



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



EGZEMPLARZ BEZPŁATNY

# FIZYKA W EKSPERYMENTACH

ZAINTERESOWANIE UCZNIÓW FIZYKĄ  
KLUCZEM DO SUKCESU!



Projekt realizowany w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki  
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego







**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



# FIZYKA

**W**

## **EKSPERYMENTACH**

**ZAINTERESOWANIE UCZNIÓW FIZYKĄ  
KLUCZEM DO SUKCESU!**



Projekt realizowany w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki  
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Praca zbiorowa 2012, Zespół Ekspertki:

Dorota Baćławska  
Agnieszka Bardecka  
Dariusz Man  
Józef Musielok  
Marzena Sławska  
Rudolf Słota  
Roman Szatanik  
Jerzy Wiechuła

Wydanie pierwsze

**ISBN 978-83-63026-05-9**

Wydawca: DD Dobra Drukarnia  
ul. Jastrzębia 9, 53-148 Wrocław  
tel. 509 913 703, [drukarnia@ddrukarnia.com.pl](mailto:drukarnia@ddrukarnia.com.pl)



# SPIS TREŚCI

|   |     |
|---|-----|
| I. Termodynamika w środowisku człowieka .....             | 7   |
| II. Fale elektromagnetyczne, optyka .....                 | 29  |
| III. Bezwładność ciał .....                               | 57  |
| IV. Swobodne spadanie ciał, nieważkość .....              | 67  |
| V. Tarcie .....   | 75  |
| VI. Elektryczność i magnetyzm wokół nas .....             | 85  |
| VII. Obserwacje zjawisk astronomicznych.....              | 115 |
| VIII. Zachowanie się ciał w polu grawitacyjnym.....       | 135 |
| IX. Budowa materii.....                                   | 143 |
| X. Hydrostatyka .....                                     | 165 |
| XI. Ciśnienie atmosferyczne .....                         | 195 |
| XII. Praca, moc, energia .....                            | 213 |
| XIII. Drgania i fale mechaniczne .....                    | 233 |
| XIV. Zjawiska z pogranicza fizyki, biologii i chemii..... | 259 |





DARIUSZ MAN

# TERMODYNAMIKA W ŚRODOWISKU CZŁOWIEKA







# I. TERMODYNAMIKA W ŚRODOWISKU CZŁOWIEKA

**Cele:** Wskazać na powszechność występowania procesów termodynamicznych w środowisku człowieka i ich wpływ na zjawiska przyrodnicze.

- a- Procesy termodynamiczne występujące w przyrodzie.
- b- Procesy termodynamiczne występujące w organizmach żywych.
- c- Procesy termodynamiczne w technice i technologii.

## Plan pracy:

- Zasady termodynamiki.
- Przemiany gazowe.
- Gaz doskonały i rzeczywisty.
- Przemiany termodynamiczne zachodzące w przyrodzie, bilans energetyczny Ziemi.
- Termodynamika i ekologia.
- Procesy termodynamiczne zachodzące w organizmie człowieka.
- Eksperyment fizyczny:
  - Proste maszyny cieplne (wiatrak cieplny, spirala, balon).
  - Domowe laboratorium termodynamiczne.

**Termodynamika** to nauka o przemianach energii, jakie zachodzą w przyrodzie pod wpływem różnych czynników fizycznych i chemicznych. Czynniki te wpływają na zmiany energii wewnętrznej ciał oddziaływających ze sobą, a skutki takich przemian opisują zasady termodynamiki.

## Najważniejsze pojęcia:

**Energia wewnętrzna** – suma wszystkich energii występujących w analizowanym układzie (np. energia ruchu, energia oddziaływań wewnątrz- i międzycząsteczkowych).

**Temperatura** – miara średniej energii kinetycznej cząsteczek. W temperaturach bliskich zera bezwzględnego, ruch cząsteczek praktycznie zanika.

**Ciepło** – przekazywanie energii, spowodowane jedynie różnicą temperatur, nazywa się przepływem ciepła, a energię przekazywaną tą drogą nazywa się ciepłem.

**Ciepło właściwe** – energia potrzebna do podniesienia temperatury jednej jednostki masy ciała, o jedną jednostkę temperatury (np. 1 kg o 1°C).

**Ciepło molowe** – energia potrzebna do podniesienia temperatury jednego mola substancji o jedną jednostkę temperatury (np. 1 mola CO<sub>2</sub> o 1°C). Ciepło molowe związane jest z liczbą cząstek, a tylko pośrednio z ich masą.

**Temperatura bezwzględna** – temperatura wyrażona w stopniach Kelvina (wyznaczona z równania Clapeyrona  $pV = nRT$  gdzie  $p$  – ciśnienie,  $V$  – objętość,  $n$  – liczba moli,  $R$  – stała gazowa = 8,314 J/mol×K,  $T$  – temperatura). Przeliczając skalę Celsjusza na Kelvina należy pamiętać, że 0 K = -273,15°C.

**Gaz doskonały** – model gazu, którego cząsteczki nie posiadają rozmiarów i oddziałują ze sobą tylko poprzez zderzenia sprężyste.

**Praca** – skalarna wielkość fizyczna charakteryzująca proces przekazywania energii.

**Stała gazowa R** – stała ta informuje, jaką pracę może wykonać 1 mol gazu doskonałego podczas przemiany izobarycznej (stałe ciśnienie), a jeżeli zwiększymy jego temperaturę o 1 stopień.

## ZASADY TERMODYNAMIKI

**0 zasada termodynamiki** – dwa ciała będące w równowadze termodynamicznej z pewnym układem są w równowadze termodynamicznej ze sobą.

**I zasada termodynamiki** – zasada zachowania energii dla układów termodynamicznych. Zmiana energii wewnętrznej układu  $\Delta U$ , może odbyć się na drodze ciepła  $Q$  i pracy  $W$ .

$$\Delta U = Q + W$$

$\Delta U$  – zmiana energii wewnętrznej układu,

$Q$  – energia przekazana do układu jako ciepło,

$W$  – praca wykonana na układzie.

Jeżeli  $W > 0$ , to do układu dostarczana jest energia na sposób pracy.

Jeżeli  $W < 0$ , to układ wykonuje pracę kosztem energii.

Jeżeli  $Q > 0$ , to układ pobiera ciepło zwiększając energię.

Jeżeli  $Q < 0$ , to układ oddaje ciepło tracąc energię.

W przypadku układu izolowanego nie zachodzi wymiana energii z otoczeniem, wówczas  $W = 0$  i  $Q = 0$ , dlatego  $\Delta U = 0$

**II zasada termodynamiki** – wskazuje kierunek przemian termodynamicznych.

W układzie zamkniętym w dowolnym procesie entropia  $S$  nie maleje  $\Delta S \geq 0$

Oznacza to, że układy podczas przemian termodynamicznych dążą do rozproszenia energii – dążą do chaosu.

$$\text{Określenie entropii } S = \Delta Q/T$$

Przykład działania II zasady termodynamiki.

Przesuwając książkę po blacie stołu, wykonujemy pracę, pokonując siły tarcia. Praca ta spowodowała przesunięcie książki i wydzielenie ciepła – wzrost energii wewnętrznej stołu i książki. Energia ta ulega nieodwracalnemu rozproszeniu, nie zdarzy się bowiem, by książka pobrała energię i zamieniła ją na pracę wracając na swoje poprzednie miejsce.

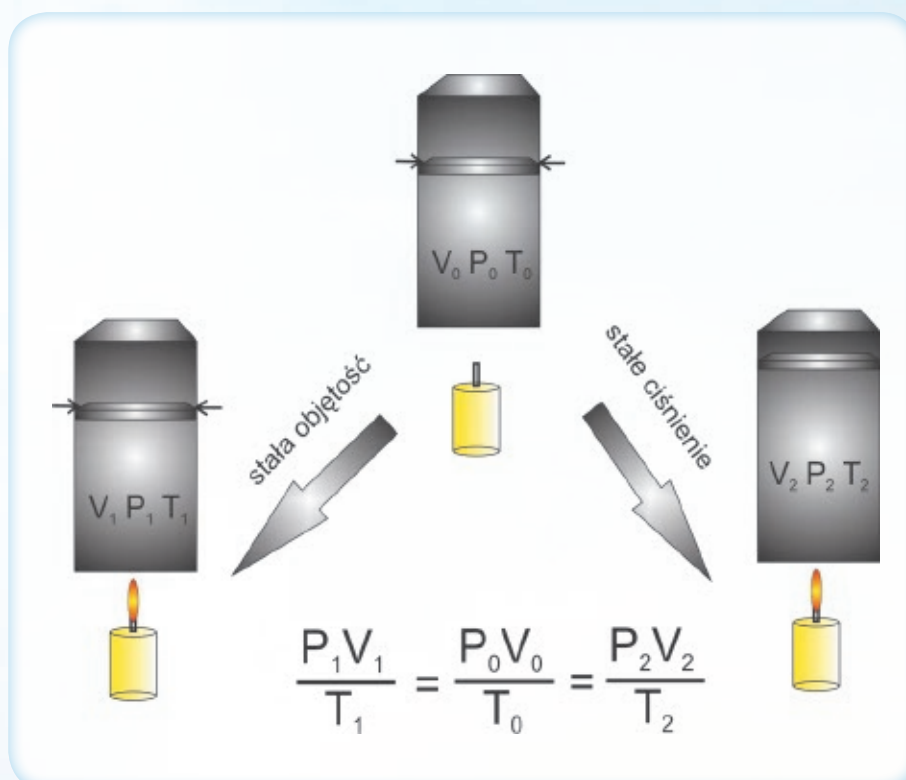


**III zasada termodynamiki** (twierdzenie Nernsta) –w ustalonych warunkach (np. ciśnienia lub objętości) entropia układu, którego temperatura zmierza do zera bezwzględnego, również dąży do zera.

## PRZEMIANY GAZOWE

Spróbujmy przeanalizować następujący eksperyment fizyczny.

Cylinder o znanej objętości  $V_0$  wypełniamy powietrzem o temperaturze  $T_0$  i zamykamy ruchomym tłokiem. Tłok pod wpływem siły ciężenia naciska na powietrze, wywierając ciśnienie  $P_0$ . Zatem nasze warunki początkowe to  $T_0, V_0, P_0$ . Wyobraźmy sobie, że pod zbiornikiem umieścimy świeczkę. Możliwe są dwa scenariusze dalszego eksperymentu. W pierwszym, tłok zostaje zakleszczony śrubami zachowując stałą objętość cylindra w trakcie ogrzewania. W drugim, tłok porusza się swobodnie zapewniając stały nacisk (a więc stałe ciśnienie gazu w cylindrze) na powietrze. Schemat eksperymentu przedstawiono na rysunku poniżej.



Po analizie danych uzyskanych z eksperymentu, stwierdzono stałą wartość ilorazu ( $PV/T$ ) dla danej ilości gazu. Wartość tego ilorazu dla 1 mola gazu wynosi  $R = 8,314 \text{ J/mol}\times\text{K}$ . Wielkość tą nazywamy stałą gazową. Dla dowolnej ilości gazu ( $n$  moli), równanie można zapisać w postaci:

$$\frac{P V}{T} = nR$$

Jest to jedno z najważniejszych praw termodynamiki, nosi nazwę równania Clapeyrona.

Trzy zmienne w równaniu Clapeyrona  $P, V, T$  definiują trzy przemiany gazowe: izotermiczną dla  $T=const$ , izobaryczną dla  $P=const$ , izochoryczną dla  $V=const$ .

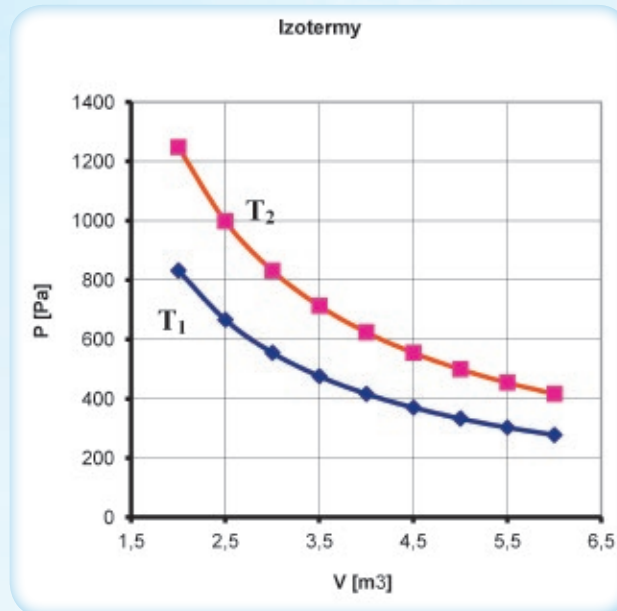
### Przemiana izotermiczna ( $T = \text{const.}$ )

Dla przemiany, w której temperatura nie ulega zmianie, równanie Clapeyrona  $PV = nRT$  przyjmuje postać  $PV = \text{const.}$

$$\text{lub } P = \text{const.}/V.$$

Jest to odpowiednik wzoru matematycznego o postaci:  $y = a \cdot 1/x$ .

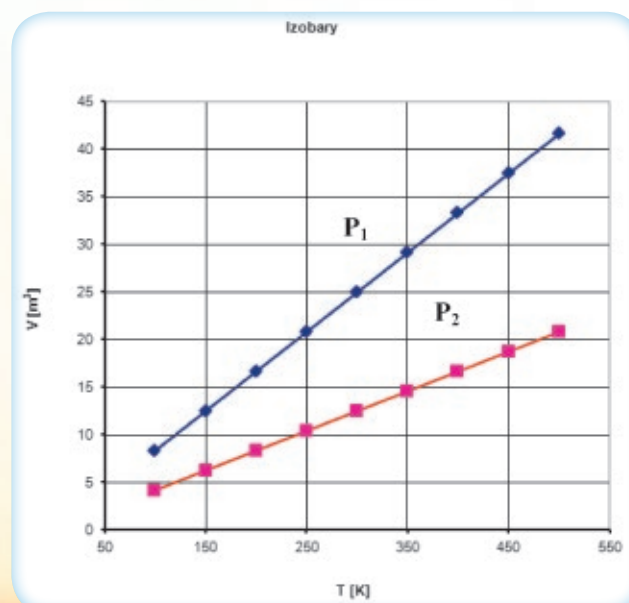
Wykresem takiej zależności jest hiperbola.



Interpretacja graficzna przemiany izotermicznej dla 1 mola gazu w temperaturze  $T_1 = 200 \text{ K}$  i  $T_2 = 300 \text{ K}$ .

### Przemiana izobaryczna ( $P = \text{const.}$ )

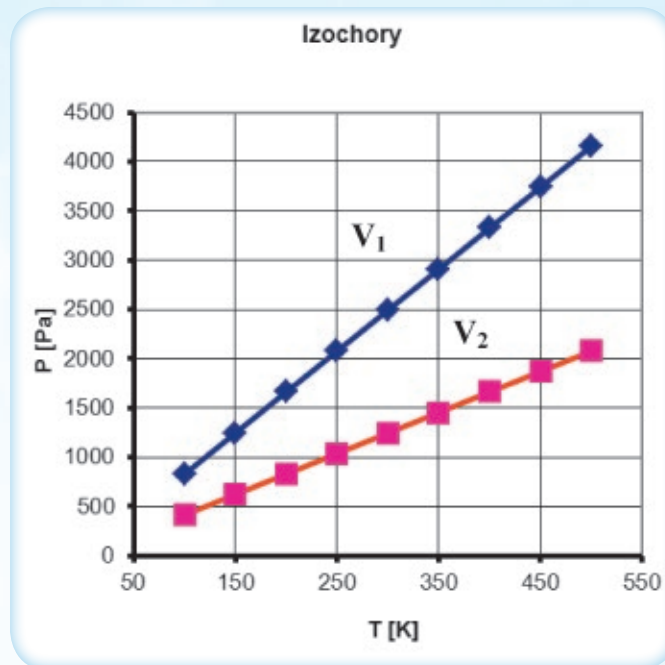
Jeżeli założymy stałą wartość ciśnienia ( $P$ ), to równanie Clapeyrona przyjmie postać równania liniowego postaci  $V = T \cdot \text{const.}$  [dla 1 mola gazu  $V = (R/P) \cdot T$ ]. Jest to odpowiednik wzoru matematycznego o postaci:  $y = a \cdot x$ .



Interpretacja graficzna przemiany izobarycznej dla 1 mola gazu pod ciśnieniem  $P_1 = 100 \text{ Pa}$  i  $P_2 = 200 \text{ Pa}$ .

### Przemiana izochoryczna ( $V = \text{const.}$ )

Jeżeli założymy stałą wartość objętości ( $V$ ), to równanie Clapeyrona przyjmie postać równania liniowego postaci  $P = T \cdot \text{const.}$  [dla 1 mola gazu  $V = (R/P) \cdot T$ ]. Jest to odpowiednik wzoru matematycznego o postaci:  $y = a \cdot x$ .



Interpretacja graficzna przemiany izochorycznej dla 1 mola gazu o objętości  $V_1 = 1 \text{ m}^3$  i  $V_2 = 2 \text{ m}^3$ .

### Przemiana adiabatyczna ( $Q = \text{const.}$ )

W procesach termodynamicznych istnieje jeszcze jedna ważna przemiana, tak zwana przemiana adiabatyczna. Zachodzi ona wtedy, gdy układ nie wymienia ciepła z otoczeniem. W praktyce oznacza to, że proces zachodzi w termicznie dobrze izolowanym od otoczenia środowisku, np. w termosie lub przemiana zachodzi na tyle szybko, że układ nie zdąży wymenić ciepła z otoczeniem. Przykładem takiej szybkiej przemiany jest pompowanie rowerowej dętki. Przy energicznym pompowaniu, końcówka pompki się nagrzewa, co jest konsekwencją cyklicznego sprężania powietrza.

$$PV^\kappa = \text{const.}$$

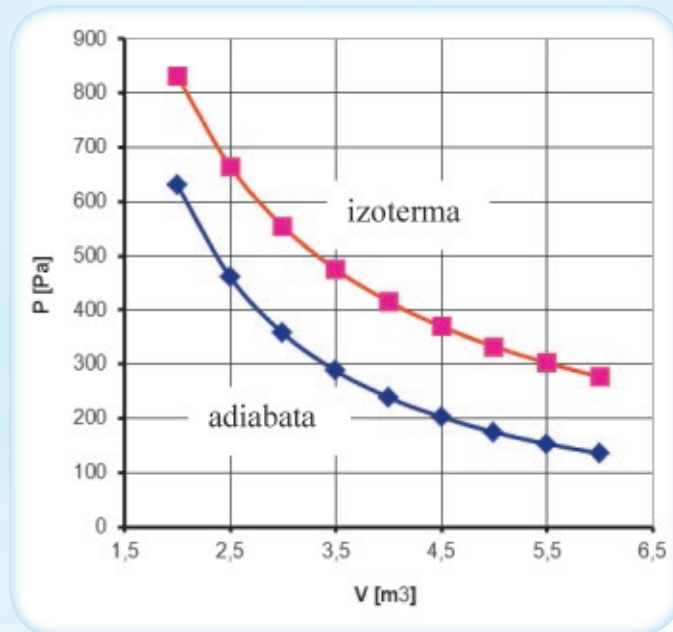
$$\kappa = C_p/C_v$$

$C_p$  – ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu,

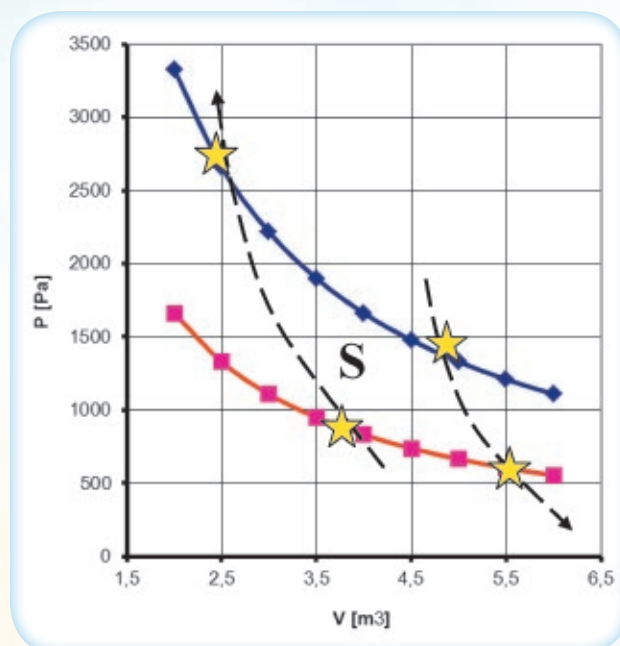
$C_v$  – ciepło właściwe przy stałej objętości.

Dla powietrza oraz ogólnie dla gazów dwuatomowych  $\kappa = 7/5$ . Wartość tego współczynnika zależy od liczby stopni swobody cząsteczek gazu. Jest to odpowiednik wzoru matematycznego o postaci:  $y = a \cdot x^{-\kappa}$





Interpretacja graficzna przemiany izotermicznej i adiabatycznej dla 1 mola powietrza ( $\kappa = 7/5$ ) w temperaturze  $T_1 = 200\text{ K}$ . Z wykresu wynika, że adiabata jest nieznacznie bardziej stroma od izotermy. Własność ta jest wykorzystywana w silnikach cieplnych. Szybkie przemiany (spalanie paliwa – ogrzewanie i wyrzucanie spalin – ochładzanie) umożliwiają cykliczne przejścia pomiędzy dwoma stanami silnika (gorącego i zimnego) – izoterma górna i dolna na poniższym rysunku.



Na wykresie przedstawiono interpretację graficzną przemiany termodynamicznej, złożonej z dwóch przemian adiabatycznych i dwóch izotermicznych. Gwiazdkami zaznaczono miejsca przecięcia izoterm z adiabatami. Pole powierzchni  $S$ , wycięte przez krzywe obrazuje pracę użyteczną silnika. Jak łatwo zauważyć, praca będzie rosła wraz z różnicą temperatury pomiędzy fazą gorącą i zimną.

## GAZ RZECZYWISTY - POPRAWKA VAN DER WAALSA

Rozważania przeprowadzone powyżej dotyczyły gazu doskonałego. W gazach rzeczywistych należy uwzględnić ich własną objętość i dodatkowe oddziaływania, które nie wynikają z bezpośredniego zetknięcia się cząsteczek w momencie zderzenia. Indywidualne cechy gazów wprowadza się do równania Clapeyrona za pomocą stałych  $a$  i  $b$ . Te poprawki po raz pierwszy wprowadził van der Waals.

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT$$

gdzie:

$a$  – stała charakterystyczna dla danego gazu, uwzględniająca oddziaływanie między cząsteczkami gazu (cząsteczki gazu przyciągają się, w wyniku czego rzeczywiste ciśnienie gazu na ścianki naczynia jest mniejsze niż w przypadku, gdyby tego oddziaływania nie było),

$b$  – stała charakterystyczna dla danego gazu, uwzględniająca skończone rozmiary cząsteczek, ma wymiar objętości, przez co uznawana jest za objętość mola cząsteczek gazu,

$p$  – ciśnienie,

$V_m = V/n$  – objętość molowa,

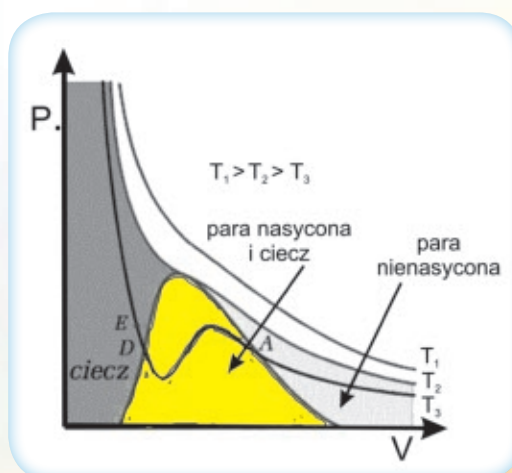
$V$  – objętość naczynia,

$n$  – liczność (ilość gazu) w molach,

$T$  – temperatura bezwzględna,

$R$  – uniwersalna stała gazowa.

Analiza równania van der Waalsa ujawniła nowe właściwości gazów rzeczywistych, odmienne od właściwości gazu doskonałego. W pewnych warunkach fizycznych – dla niskich temperatur i wysokich ciśnień – izotermy van der Waalsa są znacznie bardziej strome od izoterm gazu doskonałego. Ta cecha świadczy o możliwości zmiany fazy z gazowej na ciekłą. Rzeczywiście, w ekstremalnych warunkach – niskich temperaturach i wysokich ciśnieniach – gazy ulegają skropleniu. Zjawisko to wykorzystuje przemysł chemiczny, skraplając powietrze w zakładach zwanych tlenowniami. W taki sposób otrzymuje się frakcję ciekłego azotu, tlenu i pozostałych gazów wchodzących w skład powietrza atmosferycznego.



Na wykresie przedstawiono przebieg zależności ciśnienia od objętości dla gazu rzeczywistego przy różnych temperaturach  $T$ .

## PRZEMIANY TERMODYNAMICZNE ZACHODZĄCE W PRZYRODZIE, BILANS ENERGETYCZNY ZIEMI

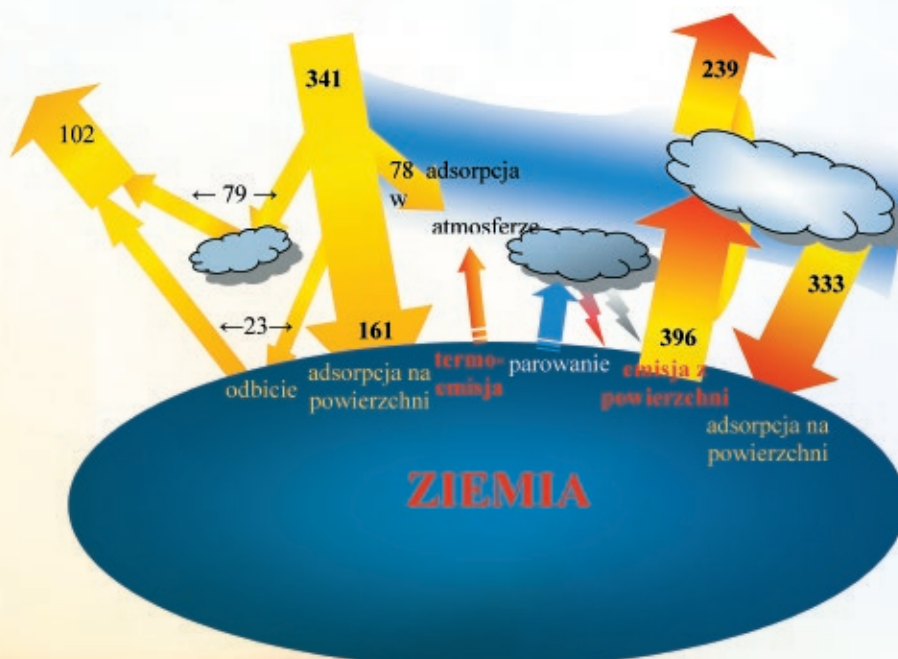
Ziemia posiada dwa źródła energii, swoje własne gorące wnętrze i zewnętrzne źródło – Słońce. Nasza gwiazda dostarcza Ziemi średnio 342 watów mocy promieniowania na 1 m<sup>2</sup> powierzchni. Część promieniowania jest absorbowana przez atmosferę ziemską (67 W/m<sup>2</sup>), powodując jej nagrzewanie. Część się odbija od powierzchni Ziemi (30 W/m<sup>2</sup>), od pyłów zawieszonych w powietrzu i chmur (77 W/m<sup>2</sup>). W sumie 107 W/m<sup>2</sup> promieniowania trafia z powrotem w kosmos. Ziemia absorbuje 168 W/m<sup>2</sup> promieniowania, które wykorzystywane jest przede wszystkim:

- przez rośliny w procesie fotosyntezy,
- do ogrzewania oceanów, co wywołuje powstanie prądów oceanicznych i ich parowanie,
- do ogrzewania powierzchni Ziemi (podnosi jej temperaturę, szczególnie w dzień).

### Energia Słońca jest głównym paliwem zasilającym procesy zachodzące na Ziemi

Nasza planeta to złożony układ fizyczny znajdujący się w równowadze termodynamicznej z otoczeniem (kosmosem). Równowaga ta jest niezbędna do istnienia życia. Przed przegrzaniem Ziemi chroni nas proces wyrzucania energii w kosmos, w postaci promieniowania podczerwonego. Dzięki temu bilans energetyczny utrzymywany jest na optymalnym poziomie zapewniającym odpowiednią temperaturę. Naruszenie tej równowagi może doprowadzić do globalnej katastrofy, dlatego tak ważne jest świadome korzystanie z zasobów przyrody. Atmosfera ziemska stanowi naturalny filtr półprzepuszczalny, który reguluje strumienie energii napływającej i wypływającej z Ziemi.

Zaburzenia w składzie atmosfery (na przykład przez emisję zanieczyszczeń) prowadzą do wadliwego funkcjonowania filtra, co z kolei może doprowadzić do globalnego oziębienia klimatu (epoka lodowcowa) lub efektu cieplarnianego (podwyższenie średniej temperatury Ziemi).



Uproszczony schemat bilansu energetycznego Ziemi. Kolorem żółtym zaznaczono promieniowanie elektromagnetyczne docierające ze Słońca, kolorem czerwonym, promieniowane emitowane przez Ziemię lub chmury, głównie z zakresu podczerwieni.



## TERMODYNAMIKA I EKOLOGIA

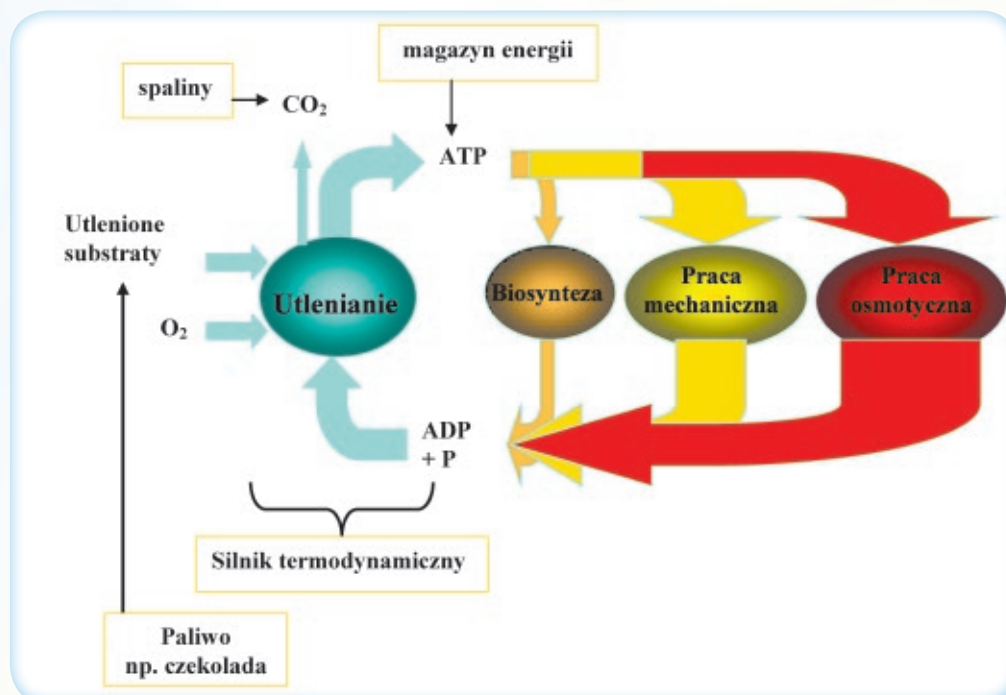
Globalny ekosystem Ziemi znajduje się w równowadze termodynamicznej dzięki złożonym procesom, które regulują przepływ energii pomiędzy Ziemią i otoczeniem na optymalnym poziomie dla podtrzymania życia. Procesy te dotyczą zarówno prostych zjawisk fizycznych, takich jak przewodnictwo cieplne, parowanie, skraplanie czy konwekcja, jak i bardziej złożonych procesów biologicznych i chemicznych związanych z przemianą materii w organizmach żywych. Wszystkie te działania przyrody w konsekwencji tworzą stabilny system wzajemnie połączonych elementów, które oddziałują na siebie. Wprowadzenie zaburzenia w tym delikatnym łańcuchu wzajemnych powiązań może prowadzić do załamania całego ekosystemu Ziemi. Jednym z takich niebezpieczeństw jest emisja zanieczyszczeń do atmosfery, np.:

1. Wzrost zapylenia może spowodować zablokowanie części promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi i obniżenie jej temperatury. Pociągnie to za sobą zwiększenie czap lodowych, zmniejszenie obszarów zielonych (mniej żywności) i liczebności zwierząt.
2. Wzrost emisji gazów cieplarnianych, w szczególności pary wodnej, metanu i  $\text{CO}_2$ , może doprowadzić do wzrostu temperatury. Pociągnie to za sobą zmniejszenie czap lodowych, podwyższenie poziomu mórz, zwiększenie parowania wody i co jest z tym związane, gwałtowne opady deszczu i huragany.

Zatem istotne jest prowadzenie takiej gospodarki, która jak najmniej ingeruje w zmiany środowiska. Dotyczy to w szczególności energetyki, bazującej na nieodnawialnych źródłach energii takich jak węgiel, ropa czy gaz ziemny. Fizyka daje możliwość wykorzystania alternatywnych źródeł energii, a znajomość przemian termodynamicznych umożliwia stosowanie do jej pozyskiwania np. pomp ciepłych, kolektorów słonecznych, ogniw fotowoltanicznych itp.

