



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Pakiet nr 3: Ciepło i silniki

dr Małgorzata Wysocka-Kunisz

*Instytut Fizyki,
Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy
Jana Kochanowskiego w Kielcach,
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce*

Wersja UJK/1.0

Niniejszy tekst w odniesieniu do ćwiczeń realizowanych na uczelni dotyczy realizacji pakietu na UJK. Materiał będzie aktualizowany w miarę poszerzania bazy aparaturowej pracowni uczelnianych.



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

POTENCJALNE ZAGROŻENIA, ZASADY BHP	5
ZAGADNIENIA I DOŚWIADCZENIA DO REALIZACJI W SZKOLE	6
S.3.01 Energia wewnętrzna i temperatura	6
S.3.01.1 Zabawa w kowala.....	6
S.3.01.2 Podgrzewanie bez źródła ciepła	7
S.3.01.3 Kogel-mogel.....	7
S.3.01.4 Kiedy woda ostygnie szybciej?	8
S.3.02 Sposoby przekazywania energii wewnętrznej.....	9
S.3.02.1 Czy wszystkie ciała stałe jednakowo przewodzą ciepło?.....	9
S.3.02.2 Czy wszystkie metale jednakowo przewodzą ciepło?	10
S.3.02.3 Jak ogrzewać wodę?	11
S.3.02.4 Konwekcja w gazach.....	11
S.3.02.5 Pochłanianie promieniowania	12
S.3.03 Rozszerzalność temperaturowa ciał.....	13
S.3.03.1 Jak zbudować termometr?	13
S.3.03.2 Rozszerzalność temperaturowa ciał stałych	14
S.3.03.3 Rozszerzalność temperaturowa powietrza	15
S.3.03.4 Rozszerzalność temperaturowa powietrza I	16
S.3.03.5 Wyjątkowa rozszerzalność cieplna wody.....	16
S.3.04 Trzy stany skupienia	17
S.3.04.1 Zmiany stanów skupienia	17
S.3.04.2 Czy woda wrze zawsze w temperaturze 100°C?	19
S.3.04.3 Temperatura krzepnięcia wody i wodnego roztworu soli	19
S.3.04.4 Zmiany objętości cieczy przy krzepnięciu	20
S.3.04.5 Oszukiwanie termometru	21
S.3.04.6 Jak ochłodzić napój używając wentylatora?.....	22
S.3.05 Bilans energii wewnętrznej i ciepło właściwe.....	23
S.3.05.1 Ogrzewanie wody metodą mieszania	23
S.3.05.2 Ciepło właściwe wody	25
S.3.05.3 Ciepło właściwe mosiądzu	26
S.3.06 Silniki ciepłe	28
S.3.06.1 Pracowity gaz	28
S.3.06.2 Turbina parowa	29
S.3.06.3 Silnik z gumy	30
DOŚWIADCZENIA DO WYKONANIA NA UCZELNI.....	31
U.3.01 Energia wewnętrzna i temperatura.....	31
U.3.01.1 Rozpalanie ognia wiertarką	31
U.3.01.2 Ostygnięcie ciał	32
U.3.01.3 Czy rodzaj powierzchni ciała ma wpływ na ostygnięcie?	34
U.3.02 Sposoby przekazywania energii wewnętrznej	35
U.3.02.1 Przewodnictwo cieplne metalu i szkła.....	35
U.3.02.2 Badanie przewodnictwa cieplnego miedzi	36
U.3.02.3 Przewodnictwo cieplne drewna i metalu	38
U.3.02.4 Przewodnictwo cieplne wody i powietrza	39
U.3.02.5 Konwekcja w cieczy	39
U.3.02.6 Emisja i absorpcja promieniowania.....	40

U.3.03 Rozszerzalność temperaturowa ciał	41
U.3.03.1 Sprawdzenie punktów stałych termometru w skali Celsjusza	42
U.3.03.2 Rozszerzalność temperaturowa ciał stałych	43
U.3.03.3 Rozszerzalność temperaturowa ciał stałych	43
U.3.03.4 Rozszerzalność temperaturowa powietrza i wody	44
U.3.03.5 Rozszerzalność temperaturowa wody	45
U.3.03.6 Bimetal	46
U.3.03.7 Współczynnik rozszerzalności liniowej metali	47
U.3.04 Trzy stany skupienia.....	49
U.3.04.1 Zjawisko topnienia i krzepnięcia naftalenu	50
U.3.04.2 Czy woda wrze w temperaturze 100°C?	53
U.3.04.3 Wrzenie wody pod zmniejszonym ciśnieniem	54
U.3.04.4 Parowanie cieczy	54
U.3.05 Bilans energii wewnętrznej i ciepło właściwe	55
U.3.05.1 Jak wyznaczyć wysoką temperaturę?	55
U.3.05.2 Ciepło właściwe nafty	57
U.3.05.3 Ciepło topnienia lodu	59
U.3.05.4 Ciepło właściwe metalu	61
U.3.05.5 Ciepło właściwe wody	63
U.3.06 Silniki cieplne.....	65
U.3.06.1 Modele silników cieplnych.....	65
U.3.07 Przemiany gazów	66
U.3.07.1 Sprawdzenie prawa Boyle'a-Mariotte'a za pomocą naczyń połączonych.....	66
U.3.07.2 Sprawdzenie prawa Gay-Lussaca	69
U.3.07.3 Sprawdzenie prawa Charlesa	72
LITERATURA	75

Potencjalne zagrożenia, zasady BHP

Przy wykonywaniu wielu ćwiczeń konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności i przestrzeganie zasad bezpieczeństwa. Przy posługiwaniu się źródłami zasilania sieciowego, łatwopalnymi materiałami (np. denaturat lub nafta), grzałkami, gorącymi cieczami występuje zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia. Przy wykonywaniu ćwiczeń w pracowniach należy przestrzegać obowiązującego w nich regulaminu BHP. Wykonywanie niektórych doświadczeń w domu jest możliwe, ale tylko po konsultacji z nauczycielem i pod nadzorem osoby dorosłej.

W związku z powyższym zaleca się przestrzeganie następujących zasad:

- 1) Nie wolno włączać zasilania sieciowego ani uruchamiać przyrządów doświadczalnych bez zgody prowadzącego zajęcia.
- 2) Elementy zestawów ćwiczeniowych należy łączyć zgodnie ze schematami podanymi w instrukcjach, szczególną uwagę zwracając na poprawność połączeń obwodów elektrycznych.
- 3) Wszystkie przyrządy i urządzenia należy stosować zgodnie z ich przeznaczeniem i zasadami ich stosowania (podanymi w instrukcjach obsługi). W razie potrzeby stosować rękawice, odzież ochronną lub inne niezbędne środki ochrony osobistej.
- 4) Należy zachować szczególną ostrożność podczas pracy z:
 - a) grzejnikami i ciałami podgrzanyymi do wysokiej temperatury,
 - b) cieczami łatwopalnymi i odczynnikami chemicznymi,
 - c) ostrymi narzędziami lub przedmiotami - w miarę potrzeby stosować rękawice ochronne,
 - d) przedmiotami ciężkimi, kruchymi albo łatwo tłukącymi się,
 - e) laserem - nie dopuścić do wprowadzenia wiązki światła do nieosłoniętego oka,
 - f) izotopami promieniotwórczymi - preparaty należy prawidłowo umieszczać pod licznikiem.
- 5) Doświadczenia należy wykonywać w pomieszczeniach, w których jest zapewniona właściwa wentylacja.
- 6) O powstałych w czasie wykonywania ćwiczeń wątpliwościach należy informować prowadzącego zajęcia.



Taka ikonka znajduje się przy ćwiczeniach wymagających zachowania ostrożności.

Zagadnienia i doświadczenia do realizacji w szkole

Tytuł

S.3.01 Energia wewnętrzna i temperatura

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że energię wewnętrzną ciała możemy zmienić przez wykonanie pracy.

Wymagana wiedza ucznia

Praca, cieplny przepływ energii, energia wewnętrzna, temperatura, pierwsza zasada termodynamiki.

S.3.01.1 Zabawa w kowala

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwa młotki (najlepiej duży i mały), około 20cm drutu żelaznego (grubości 3-5mm), gruba, drewniana deska, okulary ochronne.

Przebieg ćwiczenia

- Zakładamy okulary ochronne. Kładziemy na podłodze drewnianą deskę, a na niej na boku duży młotek, który będzie pełnił rolę kowadła.
- Na kowadle kładziemy żelazny drut i uderzamy zdecydowanie w jego końcówkę.
- Po kilku silnych uderzeniach dotykamy końcówki drutu.
- Uderzamy ponownie kilkadziesiąt razy w to samo miejsce drutu, a następnie szybko wkładamy go do naczynia z wodą.

Po kilku silnych uderzeniach odczuwamy, że końcówka drutu jest ciepła. Po kilkadziesiąciu uderzeniach i po włożeniu drutu do wody, możemy usłyszeć syk. Energia potencjalna, jaką uzyskuje młotek przy podnoszeniu go do góry, została zamieniona w czasie spadania młota na energię kinetyczną. W momencie uderzenia energia została przekazana do wnętrza pręta i spowodowała, że atomy żelaza zaczęły silniej drgać. Nastąpił wzrost energii wewnętrznej

pręta, o czym świadczy wzrost jego temperatury. Zatem energię wewnętrzną ciała możemy zwiększyć wykonując pracę.

S.3.01.2 Podgrzewanie bez źródła ciepła

Niezbędne przedmioty i materiały

Kawałek miedzianego drutu bez izolacji, o średnicy około 1 mm.

Przebieg ćwiczenia

- Dociskamy do kciuka dowolny palec tej samej ręki.
- Wkładamy pomiędzy palce kawałek drutu trzymając go drugą ręką i szybko przeciągamy pomiędzy palcami.
- Łapiemy drut w dwie ręce i szybkimi ruchami zginamy go kilkakrotnie w połowie, a następnie dotykamy tego miejsca.

Wszyscy znają sposób na rozgrzewanie zmarzniętych dłoni przez ich wzajemne pocieranie. Przeciągając drut pomiędzy zaciśniętymi palcami lub zginając go powodujemy, że temperatura drutu rośnie.

W każdym z przypadków wykonujemy pracę związaną z pokonywaniem siły tarcia, która powoduje wzrost energii wewnętrznej ciała. Skutkiem tego jest wzrost temperatury trących o siebie ciał.

S.3.01.3 Kogel-mogel

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwie zlewki (mniejsza i większa), wata lub lignina, mikser z płaskim talerzykiem do ucierania, termometr, zegarek z sekundnikiem, trzy jaja, cukier.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V.

Przebieg ćwiczenia

- Mniejszą zlewkę owijamy watą i wkładamy do większej zlewki.
- Wrzucamy żółtka do środka i wysypujemy cukier (około dwie łyżki na jedno żółtko).

- Mieszamy przez około 0,5 minuty żółtka i cukier mikserem włączonym na małe obroty. Wstawiamy termometr.
- Włączamy mikser na duże obroty i lekko dociskamy talerzyk miksera do dna probówki.
- Jednocześnie obserwujemy termometr i co 1°C notujemy upływający czas.
- Sporządzamy wykres zależności temperatury kogla-mogla od czasu.

Otrzymany wykres zależności temperatury od czasu jest linią prostą nachyloną pod pewnym kątem do osi czasu. Obserwowany wzrost temperatury ciała jest wynikiem wzrostu jego energii wewnętrznej. Ponieważ przez cały czas pracy miksera z tą samą prędkością wzrasta energia wewnętrzna kremu, możemy powiedzieć, że jego temperatura wzrasta proporcjonalnie do wzrostu jego energii wewnętrznej.


S.3.01.4 Kiedy woda ostygnie szybciej?

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że szybkość stygnięcia ciała zależy od różnicy temperatur pomiędzy stygnącym ciałem, a ośrodkiem.

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwie duże zlewki lub słoiki o pojemności 1l, mniejsza zlewka lub szklanka, wrzątek, woda o temperaturze pokojowej, termometr.

 Wrzątek - możliwość poparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Nalewamy do obu zlewek do około $\frac{3}{4}$ wysokości wrzątku.
- Do pierwszej zlewki dolewamy około pół szklanki wody o temperaturze pokojowej.
- Po 15 minutach tyle samo wody o temperaturze pokojowej dolewamy do drugiej zlewki.
- Mierzmy temperaturę wody w obu słoikach.

Szybkość stygnięcia jakiegoś ciała, zgodnie z prawem Newtona, jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatur między tym ciałem, a otoczeniem. W drugim słoiku woda powinna mieć niższą temperaturę końcową, gdyż przez pierwsze 15 minut eksperymentu stygła szybciej.

Tytuł

S.3.0.2 Sposoby przekazywania energii wewnętrznej

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że przekazywanie energii wewnętrznej może zachodzić przez przewodnictwo cieplne, konwekcję i promieniowanie.

Wymagana wiedza ucznia

Energia wewnętrzna, temperatura, przewodnictwo cieplne, konwekcja, promieniowanie, przewodniki i izolatory cieplne.

S.3.02.1 Czy wszystkie ciała stale jednakowo przewodzą ciepło?

Cel ćwiczenia, opis

Wykazanie istnienia przewodników i izolatorów cieplnych.

Niezbędne przedmioty i materiały

Naczynia z różnych materiałów o podobnej wielkości: szklanka, kubki: metalowy, plastikowy, porcelanowy, styropianowy, wrząca woda, termometr.

 Wrzątek - możliwość poparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Naczynia napełniamy wrzątkiem.
- Po około 15 sekundach dotkamy kolejno każdego z nich i ustawiamy w kolejności od najbardziej gorącego w dotyku do najchłodniejszego.
- Po 5 i 10 minutach mierzymy temperaturę w każdym z naczyń, notujemy wyniki.

Cząsteczki gorącej wody zderzając się z atomami metalu przekazują im swoją energię. Wzrasta średnia energia kinetyczna drgających atomów (jonów sieci krystalicznej i swobodnych elektronów), która przekazywana jest przez zderzenia kolejnym, sąsiednim atomom. Mówimy, że metale są dobrymi przewodnikami ciepła. W izolatorach cieplnych, nieposiadających budowy krystalicznej (np. drewno, plastik) i swobodnych elektronów, przekazywanie energii pomiędzy cząsteczkami zachodzi znacznie wolniej. Wszystkie substancje różnią się między sobą przewodnictwem cieplnym. Wyróżniamy przewodniki i izolatory cieplne.


S.3.02.2 Czy wszystkie metale jednakowo przewodzą ciepło?

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że przewodniki cieplne różnią się między sobą zdolnością przewodzenia ciepła.

Niezbędne przedmioty i materiały

Pręty o jednakowej średnicy i długości: miedziany, aluminiowy, stalowy, palnik spirytusowy.

 Wysoka temperatura - możliwość poparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Zapalamy palnik spirytusowy.
- Bierzemy w jedną rękę drut stalowy, a w drugą – aluminiowy, trzymając w tej samej odległości od końca drutu.
- Przeciwnie końce drutów wkładamy jednocześnie do płomienia i wskazujemy drut, który zacznie parzyć szybciej niż drugi.
- Po pewnym czasie postępujemy podobnie z drugą parą drutów - aluminiowym i miedzianym. Drut aluminiowy musi mieć ponownie temperaturę pokojową.

Metale różnią się między sobą zdolnością przewodzenia ciepła (różne współczynniki przewodnictwa cieplnego). Kolejność, od najlepszego przewodnika ciepła, powinna być następująca: miedź, aluminium i stal.


S.3.02.3 Jak ogrzewać wodę?

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie prądów unoszenia w cieczy i sposobu ogrzewania wody.

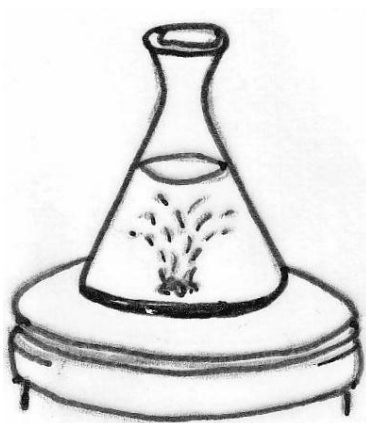
Niezbędne przedmioty i materiały

Płaskodenna kolba, woda, kryształki nadmanganianu potasu KMnO_4 , źródło ciepła.

 Wrzątek - możliwość poparzenia. Urządzenie zasilane napięciem 230 V.

Przebieg ćwiczenia

- Kolbę napełniamy wodą (więcej niż do połowy jej wysokości) i wrzucamy do niej kryształki nadmanganianu potasu.
- Kolbę stawiamy na płycie kuchenki elektrycznej (lub nad innym źródłem ciepła) i ogrzewamy zawartą w niej wodę, obserwując miejsce położenia kryształka nadmanganianu potasu.



Ogrzewana woda z nadmanganianem potasu rozszerza się, jej gęstość zmniejsza się i unosi się do góry. Na jej miejsce napływają chłodniejsze masy wody. Obserwujemy unoszenie się ku górze zabarwionych mas wody. Masy te następnie opadają ku dołowi przy ściankach kolby. Na podstawie tej obserwacji wyjaśniamy powstawanie w wodzie prądów konwekcyjnych. W zjawisku tym, energia jest przekazywana od cieplejszych części cieczy do zimniejszych wraz z cząsteczkami.

Wykorzystanie zjawiska konwekcji – podgrzewanie cieczy od dołu - jest najefektywniejszym sposobem jej ogrzewania.


S.3.02.4 Konwekcja w gazach

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie prądów unoszenia w gazach i prostego modelu silnika cieplnego.

Niezbędne przedmioty i materiały

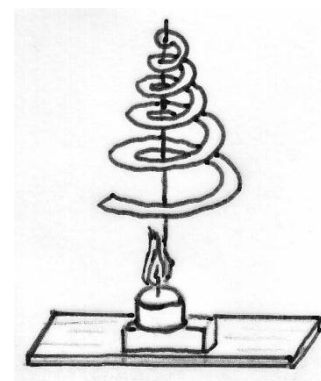
Spirala z papieru (cienkiego kartonu), patyczek do szaszłyków lub cienki drut o długości około 20 cm, plastelina lub pudełko po zapalniczkach, świeca lub lampka.

