

SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 1. Ciężarek na sprężynie

Problem badawczy

Jak okres drgań ciężarka przymocowanego do ciała sprężystego zależy od masy ciężarka?

Wstęp

Odształcenie ciała sprężystego jest nietrwałe – gdy siła odkształcająca przestaje działać, ciało wraca do poprzedniego kształtu. Zanim jednak przyjmie ten kształt, często wykonuje drgania.

Obiektem badań w tym doświadczeniu będzie ruch ciężarków o różnej masie, przymocowanych do sprężystej linijki (lub listewki). W przypadku, gdy masę ciała sprężystego można pominąć, gdyż jest znacznie mniejsza od masy ciężarka, okres drgań ciężarka możemy obliczyć ze wzoru:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Po przekształceniu (podniesieniu obu stron równania do potęgi drugiej) otrzymujemy:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{k}$$

Oznacza to, że kwadrat okresu drgań jest wprost proporcjonalny do masy ciężarka. Taką zależność łatwo można przedstawić na wykresie.

Przyrządy pomiarowe i materiały do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ długa linijka lub listewka
- ▶ kilkanaście jednakowych elementów służących jako ciężarki (np. klocki, śruby, duże nakrętki, sztućce), których masa jest większa od masy linijki
- ▶ woreczek foliowy

Hipoteza badawcza

Kwadrat okresu drgań ciężarka jest wprost proporcjonalny do jego masy.

Przebieg doświadczenia

1. Przymocuj koniec linijki do stołu lub parapetu, tak aby była ustawiona poziomo.
2. Do drugiego końca linijki przymocuj woreczek foliowy.
3. Umieść w woreczku jeden element obciążający, wpraw linijkę w niewielkie drgania i wyznacz okres drgań.
4. Pomiary powtórz dla większej liczby elementów w woreczku.
5. Zanotuj wyniki pomiarów w tabeli.

Numer pomiaru	Liczba elementów N	Liczba pełnych wychyleń n	Czas trwania ruchu t (s)	Okres drgań $T = \frac{t}{n}$ (s)	Kwadrat okresu T^2 (s ²)
1					
2					
...					

Opracowanie wyników pomiarów

Przedstaw na wykresie zależność kwadratu okresu drgań od liczby elementów obciążających.

Omówienie wyniku doświadczenia

Zapisz odpowiedzi na poniższe pytania.

1. Czy punkty pomiarowe układają się wzdłuż linii prostej?
2. Czy hipoteza badawcza została potwierdzona?
3. Czy precyzja przeprowadzonych pomiarów była wystarczająca do weryfikacji hipotezy?

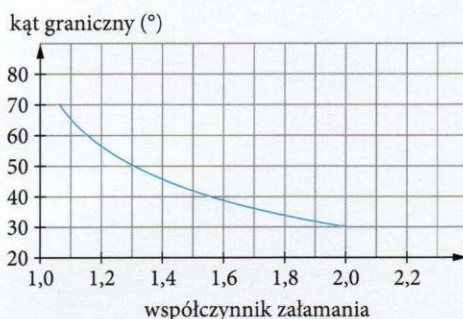
SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 2. Kąt graniczny a współczynnik załamania światła

Problem badawczy

Pomiar współczynnika załamania światła dla wody i oleju

Wstęp

Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia polega na całkowitym odbiciu się światła od powierzchni przezroczystego ośrodka. Zjawisko to zachodzi wówczas, gdy światło pada na powierzchnię oddzielającą ośrodki pod kątem większym od granicznego. Wartość kąta granicznego dla danej substancji zależy od jej współczynnika załamania światła n . Na wykresie poniżej przedstawiono zależność kąta granicznego od współczynnika załamania światła.



Celem doświadczenia jest zmierzenie kąta granicznego dla wody i oleju oraz wyznaczenie na tej podstawie współczynnika załamania światła dla tych substancji.

Przyrządy i materiały do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ przezroczyste naczynie prostopadłościennie lub w kształcie walca (szklanka, słoik)
- ▶ woda, olej
- ▶ ścierny pisak
- ▶ wskaźnik laserowy lub np. poziomnica laserowa
- ▶ kątomierz

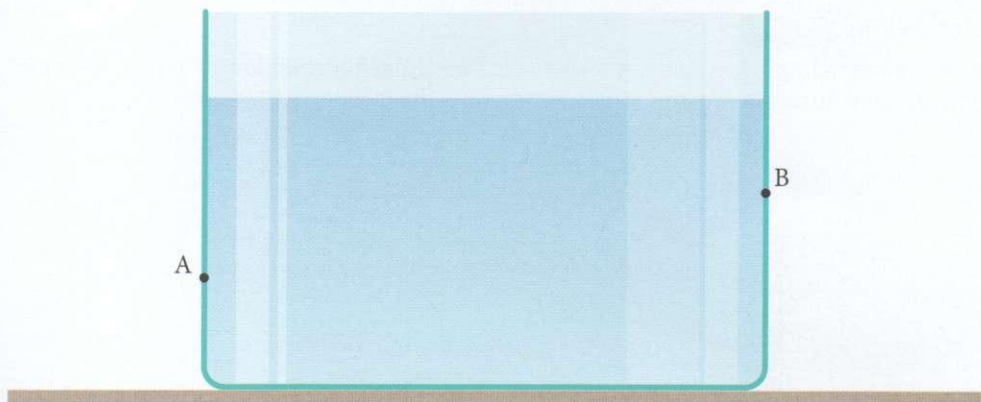
Przebieg doświadczenia

1. Nalej wody do naczynia. Możesz dodać parę kropel mleka, aby móc obserwować bieg światła w wodzie.
2. Skieruj wiązkę światła lasera na boczną powierzchnię naczynia poniżej linii wody. Znajdź takie ustawienie wskaźnika laserowego, aby światło całkowicie odbiło się od powierzchni wody „od spodu” i opuściło naczynie przez przeciwległą ściankę.
3. Ustal minimalny kąt (w stosunku do pionu), przy którym jest spełniony warunek z punktu 2.
4. Zaznacz pisakiem na ściankach naczynia punkt, w którym światło wpada do naczynia, i punkt, w którym je opuszcza, gdy spełniony jest warunek z punktu 3.

5. Zmierz szerokość naczynia i odległości zaznaczonych punktów od powierzchni wody. Zanotuj wyniki pomiarów.
6. Zmień poziom wody w naczyniu i ponownie przeprowadź pomiary.
7. Przeprowadź pomiary dla oleju jadalnego (powtórz punkty 1.–6.).

Opracowanie wyników doświadczenia

1. Dla każdego poziomu wody narysuj z zachowaniem proporcji naczynie, powierzchnię cieczy oraz punkty, w których światło wpada do naczynia (A) i je opuszcza (B), jak na rysunku poniżej.



2. Na rysunku znajdź punkt, w którym światło odbija się od powierzchni wody.
3. Narysuj bieg światła w wodzie oraz prostą prostopadłą do powierzchni wody w punkcie odbicia.
4. Zmierz kątomierzem kąt padania i kąt odbicia światła od powierzchni wody. Jest to w przybliżeniu wartość kąta granicznego.
5. Oblicz wartość średnią pomiarów kąta granicznego dla każdej cieczy.
6. Z wykresu odczytaj współczynnik załamania światła dla wody i dla oleju.