### PROCESY TERMODYNAMICZNE ZACHODZĄCE W ORGANIZMIE CZŁOWIEKA

W ujęciu termodynamicznym człowiek, zarówno na poziomie komórkowym, jak i całego organizmu działa jak maszyna cieplna – silnik termodynamiczny.



Zasada działania silnika biologicznego. Substraty są spalane w kontrolowanym przez enzymy procesie, a uzyskana w ten sposób energia jest wykorzystywana do zasilania procesów metabolicznych (życiowych) organizmu. Paliwem takiego silnika jest pokarm (np. czekolada lub kotlet schabowy) i tlen atmosferyczny. Odpadem procesu spalania jest wydzielany na zewnątrz CO<sub>2</sub>, podobnie jak spaliny w silnikach benzynowych na gaz czy ropę.

## EKSPERYMENTY FIZYCZNE

### PROSTE MASZYNY CIEPLNE (WIATRAK CIEPLNY, SPIRALA, BALON)

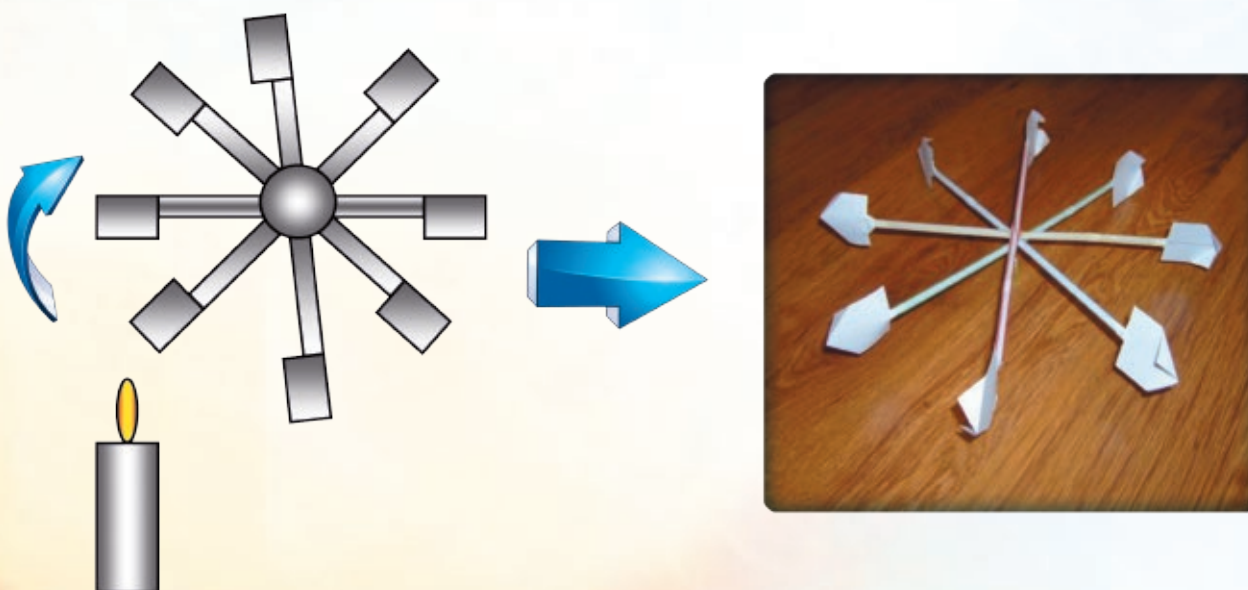
#### 1. Wiatrak cieplny

##### Materiały:

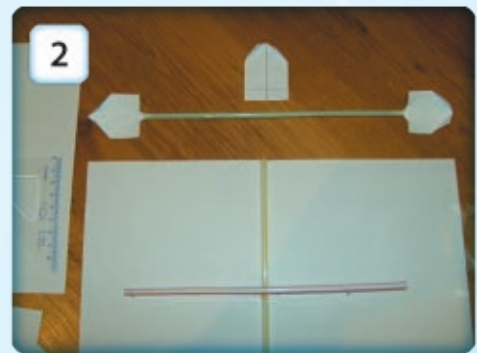
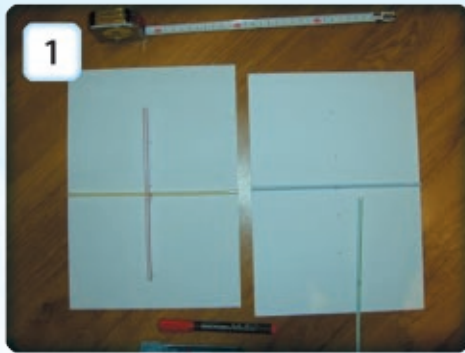
Cztery słomki do napojów (rurki z tworzywa), osiem kubków zrobionych z papieru, długa szpilka, stelaż mocujący.

##### Wykonanie:

Cztery słomki skleamy (np. za pomocą „super glue”) dokładnie na środku ustawiając je pod kątem 45°. Staranne wykonanie tej czynności zagwarantuje równomierny rozkład masy wiatraka, co jest bardzo ważne dla jego prawidłowego działania. Łopatkami wiatraka sporządzamy z papieru i umieszczamy w słomkach. Środek wiatraka przebijamy długą szpilką (może być duża igła lekarska kupiona w aptece). Po wyważeniu łopatek całość umieszczamy w statywie np. zrobionym z grubszego drutu. Igła przebijająca środek wiatraka spełnia funkcję osi obrotu (łożyska).



## Budowa wiatraka ciepłego.



Na zdjęciach zamieszczono kolejne etapy w konstruowaniu wiatraka. Aby go wprawić w ruch możemy użyć palnika kuchenki gazowej (ryc. 3) lub świec (ryc. 4).

## 2. Obracająca się spirala cieplna

### Materiały:

Kartka papieru, najlepiej A4, używana do ksero, nożyczki, szpilka, nici, świeczka i lampka.

### Wykonanie:

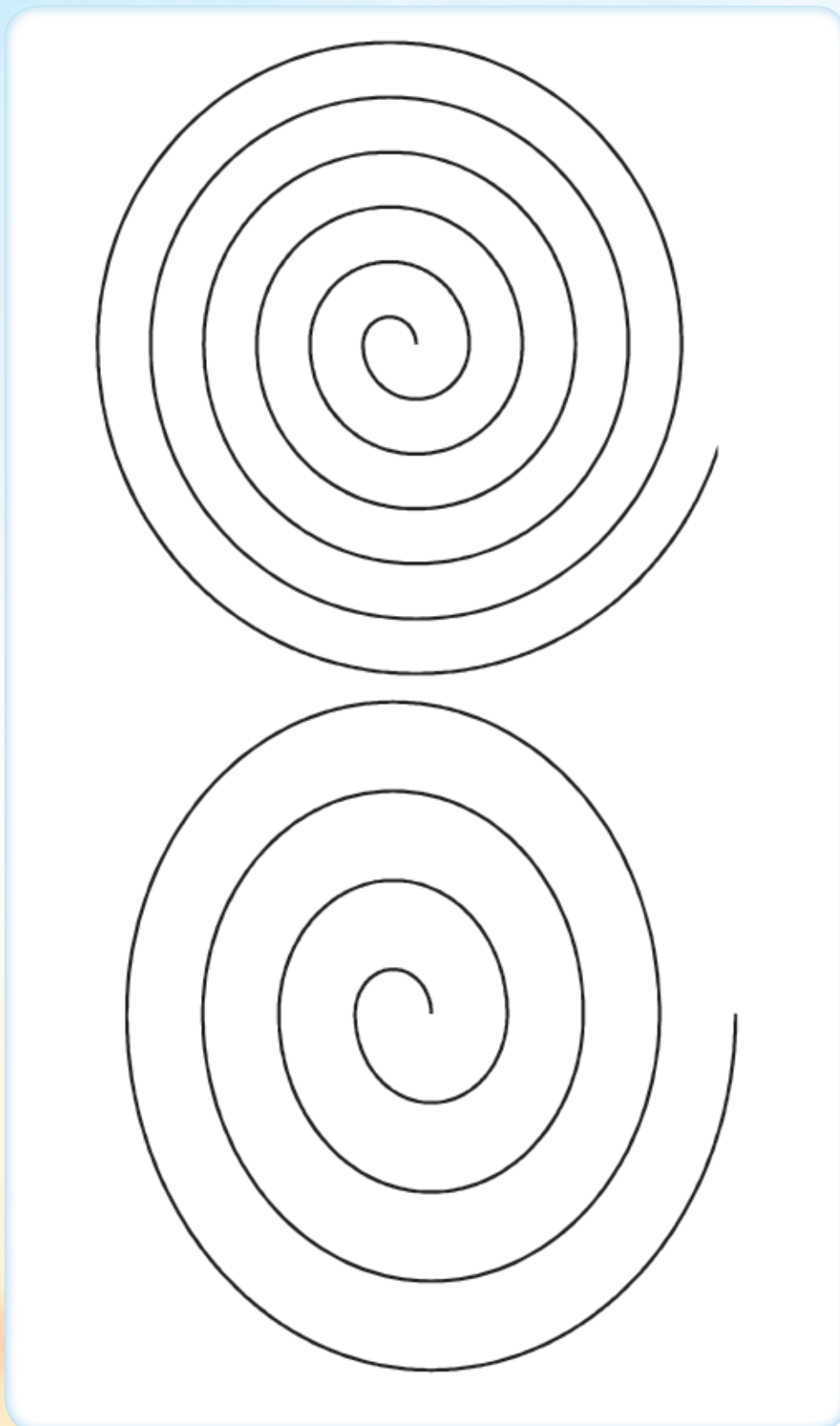
Kserujemy rysunek spirali umieszczony poniżej. Precyzyjnie, małymi nożyczkami wycinamy spiralę (jak na zdjęciu). Za pomocą szpilki z okrągłym plastikowym łebkiem mocujemy spiralę nad świeczką lub zapaloną lampką. Musimy zadbać o jak najmniejsze tarcie na styku papier-szpilka. Dobrze wykonany zestaw zacznie się obracać. Gorące powietrze uderzając w spód spirali wprawia ją w ruch. Energia potrzebna do napędzenia takiego układu pochodzi ze spalanej parafiny lub z prądu elektrycznego nagrzewającego włókno żarówki.





Jeżeli zaczepek pomiędzy spiralą i szpilką wykonany jest poprawnie, tarcie powinno być minimalne. Możemy to sprawdzić poprzez ruch do góry lub w dół naszego zestawu – powinien pojawić się ruch obrotowy. Jeżeli nie osiągniemy takiego efektu musimy poprawić zaczepek. Można do szpilki za pomocą korka przymocować nitkę, w ten sposób, dodatkowo obniżymy tarcie w układzie. Można również opracować zupełnie inne rozwiązanie mocujące spiralę, ważny jest efekt końcowy.

Rysunki spiral do skserowania i wycięcia.



### 3. Balon na ciepłe powietrze

#### Materiały:

Worek na śmieci wykonany z cienkiej folii plastikowej, taśma klejąca, ciężarek, suszarka do włosów, świeca, pasek z kartonu.

#### Wykonanie:

Do wlotu worka przyczepiamy za pomocą taśmy klejącej pierścień wykonany z cienkiego kartonu. Pierścień powinien mieć około 10 cm średnicy. Aby worek uniół się w górę, jego pojemność powinna wynosić co najmniej 40 litrów. Jeżeli chcemy podwiesić do balonu gondolę, np. świeczki na platformie ze styropianu, musimy zastosować worek o znacznie większej pojemności np. 80 – 100 litrów.



## DOMOWE LABORATORIUM TERMODYNAMICZNE

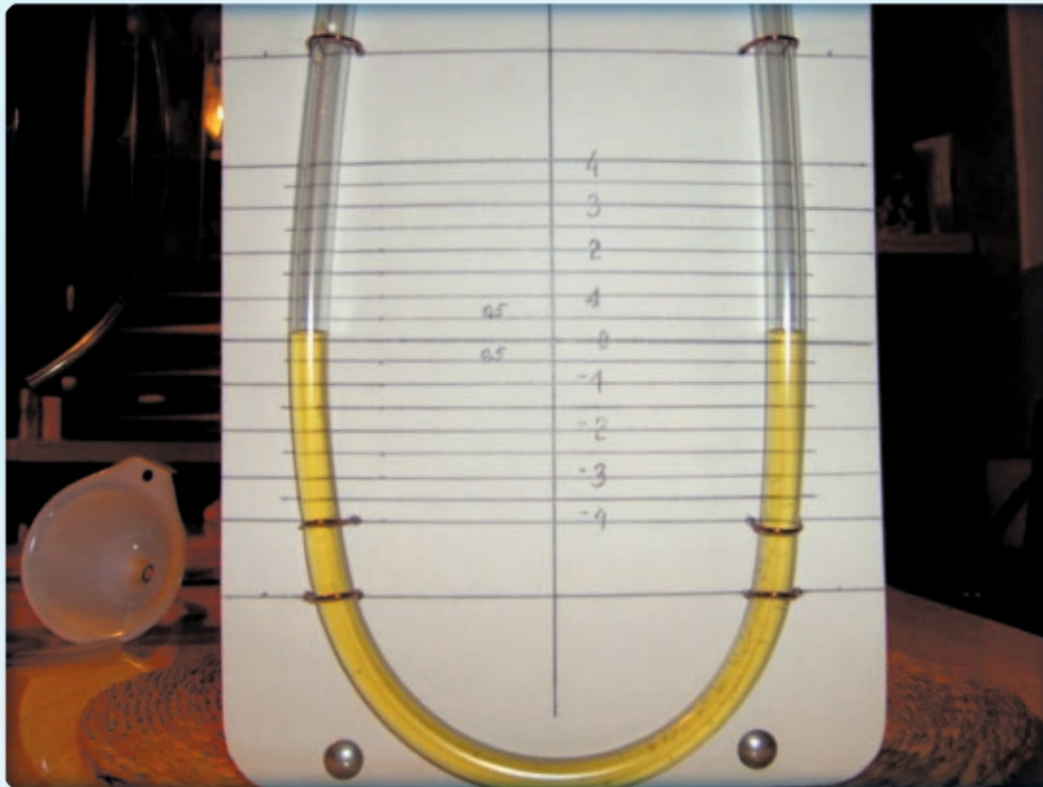
### 4. Miernik ciśnienia – manometr rurkowy

#### Materiały:

Około 0,5 m. przezroczystej, giętkiej rurki (plastikowy wężyk), karton, drut lub grubsza nić, stelaż mocujący (niewielki kawałek deseczki), pinezki.

#### Wykonanie:

Na kartonie rysujemy podziałkę np. z dokładnością do 0,5 cm. Rurkę formujemy w kształt litery U i przyczepiamy do kartonu z podziałką. Następnie rurkę napełniamy zabarwioną wodą (barwnikiem może być atrament lub nadmanganian potasu). Całość przyczepiamy do deseczki, która ustawi karton w pionie. Jedną z końcówek plastikowej rurki zakrzywiamy pod kątem 90°, ostrożnie ogrzewając ją nad płomieniem palnika (np. nad płomieniem kuchenki gazowej). Końcówka ta ułatwi podłączanie dodatkowych urządzeń.



Zdjęcie przedstawia manometr wykonany z przezroczystej plastikowej rurki zamontowanej na kartonie z podziałką według powyższej instrukcji. Środkowa kreska oznacza zerowy punkt odniesienia, względem którego będziemy liczyć różnicę poziomów. Podziałka została naniesiona co 0,5 cm. Należy pamiętać, że różnicę ciśnień pomiędzy jedną i drugą końcówką „u-rurki” wskaże słupek cieczy pomnożony przez dwa – różnica w poziomach.

#### 4.1. Przemiana izochoryczna

Do jednej końcówki manometru podłączamy szczelnie zamknięty zbiornik z powietrzem. Z przemiany izochorycznej wynika, że podczas ogrzewania ciśnienie w zbiorniku powinno wzrosnąć proporcjonalnie do temperatury.

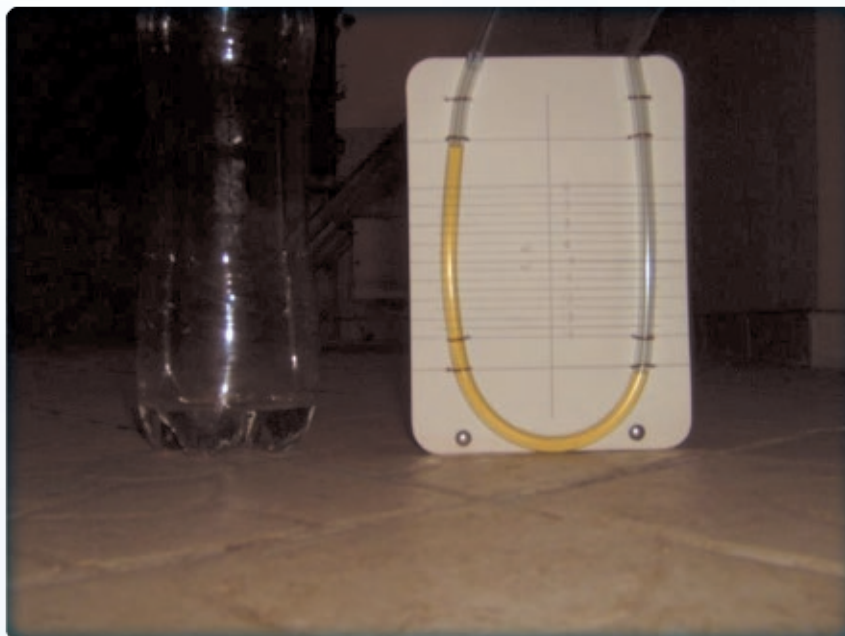




Do jednej z końcówek manometru podłączamy zbiornik z powietrzem, którego temperatura jest taka sama jak otoczenia (około 20°C).



Do zbiornika zbliżamy ręce i delikatnie przytrzymujemy (nie naciskamy na ścianki) aż do ustabilizowania słupka cieczy w manometrze. Pod wpływem ciepła rąk wzrasta temperatura w zbiorniku powodując wzrost ciśnienia. Manometr wskazał różnicę poziomów 2 cm.



Zbiornik z manometrem wystawiamy na dwór (zdjęcie powyżej). Temperatura w zbiorniku obniża się do temperatury otoczenia – około 0°C. Obniżenie temperatury w zbiorniku powoduje obniżenie ciśnienia, co wskazał manometr (różnica poziomów wyniosła aż 12 cm słupa wody).

## 4.2. Przemiana adiabatyczna

Celem eksperymentu jest sprawdzenie w warunkach domowych efektów przemiany adiabatycznej – bez wymiany ciepła z otoczeniem.

### Materiały:

Szklany słoje z dodatkowym otworem, korek, wężyk gumowy, pompka samochodowa, ciecz łatwo parująca (np. denaturat, rozpuszczalnik, aceton).

### Przebieg eksperymentu:

Na dno szklanego słoja wlewamy niewielką ilość denaturatu. Następnie szczelnie zamykamy słoje i za pomocą pompki sprężamy powietrze. Po wykonaniu kilkunastu ruchów pompką szybko wyciągamy korek. Następuje gwałtowne rozprężenie gazu, co powoduje jego ochłodzenie i skroplenie par rozpuszczalnika. W słoju powstaje gęsta mgła.



Na zdjęciach przedstawiono przebieg eksperymentu:

- 1 - słoje z niewielką ilością alkoholu zatykamy szczelnie korkiem,
- 2 - za pomocą pompki sprężamy gaz w słoju.
- 3 - Szybkim ruchem usuwamy korek, następuje gwałtowne rozprężenie gazu, czego skutkiem jest ochłodzenie i skroplenie pary alkoholu. W słoju pojawia się gęsta mgła.

### 4.3. Przemiana izobaryczna

Celem eksperymentów jest sprawdzenie w domowym laboratorium jakie są (mogą być) skutki przemian izobarycznych, tzn. przemian przy stałym ciśnieniu.

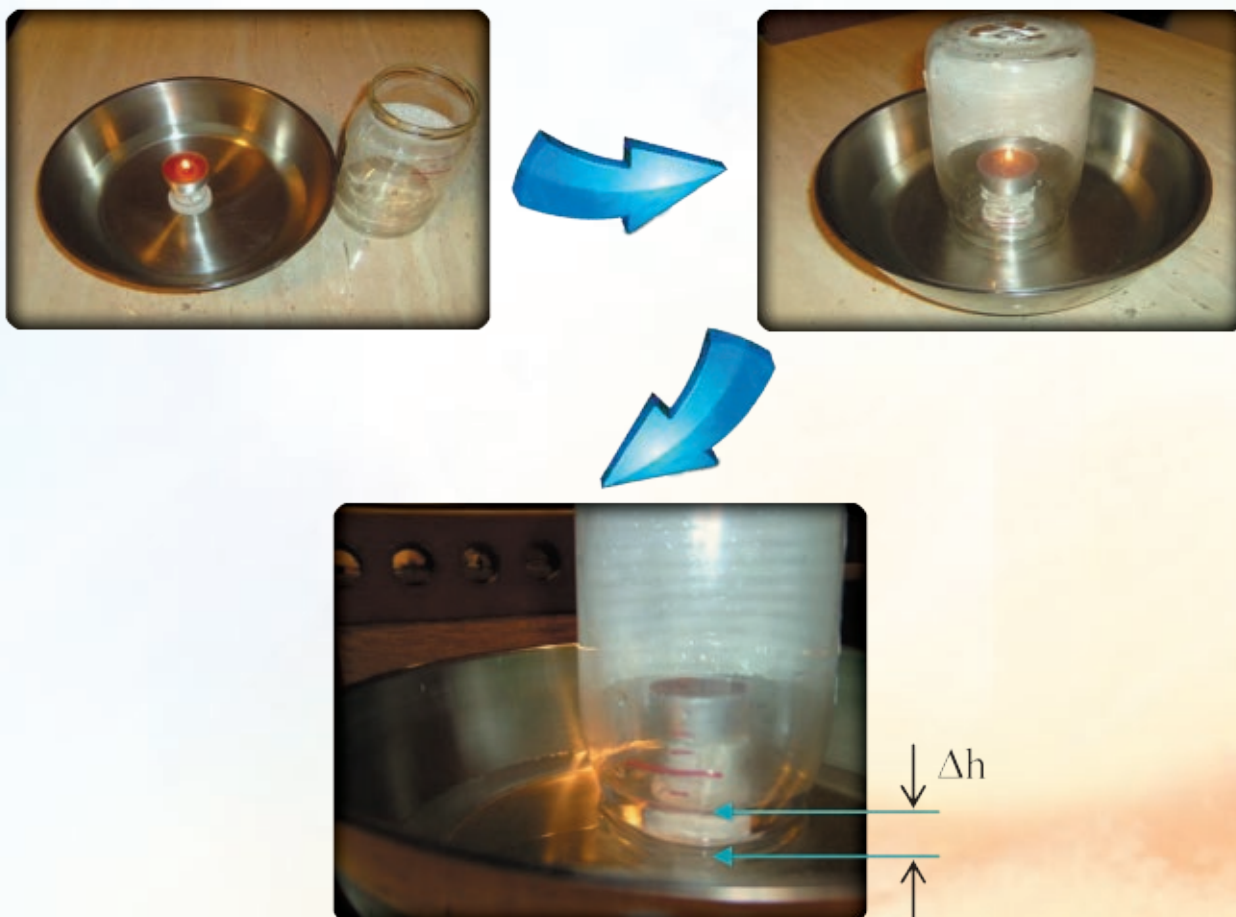
#### 4.3.1. Eksperyment I

##### Materiały:

Miska, szklany słoik, pokrywka, woda, świeca.

##### Wykonanie:

Do miski wlewamy wodę do wysokości ok. 1 cm od dna (zdjęcia poniżej). Na podwyższeniu, np. pokrywce, ustawiamy zapaloną świecę, którą nakrywamy szklanym słojem. Brzegi słoja zanurzają się w wodzie uszczelniając w ten sposób wnętrze słoja od otoczenia. Na początku eksperymentu temperatura wewnątrz słoja jest taka sama jak na zewnątrz, jednak z upływem czasu zaczyna rosnąć (ogrzewana płomieniem świecy). Zamknięcie hydrostatyczne utrzymuje ciśnienie w słoju na stałym poziomie, dlatego podczas ogrzewania możemy zaobserwować wydobywające się bąbelki ciepłego powietrza. Po zgaśnięciu świecy temperatura w słoju zaczyna się obniżać powracając do temperatury wyjściowej – temperatury otoczenia. Obserwując ten proces możemy zauważyć, że woda zostaje zassana do słoja. Dokonując pomiaru różnicy w poziomie wody, słoje – miska ( $\Delta h$ ), możemy obliczyć, jaka była maksymalna temperatura w słoju. Wnikliwy obserwator zapewne zauważył, że w tym doświadczeniu mamy do czynienia z pewnym odstępstwem od fundamentalnego założenia, które leży u podstaw praw przemian gazowych. Mianowicie, wszystkie prawa gazowe stosują się do ustalonej masy gazu, a w opisanym przypadku ten warunek nie jest ściśle spełniony – reakcje chemiczne wewnątrz zbiornika oraz „uciekający” gaz.





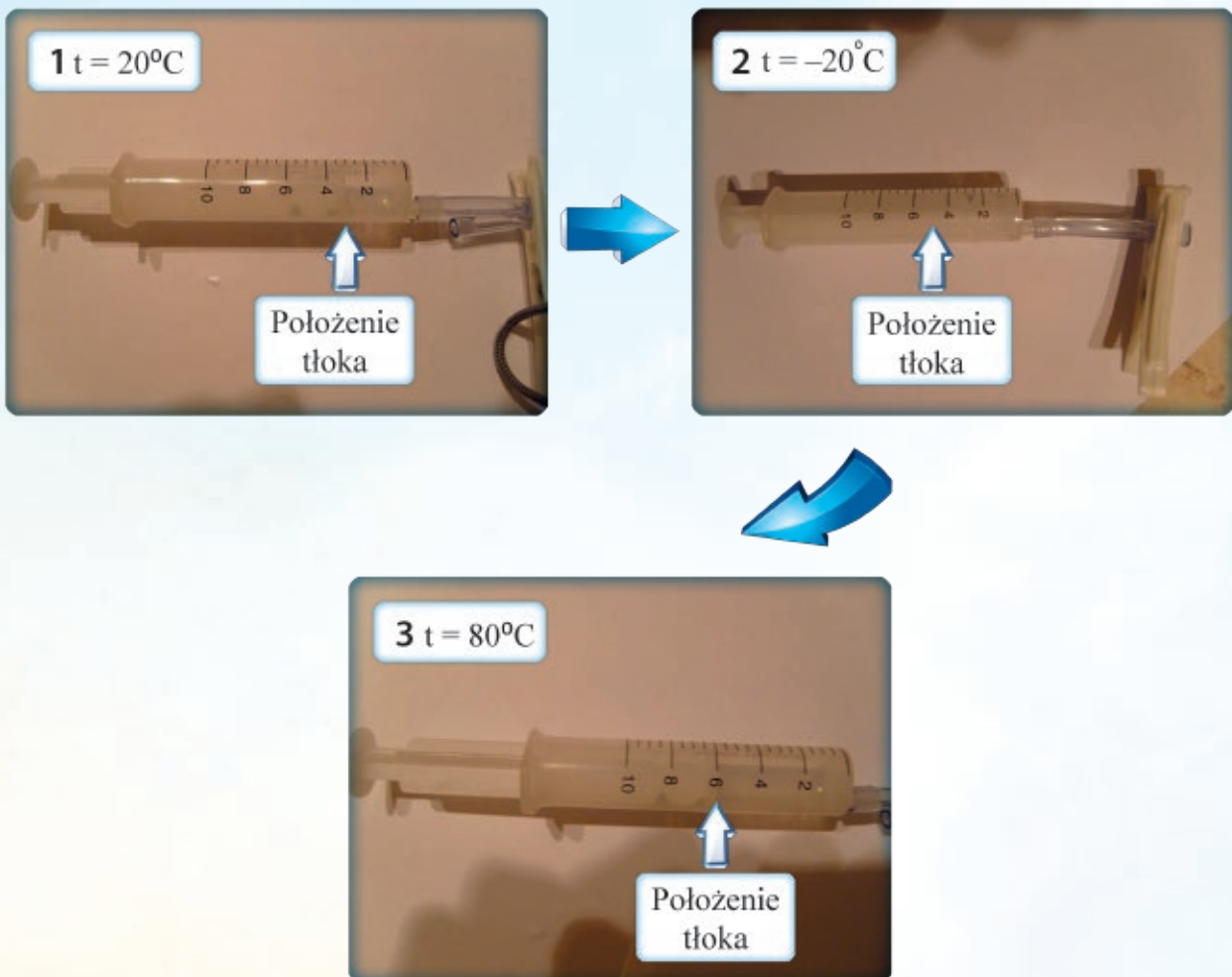
### 4.3.2. Eksperyment II

#### Materiały:

Strzykawka plastikowa o dużej pojemności, gumowa rurka, klips do prania.

#### Wykonanie:

Tłok w strzykawce ustawiamy w pozycji wysuniętej do 1/4. Następnie szczelnie zamykamy wlot strzykawki za pomocą rurki i klipsa do prania (zdjęcia poniżej, ryc. 1). Układ umieszczamy w zamrażarce ( $-20^{\circ}\text{C}$ ), po minucie wyciągamy go i odczytujemy położenie tłoka (ryc. 2). Następnie strzykawkę zanurzamy w gorącej wodzie (około  $80^{\circ}\text{C}$ ) i po kilkudziesięciu sekundach odczytujemy położenie tłoka (ryc. 3.).



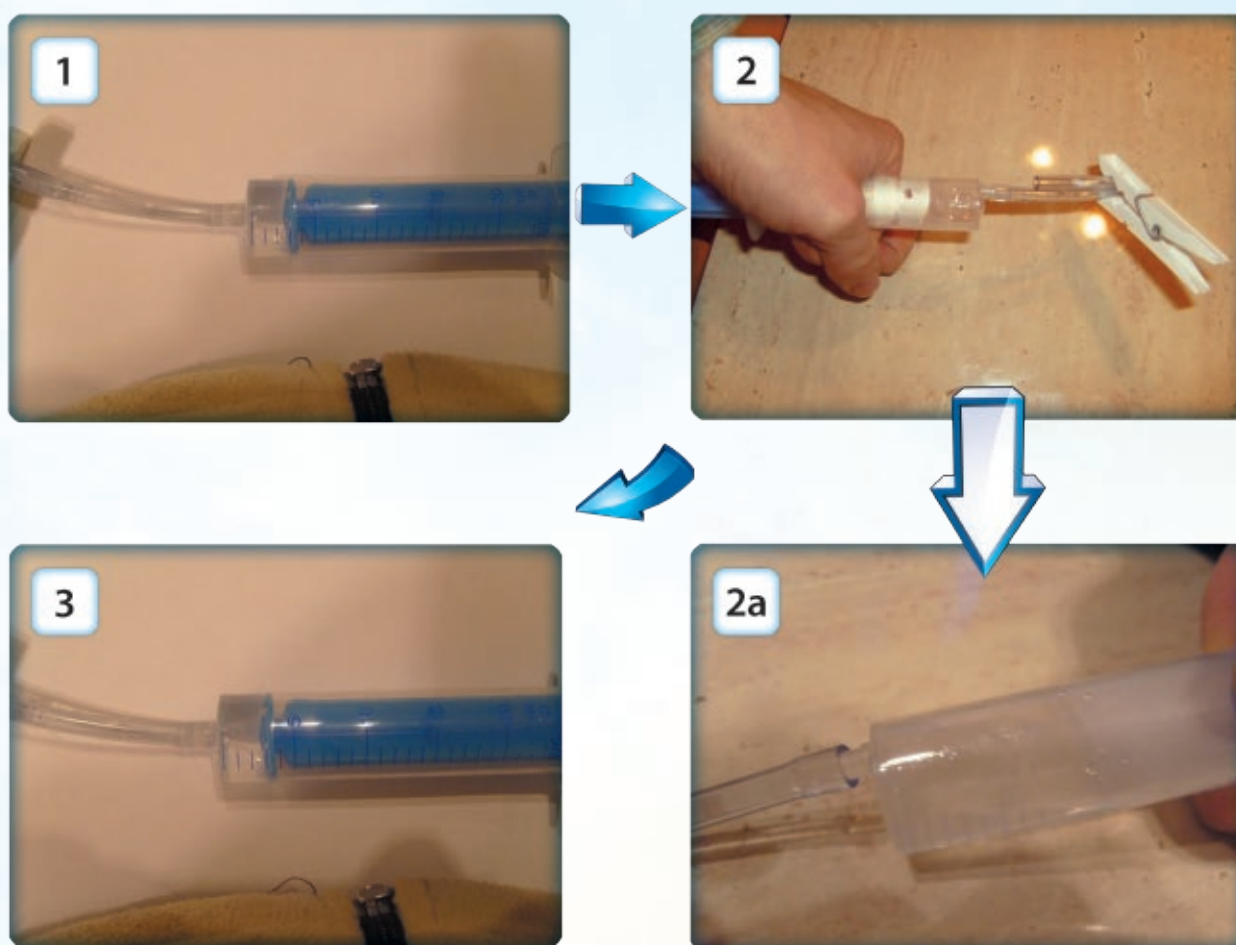
#### 4.4. Przemiana izotermiczna – wrzenie wody pod obniżonym ciśnieniem

##### Materiały:

Strzykawka plastikowa o dużej pojemności, gumowa rurka, klips do prania, woda.