 Wysoka temperatura – możliwość zapalenia.

Przebieg ćwiczenia

- Wycinamy z cienkiego kartonu lub kartki o średnicy ok. 8 cm wąską spiralę (papierowy ślimaczek).
- Zawieszamy spiralę na cienkim drucie (zaostrzonym patyczku), a drugi koniec wbijamy w pudełko lub plastelinę.
- Stawiamy pod spiralą zapaloną świeczkę (ostrożnie, aby spirala się nie zapaliła) i obserwujemy jej zachowanie.

Warstwa powietrza nad świeczką rozszerza się, jego gęstość staje się mniejsza i unosi się ono do góry. Papierowa spirala obraca się dzięki prądom konwekcyjnym.



S.3.02.5 Pochłanianie promieniowania

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, czy rodzaj powierzchni ma wpływ na absorpcję promieniowania.

Niezbędne przedmioty i materiały

Trzy bezbarwne, przezroczyste słoiki z plastikowymi nakrętkami (jednakowej wielkości), folia aluminiowa, czarny karton lub tkanina (lub czarny, matowy lakier i pędzel), termometr, plastelina, (ewentualnie: dwa termometry pokojowe, z których jeden ma pomalowany mazakiem na czarno zbiorniczek z ciecżą), lampka biurowa, świeca lub palnik.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Robimy w plastikowych nakrętkach, rozgrzanym nad płomieniem gwoździem, otwory na termometr.
- Owijamy szczelnie jeden ze słoików folią aluminiową, drugi czarną tkaniną (lub malujemy czarnym lakierem), a trzeci pozostawiamy bez zmian.
- Wszystkie słoiki napełniamy zimną wodą, zakręcamy, otworki zalepiamy plasteliną i oświetlamy światłem z lampki biurowej (możemy też ustawić na słońcu).
- Co pięć minut, przez pół godziny, sprawdzamy temperaturę wody w słoikach, wstawiając termometr za każdym razem na około pół minuty.
- Zapisujemy wyniki odczytów temperatury wody w poszczególnych słoikach w tabeli.
- Możemy również zamalować zbiorniczek z ciecżą jednego termometru na czarno, ustawić w jednakowej odległości od lampki i obserwować wskazania termometrów.

Temperatura (miara średniej energii cząsteczek) wody w każdym ze słoików ma różną wartość. Oznacza to, że woda pochłonęła różne porcje energii wypromieniowanej przez żarówkę, a wpływ na to miała powierzchnia słoika (zbiorniczka termometru). Powierzchnia ciemna i matowa pochłania (absorbuje) więcej energii, niż jasna i błyszcząca.

Tytuł

S.3.03 Rozszerzalność temperaturowa ciał

Cel ćwiczenia, opis

Wykazanie, że przy wzroście temperatury ciała zwiększają swoją objętość.

Wymagana wiedza ucznia

Energia wewnętrzna, temperatura, rozszerzalność temperaturowa ciał.


S.3.03.1 Jak zbudować termometr?

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie zjawiska rozszerzalności cieplnej cieczy i zasady działania termoskopu.

Niezbędne przedmioty i materiały

Butelka po syropie o pojemności ok. 250 ml (najlepiej bezbarwna), korek dopasowany do butelki, cienka przezroczysta rurka o długości ok. 20 cm (może być zużyty wkład do długopisu), zabarwiona woda, szklanka (zlewka) lub inne naczynie, woda, kostki lodu, czajnik elektryczny lub grzałka, plastelina lub klej uniwersalny do uszczelnienia rurki.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.
Denaturat i olej – ciecze łatwopalne.

Przebieg ćwiczenia

- Napełniamy butelkę zabarwioną wodą.
- W korku przewiercamy odpowiedni dla rurki otwór lub wypalamy go rozgrzanym gwoździem.
- Zatykamy butelkę korkiem tak, aby nie pozostało pod nim powietrze.
- Wsuwamy rurkę, uszczelniamy plasteliną lub klejem. Poziom cieczy powinien sięgać $\frac{1}{4}$ jej wysokości.
- Wstawiamy butelkę do topniejącego lodu i po około 10 min zaznaczamy mazakiem poziom wody w rurce.
- Wstawiamy butelkę do wrzątku i po ustabilizowaniu się poziomu cieczy w rurce, zaznaczamy jej poziom.

Wraz ze wzrostem temperatury rośnie objętość cieczy zawartej w butelce z rurką. Po zaznaczeniu na rurce miejsca odpowiadającego w przybliżeniu temperaturze 0°C i 100°C wyjaśniamy „konstrukcję” skali termometrycznej Celsjusza.

Podobne czynności możemy wykonać, zachowując szczególną ostrożność i w towarzystwie osoby dorosłej, z olejem spożywczym lub denaturatem (Uwaga! Ciecze łatwopalne).


S.3.03.2 Rozszerzalność temperaturowa ciał stałych

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie zjawiska rozszerzalności cieplnej metali.

Niezbędne przedmioty i materiały

Moneta 5 groszy, dwie szpilki, podstawka ze styropianu lub pudełko po zapalkach, szklanka wrzątku, pęseta.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Monetę kładziemy na styropianowej podstawce (pudełku po zapalkach).
- Wbijamy szpilki w odległości równej średnicy monety jednak tak, by można ją było przesunąć pomiędzy szpilkami.
- Wrzucamy monetę do wrzątku i po około 1 min wyjmujemy trzymając ją pęsetą.
- Od razu po wyjęciu monety próbujemy ją przesunąć pomiędzy szpilkami.

Zmiany temperatury są przyczyną rozszerzalności temperaturowej metali.


S.3.03.3 Rozszerzalność temperaturowa powietrza

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie zjawiska rozszerzalności cieplnej gazów.

Niezbędne przedmioty i materiały

Balonik, mała butelka po soku lub wodzie mineralnej (szklana lub plastikowa o pojemności 330 ml – 500 ml), naczynie, do którego włożymy butelkę, wrzątek.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia


- Na czystą, suchą butelkę nakładamy balonik tak, aby w środku balonika nie było powietrza.
- Wkładamy butelkę z balonikiem do naczynia i ostrożnie nalewamy wrzątku.

Po pewnym czasie zauważamy, że balonik napęcznieje się powietrzem. Świadczy to o tym, że powietrze znajdujące się w butelce ogrzało się od wrzątku i zwiększyło swoją objętość.

S.3.03.4 Rozszerzalność temperaturowa powietrza I

Niezbędne przedmioty i materiały

Butelka po soku lub wodzie mineralnej (czysta, sucha), naczynie z wodą, suszarka do włosów.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V.

Przebieg ćwiczenia

- Do naczynia z wodą wkładamy szyjkę butelki, trzymając butelkę dnem do góry.
- Kierujemy strumień ciepłego powietrza z suszarki na butelkę i obserwujemy naczynie z wodą.

Powietrze w butelce zwiększa swoją objętość pod wpływem ogrzewania go strumieniem ciepłego powietrza z suszarki do włosów. Obserwujemy wydostające się z wody pęcherzyki powietrza.

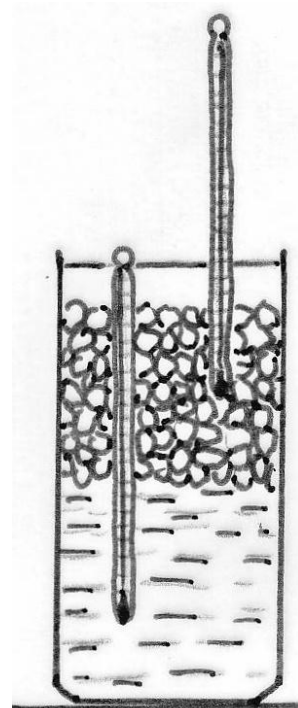
S.3.03.5 Wyjątkowa rozszerzalność cieplna wody

Niezbędne przedmioty i materiały

Duży szklany słoik lub wysoka zlewka, woda, lód, dwa termometry laboratoryjne, statyw, sznurek, linijka.

Przebieg ćwiczenia

- Do szklanego słoja nalewamy wody (do około połowy wysokości) o temperaturze pokojowej i nasypujemy drobno potłuczonego lodu (tak, aby stanowił co najmniej kilkucentymetrową warstwę).
- Zanurzamy termometr przymocowany nitką do statywu tak, aby jego naczynko znajdowało się w warstwie lodu, blisko powierzchni wody i odczytujemy wskazania termometru.
- Drugi termometr zanurzamy stopniowo poniżej lodu. Określamy położenie zbiorniczka termometru (przyjmujemy, że zero linijki



znajduje się na dnie słoika) i notujemy wskazania termometru. Sporządzamy tabelę i zapisujemy wynik odczytu temperatury.

- Przesuwamy zbiorniczek termometru o 1-2 cm w dół i ponownie odczytujemy wskazania termometru (w każdym położeniu czekamy, aż słupek termometru przestanie się ruszać).
- Ostatni pomiar wykonujemy na dnie słoika (poziom 0) i ponownie odczytujemy temperaturę lodu, jaką wskazuje zawieszony termometr.

Lód pływa po powierzchni, a jego temperatura wynosi cały czas 0°C . Temperatura wody pod lodem stopniowo obniża się od kilku stopni w skali Celsjusza, aż do temperatury 4°C na dnie słoika. Świadczy to o tym, że woda oziębiana do 4°C kurczy się, a poniżej 4°C rozszerza się. W temperaturze 4°C dana masa wody zajmuje najmniejszą objętość (ma największą gęstość) i w związku z tym znajduje się na dnie zbiornika.

Tytuł

S.3.04 Trzy stany skupienia

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie zjawisk związanych ze zmianami stanów skupienia.

Wymagana wiedza ucznia

Trzy stany skupienia, topnienie, krzepnięcie, parowanie, skraplanie, wrzenie, sublimacja, resublimacja, temperatura topnienia (krzepnięcia), temperatura wrzenia, ciepło topnienia, ciepło parowania.


S.3.04.1 Zmiany stanów skupienia

Cel ćwiczenia, opis

Wykazanie zmian stanu skupienia wody wraz ze zmianą temperatury. Określenie temperatury topnienia i wrzenia dla wody. Sprawdzenie punktów stałych termometru w skali Celsjusza.

Niezbędne przedmioty i materiały

Zlewka izolowana termicznie z pokruszonym lodem o masie około 0.5 kg, termometr, mała grzałka, duże płaskie naczynie, drewniana łyżka.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Zlewkę wstawiamy do dużego naczynia.
- Do zlewki z lodem wkładamy termometr i ewentualnie czekamy, aż temperatura wzrośnie do 0°C.
- Włączamy grzałkę i ogrzewamy lód zwracając uwagę, aby termometr nie dotykał grzałki. Niestopiony lód dociskamy drewnianą łyżką do grzałki.
- Notujemy temperaturę co 15 sekund.
- Po stopieniu lodu dalej ogrzewamy wodę powstałą z lodu i dalej odczytujemy temperatury.
- Gdy woda zacznie wrzeć, wciąż odczytujemy temperatury do czasu, aż część wody odparuje.
- Sporządzamy wykres zależności temperatury od czasu ogrzewania.

Początkowo, mimo dostarczania energii, temperatura lodu nie podnosi się i wynosi cały czas 0°C. Dopiero po całkowitym jego stopieniu temperatura wody powstałej z lodu zaczyna rosnąć. Gdy woda wrze jej temperatura też się nie zmienia i cały czas wynosi 100°C. W czasie topnienia lodu jego temperatura nie rośnie, mimo że grzałka cały czas jest włączona i w każdej sekundzie energia wewnętrzna mieszaniny wody z lodem wzrasta o stałą wartość (zależną od mocy grzałki). W czasie topnienia przekazywana energia nie zwiększa średniej energii kinetycznej cząsteczek, lecz jest potrzebna do zamiany ciała stałego w ciecz. Podczas topnienia rośnie średnia energia potencjalna cząsteczek. Podobnie wrzenie odbywa się w stałej temperaturze, zależnej od zewnętrznego ciśnienia.

Wykonywane ćwiczenie może również prowadzić do uzasadnienia istnienia punktów stałych termometru w skali Celsjusza.


S.3.04.2 Czy woda wrze zawsze w temperaturze 100°C?

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że temperatura wrzenia wody zależy od ciśnienia.

Niezbędne przedmioty i materiały

Duża strzykawka, gorąca woda, termometr.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Do strzykawki nalewamy wody o temperaturze ok. 90°C (około 1/4 pojemności strzykawki).
- Obracamy strzykawkę tłokiem w dół i zatykamy palcem szczelnie otwór strzykawki.
- Odciągamy tłok strzykawki i obserwujemy znajdującą się w niej wodę.

Odciągnięcie tłoka powoduje gwałtowne zmniejszenie ciśnienia powietrza zamkniętego nad wodą w strzykawce. Obserwujemy wrzenie cieczy, mimo iż jej temperatura jest niższa niż 100°C. Prowadzi to wniosku, że woda pod zmniejszonym ciśnieniem wrze w niższej temperaturze.

S.3.04.3 Temperatura krzepnięcia wody i wodnego roztworu soli

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że woda i wodny roztwór soli mają różne temperatury krzepnięcia.

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwie zlewki (mogą być szklanki o cienkich ściankach) o pojemności około 250 ml, 0,25 kg soli, woda, termometr (najlepiej dwa), duży pojemnik na mieszaninę oziębiającą, do którego można wstawić dwie zlewki, lód (przygotowany w plastikowych pojemnikach o objętości ok. 1 l), szmatka, młotek.

Przebieg ćwiczenia

- Przygotowujemy mieszaninę oziębiającą. Wyjmujemy lód z pojemników, owijamy szmatką i rozbijamy młotkiem na małe kawałki. Wsypujemy do dużego pojemnika, posypujemy solą i dokładnie mieszamy.
- Mierzmy temperaturę mieszaniny oziębiającej i myjemy termometr.
- Do zlewek nalewamy wody w temperaturze pokojowej do $\frac{1}{4}$ ich wysokości.
- Do jednej wrzucamy niewielką ilość soli (szczyptę) i wstawiamy obie zlewki do mieszaniny oziębiającej.
- Do obu zlewek wstawiamy termometry i odczytujemy temperatury co 2 minuty. (Jeśli mamy jeden termometr pomiarów temperatury dokonujemy na przemian, myjąc termometr po każdym pomiarze w słonej wodzie).
- Wyniki zapisujemy w tabeli.

Woda czysta

Godzina									
Temperatura (°C)									

Woda z solą

Godzina									
Temperatura (°C)									

- Rysujemy wykres zależności temperatury wody i wody z solą od czasu.
- Odczytujemy temperatury krzepnięcia.

S.3.04.4 Zmiany objętości cieczy przy krzepnięciu

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie zmian objętości cieczy przy krzepnięciu na przykładzie wody i stearyny (albo masła).

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwa jednorazowe, plastikowe, bezbarwne kubki do herbaty, woda, świeczka lub pół kostki masła, lodówka z zamrażalnikiem, mazak.

Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie wykonujemy w domu.

- Do kubków nalewamy równe objętości wody i stopionej stearyny (masła) i zaznaczamy mazakiem poziom cieczy w kubkach. Zwracamy uwagę na powierzchnię cieczy.
- Wstawiamy kubki na noc do zamrażalnika.
- Rysujemy przekrój poprzeczny naczyń z cieciami po wyjęciu z zamrażalnika.

Większość substancji w stałym stanie skupienia ma budowę krystaliczną, którą charakteryzuje uporządkowanie położenia cząsteczek. W niektórych ciałach stałych atomy lub cząsteczki ułożone są podobnie jak w cieczach - nie wykazują budowy krystalicznej. Ciała te nazywamy bezpostaciowymi.

Woda krzepnąc zwiększa swoją objętość inaczej niż stearyna lub masło.

S.3.04.5 Oszukiwanie termometru

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że parujące ciecze pobierają z otoczenia ciepło.

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwa termometry, wata, woda, wentylator lub suszarka do włosów z zimnym nawiewem.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V.

Przebieg ćwiczenia

- Zbiorniczek jednego z termometrów owijamy kawałkiem waty zwilżonej w wodzie.
- Termometry (w statywach lub podwieszono) umieszczamy w jednakowej odległości w strumieniu powietrza z wentylatora lub suszarki.
- Po około 15 minutach odczytujemy temperaturę, jaką wskazują termometry.

Termometr z owiniętym watą zbiorniczkiem pokazuje niższą temperaturę. Wyjaśniamy to faktem dość szybkiego parowania wody zwilżającej watę. Parowanie to odbywa się kosztem pochłaniania ciepła z termometru, a w efekcie jego niższe wskazania.

S.3.04.6 Jak ochłodzić napój używając wentylatora?

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że parujące ciecze pobierają z otoczenia ciepło.

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwa termometry (pokojowe lub zaokienne), dwa szerokie płaskie pojemniki (kuwety fotograficzne, płaskie formy do pieczenia ciasta), woda, wentylator lub suszarka do włosów z zimnym nawiewem.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V.

Przebieg ćwiczenia

- Nalewamy do pojemników takie same ilości letniej wody i umieszczamy w nich termometry. Czekamy około 15 minut i odczytujemy temperaturę wody w obu pojemnikach.
- Na jeden z pojemników kierujemy strumień powietrza z wentylatora i po upływie około pół godziny ponownie odczytujemy temperaturę wody w pojemnikach.

Aby cząsteczki wody mogły oderwać się od powierzchni wody, muszą mieć odpowiednio dużą energię kinetyczną na pokonanie sił przyciągania międzycząsteczkowego. Najpierw odrywają się te, których szybkość jest największa, więc średnia energia kinetyczna cząsteczek wody maleje. Ponieważ nie dostarczamy energii z zewnątrz, temperatura parującej cieczy obniża się. Zwiększając parowanie (wentylator zmniejsza ilość pary wodnej znajdującej się nad cieczą, co zwiększa szybkość parowania) szybciej obniżamy temperaturę cieczy.