Omówienie wyniku doświadczenia

1. Porównaj uzyskane wyniki z danymi tablicowymi.
2. Czy w czystej wodzie, tzn. bez dodanego mleka, widać wiązkę światła? Czy w czystym oleju widać wiązkę światła? Wyjaśnij swoje obserwacje.
3. Czy grubość szkła naczynia ma wpływ na wynik pomiarów? Uzasadnij odpowiedź.

SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 3. Sejsza

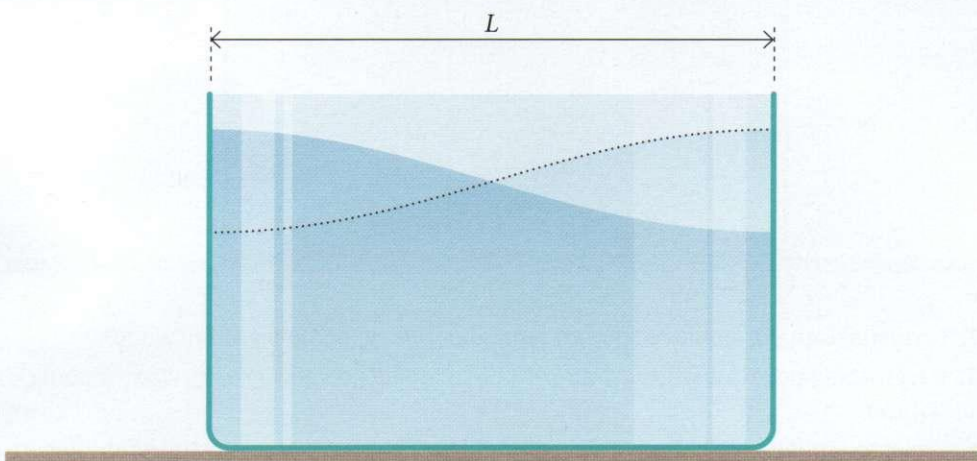
Problem badawczy

Czy prędkość fali na powierzchni wody zależy od głębokości wody?

Wstęp

Sejsza to fala stojąca, która powstaje na powierzchni zamkniętych zbiorników wodnych (jeziora, zatoki). Jej cechą charakterystyczną jest unoszenie się poziomu wody przy jednym brzegu z jednoczesnym obniżaniem się tego poziomu po drugiej stronie zbiornika. Wówczas powierzchnia wody w całym zbiorniku się kołysze. Sejsza może być wywołana np. długo wiejącym wiatrem.

W warunkach domowych można wytworzyć falę stojącą o charakterze sejszy. Najlepiej użyć do tego naczynia prostopadłościennego, np. niewielkiego akwarium.



Wzbudzoną falę stojącą pokazano na rysunku. W naczyniu widać falę od doliny do grzbietu, więc długość całej takiej fali jest dwa razy większa niż rozmiar naczynia:

$$\lambda = 2L$$

Gdy zmierzymy długość naczynia i okres drgań fali, będziemy mogli wyznaczyć prędkość tej fali w naczyniu:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{2L}{T}$$

Przyrządy do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ prostopadłościennego naczynie o krawędziach długości kilkunastu centymetrów
- ▶ stoper
- ▶ linijka

SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 3. Sejsza

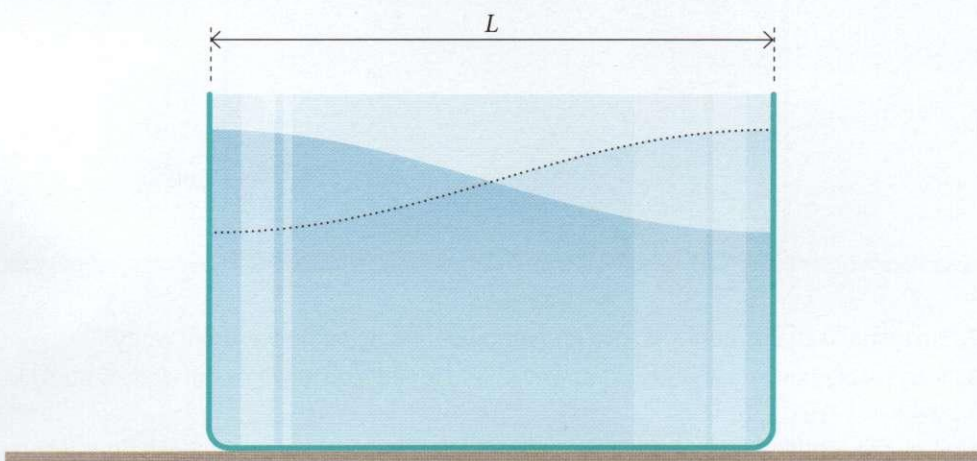
Problem badawczy

Czy prędkość fali na powierzchni wody zależy od głębokości wody?

Wstęp

Sejsza to fala stojąca, która powstaje na powierzchni zamkniętych zbiorników wodnych (jeziora, zatoki). Jej cechą charakterystyczną jest unoszenie się poziomu wody przy jednym brzegu z jednoczesnym obniżaniem się tego poziomu po drugiej stronie zbiornika. Wówczas powierzchnia wody w całym zbiorniku się kołysze. Sejsza może być wywołana np. długo wiejącym wiatrem.

W warunkach domowych można wytworzyć falę stojącą o charakterze sejszy. Najlepiej użyć do tego naczynia prostopadłościennego, np. niewielkiego akwarium.



Wzbudzoną falę stojącą pokazano na rysunku. W naczyniu widać falę od doliny do grzbietu, więc długość całej takiej fali jest dwa razy większa niż rozmiar naczynia:

$$\lambda = 2L$$

Gdy zmierzymy długość naczynia i okres drgań fali, będziemy mogli wyznaczyć prędkość tej fali w naczyniu:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{2L}{T}$$

Przyrządy do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ prostopadłościennego naczynie o krawędziach długości kilkunastu centymetrów
- ▶ stoper
- ▶ linijka

Hipoteza badawcza

Prędkość fali na wodzie rośnie wraz z głębokością wody.

Przebieg doświadczenia

1. Nalej wody do naczynia i zmierz jej głębokość.
2. Wzbudź w naczyniu falę o charakterze sejszy, np. przez lekkie kołysanie naczynia.
3. Zmierz długość naczynia i wyznacz długość fali.
4. Zmierz stoperem czas kilku wahań fali i wyznacz na tej podstawie jej okres.
5. Zanotuj wyniki pomiarów w tabeli.
6. Pomiary wykonaj przynajmniej dla 10 różnych głębokości.

Nr pomiaru	Głębokość d (m)	Liczba wahań n	Czas t (s)	Okres $T = \frac{t}{n}$ (s)	Prędkość $v = \frac{\lambda}{T} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$
1					
2					
...					
10					

Opracowanie wyników pomiarów

1. Dla każdej głębokości oblicz prędkość fali.
2. Przenieś dane do arkusza kalkulacyjnego i przedstaw na wykresie zależność prędkości fali na wodzie od głębokości wody.
3. W arkuszu kalkulacyjnym dopasuj linię trendu do otrzymanych punktów pomiarowych.

Omówienie wyniku doświadczenia

Zapisz odpowiedzi na poniższe pytania.

1. Czy hipoteza badawcza została potwierdzona?
2. Czy prędkość fali na wodzie jest wprost proporcjonalna do głębokości wody?
3. Czy uzyskane wyniki są zgodne z literaturą opisującą badane zjawisko?

SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 4. Ciepło właściwe stali nierdzewnej

Problem badawczy

Wyznaczanie ciepła właściwego stali nierdzewnej

Wstęp

Ciepło Q potrzebne do ogrzania dowolnej masy m substancji o dowolną liczbę stopni Celsjusza Δt obliczamy ze wzoru:

$$Q = cm\Delta t$$

gdzie c – ciepło właściwe substancji.

Niech m_s oznacza masę elementów stalowych zanurzonych w wodzie o masie m_w . Podczas podgrzewania temperatura wody i stali rosną jednakowo (stal ma duże przewodnicstwo cieplne). Grzałka o mocy P dostarcza w czasie τ ciepło do obu substancji.

$$P\tau = Q_s + Q_w$$

Po podstawieniu $Q_s = c_s m_s \Delta t$ oraz $Q_w = c_w m_w \Delta t$ otrzymujemy równanie:

$$P\tau = c_s m_s \Delta t + c_w m_w \Delta t$$

Z tego równania wyznaczamy ciepło właściwe stali c_s :

$$c_s = \frac{P\tau - c_w m_w \Delta t}{m_s \Delta t}$$

Jeśli znamy moc grzałki, czas ogrzewania, masy ogrzewanych substancji, ciepło właściwe wody i przyrost temperatury, możemy wyznaczyć ciepło właściwe stali.

Przyrządy pomiarowe i materiały do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ czajnik elektryczny o znanej mocy
- ▶ waga kuchenna
- ▶ stalowe sztućce
- ▶ zegarek (stoper)
- ▶ naczynie o pojemności większej niż pojemność czajnika

Przebieg doświadczenia

1. Do czajnika elektrycznego włóż jak największą liczbę stalowych sztućców.
2. Wlej do czajnika wodę, tak aby zakryła sztućce.
3. Odczekaj chwilę, aż wyrówna się temperatura wody i sztućców.
4. Włącz czajnik i zmierz czas, po jakim woda się zagotuje.
5. Poczekaaj, aż czajnik i sztućce ostygną. Przelej wodę do przygotowanego wcześniej naczynia i wyznacz jej masę. Zmierz masę sztućców.
6. Zapisz odczytane i zmierzone wartości wielkości fizycznych.

Opracowanie wyników pomiarów

1. Ustal zmianę temperatury sztućców i wody w doświadczeniu. Możesz posłużyć się termometrem kuchennym lub wywnioskować tę zmianę z przebiegu eksperymentu. Uzasadnij przyjęte przez siebie wartości.
2. Oblicz ciepło właściwe stali nierdzewnej.

Omówienie wyniku doświadczenia

1. Porównaj uzyskany wynik ciepła właściwego stali z danymi tablicowymi.
2. Wskaż przyczyny ewentualnej rozbieżności wyniku z danymi tablicowymi.
3. Czy za pomocą tych samych przyrządów pomiarowych można wyznaczyć ciepło właściwe stali bez znajomości mocy czajnika? Uzasadnij odpowiedź.

SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 5. Prędkość dźwięku w powietrzu

Problem badawczy

Pomiar prędkości dźwięku w powietrzu

Wstęp

Jeśli odpowiednio dmuchamy w wylot jednostronnie zamkniętej rurki, wydaje ona dźwięk. Za dźwięk ten odpowiada fala stojąca, powstała w słupie powietrza. Fala stojąca, która powstaje w opisanym doświadczeniu, ma maksymalną amplitudę przy wylocie rurki, a równą zero – przy jej zamkniętym końcu. Z tego wynika, że w rurce „mieści się” $\frac{1}{4}$ całej długości fali. Wobec tego długość fali dźwiękowej powstającej w rurce jest 4 razy większa od wysokości słupa powietrza w tej rurce.

Prędkość dźwięku można obliczyć ze wzoru:

$$v = \lambda \cdot f$$

gdzie:

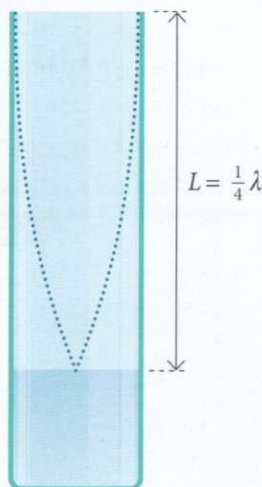
λ – długość fali dźwiękowej,

f – częstotliwość dźwięku.

Wobec tego częstotliwość dźwięku obliczymy ze wzoru:

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

Częstotliwość dźwięku jest liniową funkcją odwrotności długości fali. Współczynnik kierunkowy tej prostej jest równy prędkości dźwięku.



Przyrządy i materiały do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ smartfon z aplikacją Phyphox
- ▶ rurka otwarta z jednej strony

Przebieg doświadczenia

1. Uruchom aplikację Phyphox do mierzenia częstotliwości dźwięku.
2. Przyłóż otwarty wylot rurki do ust (rurka powinna być ustawiona pionowo) i tak wydychaj powietrze, aby rurka wydała dźwięk. Zmierz jego częstotliwość.
3. Zmierz wysokość słupa powietrza w rurce.
4. Zmień wysokość słupa powietrza w rurce (na przykład przez częściowe wypełnienie jej wodą) i powtórz czynności 1.–3.

5. Dokonaj co najmniej sześciu pomiarów częstotliwości dla różnych wysokości słupa powietrza w rurce. Wyniki pomiarów zapisz w tabeli.

Nr pomiaru	Częstotliwość f (Hz)	Wysokość słupa powietrza h (m)	Długość fali λ (m)	Odwrotność długości fali $\frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{\text{m}} \right)$
1				
2				
...				
6				

Opracowanie wyników pomiarów

1. Dla każdej wysokości słupa powietrza oblicz długość fali.
2. Przedstaw na wykresie częstotliwość dźwięku zmierzoną przez smartfon w zależności od odwrotności długości fali.
3. Do punktów na wykresie dopasuj prostą i wyznacz jej współczynnik kierunkowy. Możesz posłużyć się arkuszem kalkulacyjnym.

Omówienie wyniku doświadczenia

1. Porównaj uzyskaną prędkość dźwięku z danymi tablicowymi.
2. Wskaż przyczyny ewentualnej rozbieżności wyniku z danymi tablicowymi.

TEKST 1. Widzenie barw**Oko**

Oko ludzkie jest urządzeniem podobnym do aparatu fotograficznego. Jego układ optyczny wytwarza w tylnej części oka rzeczywisty, pomniejszony i odwrócony obraz widzianych przedmiotów. Ta część oka wyścielona jest błoną, zwaną siatkówką, w której znajdują się komórki światłoczułe. Są dwa rodzaje takich komórek:

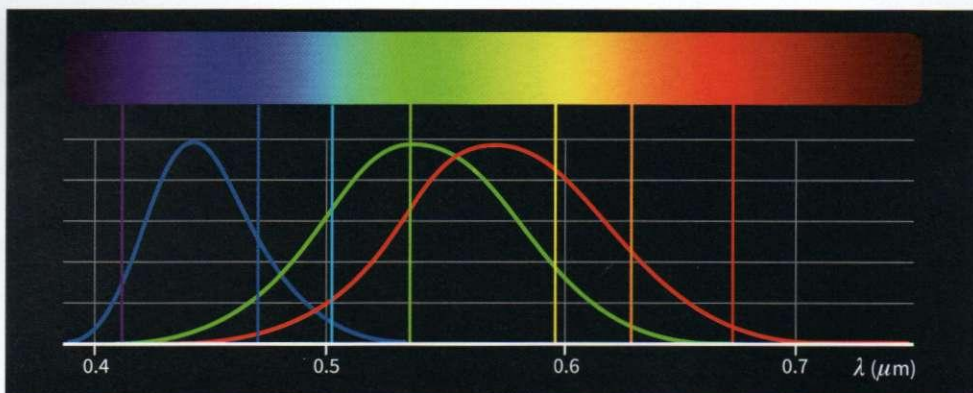
- pręciki, przeznaczone do widzenia o zmroku, kiedy natężenie światła jest małe; za pomocą pręcików nie można rozróżniać barw.
- czopki, przeznaczone do widzenia dziennego, kiedy natężenie światła jest duże; te komórki odpowiedzialne są za widzenie barw [...].

