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.

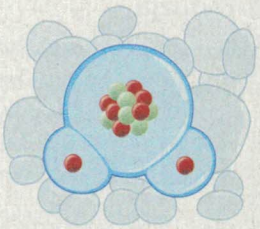
O tym będziesz uczyć się w klasie 3:

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.

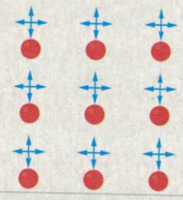
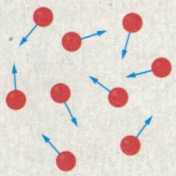
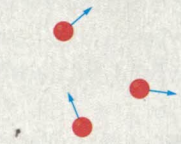


▲ Cząsteczka wody H_2O

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.

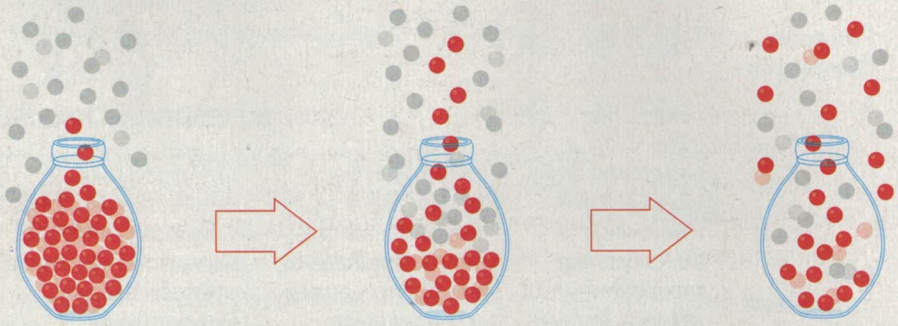
Doświadczenie 1.

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.

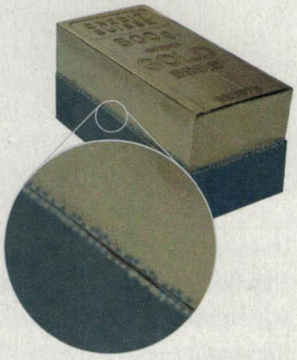
Samorzutne mieszanie się cząsteczek jednej substancji z drugą (wyrównywanie ich stężeń) nazywamy **dyfuzją**.



▲ 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

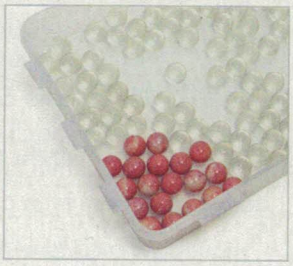
Wyjaśnienie zjawiska dyfuzji

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.

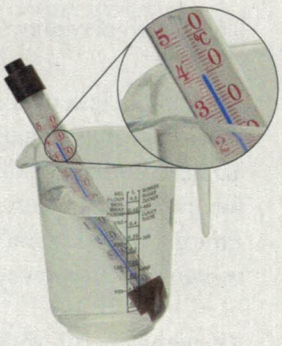
Dyfuzja jest skutkiem chaotycznego ruchu cząsteczek.

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 nieporównanie 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.

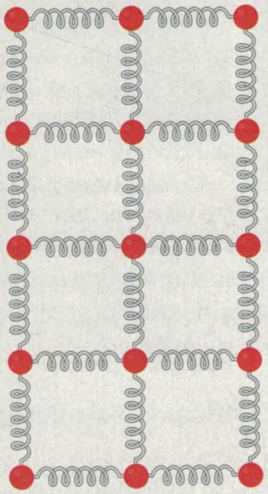
Hel wrze w temperaturze ok. –269°C, tylko o 4°C wyższej od zera bezwzględnego.

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.

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

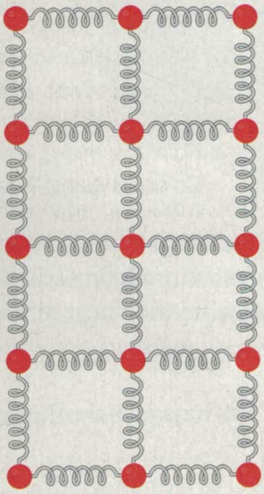
Hel wrze w temperaturze ok. –269°C, tylko o 4°C wyższej od zera bezwzględnego.

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 żmienić 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

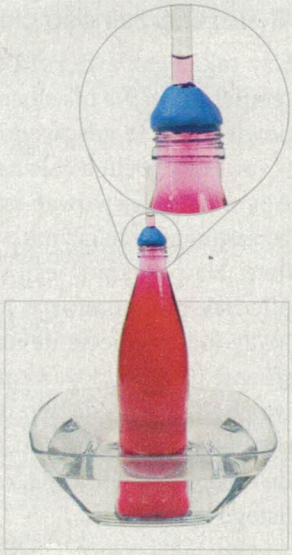
Cele lekcji:

- 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.