Tytuł

S.3.05 Bilans energii wewnętrznej i ciepło właściwe

Cel ćwiczenia, opis

Określanie bilansu energii wewnętrznej i wyznaczenie ciepła właściwego substancji.

Wymagana wiedza ucznia

Bilans cieplny, energia wewnętrzna, ciepło właściwe substancji, ciepło, ciepło topnienia (krzepnięcia), ciepło parowania, moc, praca prądu, kalorymetr.

S.3.05.1 Ogrzewanie wody metodą mieszania

Cel ćwiczenia, opis

Wyznaczenie temperatury ciała metodą mieszania.

W izolowanym termicznie układzie obowiązuje zasada zachowania energii. Jeżeli układ ciał jest izolowany termicznie od otoczenia, to całkowita energia wewnętrzna układu nie zmienia się, bo nie ma wymiany energii z otoczeniem, a suma zysków i strat energii wewnętrznej wszystkich ciał należących do układu jest równa zeru.

W ogrzewaniu metodą mieszania z ciałem o wyższej temperaturze:

- ciało zimne zyska energię $\Delta E_{w1} = c_1 \cdot m_1 \cdot (t_k - t_1)$,

- ciało gorące straci energię $\Delta E_{w2} = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t_k)$.

Układamy bilans energii wewnętrznej

energia zyskana = energia stracona

$$\Delta E_{w1} = \Delta E_{w2}$$

po podstawieniu


$$t_k = \frac{c_2 \cdot m_2 \cdot t_2 + c_1 \cdot m_1 \cdot t_1}{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2}.$$

Dla jednakowej masy wody ($m_1 = m_2, c_1 = c_2$):

$$t_k = \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwie zlewki, grzałka, termometr, wata lub lignina, gumki recepturki, łyżeczka z tworzywa.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Zlewkę owijamy szczelnie ligniną lub watą i przytrzymujemy gumkami.
- Do izolowanej termicznie zlewki nalewamy 0,5 kg zimnej wody o temperaturze ok. 20°C.
- W drugiej zlewce doprowadzamy do wrzenia taką samą ilość wody.
- Wodę gorącą ostrożnie wlewamy do zimnej i mieszamy łyżeczką.
- Wkładamy termometr i odczytujemy temperaturę wody.
- Uzupełniamy tabelę:

$t_2 = 100^\circ\text{C}$	Temperatura gorącej wody	$\Delta t_2 = t_2 - t_k =$	
$t_k =$	Temperatura końcowa wody		$\Delta t_1 = t_k - t_1 =$
$t_1 =$	Temperatura zimnej wody		

- Obliczamy ciepło oddane przez gorącą wodę przyjmując wartość $c = 4190 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

$$Q_2 = c \cdot m \cdot (t_2 - t_k)$$

- Obliczamy ciepło pobrane przez zimną wodę

$$Q_1 = c \cdot m \cdot (t_k - t_1)$$

- Porównujemy obliczone wartości.
- Obliczamy temperaturę końcową wody ze wzoru:

$$t_k = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

- Porównujemy z wartością odczytaną na termometrze.
- Dyskutujemy co wpłynęło na wynik pomiaru.

S.3.05.2 Ciepło właściwe wody

Cel ćwiczenia, opis

Wyznaczanie ciepła właściwego wody za pomocą grzałki oraz pokazanie, od czego zależy ilość ciepła potrzebna do ogrzania wody.

Wiedząc, jaka jest moc grzałki i czas ogrzewania do określonej temperatury, możemy policzyć, o ile wzrosła energia wewnętrzna wody.

$$\Delta E_w = P \cdot t$$

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

czyli

$$c = \frac{P \cdot t}{m \cdot \Delta T}$$

Jeżeli podzielimy dostarczoną do wody energię, równą przyrostowi jej energii wewnętrznej, przez masę wody i przyrost temperatury, to dowiemy się, jaka ilość energii jest potrzebna do ogrzania 1kg wody o 1°C. Obliczoną wielkość nazywamy ciepłem właściwym.

Niezbędne przedmioty i materiały

Grzałka np. 200 W, termometr, zlewki z wodą 0,25 kg, 0,50 kg, 0,75 kg o tej samej temperaturze początkowej, stoper (zegarek z sekundnikiem), wata lub lignina, gumki recepturki.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Zlewki z wodą owijamy ligniną i przytrzymujemy recepturką.
- Ogrzewamy wodę w zlewkach o około 30°C, notując czas, w którym woda osiąga określoną temperaturę co 5°C.
- Otrzymane wyniki umieszczamy w tabelach.

Zlewka z wodą 0,25kg

Temperatura wody (°C)								
Czas ogrzewania (s)								

Zlewka z wodą 0,50kg

Temperatura wody (°C)								
Czas ogrzewania (s)								

Zlewka z wodą 0,75kg

Temperatura wody (°C)								
Czas ogrzewania (s)								

- Przedstawiamy, na wykresie zależności temperatury wody w zlewce od czasu ogrzewania, wyniki dla poszczególnych mas wody.
- Wiedząc, że grzałka o mocy 200 W dostarcza wodzie 200 J energii w ciągu każdej sekundy, obliczamy, o ile wzrosła energia wewnętrzna 0,25 kg wody w czasie, w którym jej temperatura wzrosła o 20°C. Czas odczytujemy z wykresu lub tabeli.

$$\Delta E_w = 200 J \cdot t$$

- Obliczamy ciepło właściwe wody c korzystając ze wzoru dla powyższych danych

$$c = \frac{\Delta E_w}{m \cdot \Delta T}$$

- Powtarzamy dwukrotnie obliczenia dla innej masy wody i czasu, w którym woda osiągnęła temperaturę wyższą np. o 15°C i 25°C.
- Liczymy wartość średnią ciepła właściwego wody.
- Odczytujemy wartość ciepła właściwego wody z tablic matematyczno-fizycznych i porównujemy z otrzymaną wartością.
- Dyskutujemy, co mogło wpłynąć na wynik pomiaru.

S.3.05.3 Ciepło właściwe mosiądzu

Cel ćwiczenia, opis

Oszacowanie wielkości ciepła właściwego mosiądzu.

Korzystamy z uproszczonego bilansu energii wewnętrznej, w którym po jednej stronie mamy ciepło oddane przez ogrzane ciało (odważnik mosiężny), a po drugiej ciepło pobrane przez wodę. Przyjmując za znane ciepło właściwe wody, po określeniu temperatur początkowych i końcowych ciał, wyznaczmy ciepło właściwe metalu (oszacowanie wielkości ciepła właściwego mosiądzu wynika między innymi z faktu, że nie uwzględniamy ciepła pobranego przez naczynie, w którym znajduje się woda oraz wymiany ciepła z otoczeniem).

Ciepło oddane przez gorący odważnik mosiężny o masie m_m , który oziębia się od temperatury 100°C do temperatury t_k :

$$Q_{\text{oddane}} = c_m \cdot m_m \cdot (100^{\circ}\text{C} - t_k)$$

Ciepło pobrane przez wodę o masie m_w , która ogrzewa się od temperatury t_p do temperatury t_k :


$$Q_{\text{pobrane}} = c_w \cdot m_w \cdot (t_k - t_p)$$

skąd

$$c_m = \frac{c_w \cdot m_w \cdot (t_k - t_p)}{m_m \cdot (100^{\circ}\text{C} - t_k)}$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Grzałka, termometr, wąska zlewka z podziałką, z niewielką ilością wody np. 0,1 - 0,2 kg (taką ilością wody, aby można w niej było zanurzyć mosiężny odważnik) w temperaturze pokojowej, duża zlewka z wodą, mosiężny odważnik (np. 100 g lub 200 g) od wagi laboratoryjnej (lub inny, którego ciepło właściwe wyznaczymy), sznurek, wata lub lignina, gumki recepturki.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Do odważnika przywiązujemy sznurek i wkładamy do dużej zlewki z wodą.
- Do zlewki wkładamy grzałkę tak, aby nie dotykała odważnika.
- Ogrzewamy wodę do temperatury wrzenia i gotujemy jeszcze około 10 min. Przyjmujemy wówczas, że temperatura początkowa odważnika wynosi 100°C .
- Odmierzamy określoną masę wody m_w (np. 100 ml).
- Owijamy zlewkę z wodą ligniną i przymocowujemy ją gumkami.

- Wyznaczamy temperaturę początkową wody t_p .
- Przenosimy szybko gorący odważnik (trzymając go za sznurek) do zlewki z wodą.
- Wyznaczamy temperaturę końcową wody z odważnikiem t_k .
- Obliczamy ciepło właściwe mosiądzu ze wzoru przyjmując, że $c_w = 4200 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$:

$$c_m = \frac{c_w \cdot m_w \cdot (t_k - t_p)}{m_m \cdot (100^\circ\text{C} - t_k)}$$

- Porównujemy wyliczoną wartość ciepła właściwego mosiądzu z wartością odczytaną z tablic i dyskutujemy, co wpłynęło na wynik pomiaru.

Tytuł

S.3.06 Silniki cieplne

Cel ćwiczenia, opis

Zapoznanie z zasadą działania silnika cieplnego.

Wymagana wiedza ucznia

Energia wewnętrzna, energia mechaniczna, silnik cieplny, praca.

S.3.06.1 Pracowity gaz

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że ogrzany gaz wykonuje pracę.

Niezbędne przedmioty i materiały

Strzykawka jednorazowa (duża), gwóźdź, jako zatyczka strzykawki, mały odważnik (może być plastelina), naczynie z bardzo gorącą wodą (bliską temperatury wrzenia).



Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Strzykawkę jednorazową (przy tłoku odsuniętym do $\frac{3}{4}$ objętości) zatykamy gwóździem o średnicy nieco większej niż otwór strzykawki.

- Przed zanurzeniem w wodzie koniecznie naciskamy na chwilę mocno tłok. (Po zwolnieniu nacisku tłok ustawia się mniej więcej w połowie długości strzykawki.)
- Ustawiamy strzykawkę tłokiem do góry i kładziemy na nim przygotowany odważnik.
- Zanurzamy strzykawkę w gorącej wodzie.

Po kilku sekundach ogrzewania powietrza w strzykawce tłok przesuwa się do góry, podnosząc przymocowany do niego ciężar. Cząsteczki gorącej wody przekazały energię cząsteczkom powietrza zamkniętego w strzykawce. Odważnik podniesiony na pewną wysokość zyskał energię potencjalną kosztem energii wewnętrznej gazu.

S.3.06.2 Turbina parowa

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie zasady działania pierwszego silnika cieplnego (silnika Herona).

Niezbędne przedmioty i materiały

Metalowa puszka (np. po kawie lub kakao), nożyczki, cienki sznurek, woda, palnik spirytusowy lub świeczka.



Wysoka temperatura – możliwość oparzenia. Ostre przedmioty – możliwość skaleczenia.

Przebieg ćwiczenia

- W połowie wysokości puszki nacinamy z boku małe otwory w kształcie prostokąta (po przeciwnych stronach puszki, wzdłuż średnicy) i odginamy powstałe paski blachy tak, aby zwrócone były w przeciwne strony (Uwaga! Ostrożnie).
- Zdejmujemy wieczko i robimy dokładnie pośrodku mały otwór, przez który przewlekamy cienki sznurek i zabezpieczamy supełkiem.
- Nalewamy do puszki wody poniżej wysokości otworów, zakładamy pokrywę mocno ją dociskając.
- Trzymamy za nitkę tak, aby turbina na niej zawisała i podgrzewamy puszkę od spodu płomieniem palnika spirytusowego lub świecą (wtedy lepiej nalać do puszki gorącej wody).

Gdy woda w puszcze zaczyna wrzeć, para zaczyna wydostawać się przez otwory na zewnątrz. Wypływ pary powoduje obrót puszki, która zaczyna skręcać sznurek. Następuje przemiana energii wewnętrznej wody w energię mechaniczną obracającej się puszki.


S.3.06.3 Silnik z gumy

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że ogrzana guma wykonuje pracę.

Niezbędne przedmioty i materiały

Guma modelarska (lub używana do wentyli rowerowych), statyw, obciążniki, suszarka do włosów lub palnik gazowy.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Na jednej lub kilku długich niciach gumowych wieszamy taki obciążnik, by guma wydłużyła się około trzykrotnie.
- Strumień powietrza z suszarki przesuwamy kilkakrotnie wzdłuż całej długości gumy (używając palnika gazowego lub świecy przesuwamy płomień szybko wzdłuż nici gumowej).

Ogrzewane nici gumowe kurczą się i podnoszą ciężar. Kosztem energii dostarczonej w wyniku ogrzewania wzrasta energia potencjalna podnieszonego ciężaru.

(Guma jest jedną z niewielu substancji, które pod wpływem ciepła kurczą się, a nie rozszerzają. Guma ponadto nagrzewa się przy rozciąganiu i oziębia przy powrocie do stanu wyjściowego.)

Doświadczenia do wykonania na uczelni

Tytuł

U.3.01 Energia wewnętrzna i temperatura

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że energię wewnętrzną ciała możemy zmienić przez wykonanie pracy i dostarczanie ciepła.

Wymagana wiedza ucznia

Praca, cieplny przepływ energii, energia wewnętrzna, temperatura, pierwsza zasada termodynamiki.

U.3.01.1 Rozpalanie ognia wiertarką

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że energię wewnętrzną ciała zmieniamy przez wykonanie pracy.

Niezbędne przedmioty i materiały

Wiertarka, zaostzony pręt z twardego drewna o średnicy ok. 10mm, deska, trochę bardzo drobnych trocin z drewna.



Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Mocujemy drewniany pręt w wiertarce w miejscu wiertła, a następnie dociskamy do deski.
- Uruchamiamy wiertarkę i ostrożnie posypujemy wokół pręta trochę trocin.

W czasie obrotów wiertarki wzrasta temperatura obu kawałków drewna, pojawia się dym, a trociny zaczynają się żarzyć. Dzięki wykonaniu pracy wzrosła energia wewnętrzna obu kawałków drewna.

U.3.01.2 Ostyganie ciał


Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że szybkość ostygania zależy od różnicy temperatur pomiędzy stygnącym ciałem, a otoczeniem.

Każde ciało, znajdujące się w ośrodku o niższej temperaturze, traci ciepło przez przewodnictwo, promieniowanie i konwekcję. Prędkość ostygania zależy od własności ciała stygnącego i ośrodka oraz od różnicy ich temperatur. Newton zauważył, że ilość ciepła tracona przez stygnące ciało w określonym czasie, jest proporcjonalna do różnicy temperatur stygnącego ciała i ośrodka, w którym się ono znajduje. Prawo jest spełnione, gdy różnica ta nie jest zbyt duża.

Niezbędne przedmioty i materiały

Kalorymetr z osłoną, termometr, statyw, naczynie do ogrzewania wody, woda, zegarek z sekundnikiem.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- W środku wewnętrznego naczynia kalorymetru, około 1 cm poniżej brzegu, robimy ołówkiem kreskę i nalewamy wody w temperaturze wrzenia do tego poziomu.
- Nieosłonięty kalorymetr stawiamy na środku stołu i umieszczamy wewnątrz niego zawieszony na statywie termometr.
- Co minutę, przez około 30 minut, odczytujemy temperaturę i wyniki zapisujemy w tabeli (siedzimy w pewnej odległości, nie dmuchamy, nie dotykamy kalorymetru, aby nie wpływać na szybkość ostygania). Wyliczamy spadek temperatury przypadający na jedną minutę.

Tabela 1. Woda w kalorymetrze nieosłoniętym.

Czas (min)	Temperatura (°C)	Spadek temperatury (°C /min)	Czas (min)	Temperatura (°C)	Spadek temperatury (°C /min)
1			16		
2			17		
3			18		
4			19		
5			20		
6			21		
7			22		
8			23		
9			24		
10			25		
11			26		
12			27		
13			28		
14			29		
15			30		

- Sporządzamy wykres odmierając na osi x odcinki proporcjonalne do czasu w minutach, a na osi y odcinki proporcjonalne do temperatury w °C.
- Następnie powtarzamy czynności. Napelniamy ponownie kalorymetr wrzącą wodą do tego samego poziomu, ale umieszczamy go wewnątrz osłony. Zamykamy pokrywę z otworem na termometr.
- Co minutę odczytujemy temperaturę i wyniki zapisujemy w tabeli.

Tabela 2. Woda w kalorymetrze osłoniętym.

Czas (min)	Temperatura (°C)	Spadek temperatury (°C /min)	Czas (min)	Temperatura (°C)	Spadek temperatury (°C /min)
1			16		
2			17		
3			18		
4			19		
5			20		
6			21		
7			22		
8			23		
9			24		
10			25		
11			26		
12			27		
13			28		
14			29		
15			30		

- Rysujemy nową krzywą na tym samym wykresie i porównujemy przebieg obu.

Z otrzymanych wyników i wykresu widzimy, że gdy różnice między temperaturami ciała stygnącego i otoczenia są małe, wyrównanie temperatur odbywa się bardzo powoli. W kalorymetrze osłoniętym ochładzanie wody odbywa się znacznie wolniej niż w kalorymetrze nieosłoniętym, dzięki całkowitemu niemal usunięciu konwekcji. Krzywe ostygnięcia zmieniają swoją stromość i dopiero dla małych różnic temperatur ciała i otoczenia przechodzą w linię prawie prostą. Dla małych różnic między temperaturami ciała i otoczenia, szybkość ostygnięcia jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatur ciała stygnącego i otoczenia (zgodnie z prawem ostygnięcia Newtona).

U.3.01.3 Czy rodzaj powierzchni ciała ma wpływ na ostygnięcie?

Cel ćwiczenia, opis

Badanie zależności ostygnięcia od rodzaju powierzchni ciała.

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwie szklane kolby o pojemności około 100 ml, dwa termometry, dwa statywy, świeca, folia aluminiowa, naczynie do ogrzewania wody, woda o temperaturze około 80°C, zegarek z sekundnikiem.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Bańkę jednej kolby okopcamy nad płomieniem świecy, a drugiej oklejamy folią aluminiową.
- Do jednej i do drugiej kolby wlewamy aż po szyjkę jednakowe ilości gorącej wody.
- Do kolbek wstawiamy termometry ujęte w łapki statywów.
- Co kilka minut odczytujemy temperatury wody w kolbach i wyniki zapisujemy w tabeli.