Trzy rodzaje czopków

Przypomnijmy najpierw, jakie barwy występują w widmie światła tradycyjnej żarówki z włóknem wolframowym.



Ryc. 1. Ciągłe widmo żarówki tradycyjnej (wolframowej)



Ryc. 2. Zależność czułości czopków od długości fali świetlnej

Jak to się dzieje, że oko ludzkie rozróżnia barwy? Żeby to zrozumieć, trzeba wiedzieć, że w normalnym oku ludzkim są trzy rodzaje czopków. Rysunek 2 przedstawia zależność czułości tych komórek od długości fali światła (jednobarwnego):

1. Pierwszy rodzaj komórek najsilniej reaguje na światło niebiesko-fioletowe (krzywa niebieska). Światła żółtego, pomarańczowego i czerwonego „nie widzi” niemal zupełnie.
2. Drugi rodzaj komórek najsilniej reaguje na światło zielone (krzywa zielona). Nie reaguje na światło fioletowe i czerwone.

3. Trzeci rodzaj komórek najsilniej reaguje na światło żółte (krzywa czerwona). Nie widzi światła fioletowego.

Hipoteza, że widzenie barwne jest wynikiem istnienia trzech rodzajów detektorów w oku, pochodzi od Thomasa Younga. Przez bardzo wiele lat nie była jednak znana dokładna zależność ich czułości od długości fali. Ostateczne rozwiązanie tego problemu przyniosły badania w połowie ubiegłego wieku. Polegały one na pomiarze napięć elektrycznych, powstających pod wpływem oświetlenia, na pojedynczych żywych czopkach wypreparowanych z oka.

Widzenie barw widmowych

Zastanówmy się najpierw, jak reaguje oko, kiedy pada na nie światło o ściśle określonej długości fali (ryc. 2).

1. Jeżeli jest to światło **fioletowe**, pobudza tylko komórki pierwszego rodzaju. Wskazuje to pionowa linia fioletowa. Tylko te komórki wysyłają sygnały do mózgu, co ostatecznie interpretowane jest jako barwa fioletowa.

2. Światło **czerwone** pobudza tylko komórki trzeciego rodzaju. Odczuwamy to jako barwę czerwoną.

Wszystkie inne barwy widmowe pobudzają jednocześnie więcej niż jeden rodzaj komórek:

1. Światło **pomarańczowe** pobudza silnie komórki trzeciego rodzaju, słabo – komórki drugiego rodzaju, a komórek pierwszego rodzaju – wcale.

2. Światło **żółte** pobudza bardzo silnie komórki trzeciego rodzaju i silnie, choć nieco słabiej – komórki drugiego rodzaju.

3. Światło **zielone** pobudza bardzo silnie komórki drugiego rodzaju, silnie, choć nieco słabiej – komórki trzeciego rodzaju i słabo komórki pierwszego rodzaju.

4. Światło **niebieskie** pobudza silnie komórki pierwszego rodzaju i znacznie słabiej – komórki drugiego i trzeciego rodzaju.

Za każdym razem mózg porównuje sygnały docierające do niego od różnych rodzajów komórek i wytwarza wrażenie określonej barwy światła.

Czarne i białe

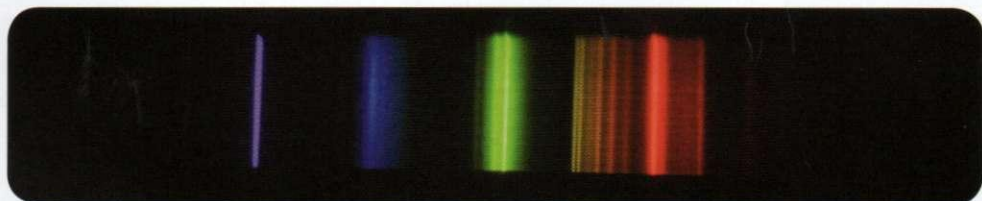
1. Wrażenie **czerni** (ciemności) mamy wtedy, gdy do komórek nie dobiega żadne światło – i żaden rodzaj komórek nie jest pobudzony.

2. Widzimy światło **białe**, jeżeli wszystkie trzy rodzaje komórek pobudzane są jednakowo silnie. Może to zachodzić pod wpływem światła o widmie ciągłym.

Kiedy widzimy światło białe?

Stwierdziliśmy, że mamy odczucie światła białego, jeżeli oświetlimy oko światłem o widmie ciągłym, takim jakie wysyłają ciała rozgrzane do wysokiej temperatury – jak włókno wolframowe żarówki czy Słońce. Odczucie światła białego może jednak powstawać i w innych przypadkach [...].

Przykładem może być biała żarówka energooszczędna*. Widmo takiej żarówki wcale nie jest ciągłe, składa się z oddzielnych wąskich pasm i linii (ryc. 3). Pomiędzy nimi istnieją całkiem ciemne obszary. Światło to jest złożone – ale ma zupełnie inny charakter niż widmo żarówki tradycyjnej.



Ryc. 3. Widmo żarówki energooszczędnej

[...] Również ekran LCD, gdy wyświetla obiekty o białej barwie, nie wysyła światła o szerokim widmie ciągłym. Obserwuje się przede wszystkim wąskie linie – czerwoną i zieloną oraz niezbyt szerokie pasmo niebieskie. Oprócz tego występuje jeszcze słabe świecenie pomarańczowe.

Podsumujmy: odczucie światła białego powstaje wtedy, gdy równomiernie pobudzimy trzy rodzaje czopków. Można tego dokonać na przeróżne sposoby.

Składanie barw, system RGB

Kiedy patrzymy na kolorowy telewizor czy monitor komputerowy, mamy odczucie pełnej gamy barw – od fioletu do czerwieni. Będziemy zakładać dla uproszczenia, że ekran telewizora wysyła tylko trzy rodzaje światła monochromatycznego: czerwone, zielone i niebieskie. Na ekranie świecą rzeczywiście małe barwne punkciki tylko tych trzech kolorów (ryc. 4).