##### Wykonanie:

Do strzykawki wprowadzamy poprzez rurkę gorącą wodę ( $80^{\circ}\text{C}$ ), pozostawiamy ją chwilę (20 s) w strzykawce, następnie usuwamy naciskając tłok. Czynność powtarzamy przynajmniej trzykrotnie, zapewni to równomierne nagrzanie całego zestawu. Następnie nadmiar wody usuwamy, pozostawiając jej około  $3\text{ cm}^3$  (ryc.1.), zatykamy rurkę klipsem i odciągamy tłok do skrajnego położenia. Zwiększając objętość, obniżamy ciśnienie, co wywołuje wrzenie wody w temperaturze znacznie niższej  $100^{\circ}\text{C}$  (ryc. 2 i 2a). Po zwolnieniu, tłok wraca na swoje miejsce, wrzenie wody ustaje (ryc. 3).



Zdjęcia powyżej ilustrują przebieg eksperymentu – przemianę izotermiczną, w wyniku której podczas obniżania ciśnienia, doprowadzamy wodę do stanu wrzenia. Podobne eksperymenty można przeprowadzać z cieczami, które mają niższą temperaturę wrzenia od wody np. denaturat. Wtedy wystarczy podgrzać całość do  $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$ .





JÓZEF MUSIELOK  
FALE ELEKTRO-  
MAGNETYCZNE  
OPTYKA







## II. FAŁE ELEKTROMAGNETYCZNE, OPTYKA

**Cele:** Wskazać na powszechność zjawisk elektromagnetycznych, w szczególności w zakresie optycznym widma, w środowisku człowieka.

### Plan pracy:

- Rozchodzenie się światła.
- Oko – nasz organ detekcji światła.
- Odbicie i załamanie światła.
- Obrazy uzyskiwane za pomocą zwierciadeł i soczewek.
- Rozpraszanie światła i pochłanianie światła.
- Rozszczepienie światła – barwy.
- Dyfrakcja i interferencja światła.
- Polaryzacja światła.
- Efekt fotoelektryczny.
- Emisja światła przez atomy.

### Najważniejsze pojęcia:

**Promieniowanie elektromagnetyczne** – promieniowanie charakteryzujące się okresowymi zmianami pola elektrycznego i magnetycznego.

**Współczynnik odbicia** – stosunek strumienia świetlnego odbitego przez dane ciało do strumienia padającego na nie.

### Prawa odbicia fal:

**pierwsze prawo:** promień fali padającej, odbitej i prosta, prostopadła do powierzchni padania fal, leżą w jednej płaszczyźnie;

**drugie prawo:** kąt odbicia jest równy kątowi padania, kąty te są zawarte pomiędzy odpowiednim promieniem a prostą prostopadłą do powierzchni padania (tzw. normalną).

**Prawo załamania światła** – promień padający, promień załamany oraz normalna w punkcie padania leżą w jednej płaszczyźnie, stosunek sinusa kąta padania, do sinusa kąta załamania jest równy stosunkowi prędkości rozchodzenia się światła w ośrodku „padania” do prędkości w ośrodku „załamania”.

**Współczynnik załamania światła substancji** – stosunek prędkości światła w próżni do prędkości światła w tej substancji.



**Całkowite wewnętrzne odbicie** – zjawisko, które zachodzi w przypadku, gdy światło pada na granicę dwóch ośrodków (ze strony ośrodka optycznie gęstszego) pod kątem większym od tzw. kąta krytycznego, tzn. pod takim kątem, dla którego kąt załamania jest równy 90 stopni.

**Ognisko soczewki, ogniskowa soczewki** – ognisko soczewki to punkt, przez który przechodzą promienie świetlne po załamaniu w soczewce, które przed dotarciem do niej biegły równolegle względem siebie i równolegle do osi optycznej soczewki; **oś optyczna soczewki** to prosta łącząca ognisko i środek optyczny soczewki; **ogniskowa** to odległość pomiędzy ogniskiem a środkiem optycznym soczewki; w przypadku soczewek rozpraszających ogniskiem nazywamy punkt, w którym przecinają się przedłużenia promieni świetlnych, o których była mowa powyżej.

**Ognisko zwierciadła (wklęsłego, wypukłego), ogniskowa zwierciadła** – ognisko to punkt, przez który przechodzą promienie świetlne po odbiciu od zwierciadła, które przed dotarciem do niego biegły równolegle względem siebie i równolegle do osi optycznej zwierciadła; **oś optyczna zwierciadła** to prosta łącząca ognisko i środek zwierciadła; **ogniskowa** to odległość pomiędzy ogniskiem a środkiem zwierciadła; w przypadku zwierciadeł wypukłych ogniskiem nazywamy punkt, w którym przecinają się przedłużenia promieni świetlnych, o których była mowa powyżej.

**Rozpraszanie promieniowania** – proces polegający na odchyłaniu kierunku rozchodzenia się promieniowania w wyniku oddziaływania z cząstkami ośrodka, w którym się rozchodzi; efektywność tego procesu zależy od gęstości ośrodka, rozmiarów cząstek i od częstotliwości promieniowania elektromagnetycznego.

**Rozszczepienie światła** – rozdzielenie wiązki światła, złożonej z fal o różnych częstotliwościach (długościach fal) na „jednobarwne” wiązki rozchodzące się w różnych kierunkach. Rozdzielenie to ma więc charakter rozdzielania przestrzennego.

**Pochłanianie światła (absorpcja światła)** – zjawisko polegające na przekształceniu energii fali elektromagnetycznej podczas przechodzenia przez ośrodek materialny w inne formy energii np. cieplnej.

**Dyfrakcja światła** – zjawisko rozproszenia lub ugięcia fal przy przejściu przez szczelinę lub tuż przy jakiejś przegrodzie, względnie odbiciu od wąskich obiektów.

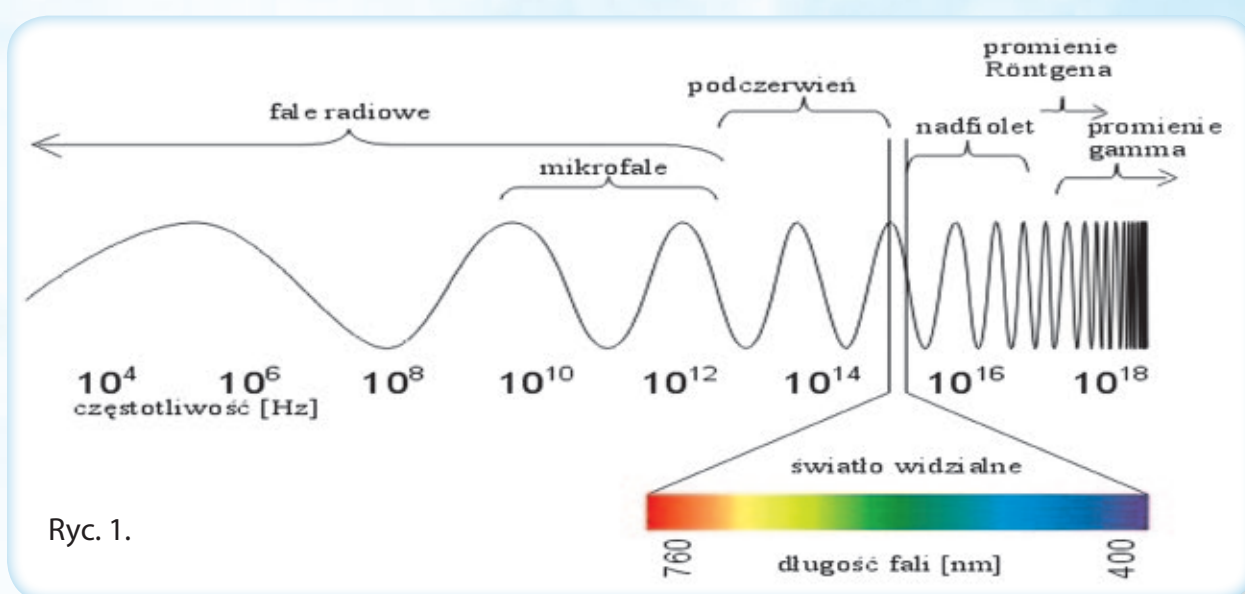
**Interferencja światła** – oddziaływanie dwóch lub więcej fal elektromagnetycznych, rozchodzących się w tym samym obszarze ośrodka w taki sposób, że chwilowe zaburzenia fali wypadkowej są sumą wektorową chwilowych zaburzeń interferujących fal.

**Efekt fotoelektryczny** – zjawisko uwalniania („wybijania”) elektronu z metalu pod wpływem padającego na metal światła.

## WSTĘP

Od czasów odkrycia Maxwella, a więc od drugiej połowy XIX wieku, wiadomym jest, że w optycznym, czyli widzialnym dla oka ludzkiego przedziale widma mamy dostęp do tylko bardzo małego fragmentu rzeczywistości fizycznej, zawartej w szerokiej kategorii zjawisk. „Wspólnym mianownikiem” tej rzeczywistości jest rozchodzące się w czasie i przestrzeni pole elektromagnetyczne, „podróżujące” z trudno wyobrażalną prędkością około 300 000 km/s.

Na poniższym rysunku, zaczerpniętym z podręcznika P.G. Hewitt, „Fizyka wokół nas”, PWN, przedstawiony jest szeroki zakres fal elektromagnetycznych od długich radiowych (rzędu km), poprzez obszar mikrofal (mm, cm), zakres widzialny, wyróżniony charakterystycznymi barwami (od 400 nm do 760 nm), aż do obszarów: rentgenowskiego (nanometry) i promieniowania gamma.

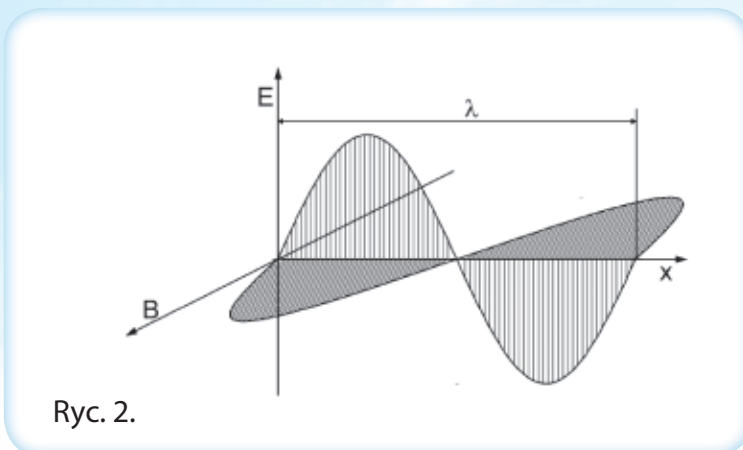


Wszystkie te fale mają tę samą naturę i rozchodzą się z tą samą prędkością w próżni równą ok. 300 000 km/s. Do fal długich stosuje się typowy opis falowy, dla fal krótkich natomiast, bardziej przydatny jest opis korpuskularny, w którym promieniowanie elektromagnetyczne traktujemy jak porcje energii i stąd charakteryzujemy je nie długością fali, a energią wyrażoną najczęściej w elektronowoltach (eV). W obszarze widzialnym korzysta się z obu tych opisów, falowego i korpuskularnego.

Związek pomiędzy częstotliwością fali ( $f$ ), jej długością ( $\lambda$ ) i prędkością rozchodzenia się ( $v$ ) jest następujący  $\lambda \cdot f = v$ . Jeśli światło rozchodzi się w próżni, wtedy jego prędkość rozchodzenia się wynosi  $c = 299\,790\,000$  km/s. W ośrodku dielektrycznym światło rozchodzi się wolniej, nie zmieniając jednak swej częstotliwości. To oznacza, że światło w dielektryku „skraca swój krok” – fala zmniejsza swoją długość w stosunku do swej długości w próżni.

Miarą prędkości światła w danym ośrodku jest współczynnik załamania światła, którym posługujemy się w praktyce:  $n = c/v$ . Im większy współczynnik załamania, tym mniejsza prędkość, a więc i długość fali (drogi) przebytej w czasie jednego cyklu.

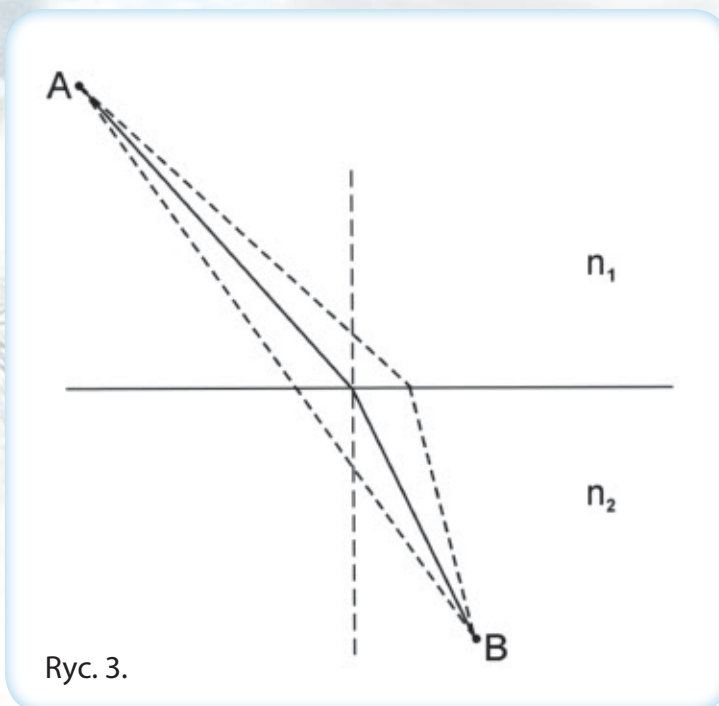
Światło jest falą elektromagnetyczną, której wektory pola elektrycznego  $E$  i magnetycznego  $B$  są do siebie wzajemnie prostopadłe i równocześnie prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali. W większości przypadków źródła światła wysyłają w przestrzeń światło niespolaryzowane, tzn. takie, dla którego wektory  $E$  i  $B$  skierowane są w dowolnym kierunku w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku rozchodzenia się światła. Niektóre źródła światła (np. niektóre lasery) wysyłają światło spolaryzowane, tzn. takie, w którym wektory  $E$  i  $B$  „drgają” w pewnej wyróżnionej płaszczyźnie.



Ryc. 2.

Wektory natężenia pola elektrycznego  $E$  i indukcji pola magnetycznego  $B$  są względem siebie prostopadłe oraz prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali elektromagnetycznej (kierunku prędkości).

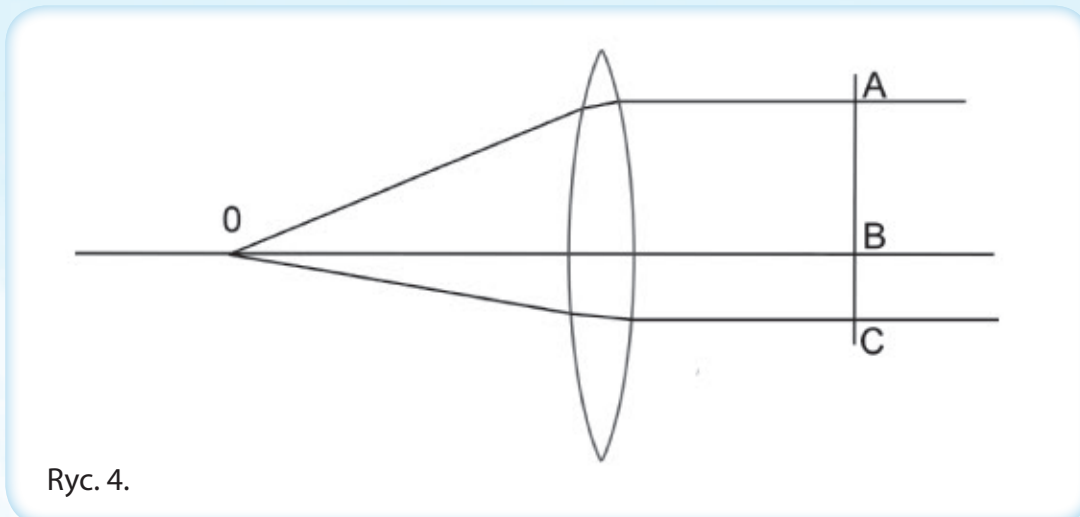
Światło ma jeszcze jedną bardzo „szczególną” własność: aby dojść z jednego punktu przestrzeni (A) do drugiego (B), wybiera drogę, którą jest w stanie pokonać w najkrótszym czasie. Jest to (nieco uproszczone) sformułowanie zasady Fermata. Poniższe rysunki ilustrują treść tej zasady.



Ryc. 3.

Spśród wielu możliwych dróg z A do B światło „wybiera” tę, którą jest w stanie pokonać w najkrótszym czasie – linia ciągła.





Ryc. 4.

Światło wychodzące z ogniska soczewki (0) dociera do punktów A, B i C dokładnie w tym samym czasie i dlatego linię łączącą punkty A, B i C nazywamy czołem fali.

Światło docierając do atomów i cząsteczek ośrodka, pobudza do ruchu drgającego elektrony stanowiące części składowe atomów i cząsteczek. Elektrony te drgając w takt drgań promieniowania elektromagnetycznego wysyłają we wszystkich kierunkach „wtórne” promieniowanie. Zjawisko to nazywamy rozpraszaniem promieniowania. Efektywność tego procesu zależy bardzo silnie od częstotliwości światła.

## EKSPERYMENTY FIZYCZNE

### 1. W ośrodkach jednorodnych światło rozchodzi się po liniach prostych – camera obscura, czyli ciemnia optyczna

#### Materiały:

Konserwa po groszku, kukurydzy, czy też innych przetworach, czarna (ciemna) farba, kawałek tektury i kalki technicznej.

#### Wykonanie:

Postaraj się o konserwę po groszku, kukurydzy lub innych warzywach czy owocach. Na środku dna tej puszki wykonaj mały otworek. Możesz użyć do tego celu wiertła o bardzo małej średnicy, bądź możesz otworek wybić igłą lub cienkim gwoździem. Wnętrze konserwy pomaluj czarną farbą. Wytnij okrągłą tekturkę o średnicy odpowiadającej wewnętrznej średnicy konserwy i pomaluj ją również czarną farbą. Pomalowanie ścianek zapobiegnie odbiciu światła od wewnętrznych ścianek „kamery”. W tekturce, na jej środku, wytnij kwadratowy otwór o wymiarach 2,5 cm × 2,5 cm. Na otwór naklej kawałek kalki technicznej. Tekturkę włóż w miejsce, gdzie było wieko konserwy i wsuń ją na głębokość około 2–3 cm. Zbudowałeś prymitywny „aparat fotograficzny”. Na kalce możesz zaobserwować obrazy dobrze oświetlonych przedmiotów. Ze względu na to, że światło rozchodzi się po liniach prostych obrazy te będą na kalce odwrócone i pomniejszone. Pomniejszone, bowiem oglądane przedmioty będą zwykle znajdowały się w odległościach dużo większych niż rozmiary aparatu (konserwy).

## 2. Jak „działa” nasze oko? Poszukiwanie tzw. ślepej plamki

Obrazy, które oglądamy naszymi oczami powstają na siatkówce oka. Siatkówka jest pokryta małymi „odbiornikami” światła: czopkami i pręcikami. Widzenie barwne zawdzięczamy czopkom skoncentrowanym wokół tzw. żółtej plamki. Pręciki skoncentrowane są bardziej na brzegach siatkówki i są bardziej czułymi odbiornikami. Pręciki wykorzystujemy w sytuacjach, kiedy natężenie światła jest małe. Dlatego w ciemności warto kierować wzrok nieco w bok od miejsca, które chcemy zobaczyć. Na siatkówce występuje ponadto jeszcze jedno bardzo szczególne miejsce – tzw. ślepa plamka, tzn. miejsce zakończenia nerwów wzrokowych, przekazujących wszystkie sygnały do mózgu. O istnieniu tej ślepej plamki możesz się przekonać wykonując następujące proste doświadczenie.

### **Materiały:**

Kartka papieru i długopis.

### **Wykonanie:**

Narysuj na białym papierze czarne kółko o średnicy około 5–8 mm, a w odległości około 60 mm (na prawo) krzyżyk (X). Zamknij (albo zasłoń) teraz lewe oko, prawym patrz na kółko i przesuwaj kartkę od i do siebie. Dla pewnej odległości kartki od oka „zniknie” krzyżyk. Następnie powtórz doświadczenie dla drugiego oka: zamknij prawe oko a lewym patrz na krzyżyk. Również tym razem dla pewnej odległości kartki od oka „zniknie” kółko. To „znikanie” jest spowodowane tym, że światło padające do oka (od kółka bądź krzyżyka) dociera do tej poszukiwanej przez nas ślepej plamki.

## 3. Czy Księżyc zmienia swe rozmiary?

### **Materiały:**

Mały przedmiot w kształcie koła o średnicy około 5 mm bądź nieco większy przedmiot z małym okrągłym otworem o średnicy około 5 mm.

### **Wykonanie:**

Kiedy w pogodny wieczór widzisz wschodzący Księżyc w pełni odnosisz wrażenie, że jest ogromny, dużo większy od jego rozmiarów, kiedy znajdzie się wysoko na niebie. To jeden z przykładów złudzeń, którym ulegają nasze zmysły. Aby się o tym przekonać zaopatrzyć się w mały przedmiot w kształcie koła o takiej średnicy, aby przedmiot ten trzymany na wyciągniętej ręce zasłaniał dokładnie tarczę Księżyca. Może to być też okrągły otwór o takiej średnicy, aby Księżyc „mieścił się” wewnątrz otworu. Średnica kółka, względnie otworu powinna wynosić około 5 mm. Zależy to od długości twego ramienia. Zasłoń kółkiem Księżyc, względnie „wpasuj” go do otworu zarówno w przypadku wschodzącego Księżyca, jak i kilka godzin później. Księżyc będzie różnił się tylko barwą, ale nie rozmiarami. A dlaczego różni się barwą? Dowiesz się jeśli wykonasz doświadczenie nr 13.

## 4. Odbicie światła od zwierciadła płaskiego – zabawne obserwacje m.in. własnej twarzy

### 4.1. Eksperyment I

#### Materiały:

Lusterko, kawałek kartki papieru i nożyczki.

#### Wykonanie:

Weź kartkę papieru o wielkości, która umożliwi zasłonięcie lusterka. Następnie wytnij na jej środku kwadratowy otwór o bokach około 2 cm. Przyłóż teraz papier na lusterko i ustaw lusterko tak, abyś zobaczył oba swoje oczy. Następnie zamknij jedno oko – zobaczysz wtedy tylko to drugie – zamknięte!

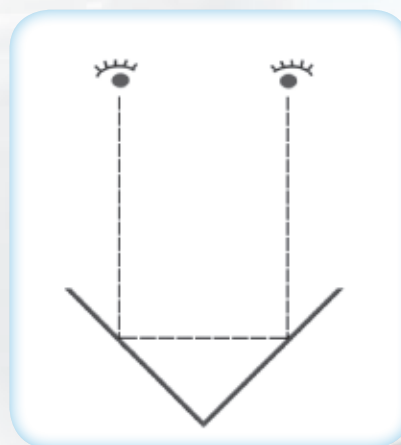
### 4.2. Eksperyment II

#### Materiały:

Dwa lusterka nieposiadające ramek na krawędziach (przynajmniej z jednej strony każdego lusterka).

#### Wykonanie:

1. Weź dwa małe lusterka i ustaw je prostopadłe do siebie (lusterka nie powinny posiadać ramek!). Popatrz teraz na swoją twarz wykorzystując równocześnie oba lusterka (rysunek poniżej pokazuje widok „z góry” położenia lusterek względem głowy). W takim położeniu widzisz swą „prawdziwą” twarz, tak jak ją widzą inni i ty widzisz na swych zdjęciach, a nie w lustrze porannej toalecie. Możesz teraz na przemian zamykać oczy, to zabawne, prawda?



2. Wykorzystaj jeszcze te dwa lusterka ustawione pod kątem prostym. Ustaw je na stole, a pomiędzy lusterkami na stole połóż monetę. Spójrz w lusterka. Ile monet widzisz? Jak są ustawione? Zmieniaj teraz kąt pomiędzy lusterkami. Czy liczba widzianych monet pozostaje taka sama? Wszystko to można łatwo wytłumaczyć korzystając z prawa odbicia światła od zwierciadła.

## 5. Zabawna obserwacja: czy można bezkarnie trzymać palec w płomieniu świecy?

#### Materiały:

Szyba o rozmiarach około 30 cm × 30 cm, dwie świece, jakieś przedmioty pozwalające na ustawienie szyby w płaszczyźnie pionowej.



### Wykonanie:

Postaraj się o szybę o rozmiarach nie mniejszych niż 30 cm × 30 cm i dwie jednakowe świece. Ustawiona pionowo szyba posłuży jako niezbyt dobrej jakości zwierciadło płaskie. Zapaloną świeczkę ustaw w odległości ok. 10–20 cm przed szybą, a drugą za nią w miejscu, gdzie powstaje obraz pierwszej, tej zapalanej. Sprawdź, czy stojąc przed szybą odnosisz wrażenie, że obraz płomienia jest dokładnie tam, gdzie powinien, tzn. sprawia wrażenie, że świeca za szybą też jest zapalona. Obserwatora, któremu chcesz zaimponować możesz teraz pozwolić podejść do tak „spreparowanego” układu. Możesz teraz bezkarnie przykładać palec albo kawałek papieru do „fałszywego” płomienia świecy.

Poniższe fotografie przedstawiają układ doświadczalny. Pierwsze zdjęcie jest wykonane „z boku” a więc odsłania niejako „tajemnicę” – obserwator nie patrzy przez szybę, więc widać, że druga świeca nie jest zapalona.



Drugie zdjęcie ukazuje co widzi obserwator, jeśli patrzy przez szybę. Wydaje mu się, że druga świeca też się pali. Układ jest więc dobrze „spreparowany”.



Nie dziwi nas zatem fakt, że można do tego drugiego płomienia przykładać palec.



## 6. Jak współczynnik odbicia światła zależy od kąta padania?

Światło padające na granicę dwóch ośrodków ulega załamaniu i odbiciu. Jaka część energii wchodzi do ośrodka, a jaka ulega odbiciu? Od czego to zależy? W przypadku prostopadłego padania promienia ilość energii odbitej można łatwo obliczyć znając względny współczynnik załamania światła  $n_{21}$  dla tych ośrodków. Ilość energii odbitej wynosi:  $[(n_{21} - 1) / (n_{21} + 1)]^2$ . W przypadku powietrza i szkła  $n_{21} = \text{ok. } 1,5$ , więc ilość energii odbitej wynosi  $[0,5/2,5]^2 = 0,04$ . A więc ok. 96% wchodzi do szkła! A jak to jest dla innych kątów? Przekonasz się wykonując poniższe doświadczenie.

### Materiały:

Wskaźnik laserowy, kawałek szybki okiennej i kartka papieru.

### Wykonanie:

Wskaźnik laserowy umieszczamy na pewnej wysokości nad blatem stołu. W pewnej (dowolnej) odległości od wskaźnika umieszczamy szybkę tak, aby „ślad” wiązki światła padał na jej środek. Za pomocą kartki znajdujemy „ślad” wiązki światła po odbiciu od szybki. Zmieniamy teraz kąt padania wiązki światła (obracając szybkę wokół pionowej osi) i – utrzymując uprzednio ustaloną odległość pomiędzy szybką i kartką – odnajdujemy ponownie „ślad” wiązki światła. Zwracamy uwagę na zmianę intensywności „śladu” wraz ze zmianą kąta padania. Intensywność „śladu” będzie najmniejsza dla kąta padania bliskiego zeru, czyli prostopadłego padania. Dla kąta padania równego dokładnie zeru z oczywistych względów nie da się przeprowadzić obserwacji. Największą intensywność natomiast zaobserwujemy dla „dużych” kątów padania, bliskich 90 stopni.

## 7. Załamanie światła

### 7.1. „Pojawiająca się” moneta:

#### Materiały:

Nieprzeźroczysty kubek, szklanka z wodą oraz moneta (najlepiej dwuzłotówka).

Pusty kubek postaw na stole a monetę połącz na środku dna kubka. Usiądź przy stole i ustaw głowę w ten sposób, aby górna krawędź kubka i przeciwległa krawędź dna się pokryły. Staraj się teraz nie zmieniać pozycji głowy i poproś kogoś, aby powoli nalewał wodę do kubka tak, aby moneta pozostała na środku dna. Przy pewnej wysokości poziomu wody w kubku ujrzysz monetę. Znając wynik doświadczenia, narysuj bieg promienia światła, który umożliwił „pojawienie się” monety pomimo niezmiętej pozycji twych oczu.

Poniższe fotografie zostały wykonane przy identycznym ustawieniu aparatu fotograficznego względem kubka. Na pierwszej fotografii widać tylko na bocznej ścianie odbicie monety leżącej na środku dna kubka. Po nalaniu wody moneta się pojawia!





## 7.2. „Znikająca” moneta

### Materiały:

Przeźroczysta szklanka, moneta i druga, niekoniecznie przeźroczysta szklanka lub kubek z wodą.

### Wykonanie:

Położ na stole monetę a na niej postaw szklankę (przeźroczystą!). Jeśli popatrzyś na monetę z odległości około 1 m od stołu będziesz ją dobrze widział. Poproś teraz kogoś, aby nalał do szklanki wodę – moneta „zniknie”, nie będziesz jej widział! Zastanów się, dlaczego? Przecież, zarówno szkło, jak i woda są przeźroczyste!

Poniższe fotografie przedstawiają opisanego wyżej doświadczenie: na pierwszej fotografii widzimy monetę dwuzłotową, leżącą pod dnem pustej szklanki, po nalaniu wody, na drugiej fotografii, monety pod szklanką nie widać – widać tylko jej odbicie (obraz) na powierzchni wody.



## 8. Prosta metoda wyznaczenia współczynnika załamania światła dla wody

Bezwzględny współczynnik załamania światła jest miarą prędkości rozchodzenia się światła w danym ośrodku. Wartość tego współczynnika ( $n$ ) jest równa ilorazowi prędkości światła w próżni ( $c$ ) i prędkości światła w danym ośrodku ( $v$ ). W ślad za tym, fizycy wprowadzili do opisu rozchodzenia się światła pojęcie drogi optycznej ( $d$ ): jest ona równa iloczynowi drogi geometrycznej ( $s$ ) i współczynnika załamania światła ośrodka ( $n$ ), w którym światło się rozchodzi:  $d = n \cdot s$ . Poniżej znajdziesz opis prostej metody wyznaczenia współczynnika załamania wody.

### Materiały:

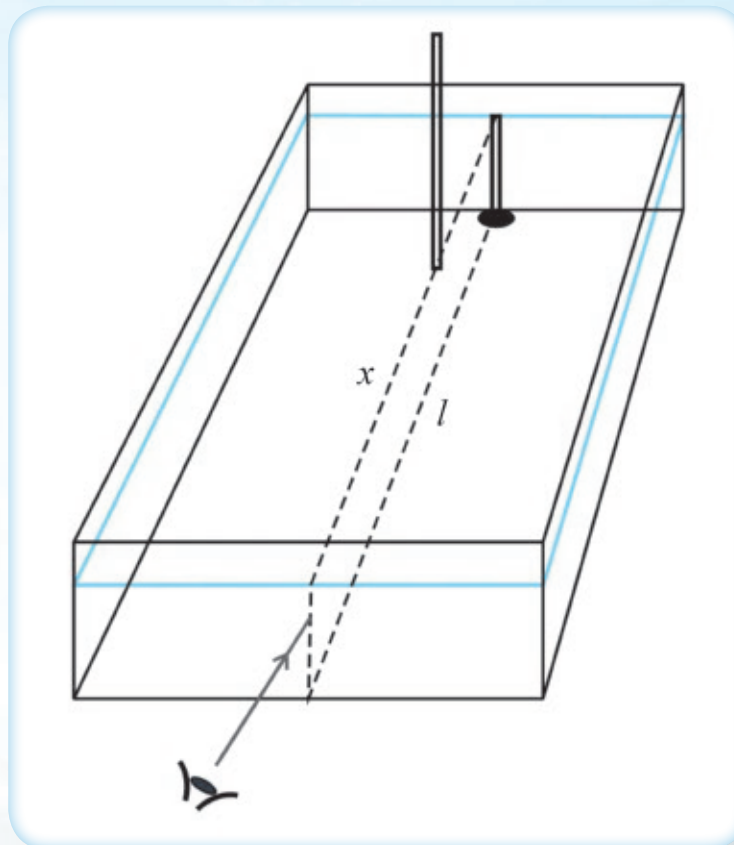
Nieco większe naczynie z przeźroczystymi, niezbyt grubymi ściankami (im dłuższe naczynie tym lepiej, ale nie dłuższe niż zasięg twojej ręki, kawałek plasteliny, dwie zapalniczki i woda. Osoba do współpracy przy wykonaniu ćwiczenia.

### Wykonanie:

Na jednym końcu naczynia, przy samej ściance wewnątrz naczynia zamontuj zapalniczkę wykorzystując w tym celu np. kawałek plasteliny. Nalej do naczynia wody tak, by sięgnęła wysokości



zapałki. W razie potrzeby możesz zapałkę skrócić. Weź do ręki drugą zapałkę i patrząc przez warstwę wody w kierunku zanurzonej zapałki staraj się drugą zapałką (nad powierzchnią wody) wskazać miejsce, w którym wydaje ci się, że znajduje się zanurzona zapałka. Niech to wskazane miejsce zapamięta osoba obserwująca twój „pomiar”. Iloraz długości warstwy wody w naczyniu od przedniej ścianki do zanurzonej zapałki ( $l$ ) i długości warstwy wody wskazanej przez ciebie drugą zapałką ( $x$ ) jest współczynnikiem załamania światła dla wody.



