widmo (kolory odpowiadają światłu o różnych częstotliwościach).

O emitowaniu przez Słońce ultrafioletu świadczy pojawianie się opalenizny na skórze wystawionej na działanie promieniowania słonecznego.

11. Temperatura topnienia wolframu (pierwiastka, z którego jest wykonane włókno tradycyjnej żarówki) wynosi ok. 3400°C. Włókno stopiłoby się zatem przed osiągnięciem temperatury 5000°C.

12. $\lambda = \frac{c}{f} = 3 \cdot 10^{-10}$ m = 0,3 nm (taka długość fali odpowiada promieniowaniu rentgenowskiemu), $T = 10^7$ K

13. D. $\lambda_{max} = 1$ mm (dla $T = 2{,}7$ K). Jest to promieniowanie radiowe.

14. a) silnik Diesla, ponieważ spala mniej benzyny

b) silnik benzynowy, ponieważ emituje mniej zanieczyszczeń od typowego diesla

15. Żeby naładować akumulator samochodu, jest potrzebna energia elektryczna. W Polsce większość tej energii pochodzi z elektrowni węglowych, emitujących dwutlenek węgla. Francja $\frac{3}{4}$ energii elektrycznej pozyskuje z elektrowni jądrowych, które tego gazu nie produkują. Zatem określenie „silnik zeroemisyjny" jest we Francji bliższe prawdy niż w Polsce.

16. Atmosfera Wenus w 96% składa się z dwutlenku węgla, który powoduje efekt cieplarniany i podnosi temperaturę na powierzchni planety.

17. atmosfera:

$\Delta Q_p = 4\pi R_Z^2 h_p d_p c_p \Delta T = 6{,}5 \cdot 10^{21}$ J

ocean:

$\Delta Q_w = 0{,}7 \cdot 4\pi R_Z^2 h_w d_w c_w \Delta T = 1{,}5 \cdot 10^{22}$ J

ocean (grubsza warstwa wody):

$\Delta Q'_w = 0{,}7 \cdot 4\pi R_Z^2 h'_w d_w c_w \Delta T = 1{,}5 \cdot 10^{23}$ J

18. dodatnie: A, B, E, D; ujemne: C, F

19. absorpcyjne: E; emisyjne: A, B, D; ciągłe: C

20. D, B, A (większa liczba linii w widmie wskazuje na większą liczbę możliwych przejść pomiędzy poziomami energetycznymi w atomie, a tych przybywa wraz ze wzrostem liczby atomowej pierwiastka)

21. Atom zostanie zjonizowany, gdyż proces ten wymaga dostarczenia 13,6 eV energii (dla atomu wodoru w stanie podstawowym). Elektron uzyska energię kinetyczną $E = 14{,}2$ eV $- 13{,}6$ eV $= 0{,}6$ eV. Prędkość elektronu: $v = \sqrt{\frac{2E}{m_e}} = 4{,}6 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

22. $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2})$; dla przejścia między orbitami 3 i 4 ($n = 3$; $m = 4$) otrzymujemy $\lambda = 1875$ nm (podczerwień)

23. $v_1 = \frac{2\pi k e^2}{h} = 2{,}2 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0{,}007\, c$

24. $v_n = \frac{1}{n} v_1$; elektron na wyższych orbitach porusza się wolniej niż na orbicie podstawowej

25. $f = \frac{21}{100} cR = 6{,}91 \cdot 10^{14}$ Hz;

$\lambda = \frac{100}{21R} = 434$ nm

Fizyka jądrowa. Gwiazdy i Wszechświat

1. Liczba protonów w jądrze (liczba atomowa): Z = 65 − 36 = 29 (miedź).

2. B. Jądra różnych pierwiastków różnią się liczbą protonów w jądrze (liczbą atomową).

3. C. Izotopy tego samego pierwiastka różnią się liczbą neutronów w jądrze, a mają taką samą liczbę protonów (liczbę atomową).

4. Liczba protonów w jądrze (liczba atomowa): Z = 54 − 30 = 24 (chrom).

5. $^{101}_{44}\text{Ru} + \text{n} \rightarrow {}^{102}_{44}\text{Ru}$ (powstał ruten, dołączenie neutronu do jądra nie zmienia pierwiastka, powstaje inny jego izotop).

6. C. W jądrze węgla jest 6 protonów i 8 neutronów, w jądrze azotu – 7 protonów i 7 neutronów.

7. Od liczby masowej odejmujemy liczbę atomową:
a) 113 − 48 = 65
b) 78 − 34 = 44
c) 18 − 8 = 10

8. C. Reakcję można rozpatrywać jako rozpad

jednego z neutronów w jądrze na proton i elektron. Druga z tych cząstek została wyemitowana z jądra jako promieniowanie β.