Czas (min)	Temperatura wody w	
	kolbie czarnej (°C)	kolbie srebrnej (°C)

- Przedstawiamy na wykresie otrzymane wyniki i wysnuwamy odpowiednie wnioski.

Szybkość ostygnięcia zależy od wielkości powierzchni, temperatury, a także od rodzaju samej powierzchni. Powierzchnia poczerniona, chropowata emituje promieniowanie intensywniej niż powierzchnia błyszcząca i gładka.

Tytuł

U.3.02 Sposoby przekazywania energii wewnętrznej

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie sposobów przekazywania energii wewnętrznej ciał.

Wymagana wiedza ucznia

Energia wewnętrzna, temperatura, przewodnictwo cieplne, konwekcja, promieniowanie, przewodniki i izolatory cieplne, prawo Fouriera.

U.3.02.1 Przewodnictwo cieplne metalu i szkła


Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że nie wszystkie ciała stałe jednakowo przewodzą ciepło.

Przewodnictwo cieplne to proces przepływu ciepła pomiędzy ciałami o różnej temperaturze, polegający na przekazywaniu energii bezładnego ruchu cząsteczek wskutek zderzeń zachodzących między nimi. Zachodzi zawsze od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej, do chwili wyrównania się temperatury obu ciał.

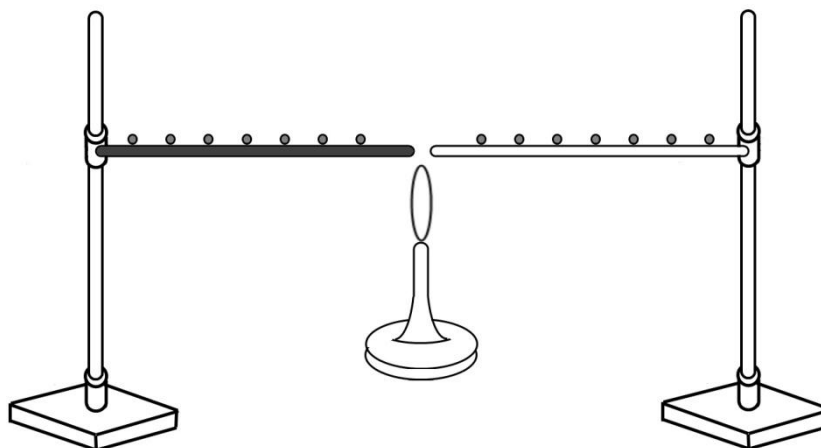
Niezbędne przedmioty i materiały

Statyw, metalowy i szklany pręt, plastelina, palnik spirytusowy lub świeczka.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Przyklejamy małe kulki z plasteliny do metalowego i szklanego pręta (co kilka centymetrów).
- Mocujemy w statywie końce prętów: metalowego i szklanego, a drugie umieszczamy w płomieniu palnika.



Po kilkudziesięciu sekundach obserwujemy, że kulki kolejno, od strony ogrzewanego końca pręta metalowego, spadają w wyniku wzrostu temperatury kolejnych jego części. Cząsteczki płomienia o wysokiej temperaturze poruszają się z dużymi szybkościami i zderzając się z atomami metalowego pręta, przekazują im część energii. Wzrasta średnia energia kinetyczna drgających atomów w części pręta umieszczonej w płomieniu. Energia drgań tych atomów przekazywana jest przez zderzenia kolejnym, sąsiednim atomom pręta i tak stopniowo wzrasta energia wewnętrzna całego pręta. Ten sposób zmiany energii wewnętrznej ciała nazywamy cieplnym przepływem energii.

W izolatorach cieplnych, do których należy pręt szklany, przekazywanie energii pomiędzy cząsteczkami zachodzi znacznie wolniej.

U.3.02.2 Badanie przewodnictwa cieplnego miedzi

Cel ćwiczenia, opis

Sprawdzenie, od czego zależy przepływ ciepła w metalowym pręcie.

Strumień cieplny przepływający przez metalowy pręt zależy od różnicy temperatur wytworzonych na jego końcach i jest tym większy, im większa jest ta różnica. Zależność tę


opisuje prawo Fouriera. Jeśli ciepło przepływa w pręcie ustawionym wzdłuż osi x , to prawo możemy zapisać w uproszczonej postaci

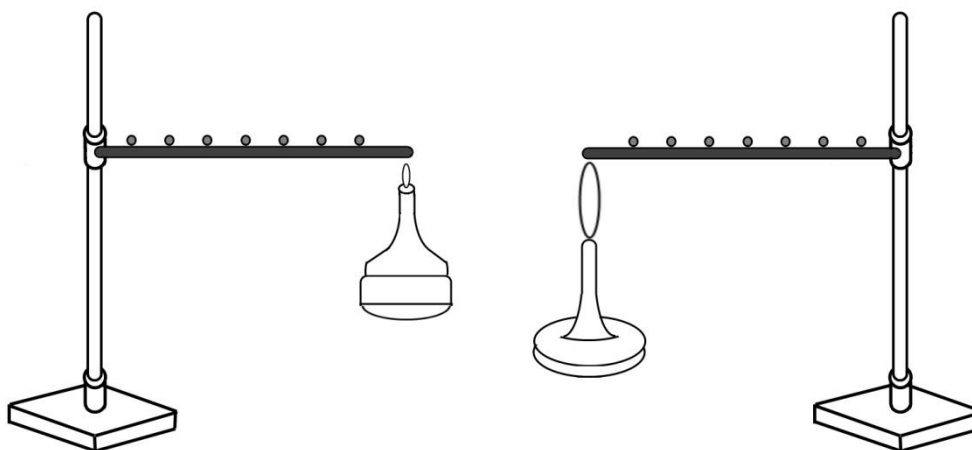
$$q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

gdzie $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ jest zmianą temperatury przypadającą na jednostkę długości, a λ współczynnikiem przewodnictwa cieplnego, charakterystycznym dla danej substancji.

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwa jednakowych rozmiarów miedziane lub mosiężne pręty, dwa statywy, palnik spirytusowy, palnik gazowy, plastelina.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.



Przebieg ćwiczenia

- Mocujemy na dwóch statywach końce dwóch miedzianych prętów tak, by ustawione były poziomo na tej samej wysokości.
- Do każdego z prętów doklejamy od spodu małe kulki z plasteliny, w jednakowej odległości od siebie i od końca prętów.
- Zapalamy palnik gazowy i spirytusowy i jednocześnie podstawiamy pod wolne końce prętów. Ogrzewanie rozpoczynamy jednocześnie.

Z uwagi na dużą intensywność płomienia palnika gazowego, możemy się spodziewać, że temperatura końca pręta nim ogrzewanego jest wyższa, niż temperatura końca drugiego pręta

ogrzewanego palnikiem spirytusowym. Potwierdza to fakt, że liczba kulek, jaka odpada od jednego i drugiego pręta jest różna i tym większa, im wyższa jest temperatura ogrzewanego końca. Świadczy to o szybszym wzroście temperatury w pręcie, którego koniec ogrzewany jest silniej. Ponieważ końce prętów zamocowanych w statywach mają tę samą temperaturę, więc wszelkie różnice w zachowaniu kulek przyklejonych do prętów wynikają jedynie z różnicy temperatur na końcach drutów.

U.3.02.3 Przewodnictwo ciepłe drewna i metalu

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie wpływu różnego przewodnictwa cieplnego substancji.

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwa walce (o jednakowych średnicach): drewniany i metalowy, kartka papieru, statyw, palnik spirytusowy lub świeca.

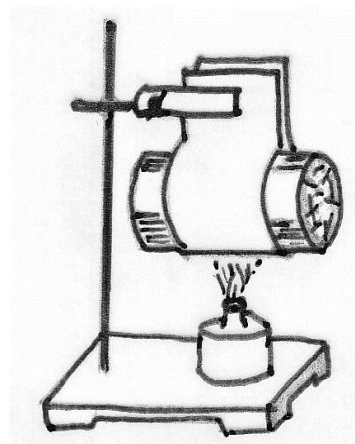
 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia. Materiał łatwopalny, grozi zapaleniem.

Przebieg ćwiczenia

- Nad płomieniem palnika spirytusowego umieszczamy ściśle owinięty w papier walec drewniany zawieszony na statywie za końce papieru. Obserwujemy, co się dzieje.
- Te same czynności wykonujemy dla walca metalowego.

Papier, w który owinięty jest drewniany walec szybko ulega zwęgleniu. Efekt ten nie występuje dla walca metalowego.

Drewno jest złym przewodnikiem cieplnym i dlatego papier szybko ulega zwęgleniu. Metal przewodzi ciepło, zwiększa się jego energia wewnętrzna, a obniża temperatura papieru – papier nie ulega zwęgleniu szybko.




U.3.02.4 Przewodnictwo cieplne wody i powietrza

Cel ćwiczenia, opis

Wykazanie, że woda i powietrze są złymi przewodnikami ciepła.

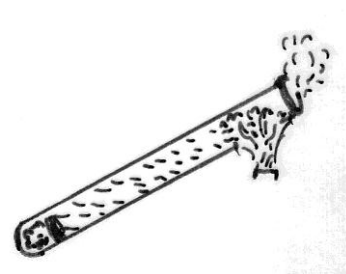
Niezbędne przedmioty i materiały

Probówka z wodą, palnik spirytusowy lub świeczka, kawałek lodu i metalowa nakrętka.

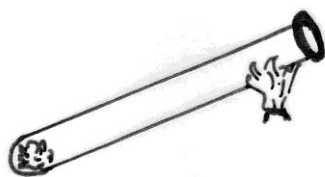
 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Napełniamy probówkę wodą.
- Wrzucamy do probówki kawałek lodu, a na niego metalową nakrętką tak, aby lód pozostał na dnie.
- Ogrzewamy górną część probówki w ogniu, w miejscu gdzie kończy się woda, przez około 3 minuty, trzymając dolną jej część w ręku.



Po pewnym czasie woda na górze probówki wrze, na dole nie odczuwamy wzrostu temperatury wody (widzimy kawałek lodu). Ciepły przepływ energii z góry na dół za pośrednictwem wody nie zachodzi. Woda jest złym przewodnikiem ciepła. Podobnie zachowują się inne ciecze.



Jeśli w probówce nie ma wody, podobny wniosek możemy wyciągnąć również dla gazów.


U.3.02.5 Konwekcja w cieczy

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie zjawiska konwekcji w cieczy i zasady działania centralnego ogrzewania.

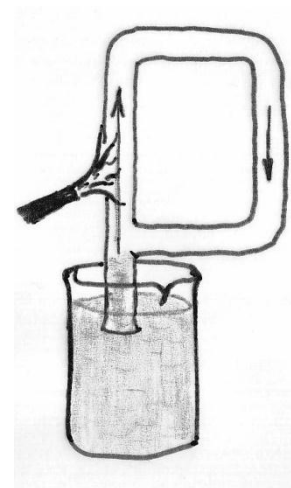
Niezbędne przedmioty i materiały

Szklana rurka w kształcie prostokąta, zlewka o dużej pojemności, woda, barwnik np. fluoresceina, palnik gazowy lub inny.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Dużą zlewkę napełniamy wodą do wysokości ok. 2-3 cm poniżej brzegu i zabarwiamy fluoresceiną.
- Rurkę szklaną z odpływem napełniamy całkowicie wodą i po zatkaniu palcem wylotu zanurzamy ten wylot w wodzie w zlewce. Rurkę – prostokąt ustawiamy w płaszczyźnie pionowej.
- Jedno z ramion (najlepiej to nad wylotem) ogrzewamy za pomocą palnika i obserwujemy ruch cieczy.



Obserwujemy ruch zabarwionej wody do góry. Ogrzewana woda, wędrując do góry ogrzewa wodę chłodną, oziębia się przy tym i opada ku dołowi. Ciepło rozchodzi się wraz z wodą, podobnie jak w centralnym ogrzewaniu z lokalną kotłownią.


U.3.02.6 Emisja i absorpcja promieniowania

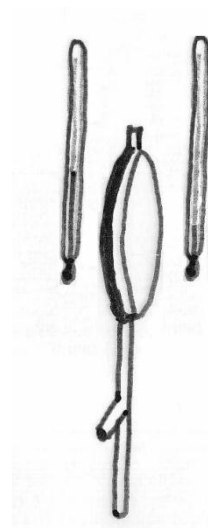
Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że emisja i absorpcja promieniowania zależy od powierzchni ciała.

Niezbędne przedmioty i materiały

Aktynometr (zbiornik z dwiema powierzchniami: gładką wypolerowaną i poczernioną), gorąca woda, zimna woda, świeczka, dwa termometry, źródło ciepła (np. lampka, grzałka), stoper lub zegarek z sekundnikiem.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.



Przebieg ćwiczenia

- Jedną z powierzchni aktynometru okopcamy nad świecą, a następnie nalewamy do środka gorącej wody.
- W jednakowej odległości od aktynometru, z dwóch jego stron, umieszczamy jednakowe termometry i po pewnym czasie odczytujemy temperaturę, jaką pokazują.

Rodzaj powierzchni aktynometru	Temperatura, jaką pokazuje termometr (°C)
Powierzchnia gładka, wypolerowana	
Powierzchnia chropowata, poczerniona	

- Do aktynometru nalewamy zimnej wody i odczytujemy jej temperaturę.
- Zbliżamy źródło ciepła od strony chropowatej, poczernionej i notujemy, o ile wzrosła temperatura wody po pięciu minutach ogrzewania.
- Ponownie zbliżamy źródło ciepła, na tę samą odległość, teraz od strony gładkiej, wypolerowanej i po takim samym czasie odczytujemy, o ile wzrosła temperatura wody wewnątrz aktynometru.

Rodzaj powierzchni aktynometru	Temperatura początkowa	Temperatura końcowa	Przyrost temperatury
Powierzchnia gładka, wypolerowana			
Powierzchnia chropowata, poczerniona			

Powierzchnia chropowata, poczerniona emituje i również absorbuje (pochłania) promieniowanie intensywniej, niż powierzchnia gładka i wypolerowana.

*Tytuł***U.3.03 Rozszerzalność temperaturowa ciał***Cel ćwiczenia, opis*

Wykazanie, że przy wzroście temperatury ciała zwiększają swoją objętość.

Wymagana wiedza ucznia

Energia wewnętrzna, temperatura, rozszerzalność temperaturowa ciał.

U.3.03.1 Sprawdzenie punktów stałych termometru w skali Celsjusza

Cel ćwiczenia, opis

Sprawdzenie punktów stałych termometru w skali Celsjusza.

Niezbędne przedmioty i materiały

Termometr Celsjusza, rurka szklana, napełniona inną cieczą do pewnej wysokości, z której usunięto powietrze - termoskop, lód, woda, zlewka, kolba z korkiem z otworem na termometr i rurkę odprowadzającą parę wodną, źródło ciepła (kuchenka elektryczna lub palnik gazowy).

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Zbiorniczek termometru zanurzamy do topniejącego lodu umieszczonego w zlewce i po krótkim czasie odczytujemy wskazania termometru.
- Następnie ten sam termometr umieszczamy tuż nad powierzchnią wrzącej wody znajdującej się w kolbie, umieszczonej na kuchence i ponownie odczytujemy jego wskazania.
- Te same czynności powtarzamy z termoskopem, zaznaczając miejsca zatrzymania się cieczy w lodzie i wrzącej wodzie paskami gumy znajdującymi się na rurce.

Słupek termometru zatrzymuje się na „0” skali w topniejącym lodzie i na „100” skali we wrzącej wodzie (drobne odstępstwo może być spowodowane innym ciśnieniem atmosferycznym). W ten sposób sprawdzamy punkty stałe termometru Celsjusza. Jeśli odległość pomiędzy zaznaczonymi paskami gumy, podzielimy na sto równych części, otrzymamy „stopień Celsjusza”. W ten sposób uzasadniamy budowę skali termometrycznej Celsjusza.


U.3.03.2 Rozszerzalność temperaturowa ciał stałych

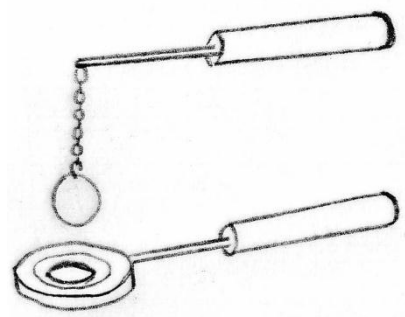
Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że ciała stałe zwiększają swoją objętość pod wpływem temperatury.

Niezbędne przedmioty i materiały

Metalowa kulka i metalowy pierścień (pierścień Gravesanda), palnik spirytusowy lub świeczka, naczynie z wodą.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.



Przebieg ćwiczenia

- Sprawdzamy, czy kulka przechodzi swobodnie przez pierścień.
- Ogrzewamy kulkę w płomieniu palnika (świeczki) przez kilka minut.
- Sprawdzamy, czy teraz przechodzi przez pierścień.
- Studzimy kulkę w wodzie i sprawdzamy, czy przechodzi przez pierścień.

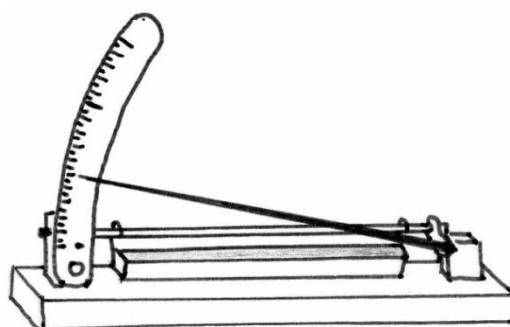
W temperaturze pokojowej kulka swobodnie przechodzi wewnątrz pierścienia, zaś po podgrzaniu nie. Wzrost temperatury pierścienia (wzrost średniej energii kinetycznej chaotycznego ruchu cząsteczek) spowodował zwiększenie objętości. Po zanurzeniu kulki w zimnej wodzie jej temperatura obniża się, zmniejsza się objętość kulki i ponownie przechodzi ona przez pierścień.

