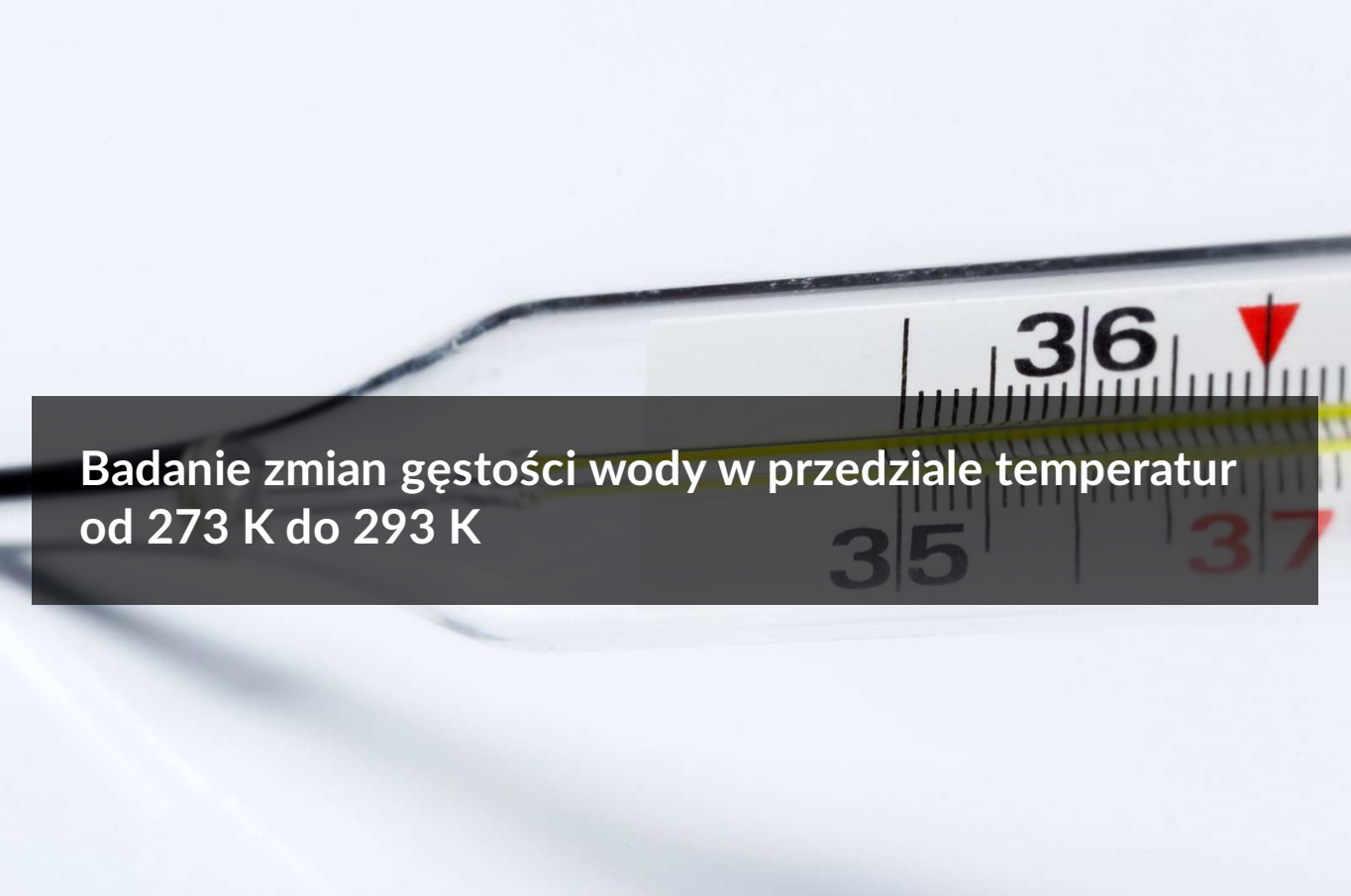




Badanie zmian gęstości wody w przedziale temperatur od 273 K do 293 K

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Wirtualne laboratorium \(WL-S\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Badanie zmian gęstości wody w przedziale temperatur od 273 K do 293 K

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.istockphoto.com/pl/zdjecie/termometr-rtciowy-wyzolowany-na-biazym-tle-gm1143546621-307140787> [dostęp 10.03.2022].

Czy to nie ciekawe?

Woda wyróżnia się spośród innych substancji nietypowymi właściwościami. Jedną z nich jest anomalna rozszerzalność cieplna wody (Rys. a.). Objętość wody nie zawsze zwiększa się ze wzrostem temperatury – czasami maleje. Zbadaj to zjawisko w naszym wirtualnym laboratorium.

Jeśli chcesz się dowiedzieć więcej o wodzie, bez której nie byłoby życia na naszej planecie, zajrzyj do materiałów pt. *Woda z punktu widzenia mikroświata* oraz *Szczególne własności wody*.