9. ${}^{40}_{19}\mathrm{K} \xrightarrow{\beta} {}^{40}_{20}\mathrm{Ca} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

W wyniku rozpadu powstaje wapń.

10. $$n = \frac{\text{promieniowanie naturalne w irańskim mieście Ramsar}}{\text{tomografia komputerowa głowy}} = \frac{260\,\frac{\text{mSv}}{\text{rok}}}{2\,\frac{\text{mSv}}{\text{rok}}} = 130$$

11. $n = \frac{0{,}0035\ \text{mSv}}{0{,}00007\ \text{mSv}} = 50$

12. 300 mSv; dawka otrzymana przez astronautę jest od 60 do 375 razy większa.

13. Powstaje ksenon (${}^{131}_{53}\mathrm{I} \xrightarrow{\beta} {}^{131}_{54}\mathrm{Xe} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$).

14. ${}^{224}_{86}\mathrm{Rn} \xrightarrow{\beta} {}^{224}_{87}\mathrm{Fr} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$, ${}^{224}_{87}\mathrm{Fr} \xrightarrow{\beta} {}^{224}_{88}\mathrm{Ra} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$
${}^{224}_{88}\mathrm{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{220}_{86}\mathrm{Rn} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$, ${}^{220}_{86}\mathrm{Rn} \xrightarrow{\alpha} {}^{216}_{84}\mathrm{Po} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$
${}^{216}_{84}\mathrm{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{212}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$, ${}^{212}_{82}\mathrm{Pb} \xrightarrow{\beta} {}^{212}_{83}\mathrm{Bi} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$
${}^{212}_{83}\mathrm{Bi} \xrightarrow{\beta} {}^{212}_{84}\mathrm{Po} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$, ${}^{212}_{84}\mathrm{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{208}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

W wyniku reakcji powstaje ołów.

15. europ (${}^{151}_{63}\mathrm{Eu} \xrightarrow{\alpha} {}^{147}_{61}\mathrm{Pm} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$)

16. molibden (${}^{99}_{42}\mathrm{Mo} \xrightarrow{\beta} {}^{99}_{43}\mathrm{Tc} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$)

17. a) nikiel (${}^{60}_{27}\mathrm{Co} \xrightarrow{\beta} {}^{60}_{28}\mathrm{Ni} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$)

b)

$\lambda_1 = \frac{hc}{E_1} = 1{,}06 \cdot 10^{-12}\ \text{m}$; $n_1 = \frac{E_2}{2\,\text{eV}} = 585\,000$

$\lambda_2 = \frac{hc}{E_2} = 0{,}935 \cdot 10^{-12}\ \text{m}$; $n_2 = \frac{E_2}{2\,\text{eV}} = 665\,000$

18. Ok. 135 dni (po takim czasie liczba jąder pierwiastka zmniejsza się o połowę).

19. Dwa miesiące to w przybliżeniu 4 okresy połowicznego rozpadu fosforu. Pozostanie zatem $\left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{16}$ początkowej masy pierwiastka. Izotopu wystarczy do leczenia 2 pacjentów.

20. Wiemy, że $\frac{1}{10}$ jąder potasu rozpada się do argonu, a $\frac{9}{10}$ do wapnia. Skoro w skale odkryto 0,01 mola argonu, to od czasu zastygnięcia skały rozpadło się $10 \cdot 0{,}01$, czyli 0,1 mola potasu. Obecnie w skale jest również 0,1 mola potasu, czyli od zastygnięcia rozpadła się połowa jego jąder. Zatem czas, jaki upłynął, to jeden okres połowicznego rozpadu.

21. Cez był zamknięty przez 3 okresy połowicznego rozpadu. Jego początkowa ilość była więc 8 razy większa niż końcowa. Wynosiła zatem 0,8 kg.

22. C. Po 24 godzinach pozostała $\frac{1}{8}$ początkowej liczby jąder. Zatem czas, jaki upłynął, był 3 razy dłuższy od czasu połowicznego rozpadu.

23. Zachodzi reakcja: ${}^{239}_{94}\mathrm{Pu} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{130}_{51}\mathrm{Sb} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + 3 \cdot {}^{1}_{0}\mathrm{n}$. Zasady zachowania liczby nukleonów i ładunku prowadzą do równań: $239 + 1 = 130 + A + 3 \cdot 1$ oraz $94 + 0 = 51 + Z + 3 \cdot 0$. Stąd liczba masowa $A = 107$ oraz liczba atomowa $Z = 43$. Powstałym pierwiastkiem jest technet ${}^{107}_{43}\mathrm{Tc}$.