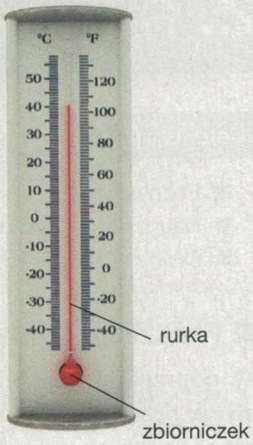
Na skutek wzrostu temperatury cieczy zwiększa się jej objętość. Gdy temperatura spada, objętość cieczy się zmniejsza. To zjawisko nazywamy **objętościową rozszerzalnością cieplną**.

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

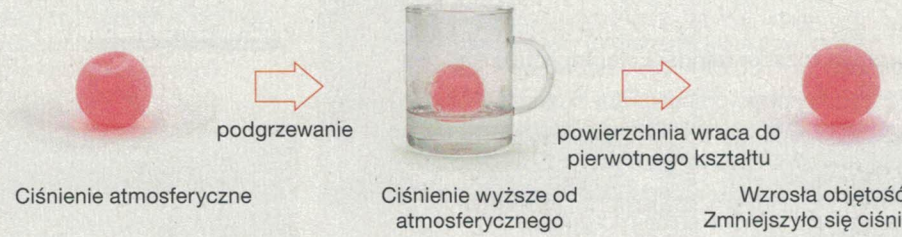
Rozszerzalność cieplna gazu

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

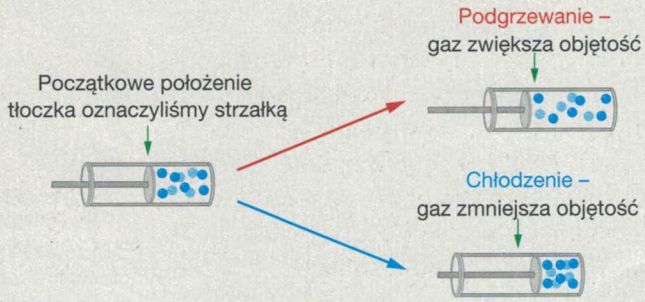
Objętościowa rozszerzalność cieplna gazu polega na zmianie jego objętości przy stałym ciśnieniu.

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

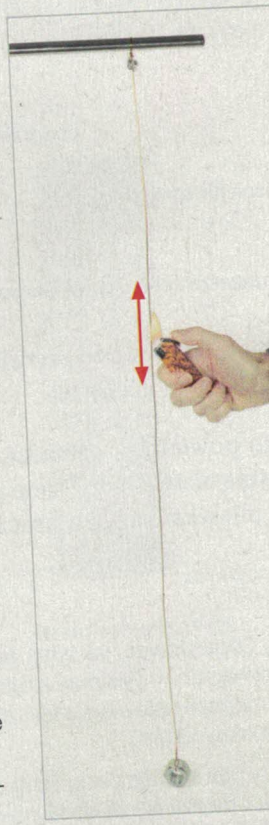
1. Przygotuj przewód miedziany o długości ok. 2 m (najlepiej bez izolacji, ewentualnie emaliowany), ciężką stalową nakrętkę oraz zapalniczkę.

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

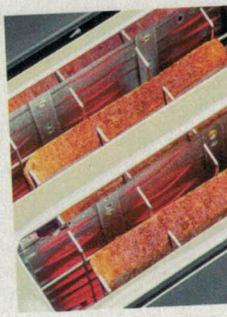
2. Jeden koniec przewodu przywiąż do statywu umieszczonego na dużej wysokości lub np. do żyrandola.
3. Do drugiego końca przewodu przywiąż ciężką stalową nakrętkę. Nakrętka powinna znajdować się ok. 1 mm nad podłogą. Jeśli znajduje się wyżej albo jeśli podłoga jest nierówna, możesz podłożyć książki, 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 grzanek wyraźnie zwi swoją długość podcz 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 $\frac{J}{kg \cdot °C}$. 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 · 4200 J = 21 000 J energii.

Aby ogrzać 5 kg wody o 15°C, potrzeba 15 · 5 · 4200 J = 15 · 21 000 J = 315 000 J = = 315 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 $\left[\frac{J}{kg \cdot °C}\right]$
Gazy*	
Azot	1040
Powietrze	1000
Tlen	920
Wodór	14 000
Ciecze	
Benzyna	2100
Etanol	2400
Olej lniany	1800
Woda	4200

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

Substancja	c $\left[\frac{J}{kg \cdot °C}\right]$
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.