Rys. a. Czy wiesz, że gęstość wody jest największa w temperaturze 4°C?

Źródło: dostępny w internecie: <https://pxhere.com/en/photo/1218978> [dostęp 10.03.2022].

Twoje cele

Dzięki lekturze tego materiału:

- poznasz pojęcie współczynnika rozszerzalności objętościowej cieczy,
- wyjaśnisz, na czym polega anomalna rozszerzalność cieplna wody,
- zaplanujesz doświadczenie mające na celu zbadanie zmian gęstości wody w przedziale temperatur od 0°C do 20°C,
- przeprowadzisz wirtualny eksperyment, w którym wykażesz, że woda ma największą gęstość w temperaturze 4°C.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Rozszerzalność objętościowa typowych cieczy

Gęstość cieczy to iloraz jej masy do zajmowanej przez nią objętości:

$$d = \frac{m}{V}.$$

Objętość zajmowana przez ciecz zależy od **temperatury**. Dla większości substancji (nie tylko cieczy, bo również dla ciał stałych i gazów) zwiększa się ona wraz z temperaturą. Zjawisko to nazywamy rozszerzalnością cieplną (zob. materiał pt. *Na czym polega zjawisko rozszerzalności objętościowej cieczy?*).

Rozszerzalność objętościową cieczy charakteryzuje **współczynnik rozszerzalności objętościowej**. Jest on zdefiniowany jako względna zmiana objętości $\frac{\Delta V}{V_0}$ odniesiona do zmiany temperatury o 1 K:

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t},$$

gdzie V_0 to objętość początkowa, ΔV – zmiana objętości, a Δt – zmiana temperatury. Jednostką współczynnika rozszerzalności objętościowej jest odwrotność jednostki temperatury w układzie SI, czyli K^{-1} .

Jeśli przedstawimy ΔV jako różnicę między objętością końcową i początkową,

$$\Delta V = V - V_0,$$

po kilku przekształceniach, wykorzystując definicję współczynnika rozszerzalności cieplnej (2), dostaniemy wzór opisujący, w jaki sposób objętość substancji zależy od zmiany temperatury:

$$V = V_0(1 + \alpha \Delta t).$$

Zauważmy teraz, że skoro wraz z temperaturą zmienia się objętość cieczy, to zmianie ulega także jej gęstość. Oznaczmy przez d_0 początkową gęstość cieczy, a jej początkową objętość przez V_0 . Wtedy

$$d_0 = \frac{m}{V_0}.$$

Gdy temperatura wzrośnie o Δt , gęstość będzie równa

$$d = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_0(1 + \alpha \Delta t)} = \frac{d_0}{(1 + \alpha \Delta t)}.$$

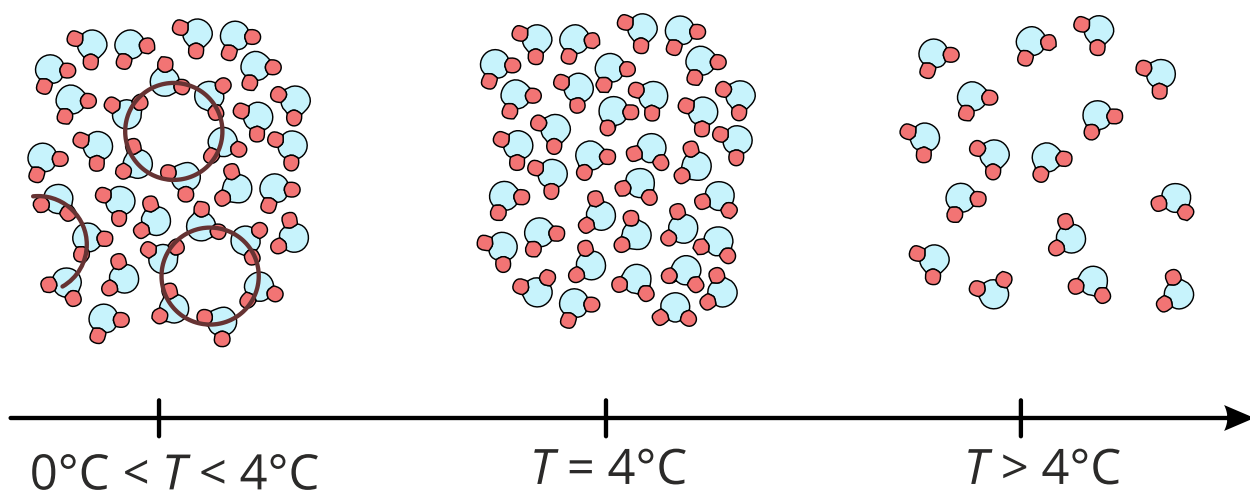
Ponieważ liczniku tego wyrażenia jest większy od jedności wnioskujemy, że **gęstość typowych cieczy maleje wraz ze wzrostem temperatury**.