## 9. Całkowite wewnętrzne odbicie

### Materiały:

Podobnie jak w poprzednim doświadczeniu, do wykonania eksperymentu potrzebne będzie nieco większe naczynie z przezroczystymi, niezbyt grubymi ściankami (im dłuższe naczynie tym lepiej), w tym doświadczeniu również dno naczynia musi być przezroczyste. Ponadto: dwie podpory umożliwiające postawienie naczynia na pewnej wysokości nad stołem i równocześnie umożliwiające skierowanie wiązki światła od dołu przez dno naczynia. Oprócz tego: wskaźnik laserowy i kawałek papieru służącego jako ekran. Potrzebna będzie też osoba do współpracy.

### Wykonanie:

Naczynie ustaw na brzegu stołu na podporach, umożliwiających skierowanie wiązki światła wskaźnika laserowego przez dno naczynia. Do naczynia nalej wodę. Jeśli skierujesz wiązkę światła od dołu, prostopadle do dna naczynia, zaobserwujesz wychodzące z wody światło. Poproś kogoś, aby do obserwacji światła wychodzącego użył kartki papieru, która posłuży wam za ruchomy ekran. Zmieniaj teraz powoli kąt padania wiązki światła, a osoba wykonująca z tobą to doświadczenie niech „odszuka” za pomocą ekranu wiązkę wychodzącą (nie próbujcie odszukać wiązki światła bezpośrednio za pomocą oka!). Ze wzrostem kąta padania, wiązkę wychodzącą odnajdziecie „coraz niżej”, tzn. wychodzącą pod coraz mniejszym kątem do poziomu wody

w naczyniu. Dla pewnego kąta padania, wiązka już z wody nie wyjdzie. To będzie oznaczało, że wiązka uległa całkowitemu wewnętrznemu odbiciu od powierzchni wody. Zaobserwowaliście w ten sposób zjawisko wykorzystywane przy transmisji sygnałów w światłowodach.

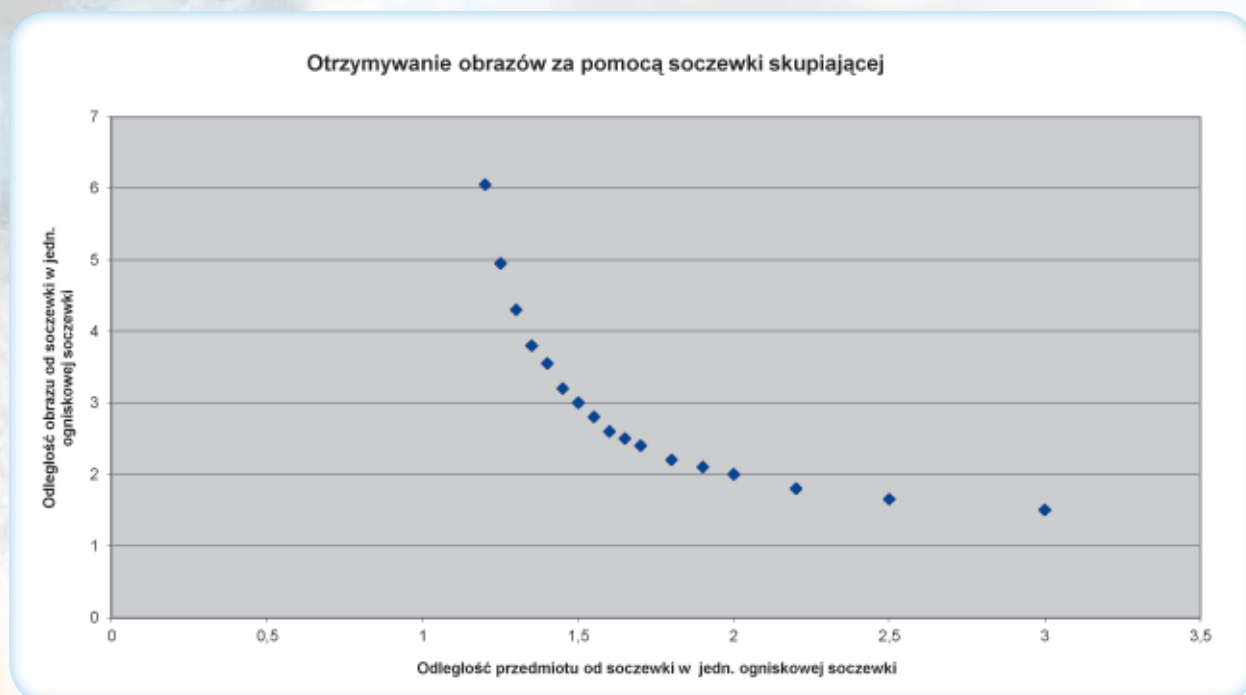
## 10. Uzyskiwanie obrazu żarówki za pomocą soczewki skupiającej

### Materiały:

Soczewka skupiająca (taka, jaka znajduje się w okularach dalekowidza – większość babć i dziadków nosi takie okulary przy czytaniu) o ogniskowej od 20 do 50 cm, czyli od 5 do 2 dioptrii (żargonowo takie soczewki określa się terminem +5 względnie +2), latarka (możesz też wykorzystać do tego celu świeczkę) oraz kawałek kalki technicznej, przedmiot, na którym można będzie zamontować szkło okularowe za pomocą kawałka plasteliny.

### Wykonanie:

Doświadczenie przeprowadź w zaciemnionym pomieszczeniu. Zamontuj soczewkę na jakimś kločku (podstawce) wykorzystując do tego celu np. kawałek plasteliny. Ustawiaj soczewkę w różnych odległościach od źródła światła (od około 1,2 ogniskowej soczewki do około trzech lub czterech jej ogniskowych). Za każdym razem uzyskaj ostry obraz źródła światła na kalce technicznej. Obraz będzie zawsze odwrócony! Dla każdego ustawienia układu: źródło światła – soczewka – kalka (obraz), zmierz odległości: źródło światła – soczewka: ( $X_i$ ) oraz odpowiadające im odległości soczewka – kalka (obraz): ( $Y_i$ ). Wykonaj co najmniej 15 takich pomiarów. Nanieś punkty (odległości)  $X_i$ ,  $Y_i$  na wykres i wykreśl krzywą dopasowaną do tych punktów. Powinieneś otrzymać wyniki takie, jak przedstawiono na poniższym rysunku. Wyniki (odległości) na osiach X i Y są podane w jednostkach ogniskowej soczewki. Dla X-ów bliskich ogniskowej, wartości Y są bardzo duże (dążą do nieskończoności), a dla „skrajnie dużych” X-ów wartości Y zbliżają się do wartości ogniskowej.



## 11. Wyznaczanie ogniskowej soczewki oraz ogniskowej układu soczewek

### Materiały:

Dwa szkła okularowe, mogą być o różnych ogniskowych. Gdyby jedno z nich było od krótkowidza, a drugie od dalekowidza, wtedy doświadczenie będzie nawet ciekawsze. Niech źródłem światła będzie, tak jak w poprzednim doświadczeniu, świeczka lub latarka, a ekranem – kawałek kalki technicznej.

### 11.1. Przypadek pierwszy: oba szkła są okularowe są od dalekowidza (skupiające)

#### Wykonanie:

Ustaw pierwszą soczewkę w takiej odległości od źródła, aby jego ostry obraz (tej samej wielkości co źródło, tylko odwrócony do „góry nogami”) powstał na ekranie w odległości od soczewki równej odległości źródła od niej. To będzie wymagało trochę czasu, ale ułatwia potem obliczenie ogniskowej soczewki. Przy spełnionych warunkach podanych powyżej wystarczy odległość pomiędzy źródłem i jego obrazem podzielić przez cztery, aby otrzymać wartość ogniskowej soczewki ( $F_1$ ). Powtórz doświadczenie wykorzystując drugie szkło okularowe ( $F_2$ ). Jeśli szkła są identyczne, otrzymasz ten sam wynik na ogniskową, ale możesz mieć szczęście – nawet jeśli szkła pochodzą z okularów tej samej osoby, mogą mieć nieco różne ogniskowe.

Następnie umieść oba szkła okularowe jak najbliżej siebie w gnieździe z plasteliny i powtórz doświadczenie po raz trzeci. Otrzymasz w ten sposób ogniskową układu dwóch soczewek ( $F_3$ ). Możesz teraz porównać twój wynik z obliczonym na podstawie znajomości ogniskowych wyznaczonych w pierwszym i drugim doświadczeniu. Jeśli dobrze wykonałeś wszystkie trzy doświadczenia, to w przybliżeniu powinna być spełniona równość:

$$F_3 = (F_1 \cdot F_2) / (F_1 + F_2).$$

### 11.2. Przypadek drugi: jedno ze szkieł okularowych jest rozpraszające, a drugie szkło skupiające

Jeśli jedno ze szkieł okularowych pochodzi z okularów krótkowidza (jest rozpraszające), to aby powiodło się twoje doświadczenie, drugie szkło (skupiające) musi być wyraźnie „mocniejsze” od szkła rozpraszającego. Jak to sprawdzić? Otóż zamontowane oba szkła bardzo blisko siebie muszą pozwolić na uzyskanie obrazu w sposób opisany w poprzednim doświadczeniu. Rozpocznij więc doświadczenie od wyznaczenia ogniskowej układu soczewek ( $F_u$ ), a następnie powtórz je z soczewką dalekowidza (skupiającą  $F_s$ ). Ogniskową soczewki krótkowidza, czyli rozpraszającej, możesz wtedy obliczyć ze wzoru (jej wartość będzie ujemna!):

$$F_r = - (F_s \cdot F_u) / (F_s - F_u).$$

## 12. Obraz powstający w zwierciadle wypukłym

### Materiały:

Dostęp (krótkotrwały!) do samochodu oraz pomoc ze strony kolegi lub koleżanki.

#### Wykonanie:

Poproś tę osobę, aby stanęła na przedłużeniu lewego boku samochodu ok. 5–10 m za nim.



Usiądź za kierownicą samochodu i spoglądaj w lewe wsteczne lusterko, następnie porównaj ten obraz twego partnera z tym, który zobaczysz wykorzystując do tego celu wewnętrzne lusterko (jest ono zwykle płaskie). Poproś teraz partnera (partnerkę) aby powoli ruszył(a) do przodu i „wyprzedzał(a)” pojazd. Korzystając z lusterka bocznego (wypukłego) zapewne odniesiesz wrażenie, że osoba jest dalej od samochodu aniżeli to jest w rzeczywistości. Promienie krzywizny takich zwierciadeł są rzędu 2 m (ogniskowe około 1 m). Powstające w zwierciadle wypukłym obrazy przedmiotów są:

- proste, tzn. nie odwrócone,
- pozorne, czyli powstają „za zwierciadłem” (obrazy przedmiotów odległych, powstają blisko jego pozornego ogniska),
- są pomniejszone i stąd wrażenie, że są daleko.

Ta obserwacja będzie tobie niewątpliwie przydatna, kiedy będziesz samodzielnie kierował(a) samochodem.

### 13. Rozpraszanie światła, symulacja zachodu Słońca

Dlaczego przy dobrej pogodzie patrząc na zachodzące Słońce widzimy je w kolorze czerwonym, a niebo (oświetlane przecież przez Słońce) zachowuje kolor niebiesko-błękitny? Wynika to z faktu, że światło o większych częstotliwościach (fioletowe, niebieskie, zielone) jest silniej rozpraszane w atmosferze, aniżeli światło o mniejszych częstotliwościach (żółte, czerwone), które – będąc słabiej rozpraszane – łatwiej przechodzi przez atmosferę. Taką symulację zachodu Słońca możesz zaprezentować w następujący sposób:

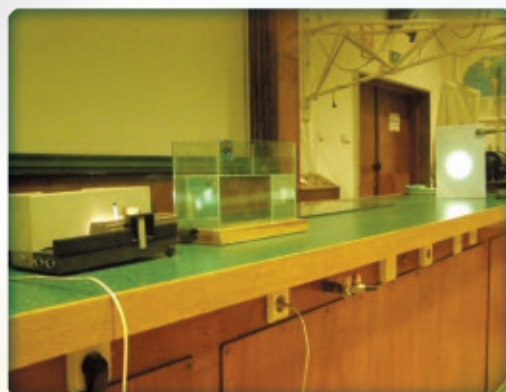
#### Materiały:

Dłuższe naczynie (w kierunku poziomym np. małe akwarium) z wodą, nieco mleka, lampa tzw. energooszczędna lub zwykła żarówka.

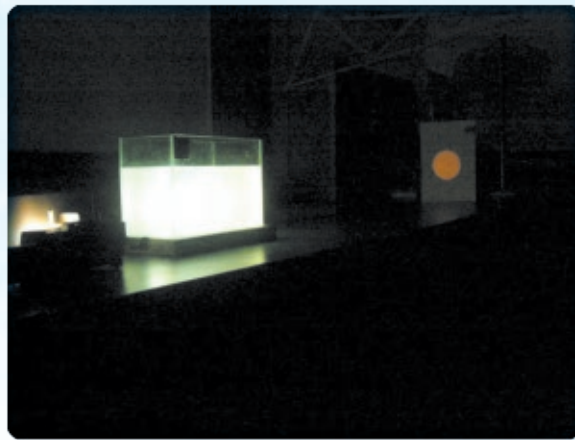
#### Wykonanie:

Do naczynia (lepiej byłoby nieco dłuższe naczynie, aby droga, którą będzie przebywać światło była dłuższa) z wodą wpuść kilka kropel mleka. To one, cząsteczki rozpuszczonego w wodzie mleka, będą powodowały rozpraszanie światła. Dodawaj mleka po jednej kropli, chwilę odczekaj i ewentualnie dodaj następną, w ten sposób uzyskasz optymalne warunki do obserwacji. Popatrz teraz przez naczynie na świecącą lampę energooszczędną lub klasyczną żarówkę. Źródło światła zobaczysz w kolorze czerwonym względnie pomarańczowym. Jeśli jednak spojrzysz na naczynie z boku to światło będzie niebieskawe!

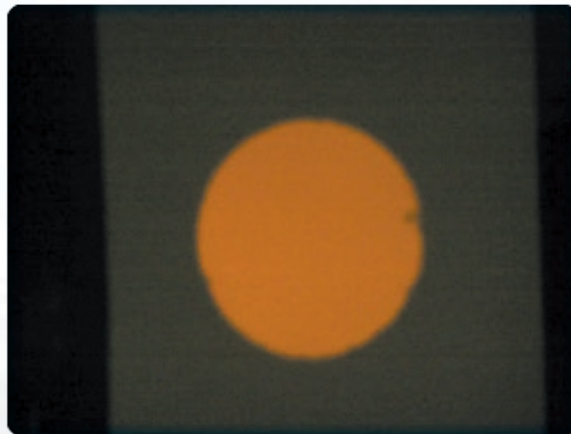
Poniższe fotografie pokazują nieco inny wariant obserwacji: zamiast patrzeć okiem przez naczynie, kierujemy światło białe rzutnika poprzez naczynie na ekran. Fotografia pierwsza ilustruje sytuację, kiedy światło przechodzi przez wodę. Widać, że nieco światła ulega rozproszeniu w wodzie. Na ekranie widać białą okrągłą plamę będącą obrazem okrągłej przesłony rzutnika.



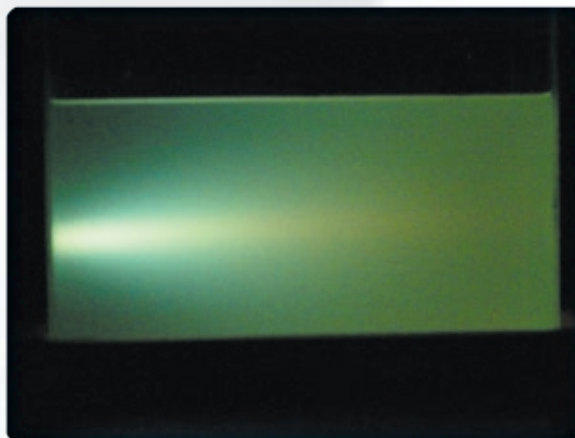
Kolejna fotografia wykonana została po wprowadzeniu nieco mleka do naczynia z wodą i po wyłączeniu oświetlenia w pomieszczeniu. Obraz na ekranie jest teraz wyraźnie poczerwieniony, natomiast ośrodek, przez który przechodzi światło (woda z niewielką ilością mleka) mocno rozprasza światło.



Kolejna fotografia pokazuje na zbliżeniu „poczerwieniony” obraz źródła światła.



Ostatnia fotografia z tej serii pokazuje naczynie widziane z boku.



#### 14. Pochłanianie promieniowania – przemiana w energię ciepłą

Jak wiadomo ciała gładkie, błyszczące dobrze odbijają światło, natomiast chropowate i czarne źle. Można tę prawidłowość pokazać w następujący sposób:

### Materiały:

Dwie jednakowe, błyszczące aluminiowe puszki, trochę czarnej farby, dwa jednakowe termometry, które można zanurzyć w wodzie.

### Wykonanie:

Weź dwie jednakowe, błyszczące aluminiowe puszki, np. po napoju chłodzącym. Jedną z nich pomaluj czarną farbą. Do obu puszek nalej do pełna wody o temperaturze bliskiej temperaturze otoczenia. Puszki ustaw obok siebie w nasłonecznionym miejscu, tak, aby obie były poddane jednakowemu naświetleniu. Po pewnym czasie zmierz termometrami laboratoryjnymi temperaturę w obu puszkach. Eksperyment możesz wykonać również ustawiając obie puszki w jednakowej odległości od „żarówki” energooszczędnej. Temperatura wody w czarnej puszcze powinna być wyższa od temperatury wody w puszcze błyszczącej. Czas, po którym zaobserwujesz różnicę w temperaturze będzie zależał od stopnia nasłonecznienia, względnie od mocy lampy i jej odległości od puszek.

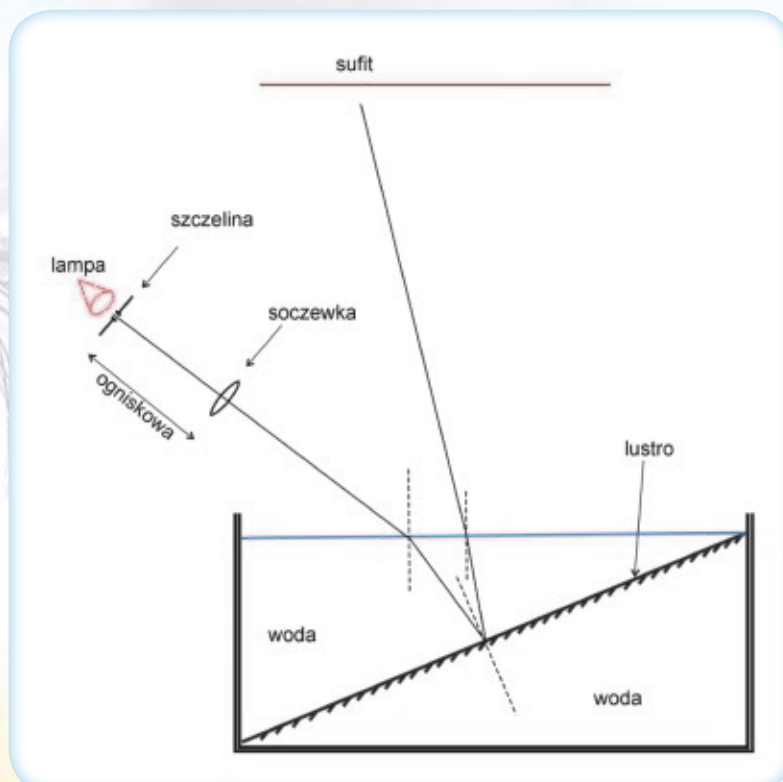
## 15. Rozszczepienie światła za pomocą niestandardowego pryzmatu

### Materiały:

Nieco większe naczynie z wodą, lustro, soczewka skupiająca, kawałek czarnego (ciemnego) papieru, nożyczki, lampa tzw. energooszczędna i osłona zapobiegająca bezpośredniemu oświetleniu sufitu przez lampę.

### Wykonanie:

W naczyniu z wodą umieść zwierciadło płaskie nachylone pod kątem około 20–25 stopni do powierzchni wody. Zwierciadło nie powinno wystawać ponad powierzchnię wody. Jeśli wystaje, możesz zasłonić wystającą część czarnym papierem. Światło lampy (najlepiej „żarówki” energooszczędnej) skieruj za pomocą soczewki skupiającej na powierzchnię wody pod kątem około 35 stopni, tak jak to przedstawia rysunek. Pomiedzy lampę i soczewkę (jak najbliżej lampy) wstaw kawałek czarnego papieru z wyciętą poziomą szczeliną o szerokości około 1 mm). Lampa powinna być umieszczona w odległości ogniskowej soczewki tak, aby wytworzona wiązka światła kierowana na powierzchnię wody była zbliżona do wiązki równoległej. Osłoń od góry obszar od „żarówki” do soczewki, aby światło od lampy nie oświetlało bezpośrednio sufitu nad naczyniem z wodą. Przy odpowiednim ustawieniu zobaczysz na suficie barwną wstęgę. W tym doświadczeniu powierzchnia wody i zwierciadło stanowią boki niestandardowego pryzmatu.





## 16. Obserwacja falującego i drżącego „obrazu” powietrza

Prędkość rozchodzenia się światła w powietrzu tylko nieznacznie różni się od prędkości rozchodzenia się światła w próżni. Dlatego też współczynnik załamania światła dla powietrza  $n = c/v$  jest tylko nieznacznie większy od jedności. Dla  $\lambda = 500 \text{ nm}$ , przy ciśnieniu atmosferycznym i temperaturze 18 stopni Celsjusza  $n = 1,000064$ . Współczynnik załamania powietrza zależy od jego gęstości, a więc od ciśnienia i temperatury. Dlatego też bardzo łatwo możemy zaobserwować zmiany współczynnika załamania światła, obserwując światło przechodzące przez ośrodek, w którym występują gradienty wyżej wymienionych wielkości (gęstości, temperatury). Z takimi obserwacjami stykamy się w życiu codziennym dość często. Dobrymi przykładami są: „falowanie” czy „drżenie” powietrza nad rozgrzanym łanem zboża, rozgrzaną drogą asfaltową, czy rozgrzanym piaskiem, a także charakterystyczne „migotanie” gwiazd. To drżenie, falowanie czy migotanie spowodowane jest załamaniem światła przechodzącego przez niejednorodne przestrzenie i niestabilne w czasie warstwy powietrza. Poniżej znajdziesz opis takiego doświadczenia, które możesz łatwo wykonać w warunkach domowych.

### Materiały:

Dostęp do kuchennego pieca elektrycznego bądź gazowego, latarka, ekran (może w tym celu posłużyć także ściana).

### Wykonanie:

Za płytą grzejną pieca elektrycznego umieść kartkę papieru spełniającą rolę ekranu. Jeśli ściana za piecem jest jasna i nie zasłonięta pokrywą pieca, to ściana może posłużyć za ekran. Doświadczenie wykonaj przy słabym oświetleniu pomieszczenia. Światło latarki skieruj tuż nad płytą grzejną na ekran. Zaobserwujesz „cienie” falującego i drżącego powietrza. Doświadczenie powyższe możesz wykonać również wykorzystując palnik kuchni gazowej. Wtedy na obserwowane efekty wpływ będą miały dodatkowo gorące spaliny gazowe. Aby uzyskać warunki zbliżone do tych uzyskiwanych nad płytą pieca elektrycznego, wystarczy na płomień palnika gazowego położyć metalową nakładkę (gospodynie domowe zwykle posiadają takie specjalne nakładki).

## 17. Załamanie światła w niejednorodnym ośrodku

– spłaszczone zachodzące Słońce (obserwacja i wyjaśnienie):

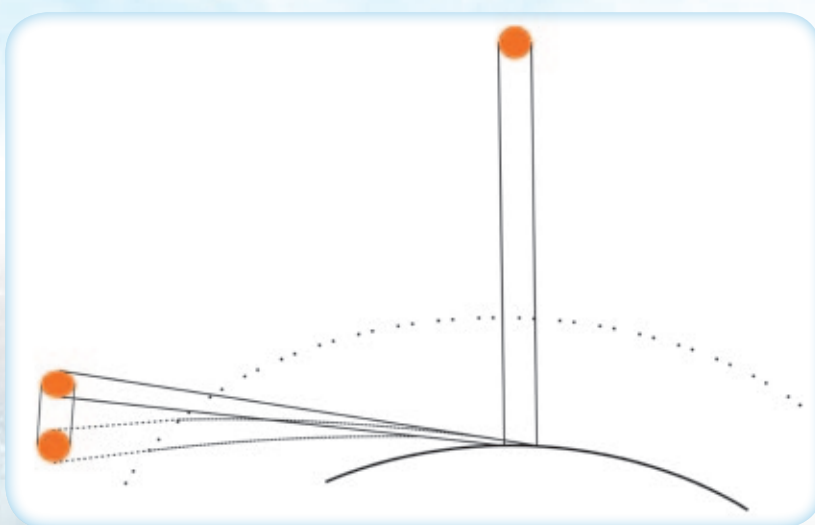
### Materiały:

Pogodny wieczór i dobra widoczność horyzontu.

### Wykonanie:

W pogodny wieczór możesz zaobserwować „zdeformowane” (spłaszczone) zachodzące Słońce. Światło od zachodzącego Słońca, zanim trafi do naszych oczu przechodzi przez znacznie grubszą warstwę atmosfery, aniżeli to ma miejsce w godzinach południowych (por. rysunek). Gęstość naszej atmosfery jest w górnych jej częściach mniejsza, a im bliżej powierzchni Ziemi jej gęstość jest większa. Promień świetlny od Słońca przechodzi więc stopniowo przez warstwy powietrza o coraz większej gęstości, a co za tym idzie przez warstwy o coraz większym współczynniku załamania światła (światło biegnie zatem coraz wolniej!). Jeśli Słońce jest wysoko nad horyzontem, promień świetlny biegnący do naszego oka pada na kolejne warstwy pod kątem bliskim 90 stopni, a więc kąt padania jest mały (kąt padania to kąt zawarty pomiędzy

kierunkiem promienia a prostopadłą wystawioną w punkcie padania!) i w związku z tym zmiana kierunku rozchodzenia się światła jest niewielka. Zgoła inaczej jest w przypadku, kiedy Słońce zachodzi. Przy większych kątach padania, większe są też kąty załamania promienia świetlnego. Skutek jest oczywisty – promień nie biegnie po linii prostej, tylko po krzywej, systematycznie zmieniając kierunek ruchu. Nasza obserwacja położenia poszczególnych fragmentów tarczy słonecznej jest więc zafałszowana: dolną krawędź tarczy będziemy widzieli wyżej niż jest w rzeczywistości, górną również. Ale silniejsze zafałszowanie występuje dla dolnej części tarczy. W efekcie obserwujemy spłaszczoną tarczę zachodzącego Słońca. Poniższy, bardzo uproszczony rysunek ilustruje taką sytuację. Przedstawienie schematu biegu promieni z zachowaniem właściwych proporcji jest praktycznie niemożliwe. Należy pamiętać, że rozmiary Słońca wielokrotnie przewyższają rozmiary Ziemi. Stąd zewnętrzne („górny” i „dolny”) promienie nie będą względem siebie równoległe, aby wpaść do oka obserwatora. Takie „spłaszczone” Słońce widzimy zwykle, kiedy ono jest już poniżej horyzontu!



### Miraże:

W podobny sposób powstają miraże, o których piszą i opowiadają osoby podróżujące po pustyni. W tamtych, pustynnych warunkach, temperatura warstw powietrza blisko powierzchni jest znacznie wyższa niż w górnych warstwach. Promienie, które obserwuje podróżnik będąc np. na wzniesieniu, dochodzą w jego mniemaniu do oczu „z dołu”, a naprawdę mogą pochodzić z dużo dalszych odległości. Te obrazy z oddalonych źródeł (może to być np. światło rozproszone w atmosferze ziemskiej (niebo), nakładające się na obrazy pochodzące od znacznie bliższych obszarów, tworzą słynne miraże.

### 18. Zjawisko dyfrakcji światła

Jak wiadomo, informacje na płytce CD zapisane są w postaci odbijających światło małych punkcików rozłożonych współśrodkowo na płytce. Ponieważ odstęp między tymi „ścieżkami” są tylko nieco większe (kilka razy) od długości fali światła widzialnego (standardowa odległość to 1,6 mikrometra), to spoglądając na płytkę obserwujemy mieniące się kolorami tęczy „barwne sektory”. Innymi słowy, płytka CD jest pewnego rodzaju siatką dyfrakcyjną.



## 18.1. Jak wyznaczyć odstęp pomiędzy współśrodkowymi okręgami na płytce CD?

Jeśli dysponujesz prostym diodowym wskaźnikiem laserowym, możesz – wykonując poniżej opisany prosty eksperyment – wyznaczyć odstęp pomiędzy współśrodkowymi okręgami na płytce CD w oparciu o znaną długość fali emitowaną przez laser. Długość fali generowana przez takie wskaźniki zawiera się zwykle pomiędzy 630 a 680 nm.

### Materiały:

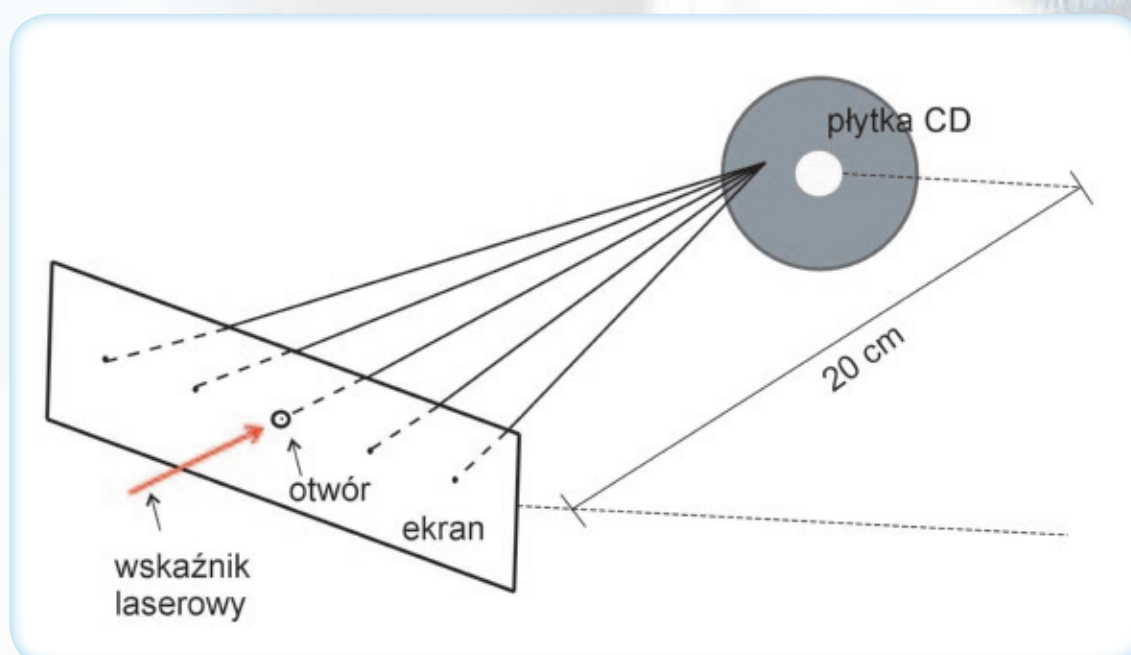
Wskaźnik laserowy, płytka CD, sztywny papier (jako ekran), nieco plasteliny umożliwiającej przytwierdzenie płytki CD do jakiegoś przedmiotu w pozycji pionowej.

### Wykonanie:

Przygotuj kartkę sztywnego papieru o rozmiarach co najmniej 25 cm × 10 cm. Im większy będzie ten dłuższy wymiar tym lepiej. Kartka ta posłuży jako ekran do obserwacji zjawiska dyfrakcji. W środku kartki wykonaj otwór o średnicy około 5–10 mm. Ustaw ekran w ten sposób, by dłuższy jego bok był skierowany poziomo. Płytkę CD ustaw w odległości około 20 cm od ekranu równoległe do niego. Światło wskaźnika skieruj poprzez otwór w ekranie na miejsce wskazane na rysunku. Popraw teraz ustawienie płytki w ten sposób, aby wiązka światła odbita od niej „wracała” do otworu w ekranie. Na ekranie zobaczysz dwie (może cztery, to zależy od rozmiaru dłuższego boku ekranu i wybranej odległości pomiędzy ekranem a płytką) czerwone punkciki. To prążki pierwszego (ew. drugiego) rzędu dyfrakcji. Zmierz odległość pomiędzy dwoma prążkami pierwszego rzędu ( $2 \cdot X$ ) a wynik podziel przez dwa ( $X$ ). Musisz teraz jeszcze wyznaczyć odległość prążka na ekranie od oświetlonego punktu na płytce CD, nazwijmy tę odległość  $Z$ . Możesz ją obliczyć ze wzoru:  $Z^2 = X^2 + Y^2$ , gdzie  $Y$  jest odległością płytki CD od ekranu.

Z analizy zjawiska dyfrakcji wynika, że  $m$ -ty prążek pojawi się na ekranie pod kątem  $\alpha$ , którego sinus jest równy  $(m \cdot \lambda) / D$ , gdzie  $D$  jest szukanym odstępem pomiędzy współśrodkowymi okręgami na płytce CD,  $\lambda$  długością fali światła, a  $m$  rzędem dyfrakcji. Możesz zatem obliczyć ten odstęp ze wzoru:  $D = (m \cdot \lambda \cdot Z) / X$ . Jeśli zmierzona przez ciebie odległość  $X$  odpowiada prążkowi pierwszego rzędu, to  $m$  jest równe 1, jeśli prążkowi drugiego rzędu, to  $m = 2$ .