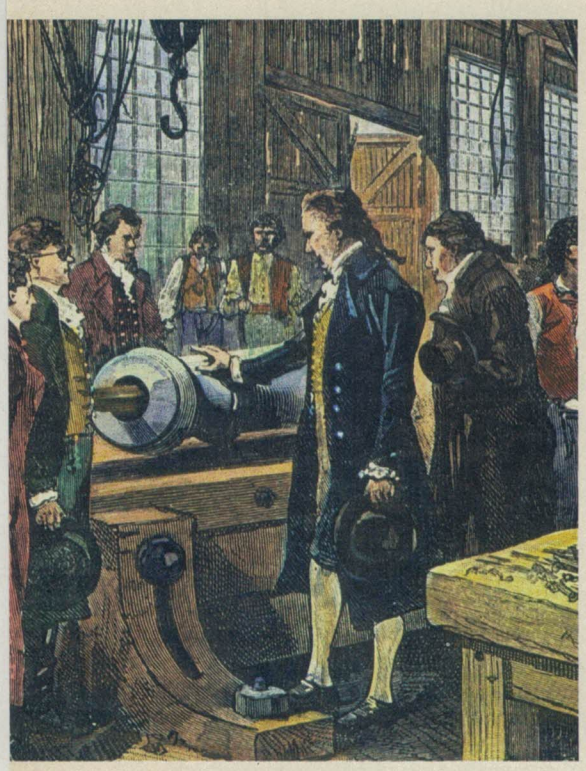
Na przykład, jeśli moc czajnika elektrycznego wynosi 2000 W, to znaczy, że dostarcza on wodzie nalanej do środka energii 2000 J w ciągu 1 s. W takim razie litr wody ogrzejemy w nim o niecałe pół stopnia w ciągu sekundy:

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

Z historii

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?

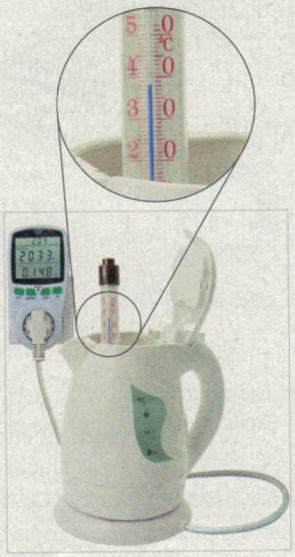
5. O ile stopni podgrzejemy 2 litry wody w czajniku elektrycznym o mocy 1200 W, jeśli włączymy go na minutę?

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.



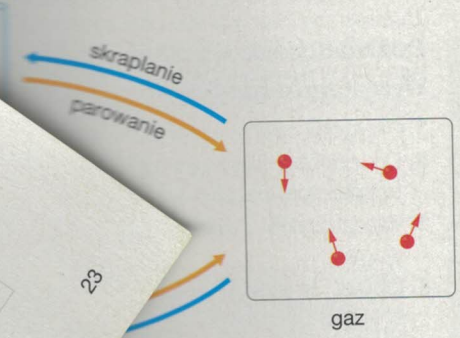
4. Przemiany fazowe

Cele lekcji

- Przypomnieć sobie podstawowe wiadomości o zmianach stanu skupienia ciał.
- Zbadać, jak zachowuje się temperatura lodu podczas topnienia.
- Dowiedzieć się więcej o przekazywanie energii podczas zmian stanu skupienia.
- Dowiedzieć się, dlaczego samoloty zostawiają smugi na niebie.

[illegible] przemian fazowych

[illegible] podstawowego i ze szkoły podstawowej, substancje występujące [illegible] w trzech podstawowych stanach skupienia: stałym, cie- [illegible] stanów skupienia mają swoje nazwy, które przypominamy

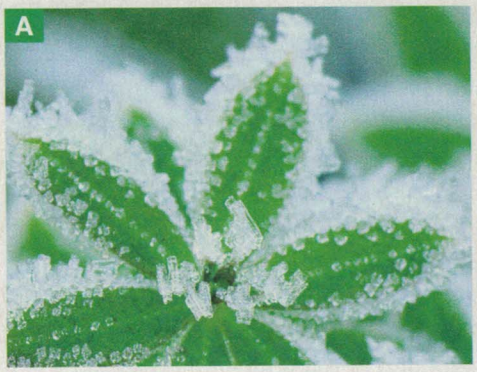


Sadi Carnot

[illegible] opisane na diagramie przemiany noszą

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.

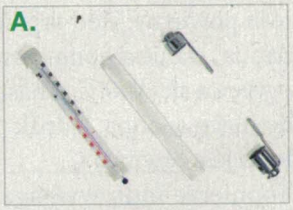
Doświadczenie 4.

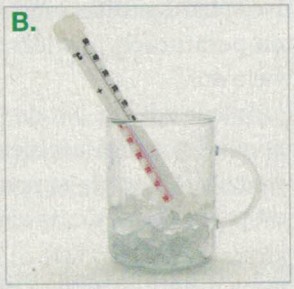
Pomiar temperatury podczas topnienia lodu

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.

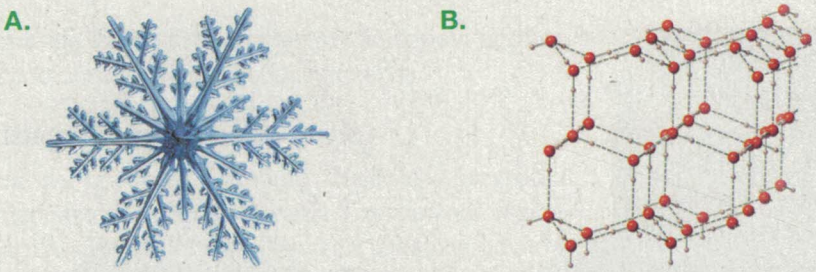
Temperatura wody i lodu a temperatura otoczenia