U.3.03.3 Rozszerzalność temperaturowa ciał stałych

Cel ćwiczenia, opis

Badanie (jakościowe) zjawiska rozszerzalności temperaturowej ciał stałych.

Dylatoskop, za pomocą którego bada się rozszerzalność linową ciał stałych, jest tak skonstruowany, że nieznaczne przyrosty długości prętów metalowych i innych są wskazywane za pomocą przekładni dźwigniowej w powiększeniu wielokrotnym i dlatego są wyraźne i dostrzegalne.



Niezbędne przedmioty i materiały

Dylatoskop, pręty metalowe, denaturat, zapalki.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia. Ciecze łatwopalne, możliwość zapalenia.

Przebieg ćwiczenia

- Badany pręt metalowy wkładamy w uchwyty dylatoskopu i unieruchamiamy za pomocą śruby jeden z jego końców. Drugi koniec pręta opiera się o krótsze ramię dźwigni obrotowej. Drugim ramieniem tej dźwigni jest długa wskazówka metalowa.
- Do znajdującej się pod prętem rynienki nalewamy denaturatu i zapalamy go.
- Zapisujemy w tabeli rodzaj pręta i maksymalne wychylenie wskazówki.
- Po pewnym czasie od wygaszenia płomienia zmieniamy pręt.

Pręt	Maksymalne wychylenie wskazówki
mosiężny	
aluminiowy	
stalowy	
szklany	

Podgrzewany pręt wydłuża się, naciska na krótkie ramię dźwigni i powoduje jego nieznaczne przesunięcie. To przesunięcie - zwielokrotnione - zostaje wskazane przez wskazówkę, której koniec znacznie podnosi się do góry.


U.3.03.4 Rozszerzalność temperaturowa powietrza i wody

Cel ćwiczenia, opis

Badanie rozszerzalności cieplnej powietrza (gazu).

Niezbędne przedmioty i materiały

Kolba z szeroką szyjką (butelka) z korkiem z długą, wąską rurką, zabarwiona np. fluoresceiną woda, naczynie z gorącą wodą.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Do połowy wysokości kolby nalewamy zabarwionej cieczy.
- Kolbę zatykamy korkiem z długą, wąską rurką. Rurkę przesuwamy tak, aby jej koniec znajdował się w cieczy, a ciecz znalazła się w rurce.
- Kładziemy dłonie na kolbie, nad powierzchnią cieczy i obserwujemy poziom cieczy w rurce.
- Dolewamy zabarwionej cieczy do kolby tak, aby pod korkiem z rurką nie pozostało powietrze.
- Kładziemy dłonie na kolbie z cieczą, a następnie wkładamy kolbę do naczynia z gorącą wodą. Za każdym razem obserwujemy poziom cieczy w rurce.

Słupek cieczy w rurce przesuwa się do góry z powodu wzrostu objętości powietrza ogrzanego od dłoni. Efekt ten jest prawie niewidoczny dla ogrzewanej dłońmi cieczy. Przy ogrzewaniu cieczy w kolbie w naczyniu z gorącą wodą jej słupek w rurce gwałtownie się podnosi. Na podstawie doświadczeń widzimy, że gazy i ciecze zwiększają swoją objętość przy ogrzewaniu, przy czym gazy bardziej, niż ciecze.

U.3.03.5 Rozszerzalność temperaturowa wody

Cel ćwiczenia, opis

Badanie rozszerzalności cieplnej wody.

Niezbędne przedmioty i materiały

Kolba z szeroką szyjką z korkiem z długą, wąską rurką kapilarną, zabarwiona np. fluoresceiną lub nadmanganianem potasu woda, woda, lód, katetometr (przymiar ze wskaźnikiem), duża zlewka lub inne naczynie, termometr.

Przebieg ćwiczenia

- Do kolby do pełna nalewamy zabarwionej cieczy.
- Kolbę zatykamy szczelnie korkiem tak, aby pod korkiem z rurką nie pozostało powietrze, a poziom cieczy w rurce się ustabilizował.
- Kolbkę ustawiamy na dnie zlewki, nalewamy wody o temperaturze pokojowej powyżej kolbki i wstawiamy termometr; obok naczynia ustawiamy katetometr.

- Po kilku minutach, gdy wyrówna się temperatura wody w kolbie i zlewce, odczytujemy na termometrze temperaturę, a na przymiarze metrowym – wysokość słupka wody w kapilarze. Wyniki zapisujemy.
- Następnie zaczynamy oziębiać wodę. Wrzucamy do wody w zlewce kilka kawałków lodu, a gdy lód się stopi, odczytujemy po kilku minutach temperaturę i wysokość słupka wody w kapilarze.
- Następnie przez dorzucanie lodu oziębiamy kąpiel; przy każdym obniżeniu temperatury czekamy dość długo na wyrównanie się temperatur wody w zlewce i kolbie, po czym wyznaczamy temperaturę i wysokość słupka wody w kapilarze. Tak postępujemy aż do wypełnienia zlewki topniejącym lodem i za każdym razem zapisujemy wyniki pomiarów.
- Teraz zaczynamy obserwować zachowanie się wody przy ogrzewaniu. Proces powinien odbywać się całkiem wolno. Usuwamy ze zlewki tylko nadmiar lodu, a do reszty dolewamy wody.
- Przy podwyższaniu się temperatury, bez osobnego podgrzewania, co 1°C odczytujemy wysokość słupka wody w kapilarze.
(Żeby przyspieszyć wykonanie ćwiczenia, możemy rozpocząć od ochłodzenia wody w kolbie do temperatury 0°C wcześniej, a pomiary rozpocząć od ogrzewania mieszaniny wody i lodu w zlewce)
- Otrzymane wyniki przedstawiamy graficznie na wykresie zależności wysokości słupka wody w kapilarze od temperatury.

Słupek cieczy w rurce opada stopniowo, a poniżej temperatury 4°C z powrotem powoli się podnosi. Woda w przeciwieństwie do innych cieczy kurczy się, gdy jest ogrzewana od 0 do 4°C. Natomiast ogrzewana od 4°C do wyższej temperatury, tak jak inne ciecze, rozszerza się. Oznacza to, że w temperaturze 4°C woda ma najmniejszą objętość, a więc największą gęstość.

U.3.03.6 Bimetal

Cel ćwiczenia, opis

Badanie właściwości bimetalu.

Niezbędne przedmioty i materiały

Bimetal z uchwytem lub taśma bimetalowa, palnik spirytusowy, zapalki.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Ogrzewamy bimetal nad płomieniem palnika lub zapalki i obserwujemy jego zachowanie.

Bimetal składa się z dwóch stopów np. inwaru i mosiądzu. Stopy te, ze sobą spojone, zostały tak dobrane, aby ich współczynniki rozszerzalności liniowej znacznie się między sobą różniły. Ogrzany bimetal ulega wygięciu, gdyż każdy ze stopów inaczej reaguje na podwyższenie temperatury. Po przerwaniu ogrzewania stopniowo powraca do pierwotnego kształtu.

U.3.03.7 Współczynnik rozszerzalności liniowej metali

Cel ćwiczenia, opis

Wyznaczenie średniego współczynnika rozszerzalności liniowej dla danego metalu i wykreślenie krzywej rozszerzalności.

Zmianę objętości ciał pod wpływem zmian temperatury nazywamy rozszerzalnością temperaturową ciał. Zjawisko to związane jest z ich budową kinetyczno – molekularną. Zmianę liniowych wymiarów ciała stałego, takich jak długość, szerokość czy wysokość, nazywamy rozszerzalnością liniową.

Jeśli l_0 oznacza długość ciała w temperaturze t_0 , a l_t to jego długość w temperaturze t_t , to dla przyrostu temperatury $\Delta t = t_t - t_0$, przyrost długości $\Delta l = l_t - l_0$, możemy wyrazić zależnością:

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t$$


gdzie:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$$

nazywamy średnim współczynnikiem rozszerzalności liniowej w zakresie temperatur od t_0 do t_t . Podkreślenie badanego zakresu temperatur jest konieczne z powodu zależności współczynnika rozszerzalności liniowej od temperatury.

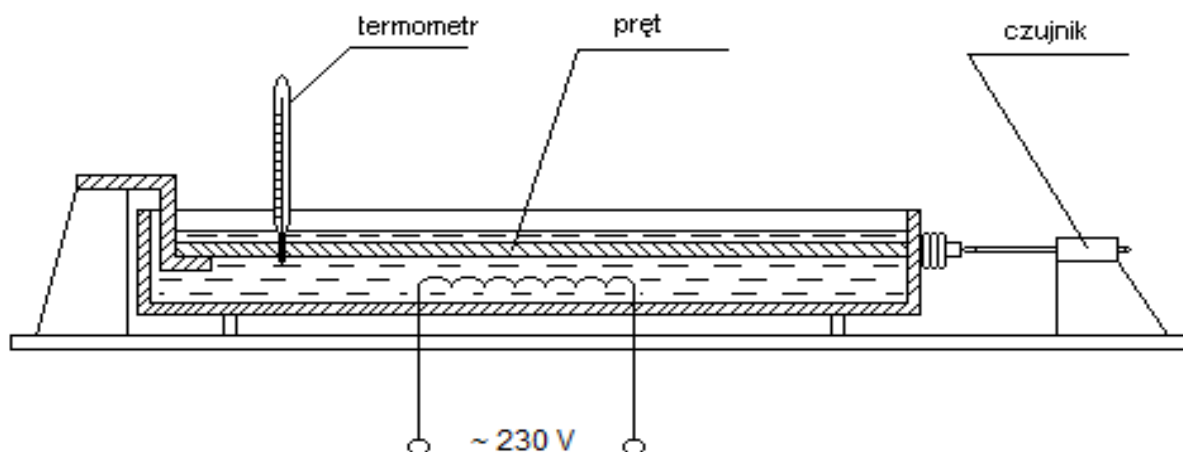
Niezbędne przedmioty i materiały

Przyrząd do badania współczynnika rozszerzalności liniowej w kapieeli wodnej, czujnik mechaniczny, termometr o zakresie do 100°C, przymiar metrowy, metalowe pręty, woda.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Mierzmy długość badanego pręta.
- Mocujemy pręt w piecu elektrycznym.
- Do rynienki pieca nalewamy tyle wody, aby pręt był całkowicie zanurzony.
- Wkładamy termometr w uchwyt w rynience.
- Odczytujemy temperaturę początkową wody i notujemy w tabeli.
- Sprawdzamy, czy wskazówka czujnika ustawiona jest na zerze, a układ pomiarowy wygląda według schematu:



- Włączamy piecyk do sieci i ogrzewamy wodę do temperatury ok. 80°C.
- Przy każdym wzroście temperatury o 5°C notujemy wskazania czujnika i uzupełniamy tabelę.

Nazwa materiału	Długość początkowa l_0	Wskazanie czujnika		Przyrost długości	Temperatura		Przyrost temperatury	Średni współczynnik rozszerzalności
		przed ogrzaniem	po ogrzaniu		początkowa	po ogrzaniu		
Aluminium								
Mosiądz								
Miedź								

- Ostrożnie wylewamy gorącą wodę i ochładzamy wanienkę i pręt zimną wodą.
- Dla pozostałych prętów postępujemy identycznie, a uzyskane wyniki zapisujemy w tabeli.
- Dla każdego z prętów, dla kilku zakresów temperatur, wyliczamy średni współczynnik rozszerzalności liniowej ze wzoru:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$$

- Określamy niepewności wyznaczenia długości pręta i temperatury (przyjmujemy niepewności systematyczne związane z działką elementarną użytych przyrządów).
- Sporządzamy wykres zależności długości pręta (lub przyrostów długości) od temperatury wraz z prostokątami niepewności.
- Na podstawie sporządzonych wykresów określamy, jaki jest charakter badanej rozszerzalności liniowej.

Tytuł

U.3.04 Trzy stany skupienia

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie zjawisk związanych ze zmianami stanów skupienia.

Wymagana wiedza ucznia

Trzy stany skupienia, topnienie, krzepnięcie, parowanie, skraplanie, wrzenie, sublimacja, resublimacja, temperatura topnienia (krzepnięcia), temperatura wrzenia, ciepło topnienia, ciepło parowania.

U.3.04.1 Zjawisko topnienia i krzepnięcia naftalenu

Cel ćwiczenia, opis

Wyznaczenie temperatury topnienia i krzepnięcia naftalenu.

Topnienie substancji zachodzi w określonej temperaturze, przy czym dostarczane ciepło nie powoduje podniesienia temperatury substancji, lecz zmianę jej stanu skupienia ze stałego w ciekły. Temperaturę, w której zachodzi ta przemiana, nazywamy temperaturą topnienia (bądź krzepnięcia, w procesie odwrotnym); zależy ona od rodzaju substancji i od działającego na nią ciśnienia zewnętrznego. Substancje, jak parafina, szkło, tłuszcze, nie mają jednoznacznie określonej temperatury topnienia, ale cały przedział temperatur.

Niezbędne przedmioty i materiały

Kilka kulek naftaliny (potoczna, handlowa nazwa naftalenu), duża zlewka, woda, probówka, termometr laboratoryjny o zakresie do 100°C, statyw z uchwytem na probówkę, palnik gazowy lub kuchenka elektryczna, zegarek z sekundnikiem lub stoper.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Przygotowujemy próbkę naftalenu. Umieszczamy kilka kulek naftaliny w probówce i całość ogrzewamy w kąpeli wodnej do chwili, aż cała naftalina ulegnie stopieniu.
- Do probówki ze stopionym naftalenem wkładamy termometr i całość odstawiamy do schłodzenia do temperatury pokojowej (naftalen krzepnie).
- Do około $\frac{3}{4}$ wysokości zlewki nalewamy wodę i ustawiamy na kuchence lub nad palnikiem.
- Probówkę z naftalenem i termometrem mocujemy w statywie i zanurzamy w wodzie tak, aby cały naftalen znajdował się poniżej poziomu wody w zlewce.

- Rozpoczynamy ogrzewanie (temperatura kuchenki nie powinna być duża lub mały płomień palnika) i co 30 sekund odczytujemy i notujemy w Tabeli 1 temperaturę naftalenu wskazywaną przez termometr. Obserwujemy naftalen. Pomiarów wykonujemy do uzyskania przez naftalen temperatury około 90°C.

Tabela 1. Ogrzewanie naftalenu.

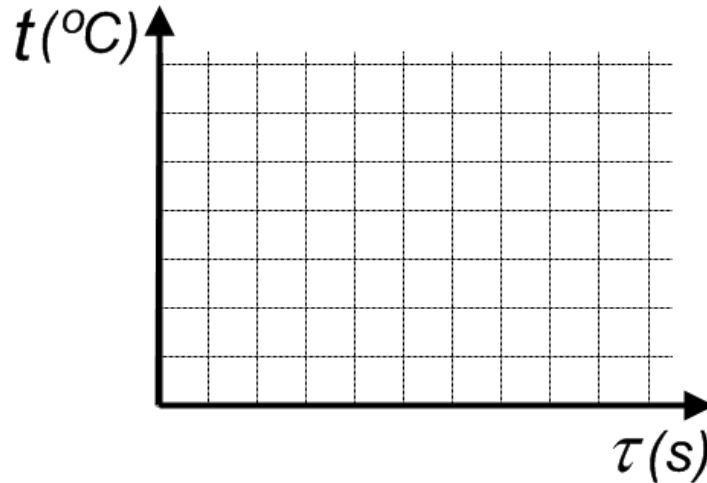
Czas τ od początku ogrzewania (s)	Temperatura t (°C)
0	
30	
60	
90	
...	

- Probówkę z roztopionym naftaleniem wyjmujemy ze zlewki i co 30 sekund odczytujemy i notujemy w Tabeli 2 temperaturę naftalenu wskazywaną przez termometr, do chwili uzyskania przez naftalen temperatury około 60°C. Obserwujemy naftalen.

Tabela 2. Ostygnięcie naftalenu.

Czas τ od początku ostygnięcia (s)	Temperatura t (°C)
0	
30	
60	
90	
...	

- Szacujemy i notujemy niepewności wyznaczenia temperatury Δt oraz czasu $\Delta \tau$ (możemy przyjąć, że dominują niepewności systematyczne związane z działką elementarną użytych przyrządów).
- Wyniki pomiarów wraz z prostokątami niepewności przedstawiamy w postaci wykresu w układzie współrzędnych $t(\tau)$.



- Sporządzamy dwa oddzielne wykresy dla danych z Tabeli 1 i danych z Tabeli 2.
- Znajdujemy na wykresie krzywej ogrzewania naftalenu punkty pomiarowe (τ, t) ułożone w granicach niepewności wzdłuż prostej równoległej do osi czasu. Ich współrzędne czasowe wyznaczają przedział czasu, w którym naftalen się topi.
- Wyznaczamy temperaturę topnienia naftalenu t_{top} jako średnią arytmetyczną wartości temperatur dla tak znalezionych punktów pomiarowych.
- Obliczamy niepewność wyznaczonej wartości temperatury:

$$\Delta t_{top} = \frac{t_{max} - t_{min}}{2},$$

gdzie t_{max} i t_{min} to odpowiednio największa i najmniejsza spośród wartości temperatur dla punktów pomiarowych odpowiadających topnieniu naftalenu.

- Wyznaczamy temperaturę krzepnięcia naftalenu (korzystając z wykresu sporządzonego na podstawie Tabeli 2), postępując analogicznie jak podczas wyznaczania temperatury topnienia.
- Porównujemy otrzymane wartości $t_{top} \pm \Delta t_{top}$ oraz $t_{krz} \pm \Delta t_{krz}$. Zgodnie z teorią pomiarów dwie wartości wielkości fizycznych $t_{top} \pm \Delta t_{top}$ oraz $t_{krz} \pm \Delta t_{krz}$ uznajemy za równe (w granicach niepewności pomiarowych), jeśli spełniają warunek:

$$| t_{top} - t_{krz} | \leq \Delta t_{top} + \Delta t_{krz}$$

- Na podstawie otrzymanych wyników i przeprowadzonych obliczeń udzielamy odpowiedzi na pytanie: czy temperatura topnienia i temperatura krzepnięcia naftalenu są sobie równe?