Oceń niepewność pomiarów wielkości  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  i oszacuj, jaka jest niepewność wyznaczenia odstępów  $D$  pomiędzy współśrodkowymi okręgami na płytce CD.





## 18.2. Jak oszacować długość fali światła przy użyciu płyty kompaktowej?

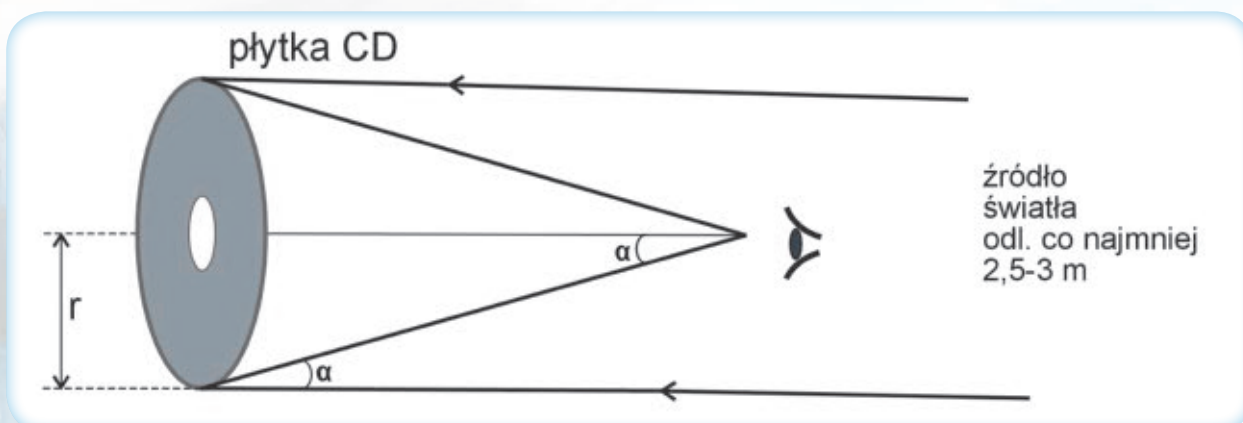
### Materiały:

Płyta CD i dostęp do standardowej lampy.

Ustaw się w odległości około 2,5 do 3 metrów tyłem do lampy (żarówki bądź tzw. lampy energooszczędnej). W palcach wysuniętej do przodu ręki trzymaj płytkę CD tak, aby cała jej powierzchnia była oświetlona, a obraz lampy powstawał (tzn. „mieścił się”) w otworze płytki. Jeśli teraz będziesz powoli przybliżać płytkę CD do oka starając się, aby obraz lampy stale „pozostawał” w otworze, w pewnej chwili na obrzeżu płytki zobaczysz niebieski okrąg. Przybliżając w dalszym ciągu płytkę do oka, niebieski okrąg będzie zmniejszał swój promień i „podążał” do środka, a na obrzeżu pojawią się kolejno okrąg zielony, żółty i czerwony.

Znając odstęp między współśrodkowymi okręgami na płytce ( $D = 1,6$  mikrometra) możesz obliczyć długości fal odpowiadające poszczególnym barwom. Długości tych fal możesz obliczyć ze wzoru:  $m \cdot \lambda = D \cdot \sin \alpha$ . W doświadczeniu obserwujesz prążki pierwszego rzędu, więc  $m = 1$ .

Sinus kąta  $\alpha$  jest równy stosunkowi promienia ( $r$ ) płytki CD do przeciwprostokątnej utworzonej przez promień  $r$  i zmierzoną odległość twego oka od płytki w momencie utworzenia się okręgu o określonej barwie. Precyzja takiego pomiaru jest niewielka, ale z całą pewnością możesz stwierdzić, że światło o barwie niebieskiej charakteryzuje się krótszą falą aniżeli światło czerwone.



## 19. Interferencja światła, barwy obserwowane z cienkich warstw

### 19.1. Eksperyment I

#### Materiały:

Płyn do mycia naczyń i kubek.

#### Wykonanie:

Do naczynia z wodą dodaj nieco płynu do mycia naczyń. Zaopatrz się w kubek do herbaty, najlepiej w odcieniu czarnym, ponieważ ciemne tło pozwala na lepszą obserwację mieniących się barw. Po zanurzeniu kubka wyjmij go z wody tak, aby powstała na nim cienka warstwa płynu. Stań tyłem do źródła światła tak, aby światło mogło padać na warstwę płynu. Przechyl kubek i spoglądaj do jego środka. Światło odbite od warstwy płynu będzie mieniło się barwami tęczy. Obraz będzie ulegał ciągłej zmianie – jest to wynikiem „spływania” płynu w dół. Grubość warstwy płynu będzie ulegała ciągłej zmianie. Górna część warstwy płynu staje się coraz cieńsza, aż wreszcie warstwa płynu ulegnie przerwaniu. Obserwowane barwy wynikają z nakładania

się światła odbitego od zewnętrznej i od wewnętrznej powierzchni warstwy płynu. „Korzystne” warunki dla wytworzenia poszczególnych barw powstają dla odpowiednich grubości warstwy płynu. Światło odbite od wewnętrznej powierzchni „dodaje się” do odbitego od zewnętrznej\*. Stąd w jednym miejscu grubość warstwy „sprzyja” obserwacji światła czerwonego, a w innym światła żółtego. Dla bardzo cienkich warstw płynu (mniejszych od  $\frac{1}{4}$  długości fali) nie jest możliwe „wzmocnienie się” fal, stąd przed przerwaniem się warstwa płynu staje się ciemna, słabo albo wcale nie odbija światła.

## 19.2. Eksperyment II

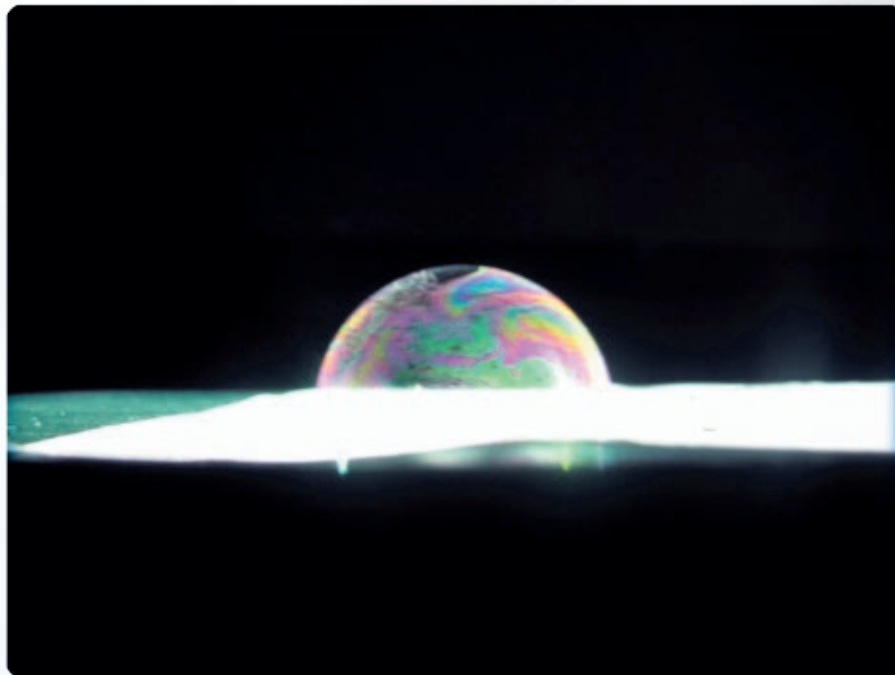
### Materiały:

Słomka (rurka plastikowa), płyn do mycia naczyń; olej rozlany na warstwie wody; wyjście do zoo.

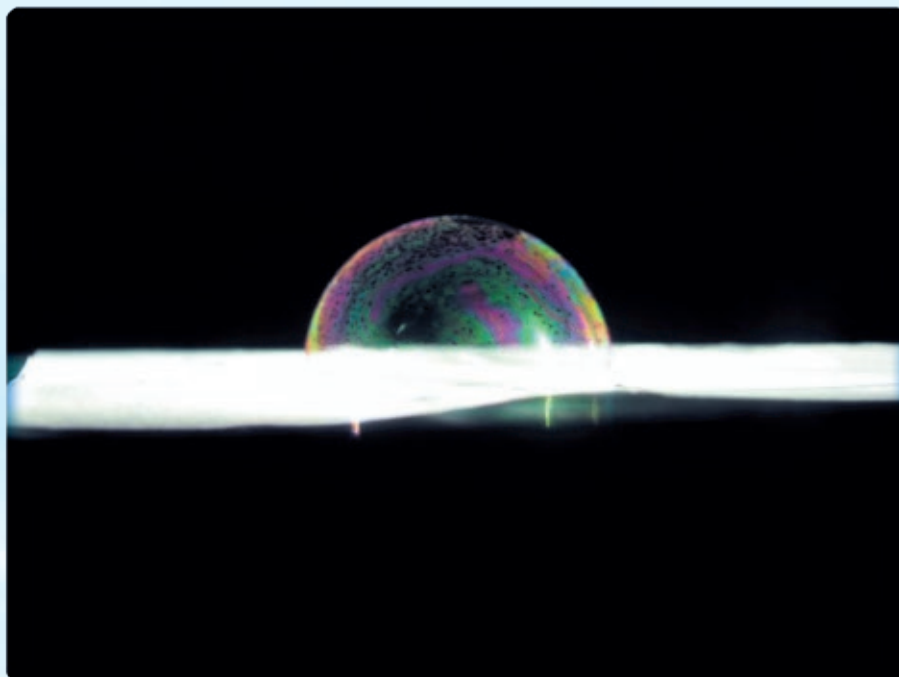
### Wykonanie:

Podobne obserwacje można poczynić wytwarzając „bańki mydlane”, patrząc na warstewkę oleju, która pozostała na kałuży wody lub obserwując lśniące barwy pawich piór. We wszystkich tych przypadkach obserwowane barwy wynikają z nakładania się światła odbitego od dwóch warstw. Grubości takich warstw są rzędu dziesiątych części mikrometra.

Poniższe zdjęcia pokazują bańki mydlane oświetlone światłem białym. Światło odbite od zewnętrznej i wewnętrznej warstwy w zależności od grubości bańki i kierunku obserwacji jawi się obserwatorowi w różnych barwach.



\* To dodawanie światła, ujęte w cudzysłów wymaga dodatkowego wyjaśnienia. Obrazy interferencyjne nie są wynikiem prostego dodawania natężeń światła, ale powstają w wyniku dodawania wektorów fali elektromagnetycznej, pochodzącej od tego samego fragmentu źródła światła, które doszło do miejsca obserwacji pokonując różne drogi (takie fale nazywamy spójnymi, albo koherentnymi). Wynik dodawania dwóch wektorów, np.  $E_1$  i  $E_2$  może przyjmować wartości od zwykłej sumy  $E = E_1 + E_2$  do wartości zero! Obserwowane natężenie jest wielkością uśrednioną po czasie i jest proporcjonalne do kwadratu amplitudy wypadkowej wektora fali elektromagnetycznej. Dlatego też kierując wzrok na różne fragmenty warstwy płynu względnie zmieniając położenie oka, zmieniają się obserwowane barwy.



To zjawisko interferencji jest wykorzystywane także „w odwrotnym” kierunku: poprzez pokrywanie substancji bardzo cienkimi warstwami materiału przezroczystego uzyskujemy tzw. działanie przeciwodblaskowe.

## 20. Polaryzacja światła.

Jeśli promień światła niespolaryzowanego pada na granicę ośrodka dielektrycznego to część światła się odbija, a część – ulegając załamaniu – wnika do dielektryka. Z prawa odbicia i załamania światła wynika, że promień padający, odbity i załamany leżą w jednej płaszczyźnie. Kierując promień światła na dielektryk decydujemy o tym, że jedna z płaszczyzn jest „wyróżniona”: warunki dla odbicia wektorów  $\mathbf{E}$  i  $\mathbf{B}$  fali niespolaryzowanej będą zróżnicowane – inna będzie „skuteczność” odbicia dla wektora  $\mathbf{E}$  położonego w płaszczyźnie padania, a inna w płaszczyźnie prostopadłej do niej. Intuicja podpowiada nam, że światło po odbiciu od dielektryka powinno być przynajmniej częściowo spolaryzowane, tzn. wektory  $\mathbf{E}$  i  $\mathbf{B}$  fali odbitej będą miały wartości uzależnione od kąta zawartego pomiędzy tymi wektorami a „wyróżnioną” płaszczyzną (padania).

### Materiały:

Dwie szybki (np. takie wykorzystywane niegdyś w ramkach na przezrocza), plastelina, kilka zapalek, kawałek tektury, nożyczki i kilka klocków (przedmiotów w kształcie prostopadłościaków), żarówka i bateria.

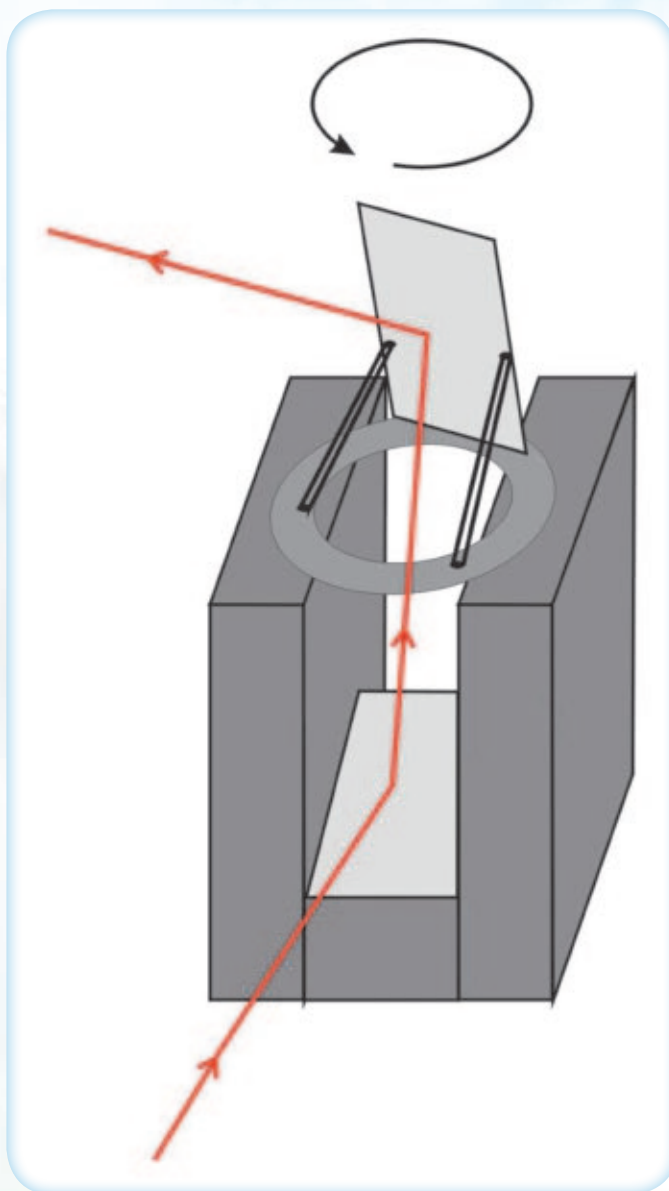
### Wykonanie:

Postaraj się o dwie jednakowe szybki szklane. Jedną z nich zamontuj na podstawie umieszczonej pomiędzy dwoma większymi podporami (klockami) pod kątem 45 stopni do poziomu. Montaż szybki możesz wykonać używając plasteliny i cienkich drewnianych podpórek (np. zapalek). Montaż drugiej szybki jest nieco bardziej skomplikowany. Podpórki (zapałki) będą teraz z tej strony szybki, z której będzie padało światło, mogą zatem być zamontowane tylko na brzegach szybki. Musisz ją zamontować również pod kątem 45 stopni na krążku z grubej tektury. Średnica wewnętrzna krążka powinna być tylko nieco mniejsza od rozmiarów szybki szklanej, aby wiązka światła odbitego od dolnej szybki mogła bez przeszkód dotrzeć do górnej



szyki. Zewnętrzna średnica krążka tekturowego powinna być wystarczająco duża, aby mogła stabilnie spoczywać na dwóch podporach (klockach). Schemat całego układu pokazany jest na rysunku. Zmontowany układ umieść na stole (stoliku), przy czym musisz zadbać o to, aby możliwe było obchodzenie stołu dookoła.

Po zmontowaniu układu skieruj światło pochodzące od żarówki na dolną szybkę. Promień światła po odbiciu od szybki powinien trafić na środek górnej szybki. Obserwuj okiem natężenie światła odbite od górnej szybki obracając krążek tekturowy wokół pionowej osi. Musisz w tym celu obejść stół dookoła. Zauważysz zapewne, że obserwowane natężenie światła będzie zależało od kąta pomiędzy kierunkiem padania światła na pierwszą szybkę i kierunkiem twojej obserwacji. Gdybyś dolną szybkę zamontował pod kątem 56 stopni do poziomu, a źródło światła umieścił na stole poniżej wysokości środka dolnej szybki tak, aby promień odbity trafił w środek górnej szybki, to dla pewnego ustawienia kąta zawartego pomiędzy kierunkiem padania wiązki światła na pierwszą szybkę, a kierunkiem twojej obserwacji natężenie światła będzie znikomo małe. Ta szczególna wartość kąta padania (56 stopni) jest charakterystyczna dla szkła i nosi nazwę kąta Brewstera. Tangens tego kąta jest równy współczynnikowi załamania



światła dla szkła. Jeśli promień światła pada na dielektryk pod kątem Brewstera, wtedy promień odbity i promień załamany są spolaryzowane w kierunkach wzajemnie prostopadłych, osiągnięty stopień polaryzacji światła jest największy.

## 21. Koło z barwnymi sektorami – „mieszanie” barw

### Materiały:

Tektura, kolorowe papiery, nożyczki, klej, patyczek służący za oś obrotu.

### Wykonanie:

Światło białe jest mieszaniną różnych barw, od barwy fioletowej do czerwonej. Możesz się o tym łatwo przekonać budując małą, prymitywną wirownicę. Do tego celu potrzebny będzie krążek z tektury o średnicy pomiędzy 10 a 20 cm. Wytnij następnie sześć różnokolorowych sektorów: fioletowy, niebieski, zielony, żółty, pomarańczowy i czerwony. Naklej je na krążek w kolejności wymienionej powyżej. Środek tekturowego krążka przebij patykiem i tak skonstruowaną wirownicę wprowadź w ruch obrotowy. Wirujący krążek będzie szary, a nie śnieżnobiały. Wynika to z faktu, że bardzo trudno jest dobrać kolorowe papiery, które dobrze „naśladowują” barwy występujące w świetle białym i odpowiednio dobrać powierzchnie sektorów na krążku oraz źródło światła oświetlające aby uzyskać satysfakcjonujący efekt – światło białe.

## 22. Efekt fotoelektryczny.

### Materiały:

Do wykonania tego doświadczenia potrzebne będą przyrządy, które zwykle są na wyposażeniu pracowni fizycznej w szkole: elektroskop, laska ebonitowa lub z innego materiału elektryzująca ujemnie, kawałek blachy cynkowej, oczyszczonej z tlenków na powierzchni (możesz to zrobić papierem ściernym przed wykonaniem doświadczenia), źródło światła ultrafioletowego, tzw. kwarcówka, czyli lampa rtęciowa z okienkiem kwarcowym oraz szklana szyba, z tzw. szkła sodowego (okienne szkła praktycznie nie przepuszczają światła o długości fal poniżej 300 nm).

### Wykonanie:

Podłącz blachę cynkową do elektroskopu i sprawdź, czy po naładowaniu układ „trzyma” ładunek, tzn. czy przypadkiem ładunek nie „spływa” do ziemi.

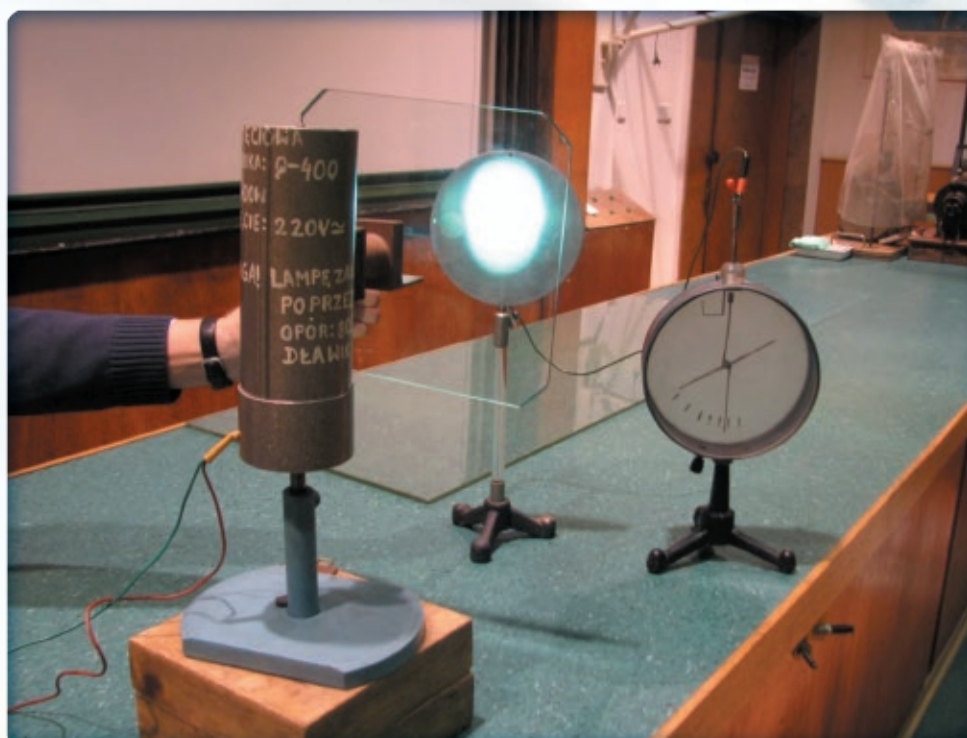




Naelektryzuj płytkę cynkową ładunkiem ujemnym (laską ebonitową), a następnie skieruj wiązkę światła od lampy rtęciowej na płytkę – powinieneś (powinnaś) zaobserwować rozładowanie elektroskopu: nadmiar elektronów wskutek napromieniowania zostaje usunięty. Światło rtęciówki zawiera m.in. dużo fotonów o długości fali 253,6 nm, odpowiadające energii 4,9 eV, a ponieważ praca wyjścia dla cynku wynosi 4,33 eV, proces wybijania elektronów jest bardzo efektywny).



Powtórz to doświadczenie z tą różnicą, że strumień światła od lampy przepuścisz przez szybę okienną – listki elektroskopu tym razem nie opadną, ale opadną dopiero po usunięciu szyby. Szyba okienna przepuszcza mniej niż 1% światła o długości fali 253,6 nm, a światło o większych długościach fal, np. 330 nm, któremu odpowiada energia 3,75 eV, nie spowoduje już wybijania elektronów.





Powtórz jeszcze raz doświadczenie opisane w punkcie 1, przy czym nie doprowadzaj do płytki cynkowej ładunku, tylko skieruj światło od lampy rtęciowej na płytkę, możesz lampę nawet zbliżyć do płytki by ją mocniej napromieniować. Dlaczego elektroskop się teraz nie ładuje? Czyżby elektrony nie były wybijane? Spróbuj znaleźć wytłumaczenie.

### 23. Obserwacja promieniowania pochodzącego od atomów sodu

#### **Materiały:**

Palnik gazowy (kuchenny) lub turystyczny, sól.

#### **Wykonanie:**

Każdy atom charakteryzuje się unikalnym zbiorem częstotliwości (długości fal), które może wysyłać bądź pochłaniać. Często ta właściwość atomów porównywana jest do unikalnych odcisków palców, które posiada każdy człowiek. Dla atomów sodu (Na) te najbardziej charakterystyczne częstotliwości odpowiadają barwie żółtej (długość fali ok. 589 nanometrów). Niektóre lampy uliczne, tzw. sodówki świecą takim właśnie światłem.

Aby zaobserwować to promieniowanie wystarczy wrzucić niewielką ilość soli kuchennej do palnika gazowego. Drobiny soli (NaCl) ulegają w obszarze płomienia błyskawicznemu stopieniu, a powstałe atomy sodu, wskutek zderzeń ze składnikami płomienia, zostają wzbudzone do wyższych stanów energetycznych. W tych stanach wzbudzonych atomy sodu mogą przebywać tylko bardzo krótko (ok. 16 nanosekund) i w związku z tym natychmiast po wrzuceniu drobinek soli (z niezauważalnym opóźnieniem) zaobserwujesz charakterystyczne żółte światło pochodzące od atomów sodu.



JERZY WIECHUŁA  
BEZWŁADNOŚĆ CIAŁ







# III. BEZWŁADNOŚĆ CIAŁ

**Cele:** W serii prostych doświadczeń przybliżyć uczniom zjawisko bezwładności, z której skutkami spotykamy się często w codziennym życiu.

## Plan pracy:

- Najważniejsze pojęcia i ich krótkie definicje.
- Bezwładność ciał – omówienie zjawiska na przykładach z życia codziennego, przykłady wykorzystania.
- Eksperymenty fizyczne.

## Najważniejsze pojęcia:

**Układ nieinercjalny** – układ poruszający się z przyspieszeniem.

**Bezwładność** – cecha ciał, polegająca na tendencji do zachowania stanu ruchu (spoczynek, ruch jednostajny po linii prostej).

**Siły bezwładności** – zwane siłami pozornymi, których źródłem jest poruszający się z przyspieszeniem układ (nieinercjalny):  $F_b = -ma$ .

## BEZWŁADNOŚĆ CIAŁ - OMÓWIENIE ZJAWISKA NA PRZYKŁADACH Z ŻYCIA CODZIENNEGO, PRZYKŁADY WYKORZYSTANIA

Z bezwładnością ciał spotykamy się codziennie w różnych okolicznościach. Najczęściej w ruszającym z przystanku lub hamującym autobusie albo innym pojeździe. Gdy autobus rusza z przystanku (zwłaszcza gdy kierowca obdarzony jest ułańską fantazją) to „rzuca” nas do tyłu, jakby zadziałała jakaś siła skierowana przeciwnie do kierunku jazdy. Nasze ciało zachowuje się tak, jakby chciało zostać w spoczynku, na przystanku. Gdy autobus hamuje, pasażerowie czują się popychani do przodu, jakby chcieli kontynuować jazdę z dotychczasową prędkością. Podobnie jest na zakręcie: autobus skręca w lewo, a pasażerowie przemieszczają się w prawo. W rzeczywistości „chcą” kontynuować jazdę po prostej, a autobus odjeżdża w lewo. Reasumując, ciało fizyczne ma taką cechę, która powoduje, że ciało chce zachować swój stan ruchu – spoczynek lub ruch jednostajny po linii prostej. Cecha ta nosi nazwę **bezwładności**.

Miarą bezwładności jest masa ciała. Siły, które działają na nas w przyspieszającym, hamującym lub skręcającym autobusie, noszą nazwę **sił bezwładności**. Mówimy, że są to siły pozorne, bo ich źródłem nie jest działanie na nas innego pasażera, lecz poruszający się z przyspieszeniem układ odniesienia, zwany **nieinercjalnym**. Siła ta jest proporcjonalna do przyspieszenia i do masy ciała. Jeżeli chcemy zmienić stan ruchu, to musimy na ciało zadziałać siłą. W autobusie dzieje się to w czasie przyspieszania, hamowania lub zakręcania za pośrednictwem siły tarcia pomiędzy podłogą a stopami albo siły nacisku (sprężystości) fotela lub ścianek na nasze ciało. Przed skutkami działania sił bezwładności chronią nas w samochodzie pasy bezpieczeństwa.

Ich dobroczynny (a często zbawienny) wpływ na nasze bezpieczeństwo też jest oparty na wykorzystaniu zjawiska bezwładności (tzw. pasy bezwładnościowe)! Jeżeli po zapięciu pasów bezpieczeństwa (a jest to nasz obowiązek) będziemy wykonywać normalne, powolne ruchy, to pasy będą się wydłużać, pozwalając na w miarę swobodne ruchy ciała. Jednak, gdy wykonamy gwałtowny ruch ciałem do przodu lub w bok, wtedy pas „zacina się” i hamuje nasz ruch. Schowany w karoserii koniec pasa ma balast, którego duża bezwładność uniemożliwia gwałtowne wysuwanie się pasa i powoduje ograniczenie ruchu naszego ciała. To samo zjawisko – bezwładność, które w przypadku kolizji lub gwałtownego hamowania zagraża naszemu życiu, wykorzystane w konstrukcji pasów bezpieczeństwa – ratuje nam życie.

## EKSPERYMENTY FIZYCZNE

Proponujemy teraz wykonanie kilku doświadczeń, najpierw bardzo prostych, a potem bardziej skomplikowanych, by lepiej zrozumieć zjawisko bezwładności ciał.

### 1. Eksperyment I

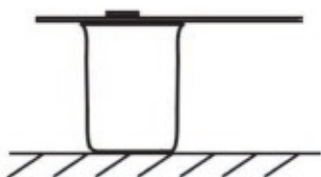
#### Materiały:

Szklanka, cięższa moneta (np. 5 zł) i kartka papieru.

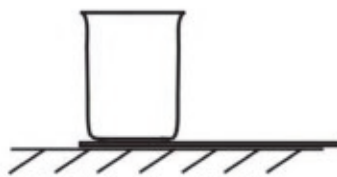
#### Wykonanie:

Na początku przykrywamy szklankę kartką, na którą kładziemy monetę (ryc. 1a). Gdy kartkę będziemy przesuwali powoli, to moneta przesunie się razem z kartką. Jeżeli pociągniemy kartkę gwałtownie, to moneta wpadnie do szklanki. Doświadczenie to możemy powtórzyć w trochę innej wersji. Pustą szklankę stawiamy na kartce papieru, leżącej na stole (ryc. 1b). Tak jak poprzednio, gdy kartkę będziemy przesuwali powoli, szklanka będzie poruszać się razem z nią, gdy kartkę szarpniemy szybko, to szklanka pozostanie na stole w miejscu, które zajmowała przed rozpoczęciem doświadczenia. Bardziej efektownie wygląda to doświadczenie, jeżeli do szklanki nalejemy wody. Ze względu na większą masę, a więc i bezwładność, doświadczenie powinno być łatwiejsze do wykonania, a z powodu możliwości wylania wody przy niezdecydowanym ruchu ręki, bardziej emocjonujące!

Ryc. 1a.



Ryc. 1b.



## 2. Eksperyment II

W tym doświadczeniu przypomnimy, że powietrze ma masę, którą cechuje bezwładność.

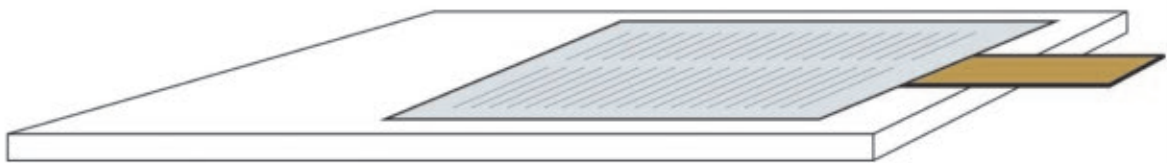
### Materiały:

Stół, cienka listewka (ok. 30 cm, cieńsza od zwykłej linijki), gazeta.

### Wykonanie:

Na płaskim stole kładziemy cienką listewkę, której część (około  $\frac{1}{4}$  długości) wystaje poza krawędź stołu (ryc. 2). Listewkę nakrywamy gazetą. Gazeta musi dokładnie przylegać do listewki i stołu.

Ryc. 2.



Jeżeli będziemy powoli naciskać na część listewki wystającej poza stół, to łatwo podniesiemy gazetę, gdy jednak silnie i szybko uderzymy w nią (możemy użyć młotka), to listewka złamie się, a gazeta pozostanie nieporuszona.

Przyczyną tego zjawiska jest bezwładność masy powietrza nad gazetą. Nie zawsze zdajemy sobie sprawę z tego, że masa powietrza naciskająca na  $1 \text{ m}^2$  powierzchni, to około 10 ton ( $1 \text{ kg na cm}^2$ ). Kiedy szybko uderzymy w listewkę, gazeta w krótkim czasie nieznacznie się unosi, zwiększając ciśnienie powietrza w warstwie przylegającej do niej od góry. Opór wynikający z tego powodu jest tak duży, że listewka się łamie.

## 3. Eksperyment III

### Materiały:

Ciężki przedmiot, np. klucz francuski, obcęgi, ciężarek, cegła itp., grubszy sznurek, nici lub cienki sznurek, rusztowanie do zawieszenia przedmiotu, ołówek lub kawałek listewki.

### Wykonanie:

Do ciężkiego przedmiotu zaczepiamy nici z obu przeciwnych stron (patrz zdjęcie obok).

Grubszy sznurek (c) służy jako zabezpieczenie przed uderzeniem ciężkiego przedmiotu w eksperymentatora lub podłogę. Cienkie, jednakowe nici lub sznureczki (a, b) muszą być tak dobrane, by górna część (a) była napięta do granic swojej wytrzymałości, więc przy pociągnięciu za dolną nitkę (b), powinna się zerwać. I tak się dzieje, gdy wolno ciągniemy za dolną część nici (b). Jednak, gdy pociągniemy gwałtownie nić (b), to zerwie się ona, a nić (a) nie ulega przerwaniu. Dzieje się tak dlatego, że duża masa zawieszzonego przedmiotu na skutek swojej dużej



bezwładności chroni górną nitkę (a) przed zerwaniem. Zanim przewyciężona zostanie bezwładność zawieszonyj masy, dolna nić (b) zostanie zerwana. Jeżeli ciągniemy wolno, to do naszej siły dołoży się ciężar dużej masy i górna nić (a) zostanie przerwana.