Anomalna rozszerzalność objętościowa wody

Ważne!

Dla większości cieczy, wraz ze wzrostem temperatury, objętość rośnie, a gęstość maleje. Woda stanowi wyjątek.

Gdy w warunkach **normalnego ciśnienia** temperatura wody zmniejsza się od 100°C do 4°C , jej objętość maleje, a gęstość zwiększa się tak, jak dla innych cieczy. Poniżej temperatury 4°C cząsteczki wody tworzą złożone struktury (Rys. 1.), które zajmują więcej miejsca niż pojedyncze, nieoddziałujące ze sobą (lub słabo oddziałujące) cząsteczki. W rezultacie, gdy temperatura spada poniżej 4°C , objętość wody zwiększa się. Najmniejszą objętość i największą gęstość woda osiąga w temperaturze 4°C .

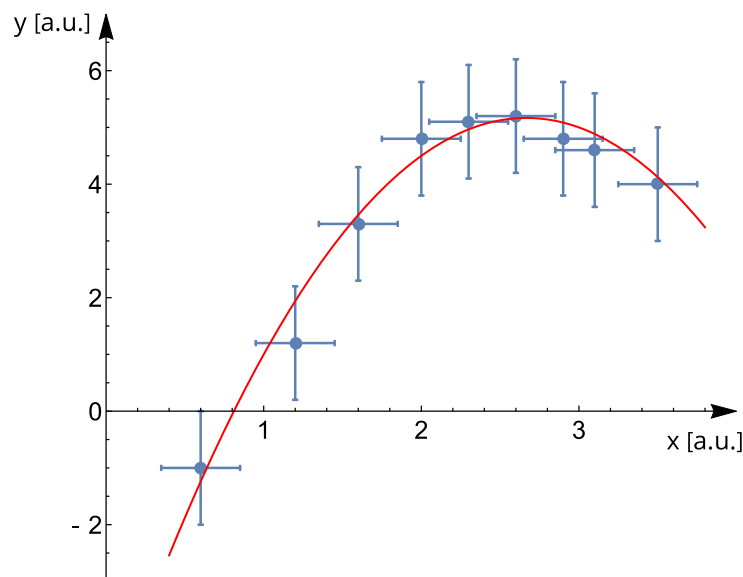


Rys. 1. W przedziale temperatur od 100°C do 4°C oddziaływanie między cząsteczkami wody polega głównie na wymianie energii kinetycznej podczas ich wzajemnych zderzeń. W tym zakresie temperatur, w miarę spadku temperatury, średnia energia kinetyczna cząsteczek wody maleje i maleją też odległości międzycząsteczkowe, co prowadzi do wzrostu gęstości wody. **W temperaturze równej 4°C sytuacja zmienia się.** W zakresie temperatur od 0°C do 4°C wiązania wodorowe, które tworzą się między cząsteczkami wody, powodują powstawanie nietrwałych struktur, w których między cząsteczkami występuje dużo wolnej przestrzeni. Struktury te na rysunku zaznaczono czarnymi kółkami. W miarę spadku temperatury od 4°C do 0°C struktury te stają się coraz bardziej stabilne. W efekcie gęstość wody maleje. W końcu, w temperaturze 0°C woda zamienia się w lód.

Wyobraź sobie, że Twoim zadaniem jest wykonanie pomiarów gęstości d wody w przedziale temperatur t od 0°C do 20°C . Przy stałej ilości (a więc i masie) wody należy zmierzyć jej objętości w różnych temperaturach z tego przedziału. Tu nasuwają się pytania: Dla ilu wartości temperatur należy wykonać pomiary? Jak gęsto wartości te mają pokrywać zadany

przedział? Odpowiedzi na te pytania zależy od tego, jaką zależność $d(t)$ spodziewany się zaobserwować.

Popatrzmy na Rys. 2. Przedstawiono na nim przykładową zależność wielkości y od wielkości x . Aby doświadczalnie wyznaczyć tę zależność zmierzono wartości wielkości y dla ośmiu wartości x , a wyniki pomiarów (tzw. punkty pomiarowe) przedstawiono na wykresie (zob. materiały pt. *Jak prawidłowo konstruować wykresy?* oraz *Przedstawianie niepewności pomiarowych w formie graficznej*). Zauważ, że wybrane wartości x , przy których dokonano pomiaru wcale nie leżą w równych odległościach. W pierwszej części funkcja stale rośnie, dlatego tam, aby określić przebieg zależności $y(x)$, wystarczą większe odległości między punktami pomiarowymi. W pobliżu maksimum należy wykonać więcej pomiarów, by prawidłowo oddać charakter badanej zależności. W pobliżu maksimum różnice między wartościami x dla kolejnych punktów pomiarowych powinny być mniejsze.