24. elektrownia jądrowa: pręty paliwowe, pręty regulacyjne, pojemnik na odpady;
elektrownia termojądrowa: zapasy wodoru, pojemnik otoczony polem magnetycznym

25. Powstaje neutron. ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$

26. Masa krytyczna uranu-235 to $m_k = 52$ kg. Wyrażamy masę przez gęstość uranu i średnicę kuli (D): $m_k = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3 d$. Wyznaczamy średnicę: $D = \sqrt[3]{\frac{6m_k}{\pi d}} = 17{,}3$ cm. Do główki kapusty.

27. a) $m_w = \frac{8{,}8 \cdot 10^{13}\ \text{J}}{3{,}3 \cdot 10^{7}\ \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 2700$ ton

b) $m_w = \frac{6 \cdot 10^{14}\ \text{J}}{3{,}3 \cdot 10^{7}\ \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 18\,200$ ton

28. a) $E = 2m_e c^2 = 1{,}64 \cdot 10^{-13}\ \text{J} = 1{,}02$ MeV (w energię zamieniają się dwie masy elektronu).

b) Energia jednego fotonu $E = \frac{1{,}02\ \text{MeV}}{2} = 0{,}51$ MeV. Liczba fotonów światła fioletowego $n = \frac{E}{E_f} = \frac{0{,}51\ \text{MeV}}{3\ \text{eV}} = 170\,000$

29. $E = m_e c^2 = \frac{hc}{\lambda}$,

stąd: $\lambda = \frac{h}{m_e c} = 2{,}43 \cdot 10^{-12}$ m

30. Dla masy $m = 70$ kg otrzymujemy: $E = mc^2 = 6{,}3 \cdot 10^{18}\ \text{J} = 1750\ \text{TWh} \approx 0{,}08 E_{2017}$

31. Zachodziłaby reakcja: $\mathrm{C} + \mathrm{O_2} \rightarrow \mathrm{CO_2}$. Na podstawie mas molowych obliczamy masę węgla w Słońcu:

$m_C = \frac{\mu_C}{\mu_{CO_2}} M_S = \frac{12\ \text{g}}{12\ \text{g} + 2 \cdot 16\ \text{g}} M_S = 5{,}5 \cdot 10^{29}\ \text{kg}$.

Czas palenia: $t = \frac{m_C c_s}{P} = 5 \cdot 10^{10} s = 1500$ lat.

32. Deficyt masy pojedynczej reakcji: $\Delta m = 1{,}31 \cdot 10^{-20}$ kg. Energia wyzwolona w czasie uzyskania 1 mola węgla (liczba reakcji jest równa liczbie Avogadra, czyli liczbie cząsteczek w molu):

$E = N_A \cdot \Delta m c^2 = 9{,}1 \cdot 10^{11}$ J.

33. Liczba moli węgla zawartych w masie 1 kg: $n = \frac{1000\,\text{g}}{12\,\text{g}} = 83{,}3$. Wyzwolona energia (na podstawie zadania 32): $E' = nE = 5{,}9 \cdot 10^{13}$ J.

34. Łączna masa składników jądra żelaza (26 protonów i 30 neutronów):
$m = 26m_p + 30m_n = 9{,}373602 \cdot 10^{-26}$ kg.
Deficyt masy: $\Delta m = m - m_{Fe} = 8{,}539 \cdot 10^{-28}$ kg. Energia wiązania przypadająca na jeden nukleon:
$\frac{E_w}{56} = \frac{\Delta m c^2}{56} = 1{,}37 \cdot 10^{-12}$ J.

35. Energia wiązania na 1 nukleon:
$\frac{E_w}{4} = \frac{28{,}3\,\text{MeV}}{4} = \frac{4{,}53 \cdot 10^{-12}\,\text{J}}{4} = 1{,}13 \cdot 10^{-12}$ J.
Jest to wartość mniejsza niż w przypadku żelaza (zad. 34).

36. $\frac{g_k}{g_S} = \frac{\frac{G \cdot 0{,}5M_S}{(0{,}014R_S)^2}}{\frac{GM_S}{R_S^2}} = 2600$

37. Długość $d = 2\pi r \frac{\alpha}{360^\circ} = 1$ rok świetlny, szerokość 0,7 roku świetlnego.

38. $1800\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$. **Wskazówka.** Obliczenia są podobne jak w zadaniu 37.

39. W czasie 1 roku krańce mgławicy przebyły 0,006 roku świetlnego, a więc poruszały się z prędkością równą $0{,}006c$, czyli $1800\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

40. Podczas syntezy kilograma węgla wydziela się energia $E' = 5{,}9 \cdot 10^{13}$ J (zad. 33). W czasie reakcji zachodzących w Słońcu wydzieli się: $E = 0{,}024 \cdot 2 \cdot 10^{30} \cdot 5{,}9 \cdot 10^{13}\,\text{J} = 2{,}8 \cdot 10^{42}$ J. Średnia moc:
$P = \frac{2{,}8 \cdot 10^{42}\,\text{J}}{300\,\text{s}} = 9{,}4 \cdot 10^{39}\,\text{W}$.
To $\frac{9{,}4 \cdot 10^{39}\,\text{W}}{3{,}8 \cdot 10^{26}\,\text{W}} = 2{,}45 \cdot 10^{13}$ razy więcej niż obecna moc Słońca. Dzisiejsze Słońce wypromieniowuje taką energię w ciągu $2{,}45 \cdot 10^{13}\,\text{s} \approx 770$ milionów lat.