#### 4. Eksperyment IV

##### Materiały:

Równia pochyła, czyli deseczka o długości około 50 cm, stos książek, klocek lub pudełko zapalek oraz wózek-zabawka (może to być wagonik kolejki, model samochodziku ciężarowego lub jakiś inny pojazd) – ważne, by poruszał się łatwo, bez znaczących oporów.

##### Wykonanie:

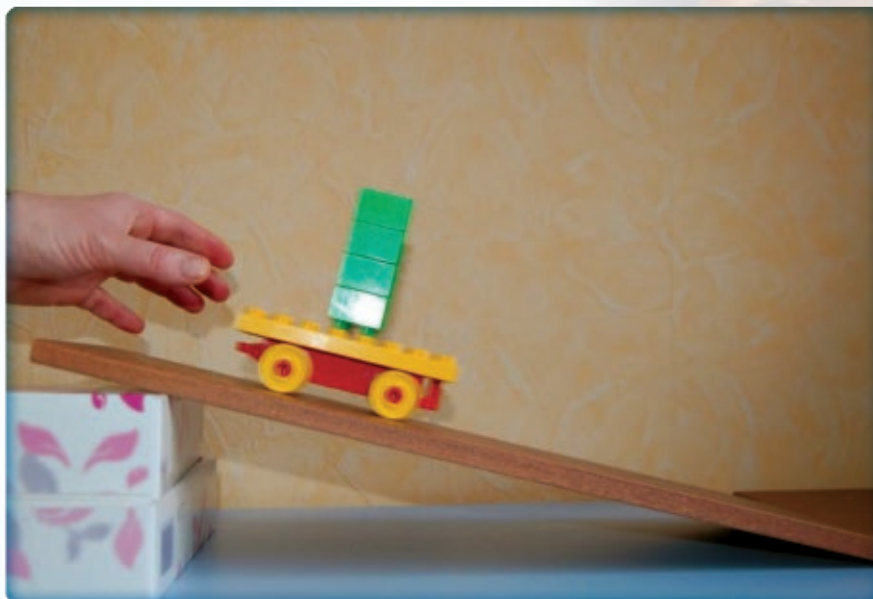
Klocek ustawiamy na wózku, a wózek umieszczamy na końcu równi (patrz zdjęcie poniżej).



Kąt nachylenia równi dobieramy tak, by klocek przewracał się na stojącym wózku.

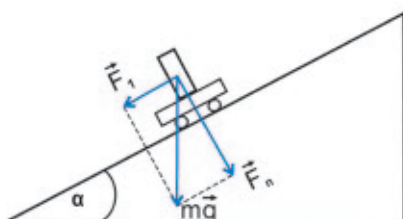


Następnie, nie zmieniając kąta nachylenia równi, puściliśmy klocek z wózkiem. Zaobserwujemy, że klocek w czasie zjeżdżania z równi nie przewraca się.

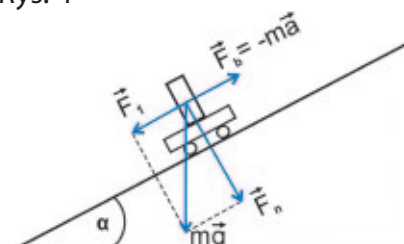


Rysunki 3 i 4 wyjaśniają, dlaczego tak się dzieje. Na rys. 3 pokazano rozkład sił działających na klocek w spoczynku. Niezrównoważony moment siły  $F$  powoduje przewrócenie się klocka. Rys. 4 pokazuje siły działające na klocek w ruchu. W układzie odniesienia związanym z poruszającym się z przyspieszeniem klockiem pojawia się siła bezwładności  $F_b$ , która równoważy składową siłę ciężkości  $F_1$ . Dlatego klocek nie przewraca się.

Rys. 3



Rys. 4





## 5. Eksperyment V

### Materiały:

Równia pochyła, czyli deseczka o długości około 50 cm, stos książek, szklanka lub inne naczynie z wodą i wózek-zabawka (może to być wagonik kolejki, model samochodziku ciężarowego lub jakiś inny pojazd) – ważne, by poruszał się łatwo, bez znaczących oporów.

### Wykonanie:

Szklankę napełniamy do połowy wodą i umieszczamy na wózku. Po ustawieniu szklanki na wózku ustawiamy ten zestaw na końcu równi (patrz zdjęcie poniżej).

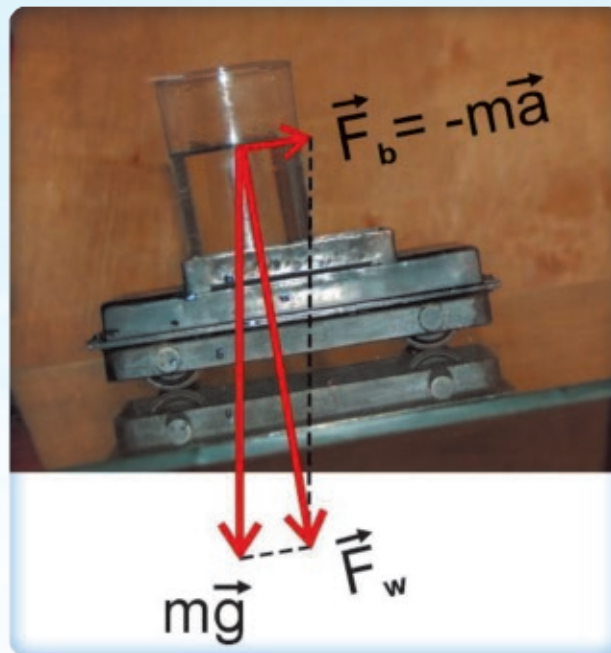


Następnie puszcza się swobodnie wózek i obserwujemy, że powierzchnia wody w szklance ustawia się równoległa do równi (zdjęcie poniżej).





Poniżej przedstawiamy rozkład działających wtedy sił, których wypadkowa ustawia się prostopadle do równi.



Powierzchnia swobodna cieczy jest zawsze prostopadła do wypadkowej sił działających na ciecz. Dlatego, gdy ciecz spoczywa i nie występuje siła bezwładności, powierzchnia swobodna cieczy jest prostopadła do działającej pionowo w dół siły ciężkości, a w czasie ruchu przyspieszonego pojawienie się siły bezwładności zmienia ustawienie powierzchni swobodnej cieczy.





**JERZY WIECHUŁA**  
**SWOBODNE SPADANIE**  
**CIAŁ, NIEWAŻKOŚĆ**







# IV. SWOBODNE SPADANIE CIAŁ, NIEWAŻKOŚĆ

**Cele:** Przybliżenie pojęcia nieważkości, kojarzonego najczęściej wyłącznie z lotami kosmicznymi.

## Plan pracy:

- Najważniejsze pojęcia i ich krótkie definicje.
- Swobodny spadek i związany z nim stan nieważkości.
- Eksperymenty fizyczne

## Najważniejsze pojęcia:

**Spadek swobodny** – ruch ciała upuszczonego w polu grawitacyjnym, przy zaniedbaniu oporu powietrza (czyli w próżni).

**Stan nieważkości** – stan, w którym pomiędzy ciałami nie działają siły wzajemnego nacisku (ciało nic nie waży, nie da się go zważyć).

**Przyspieszenie grawitacyjne** – przyspieszenie, którego doświadczają ciała swobodnie spadające w polu grawitacyjnym.

**Pole grawitacyjne** – przestrzeń, w której na umieszczoną w niej masę działa siła grawitacyjna.

**Siła grawitacyjna** – siła przyciągania pomiędzy dwiema masami, proporcjonalna do iloczynu ich mas, a odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości pomiędzy nimi.

## SWOBODNY SPADEK I ZWIĄZANY Z NIM STAN NIEWAŻKOŚCI

Obserwacje swobodnego spadania ciał mają bardzo długą historię („...już starożytni Grecy...”). Prawidłowe wnioski z obserwacji swobodnego spadania, czyli takiego, w którym ciało podniesione na pewną wysokość, po prostu upuszczamy, wyciągnął Galileusz. Wiemy dzisiaj, że wszystkie ciała spadają swobodnie w próżni z **przyspieszeniem grawitacyjnym  $g$** , niezależnie od masy ciała. Przyspieszenie to w Polsce wartość  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Jest ono wynikiem przyciągania wszystkich ciał przez Ziemię. W doświadczalnym potwierdzeniu faktu jednakowego przyspieszenia wszystkich swobodnie spadających ciał, przeszkadza opór powietrza, który w dodatku rośnie ze wzrostem prędkości (o czym dobrze wiedzą kierowcy) i przy dostatecznie długiej drodze spadania prowadzi do ruchu jednostajnego.

Bardzo ciekawym zjawiskiem, które towarzyszy swobodnemu spadaniu, jest – kojarzony z lotami kosmicznymi – stan nieważkości. Jest to stan, w którym między ciałami nie istnieją siły wzajemnego nacisku. W „normalnym” stanie, jeśli siedzimy na krześle, to my naciskamy na krzesło, a krzesło na nas. Gdybyśmy siedzieli na tym krześle w swobodnie spadającej windzie (!), to nie

naciskalibyśmy na krzesło, a krzesło na nas; bylibyśmy w stanie nieważkości (niestety krótko...). Krzesło spadałoby z takim samym przyspieszeniem co my, „uciekałoby” spod nas, a więc nie moglibyśmy naciskać na nie. W przypadku swobodnego spadania w polu grawitacyjnym (jeśli można zaniedbać opór powietrza), mamy do czynienia z nieważkością. Taką samą, jakiej doświadcza kosmonauta w sztucznym satelicie obiegającym Ziemię, w którym wyłączono silniki. Pod wpływem siły grawitacyjnej satelita „spada” na Ziemię, ale mając odpowiednią do swej orbity prędkość poziomą, nie spadnie na nią.

## EKSPERYMENTY FIZYCZNE

Proponujemy teraz wykonanie kilku doświadczeń, które w warunkach ziemskich pozwolą opisać swobodne spadanie ciał i nieważkość.

### SWOBODNY SPADEK

#### 1. Eksperyment I

##### **Materiały:**

Kartka papieru i mały, cięższy przedmiot (kulka, gumka itp.).

##### **Wykonanie:**

Upuszczamy jednocześnie oba ciała. Cięższy przedmiot szybko osiąga podłogę, a kartka „płyynie” powolutku, zakosami w dół. Oczywiście, przyczyną jest opór powietrza, większy dla dużej powierzchni kartki papieru. Jeżeli jednak zgnieciemy kartkę do objętości bliskiej objętości cięższego przedmiotu, to upuszczone jednocześnie z tej samej wysokości, dotrą do podłogi w przybliżeniu w tym samym czasie.

#### 2. Eksperyment II

##### **Materiały:**

Kartka papieru i książka.

##### **Wykonanie:**

To doświadczenie ukazuje wpływ oporu powietrza na swobodne spadanie. Książka i kartka papieru upuszczone swobodnie, dotrą do podłogi w różnym czasie. Jednak, gdy kartkę położymy na książce, to oba ciała spadną na podłogę w tym samym czasie, razem.

W obu doświadczeniach, przez zmięcie kartki lub położenie jej na książce, spowodowaliśmy, że opór powietrza w ruchu tych ciał był porównywalny. Wniosek – **gdyby nie opór powietrza, to niezależnie od masy, wszystkie ciała spadałyby z jednakowym przyspieszeniem.**



### 3. Eksperyment III

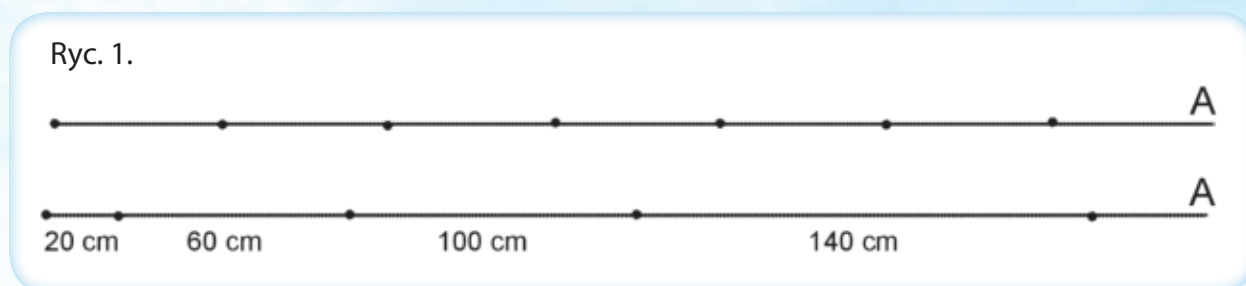
To doświadczenie dowodzi, że swobodne spadanie ciała jest ruchem jednostajnie przyspieszonym.

#### Materiały:

Dwa kawałki sznurka o długości około 3,5 m oraz 10 do 14 w miarę ciężkich metalowych nakrętek lub innych ciał, które można łatwo przymocować do sznurka.

#### Wykonanie:

Do pierwszego sznurka mocujemy nakrętki w równych odstępach (np. co 50 cm), a do drugiego w następujących: 20 cm, 60 cm, 100 cm, 140 cm (ryc. 1).



Odstępy muszą spełniać proporcję 1:3:5:7:9 itd. Są to stosunki dróg, jakie ciało poruszające się ruchem jednostajnie przyspieszonym, czyli ze stałym przyspieszeniem, przebywa w kolejnych sekundach ruchu. Oba sznurki chwytny za koniec A, stajemy na krześle lub drabince i puścimy swobodnie, najpierw jeden, a gdy spadnie na podłogę, drugi. Spadaniu sznurka z nakrętkami umocowanymi w równych odstępach towarzyszy stukot coraz szybciej następujących uderzeń o podłogę. Gdy puścimy sznurek z nakrętkami umocowanymi w odstępach spełniających warunek odległości 1:3:5:7:9, to uderzenia będziemy słyszeć w równych odstępach czasu. Czyli swobodne spadanie jest ruchem jednostajnie przyspieszonym.

### 4. Eksperyment IV

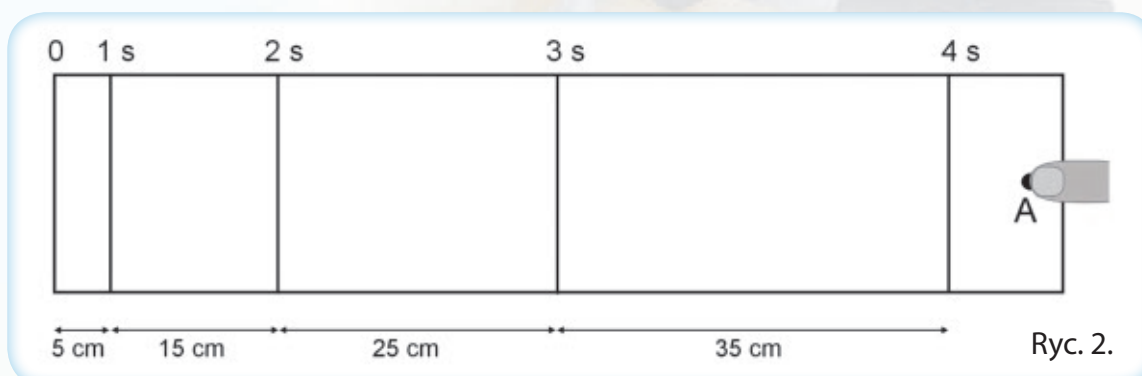
Fakt, że swobodnie spadające ciało przebywa w ciągu sekundy drogi, których długości spełniają proporcje 1:3:5:7 itd., można wykorzystać do badania reflexu.

#### Materiały:

Długa linijka lub pasek kartonu.

#### Wykonanie:

Na kartonie rysujemy kreski w odległości np. 5 cm, 15 cm, 25 cm, 35 cm (ryc. 2).



$t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$  Pasek (linijkę) przykładamy do ściany i jeden uczeń trzyma go w punkcie A. Drugi uczeń trzyma dłoń w pobliżu początku skali. Pierwszy uczeń puszcza trzymany przedmiot, krzycząc jednocześnie „start”. Drugi uczeń dociska wtedy palcem pasek (linijkę) do ściany. W miejscu, w którym zatrzymał spadający swobodnie przedmiot, odczytujemy przybliżony czas reakcji. Jeżeli spadającym przedmiotem był przeskalowany pasek, wynik otrzymujemy natychmiast, chociaż jest on mniej dokładny. Dokładniejszy wynik otrzymamy stosując linijkę i korzystając z przekształconego wzoru na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym. Odczytując odległość  $s$  od początku skali do miejsca złapania linijki, czas reakcji wyliczamy ze wzoru

## STAN NIEWAŻKOŚCI

### 5. Eksperyment V

#### Materiały:

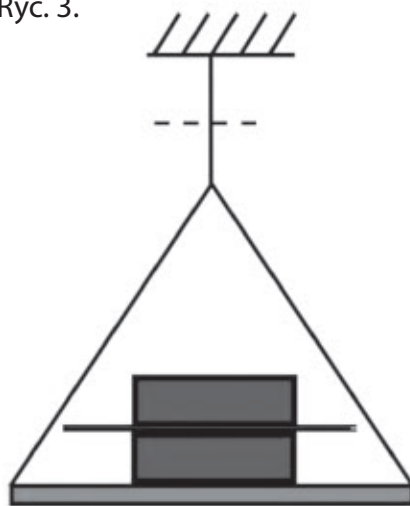
Dwie cegły, gazeta, deseczka, sznurek (ok. 2 m), nożyczki.

#### Wykonanie:

Pomiędzy dwie cegły wkładamy kawałek cienkiej gazety. Jeżeli chcemy ją wyciągnąć, to najpewniej się rozerwie lub będzie poszarpana (jeżeli w ogóle da się wyciągnąć!).

Jeżeli umieścimy cegły na deseczce zawieszonej na sznurkach (ryc. 3), a następnie przetniemy sznurki, to cegły z gazetą będą swobodnie spadać.

Ryc. 3.



W tym momencie można bez wysiłku i uszczerbku dla gazety, wyjąć ją spośród cegieł. Dlaczego? Bo cegły z gazetą, spadając swobodnie w polu grawitacyjnym, są w stanie nieważkości i nie naciskają na siebie.

## 6. Eksperyment VI

### Materiały:

Plastikowa butelka, ostre narzędzie (do zrobienia otworów w butelce), miska.

### Wykonanie:

W butelce plastikowej robimy dwa lub więcej niewielkich otworków i nalewamy do niej wodę. Doświadczenie przeprowadzamy nad miską. Zauważamy (co nie jest zaskoczeniem), że z otworków wylewa się woda. Jeżeli butelkę swobodnie upuścimy, to w czasie lotu z otworków nie wylewa się woda. Tłumaczymy ten fakt tak samo, jak w poprzednim ćwiczeniu – butelka i woda znajdują się w stanie nieważkości.

## 7. Eksperyment VII

### Materiały:

Pęk kluczy na kółeczku.

### Wykonanie:

Jeżeli trzymamy pęk kluczy za kółeczko, to klucze zwisają pionowo w dół. Gdy klucze upuścimy swobodnie, to zauważymy, że spadają w dowolnym ułożeniu, chaotycznie. Razem z kółeczkiem znajdują się w stanie nieważkości, nie mają ciężaru, który początkowo porządkował ich położenie.





JERZY WIECHUŁA  
TARCIE







## V. TARCIE

**Cele:** Poznanie natury zjawiska i siły tarcia, towarzyszącego naszym codziennym działaniom.

### Plan pracy:

- Najważniejsze pojęcia i ich krótkie definicje.
- Tarcie i siła tarcia.
- Eksperymenty fizyczne.

### Najważniejsze pojęcia:

**Tarcie** – opór, jaki napotyka przy przesuwaniu lub chcąc przesunąć ciało po dowolnej powierzchni.

**Siła nacisku** – siła działająca prostopadle do powierzchni trących.

**Siła tarcia** – siła utrudniająca ruch, związana z jakością powierzchni trących ciał.

### TARCIE I SIŁA TARCIA

Ze zjawiskiem tarcia spotykamy się na każdym kroku – chodząc po ulicy, trzymając pióro, jadąc samochodem. Czasem nam przeszkadza, a czasem umożliwia normalne funkcjonowanie. Sprzeczność taką najlepiej widać w samochodzie: w silniku chcemy zmniejszyć tarcie stosując łożyska, oleje i smary, a na koła nakładamy przemyślane opony, by tarcie zwiększyć (o tarczach hamulcowych nie wspominając...). Warto więc bliżej poznać zjawisko tarcia, a zwłaszcza siłę tarcia.

Jeżeli chcemy przesunąć ciało leżące na dowolnej powierzchni, to możemy użyć siły równoległej do tej powierzchni. Po ruszeniu z miejsca siła potrzebna do utrzymania ciała w ruchu jednostajnym jest mniejsza od tej, która jest potrzebna do zapoczątkowania ruchu. Użyta przez nas siła jest równa (**I zasada dynamiki Newtona**) sile oporu, zwanej **siłą tarcia**.

**Siła tarcia statycznego**, występującego wtedy, gdy ciało jest w spoczynku mimo działającej poziomo siły, zmienia się od zera do wartości  $T_s = f_s \cdot F_n$ , gdzie  $f_s$  – współczynnik tarcia statycznego,  $F_n$  – siła nacisku. Jeżeli ciało jest w ruchu, to tarcie nazywa się kinetycznym. **Siłę tarcia kinetycznego** obliczamy ze wzoru  $T_k = f_k \cdot F_n$ . Współczynnik tarcia statycznego jest większy od kinetycznego  $f_s > f_k$ . Wartość współczynników tarcia  $f$  zależy od własności powierzchni trących, a wbrew pozorom, nie zależy od wielkości powierzchni.

Proponujemy wykonanie całej serii doświadczeń (lub choćby kilku z nich), aby lepiej zrozumieć i w następstwie wykorzystać zjawisko tarcia. Wszystkie doświadczenia są bardzo proste do wykonania. Kolejność jest taka, by pozwalała poznać własności siły tarcia i naturę samego zjawiska. Wszystkie doświadczenia mogą być wykonane przez uczniów gimnazjów i szkół ponadgimnazjalnych. Gimnazjalistów można zwolnić od wykonywania części obliczeniowych ćwiczeń, chociaż nieuchronna matura z matematyki powinna zachęcać do wykonywania tych prostych rachunków.

# EKSPERYMENTY FIZYCZNE

## 1. Eksperyment I

### Materiały:

Dynamometr (siłomierz) albo gumka recepturka, klocek prostokątny lub pudełko (najlepiej o rozmiarach zbliżonych do kostki masła), metalowe haczyki.

Dynamometr (ryc.1) możemy wykonać samodzielnie. Wystarczy sprężyna, dwie rurki kartonowe różnych średnic i dwa haczyki z twardego drutu. Sprężynę zaginamy na obu końcach. W szerszej rurce mocujemy na stałe jeden koniec sprężyny, do rurki przyczepiamy haczyk. Do drugiego końca sprężyny mocujemy cieńszą rurkę zakończoną z drugiej strony haczykiem. Czarnym flamastrem rysujemy skalę – kreski co 1/2 lub 1 cm – w zależności od długości rurki. Wydłużenie sprężyny jest proporcjonalne do przyłożonej siły. Oczywiście, najwygodniej (choć przy mniejszej satysfakcji własnej!) kupić dynamometr lub wagę sprężynową w sklepie z różnymi drobiazgami AGD.

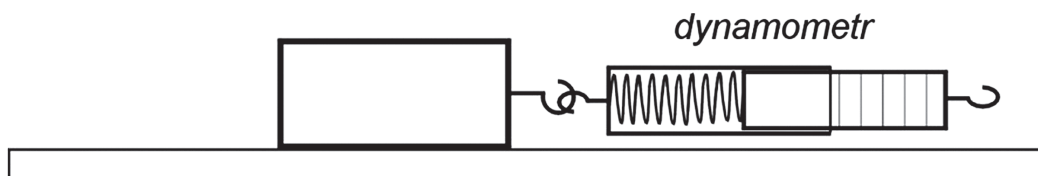
Ryc. 1.



### Wykonanie:

Zacznijmy od bardzo prostego doświadczenia. Na płaskim podłożu (np. stole) kładziemy klocek (pudełko) z haczykiem i przy pomocy dynamometru lub zwykłej gumki recepturki spróbujemy wprowadzić klocek w ruch (ryc.2).

Ryc. 2.



Zauważmy, że musimy użyć pewnej siły, by ciało ruszyło z miejsca. W momencie, gdy klocek rusza, starajmy się utrzymać go w ruchu jednostajnym. Widzimy, że siła, której wtedy należy użyć do podtrzymania ruchu, jest mniejsza od siły potrzebnej do ruszenia ciała z miejsca. Jeżeli dysponujemy dynamometrem, to zanotujemy wartość siły potrzebnej do wprowadzenia klocka w ruch (siła tarcia statycznego) i siłę potrzebną do zapewnienia ruchu jednostajnego (siła tarcia kinetycznego).

Jakie możemy wyciągnąć wnioski?

1. Gdy klocek spoczywa, to siła tarcia, równa sile przyłożonej przez nas za pośrednictwem gumki lub dynamometru, rośnie od zera do pewnej wartości maksymalnej i zawsze jest równa sile próbującej ruszyć ciało (bo ciało jest w spoczynku!). To tarcie nazywamy statycznym.
2. W czasie ruchu klocka, siła potrzebna do utrzymania go w ruchu jednostajnym jest mniejsza od siły potrzebnej do wprowadzenia klocka w ruch. To tarcie w ruchu nazywa się kinetycznym, a siła tarcia kinetycznego jest mniejsza od maksymalnej siły tarcia statycznego.

Dlaczego tak się dzieje? Otóż powierzchnie trące, mimo że wyglądają na bardzo gładkie, są w rzeczywistości nierówne (ryc.3).

Ryc. 3.



Chcąc przesunąć jedno ciało, powodujemy zaczepianie nierówności o siebie i konieczność użycia coraz większej siły. Po ruszeniu z miejsca, siła potrzebna do utrzymania ruchu jest już nieco mniejsza.

## 2. Eksperyment II

### Materiały:

Dynamometr (siłomierz) albo gumka recepturka, dwa klocki prostokątne lub pudełka (najlepiej o rozmiarach zbliżonych do kostki masła), metalowe haczyki.

### Wykonanie:

To doświadczenie jest kontynuacją poprzedniego. Na klocek kładziemy dowolny ciężarek lub inny podobny klocek i powtarzamy poprzednie doświadczenie. Zauważymy, że siła jakiej musimy użyć, aby ciało ruszyło z miejsca, a następnie poruszało się ruchem jednostajnym, jest większa niż w poprzednim doświadczeniu. Oznacza to, że rośnie też siła tarcia, czyli im większy nacisk, tym większa siła tarcia. Wynika z tego, że jeżeli nasz samochód nie chce ruszyć na śliskiej jezdni, to warto posadzić w środku kilku pasażerów o słusznej wadze... Może pomóc!

Jeżeli dysponujemy dynamometrem, to możemy wyznaczyć wartość siły tarcia i ciężar ciała. Wyniki umieszczamy w tabeli:



| Ciężar klocków $P$ | Wartość średnia $P$ | Siła wprawiająca klocki w ruch $F_1$ | Wartość średnia $F_1$ | Siła zapewniająca ruch jednostajny $F_2$ | Wartość średnia $F_2$ | $f_s = F_1/P$ | $f_k = F_2/P$ |
|--------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------|--|-----------------------|---------------|---------------|
|                    |                     |                                      |                       |  |                       |               |               |
|                    |                     |                                      |                       |  |                       |               |               |
|                    |                     |                                      |                       |  |                       |               |               |
|                    |                     |                                      |                       |  |                       |               |               |
|                    |                     |                                      |                       |  |                       |               |               |
|                    |                     |                                      |                       |  |                       |               |               |
|                    |                     |                                      |                       |  |                       |               |               |
|                    |                     |                                      |                       |  |                       |               |               |
|                    |                     |                                      |                       |  |                       |               |               |
|                    |                     |                                      |                       |  |                       |               |               |

Powinniśmy każdy pomiar powtórzyć co najmniej trzy razy i obliczyć średnie otrzymanych wyników. Siła  $F_1$  jest siłą tarcia statycznego  $T_s$ , a siła  $F_2$  jest siłą tarcia kinetycznego  $T_k$ . Ciężar klocków  $P$  jest siłą nacisku  $F_n$ . Wartości  $f_s$  i  $f_k$  są współczynnikami tarcia statycznego i kinetycznego. Wielkości te są bezwymiarowe. Z pomiarów wynika, że  $f_s < f_k$ , a wzór na wyliczenie siły tarcia  $T = f \cdot F_n$ , gdzie  $F_n$  jest siłą nacisku, zawsze prostopadłą do trących powierzchni. W przypadku siły tarcia statycznego, wzór ten określa wartość maksymalną siły tarcia, bo może się ona zmieniać od zera do tej wartości. Jeżeli dysponujesz większą ilością różnych ciężarków, to możesz wykonać wykres zależności  $T(F_n)$ . Współczynnik tarcia  $f$  będzie wtedy równy tangensowi nachylenia prostej do osi odciętych.

### 3. Eksperyment III

#### Materiały:

Ołówek lub patyk, klucz z dużym „uchem” lub kółko z kluczami.

#### Wykonanie:

Różnicę pomiędzy tarcieniem statycznym i kinetycznym możemy zaobserwować w prostym doświadczeniu. Ołówek lub patyczek wsadzamy do ucha klucza lub kółka z kluczami i delikatnie odchylamy go od poziomu tak, by klucz się nie zsuwał (patrz zdjęcie poniżej).



Jeżeli będziemy obracać ołówek wokół jego osi, to klucz zacznie się zsuwać, bo siła tarcia kinetycznego jest mniejsza od statycznego. Kiedy znowu przestaniemy obracać ołówek, to klucz przestanie się zsuwać.

#### 4. Eksperyment IV

##### **Materiały:**

Klocek lub pudełko prostopadłościenne o krawędziach różnej długości.

##### **Wykonanie:**

Sprawdzamy teraz, czy siła tarcia zależy od wielkości powierzchni klocka. Pudełko kładziemy kolejno na trzech różnych ściankach (patrz zdjęcie poniżej) i mierzymy siłę potrzebną do ruszenia pudełka z miejsca.



Okazuje się, że jest ona zawsze taka sama, czyli siła tarcia nie zależy od wielkości powierzchni trących.

#### 5. Eksperyment V

##### **Materiały:**

Klocek lub pudełko prostopadłościenne, woda, olej.

##### **Wykonanie:**

Sprawdzamy teraz, jak siła tarcia zależy od rodzaju trących powierzchni. Powierzchnię stołu lub deseczki, po której przesuwaliśmy dotychczas klocki, zwilżamy niewielką ilością wody (około 1 mm), tworząc niewielką „kałużę”. Następnie przeprowadzamy pomiar siły tarcia klocka po mokrym stole. Doświadczenie możemy powtórzyć, używając zamiast wody oleju. Porównajmy wynik z uzyskanym poprzednio na suchym stole. Siła potrzebna do wprowadzenia ciała w ruch wyraźnie się zmniejszyła, a więc tarcie, po wprowadzeniu pomiędzy trące powierzchnie cieczy, wyraźnie się zmniejszyło! Technicy używają takiego sposobu, aby zmniejszyć tarcie pomiędzy częściami maszyn. Zamiast wody stosują oleje, bo mają one wyższe temperatury wrzenia (mniejsze ubytki w czasie pracy) i nie są tak agresywne chemicznie jak woda.

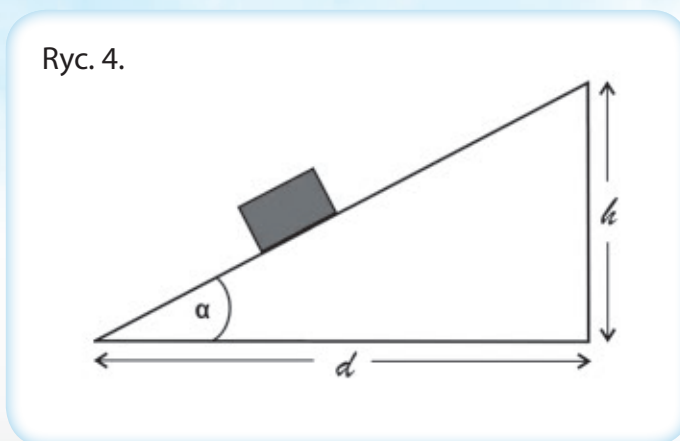
## 6. Eksperyment VI

### Materiały:

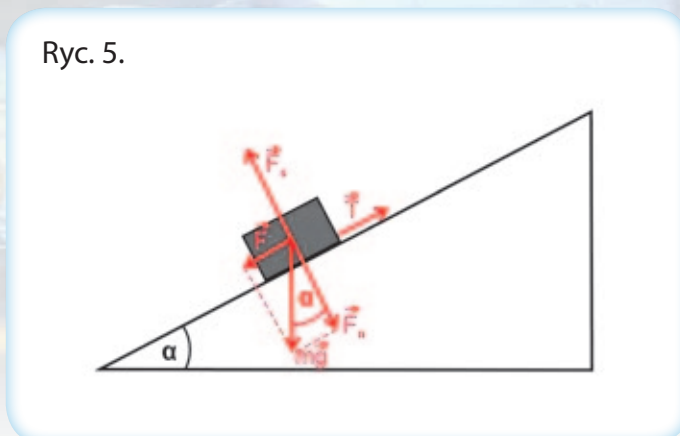
Klocek lub pudełko prostokątne, deska o długości ok. 1,5 m, linijka lub większy kątomierz.