Rys. 2. Wykres doświadczalnie uzyskanej zależności $y(x)$. Punkty pomiarowe nie są równomiernie rozłożone wzdłuż czerwonej krzywej, którą do nich dopasowano. Więcej pomiarów wykonano w pobliżu maksimum zależności $y(x)$. Na wykresie, oprócz punktów pomiarowych, zaznaczono też ich niepewności standardowe: $u(x)=0,25$ oraz $u(x)=1$, w postaci odcinków niepewności o długościach równych odpowiednio: $2 \cdot u(x)$ i $2 \cdot u(y)$. Przedstawione na wykresie wielkości podano w jednostkach [a.u.] (od ang. *arbitrary units*).

A co, jeśli nie znamy przebiegu badanej zależności i nie wiemy czego oczekiwać? W takim przypadku należy podzielić badany przedział na równe odcinki i wykonać wstępne pomiary. Gdy okaże się, że w badanej zależności występuje minimum lub maksimum lub z innego powodu nie jesteśmy pewni przebiegu wykresu, należy po prostu wykonać dodatkowe pomiary.

W przypadku badania anomalnej rozszerzalności objętościowej wody w zakresie temperatur od 0°C do 20°C, przedziałem temperatur, w którym należy zwiększyć gęstość punktów pomiarowych jest przedział od 2°C do 6°C, ponieważ to dla temperatury ok. 4°C spodziewamy się uzyskać maksimum gęstości. Dla wyższych temperatur różnice między kolejnymi temperaturami mogą być większe.

Słowniczek

ciśnienie normalne

(ang.: *standard pressure*) – ciśnienie wynoszące 101 325 Pa (średnie ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza).

temperatura

(ang.: *temperature*) miara średniej energii kinetycznej cząsteczek ciała.

Wirtualne laboratorium (WL-S)

Wirtualne Laboratorium Fizyki

Doświadczenie 1

Wyznaczenie temperatury, w której gęstość wody jest największa

Problem badawczy

W jakiej temperaturze z zakresu od 0 °C do 20 °C gęstość wody jest największa?

Hipoteza

Ćwiczenie 1

Postaw swoją hipotezę wpisując liczbę w poniższym zdaniu.

Gęstość wody jest największa w temperaturze °C.

Co będzie potrzebne

Zapoznaj się z wyposażeniem, instrukcją obsługi i działaniem wirtualnego laboratorium. To jest propozycja dobrania sprzętu w celu wykonania naszego doświadczenia, ale w realnych warunkach możesz uczynić to w inny sposób. Wykonaj ćwiczenie dotyczące różnych wariantów wyposażenia laboratorium.

Ćwiczenie 2

W wyznaczone miejsca wstaw poprawne zwroty lub wyrazy.

Gdyby butelka używana do doświadczenia nie miała pojemności, która jest liczbą całkowitą wyrażoną w litrach (u nas – dokładnie 5 l) to nie doświadczenia.

Gdyby tworzywo, z którego wykonana jest butelka miało duży współczynnik rozszerzalności cieplnej, to nie doświadczenia.

Kształt przekroju poprzecznego rurki zamontowanej w korku (kwadratowy lub okrągły) ma znaczenie w doświadczeniu.

Zbyt wąska rurka zamontowana w korku spowodowałaby, że wpływałaby za dużo na wynik doświadczenia.

Zbyt szeroka rurka zamontowana w korku spowodowałaby, że wpływałaby za dużo na wynik doświadczenia.

W odróżnieniu od naszego wirtualnym laboratorium, w realnych warunkach doświadczalnych reakcja na regulację temperatury byłaby .

przy obliczeniach

szybsza

taka sama

przeszkodziłoby to w wykonaniu

można by było przeprowadzić

lepkość wody

wolniejsza

fundamentalne

niedokładność pomiaru

Instrukcja

Zaplanuj doświadczenie, które pozwoli na zweryfikowanie hipotezy badawczej. Plan pracy wpisz do dziennika.

Następnie wykonaj doświadczenie według swojego planu. Jeśli będziesz potrzebować miejsca do wpisania sposobu przeprowadzenia eksperymentu i wyniku końcowego – użyj formularza „**Obserwacje**”. Jeśli będziesz przeprowadzać serię pomiarów – wykorzystaj tabelę „**Wyniki pomiarów**”, którą należy wcześniej przygotować wpisując nagłówki kolumn wraz z jednostkami wielkości fizycznych. Nie musisz wykorzystać wszystkich kolumn.

Dziennik doświadczenia 1.