41. $v = \frac{\pi d}{T} = 2900\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$

42. gęstość jądra atomowego:
$d_c = \frac{m_c}{\frac{4}{3}\pi r_c^3} = 4{,}5 \cdot 10^{17}\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
gęstość gwiazdy neutronowej:
$d_g = \frac{2M_S}{\frac{4}{3}\pi (15000\,\text{m})^2} = 2{,}8 \cdot 10^{17}\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

43. $\Delta m = \frac{E}{c^2} = 10^{27}\,\text{kg} = 200M_Z = 0{,}0006M_S$

44. W gazie wypełniającym Wszechświat zachodziła reakcja syntezy termojądrowej helu z wodoru, podobnie jak w większości dzisiejszych gwiazd.

45. $N = 200 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{5} = 400 \cdot 10^6 \cdot f_C \cdot f_K$

Zdjęcie na okładce: Getty Images/Moment/by ale_flamy.

Zdjęcia: Agencja Gazeta: Daniel Pach s. 296, Łukasz Nowaczyk s. 171, 173 (radar), Michał Walczak s. 166; Archiwum Wydawnictwa s. 8 (złoto), s. 30, 44 (ekogroszek), s. 106; BE&W: Alamy Stock Photo - American Photo Archive s. 295 (Mgławica Krab), Art Collection 2 s. 144 (mozaika Historie Noego), Art Collection 3 s. 64 (Robert Hooke), Chris Mattison s. 17 (złącze dylatacyjne), Classic Image s. 155 (François Arago), Dario Lo Presti s. 80 (aparatura), Dmytro Olegovich Zakharchuk s. 288-289 (obłok gazowy), gameover s. 216 (spektroskop), GL Archive s. 292 (antena), Historic Images s. 274 (Ernest Rutherford), IanDagnall Computing s. 245 (Maria Skłodowska-Curie), Icom Images s. 175 (Christophorus Buys-Ballot), molekuul.be s. 27 (struktura kryształu), NASA Image Collection s. 172, 276 (miniaturowy robot), Paul Carstairs s. 82 (tablica), Peter Lane s. 13 (szyny), Prisma Archivo s. 144 (obraz Sąd Ostateczny), Prisma by Dukas Presseagentur GmbH s. 17 (rolki), rasoul ali s. 249 (Ramsar), Roy LANGSTAFF s. 254, Science History Images s. 22 (Sadi Carnot), s. 221, 275, 287 (gwiazdy), The History collection s. 248 (balon Hessa), s. 274 (Frederick Soddy), Tom Uhlman s. 17 (dylatacja na moście), Zoonar GmbH s. 159 (wieniec), s. 289 (supernowa), EXCLUSIVE PIXExclusivepix Media Ltd/Exclusivepix Media Ltd s. 186 GRANGER COLLECTION s. 22 (lord Rumford), IMAGEBROKER RM/Egmont Strigl s. 250 (Ramsar), IMAGNO s. 175 (Christian Doppler), Science Source - GIPhotoStock s. 214 (widmo świetlówki), NASA s. 251 (łazik), NIH s. 250 (tomografia), Omikron s. 196 (obraz interferencji), Photo Researchers s. 150, Ted Kinsman s. 253 (zegar radowy), Ullsteinbild Axel Springer Syndication GmbH - s. 188, histopics s. 245 (Henri Becquerel), Werner Forman Archive s. 262 (łódź); Depositphotos: Violin s. 152 (słuchawki), Wavebreakmedia s. 97 (ratownik); East News: AFLO s. 209, AFP/Toru Yamanaka s. 96, AFP Photo/Jay Directo s. 220, Xinhua News/Mao Lei s. 294 (Saul Perlmutter); Forum: Caters News s. 141, Grażyna Myślińska s. 263, Jacek R. Gruszczyński s. 101, Magnum Photos/Steve McCurry s. 205, Piotr Guzik s. 33 (Bieg Siedmiu Szczytów), Romuald Broniarek s. 119, TT newsagency/ANDERS WIKLUND s. 294 (Adam G. Riess, Brian P. Schmidt); Getty Images: Anadolu Agency s. 160 (halo), Archive Photos - NASA/Handout s. 250 (astronauta), Stringer s. 135 (szlifowanie diamentów), Bettmann s. 224, s. 257, Corbis Historical/Fine Art. S. 144 (obraz Pora deszczowa w tropikach), Cultura RF/Joseph Giacomin s. 200 (owca), Cultura/REB Images s. 105 (rentgen), De Agostini Editorial/DEA / C. BALOSSINI s. 37 (topienie ołowiu 2), E+ - chinaphotographer s. 104 (kombinezon ochronny), dra_schwartz s. 105 (materiał radioaktywny), fotolinchen s. 270-271 (faktura trawy), Freder s. 158, Geber86 s. 33 (oblewanie wodą), georgeclerk s. 270-271 (faktura gleby), izusek s. 324 (bramka), Michael Zeigler s. 319, pixdeluxe s. 170 (rowery), pjohnson1 s. 326 (kapusta), rzelich s. 14 (termometr cieczowy), Schroptschop s. 43, skynesher s. 90, sololos s. 201 (gwiazda), spooh s. 252, EyeEm/Jose Maria Hernandez s. 74-75, Getty Images