### Wykonanie:

Wyznamy współczynnik tarcia przy pomocy równi pochyłej. Na poziomej deseczce ustawiamy klocek lub pudełko. Następnie podnosimy deseczkę za koniec, przy którym leży klocek, starając się dokładnie określić wysokość  $h$  i odległość  $d$  (ryc. 4) lub kąt  $\alpha$ , przy którym klocek zaczyna się zsuwać po deseczce.



Powtarzamy doświadczenie kilka razy (większa liczba pomiarów zwiększa dokładność), notując w tabeli wysokość  $h$  i odległość  $d$  lub/i kąt  $\alpha$ . Współczynnik tarcia wyliczamy ze wzoru  $\tan\alpha = f$  lub  $h/d = f$ . Jest to wartość współczynnika tarcia pomiędzy danym klockiem, a konkretną deseczką. Jeżeli zmienimy zsuwający się przedmiot lub deseczkę, to  $f$  będzie miał inną wartość. Zależność  $f = \tan\alpha$  wyprowadzamy przyjmując, że w momencie rozpoczęcia ruchu klocka, siła zsuwająca  $F = mg \sin\alpha$  (składowa siły ciężkości) jest równa sile tarcia  $T = f \cdot F_n$ , gdzie  $F_n$  jest siłą nacisku i jest równa  $mg \cos\alpha$  (druga składowa siły ciężkości, ryc. 5).



Jeżeli  $F = T$ , to  $mg \sin\alpha = f mg \cos\alpha$ , a więc  $\sin\alpha = f \cos\alpha$ ,  $\sin\alpha / \cos\alpha = f$ , czyli  $f = \tan\alpha$ .



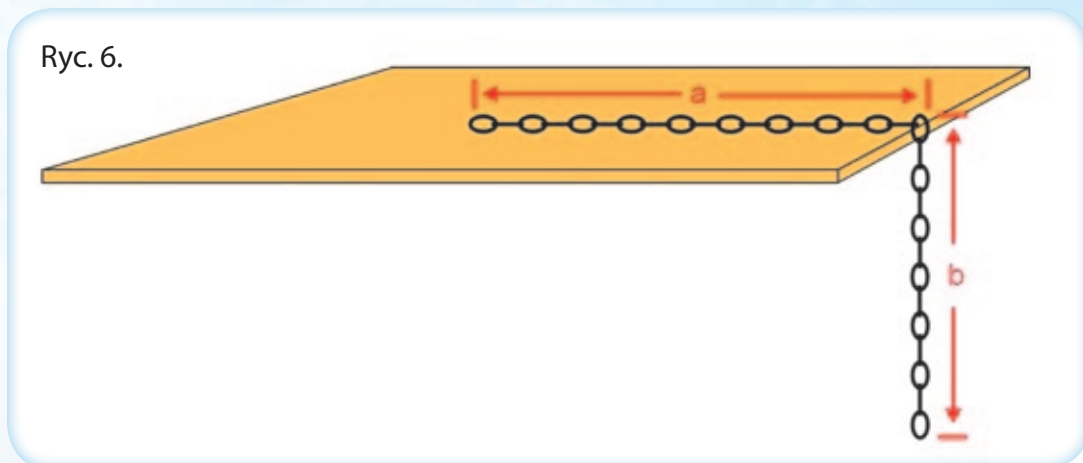
## 7. Eksperyment VII

### Materiały:

Łańcuszek lub elastyczna nitka.

### Wykonanie:

Współczynnik tarcia  $f$  możemy wyznaczyć też inną metodą, niż opisana w poprzednim doświadczeniu. Na stole kładziemy łańcuszek lub elastyczną linkę tak, aby część zwiisała ze stołu (ryc. 6).



Następnie zwiększamy część zwisającą do momentu, gdy łańcuszek zacznie sam zsuwać się ze stołu. Możemy przyjąć, że w tym momencie siła tarcia części łańcuszka leżącego na stole jest równa ciężarowi części łańcuszka wiszącego w powietrzu. Wtedy mierzymy długość części łańcuszka leżącej na stole  $a$  oraz wiszącej w powietrzu  $b$ . Zakładamy, że gęstość  $\rho$  i pole przekroju  $S$  łańcuszka są stałe. Siła tarcia części łańcuszka leżącej na stole  $T = fF_n$ .

Siła nacisku  $F_n = m_1g$ , gdzie masa części łańcuszka leżąca na stole  $m_1 = \rho V$ , objętość tej części:  $V = aS$ , więc  $T = fpSag$ .

Siła ciężkości części zwisającej łańcuszka  $P = m_2g$ , masa tej części  $m_2 = pbS$ , czyli  $P = pbSg$ . Ponieważ  $T = P$ , to  $fpSag = pbSg$ , czyli  $fa = b$ , więc  $f = b/a$ .

## 8. Eksperyment VIII

### Materiały:

Długa szczotka do zamywania lub coś podobnego – mop, laska, kij bilardowy.

### Wykonanie:

Na zakończenie proponujemy bardzo efektowne doświadczenia, pozwalające znaleźć środek masy. Wykonanie doświadczenia jest proste, ale wyjaśnienie jego przebiegu i rezultatu już nie. Szczotkę kładziemy poziomo na palcach wskazujących obu rąk (patrz zdjęcie obok).



Następnie równocześnie powoli przesuwamy oba palce do środka, aż do zetknięcia. Ku naszemu zaskoczeniu, drążek pozostaje w równowadze w czasie ruchu, a w końcu palce spotykają się pod punktem, gdzie znajduje się środek masy, a podparty w tym miejscu drążek pozostaje w równowadze (patrz zdjęcie poniżej).



Do wyjaśnienia tego doświadczenia wykorzystamy zależność siły tarcia od siły nacisku. Z różnych powodów (m.in. różnej gładkości nierówności kija) drążek pozostaje unieruchomiony na jednym palcu, a porusza się dalej po drugim. Wtedy na tym drugim palcu będzie oparta większa część drążka, zwiększa się nacisk na ten palec i rośnie siła tarcia. W związku z tym na pierwszy palec działa mniejszy nacisk i zmniejsza się siła tarcia pomiędzy tym palcem, a kijem. Drążek zaczyna się teraz poruszać nad pierwszym palcem, a nad drugim jest nieruchomy. I tak na zmianę, na krótkich odcinkach, aż palce spotkają się pod środkiem masy.

## 9. Eksperyment IX

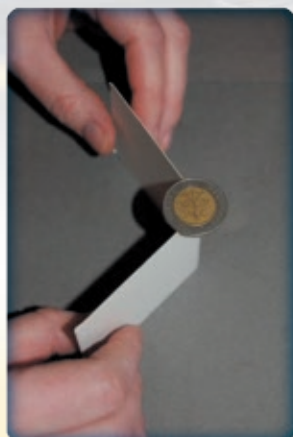
Drugim, prawie magicznym doświadczeniem, które tłumaczy się w ten sam sposób, jest układanie monety na pasku cienkiego kartonu

### **Materiały:**

Moneta, pasek cienkiego kartonu.

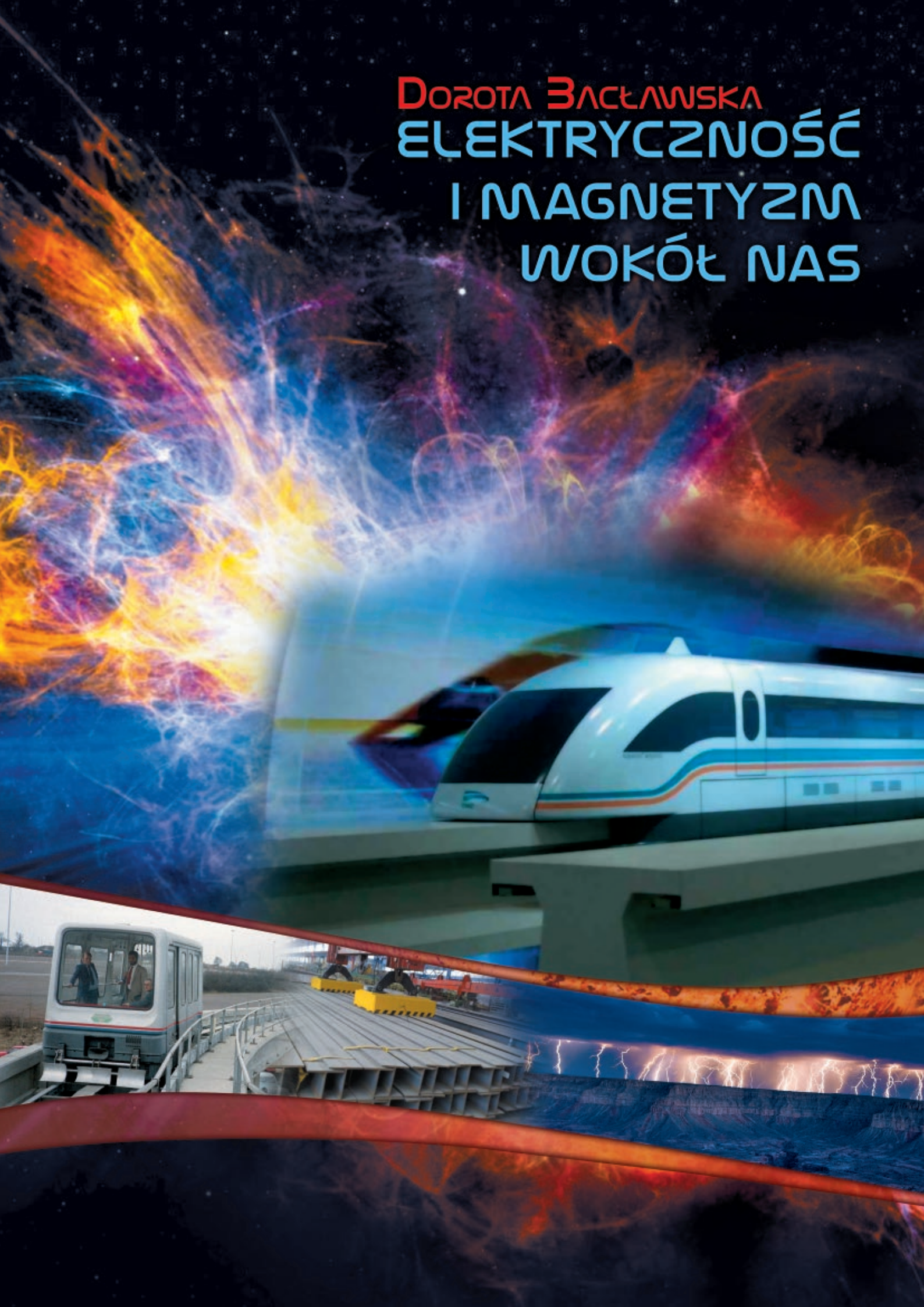
### **Wykonanie:**

Ustawienie monety na takim pasku jest bardzo trudne. Jeżeli jednak zegnijemy kartonik i położymy na zgięciu monetę, to po ostrożnym wyprostowaniu kartonu uzyskamy sukces.





DOROTA BACŁAWSKA  
ELEKTRYCZNOŚĆ  
I MAGNETYZM  
WOKÓŁ NAS







# VI. ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM WOKÓŁ NAS

**Cele:** Wskazać na powszechną obecność zjawisk elektrycznych i magnetycznych w środowisku człowieka.

- a- zjawiska elektryczne i magnetyczne w przyrodzie,
- b- zjawiska elektryczne i magnetyczne w organizmach żywych,
- c- zjawiska elektryczne i magnetyczne w technice.

## Plan pracy:

- Sposoby elektryzowania ciał.
- Zasada zachowania ładunku.
- Prawo Coulomba.
- Przewodniki i izolatory.
- Elektroliza.
- Dioda jako prostownik.
- Kontaktowa różnica potencjałów.
- Natężenie prądu elektrycznego.
- Prawo Ohma.
- Opór zastępczy układu oporników.
- Prawa Kirchhoffa.
- Praca i moc prądu elektrycznego.
- Linie pola magnetycznego.
- Siła elektrodynamiczna.
- Pole magnetyczne prądu.
- Indukcja elektromagnetyczna.
- Prądy wirowe.
- Siła elektromotoryczna ogniwa i opór wewnętrzny.
- Charakterystyka prądowo-napięciowa opornika omowego.

## Najważniejsze pojęcia:

**Linie pola magnetycznego** – służą do graficznego przedstawienia pola magnetycznego. Igła magnetyczna ustawia się w każdym punkcie pola magnetycznego stycznie do linii pola.

**Prąd elektryczny** – uporządkowany ruch ładunków elektrycznych (elektronów lub jonów).

**Przewodniki** – substancje przewodzące prąd elektryczny (np. metale, zjonizowane gazy, elektrolity, organizmy żywe, grafit). Nośnikami ładunku w przewodnikach mogą być swobodne elektrony lub jony (dodatnie lub ujemne).

**Izolatory** – substancje, które nie przewodzą prądu elektrycznego (np. drewno, szkło, tworzywa sztuczne) – brak w nich nośników ładunku (elektronów swobodnych lub jonów).

**Elektroliza** – rozkład elektrolitu pod wpływem przepływu prądu elektrycznego, któremu towarzyszy wydzielanie się substancji na elektrodach.

**Elektromagnes** – cewka z rdzeniem ferromagnetycznym, który magnesuje się pod wpływem prądu przepływającego przez uzwojenie cewki.

**Dioda półprzewodnikowa** – urządzenie półprzewodnikowe zawierające jedno złącze p-n. Jest stosowana jako element prostujący, ponieważ przepuszcza prąd tylko w jednym kierunku.

**Prądy wirowe** – prądy indukcyjne, powstające w przewodniku, który znajduje się w zmiennym polu magnetycznym lub porusza się względem źródła stałego pola magnetycznego.

**Kontaktowa różnica potencjałów** – różnica potencjałów pojawiająca się pomiędzy stykającymi się różnymi materiałami (np. elektrodą i elektrolitem, dwoma metalami).

**Siła elektromotoryczna (SEM)** – napięcie panujące między biegunami ogniwa otwartego.

**Opór wewnętrzny ogniwa** – opór elektryczny występujący wewnątrz ogniwa (opór elektrolitu i elektrod).

**Charakterystyka prądowo-napięciowa** – wykres zależności natężenia prądu od napięcia (lub – w nielicznych przypadkach – odwrotnie) przyłożonego na danym elemencie.

## **SPOSOBY ELEKTRYZOWANIA CIAŁ, ZASADA ZACHOWANIA ŁADUNKU, PRAWO COULOMBA**

Elektryzowanie polega na „wytwarzaniu” w ciałach nadmiaru ładunków elektrycznych jednego znaku. Ciała możemy naelektryzować poprzez: pocieranie, dotyk, indukcję (wpływ). Przez pocieranie możemy elektryzować izolatory (np. rury z PCV, szkło, ebonit). W czasie pocierania część elektronów przechodzi z jednego ciała na drugie. Ciała te zostają naelektryzowane ładunkami przeciwnych znaków. Dotykając ciała obojętnego ciałem naelektryzowanym powodujemy przejście elektronów z jednego ciała na drugie – ciało obojętne zostaje naelektryzowane ładunkiem tego samego znaku.

Elektryzowanie przez indukcję ma miejsce w przewodnikach. Po umieszczeniu przewodnika w pobliżu ciała naelektryzowanego następuje przesunięcie elektronów w przewodniku. Na skutek tego na jednym końcu przewodnika gromadzi się ładunek dodatni, a na drugim końcu – ładunek ujemny.



Podczas elektryzowania mamy do czynienia z przepływem ładunku z jednego ciała na drugie (lub z jednej części ciała na drugą), a nie z jego wytwarzaniem. Ładunek elektryczny nie może powstać ani zniknąć. Jest to zgodne z zasadą zachowania ładunku.

Ładunki jednoimienne odpychają się, a ładunki różnoimienne się przyciągają. Wartość siły wzajemnego oddziaływania dwóch ładunków punktowych lub równomiernie naładowanych kulek podaje prawo Coulomba:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

gdzie:

$k$  – stała charakteryzująca ośrodek, w którym znajdują się ładunki (kulki),

$q_1, q_2$  – wartości ładunków (kulek),

$r$  – odległość między ładunkami punktowymi lub środkami kulek.

## PRAWO OHMA, ŁĄCZENIE OPORÓW

Natężenie prądu  $I$  płynącego w przewodniku jest wprost proporcjonalne do napięcia  $U$  przyłożonego między końcami przewodnika. Iloraz  $U/I$  jest wielkością stałą dla danego przewodnika i nazywany jest oporem elektrycznym  $R$  danego przewodnika.

Oporniki możemy łączyć szeregowo lub równolegle. Opór zastępczy oporników połączonych szeregowo jest równy sumie poszczególnych oporów. Przy połączeniu równoległym odwrotność oporu zastępczego jest równa sumie odwrotności poszczególnych oporów.

## I I PRAWO KIRCHHOFFA

### I prawo Kirchhoffa

Suma natężeń prądów wpływających do węzła jest równa sumie natężeń prądów z niego wpływających.

### II prawo Kirchhoffa

Każdy obwód zamknięty (pojedynczy lub będący elementem większej sieci) nazywany jest oczkiem. Według II prawa Kirchhoffa algebraiczna suma zmian potencjału napotykanym przy pełnym obejściu oczka musi być równa zero. Gdy przemieszczamy się wzdłuż opornika w kierunku przepływu prądu, zmiana potencjału wynosi  $-RI$ , a przy ruchu w przeciwną stronę jest równa  $+RI$ . W źródle SEM zmiana potencjału jest równa  $+\varepsilon$ , gdy poruszamy się w kierunku bieguna dodatniego (o wyższym potencjale), a przy ruchu w przeciwną stronę (od bieguna dodatniego do ujemnego) wynosi  $-\varepsilon$ .

## PRACA I MOC PRĄDU ELEKTRYCZNEGO

Prąd elektryczny, płynąc przez odbiornik, wykonuje pracę  $W$ . Skutkiem tej pracy może być wzrost energii wewnętrznej odbiornika, powstanie energii promieniowania (światłówka, żarówka) lub chemicznej (elektroliza). W różnych odbiornikach prąd elektryczny wykonuje w tym samym czasie różne prace. Aby móc je porównać posługujemy się pojęciem mocy  $P$ .

Na odbiornikach podane są tzw. moce znamionowe, czyli moc jaką posiada odbiornik (np. żarówka, żelazko, pralka) po włączeniu do elektrycznej sieci domowej.

Moc możemy obliczyć ze wzoru:

$$P=U \cdot I$$

lub korzystając z prawa Ohma:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{lub} \quad P = I^2 R$$

## SIŁA ELEKTRODYNAMICZNA

Siła elektrodynamiczna to siła działająca na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym. Wartość jej obliczamy ze wzoru:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$$

gdzie:

$I$  – natężenie prądu płynącego w przewodniku,

$B$  – indukcja pola magnetycznego,

$l$  – długość fragmentu przewodnika, na który działa siła  $F$ ,

$\alpha$  – kąt pomiędzy wektorem indukcji, a wektorem  $l$  o zwrocie zgodnym z kierunkiem prądu elektrycznego.

Kierunek i zwrot siły elektrodynamicznej można określić stosując regułę lewej dłoni – lewą dłoń ustawiamy tak, aby linie pola magnetycznego wnikały prostopadle w jej wewnętrzną stronę, wszystkie wyprostowane palce (za wyjątkiem kciuka) wskazywać powinny kierunek prądu – odchylony kciuk wskazuje wtedy kierunek i zwrot siły.

## POLE MAGNETYCZNE WOKÓŁ PROSTOLINIOWEGO PRZEWODNIKA Z PRĄDEM

Wokół przewodnika, w którym płynie prąd elektryczny powstaje pole magnetyczne. W przypadku długiego, prostoliniowego przewodnika z prądem o natężeniu  $I$  linie pola magnetycznego są okręgami leżącymi w płaszczyznach prostopadłych do przewodnika, a ich środki leżą na przewodniku. Zwrot linii pola zależy od kierunku przepływu prądu i określa go reguła prawej dłoni: jeżeli zegniami cztery palce prawej dłoni, a odchylony kciuk ustawimy w kierunku przepływu prądu, to palce wskażą zwrot linii pola magnetycznego. Wartość wektora indukcji w odległości  $r$  od przewodnika wyrażona jest wzorem:

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{I}{2\pi r}$$

gdzie:

$\mu_0$  – przenikalność magnetyczna próżni,

$\mu_r$  – względna przenikalność magnetyczna ośrodka, w którym znajduje się przewodnik.

## INDUKCJA ELEKTROMAGNETYCZNA

Indukcja elektromagnetyczna to zjawisko powstawania w obwodzie elektrycznym siły elektromotorycznej indukcji SEM w wyniku zmian w czasie strumienia magnetycznego obejmowanego przez ten obwód. Wartość SEM  $\varepsilon$  obliczamy ze wzoru:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

gdzie:  $\Delta\Phi$  – zmiana strumienia indukcji magnetycznej w czasie  $\Delta t$ .

## ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM W ORGANIZMIE CZŁOWIEKA

W organizmie człowieka powstaje wiele sygnałów bioelektrycznych. Ich pomiar (napięć i prądów) może stanowić podstawę do oceny stanu fizjologicznego organizmu. Ich odpowiednia interpretacja umożliwia wykrywanie nieprawidłowości pracy różnych narządów i pozwala na diagnozowanie szeregu chorób. Szczególnie istotne są badania aktywności elektrycznej serca i mózgu. Elektrokardiogram (EKG) jest to zarejestrowana elektryczna aktywność serca. Na podstawie przebiegu krzywej EKG, można uzyskać informacje o różnego rodzaju arytmiiach, chorobach przedsionków i komór. Można wykrywać również uszkodzenia serca, rozpoznawać zapalenie mięśnia sercowego i przebyty zawał.

Badanie elektroencefalograficzne (EEG) polega na rejestracji czynnościowych prądów mózgu człowieka. Stosowane jest ono m.in. przy wykrywaniu krwotoków, guzów nowotworowych, padaczki, urazów i obszarów niedotlenienia mózgu. Jest to metoda rozstrzygająca o śmierci mózgowej pacjenta. Pomiar magnetyzmu ciała człowieka są intensywnie rozwijane w ostatnich latach. Umożliwiają one badanie pracy mózgu, serca, oka lub mięśni.

## ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM W TECHNICIE I PRZEMYŚLE

Zjawiska elektryczne i magnetyczne stanowią podstawę funkcjonowania współczesnej techniki i przemysłu. Poniżej podanych zostało tylko kilka przykładów.

Elektromagnesy są wykorzystywane np. w hutach do przenoszenia złomu żelaznego, w stoczniach do transportu blach stalowych, w budowie słuchawek, głośników, dzwonków, zaworów elektromagnetycznych. Konstruowane są poduszkowce na poduszce magnetycznej. Elektromagnesy wchodzi w skład elementów sterujących w akceleratorach cząstek o wysokiej energii. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej stanowi podstawę działania prądnic, alternatorów, generatorów, transformatorów, pieców indukcyjnych, czy mierników indukcyjnych.

Elektroliza jest szeroko stosowana w przemyśle, m.in. do pokrywania metali powłokami galwanicznymi, do otrzymywania i oczyszczania metali, do uzyskiwania wielu substancji, takich jak np. chlor, czy wodór.

Elektryczność statyczną wykorzystuje się w kserokopiarkach i drukarkach laserowych.



# ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM W ŚWIECIE ZWIERZĄT

Elektryczność wykorzystywana jest przez zwierzęta. Niektóre zwierzęta potrafią wytwarzać napięcie elektryczne. Na przykład płaszczki elektryczne i węgorze elektryczne (żyjące w Ameryce Południowej i Środkowej) wykorzystują je do ogłuszania lub zabijania swych ofiar. Wiele innych ryb używa słabego pola elektrycznego do lokalizacji obiektów w otoczeniu, w tym do poszukiwania pożywienia.

Zwierzęta, takie jak żółwie morskie i ptaki, które odbywają co roku dalekie wędrówki, wykorzystują jako drogowskaz pole magnetyczne Ziemi. Stwierdzono, że zmysł magnetyczny oprócz ptaków i żółwi stosuje około pięćdziesiąt innych stworzeń, na przykład salamandry czy też niektóre owady.

## EKSPERYMENTY FIZYCZNE

### Sposoby elektryzowania ciał, zasada zachowania ładunku, oddziaływanie ładunków jedno- i różnoimiennych

Celem tych eksperymentów jest zaprezentowanie różnych sposobów elektryzowania, sprawdzenie w jaki sposób oddziałują ze sobą ładunki o różnych znakach oraz skonstruowanie prostego elektroskopu – przyrządu do wykrywania ładunku elektrycznego.

#### 1. Elektryzowanie ciał przez tarcie i oddziaływanie ładunków

##### Materiały:

Dwa nadmuchane balony, nitka, rura PCV, szklana butelka, ściereczka lniana lub kawałek sztucznego futra.

##### Wykonanie:

Do nadmuchanych balonów przywiązujemy kawałki nitki, a następnie elektryzujemy każdy z balonów pocierając nim o ściereczkę (futro). Trzymając za nitki zbliżamy balony do siebie – balony odpychają się wzajemnie ponieważ naładowane są ładunkami tego samego znaku. Gdy jeden z balonów położymy na gładkiej nieprzewodzącej powierzchni i do jego końca zbliżymy drugi balon, pierwszy z balonów zacznie się obracać (ryc. 1).

Rurę PCV pocieramy ściereczką (futrem) i zbliżamy ją do jednego z naelektryzowanych balonów – balon jest odpychany (ryc. 2). Elektryzujemy butelkę pocierając ją ściereczką (futrem) i zbliżamy ją do balonu – balon jest przyciągany (ryc. 3). Pokazujemy w ten sposób, że rura PCV i szklana butelka zostały naelektryzowane ładunkami przeciwnych znaków.

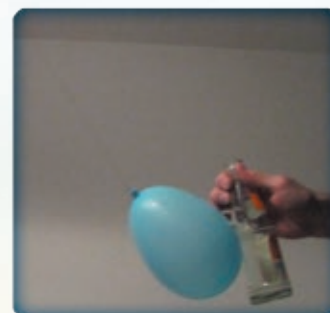
Ryc. 1.



Ryc. 2.



Ryc. 3.



## 2. Elektryzowanie ciał przez uderzenie

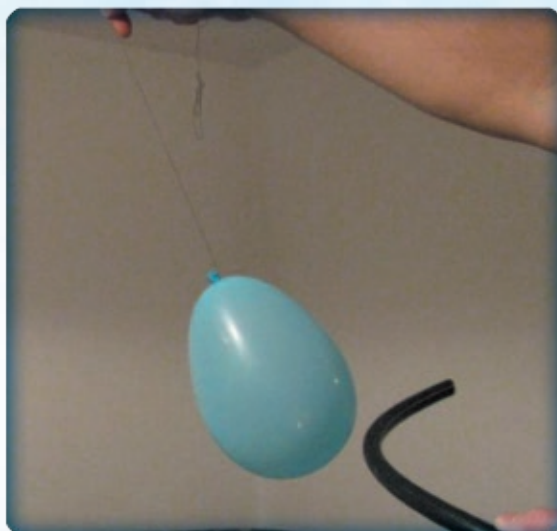
### Materiały:

Nadmuchany balon, nitka, kawałek (ok. 0,5 m) węża igielitowego lub gumowego, ściereczka lniana lub kawałek sztucznego futra.

### Wykonanie:

Do nadmuchiwanego balonu przywiązujemy kawałek nitki i pocieramy balon ściereczką (futrem). Uderzamy kilkakrotnie wężem o podłogę. Gdy zbliżamy wąż do balonu – balon jest przyciągany (ryc. 4).

Ryc. 4.



## 3. Elektryzowanie ciał przez wpływ (indukcję)

### Materiały:

Rura PCV, dostęp do kranu z wodą, ściereczka lniana lub kawałek sztucznego futra.

### Wykonanie:

Elektryzujemy rurę PCV pocierając ją ściereczką (futrem). Odkręcamy kran tak, aby woda płynęła cienkim, ciągłym strumieniem. Gdy zbliżymy naelektryzowaną rurę PCV do strumienia wody jest on odchylany (przyciągany przez rurę).

## 4. Budujemy prosty elektroskop

### Materiały:

Rura PCV, ściereczka lniana lub kawałek sztucznego futra, ołówek, taśma izolacyjna lub taśma klejąca, folia aluminiowa.

#### 4.1. Eksperyment I.

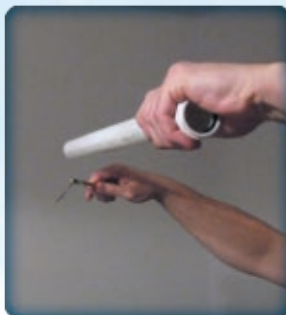
##### Wykonanie:

Wycinamy z folii pasek o szerokości ok. 1 cm i długości ok. 10 cm. Zginamy pasek w połowie długości i zawieszamy go na ołówku (ryc. 5). Elektryzujemy rurę PCV pocierając ją ściereczką (futrem). Gdy zbliżymy naelektryzowaną rurę PCV, od góry lub od dołu, do pasków folii, to rozchylają się one (ryc. 6 i 7) – w ten sposób możemy stwierdzić, że ciało znajdujące się w pobliżu listków jest naelektryzowane (efekt nie zależy od znaku ładunku).

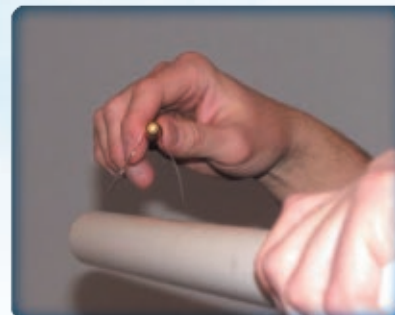
Ryc. 5.



Ryc. 6.



Ryc. 7.



Gdy zbliżymy naelektryzowaną rurę PCV z boku listków, w kierunku rury wychyla się wyraźnie tylko bliższy listek – jest przyciągany przez rurę, dalszy listek jest lekko odpychany (ryc.8).

#### 4.2. Eksperyment II

##### Wykonanie:

Wycinamy z folii dwa paski o szerokości ok. 1 cm i długości ok. 5 cm każdy. Przy pomocy taśmy izolacyjnej łączymy oba paski folii (nie mogą się ze sobą stykać) i zawieszamy tak, jak w poprzednim doświadczeniu na ołówku. Elektryzujemy rurę PCV pocierając ją ściereczką (futrem). Gdy zbliżymy naelektryzowaną rurę PCV od góry lub od dołu do pasków folii, to rozchylają się one podobnie, jak w eksperymencie I. Gdy zbliżymy naelektryzowaną rurę PCV z boku listków w kierunku rury wychylą się tym razem oba listki – bliższy listek mocniej, dalszy słabiej (ryc. 9).

Ryc. 8.



Ryc. 9.





# PRZEWODNIKI I IZOLATORY, ELEKTROLIZA

## 5. Przewodnik czy izolator?

Celem eksperymentu jest sprawdzenie jakie substancje są przewodnikami, a jakie izolatorami.

### Materiały:

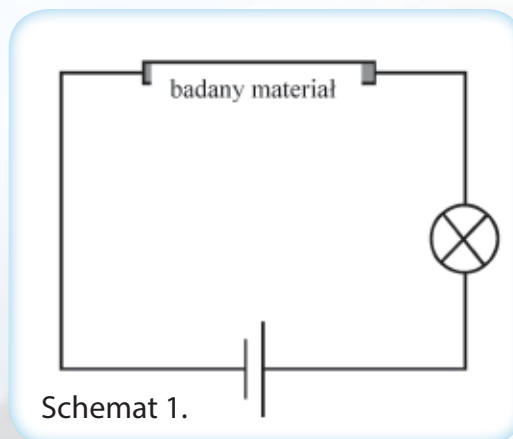
Płaska bateria, przewody, żaróweczka z oprawką, dwa zaciski „krokodylki”, przedmioty wykonane z różnych materiałów – np. ołówek, gwoździe, szklanka, metalowa łyżeczka, słomka do napojów, warzywa, owoce, guma, folia aluminiowa, szklanka itp.

### Wykonanie:

Montujemy obwód przedstawiony na schemacie 1 i rycinach 10, 11 i 12.

Gdy zamykamy obwód (podłączając krokodylki) za pomocą przedmiotu wykonanego z przewodnika (np. gwóźdź, grafit w ołówku) w obwodzie płynie prąd i żarówka świeci. Gdy obwód zamykany jest za pomocą przedmiotu wykonanego z izolatora (np. z drewna, plastiku) w obwodzie nie płynie prąd i żarówka nie świeci się.

Sprawdź, które materiały są przewodnikami, a które izolatorami.



Ryc. 10.



Ryc. 11.



Ryc. 12.



## 6. Czy ciecze przewodzą prąd?

Celem eksperymentu jest sprawdzenie, czy ciecze mogą przewodzić prąd.