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

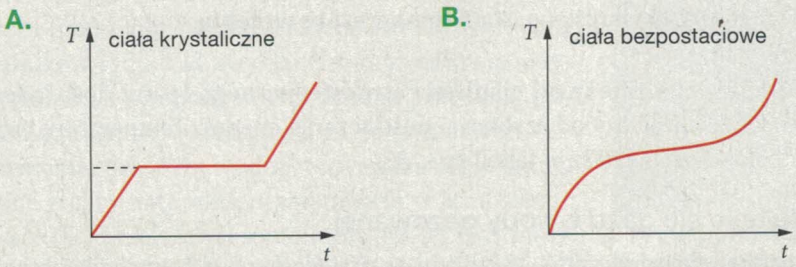
Lód a inne ciała stałe

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.



▲ 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).



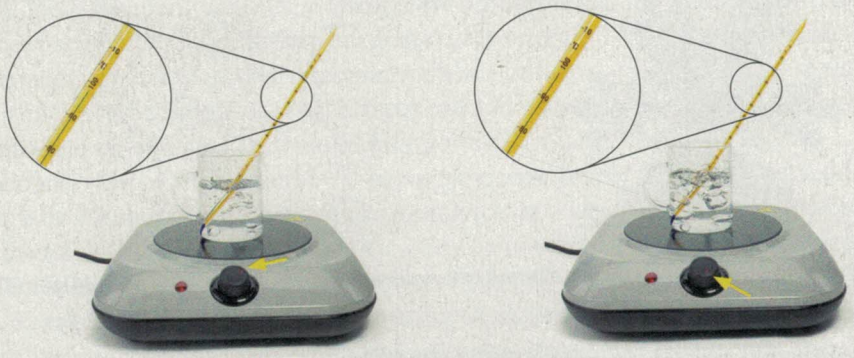
▲ Wykresy zmian temperatury w czasie podgrzewania dla ciał: A. krystalicznych, B. bezpostaciowych

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 wypadł do niej kawałek w przeszłości, wrzeć tak gwałtownie, [illegible]

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.

[illegible] nsacyjne za [illegible] składają się [illegible] kropelek wody, [illegible] jak naturalnie [illegible] tające chmury

[illegible] w temperaturze 0°C. Różni [illegible] naga dostarczania energii, [illegible] chni. W temperaturze 100°C (przy [illegible] rze, czyli paruje w całej objętości. [illegible] ku różnych cieczy i zależy od ciśnienia [illegible] nianie się gazu z napojów, odbywa się szybciej, [illegible] na wielu drobnych zanieczyszczeniach albo

Dlaczego cały dwutlenek węgla zawarty w [illegible] po otwarciu butelki? Otóż pęcherzyki gazu [illegible] ności butelki, a nawet na niejednorodności [illegible] to tworzy się mało pęcherzyków i gaz wydziela się [illegible] dużo drobnych ziarenek, tworzyny [illegible]

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.

▲ Do stopienia lodu potrzebna jest energia z otoczenia

Ciepło topnienia

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

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: $L_t = 334\,000 \frac{J}{kg}$.

Zatem do wody z lodem trzeba dostarczyć energię:

$$E = m_l L_t$$

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

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.

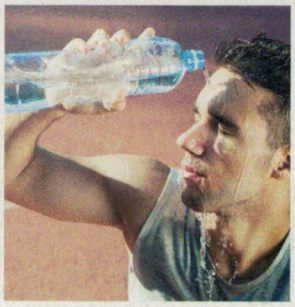
A to ciekawe

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.

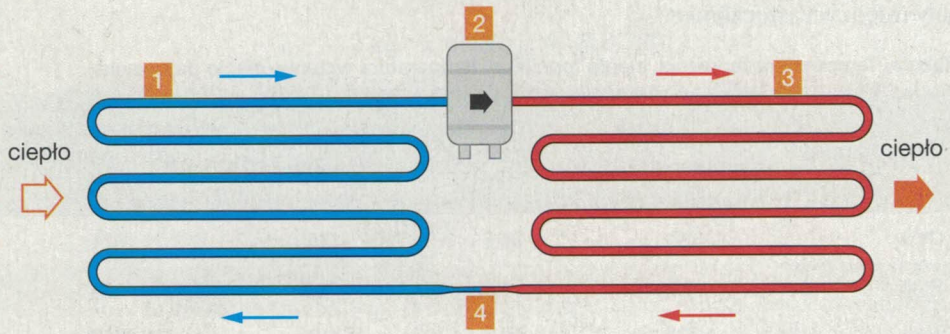
Podczas skraplania wydziela się taka sama ilość energii, jaka jest pochłaniana podczas parowania w tej samej temperaturze.

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 $205\ \frac{kJ}{kg}$, 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?

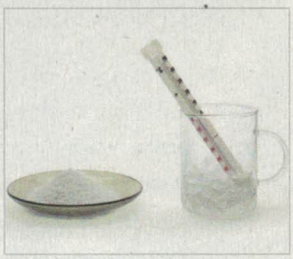
Kilowatogodzina (1 kWh) to energia pobierana przez urządzenie o mocy 1 kW w czasie 1 h.