Plus/PHOTOS.com>> s. 216 (czarno białe widmo Słońca), Hulton Archive/Heritage Images s. 274 (alchemik), iStock/Getty Images Plus - AlexeyVis s. 157 (paw), Aphelleon s. 327 (Mgławica Krab), bergamon s. 324 (banany), Bulgnn s. 76 (sprężyna), Cebas s. 135 (zjeżdżalnia), cherezoff s. 65, Daniel Chetroni s. 133 (światłowód), dlewis33 s. 194, dzika_mrowka s. 218, eestingnef s. 237, Elen11 s. 126, Guy Pendlebury s. 64 (pomnik pożaru Londynu), herraez s. 204, ironstuff s. 40, Jose Pouwels s. 25 (szadź), Kroshanosha s. 19 (gotowanie wody), Meindert van der Haven s. 160 (wieniec), mheim3011 s. 46, mr. suphachai praserdumrongchai s. 173 (obraz Dopplera), Rimma_Bondarenko s. 36, scanrail s. 14 (ciśnieniomierz), studiodav s. 128 (laser), undefined undefined s. 49 (pies), Valerii Maksimov s. 37 (topienie ołowiu 1), vovashevchuk s. 18 (przewody energetyczne), yanikap s. 25 (szron), Moment Open/MarceiTB s. 24, Moment - Alexander Spatari s. 163, Anna Kurzaeva s. 44 (Tatry), Anton Petrus s. 139 (tęcza), Caroline Pang s. 131, Christophe Lehenaff s. 278 (królik), Dneutral Han s. 115, Faba-Photograhpy s. 246, Jack Wassell Photography s. 121 (okulary), Jordan Lye s. 208, Kehan Chen s. 270-271 (łąka), Matt Anderson Photography s. 120-121 (szklany budynek), Matt Champlin s. 49 (potok), Maya Karkalicheva s. 159 (widmo Brockenu), Pakin Songmor s. 201 (gwiazdy w tle), Pat Gaines s. 159 (iryzacja), SEN LI s. 50, Thomas Mabry Campbell s. 213 (neon), TorriPhoto s. 56, Science Photo Library/Mark Garlick s. 289 (Czerwony Olbrzym, magnetar, czarna dziura), SSPL/Science & Society Picture Library s. 64 (pchła, mikroskop), Stockbyte/Maria Toutoudaki s. 326 (piłeczka pingpongowa), The Image Bank Unreleased/Chuck Savage s. 98, The Image Bank Unreleased/Tim Wright s. 270 (reaktor), The Image Bank/Yiu Yu Hoi s. 104 (robienie zdjęcia), ullstein bild Dtl. S. 203 (Max Planck z Einsteinem), Universal Images Group/Education Images s. 287 (Mgławica Orzeł); Indigo: Alamy Stock Photo - BSIP SA s. 278, Pictorial Press Ltd s. 155 (Siméon Poisson), s. 245 (Piotr Curie), Bildarchiv Monheim/Schütze/Rodemann s. 114, Fotosearch LBRF/LindaB s. 288 (Biały Karzeł), Mary Evans Picture Library Ltd/Mary Evans/AF Archive/Paramount s. 125, Science Photo Library s. 185, s. 195 (Louis de Broglie), s. 238, 241, s. 273, Susumu Nishinaga s. 124 (papier spod mikroskopu), Ianck Collaboration/European Space Agancy, Superstock s. 216 (widmo Słońca); Panthermedia: MuchART/Holger Much s. 199 (obraz z kamery termowizyjnej), Thorsten Kempe s. 253 (reaktor); Shutterstock: 8th.creator s. 161, abriendomundo s. 262 (meteoryt), Adriana Iacob s. 159 (gloria), Aerovista Luchtfotografie s. 272, agsaz s. 15 (Concorde), ajisai13 s. 71, Alexander Sakhatovsky s. 60 (zegar), Allexxandar s. 136-137, Anan Kaewkhammul s. 94 (płomykówka), andrej_sv s. 250 (rentgen), Andrew Self s. 66 (gitara), Andrey_Popov s. 105 (banknot), asadykov s. 129 (poręcz), badahos s. 17 (most), Black Creator 24 s. 94 (ikona człowieka), bodnar.photo s. 70, BOONCHUAY PROMJIAM s. 95 (nietoperz), cbpix s. 294 (radioteleskop), Chamille White s. 265, Choksawatdikorn s. 184, Corepics VOF s. 192, s. 200 (lawa), David Wingate s. 89, Designua s. 301, Dima Zel s. 281, DmitrySt s. 182, Doug McLean s. 317, Ed Goodacre s. 132 (plaża), Ekaterina43 s. 326 (kulka od łożyska), Everyonephoto Studio s. 6, franz12 s. 310, Elnur s. 60 (rozciąganie sprężyny), Frenzel s. 59, Gen_Shtab s. 211, Giambra s. 314, glyph s. 94 (ikona słonia, wieloryba), s. 95 (ikona delfina, nietoperza), goodmoments s. 29 (smugi), Haoka s. 181, Hendry084 s. 120 (ikona żarówki), hxdyl s. 250 (elektrownia), Juriah Mosin s. 259, kamilpetran s. 268 (elektrownia), karpenko_ilia s. 95 (ikona kota, psa, myszy), khunrarai s. 308 (baloniki), LianeM s. 54, Lightspring s. 279 (bakterie), Lillac s. 123 (zachód słońca), Margo s. 27, marketlan s. 16 (toster), Michal Sanca s. 120 (postać