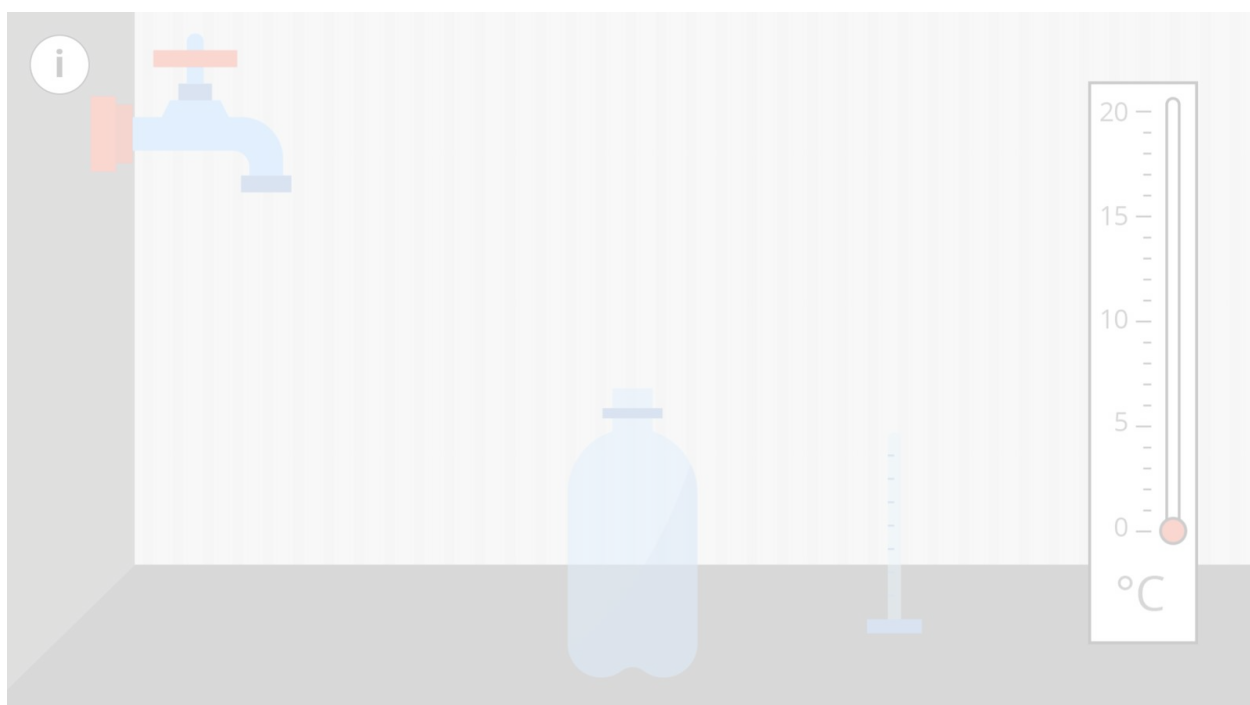
Plan pracy

Obserwacje

Wyniki pomiarów

--	--	--	--	--

--	--	--	--	--



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D3nj9MZ21>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Podsumowanie

Polecenie 1

Opracuj wyniki pomiarów i wpisz do formularza zwięzły raport z przeprowadzonego doświadczenia. Zawrzyj w nim między innymi informację, czy Twoja hipoteza badawcza potwierdziła się.

Nie możemy odpowiedzieć Ci, jak podsumować wyniki eksperymentu, gdyż nie wiemy, na który z wielu możliwych sposobów działania padł Twój wybór. Możemy tylko zasugerować, by wykorzystać informacje zawarte w e-materiałach dotyczących niepewności pomiarowych wielkości mierzonych bezpośrednio i pośrednio oraz przedstawiania zależności w formie graficznej.

Doświadczenie 2

Wykres zależności gęstości wody od temperatury

Problem badawczy

Sporządzić wykres zależności gęstości wody od temperatury w zakresie od 0 °C do 20 °C i przeanalizować jego charakter.

Hipoteza

Z poprzedniego doświadczenia wiadomo, w jakiej temperaturze gęstość wody jest największa. Postaw więc hipotezę dotyczącą charakteru badanej zależności. Wykonując poniższe polecenie sformułujesz swoją własną hipotezę badawczą, składającą się z dwóch części.

Ćwiczenie 3

Moja hipoteza badawcza jest następująca.

W zakresie temperatur od 0 °C do 8 °C wykres symetryczny względem pionowej osi przechodzącej przez jego maksimum.

W zakresie temperatur od 8 °C do 20 °C wykres przebiega .

Co będzie potrzebne

Wprawdzie w doświadczeniu będziesz używać tych samych przyrządów, co poprzednio, ale pouczające będzie wykonanie poniższego ćwiczenia.

Ćwiczenie 4

Sporządź i wpisz do formularza listę proponowanych przez Ciebie modyfikacji w wyposażeniu laboratorium do wyznaczania zależności gęstości wody od temperatury. Puść wodze fantazji – możesz uwzględnić zarówno te urządzenia, które pozwolą na dokładniejsze pomiary jak i takie, które po prostu ułatwią Ci pracę. Naszą propozycję znajdziesz w podpowiedzi, ale z pewnością Twoja lista będzie ciekawsza...