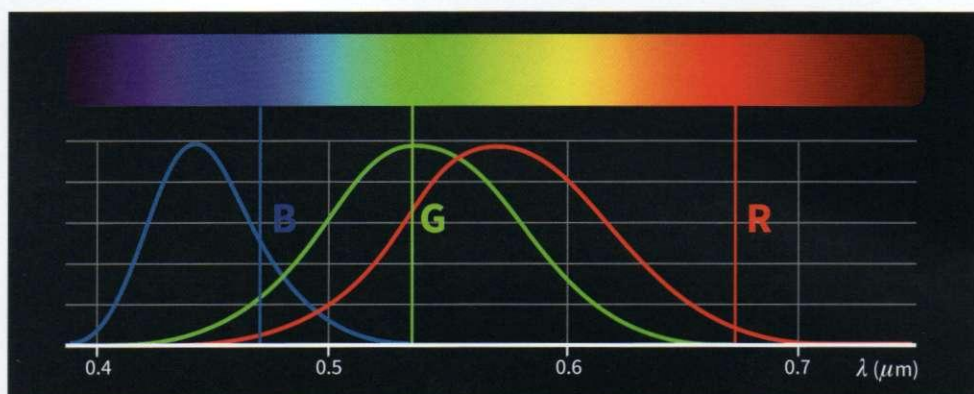


Ryc. 4. Świecące „plamki” ekranu telewizora. Powiększenie około 100 razy

* świetlówka kompaktowa – *przyp. red.*

[...] Obserwujemy na przykład, że w miejscach niebieskich, zielonych i czerwonych ekranu świecą tylko odpowiednie plamki jednego rodzaju. W miejscach żółtych świecą jednocześnie plamki zielone i czerwone. W miejscach białych świecą równomiernie trzy rodzaje plamek itp. Działanie barwnego telewizora polega na swojego rodzaju „oszukiwaniu” oka. Na przykład:

1. Widmowe światło żółte pobudzało jednocześnie komórki drugiego i trzeciego rodzaju (ryc. 2). Taki sam efekt można uzyskać, oświetlając równocześnie oko światłem zielonym i czerwonym (G i R na ryc. 5). A więc zmieszanie światła zielonego i czerwonego daje odczucie barwy żółtej.

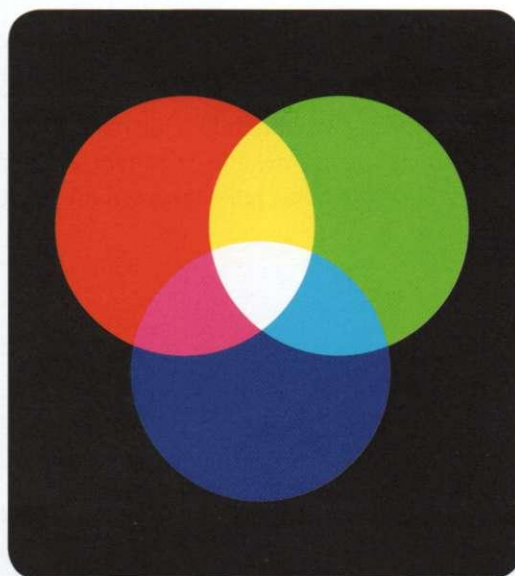


Ryc. 5. Barwy systemu RGB

2. Światło białe pobudzało jednako komórki wszystkich trzech rodzajów. Taki sam efekt można uzyskać przez zmieszanie światła niebieskiego, zielonego i czerwonego w odpowiednich proporcjach.

3. Odcienie „pastelowe”, jak kremowy, różowy czy seledynowy, także są wywołane pobudzeniem wszystkich trzech rodzajów komórek jednocześnie – ale w nieco różnych proporcjach.

4. Pobudzając komórki oka jednocześnie światłem czerwonym i niebieskim, uzyskujemy wrażenie fioletu. Możemy jednak otrzymać także



Ryc. 6. Składanie barw RGB

barwę pośrednią pomiędzy czerwienią a fioletem, czyli **purpurę** (ryc. 6). Taka barwa nie występuje w widmie światła białego.

Sposób uzyskiwania wrażenia różnych barw za pomocą trzech rodzajów światła jednobarwnego – czerwonego, zielonego i niebieskiego, po angielsku **Red, Green i Blue** – nazywamy **systemem RGB** [...].

Daltonizm

Okolo 5% chłopców i 0,5% dziewcząt nie rozróżnia prawidłowo barw. Wiąże się to z wrodzonym brakiem któregoś z rodzajów komórek do widzenia dziennego. Najczęściej brakuje u takich ludzi komórek trzeciego rodzaju. Nie widzą oni światła czerwonego, a poza tym nie odróżniają czerwieni od zieleni. Nazwa zaburzenia tego rodzaju – **daltonizm** – **pochodzi od nazwiska Daltona**, który rozpoznał je u siebie.

Jerzy Ginter

(fragmenty artykułu opublikowanego w czasopiśmie „Neutrino”, nr 24, Wiosna 2014)

PYTANIA I ZADANIA

1. Dlaczego podczas zmierzchu w zasadzie nie widzimy kolorów (wszystko jest w różnych odcieniach szarości)?
2. Co to jest światło monochromatyczne?
3. Czy możemy widzieć inne barwy niż te, które występują w widmie ciągłym światła białego?
4. Co to jest daltonizm?
5. Wyobraźmy sobie, że przymierzamy koszulę w sklepie oświetlonym świetłówkami kompaktowymi o widmie takim jak na rycinie 3. Czy kolor każdej przymierzanej koszuli będzie taki sam w świetle dziennym jak w sklepie? Uzasadnij odpowiedź. Wskazówka: koszula może odbić tylko takie światło, jakie na nią pada.

TEKST 2. Jak przechowywać lody?

Głupie pytanie! To przecież oczywiste, że w temperaturze poniżej zera, najlepiej w zamrażarce, gdzie spokojnie mogą poczekać, aż ktoś je zje. Problem polega jednak na tym, że nie zawsze to czekanie im służy. O smaku lodów decyduje bowiem nie tylko skład chemiczny, ale również niewidoczna gołym okiem wewnętrzna budowa, która w zamrażarce może ulegać zmianom. Zmiany te dopiero niedawno zostały wytropione przez fizyków, a wnioski, do jakich doszli w swoich badaniach, są pouczające i mogą zmienić nasze podejście do popularnego mrożonego deseru. Zanim jednak zaznajomimy się z rezultatami eksperymentów, przyjrzyjmy się, z czego składają się najzwyczajniejsze lody śmietankowe.

1. Kryształki lodu. Oczywiście oczywistość. Są lody, musi być lód. Występuje on w postaci niezwykle drobnych kryształków o rozmiarach pomiędzy 10 a 75 mikrometrów, czyli kilka razy mniejszych niż średnica ludzkiego włosa. Im mniejsze kryształki lodu, tym przyjemniejsze odczucia na języku.

2. Bąbelki powietrza. To one nadają „lekkości” całej mieszance. Ich rozmiar jest nieco większy od kryształków lodu i wynosi od 20 do 150 mikrometrów. To wciąż jednak na tyle mało, że tylko największe z nich jesteśmy w stanie dostrzec gołym okiem. Podobnie jak w przypadku kryształków lodu – im mniejsze bąbelki, tym smaczniejsze lody.

3. Krople tłuszczu. Są najmniejsze w całej mieszance. Tworzą skupiska o średnicach od 1 do 10 mikrometrów. Odgrywają ważną rolę w stabilizacji struktury, czyli utrzymują cały układ w ryzach.