U.3.04.2 Czy woda wrze w temperaturze 100°C?

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że woda wrze w temperaturze niższej niż 100°C .

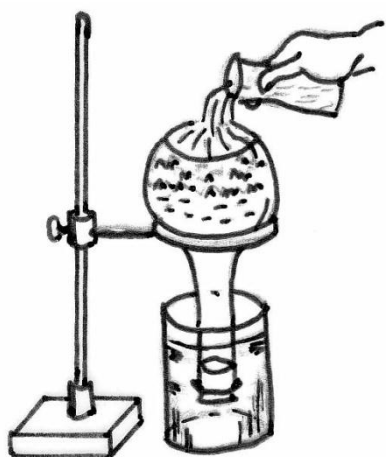
Niezbędne przedmioty i materiały

Kolba o grubych ściankach i kulistym dnie z korkiem, palnik gazowy lub inne źródło ciepła, zimna woda, statyw z okrągłym uchwytem.

-  Wysoka temperatura – możliwość oparzenia. Szklany przedmiot, który może pęknąć - możliwość skaleczenia.

Przebieg ćwiczenia

- Do kolby nalewamy wodę i gotujemy ją przez dłuższy czas, aby wychodząca z niej para wyparła powietrze znajdujące się w naczyniu.
- Gasimy palnik, a kolbę ostrożnie zatykamy korkiem (posługujemy się rękawicami ochronnymi).
- Szybko odwracamy kolbę do góry dnem i zawieszamy w uchwycie statywu. Wrzenie ustaje.
- Oblewamy kolbę zimną wodą i obserwujemy wodę w kolbie.



Po polaniu kolby zimną wodą, woda w kolbie zaczyna z powrotem wrzeć gwałtownie, mimo niższej temperatury wody. Dzieje się tak dzięki skropleniu pary wodnej w kolbie, wskutek czego woda pozostaje pod ciśnieniem niższym od atmosferycznego. Spadek temperatury wody w kolbie jest mniej gwałtowny niż spadek ciśnienia pary nad wodą w kolbie. Zmniejszając ciśnienie wywierane z zewnątrz na ciecz, obniżamy jej temperaturę wrzenia.

U.3.04.3 Wrzenie wody pod zmniejszonym ciśnieniem

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że temperatura wrzenia wody zależy od ciśnienia.

Niezbędne przedmioty i materiały

Pompa próżniowa, zlewka z wodą o temperaturze około 70°C, termometr.

Przebieg ćwiczenia

- Do zlewki nalewamy wody o temperaturze około 70°C. Zapisujemy temperaturę zmierzoną przy użyciu termometru.
- Zlewkę z wodą umieszczamy pod kloszem pompy próżniowej.
- Wypompowujemy powietrze spod klosza i obserwujemy wodę w zlewce.
- Następnie otwieramy zawór, zdejmujemy klosz i szybko mierzymy temperaturę wody w zlewce.

Po obniżeniu ciśnienia pod kloszem pompy, obserwujemy wrzenie wody w zlewce, mimo iż jej temperatura jest znacznie niższa od 100°C. Zmniejszenie ciśnienia nad powierzchnią wody powoduje obniżenie jej temperatury wrzenia. Szybkie obniżenie ciśnienia powietrza nad wodą powoduje wzrost szybkości parowania cieczy. Odbywa się to kosztem jej energii wewnętrznej i skutkuje obniżeniem temperatury wody w zlewce.

U.3.04.4 Parowanie cieczy

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie, że parujące ciecze pobierają z otoczenia ciepło.

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwa termometry, wata, benzyna.



Benzyna i jej opary są łatwopalne. Możliwość zapalenia.

Przebieg ćwiczenia

- Zbiorniczek jednego z termometrów owijamy kawałkiem waty, zwilżonym w benzynie.
- Termometry umieszczamy w statywach i obserwujemy wskazania termometrów.

Termometr z owiniętym zbiorniczkiem pokazuje niższą temperaturę. Intensywnie parująca z waty benzyna pobiera od cieczy w zbiorniczku termometru ciepło, co skutkuje niższymi wskazaniami tego termometru.

Tytuł

U.3.05 Bilans energii wewnętrznej i ciepło właściwe

Cel ćwiczenia, opis

Określanie bilansu energii wewnętrznej i wyznaczanie ciepła właściwego różnych substancji.

Wymagana wiedza ucznia

Bilans cieplny, energia wewnętrzna, przejścia fazowe, ciepło, ciepło właściwe, ciepło molowe, ciepło topnienia (krzepnięcia), ciepło parowania, moc, praca prądu, kalorymetr.

U.3.05.1 Jak wyznaczyć wysoką temperaturę?

Cel ćwiczenia, opis

Wyznaczanie wysokich temperatur metodą kalorymetryczną.

Jednym ze sposobów wyznaczania wysokich temperatur jest metoda kalorymetryczna. Korzystając z zasady zachowania energii możemy wyznaczyć temperaturę palnika gazowego. Nakrętkę z trudno topliwego metalu (np. żelazną), o znanym cieple właściwym, ogrzewamy do badanej temperatury, a następnie wrzucamy do kalorymetru zawierającego znaną, niewielką ilość wody o wyznaczonej temperaturze. Z bilansu energii, w którym po jednej stronie mamy ciepło oddane przez ogrzane ciało, a po drugiej ciepło pobrane przez wodę i kalorymetr, wyznaczamy temperaturę ciała ogrzanego, w chwili wprowadzania go do kalorymetru, a stąd w przybliżeniu temperaturę badaną.

Ciepło oddane przez gorącą nakrętkę o masie m_n , która oziębia się od temperatury t_n do temperatury t_k :

$$Q_{oddane} = c_n \cdot m_n \cdot (t_n - t_k)$$

Ciepło pobrane przez zimną wodę o masie m_2 i kalorymetr o masie m_1 , które ogrzewają się od temperatury t_p do temperatury t_k :


$$Q_{pobrane} = (c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2) \cdot (t_k - t_p)$$

skąd

$$t_n = \frac{(c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2) \cdot (t_k - t_p)}{c_n \cdot m_n} + t_k$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Palnik gazowy (może być inny), kalorymetr, woda, termometr, metalowy haczyk (uchwyt) z drewnianą rączką, menzurka, waga laboratoryjna lub elektroniczna.

 Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy masę nakrętki.
- Wyznaczamy masę wewnętrznego naczynia kalorymetrycznego.
- Odmierzamy niewielką ilość wody (np. 100-200 g) i wlewamy do naczynia kalorymetrycznego.
- Po pewnym czasie wyznaczamy temperaturę wody, a tym samym kalorymetru.
- Mały pierścień żelazny (nakrętkę) zawieszamy na haczyku i umieszczamy w płomieniu palnika.
- Trzymamy tam około 10 minut.
- Zbliżamy kalorymetr i szybkim ruchem wrzucamy do niego nakrętkę.
- Mieszmym mieszadłem wodę i mierzymy temperaturę końcową.
- Uzupełnimy tabelę i wyliczymy temperaturę palnika gazowego ze wzoru

$$t_n = \frac{(c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2) \cdot (t_k - t_p)}{c_n \cdot m_n} + t_k$$

Ciepło właściwe wody (J/kg·°C)	$c_2 =$
Ciepło właściwe aluminium (kalorymetr aluminiowy) (J/kg·°C)	$c_1 =$
Ciepło właściwe żelaza (nakrętka) (J/kg·°C)	$c_n =$
Masa nakrętka (kg)	$m_n =$
Masa naczynia kalometrycznego (kg)	$m_1 =$
Masa wody (kg)	$m_2 =$
Temperatura początkowa wody i kalorymetru (°C)	$t_p =$
Temperatura końcowa wody, kalorymetru i nakrętka (°C)	$t_k =$
Temperatura początkowa nakrętka (°C)	$t_n =$

- Dyskutujemy, jakie procesy fizyczne mogły wpłynąć na wynik doświadczenia i jakich założeń dokonujemy wykonując go.

U.3.05.2 Ciepło właściwe nafty

Cel ćwiczenia, opis

Wyznaczanie ciepła właściwego nafty za pomocą grzałki.

Wiedząc, jaka jest moc grzałki i czas ogrzewania do określonej temperatury, możemy policzyć, o ile wzrosła energia wewnętrzna nafty.

$$\Delta E_w = P \cdot t$$

$$\Delta E_w = c_n \cdot m \cdot \Delta T$$

czyli

$$c_n = \frac{P \cdot t}{m \cdot \Delta T} \cdot$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Grzałka np. 200 W, termometr, stoper (zegarek z sekundnikiem), zlewka z naftą o masie 0, 25 kg, wata lub lignina, gumki recepturki.



Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura. Zagrożenie poparzeniem i możliwość zapalenia się nafty.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy masę 0,25 kg nafty (korzystając ze znanej gęstości lub przy użyciu wagi laboratoryjnej).
- Zlewkę z naftą owijamy ligniną i przytrzymujemy recepturką.
- Ogrzewamy naftę o około 30°C, notując czas, w którym nafta osiąga określoną temperaturę co 5°C.
- Otrzymane wyniki umieszczamy w tabelach.

Zlewka z naftą 0,25kg

Temperatura nafty (°C)								
Czas ogrzewania (s)								

- Przedstawiamy na wykresie zależności temperatury nafty w zlewce od czasu ogrzewania, wyniki dla nafty. Możemy (dla porównania i przedyskutowania różnic) wykonać te same czynności dla 0,25 kg wody i wyniki zamieścić na tym samym wykresie.
- Wiedząc, że grzałka o mocy 200 W dostarcza nafcie 200 J energii w ciągu każdej sekundy, obliczamy, o ile wzrosła energia wewnętrzna 0,25 kg nafty w czasie, w którym jej temperatura wzrosła o 20°C. Czas odczytujemy z wykresu lub tabeli.

$$\Delta E_w = 200 J \cdot t$$

- Obliczamy ciepło właściwe nafty ze wzoru:

$$c_n = \frac{P \cdot t}{m \cdot \Delta T}$$

- Powtarzamy dwukrotnie obliczenia dla czasów, w którym nafta osiągnęła temperaturę wyższą np. o 15°C i 25°C.
- Liczymy wartość średnią ciepła właściwego nafty.
- Odczytujemy wartość ciepła właściwego nafty z tablic matematyczno-fizycznych i porównujemy z otrzymaną wartością.
- Dyskutujemy, co mogło wpłynąć na wynik pomiaru.

U.3.05.3 Ciepło topnienia lodu

Cel ćwiczenia, opis

Wyznaczanie ciepła topnienia lodu.

Jeżeli ciało stałe o budowie krystalicznej ogrzewamy, to jego temperatura początkowo wzrasta, aż do temperatury topnienia. Dalsze ogrzewanie ciała nie zmienia jego temperatury, a jedynie powoduje jego stopniowe topnienie. Całe ciepło dostarczane do ciała jest zużywane na zmianę energii potencjalnej wzajemnego oddziaływania cząsteczek. Ich energia kinetyczna a więc i temperatura, nie zmienia się. Ciepło topnienia informuje nas, jaką ilość ciepła należy dostarczyć ciału o masie jednego kilograma, aby je całkowicie stopić bez zmiany temperatury. Jeżeli całe ciało stałe przejdzie już w stan ciekły, to przy dalszym dostarczaniu ciepła jego temperatura zaczyna wzrastać.

Jeżeli do kalorymetru z wodą o znanej masie m_w i temperaturze początkowej t_p , wrzucimy masę m_l topniejącego lodu (w temperaturze 0°C), lód roztopi się i ustali się temperatura końcowa t_k . Z jednej strony woda i kalorymetr oddają ciepło, z drugiej ciepło to zostaje pobrane najpierw na stopienie lodu, a następnie podgrzanie powstałej z niego wody, aż do ustalonej temperatury końcowej t_k . Możemy więc napisać bilans cieplny:

$$(m_w c_w + m_k c_k)(t_p - t_k) = m_l q_l + m_l c_w (t_k - 0^\circ\text{C}),$$

gdzie m_k i c_k są masą i ciepłem właściwym kalorymetru, a q_l jest ciepłem topnienia lodu.

Ciepło topnienia lodu jest więc równe:

$$q_l = \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(t_p - t_k) - m_l c_w (t_k - 0^\circ\text{C})}{m_l}.$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Kalorymetr, waga z zestawem odważników lub elektroniczna, termometr laboratoryjny o zakresie temperatur od 0°C (lub niższej) do około 50°C , bibuła lub ręcznik papierowy, zlewka, kilka kawałków lodu, woda.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy masę środkowego naczynia kalorymetru wraz z mieszadłem. Wynik umieszczamy w tabeli pomiarów.
- Do kalorymetru nalewamy wody (do około $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ wysokości kalorymetru) o temperaturze około 30-35°C.
- Wyznaczamy masę kalorymetru z wodą.
- Naczynie kalorymetru z wodą wkładamy do wnętrza kalorymetru.
- Obliczamy masę wody.
- Lód kruszymy na drobne kawałki, umieszczamy w zlewce i pozostawiamy do czasu, gdy zacznie się topić. Przyjmujemy, że temperatura lodu wynosi wówczas 0°C.
- Wkładamy termometr do wody w kalorymetrze i odczytujemy jej temperaturę (początkową).
- Wyjmujemy lód ze zlewki, osuszamy bibułą i szybko wrzucamy do kalorymetru. Ciepło topnienia lodu jest bardzo duże ($332 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$) więc wprowadzenie do kalorymetru lodu nawet z niewielką ilością wody powoduje duże błędy w bilansie cieplnym.
- Przykrywamy kalorymetr i starannie mieszamy mieszadłem wodę z lodem w kalorymetrze, aż do momentu całkowitego roztopienia się lodu. Co jakiś czas sprawdzamy, czy lód uległ stopieniu. Staramy się jak najdokładniej uchwycić moment całkowitego roztopienia się lodu.
- Odczytujemy wskazanie termometru, wyznaczając temperaturę końcową wody i kalorymetru.
- Ponownie ważymy kalorymetr z wodą w celu ustalenia masy wody powstałej z roztopionego lodu, a tym samym masy lodu.
- Pomiar powtarzamy 2-3 krotnie.
- Sporządzamy bilans cieplny i na jego podstawie wyznaczamy ciepło topnienia lodu

$$q_l = \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(t_p - t_k) - m_l c_w (t_k - 0^\circ \text{C})}{m_l},$$

gdzie c_w i c_k oznaczają odpowiednio ciepło właściwe wody oraz ciepło właściwe aluminium, z którego wykonany jest kalorymetr.

Wielkość fizyczna	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III
Ciepło właściwe wody c_w (J/kg·°C)			
Ciepło właściwe aluminium c_k (J/kg·°C)			
Masa naczynia kalorymetrycznego m_k (kg)			
Masa naczynia kalorymetrycznego z wodą m_k+m_w (kg)			
Masa wody m_w (kg)			
Temperatura początkowa wody i kalorymetru t_p (°C)			
Temperatura końcowa wody, kalorymetru i wody powstałej z lodu t_k (°C)			
Masa naczynia kalorymetrycznego z wodą oraz wodą powstałą z lodu $m_k+m_w+m_l$ (kg)			
Masa lodu m_l (kg)			
Ciepło topnienia lodu q_l (J/kg)			

- Za niepewność wszystkich wykonywanych w doświadczeniu pomiarów prostych masy i temperatury przyjmujemy niepewność systematyczną pomiaru – wartość działki elementarnej wagi lub najmniejszego odważnika (w zależności od typu stosowanej wagi) oraz wartość działki elementarnej użytego termometru. Ciepło właściwe wody i aluminium przyjmujemy, że znamy dokładnie.
- Obliczamy niepewność maksymalną Δq_l ciepła topnienia lodu metodą najmniej korzystnego przypadku (NKP).

U.3.05.4 Ciepło właściwe metalu

Cel ćwiczenia, opis

Wyznaczanie ciepła właściwego metalu (mosiądz) na podstawie bilansu cieplnego.

Ciało stałe o znanej masie m i nieznanym cieple właściwym c ogrzewamy we wrzątku do temperatury 100°C, a następnie wrzucamy do zimnej wody o masie m_w i temperaturze początkowej t_p znajdującej się w kalorymetrze o znanej masie m_k i cieple właściwym c_k . Zachodzi wymiana ciepła, w wyniku której ustala się temperatura końcowa t_k kontaktujących się substancji. Jeżeli nie ma strat ciepła na rzecz otoczenia, to spełniona jest zasada bilansu cieplnego. Ciepło oddane przez gorące ciało jest równe ciepłu pobranemu przez wodę i kalorymetr:

$$mc(100^{\circ}\text{C} - t_k) = (m_w c_w + m_k c_k)(t_k - t_p),$$

skąd ciepło właściwe badanego ciała:

$$c = \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(t_k - t_p)}{m(100^\circ\text{C} - t_k)}$$

Niezbędne przedmioty i materiały

Niewielki przedmiot metalowy o masie około 100-200 g (np. mosiężny odważnik) na nitce, kalorymetr, cylinder miarowy lub menzurka, naczynie z wodą o objętości około 0,5 litra, grzałka elektryczna lub palnik, waga laboratoryjna lub elektroniczna (ewentualnie siłomierz), termometr laboratoryjny.

 Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy masę wewnętrznego naczynia kalorymetru m_k oraz masę kalorymetru napełnionego zimną wodą (200 ml odmierzymy w cylindrze miarowym) i wyznaczamy masę m_w wody. Uzupełniamy tabelę pomiarów.
- Wyznaczamy masę badanego przedmiotu m (jeśli wykorzystujemy odważnik, przyjmujemy za znaną masę odważnika).
- Wlewamy wodę do kalorymetru i mierzymy temperaturę początkową wody t_p (i kalorymetru).
- Wkładamy metalowy przedmiot do naczynia z wodą, doprowadzamy wodę do wrzenia i czekamy kilka minut. Po tym czasie przyjmujemy, że przedmiot ma temperaturę 100°C .
- Chwytny przedmiot za nitkę i szybkim ruchem przekładamy metalowy przedmiot z wrzątku do kalorymetru.
- Czekamy, aż ustali się temperatura końcowa i odczytujemy ją.