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:

$m = 2$ kg – masa ołowiu

$T_1 = 20°C$ – temperatura początkowa ołowiu

Szukane:

$E = ?$ – całkowita potrzebna energia

Pozostałe potrzebne wielkości znajdujemy w tablicach:

$T_2 = 327°C$ – temperatura topnienia ołowiu

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

$L_t = 24{,}5 \frac{kJ}{kg}$ – 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:

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

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 w 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 potrzeb

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

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

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

Rozwiązanie: Lód najpierw musi się ogrzać do temperatury topnienia, co w 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 ratura 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 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 wyn

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

SPOSÓB II

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

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

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

$$10\,500 m_l + 334\,000 m_l = 16\,800$$

$$344\,500 m_l = 16\,800$$

$$m_l = 0{,}049$$

Masę wyraziliśmy w kilogramach, a więc $m_l = 0{,}049$ kg = 49 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. $Q_w = Q_g + Q_p$ **C.** $Q_g = Q_w + Q_p$

B. $Q_p = Q_w + Q_g$

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.

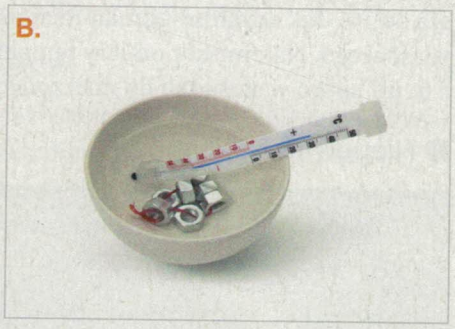
A w jaki sposób zmierzyć ciepło właściwe metalu? Można skorzystać z bilansu cieplnego, gdy rozgrzany metal oddaje ciepło wodzie. Tak postąpimy w doświadczeniu.

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.



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 $T_1 = 21°C$, a nakrętki miały początkowo temperaturę równą temperaturze wrzenia wody, czyli $T_2 = 100°C$. Po wyrównaniu temperatury zarówno woda, jak i nakrętki miały temperaturę $T_3 = 30°C$. 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:

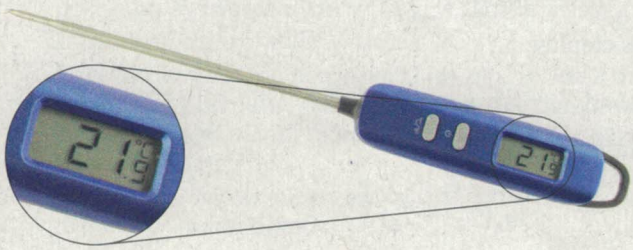
$$c_s = 380\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot{}^\circ\text{C}} \pm 90\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot{}^\circ\text{C}}$$

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.

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



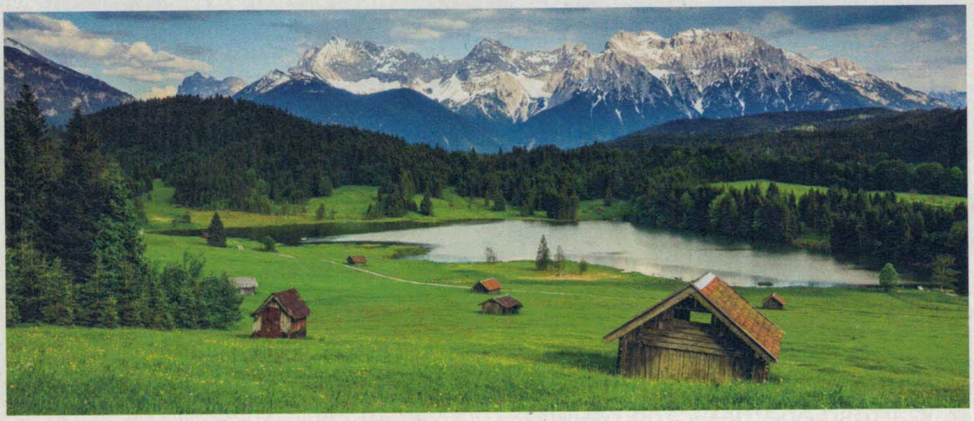
▲ Niepewność pomiaru dla tego termometru cyfrowego wynosi 0,1°C