4. Niezamrożona papka. Składa się z wody, cukrów, białek oraz domieszki substancji



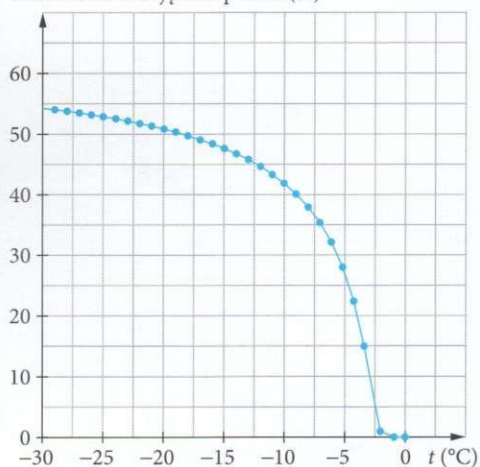
smakowych i stabilizatorów. Nie zamarza całkowicie nawet w bardzo niskich temperaturach, co sprawia, że lody zachowują plastyczność i nie tworzą twardej, zmrożonej skorupy.

Ta niezamrożona papka potrzebuje naprawdę bardzo niskich temperatur, aby całkowicie zamarznąć. Obrazuje to poniższy wykres, z którego odczytać możemy, jaką objętość lodów stanowi lód. Jeżeli schłodzimy lody do temperatury -10°C , tylko 40% ich objętości stanowić będzie lód. Reszta to niezamrożona „breja” wraz z powietrzem i domieszką tłuszczu. Nazwa „lody” może być zatem z tej perspektywy nieco myląca.

Z wykresu widać też, że lody zaczynają zamarzać nie w 0°C , jak to zwykła robić czysta woda, ale w około -2°C . Stąd już wyłania się pierwszy ważny wniosek. Aby lody przetrwały w zamrażarce, nie wystarczy ich trzymać w byle jakiej temperaturze poniżej zera. Trzeba je schłodzić do temperatur niższych niż -2°C . A tak naprawdę i to nie wystarcza. Badania dowiodły bowiem, że najlepszą temperaturą do przechowywania lodów mlecznych są okolice -15°C . Wyższa temperatura sprawia, że tracą one swoją „kremowość” i aksamitną konsystencję. A razem z nimi spadają ich walory smakowe.

Skąd jednak wiemy, że temperatura -15°C jest najlepsza? Z profesjonalnych badań naukowych! Kilka lat temu firma Nestlé zwróciła się do szwajcarskich fizyków z prośbą

o wyjaśnienie, jak to z tą temperaturą i lodami jest. Do pracy została zaprzęgnięta



Ryc. 1. Wykres obrazujący, jaką część deseru stanowi lód w zależności od temperatury. Dopiero poniżej -20°C lód zaczyna przeważać nad pozostałymi składnikami mieszaniny*

* źródło: B.R. Pinzer et al. *3D-characterization of three-phase systems using X-ray tomography: Tracking the microstructural evolution in ice cream*. „Soft Matter” (2012) 8, 4584–4594.

o wyjaśnienie, jak to z tą temperaturą i lodami jest. Do pracy została zaprzęgnięta tomografia promieniowania X, nowoczesna technika pomiarowa, za pomocą której fizycy uzyskują trójwymiarowe „prześwietlenia” badanego przedmiotu i to na dodatek ze znakomitą rozdzielczością, pozwalającą dostrzec obiekty o wielkościach pojedynczych mikrometrów. W 2012 roku po raz pierwszy ta metoda została użyta do obserwacji gałki lodów, którą systematycznie prześwietlano w różnych temperaturach.

Eksperyment ten pozwolił stwierdzić, że poniżej -15°C bąble powietrza i kryształki lodu mają bardzo nieregularne kształty, chropowate powierzchnie i kanciaste krawędzie. Całość układu jest na tyle dobrze zmrożona, że nawet po kilku miesiącach kształty oraz rozmiary kryształków i bąbli nie ulegają zmianie – czyli lody pozostają tak samo smaczne. W temperaturze -15°C

bądź niższej mogą więc spokojnie przeleżeć cały sezon. Nie wszystkie domowe zamrażarki potrafią jednak tak mocno mrozić, co skutkuje powoli postępującymi niekorzystnymi przemianami przechowywanych w nich lodów. Już w temperaturach wyższych niż -10°C bąble powietrza zaczynają stawać się okrągłe. Spowodowane jest to wzrostem udziału niezamrożonej „brei”, przez co powietrze ma więcej swobody i może uformować okrągłe kształty. Takie bąbelki powoli przemieszczają się i łączą ze sobą w większe bąbliszczka. Tempo ich wzrostu jest bardzo powolne i w temperaturze -5°C wynosi około 4 mikrometrów na godzinę. Niby niedużo, ale już jedna doba przechowywania lodów w takich warunkach powoduje wyraźną zmianę ich konsystencji.

Warunki przechowywania mają też wpływ na wielkość kryształków lodu. Podwyższając temperaturę, sprawiamy, że zaczynają się one częściowo topić, zmniejszają się i rozpadają na kawałki. Ale uwaga, gdy znów schłodzimy całość do bardzo niskiej temperatury, kryształki lodu nie powrócą do swojej pierwotnej wielkości. Będą większe i równocześnie będzie ich trochę mniej. Ten proces znany jest fizykom jako dojrzewanie Ostwalda i może spowodować, że lody stracą swoją kremową konsystencję, a pod językiem pocujemy grudki lub wrażenie piasku. Stąd wniosek, że im więcej wahań temperatury, tym szybszy wzrost wielkości kryształków lodu i tym więcej piasku na języku, czego raczej nikt nie lubi. Zatem, lodozerco, pamiętaj! Najlepiej przechowuj lody w zamrażarce trzymającej cały czas temperaturę około -15°C lub niższą. Nie otwieraj jej zbyt często. Złym pomysłem jest również trzymanie lodów za oknem, nawet podczas bardzo silnych mrozów. Każda, nawet lekka, zmiana temperatury działa bowiem na ich niekorzyść. Podgrzewanie i ochładzanie lodów to największa zbrodnia, jaką możemy im wyrządzić, nawet jeżeli ma to miejsce grubo poniżej 0°C .

Michał Krupiński

(fragment artykułu opublikowanego w czasopiśmie „Neutrino”, nr 42, Jesień 2018)

PYTANIA I ZADANIA

1. Wymień cztery podstawowe składniki lodów śmietankowych.
2. Czy lody zamarzną w temperaturze -1°C ?
3. Jaką część lodów stanowi lód w temperaturze -6°C ?
4. O czym świadczy ziarnista struktura jedzonych lodów?
5. Amerykańska stacja naukowo-badawcza Amundsen-Scott znajduje się na Antarktydzie. Wyobraźmy sobie, że jeden z pracowników tej stacji twierdził, że można przechowywać lody na zewnątrz, w nasłonecznionym miejscu, gdyż temperatura i tak nie będzie większa od -20°C . Czy ten sposób przechowywania nie wpłynie na ich walory smakowe? Uzasadnij odpowiedź.

ROZDZIAŁ 1. (s. 12)

1. a) $A = 1,5 \text{ cm}$, $T \approx 1,5 \text{ s}$
b) $f \approx 0,67 \text{ Hz}$
2. $t \approx 7,8 \text{ ms}$
3. a) $s = 3 \text{ cm}$
b) $t = 0,8 \text{ s}$
4. $f = 0,9 \text{ Hz}$
5. $v \approx 5 \text{ cm/s}$

ROZDZIAŁ 2. (s. 17)

1. a) $A = 1,6 \text{ cm}$, $F_{\max} = 0,24 \text{ N}$
b) $a_{\max} = 6 \text{ m/s}^2$
c) $k = 15 \text{ N/m}$
2. $k \approx 0,33 \text{ N/m}$
3. Maksymalna wartość siły wzrośnie dwukrotnie.
4. Nie, gdyż okres drgań ciała zawieszonego na sprężynie nie jest wprost proporcjonalny do masy obciążenia.
5. Wektor przyspieszenia jest skierowany w stronę położenia równowagi.