kobiety, mężczyzny), MyCreative s. 270-271 (panorama), Nadzeya Pakhomava s. 26, Nir Darom s. 146, 147 (dyfrakcja fal), Olesia Bilkei s. 88, Parilov s. 268 (pręt paliwowy), PHOTOCREO Michal Bednarek s. 307, pixelparticle s. 250 (gwiazdy w tle), Preechar Bowonkitwanchai s. 97 (gitara), Prostock-studio s. 183, ra2 studio s. 180 (nauczyciel), Rawpixel.com s. 102 (ludzie w metrze), REDPIXEL.PL s. 276 (elektrownia), robert_s s. 82 (gitara), S.Borisov s. 105 (tęcza), s_oleg s. 17 (przerwa dylatacyjna), Scott Prokop s. 5, Sergey Peterman s. 250 (niedopałki), showcake s. 29 (czajnik), Smilyk Pavel s. 291 (galaktyka Andromedy), solarseven s. 201 (Słońce), s. 288 (Słońce), STILLFX s. 199 (toster), Stu Shaw s. 47 (Arktyka), Sue Rae Edmondson s. 42, Svetsol s. (ikona sowy), The_Molostock s. 104 (radio), tinta s. 243, Ttstudio s. 31 (elektrownia), Valya Saveleva s. 95 (delfin), vnlit s. 165 (gimnastyczka), xfox01 s. 201 (Słońce), Zsolt Nyulaszi s. 247; Thinkstock/Getty Images: Evgeniy Medvedev s. 116 (krąg na wodzie), Hemera s. 195 (atom), s. 250 (łąka), s. 264, iStockphoto - GentooMultimediaLimited s. 280, heibaihui s. 143 (halo), IT Stock/Polka Dot s. 250 (sen), Stockbyte/Tom Brakefield s. 84, s. 87; Hitachi Research Center s. 198; © ITER Organization (www.iter.org) s. 305, US ITER (www.iter.org) s. 306; link https://www.universetoday.com/Credit: dpg-physik.de (Deutsche Physikalische Gesellschaft) s. 203 (medal Plancka); NASA: s. 284, 285, 288 (ciemna kula materii), s. 294 (teleskop Hubble'a), s. 295 (Mgławica Orzeł), Credit: H. Bond et al., Hubble Heritage Team (STScI /AURA) s. 327 (mgławica planetarna), NASA/ESA/2004 HUDF Credit: NASA, ESA S. Beckwith, M. Stiavelli, A. Koekemoer (STScI) R. Thompson (University of Arizona), and the STScI HUDF Team; 2009 HUDF Credit: NASA, ESA G. Illingworth, R. Bouwens (University of California, Santa Cruz), and the HUDF09 Team; 2012 HUDF Credit: NASA, ESA R. Ellis (Caltech), R. McLure, J. Dunlop (University of Edinburgh), B. Robertson (University of Arizona), A. Koekemoer (STScI) and the HUDF12 Team; 2012 XDF Credit: NASA, ESA G. Illingworth, D. Magee, P. Oesch (University of California, Santa Cruz), R. Bouwens (Leiden University), and the HUDF09 Team; 2014 HUDF / UV-UDF Credit: NASA, ESA, H. Teplitz, M. Rafelski (IPAC/Caltech), A. Koekemoer (STScI) R. Windhorst (Arizona State University), and Z. Levay (STScI) s. 291 (ekstremalnie głębokie pole Hubble'a); Wikipedia: Wikimedia Commons/Sai2020 s. 138 (odbicie promienia światła w pleksi), Wikimedia Commons/Sense Jan van der Molen (Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license) s. 175 (mural w Utrechcie); Anna Budzyńska s. 9 (pomiar temperatury), s. 19 (doświadczenie), s. 23, 31 (doświadczenie), s. 79, 80 (doświadczenie), s. 81, 83, 107, 111, 116 (doświadczenie), s. 130, 148, 180 (szklanka), s. 212, 244, 248 (scyntygrafia), s. 249 (substancje promieniotwórcze), s. 251 (podawanie izotopu promieniotwórczego, badanie za pomocą kamery gamma, obraz z kamery gamma), s. 260; Miłosz Budzyński s. 8 (szklanka z dyfuzją), s. 9 (model zjawiska dyfuzji), s. 12, 13 (doświadczenie), s. 15 (doświadczenie), s. 16 (doświadczenie), s. 18 (doświadczenie), s. 25 (doświadczenie), s. 28, 35, 41, 45, 47 (doświadczenie), s. 61, 66 (doświadczenie), s. 76 (doświadczenie), s. 77, 97 (badanie dźwięku), s. 99, 102 (doświadczenia), s. 118, 121 (palce), s. 122, 123 (doświadczenie), s. 124 (doświadczenie), s. 128 (kartki papieru, kadzidło), s. 129 (doświadczenie), s. 132 (doświadczenie), s. 133 (doświadczenie), s. 138 (doświadczenie), s. 145, 147 (doświadczenie), s. 152 (doświadczenie), s. 157 (doświadczenie), s. 162, 164, 165 (doświadczenie), s. 170 (doświadczenie), s. 213 (doświadczenie), s. 217, 308 (szklanka), s. 309, 311, 320; Maciej Wróbel s. 86, 161 (fale), s. 178; Agnieszka Żak s. 85, 139 (doświadczenie), s. 214 (doświadczenie), s. 292 (balonik).