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

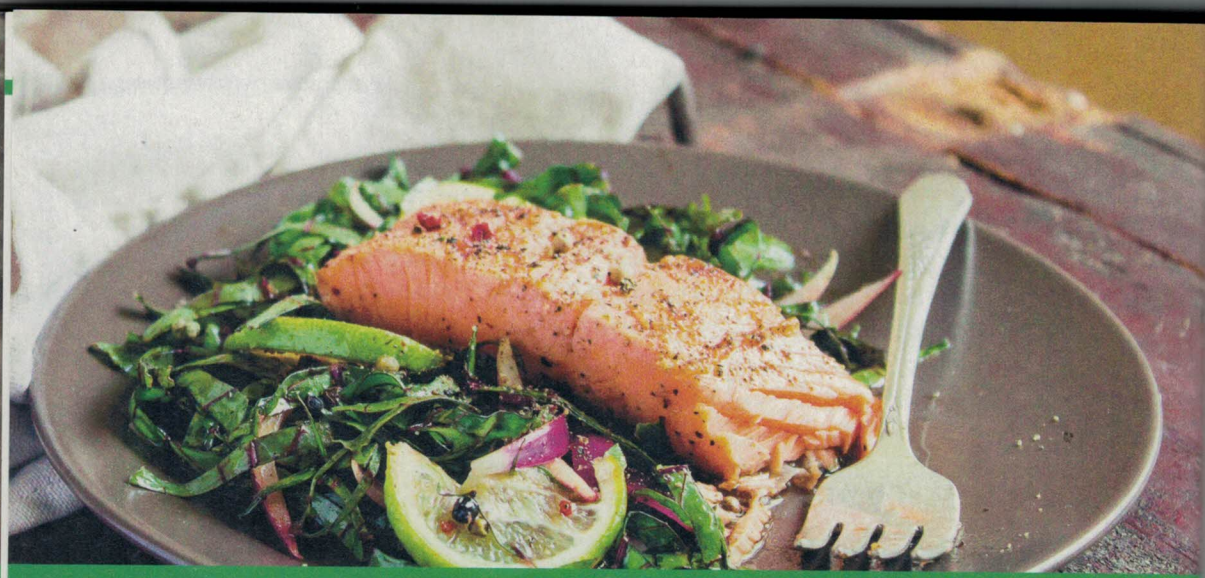
To najważniejsze

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

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:**

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

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 $\left[\frac{kcal}{100\,g}\right]$	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

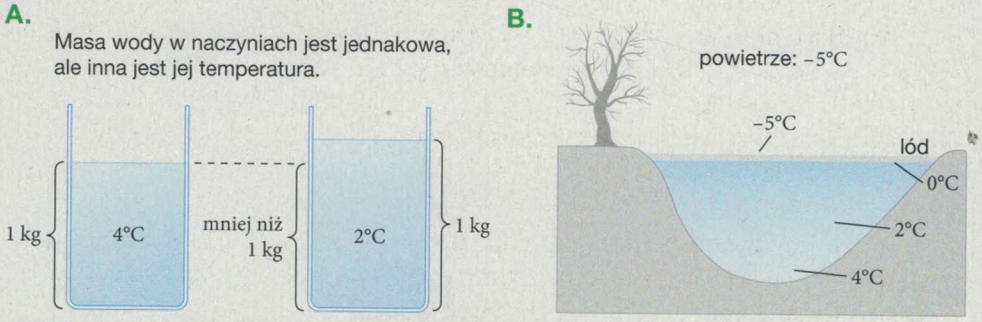
Fakt, że lód pływa po wodzie, wydaje nam się oczywisty. Tymczasem w przypadku większości substancji ciało stałe tonie w powstałej z niego cieczy. Można to łatwo zaobserwować na przykładzie stearyny (patrz zdjęcie). Podobnie np. ołów tonie w stopionym ołowiu, a żelazo – w ciekłym żelazie.

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).

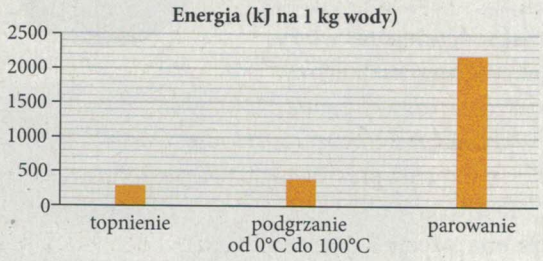


▲ **A.** Skoro ta sama masa wody w temperaturze 2°C zajmuje większą objętość niż w temperaturze 4°C, to znaczy, że ta sama objętość wody w temperaturze 2°C ma mniejszą masę niż przy 4°C.
B. W pobliżu dna głębokiego jeziora woda ma zawsze temperaturę 4°C

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).

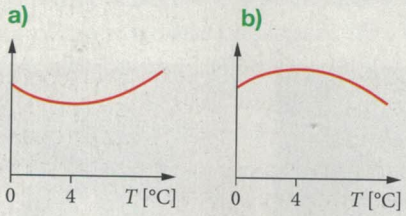
To najważniejsze

- **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?

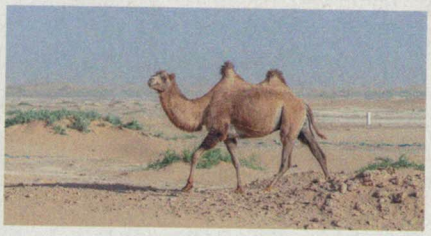


2. Określ, jaka była temperatura na dnie jeziora Wigry:

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 $\frac{J}{kg \cdot °C}$, masa zwierzęcia to ok. 500 kg, a ciepło parowania wody w temperaturze między 35°C a 40°C to ok. 2,4 $\frac{MJ}{kg}$.

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.