ROZDZIAŁ 3. (s. 24)

1. a) $A = 1,5 \text{ cm}$
b) $v \approx 0,24 \text{ m/s}$
c) $E_p \approx 0,2 \text{ mJ}$
2. a) $A = 2 \text{ cm}$
b) $E_k \approx 1,3 \text{ J}$
3. $E_p = 20 \text{ mJ}$
4. Wzrosła czterokrotnie.
5. Wskazówka: zachodzą przemiany trzech rodzajów energii: sprężystości, grawitacji i kinetycznej.

ROZDZIAŁ 4. (s. 29)

1. Okresy będą jednakowe.
2. Okres drgań Zosi będzie większy, bo odległość jej środka masy od punktu zaczepienia huśtawki jest większa.
3. $T \approx 13,7 \text{ s}$
4. Około 4 uderzenia na sekundę.
5. $v \approx 4,6 \text{ m/s}$, $W = E_{k\max} \approx 212 \text{ J}$

ROZDZIAŁ 5. (s. 38)

2. Podczas postoju drgania były przekazywane od silnika do maskotki w wyniku zjawiska rezonansu.
3. Wcześniej zatrzyma się piłeczka do tenisa stołowego. Początkowo na oba przedmioty działają takie same siły oporu powietrza. Pod wpływem takiej samej siły obiekt o mniejszej masie zatrzyma się szybciej.

4. Kulka zawieszona na nici o długości 4,1 m.
5. a) Nie, amplituda układu drgającego nie może rosnąć do nieskończoności. Układ ulegnie zniszczeniu lub zacznie przekazywać energię do otoczenia.
b) $t \approx 51 \text{ s}$

POWTÓRZENIE DZIAŁU DRGANIA (s. 41)

1. C
2. $f \approx 0,13 \text{ Hz}$
3. Zwrot w kierunku położenia równowagi, wartość wprost proporcjonalna do wychylenia.
4. a) $F_{\max} = 0,3 \text{ N}$
b) $a_{\max} \approx 2,1 \text{ m/s}^2$
5. B
6. A 2
7. 1 F, 2 P, 3 P
8. $f \approx 1,25 \text{ Hz}$
9. $T \approx 12 \text{ s}$
10. 1 F, 2 P, 3 P

ROZDZIAŁ 6. (s. 50)

1. a) Fala poprzeczna.
b) W dół.
2. a) Fala podłużna.
b) Wzdłuż sprężyny.
4. Nie, gdyż fale dźwiękowe rozchodzą się tylko w ośrodkach materialnych.
5. Nie, cząsteczki ośrodka poruszają się ruchem drgającym.

ROZDZIAŁ 7. (s. 56)

1. Daleko od brzegu.
2. W ołowiu.
3. a) $A \approx 1,6 \text{ cm}$, $\lambda \approx 8 \text{ cm}$
b) $v \approx 0,064 \text{ m/s}$
4. $t \approx 1,3 \text{ s}$
5. $v \approx 6,3 \text{ cm/s}$

ROZDZIAŁ 8. (s. 62)

1. Tysiące herców.
2. Od 0,017 m do 17 m.
3. Mniejsza błona bębenkowa w małym uchu może drgać z większą częstotliwością niż duża w dużym uchu.
4. Nie, gdyż głośnik dobrze generuje dźwięki o częstotliwościach z zakresu od 300 Hz do 10 kHz.
5. Na przykład 330 Hz, 660 Hz, 550 Hz.

ROZDZIAŁ 9. (s. 70)

1. Nie, wysokość dźwięku w trakcie zbliżania oraz oddalania jest stała, bo zależy od obrotów silnika samochodu, a nie od jego odległości.
2. $f \approx 644 \text{ Hz}$
3. Nie, łódź płynąca pod wiatr kołysze się z większą częstotliwością.
4. Oddała się. $v \approx 1080 \text{ km/s}$
5. a) $v = 0 \text{ km/h}$
b) $v = 60 \text{ km/h}$

ROZDZIAŁ 10. (s. 79)

2. Fale rozchodzą się niezależnie od siebie, każda z nakładających się fal zachowuje swoje własności.
3. $x = 4 \text{ mm}$
4. Nie, bo to by oznaczało, że zniknęła energia tych fal.
5. Nie, bo powierzchnie falowe poniżej widocznej na rysunku linii są nadal liniami prostymi, czyli nie zmieniły kształtu.

ROZDZIAŁ 11. (s. 85)

3. Wzmacniają się w punktach A, C i D, wygaszają się w punktach B i E.
4. Będą 3 linie.
5. Połowa długości fali.

ROZDZIAŁ 12. (s. 93)

1. Nie.
3. Na przykład dla światła żółtego o długości fali 600 nm odległość ta będzie wynosiła 300 nm . Nie.
4. Dla $\lambda = 400 \text{ nm}$, $f = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, dla $\lambda = 700 \text{ nm}$, $f \approx 4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.
5. Z faktu, że można je spolaryzować.

ROZDZIAŁ 13. (s. 99)

1. Prostopadłe.
2. 65°
5. $h \approx 4,6 \text{ m}$

ROZDZIAŁ 14. (s. 106)

1. Około 23° .
3. Około 40° . Promień okręgu wykreślonego z punktu A jest tyle razy mniejszy od odległości CB, ile razy mniejsza jest prędkość światła w szkłe od prędkości światła w powietrzu.

ROZDZIAŁ 15. (s. 112)

1. W całości: C i F, pozostałe częściowo.
4. Rybka będzie widziała dno (kąt jest większy od granicznego), a wędkarza zobaczy, gdy skieruje wzrok bardziej w górę.
5. B

ROZDZIAŁ 16. (s. 120)

1. Światło rozprasza się na kryształkach.
2. Po wschodniej stronie.
3. Powstaje nocą, gdy niebo zasnuwane jest wysokimi chmurami.
4. Niebieski.

POWTÓRZENIE DZIAŁU FALA I OPTYKA (s. 123)

1. A
2. Punkt K – w górę, punkt L – w górę, punkt M – w dół.
3. $f \approx 89 \text{ Hz}$
4. Nie, w sytuacji A głośność była większa, ponieważ do ucznia docierała fala ugięta na otworze drzwiowym oraz odbita od ściany, a w sytuacji B nie byłoby fali odbitej.
5. Obszar A – tu spotyka się grzbiet jednej fali z doliną drugiej fali; obszar B – tu spotyka się dolina jednej fali z doliną drugiej fali oraz grzbiet jednej fali z grzbietem drugiej.
6. Światło odbite od części słomki znajdującej się pod wodą na granicy woda–powietrze zmienia kierunek rozchodzenia się na skutek załamania.
8. A 1
9. C
10. 1 P, 2 F, 3 P

ROZDZIAŁ 17. (s. 133)

1. W gazach cząsteczki są daleko od siebie, więc nie oddziałują ze sobą. W cieczach są blisko siebie, więc się przyciągają lub odpychają, a jednocześnie wykonują drgania.
2. Wraz z temperaturą rośnie średnia wartość prędkości cząsteczek.
3. $t = -269^\circ\text{C}$
4. Średnia energia kinetyczna jest taka sama, bo jest taka sama temperatura.
5. Średnia wartość prędkości cząsteczek azotu jest większa o 7%, a różnica nie zależy od temperatury.