Instrukcja

Polecenie 2

Zaplanuj samodzielnie przeprowadzenie eksperymentu realizującego problem badawczy. Weź pod uwagę swoje doświadczenia z poprzedniego eksperymentu, porady zamieszczone w części „Przeczytaj” oraz w materiale „Przedstawianie niepewności pomiarowych w formie graficznej”. Pamiętaj, że gęstość wody jest wielkością mierzoną pośrednio, co określa sposób wyznaczania jej niepewności pomiarowej.

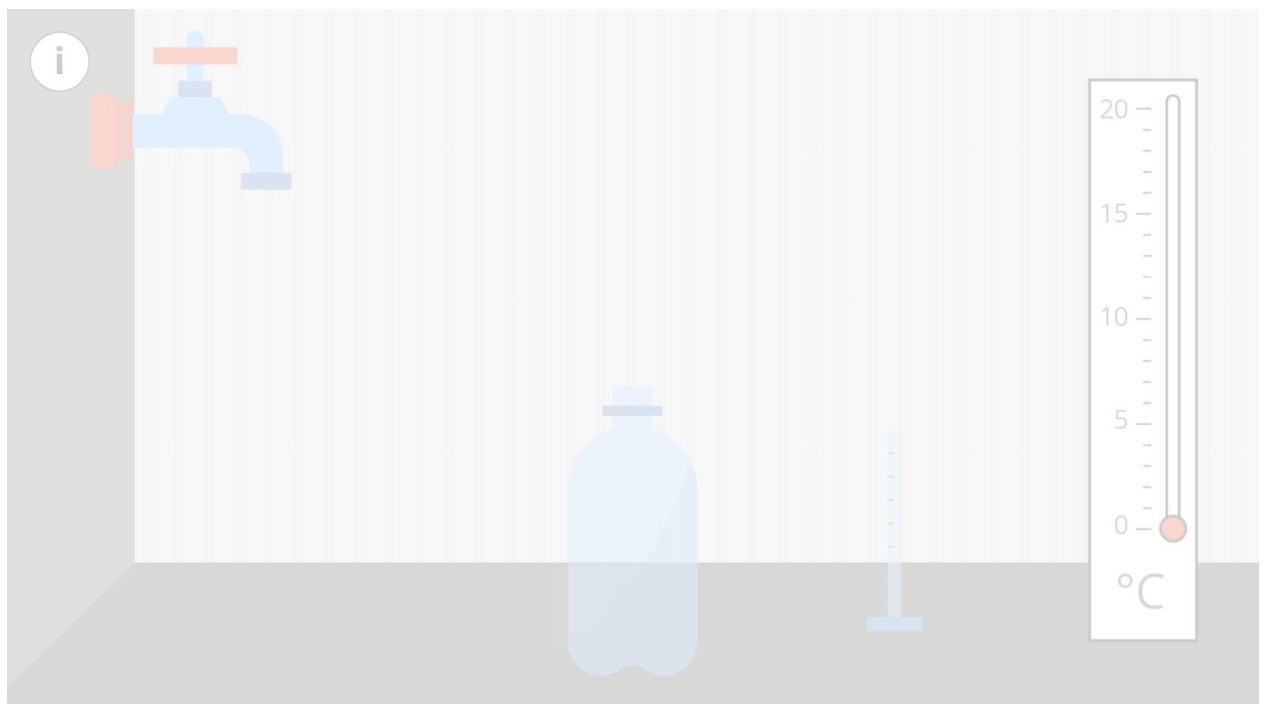
Przed napisaniem ostatecznej wersji planu pracy, wykonaj próbną serię pomiarów i rozstrzygnij ewentualne problemy techniczne związane przeprowadzeniem eksperymentu, na przykład: *Jak napełnić butelkę wodą, by możliwy był pomiar w całym zakresie temperatur?*

Przygotuj dziennik doświadczenia. Wpisz plan pracy oraz nagłówki kolumn tabeli pomiarów. Pamiętaj o podaniu jednostek wielkości fizycznych. Nie musisz wykorzystać wszystkich kolumn.

Dziennik doświadczenia 2.

Plan pracy

Wyniki pomiarów



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D3nj9MZ21>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