Autorzy infografik: Klaudia Jarocka-Ciok: s. 17, 136–137, 250, 270–271; Agata Muszalska: s. 22, 64, 74–75, 94–95, 104–105, 120–121, 144, 155, 175, 201, 203, 216, 221, 245, 274, 288–289

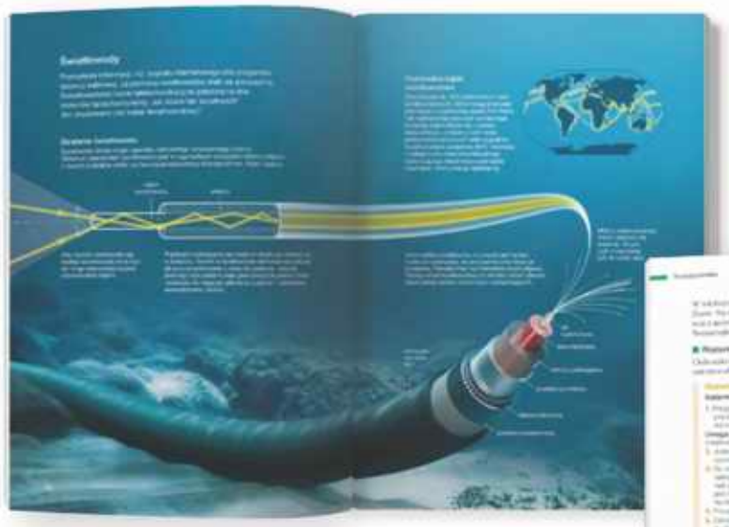
Rysunki: Joanna Ptak – 15, 65, 71, 73, 108d, 112 (zad. 4), 118 (żarówka), 143 (auto), 168, 171, 187 (A,B), 190, 205, 231d, 232, 327; Ewelina Baran – 139, 265, 277; Ewa Sowulewska – 7, 8, 15, 24, 34, 48 (A,B), 51, 53, 56, 65, 71, 73, 78, 84, 90, 92 (ludzie z gitarą), 100, 108 d, 109, 110, 112 (zad. 4), 117, 118, 125, 126, 127, 134, 135, 139, 140, 141, 142, 143, 146, 148, 151, 153, 154, 164, 167, 176 (A, B, E, F), 177s, 178, 187 (A, B, C, D), 188, 189, 190, 192, 194, 196, 204, 205, 206, 207, 215, 217, 219g, 226g, 228, 229 (krwinka), 231, 232, 233d, 236, 239, 240, 242, 243, 247, 255, 256, 260, 263, 266, 273, 277, 280, 284, 285, 293, 298, 299 (wykres), 298, 300, 301, 316 (zad. 2), 318 (zad. 18, 19), 327; Andrzej Dukata – 24, 27, 48 (wykres B), 50, 52, 53, 57, 62, 63, 67-69, 70, 72, 81, 82, 90-93, 103g, 108g, 112 (zad. 1), 113, 117, 119, 124, 130, 131, 132, 133, 138, 149, 156, 158, 162, 163, 167, 176 (C, D), 177g, 177d, 179, 181, 182, 209, 210, 215 (widma), 219, 220, 222, 223, 224, 225, 226 d, 227, 233g, 263, 311, 312, 313, 314 (wykresy), 316 (zad. 1), 317, 318 (zad. 16), 319, 320, 325, 331 (Tabela 14), 341; Paulina Podolska – 189, 206; Elżbieta Buczkowska – 98, 99, 101, 139, 331 (klawisze fortepianu); Wojciech Sendal – 136, 137, 270, 271; Klaudia Jarocka-Ciok – 244, 299g; Paulina Jarmusik – 103 d, 141, 142 (rysunek z tęczą), 207, 238, 243, 290, 297, 314 (nuty), 318 (zad. 18, 19), 320 (nuty), 331 (nuty); Rafał Buczkowski – 196, 239, 240, 242, 255, 265, 273, 280, 283, 284, 285, 298, 300 (synteza jądrowa), 301g; Laura Maziewska – 120, 155