ROZDZIAŁ 18. (s. 139)

1. Nie, są większe. Filary nie są ogrzewane zimą, więc zmiany ich temperatury są większe.
2. Woda na krawędzi szyjki uszczelnia butelkę. Ogrzanie butelki powoduje wzrost objętości powietrza, które unosi monetę.

3. Pusta przestrzeń umożliwia bezpieczne rozszerzenie się paliwa.
4. $\Delta l \approx 16 \text{ mm}$
5. Gdy temperatura przyrządu pomiarowego będzie znacznie odbiegać od podanej, odczyty będą obarczone większą niepewnością niż podana w świadectwie.

ROZDZIAŁ 19. (s. 146)

1. Izolatory, bo ciepło odpływa przez nie z ciała dużo wolniej niż przez przewodniki.
2. Górne, gdyż z powodu konwekcji im wyżej, tym cieplejsze powietrze.
3. W ciałach stałych cząsteczki nie mogą przemieszczać się swobodnie, a to jest warunkiem zachodzenia konwekcji.
4. Karoseria w przeciwieństwie do powietrza pochłania promieniowanie słoneczne.

ROZDZIAŁ 20. (s. 153)

1. $\Delta E_w = 21 \text{ J}$
2. Powoli. Z powietrza musi odpłynąć ciepło.
3. W lecie tył lodówki musiałby wystawać na zewnątrz budynku, a w zimie odwrotnie.
4. $m \approx 2400 \text{ t}$
5. $Q = 170 \text{ kJ}$

ROZDZIAŁ 21. (s. 159)

1. Błazany kubek ma małą pojemność cieplną w porównaniu z herbatą.
2. $m = 1,5 \text{ kg}$
3. $t \approx 20,5^\circ\text{C}$
4. Grube mury mają dużą pojemność cieplną.
5. Ściana z betonu.

ROZDZIAŁ 22. (s. 166)

1. Lody to przede wszystkim woda, a woda ma duże ciepło topnienia. Potrzeba zatem sporo czasu, aby dostarczyć do lodów energię niezbędną do ich stopienia.
2. Ciepło oddane przez 1 kg wody podczas krzepnięcia jest około 8 razy większe od ciepła potrzebnego do ochłodzenia 1 kg wody od temperatury 10°C do temperatury 0°C .
3. Było 0°C , gdyż mieszanina lodu i wody, która powstała w wyniku jego stopienia, ma zawsze taką temperaturę.
4. Energia pobrana podczas ogrzewania wody do temperatury wrzenia jest około 1,3 razy większa niż energia potrzebna do stopienia takiej samej masy lodu.
5. Nie stopią się. Podczas kontaktu z ciekłą cyną ołów nie ogrzeje się do temperatury topnienia.

ROZDZIAŁ 23. (s. 173)

1. W wilgotnym powietrzu woda znajdująca się na powierzchni skóry wolniej paruje.
2. Woda parująca z powierzchni skóry pobiera energię i powoduje uczucie chłodu.
3. Około 6,8 razy.
4. Odparuje część wody.
5. $m_p \approx 0,48 \text{ kg}$

ROZDZIAŁ 24. (s. 181)

1. Dach uniemożliwia oddawanie ciepła przez konwekcję.
2. Bardziej skuteczne są żaluzje zewnętrzne. Wewnętrzne również pochłaniają promieniowanie słoneczne, ale ich własne promieniowanie pozostaje w pomieszczeniu.
3. Słabsze, bo nie będzie efektu cieplarnianego.
4. $m_p \approx 3 \text{ g}$
5. $t \approx 64,7^\circ\text{C}$

ROZDZIAŁ 25. (s. 189)

1. $d \approx 0,998 \text{ kg/dm}^3$
2. Około 80%.
3. Około 2000 hPa.
4. Mont Blanc – ok. 84°C , Mount Everest – ok. 72°C .
5. Wysoka wilgotność uniemożliwia odparowanie potu i może nastąpić przegrzanie organizmu.

POWTÓRZENIE DZIAŁU TERMODYNAMIKA (s. 191)

1. C
2. Wyżej podniesie się poziom wody w rurce butelki B. Jednakowa zmiana objętości wody w obu butelkach spowoduje większy wzrost poziomu wody w rurce o mniejszym polu powierzchni przekroju poprzecznego.
3. B 2
4. Człowiek pochłania promieniowanie.
5. A
6. Około 35 ml.
7. 1 F, 2 P, 3 P
8. $m_p \approx 4 \text{ g}$
9. $m_l \approx 30 \text{ g}$
10. D

Tabela 1. Stałe fizyczne i astronomiczne

prędkość światła w próżni	$c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
przyspieszenie ziemskie	$g \approx 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Tabela 2. Przedrostki do wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Przedrostek	Skrót	Mnożnik
peta	P	$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$
tera	T	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$
giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$
kilo	k	$10^3 = 1000$
hekto	h	$10^2 = 100$
deka	da	$10^1 = 10$
–	–	$10^0 = 1$
decy	d	$10^{-1} = 0,1$
centy	c	$10^{-2} = 0,01$
mili	m	$10^{-3} = 0,001$
mikro	μ	$10^{-6} = 0,000\,001$
nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
piko	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$
femto	f	$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$

Tabela 3. Własności fizyczne substancji w warunkach normalnych
(gęstości i temperatura wrzenia podane są dla ciśnienia atmosferycznego)

Substancja	Gęstość $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$	Ciepło właściwe $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$	Temperatura topnienia ($^\circ\text{C}$)	Ciepło topnienia $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$	Temperatura wrzenia ($^\circ\text{C}$)	Ciepło parowania $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$	Prędkość dźwięku $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$	Współczynnik załamania światła
aluminium	2700	900	660	400 000	2270		5100	
alkohol etylowy	800	2400	-114	105 000	78,4	844 000	1160	1,36
benzyna	700	2100	-150		60–120		1160	
beton	1800–2400	840					3800	
cyna	7300	220	232	59000	2430			
drewno	500–800	1500–2400					3700–4800	
dwutlenek węgla	1,98	840					260	
lód	900	2100	0	340 000	100		3230	1,31
miedź	8900	380	1080	210 000	2350		3900	
oliwa	920	2200						1,47
ołów	11300	130	327	30 000	1750		1300	
parafina (ciało stałe)	900	1800	ok. 50	150 000	300			

Substancja	Gęstość $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$	Ciepło właściwe $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$	Temperatura topnienia ($^\circ\text{C}$)	Ciepło topnienia $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$	Temperatura wrzenia ($^\circ\text{C}$)	Ciepło parowania $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$	Prędkość dźwięku $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$	Współczynnik załamania światła
piasek suchy	1500	880	1200–1300					
powietrze	1,29	ok. 1020	ok. –210		ok. –190	200 000	340	1,0003
rtęć	13 600	130	–39	11 000	357	290 000		
srebro	10 500	250	960	110 000	2200			
szkło	2500–2900	820					4000–5500	1,5–1,7
szkło akrylowe (pleksi)	1200	2400						1,5
woda	1000	4200	0	340 000	100	2 260 000	1460	1,33
złoto	19 300	130	1063	63 000	2700			
żelazo	7800	460	1530	270 000	3000		5020	