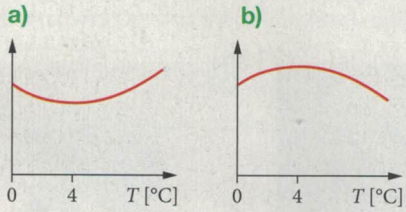
To najważniejsze

- **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?

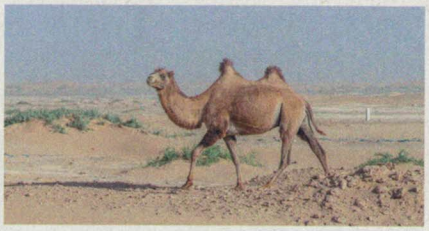


2. Określ, jaka była temperatura na dnie jeziora Wigry:

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.

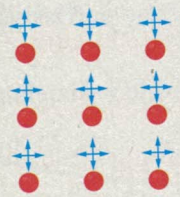
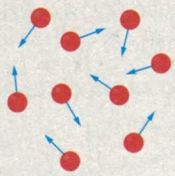
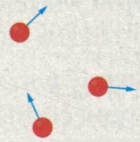


Przyjmij, że średnie ciepło właściwe ciała wielbłąda wynosi 3400 $\frac{J}{kg \cdot °C}$, masa zwierzęcia to ok. 500 kg, a ciepło parowania wody w temperaturze między 35°C a 40°C to ok. 2,4 $\frac{MJ}{kg}$.

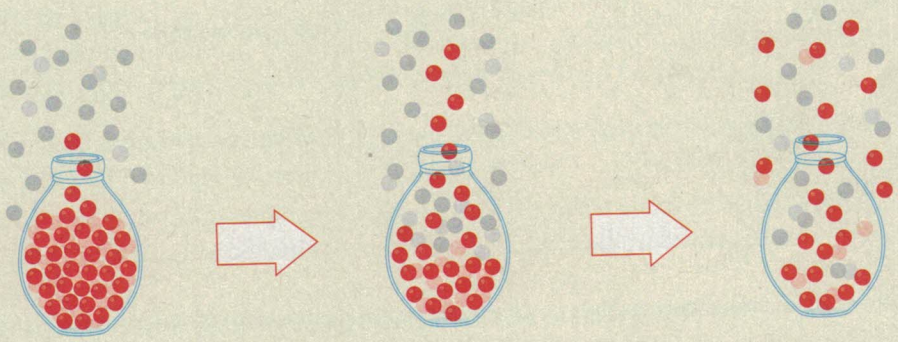
4. Znajdź informację o średniej temperaturze stycznia i średniej temperaturze lipca dla czterech miast: Szczecina, Suwałk, Przemyśla i Wrocławia. Zapisz, z jakich źródeł korzystasz. Przeanalizuj różnice między tymi wielkościami i spróbuj je wyjaśnić na podstawie wiadomości z tej lekcji.

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.

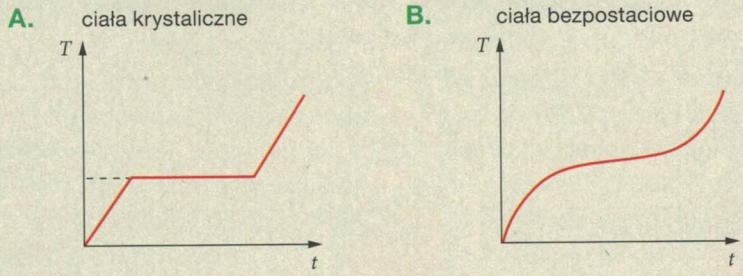
- **Ciepło właściwe** to wielkość, która określa energię potrzebną do ogrzania 1 kg substancji o 1°C. Wyrażamy je w $\frac{J}{kg \cdot °C}$.
  - **Energię potrzebną do ogrzania ciała** oraz **energię wydzielaną podczas jego stygnięcia** obliczamy ze wzoru:

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

energia, masa ciała, ciepło właściwe, zmiana temperatury

$4200 \frac{J}{kg \cdot °C}$ → 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

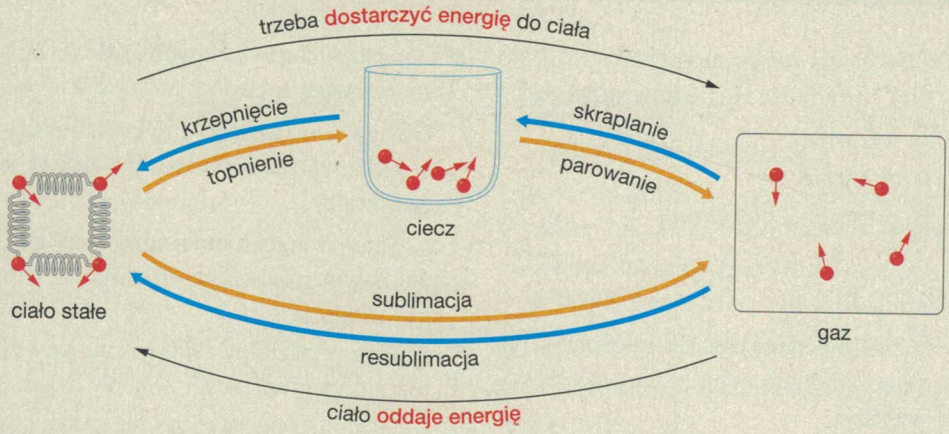
- W czasie **topnienia lodu** temperatura jest stała i wynosi 0°C, jednak aby topnienie następowało, trzeba do lodu **dostarczać energii**.
  - Woda **krzepnie** (zamarza) w tej samej temperaturze 0°C, jednak aby krzepnięcie następowało, **energia** musi być z wody **odbierana**.
  - Z innymi ciałami 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).