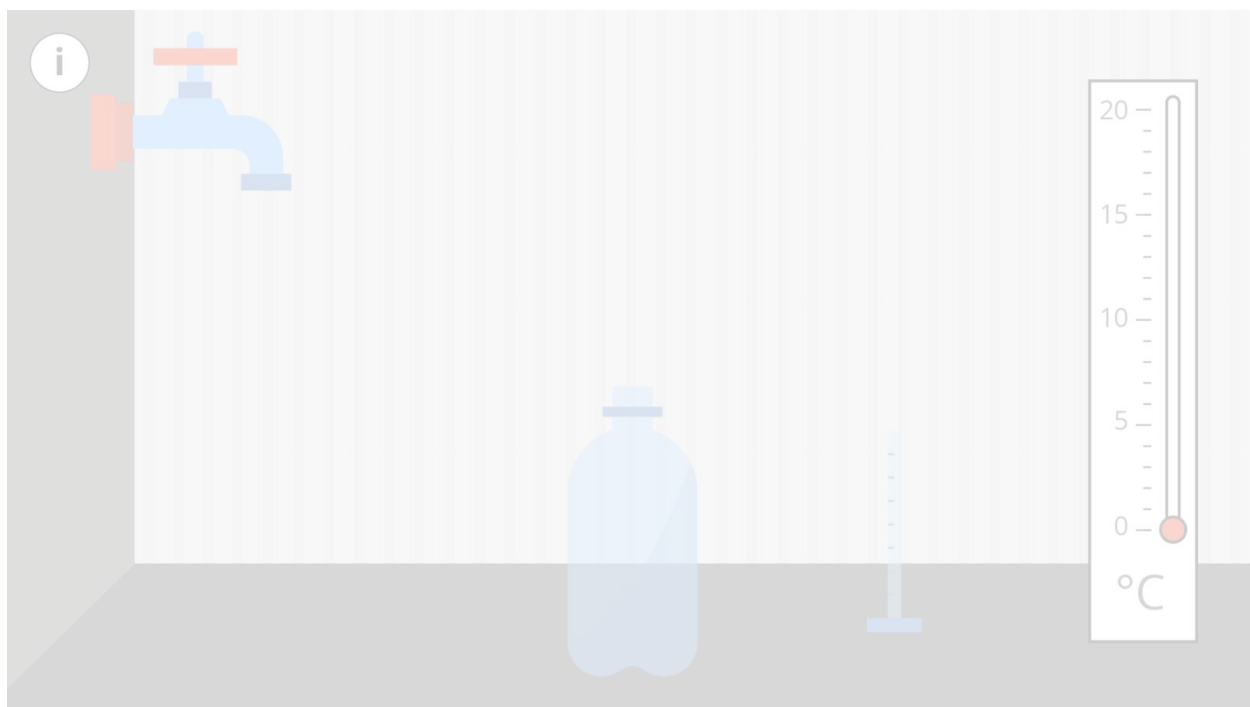
Podsumowanie

Polecenie 3

Opracuj wyniki doświadczenia – sporządź wykres zależności gęstości wody od temperatury na papierze lub za pomocą programu komputerowego, jeśli nim dysponujesz. Pamiętaj o zaznaczeniu odcinków niepewności pomiarowych. Do formularza poniżej wpisz zwięzły raport z doświadczenia, który będzie zawierał między innymi informację, czy Twoja hipoteza badawcza potwierdziła się.

Polecenie 4

Zaplanuj i przeprowadź doświadczenie potwierdzające anomalną rozszerzalność objętościową wody w przedziale temperatur od 0°C do 20°C .



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D3nj9MZ21>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Polecenie 5

Zastanów się, czy lepiej jest zacząć pomiary od największej, czy od najmniejszej temperatury?

Polecenie 6

Zastanów się, jakie są źródła niepewności pomiarowych w tym doświadczeniu. Oszacuj te niepewności podając niepewności graniczne wielkości mierzonych bezpośrednio.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Uzupełnij zdanie:

W typowych cieczech, gdy temperatura rośnie, objętość /
 / , ponieważ ich cząsteczki poruszają się coraz
 / .

Ćwiczenie 2



Uzupełnij zdanie:

Gdy temperatura wody maleje od 4°C do 0°C jej objętość /
 / , ponieważ cząsteczki wody
 /
 .

Ćwiczenie 3



Wybierz prawdziwe stwierdzenie:

- ☐ Gęstość wody jest najmniejsza w temperaturze 4°C.
- ☐ Gęstość wody jest największa w temperaturze 4°C.
- ☐ Gęstość wody jest największa w temperaturze 0°C.
- ☐ Gęstość wody jest najmniejsza w temperaturze 0°C.

Ćwiczenie 4



Zimą, gdy temperatura powietrza spadła poniżej zera, wykonano pomiary temperatury wody w jeziorze na różnych głębokościach i otrzymano wyniki, które w losowej kolejności podano poniżej. Uszereguj te wyniki od warstwy najgłębszej do najpłytszej.

1°C



4°C



3°C



0°C



Ćwiczenie 5



Wykonano pomiary temperatury wody w jeziorze na różnych głębokościach i otrzymano wyniki, które w losowej kolejności podano poniżej. U szereguj te wyniki od warstwy najgłębszej do najpłytszej.

20°C



10°C



6°C



13°C



Ćwiczenie 6



Studenci Wydziału Fizyki PW badali anomalną rozszerzalność objętościową wody w zakresie temperatur od 0°C do 20°C. Pomiary rozpoczęli od najniższej temperatury 0°C, w której objętość wody wynosiła 12 m³, a zakończyli w temperaturze 20°C, gdy objętość wody była o 19,7 litrów większa. Korzystając z tych pomiarów wyznacz gęstość wody w temperaturze 20°C. Załóż, że w temperaturze 0°C wynosi ona 999,841 kg/m³. Wynik podaj z taką samą dokładnością, z jaką podana jest gęstość w temperaturze 0°C.