Wielkość fizyczna	Wartość
Ciepło właściwe wody c_w (J/kg \cdot °C)	4190
Ciepło właściwe aluminium c_k (J/kg \cdot °C)	920
Masa naczynia kalorymetrycznego m_k (kg)	
Masa naczynia kalorymetrycznego z wodą m_k+m_w (kg)	
Masa wody m_w (kg)	
Masa przedmiotu m (kg)	
Temperatura początkowa wody i kalorymetru t_p (°C)	
Temperatura początkowa przedmiotu (°C)	
Temperatura końcowa wody, kalorymetru i przedmiotu t_k (°C)	
Ciepło właściwe badanego ciała c (J/kg \cdot °C)	

- Sporządzamy bilans cieplny $Q_{\text{oddane}} = Q_{\text{pobrane}}$ i wyznaczamy ciepło właściwe badanego ciała:

$$c = \frac{(m_w c_w + m_k c_k)(t_k - t_p)}{m(100^\circ\text{C} - t_k)}.$$

- Przyjmując dla pomiarów prostych za niepewność pomiaru wartość najmniejszej działki przyrządu pomiarowego, określamy niepewność obliczonej wielkości metodą najmniej korzystnego przypadku (NKP):

$$\Delta c = \frac{1}{2}(c^{\text{max}} - c^{\text{min}}).$$

U.3.05.5 Ciepło właściwe wody

Cel ćwiczenia, opis

Wyznaczanie ciepła właściwego wody metodą elektrokalorymetryczną.

Zasada wyznaczenia ciepła właściwego cieczy metodą elektryczną opiera się na procesie zamiany pracy prądu elektrycznego na energię wewnętrzną, zgodnie z prawem Joule'a. Jeżeli spiralę grzejną zanurzymy w badanej cieczy to wydzielone podczas przepływu prądu ciepło Joule'a zostanie przekazane cieczy oraz naczyniu kalorymetrycznemu o pojemności cieplnej $W = m_k c_k$. Zaobserwujemy wzrost temperatury od początkowej t_1 do końcowej t_2 .

Ciepło wydzielone przez przepływający prąd w czasie τ wynosi:

$$Q_1 = U \cdot I \cdot \tau$$

Ciepło pobrane przez wodę i kalorymetr:

$$Q_2 = (m \cdot c_w + W)(t_2 - t_1)$$

gdzie m – masa cieczy, a c_w – ciepło właściwe cieczy.

Na podstawie bilansu cieplnego:

$$(m \cdot c_w + m_k \cdot c_k)(t_2 - t_1) = U \cdot I \cdot \tau$$

otrzymujemy wzór na ciepło właściwe cieczy:

$$c_w = \frac{UI\tau - m_k c_k(t_2 - t_1)}{m(t_2 - t_1)}.$$

Niezbędne przedmioty i materiały

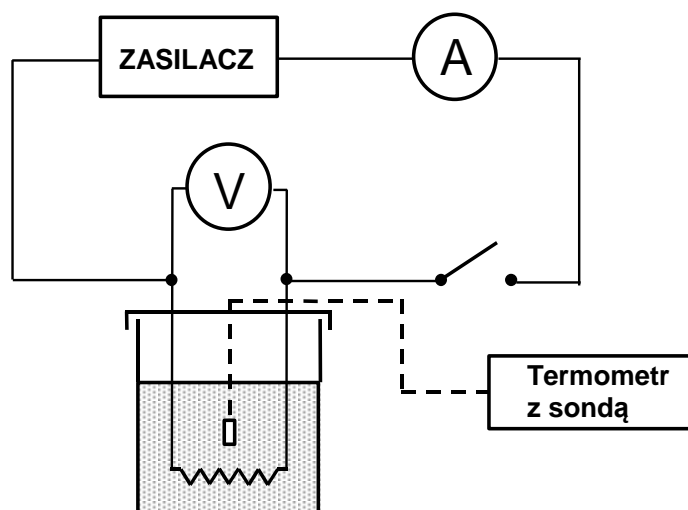
Kalorymetr ze spiralą grzejną, zasilacz, woltomierz, amperomierz, wyłącznik, termometr elektroniczny, waga elektroniczna, woda.



Urządzenie zasilane napięciem 230 V. Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy masę wewnętrznego naczynia kalorymetru oraz kalorymetru napełnionego do $\frac{3}{4}$ jego wysokości zimną wodą.
- Łączymy układ wg schematu:



- Włączamy termometr elektroniczny i zanurzamy jego sondę w wodzie w kalorymetrze. Czekamy, aż ustali się temperatura cieczy i zapisujemy jej wartość.
- Włączamy układ, ustalając wartość natężenia prądu na 2A i jednocześnie włączamy stoper.
- Notujemy czas, w jakim nastąpił przyrost temperatury o 10°C .
- Notujemy wartość napięcia na spirali grzejnej oraz natężenia prądu płynącego w obwodzie.
- Uzupełniamy tabelę:

Wielkość fizyczna	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III
Masa kalorymetru m_k (kg)			
Masa kalorymetru z wodą $m_k + m$ (kg)			
Masa wody m (kg)			
Temperatura początkowa wody t_1 ($^{\circ}\text{C}$)			
Temperatura końcowa wody t_2 ($^{\circ}\text{C}$)			
Przyrost temperatury $t_2 - t_1$ ($^{\circ}\text{C}$)			
Natężenie prądu I (A)			
Napięcie na spirali grzejnej U (V)			
Czas przepływu prądu τ (s)			
Ciepło właściwe wody $J/\text{kg}^{\circ}\text{C}$			

- Opisane czynności powtarzamy 2 ÷ 3 krotnie.
- Sporządzamy bilans cieplny $Q_{\text{oddane}} = Q_{\text{pobrane}}$ i wyliczamy wartość ciepła właściwego wody ze wzoru:

$$c_w = \frac{UI\tau - m_k c_k (t_2 - t_1)}{m(t_2 - t_1)}.$$

- Określamy niepewności wszystkich wykonywanych w doświadczeniu pomiarów prostych przyjmując niepewności systematyczne związane z działką elementarną użytych przyrządów. Niepewności pomiaru napięcia i natężenia prądu ΔU i ΔI określamy na podstawie zależności

$$\Delta(U, I) = \frac{\text{klasa miernika} \cdot \text{zakres}}{100}.$$

- Obliczamy niepewność maksymalną Δc_w metodą najmniej korzystnego przypadku (NKP).

Tytuł

U.3.06 Silniki cieplne

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie przemian energii wewnętrznej na energię mechaniczną i zasady działania silników.

Wymagana wiedza ucznia

Energia mechaniczna, energia wewnętrzna, praca, ciepło.

U.3.06.1 Modele silników cieplnych

Cel ćwiczenia, opis

Pokazanie budowy i zasady działania silników.

Urządzenia, zasilane dopływem ciepła, które przetwarzają energię wewnętrzną układu na pracę mechaniczną, nazywamy silnikami cieplnymi. Do silników cieplnych zaliczamy m.in. maszyny parowe, silniki spalinowe i odrzutowe. Dopływ energii w postaci ciepła daje możliwość ciągłej pracy urządzenia pod warunkiem, że procesy w nim zachodzące mają charakter cykliczny i niezbędna jest chłodnica odbierająca część ciepła pobranego ze źródła.

Niezbędne przedmioty i materiały

Działający model maszyny parowej, model maszyny parowej przekrój, model silnika spalinowego dwusuwowego, model silnika spalinowego czterosuwowego.

Tytuł

U.3.07 Przemiany gazów

Cel ćwiczenia, opis

Sprawdzenie równania stanu gazu doskonałego i równania Clapeyrona do opisu przemian gazowych.

Wymagana wiedza ucznia

Równanie stanu gazu doskonałego, równanie Clapeyrona, przemiany gazowe, pierwsza zasada termodynamiki.

U.3.07.1 Sprawdzenie prawa Boyle'a-Mariotte'a za pomocą naczyń połączonych

Cel ćwiczenia, opis

Badanie zależności ciśnienia od objętości gazu w przemianie izotermicznej.

W przemianie izotermicznej niezmiennym parametrem jest temperatura. Korzystając z równania stanu gazu i uwzględniając, że $T = \text{const}$, otrzymujemy

$$pV = nRT = \text{const.}$$

Wynika stąd wniosek, że w przemianie izotermicznej gazu o stałej masie jego ciśnienie jest odwrotnie proporcjonalne do objętości. W tej przemianie średnia energia kinetyczna cząsteczek nie ulega zmianie, a przy zmniejszonej powierzchni ścian naczynia wynikającej ze zmniejszenia objętości, częstość uderzeń cząsteczek przypadająca na jednostkę powierzchni zwiększa się, co skutkuje wzrostem ciśnienia gazu.

Do sprawdzenia prawa Boyle'a-Mariotte'a potrzebujemy napełnionej wodą rurki, zamkniętej z jednej strony strzykawką z powietrzem. Rurkę wyginamy w kształcie litery U i przesuwając w górę lub w dół strzykawkę lub otwarty koniec rurki, zmieniamy różnicę poziomów wody, a tym samym ciśnienie powietrza wewnątrz strzykawki. Jeżeli proces przeprowadzamy powoli, następuje wyrównanie temperatury powietrza w strzykawce z temperaturą otoczenia. Temperatura powietrza w strzykawce równa temperaturze otoczenia jest w trakcie

doświadczenia stała. Gdy poziom wody w otwartym ramieniu rurki jest wyższy niż w strzykawce, ciśnienie p powietrza w strzykawce jest równe $p = p_{atm} + p_h$ (gdzie p_h oznacza ciśnienie hydrostatyczne słupa wody o wysokości h równej różnicy poziomów wody w strzykawce i w otwartym ramieniu rurki), gdy jest odwrotnie, to $p = p_{atm} - p_h$. Przyjmujemy, że jeśli poziom wody w rurce jest powyżej poziomu wody w strzykawce, wartość h jest dodatnia, a w przeciwnym przypadku ujemna i wtedy zależność ciśnienia powietrza w strzykawce od różnicy poziomów cieczy w obu ramionach manometru zapisujemy:

$$p = p_{atm} + \rho gh,$$

gdzie: ρ – gęstość wody, g - wartość przyspieszenia ziemskiego.

Korzystając z równania stanu gazu, możemy napisać:

$$\frac{nRT}{V} = p_{atm} + \rho gh, \quad \text{a stąd} \quad h = \frac{nRT}{\rho g} \frac{1}{V} - \frac{p_{atm}}{\rho g}.$$

Równanie to jest równaniem liniowym $y = ax + b$, gdzie $y = h$, $x = \frac{1}{V}$, $a = \frac{nRT}{\rho g}$,

$$b = -\frac{p_{atm}}{\rho g}.$$

Niezbędne przedmioty i materiały

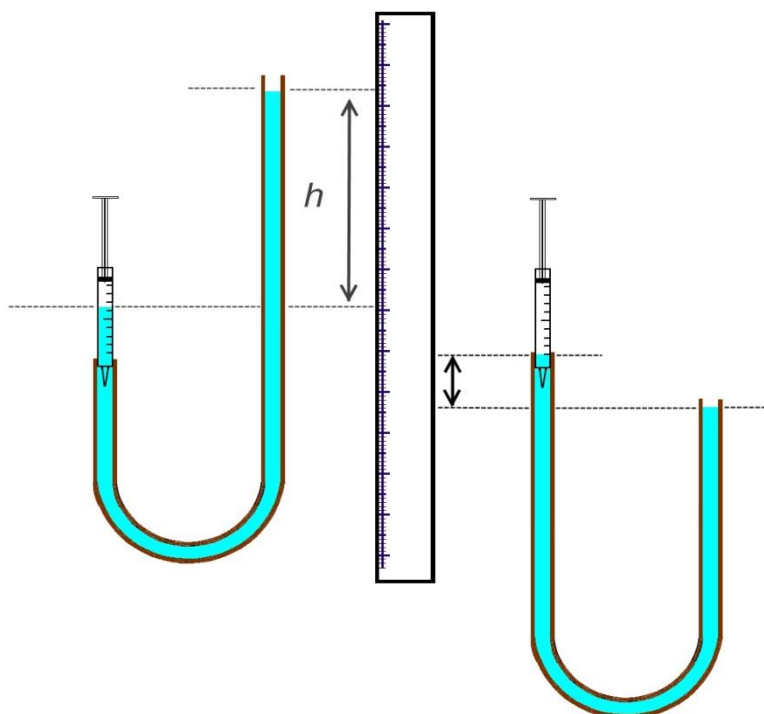
Wersja I (doświadczenie może być wykonane w każdej szkole)

Jednorazowa strzykawka o pojemności 1 ml, strzykawka jednorazowa o dużej pojemności (np. 20 ml), przezroczysty, plastikowy wężyk o długości około 2 m i średnicy wewnętrznej 5 mm lub większej tak dobranej, aby można go było szczelnie nałożyć na mniejszą strzykawkę lub jej końcówkę, taśma miernicza o długości 1,5 m (lub przymiar krawiecki), woda.

Wersja II

Przyrząd do demonstrowania prawa Boyle'a-Mariotte'a. Zbudowany jest z listwy pionowej, zaopatrzonej w skalę, po obu stronach której znajdują się zaciśnięte w uchwytych dwie szklane rurki połączone ze sobą węzłem gumowym. Listwa umocowana jest na trójnogu ze śrubami do poziomowania. Obie rurki można przesuwając wzdłuż listwy i umocować na niej w dowolnym miejscu. Rurka z lewej strony listwy ma kurek z podziałką objętościową (zastępuje ją strzykawka w I wersji doświadczenia).

Posługując się przyrządem można wykazać, że w stałej temperaturze iloczyn ciśnienia danej masy gazu i jego objętości jest wielkością stałą.



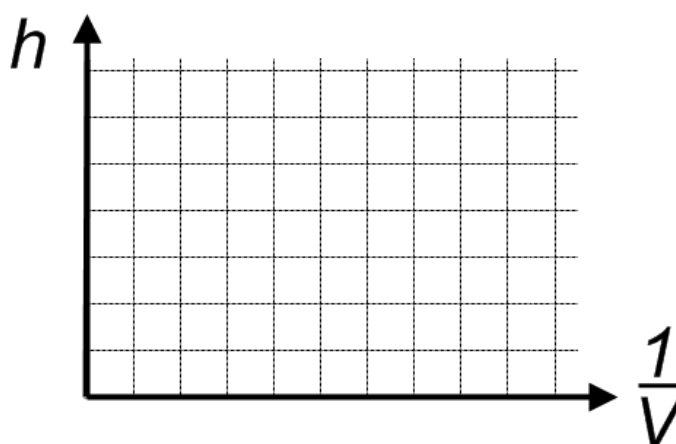
Przebieg ćwiczenia

Wersja I

- Wieszamy na ścianie lub szafie taśmę mierniczą.
- Dużą jednorazową strzykawką napełniamy wodą plastikowy wężyk (rurkę) tak, aby nie pozostały wewnątrz pęcherzyki powietrza.
- Koniec napełnionego wodą wężyka nakładamy na mniejszą strzykawkę tak, aby wewnątrz strzykawki pozostało około $0,7 \text{ cm}^3$ powietrza.
- Wężyk wyginamy w kształcie litery U.
- Wykonujemy pomiar objętości V powietrza w strzykawce dla różnych wartości h równej różnicy poziomów wody w strzykawce i w otwartym ramieniu rurki. Różnicę wysokości h wyznaczamy za pomocą przymiaru zawieszonoego na ścianie. Objętość V powietrza w strzykawce wyznaczamy wykorzystując skalę strzykawki.
- Określamy niepewności pomiarowe, obliczamy wartości $\frac{1}{V}$ wraz z niepewnościami (np. metodą NKP). Wyniki zapisujemy w tabeli.

h (cm)	Δh (cm)	V (cm ³)	ΔV (cm ³)	$\frac{1}{V}$ ($\frac{1}{\text{cm}^3}$)	$\Delta\left(\frac{1}{V}\right)$ ($\frac{1}{\text{cm}^3}$)

- Wyniki przedstawiamy na wykresie $h\left(\frac{1}{V}\right)$.



- Do punktów pomiarowych dopasowujemy graficznie prostą $y = ax + b$.
- Sprawdzamy, czy otrzymana prosta dobrze opisuje (w ramach niepewności pomiarowych) punkty pomiarowe, a zatem, czy badaną przemianę opisuje prawo Boyle'a-Mariotte'a $p(V) = \frac{\text{const}}{V}$.
- Analizujemy zjawiska fizyczne, które zachodzą podczas wykonywania eksperymentu oraz założenia, których dokonano.

Pomiary w wersji II prowadzimy w identyczny sposób.

U.3.07.2 Sprawdzenie prawa Gay-Lussaca

Cel ćwiczenia, opis

Badanie zależności objętości gazu od jego temperatury w przemianie izobarycznej.