Wydawnictwo Nowa Era oświadcza, że podjęło starania mające na celu dotarcie do właścicieli i dysponentów praw autorskich wszystkich zamieszczonych utworów. Wydawnictwo Nowa Era, przytaczając w celach dydaktycznych utwory lub ich fragmenty, postępuje zgodnie z art. 29 ustawy o prawie autorskim. Jednocześnie Nowa Era oświadcza, że jest jedynym podmiotem właściwym do kontaktu autorów tych utworów lub innych podmiotów uprawnionych w przypadkach, w których twórcy przysługuje prawo do wynagrodzenia.

nowa era *Twoje mocne strony*

Odkryć fizykę

Podręcznik *Odkryć fizykę 3* do zakresu podstawowego zawiera przystępnie opracowane treści dotyczące takich zagadnień jak termodynamika, drgania i fale, zjawiska falowe, fizyka atomowa i fizyka jądrowa. Naukę ułatwiają uczniom małe porcje wiedzy, przystępny język i wiele odniesień do życia codziennego. Przykłady, ramka *To najważniejsze* po każdej lekcji i blok powtórzeniowy po każdym dziale stanowią wsparcie w opanowaniu kolejnych zagadnień.



Różnorodne formy przekazu

Zróżnicowane formy przekazywania treści, takie jak infografiki, diagramy i ilustracje z opisami, ułatwiają zrozumienie i zapamiętanie kluczowych informacji.

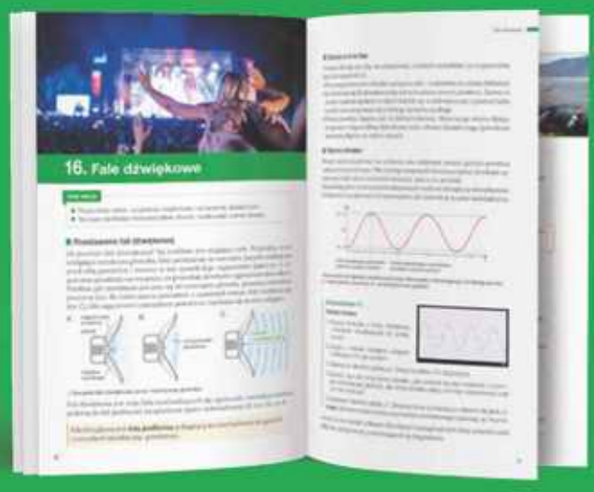
Doświadczenia

Wszystkie doświadczenia, w tym obowiązkowe, są zilustrowane, rozpisane kroku po kroku, opatrzone wskazówkami i komentarzem, tak aby łatwiej było zrozumieć ich przebieg.



Fizyka bliska uczniowi

W podręczniku *Odkryć fizykę 3* do zakresu podstawowego szczególny nacisk położono na zainteresowanie ucznia przedmiotem i ułatwienie mu opanowania wiadomości i umiejętności z kolejno omawianych tematów. Przystępny wykład wsparty ciekawymi ilustracjami zawiera liczne przykłady znane uczniom z życia. *A to ciekawe* oraz *Z historii* to elementy będące interesującym dopełnieniem treści omawianych w kolejnych tematach.



Nowa Era Sp. z o.o.

www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl

Centrum Kontaktu: 801 88 10 10, 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-4190-6