Odpowiedź:

W temperaturze 20°C gęstość wody wynosi kg/m³.

Ćwiczenie 7



Przeanalizuj wzór na współczynnik rozszerzalności cieplnej i odpowiedz, jaki jest znak tego współczynnika dla wody w zakresie temperatur od 0°C do 4°C oraz w zakresie temperatur od 15°C do 20°C.

Ćwiczenie 8



Oblicz średni współczynnik rozszerzalności cieplnej wody w zakresie temperatur od 0°C do 3°C oraz w zakresie temperatur od 0°C do 4°C. W tabeli podano gęstości wody w temperaturze 0°C, 3°C i 4°C. Wyjaśnij różnice w otrzymanych wartościach.

0°C	0,999841 g/cm ³
3°C	0,999965 g/cm ³
4°C	0,999973 g/cm ³

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Badanie zmian gęstości wody w przedziale temperatur od 273K do 293K
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

**Podstawa
programowa:**

Cele kształcenia – wymagania ogólne

II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.

III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość;

14) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych.

V. Termodynamika. Uczeń:

1) opisuje zjawisko rozszerzalności cieplnej: liniowej ciał stałych oraz objętościowej gazów i cieczy.

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji;

15) posługuje się pojęciem niepewności pomiaru wielkości prostych i złożonych; zapisuje wynik pomiaru wraz z jego jednostką oraz z uwzględnieniem informacji o niepewności; uwzględnia niepewności przy sporządzaniu wykresów;

16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych.

VI. Termodynamika. Uczeń:

1) opisuje zjawisko rozszerzalności cieplnej: liniowej ciał stałych oraz objętościowej gazów i cieczy.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. definiuje gęstość, jako cechę substancji materiału, 2. objaśnia pojęcie współczynnika rozszerzalności objętościowej, 3. przytacza wzory opisujące rozszerzalność cieplną cieczy, 4. opisuje, na czym polega anomalna rozszerzalność wody, 5. planuje i (w ramach wirtualnego laboratorium) przeprowadza eksperyment, w którym bada, jak w przedziale temperatury od 0°C do 20°C zmienia się gęstość wody.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszernyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania	wykład informacyjny, eksperyment w wirtualnym laboratorium (WL-S)
Formy zajęć:	praca w grupach, praca w parach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub laptopy lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiały: „Na czym polega zjawisko rozszerzalności objętościowej cieczy?”, „Szczególne własności wody”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Odwołanie do wiedzy uczniów o anomalnej rozszerzalności cieplnej wody.	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie przypominają definicję gęstości. Nauczyciel pyta, co może, a jeśli tak to w jaki sposób, spowodować zmianę gęstości wody. W wyniku dyskusji uczniowie ustalają, że można tego dokonać zmieniając temperaturę wody. Nauczyciel wprowadza pojęcie współczynnika rozszerzalności cieplnej cieczy. Korzystając ze wzoru na współczynnik rozszerzalności objętościowej (tj. $\alpha = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t}$) uczniowie wyprowadzają wzory na przyrost objętości i objętość końcową. Następnie nauczyciel zapowiada badanie, w wirtualnym laboratorium, zależności gęstości wody od temperatury w przedziale temperatur od 0°C do 20°C i omawia zagadnienie wyboru wartości temperatur, przy których będzie wykonywany pomiar. Uczniowie w grupach projektują położenie punktów pomiarowych dla zależności dwóch wielkości, w której występuje maksimum lub minimum. Następnie uczniowie wykonują doświadczenie w wirtualnym laboratorium w parach. Przed wykonaniem doświadczenia uczniowie dyskutują, od jakiej temperatury najwygodniej zacząć pomiar, najwyższej czy najniższej, uzasadniając swoje stanowisko. Po wykonaniu pomiarów, uczniowie w parach wykonują obliczenia i wykres zależności gęstości wody od temperatury, korzystając np. z arkusza kalkulacyjnego.

Faza podsumowująca:

Zespoły prezentują swoje wyniki doświadczenia całej klasie. W zależności od tego, czy klasa realizuje rozszerzoną podstawę programową, czy nie, nauczyciel porusza kwestię niepewności pomiarowych (patrz Polecenie 2. pod WL-S), ich oszacowania i sposobu ich uwzględnienia na wykresach.

Praca domowa:

Zadania 1 - 5 z zestawu ćwiczeń obowiązkowo, a zadania 6-8 dla chętnych.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Wirtualne laboratorium (WL-S) może być wykorzystane przez uczniów poza lekcjami w celu samodzielnego wykonania doświadczenia. Nauczyciel można je także wykorzystać podczas realizacji innych lekcji, w których omawiane są własności wody.