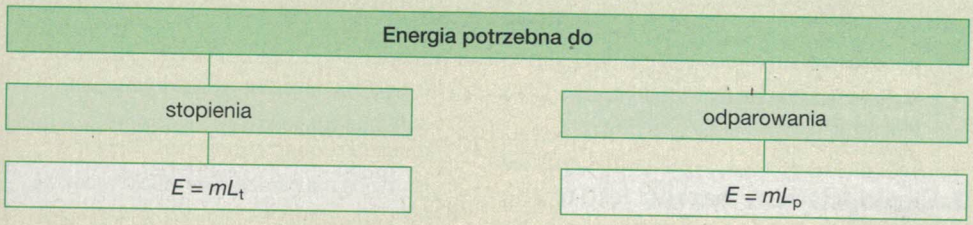
▲ Wykresy zmian temperatury w czasie podgrzewania dla ciał krystalicznych (A) i bezpostaciowych (B)

- 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 $\frac{J}{kg}$.



- **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 $\frac{J}{kg}$. Dla paliw płynnych i gazowych Q_w często określamy w odniesieniu do objętości a nie masy i wówczas jednostką jest $\frac{J}{l}$ lub $\frac{J}{m^3}$.
  - Podobnie definiujemy **wartość energetyczną żywności**. Tradycyjnie wyraża się ją w $\frac{kcal}{100\,g}$, 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 $\frac{J}{kg \cdot °C}$. 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 $\frac{J}{kg}$. 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 d
sów zjawisk A–E.

Uwaga. Do niektórych zjawisk
je kilka właściwości wody – ws
wszystkie.

A. Śnieg w górach może leżeć doś
go, nawet gdy temperatura pow
jest dodatnia.

B. Gdy wyjdziemy z wody, czuje
jest nam zimno, nawet w ciepły d

C. Głębokie jeziora nigdy nie zam
do dna.

D. W gorący dzień bardziej się po

E. W pobliżu dużych zbiorników
nych i na obszarach, gdzie jest du
ślinności, różnica temperatury m
dniem a nocą jest znacznie mniejs
na pustyni.

I. Lód ma mniejszą gęstość niż woda

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

III. Woda ma bardzo duże ciepło właś

IV. Lód ma bardzo duże ciepło topni

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 $\frac{MJ}{l}$. 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.

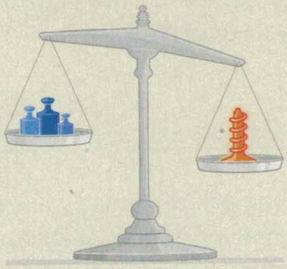
5. Do 100 g wody o temperaturze 10°C wrzucono rozgrzany kawałek stali o masie 50 g. Po wyrównaniu temperatury wody i stali okazało się, że woda podgrzała się do 15°C. Jaka była początkowa temperatura stali?

6. Wartość opałowa gazu ziemnego wynosi 34 $\frac{MJ}{m^3}$. 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 $\frac{MJ}{m^3}$. 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.

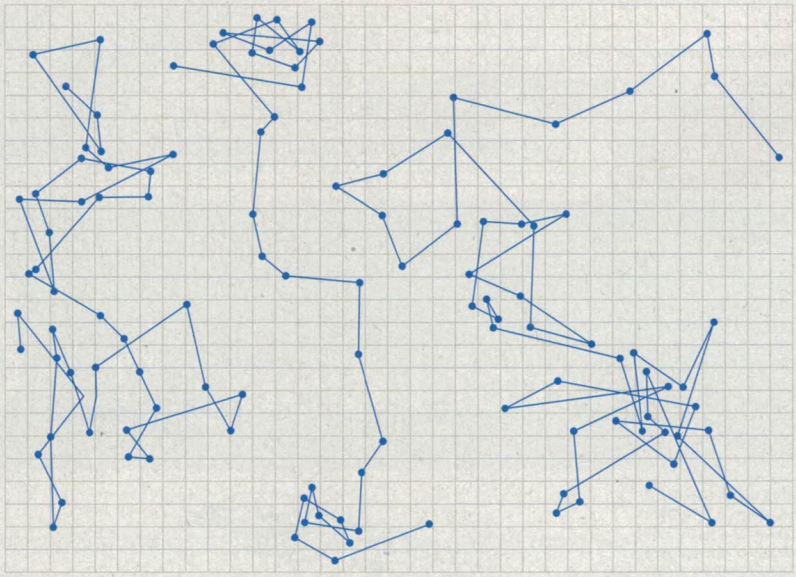
Wprowadzenie

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