W przemianie izobarycznej stałe pozostaje jego ciśnienie. Z równania stanu gazu wynika, że:

$$\frac{V}{T} = \frac{n \cdot R}{p} = \text{const},$$

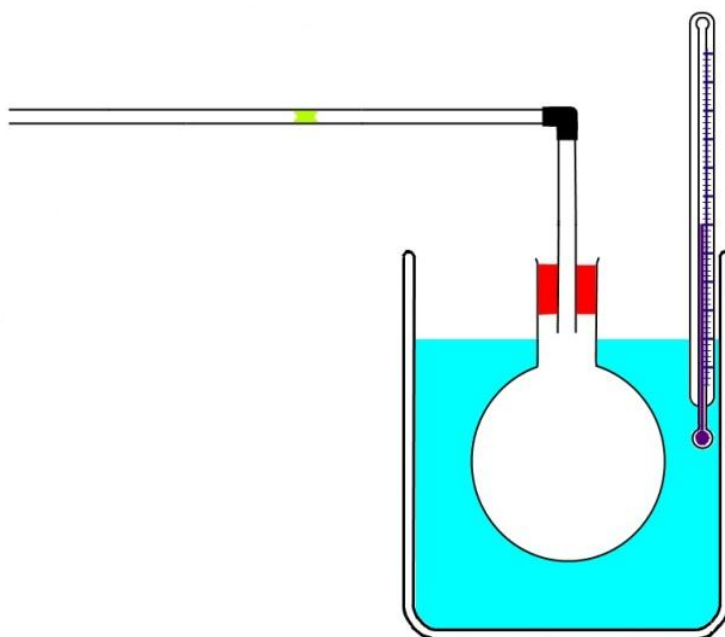
skąd wniosek, że w izobarycznej przemianie gazu o stałej masie objętość zajmowana przez gaz jest wprost proporcjonalna do jego temperatury bezwzględnej. Wzrost temperatury gazu powoduje wzrost średniej energii kinetycznej jego cząsteczek. Ciśnienie pozostaje stałe, bo wzrost siły, którą cząsteczki działają na ścianki naczynia, rekompensowany jest wzrostem odległości między nimi, co powoduje zmniejszenie częstości uderzeń.

Prawo Gay-Lussaca sprawdzamy wykorzystując kolbę szklaną, zanurzoną w kąpeli wodnej, połączoną z wąską rurką szklaną w kształcie litery L. Do poziomego ramienia szklanej rurki wprowadzamy kroplę zabarwionej wody, zamykając w ten sposób powietrze w kolbie. Ciśnienie powietrza zamkniętego w rurce równe jest ciśnieniu atmosferycznemu i zakładamy, że pozostaje stałe w trakcie przeprowadzanego doświadczenia. Stopniowo podgrzewamy powietrze w kolbie. Określamy jego temperaturę i równocześnie położenie kropli zamykającej powietrze, a tym samym zmianę jego objętości.

Niezbędne przedmioty i materiały

Kolba szklana, gumowy korek z otworem na szklaną rurkę, szklana rurka w kształcie litery L lub dwie rurki szklane połączone wężykiem silikonowym, naczynie z wodą, termometr, mieszadełko, suwmiarka, zabarwiona woda, strzykawka z długą rurką do wprowadzenia zabarwionej kropli, źródło ciepła np. palnik gazowy, linijka.

 Wysoka temperatura - możliwość oparzenia.

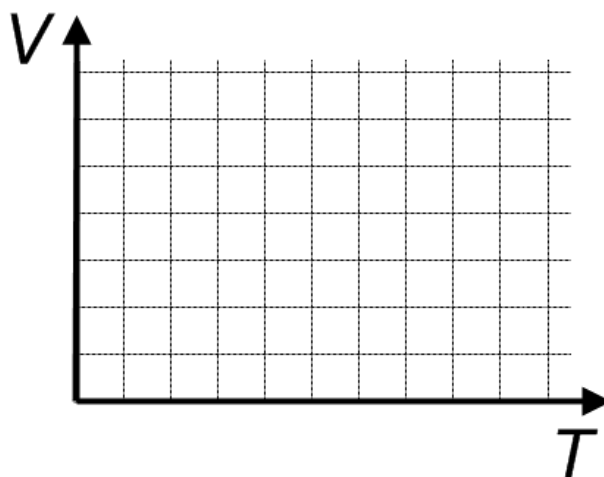


Przebieg ćwiczenia

- Kolbę szklaną zamykamy gumowym korkiem z otworem, przez który wprowadzamy do kolby wąską rurkę szklaną w kształcie litery L.
- Za pomocą suwmiarki mierzymy wewnętrzną średnicę szklanej rurki d i wyrażamy ją w cm.
- Obliczamy pole przekroju poprzecznego rurki $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, wyrażając wynik w cm^2 .
- Kolbę wstawiamy do naczynia z wodą, w której umieszczamy termometr i mieszadełko.
- Naczynie z wodą stawiamy na kuchence gazowej.
- Do poziomej rurki, za pomocą strzykawki z długą rurką, wprowadzamy kroplę zabarwionej wody, tak żeby zamknęła ona powietrze w kolbie i w rurce, w odległości około 20 cm od końca.
- Zaznaczamy mazakiem położenie kropli i odczytujemy temperaturę wody (powietrza zamkniętego w naczyniu).
- Zapalamy gaz i podgrzewamy powoli wodę w naczyniu, ciągle ją mieszając. Co dwa stopnie zaznaczamy położenie kropli.
- Wpisujemy do tabeli temperaturę t ($^{\circ}\text{C}$) i odpowiadające jej położenie kropli x (w cm), odczytane z użyciem linijki. Następnie przedstawiamy temperaturę w skali bezwzględnej w kelwinach.

Temperatura t ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura T (K)	Zmiana temperatury ΔT (K)	Położenie kropli x (cm)	Zmiana położenia kropli Δx (cm)	Zmiana objętości $\Delta x \cdot S$ (cm^3)

- Obliczamy zmianę objętości w cm^3 .
- Sporządzamy wykres $V(T)$. Wykonanie wykresu rozpoczynamy od naniesienia punktu o współrzędnych odpowiadających temperaturze początkowej powietrza i jego objętości początkowej (przy czym za objętość początkową możemy przyjąć objętość kolby z powietrzem (cm^3) lub nie określać jej wartości, traktując ją jako wielkość umowną, względem której obliczać będziemy objętość gazu zamkniętego w naczyniu).



- Określamy niepewności pomiarowe wyznaczanych wielkości, analizujemy zjawiska fizyczne, które zachodzą podczas wykonywania ćwiczenia.

U.3.07.3 Sprawdzenie prawa Charlesa

Cel ćwiczenia, opis

Badanie zależności ciśnienia gazu od jego temperatury w przemianie izochorycznej.

W przemianie izochorycznej, dla stałej masy gazu, stała pozostaje jego objętość, a ciśnienie i temperatura ulegają zmianie. W tym przypadku równanie stanu gazu doskonałego wygląda następująco:

$$\frac{p}{T} = \frac{nR}{V} = \text{const}$$

Wynika stąd, że ciśnienie gazu jest wprost proporcjonalne do jego temperatury bezwzględnej. Jeśli zwiększymy temperaturę gazu, to zwiększy się średnia energia kinetyczna jego cząsteczek i ich średnia szybkość. Wzrośnie więc siła, którą cząsteczki gazu działają na ścianki naczynia podczas uderzeń, a więc i ciśnienie gazu.

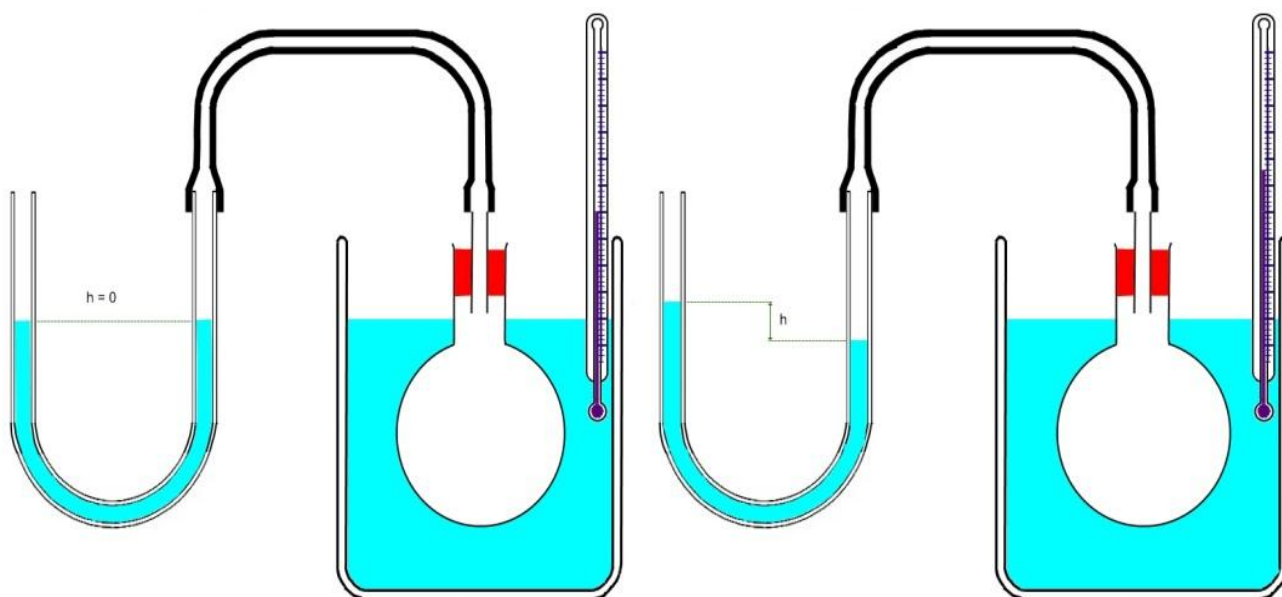
Prawo Charlesa sprawdzamy wykorzystując dużą kolbę szklaną, zanurzoną w kąpielii wodnej, połączoną z manometrem. Początkowo doprowadzamy do stanu, w którym ciśnienie p wewnątrz kolby jest równe ciśnieniu atmosferycznemu p_{atm} . Ogrzanie wody w naczyniu powoduje wzrost temperatury t powietrza w kolbie, a w konsekwencji wzrost panującego w cieczy ciśnienia p . Prowadzi to do powstania różnicy poziomów cieczy w ramionach manometru. Panujące w kolbie ciśnienie wzrasta do wartości $p = p_{atm} + p_h$, gdzie p_h oznacza ciśnienie hydrostatyczne słupa cieczy o wysokości h . Ze względu na mały przekrój użytej rurki, występująca przy zmianie poziomu cieczy w manometrze zmiana objętości powietrza jest pomijalnie mała w porównaniu z objętością zastosowanej kolby. Przyjmujemy

więc, że objętość powietrza jest podczas doświadczenia stała, a przemiana gazu jest przemianą izochoryczną.

Niezbędne przedmioty i materiały

Kolba szklana o pojemności około dwóch litrów z korkiem z przechodzącą przez niego krótką, szklaną rurką, wężyk gumowy lub plastikowy, duże naczynie, w którym swobodnie mieści się kolba, rurka szklana wygięta w kształcie litery U o długości ramion ok. 30 cm lub dłuższych (lub dwie rurki szklane połączone wężykiem silikonowym) i średnicy do 5 mm, podstawa do u-rurki lub statyw, ciężki statyw, zabarwiona woda lub inna ciecz o znanej gęstości, woda, barometr, termometr laboratoryjny, kuchenka elektryczna (palnik gazowy lub ciepła woda), linijka, mieszadełko.

⚠ Wysoka temperatura - możliwość oparzenia.



Przebieg ćwiczenia

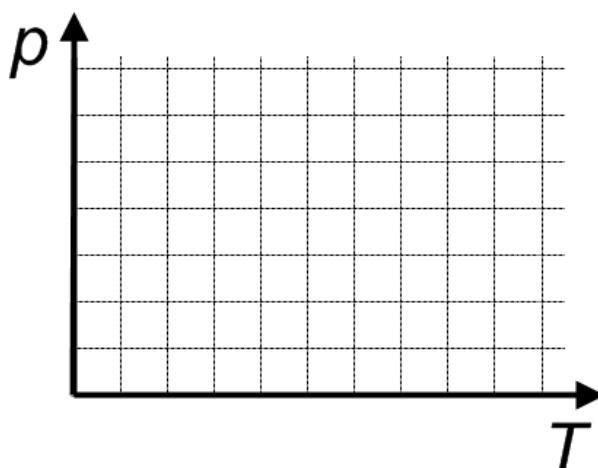
- Do dużego naczynia nalewamy wody o temperaturze pokojowej.
- Do u-rurki przymocowanej do podstawki lub w statywie, która będzie pełniła rolę manometru, nalewamy zabarwionej wody lub innej cieczy do połowy jej wysokości.
- Kolbę zatykamy korkiem z rurką, mocujemy na ciężkim statywie i zanurzamy całą bańkę kolby w wodzie w dużym naczyniu. Statyw musi być ciężki, aby utrzymać w zanurzeniu kolbę, na którą działa siła wyporu.

- W wodzie umieszczamy termometr.
- Łączymy manometr z rurką wychodzącą z korka kolby za pomocą wężyka i doprowadzamy do stanu, w którym ciecz w obu ramionach manometru znajduje się na tym samym poziomie (np. poprzez zmianę ilości cieczy w manometrze). Oznacza to, że ciśnienie p wewnątrz kolby równe jest ciśnieniu atmosferycznemu p_{atm} .
- Odczytujemy wartość ciśnienia atmosferycznego p_{atm} na barometrze.
- Odczytujemy temperaturę powietrza t w kolbie, równą temperaturze wody w naczyniu.
- Wartości t , h , $p = p_{atm}$ wpisujemy do tabeli obserwacji.

Temperatura t (°C)	Temperatura T (K)	Różnica poziomów h (cm)	Różnica poziomów h (m)	Ciśnienie powietrza w kolbie $p = p_{atm} + p_h$ (Pa)

- Zwiększamy temperaturę wody w naczyniu o około 1°C podgrzewając naczynie lub dolewając ciepłej wody. Mieszamy wodę w naczyniu i odczekujemy, aż temperatury wody w naczyniu i powietrza w kolbie wyrównają się. Oznacza to ustalenie się stabilnej różnicy poziomów cieczy h w ramionach manometru.
- Zapisujemy w tabeli temperaturę t i wartość h różnicy poziomów odczytaną z użyciem linijki.
- Pomiar różnicy h poziomów cieczy w ramionach manometru powtarzamy dla kolejno zwiększanej o około 1°C temperatury cieczy w naczyniu (powietrza w kolbie) i wyniki notujemy w tabeli. Pomiar prowadzimy do momentu wykorzystania pełnego zakresu manometru.
- Temperatura t (°C) zmierzona w skali Celsjusza, przedstawiamy w skali bezwzględnej w kelwinach T (K).
- Obliczamy ciśnienie $p = p_{atm} + p_h$ powietrza w kolbie, gdzie $p_h = \rho gh$ oznacza ciśnienie hydrostatyczne słupa cieczy o gęstości ρ i wysokości h . Wyniki umieszczamy w tabeli.
- Określamy niepewności pomiarowe Δt i Δh oraz obliczamy niepewność Δp .

- Otrzymane wartości wraz z prostokątami niepewności przedstawiamy w układzie T, p .



- Dopasowujemy do otrzymanych punktów pomiarowych prostą (metodą graficzną) i sprawdzamy, czy zgodnie z prawem Charlesa ciśnienie w przemianie izochorycznej jest proporcjonalne do temperatury gazu $p(T) = const \cdot T$. Czy prosta dobrze opisuje (w ramach niepewności pomiarowych) punkty pomiarowe?
- Analizujemy zjawiska fizyczne, zachodzące podczas wykonywania doświadczenia i znajdujemy czynniki, które mogą być przyczyną błędu systematycznego.

Literatura

- I. Antipin, *Zadania doświadczalne z fizyki. Kurs podstawowy*, WSiP, Warszawa 1986
- R. J. Brown, *200 doświadczeń dla dzieci*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999
- J. Van Cleave, *Fizyka dla każdego dziecka. 101 ciekawych doświadczeń*, WSiP, Warszawa 1994
- J. Domański, *Domowe zadania doświadczalne z fizyki*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999
- J. Domański, J. Turło, *Nieobliczeniowe zadania z fizyki*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997
- T. Dryński, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa 1980
- Cz. Fotyma, *Komplet do doświadczeń z ciepła*, PZWS, Łódź 1971
- Foton, *Pismo dla nauczycieli fizyki i ich uczniów*, IF UJ, Kraków
- M. Godlewska, D. Szot-Gawlik, *Doświadczenia z fizyki dla uczniów gimnazjum, cz.2*, ZamKor, Kraków 2005
- M. Halaunbrenner, *Ćwiczenia praktyczne z fizyki. Kurs podstawowy*, WSiP, Warszawa 1976
- M. Halaunbrenner, *Ćwiczenia praktyczne z fizyki. Kurs średni*, WSiP, Warszawa 1982
- P. G. Hewitt, *Fizyka wokół nas*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2000

- Z. Kostić, *Między zabawą a fizyką*, WNT, Warszawa 1964
- A. Magiera (red.), *I Pracownia Fizyczna*, IF UJ, Kraków 2007
- L. C. McDermott i in., *W poszukiwaniu praw fizyki*, T.1, 2, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000
- J. Perelman, *Zajmująca fizyka*, WP, Łódź 1955
- T. Potocki (red.), *Fizyka i chemia. Katalog*, PZWS, Warszawa 1963
- E. M. Rogers, *Fizyka dla dociekliwych*, PWN, Warszawa 1970
- M. Rozenbajgier, R. Rozenbajgier, J. M. Kreiner, *Fizyka dla gimnazjum cz.1-3*, Wydawnictwo "Zamiast Korepetycji", Kraków 1999
- J. Salach (red.), *Fizyka dla szkół ponadgimnazjalnych*, cz.1, 2, Wyd. ZamKor, Kraków 2004
- J. Semaniak, J. Semaniak, J. Krywult, *Fizyka i astronomia*, MAC Edukacja, Kielce 2003
- Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*, cz. II, PWN, Warszawa 1976
- G. L. Squires, *Praktyczna fizyka*, PWN, Warszawa 1992
- K. Tabaszewski, *Fizyka z prostymi doświadczeniami*. Prószyński i S-ka, Warszawa 2000
- B. Tokar, B. Pędzisz, D. Tokar, *Wykorzystanie przedmiotów codziennego użytku do doświadczeń domowych*, WSP, Opole 1984
- D. Tokar i in., *Doświadczenia z fizyki dla szkoły podstawowej*, WSiP, Warszawa 1990
- D. Tokar i in., *Zbiór zadań doświadczalnych z fizyki – kurs średni*, WSiP, Warszawa 1980

Rysunki

Kazimierz Kunisz,

Adam Markowski (Rysunki przy doświadczeniach U.3.03.7, U.3.05.5)