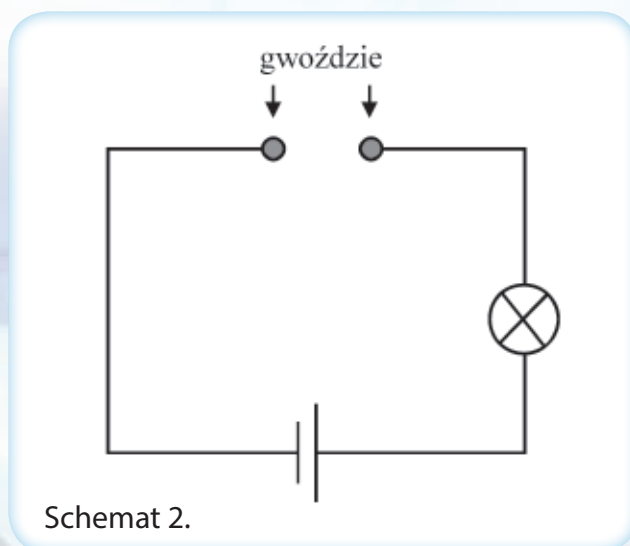
### Materiały:

Płaska bateria, przewody, żaróweczka z oprawką, dwa zaciski „krokodyłki”, dwa gwoździe stalowe, woda demineralizowana, woda z kranu, cukier, sól kuchenna, soki owocowe, coca-cola, mleko i inne napoje, szklanki lub inne pojemniki.

### Wykonanie:

Montujemy obwód przedstawiony na Schemacie 2 i rycinie 13 – gwoździe (elektrody) umieszczamy w szklance, do której nalewać będziemy różne ciecze. Gdy napełnimy szklankę wodą demineralizowaną żaróweczka się nie świeci (ryc. 13) – woda nie przewodzi prądu. Po dodaniu do szklanki łyżeczki soli kuchennej i jej rozpuszczeniu żarówka zaczyna świecić (ryc. 14).

Sprawdź, czy ten sam efekt uzyskamy po dodaniu do wody demineralizowanej cukru.  
Sprawdź, które z pozostałych cieczy przewodzą prąd.



Ryc. 13.



Ryc. 14.



## 7. Elektroliza

Celem eksperymentów jest zademonstrowanie skutków procesów zachodzących na elektrodach na skutek elektrolizy.

### Materiały:

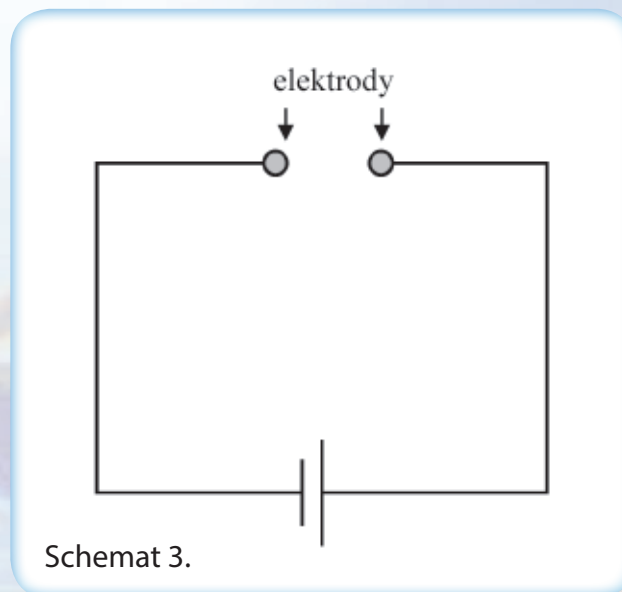
Płaska bateria, przewody, dwa ołówki zaostrome na obu końcach, dwa zaciski „krokodyłki”, dwa gwoździe miedziane, woda z kranu, sól kuchenna, kawałek tektury, szklanka lub inny pojemnik.

### 7.1. Eksperyment I

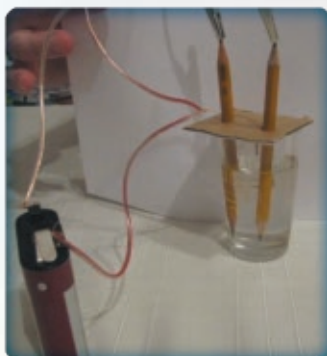
#### Wykonanie:

W szklance przygotowujemy roztwór wody z dodatkiem soli kuchennej. Ołówki mocujemy w kawałku tektury, podłączamy do nich przewody za pomocą krokodyłków i umieszczamy w szklance z roztworem. Montujemy obwód przedstawiony na schemacie 3 i ryc. 15.

Gdy do obwodu włączona jest bateria na grafitowych końcach ołówek zanurzonych w roztworze widoczne są bąbelki gazu (ryc. 16). Taki sam efekt (wydzielanie się gazów na elektrodach) zaobserwujemy, gdy zastąpimy elektrody grafitowe (ołówki) elektrodami miedzianymi – gwoździami (rys. 17 i 18).



Ryc. 15.

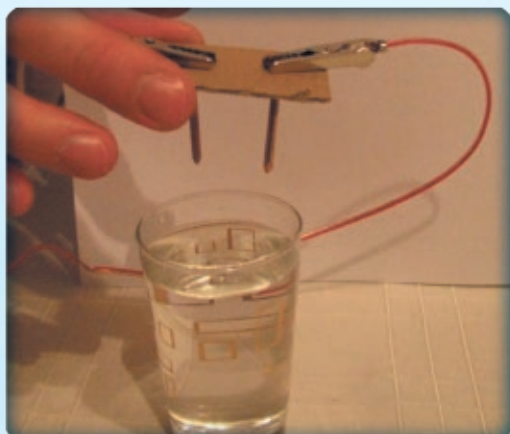


Ryc. 16.





Ryc. 17.



Ryc. 18.



## 7.2. Eksperyment II

### Wykonanie:

W szklance przygotowujemy roztwór wody z dodatkiem soli kuchennej. W kawałku tektury mocujemy gwoździe miedziane (elektrody), podłączamy do nich przewody za pomocą krokodylków i umieszczamy w szklance z roztworem. Montujemy obwód przedstawiony na schemacie 3 i ryc. 15. Po podłączeniu baterii do elektrod pozostawiamy obwód na kilkanaście godzin. Po tym czasie oczyszczamy z osadu tlenków elektrodę podłączoną do dodatniego bieguna baterii (anodę). Widzimy wtedy wyraźnie, że anoda znacznie „schudła” (ryc. 19).

Ryc. 19.



## PROSTUJEMY PRĄD

### 8. Świecąca dioda

Celem eksperymentu jest sprawdzenie, czy dioda może przewodzić prąd w dowolnym kierunku.

#### Materiały:

Płaska bateria, przewody, dioda LED.

#### Wykonanie:

Podłączamy diodę do baterii tak, jak to pokazane zostało na ryc. 20 i 21. Gdy podłączymy dłuższą nóżkę diody do dodatniego bieguna baterii, to dioda świeci – w obwodzie płynie prąd. Gdy dłuższą nóżkę podłączymy do bieguna ujemnego – dioda nie świeci (dioda stanowi przerwę w obwodzie prądu stałego).

Ryc. 20.



Ryc. 21.



## KONTAKTOWA RÓŻNICA POTENCJAŁÓW, ŁĄCZENIE OGNIW

### 9. Ziemniaczana bateria

Celem eksperymentu jest wykazanie istnienia kontaktowej różnicy potencjałów oraz sprawdzenie, ile wynosi siła elektromotoryczna baterii złożonej z kilku ogniw połączonych szeregowo lub równolegle.

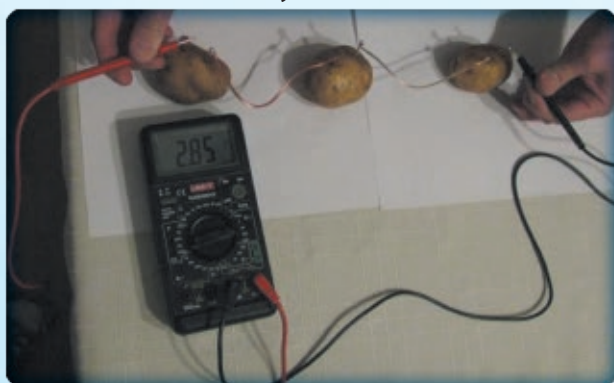
#### Materiały:

Trzy ziemniaki, cytryna, cebula, jabłko, gwoździe miedziane, stalowe, ocynkowane, miernik uniwersalny lub woltomierz, przewody.

#### Wykonanie:

W każdy z trzech ziemniaków wbijamy (w odległości ok. 2 cm) dwa gwoździe – ocynkowany i miedziany. Łączymy dwoma przewodami gwóźdź ocynkowany i miedziany kolejnych ziemniaków (ryc. 22). Gdy przyłożymy końcówki woltomierza do pary gwoździ w każdym z ziemniaków, stwierdzimy, że między gwoździami występuje różnica potencjałów ok. 1 V (ryc. 23).

Ryc. 22.



Ryc. 23.



Sprawdź, czy suma napięć na trzech ziemniakach (połączonych szeregowo) jest równa napięciu pomiędzy pierwszym i ostatnim gwoździem (ryc. 22).

Sprawdź, jaka jest różnica potencjałów pomiędzy gwoździami z różnych metali wbitych w różne warzywa i owoce.

Sprawdź, jakie napięcie można uzyskać łącząc trzy ziemniaczane ogniwa równolegle.

## PRACA I MOC PRĄDU ELEKTRYCZNEGO

Celem tych eksperymentów jest sprawdzenie, jakie czynniki wpływają na moc odbiornika.

### 10. Szeregowe łączenie żarówek

#### Materiały:

Trzy żaróweczki z oprawkami, przewody, płaska bateria.

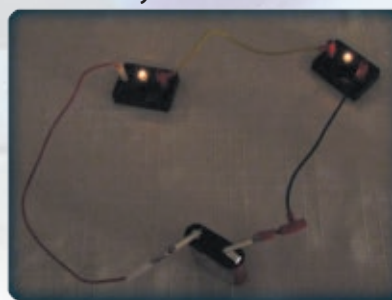
#### Wykonanie:

Łączymy kolejno 1, 2 i 3 żaróweczki szeregowo z baterią (ryc. 24, 25 i 26). Obserwujemy, że im więcej podłączonych do baterii żarówek, tym mniej intensywnie one świecą.

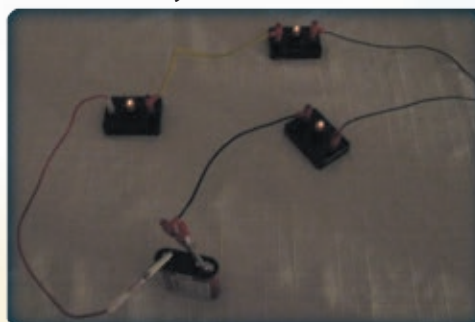
Ryc. 24.



Ryc. 25.



Ryc. 26.





## 11. Kiedy żarówka jaśniej świeci?

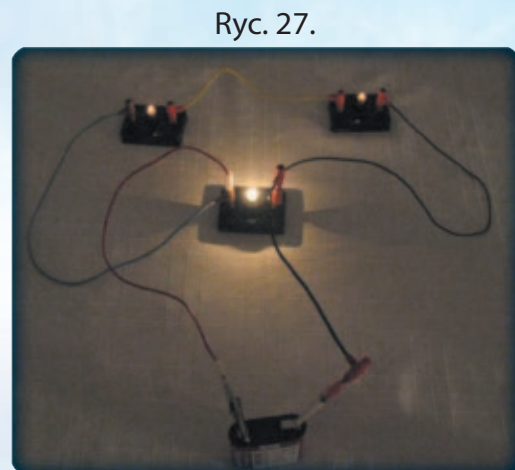
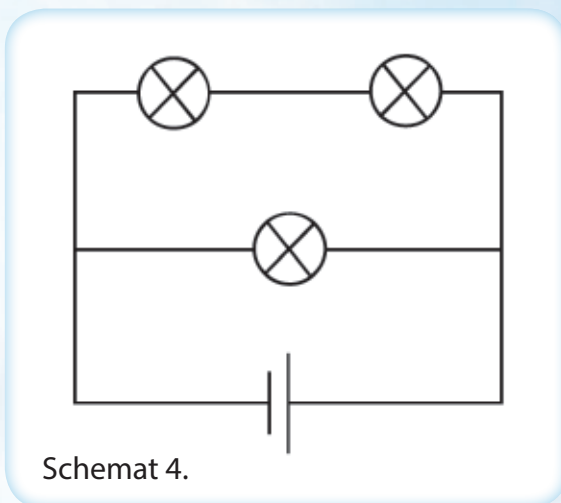
### Materiały:

Trzy żaróweczki z oprawkami, przewody, płaska bateria.

### Wykonanie:

Montujemy układ zgodnie ze schematem 4 i ryc. 27. Zwróć uwagę na to, które z żarówek świecą jaśniej.

Sprawdź, co się stanie, gdy połączymy równolegle tylko dwie żarówki.



## ODDZIAŁYWANIA MAGNETYCZNE

Celem tych eksperymentów jest zaprezentowanie oddziaływań magnetycznych.

## 12. Oszukać kompas

### Materiały:

Kompas, magnes.

### Wykonanie:

Sprawdź przy pomocy kompasu gdzie jest kierunek północny. Następnie powoli, z dużej odległości zbliżaj magnes do kompasu z różnych stron. Jak widzisz bardzo łatwo jest „oszukać” kompas umieszczając go w odpowiednio silnym polu magnetycznym – możesz skierować igłę kompasu w dowolnym kierunku.

### 13. Magnetyczna lewitacja

#### Materiały:

Kilka magnesów pierścieniowych, ołówek lub plastikowa rurka o średnicy trochę mniejszej od wewnętrznej średnicy magnesów.

#### Wykonanie:

Nakładamy dwa lub więcej magnesów na ołówek tak, aby skierowane były do siebie takimi samymi lub różnymi biegunami. Obserwujemy, że jednoimienne bieguny magnetyczne odpychają się, a różnoimienne się przyciągają (ryc. 28). Gdy dwa magnesy skierowane są do siebie przeciwnymi biegunami, magnes wyżej położony lewituje – unosi się bez kontaktu z magnesem znajdującym się poniżej (ryc. 28 i 29).

Ryc. 28.



Ryc. 29.



## WZBUDZANIE PRĄDU INDUKCYJNEGO

### 14. Prąd indukcyjny

Celem eksperymentu jest zaprezentowanie jednego ze sposobów wzbudzania prądu indukcyjnego.

#### Materiały:

Magnes o wydłużonym kształcie (może być magnes sztabkowy lub kilka połączonych neodymowych magnesów walcowych), zwojnica, przewody, miernik uniwersalny lub miliamperomierz.

#### Wykonanie:

Podłączamy miliamperomierz do zwojnicy (ryc. 30). Szybkim ruchem wsuwamy i wysuwamy magnes ze zwojnicy. W czasie ruchu magnesu w obwodzie płynie prąd – gdy zmienia się kierunek ruchu magnesu, zmienia się kierunek przepływu prądu (ryc. 30 i 31).

Sprawdź, co się stanie, gdy magnes pozostanie nieruchomy, a zamiast tego będziesz poruszał zwojnicą.

Ryc. 30.



Ryc. 31.



## 15. Generator prądu

Celem eksperymentu jest zademonstrowanie zasady działania generatora prądu i prostujących właściwości diody.

### Materiały:

Zestaw dla dzieci „Wirujący generator prądu” firmy 4M, w skład którego wchodzi:

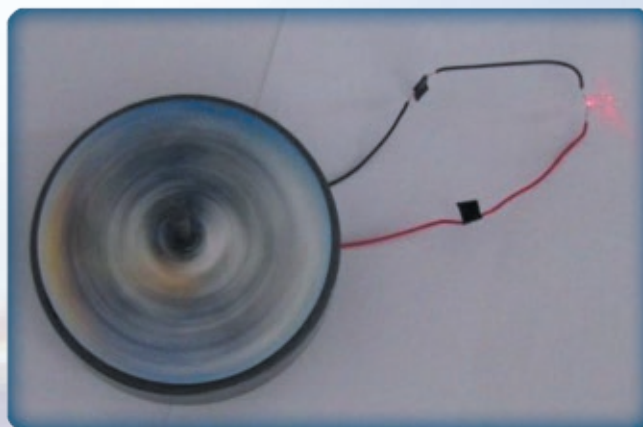
- bączek z trzema magnesami umieszczonymi symetrycznie,
- platforma, na której wiruje bączek,
- cewka umieszczona pod platformą w taki sposób, że magnesy znajdujące się na bączku w czasie obrotu przemieszczają się nad cewką,
- dioda LED z przewodami.

### Wykonanie:

Po zmontowaniu zestawu wprawić bączek w ruch na platformie. Gdy bączek wiruje odpowiednio szybko – dioda świeci (ryc. 32), ale świecenie nie jest ciągłe – dioda miga.

Sprawdź, od czego zależy częstotliwość mrugania diody – wyjaśnij powstawanie tego efektu.

Ryc. 32.



## ŹRÓDŁA PÓL MAGNETYCZNYCH

## 16. Skąd się bierze pole magnetyczne?

Celem eksperymentu jest zademonstrowanie, że przepływ prądu elektrycznego powoduje powstanie pola magnetycznego.

### Materiały:

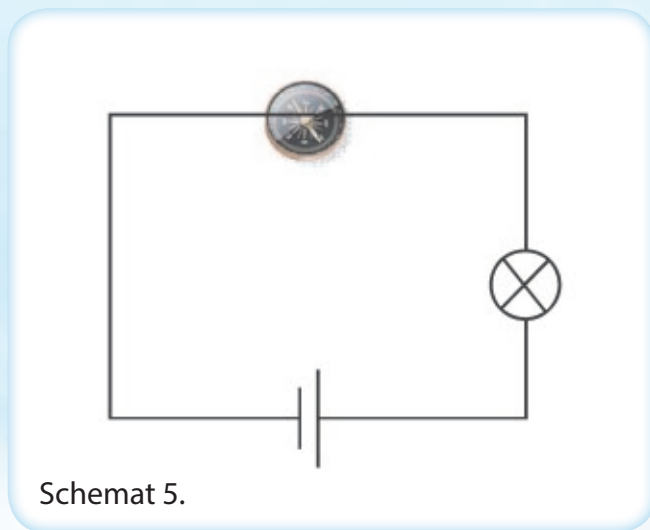
Kompas, przewody, płaska bateria, żaróweczka z oprawką.

### Wykonanie:

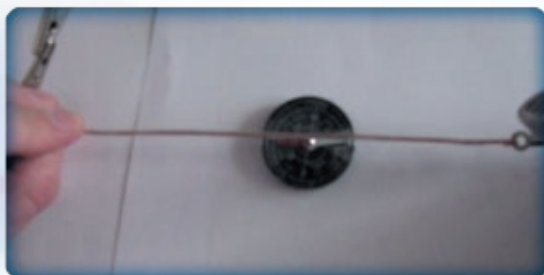
Zbuduj prosty obwód według schematu 5 tak, aby przewód w jednym z fragmentów obwodu tworzył linię prostą. Przed podłączeniem baterii ustaw pod prostoliniowym przewodem kompas tak, aby przewód ustawiony był w tym samym kierunku, co igła kompasu (ryc. 33). Gdy



dołączymy do obwodu baterię, igła kompasu wychyli się (ryc. 34). Jeżeli zmienimy kierunek przepływu prądu w obwodzie (zamieniając bieguny baterii, do których podłączone są przewody) zmieni się kierunek wychylenia igły kompasu (ryc. 35).



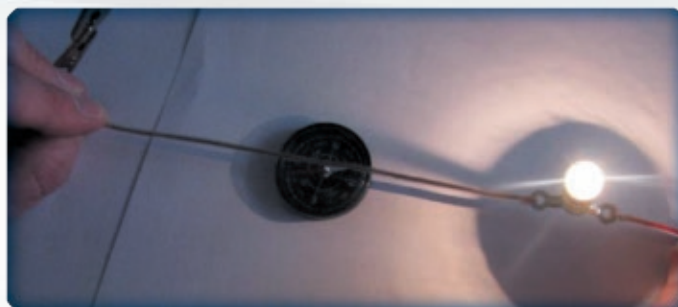
Ryc. 33.



Ryc. 34.



Ryc. 35.



# WPŁYW POLA MAGNETYCZNEGO NA PRZEWODNIK Z PRĄDEM

## 17. Siła elektrodynamiczna

Celem eksperymentu jest zademonstrowanie istnienia siły elektrodynamicznej.

### Materiały:

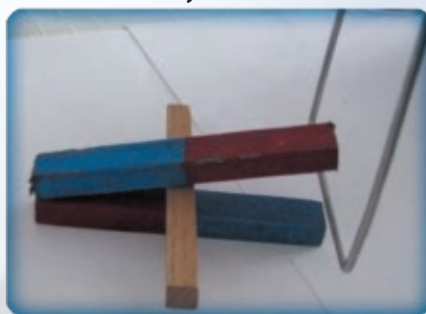
Dwie płaskie baterie, przewody, pręt stalowy, ramka z drutu aluminiowego, dwa magnesy sztabkowe lub magnesy podkowiasty, statyw.

### Wykonanie:

Zawieszamy lekką ramkę aluminiową na pręcie stalowym (lub wykonanym z innego materiału) zamocowanym na statywie tak, aby mogła się swobodnie wychylać. Łączymy baterie szeregowo (należy połączyć biegun dodatni jednej baterii z biegunem ujemnym baterii drugiej). Podłączamy przewody do obu końców ramki. Umieszczamy dolną krawędź ramki między biegunami magnesu (ryc. 36). Po włączeniu do obwodu baterii ramka odchyli się (ryc. 37). Zmiana kierunku przepływu prądu powoduje wychylenie ramki w przeciwną stronę (ryc. 38).

Co stanie się, gdy zmienimy bieguny magnesu?

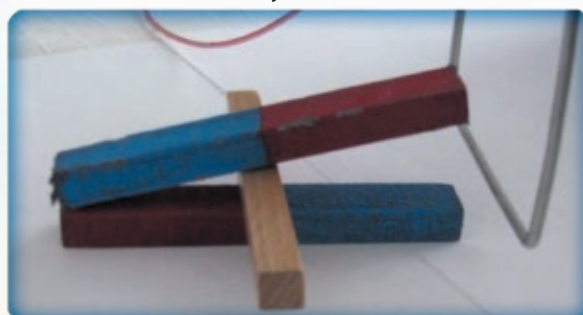
Ryc. 36.



Ryc. 37.



Ryc. 38.



## LINIE POLA MAGNETYCZNEGO

### 18. Badanie linii pola magnetycznego

Celem eksperymentu jest zbadanie kształtu linii pola magnetycznego.

#### Materiały:

Kompas, dwa magnesy.

#### Wykonanie:

Ustawiamy dwa magnesy (przeciwnymi biegunami) naprzeciw siebie tak, aby pomiędzy nimi znajdował się kompas. Starając się zachować wzajemne położenie pomiędzy magnesami przesuwamy je względem nieruchomego kompasu. Ponieważ igła kompasu ustawia się stycznie do linii pola, możemy sprawdzić, jaki jest kształt linii w różnych miejscach w pobliżu magnesów (ryc. 39, 40, 41).

Ryc. 39.



Ryc. 40.



Ryc. 41.



Wykonaj takie samo doświadczenie ustawiając magnesy jednakowymi biegunami do siebie.



## PRĄDY WIROWE

### 19. Magiczna rurka

Celem eksperymentu jest zademonstrowanie powstawania prądów wirowych i sprawdzenie reguły Lenza.

#### Materiały:

Rurka miedziana o długości ok. 1 m, kulka stalowa o średnicy mniejszej niż wewnętrzna średnica rurki, neodymowe magnesy walcowe o średnicy wyraźnie mniejszej niż wewnętrzna średnica rurki.

#### Przebieg eksperymentu:

Ustawiamy rurkę pionowo i wrzucamy do jej wnętrza kulkę stalową. Następnie wrzucamy do rurki magnesy. Porównaj czas przelotu przez rurkę kulki i magnesów.

## MAGNETYCZNE WŁAŚCIWOŚCI MATERII

### 20. Budujemy elektromagnes

Celem eksperymentu jest skonstruowanie prostego elektromagnesu.

#### Materiały:

Płaska bateria, długi zaizolowany przewód (ok. 1 m), pręt stalowy, np. sporych rozmiarów śruba, opiłki żelaza, taśma izolacyjna.

#### Wykonanie:

Nawijamy przewód na śrubę i mocujemy kawałkami taśmy izolacyjnej (ryc. 42). Końce przewodu podłączamy do baterii. Zbliżyliśmy koniec śruby do opiłków. Koniec śruby przyciąga opiłki żelaza (ryc. 43). Gdy odłączymy baterię większość opiłków odpada od śruby (ryc. 44).

Ryc. 42.



Ryc. 43.



Ryc. 44.



## PRAWO OHMA, PRAWA KIRCHHOFFA

Celem eksperymentów jest wykazanie istnienia oraz wyznaczenie oporu wewnętrznego ogniwa, a także wyznaczenie SEM ogniwa.

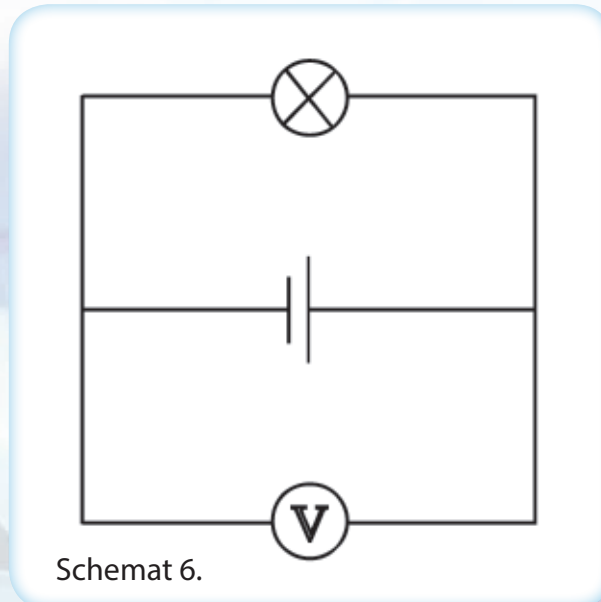
### 21. Opór wewnętrzny ogniwa

#### Materiały:

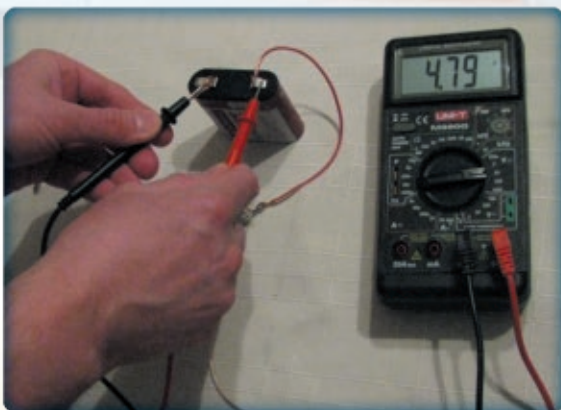
Płaska bateria, przewody, miernik uniwersalny lub woltomierz, miernik uniwersalny lub amperomierz, kilka różnych oporników o znanych oporach, żaróweczka z oprawką.

#### 21.1. Eksperyment I.

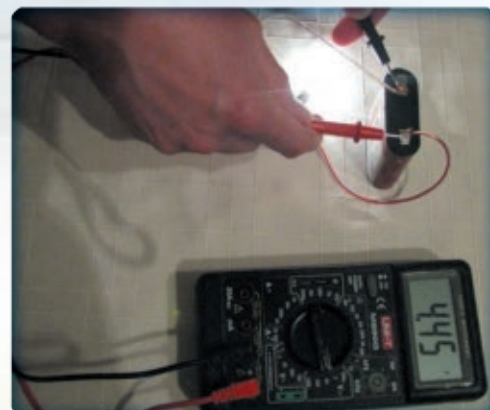
Mierzmy napięcie pomiędzy biegunami baterii, która nie jest podłączona do obwodu (ryc. 45). Następnie montujemy obwód według schematu 6 i ponownie powtarzamy pomiar napięcia pomiędzy biegunami baterii (ryc. 46). Obserwujemy, że napięcie jest mniejsze, gdy przez baterię płynie prąd.



Ryc. 45.



Ryc. 46.



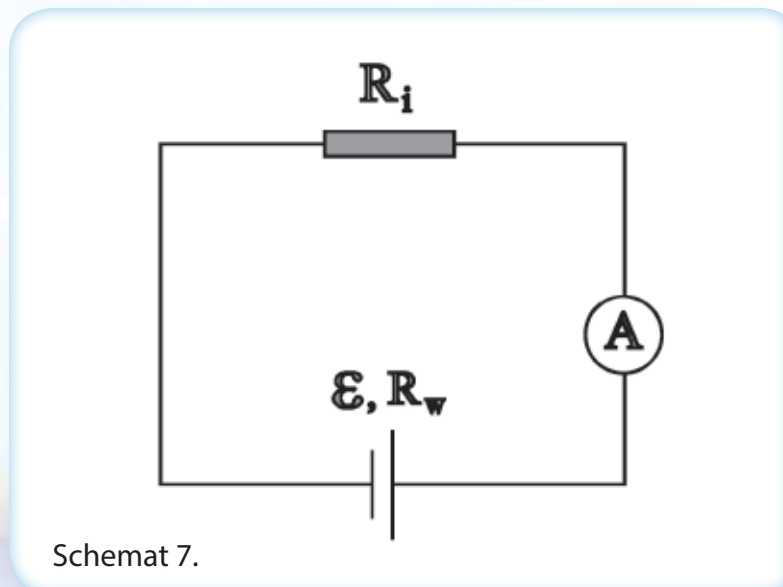
## 21.2. Eksperyment II

### Wykonanie:

Montujemy obwód według schematu 7 wykorzystując jeden z oporników o oporze  $R_1$  i mierzymy natężenie prądu płynącego w obwodzie  $I_1$ . Następnie zmieniamy opornik (na ten o oporze  $R_2$ ) mierzymy natężenie  $I_2$  – nie należy stosować dwóch oporników o zbliżonych oporach. Obliczamy SEM  $\varepsilon$  i opór wewnętrzny  $R_w$  baterii korzystając ze wzorów:

$$\varepsilon = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}$$

$$R_w = \frac{(R_2 I_2 - R_1 I_1)}{I_1 - I_2}$$



Schemat 7.



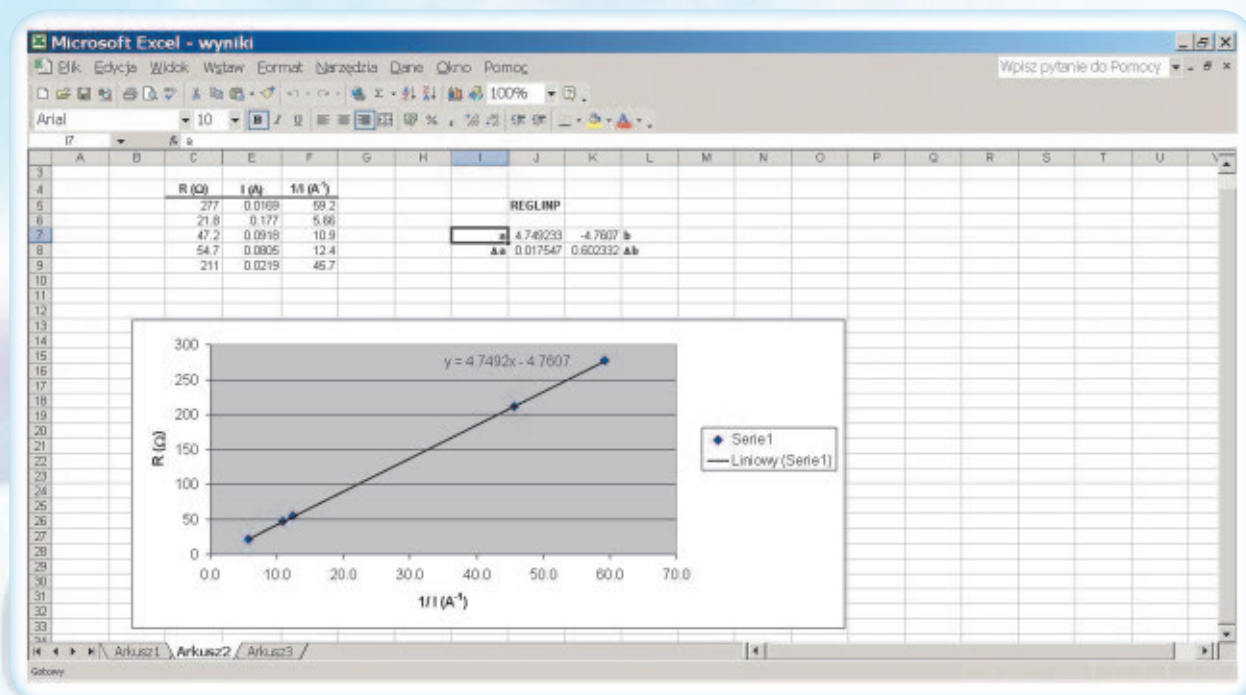
### 21.3. Eksperyment III

Powtarzamy pomiary z eksperymentu II dla kilku oporów  $R_r$ , mierząc natężenia prądu  $I_i$ . Sporządzamy wykres zależności  $R_i = f(1/I_i)$  – jest to zależność liniowa:

$$R_i = \varepsilon \cdot \frac{1}{I_i} - R_w$$

Współczynnik kierunkowy tej prostej jest równy  $\varepsilon$ , a wyraz wolny jest równy  $-R_w$ . Do sporządzenia wykresu można wykorzystać arkusz kalkulacyjny Excel – dodanie do wykresu liniowej linii trendu z opcją „Wyświetl równanie na wykresie” daje możliwość odczytania współczynników prostej.

Jeżeli dodatkowo chcemy mieć informację o dokładności wyznaczenia współczynników prostej powinniśmy zastosować tablicową funkcję REGLINP (korzystającą przy dopasowaniu z metody najmniejszych kwadratów) – poniżej przykładowy arkusz z obliczeniami:



Przy podaniu wyników pamiętaj o odpowiednim ich zaokrągleniu. Na podstawie danych przedstawionych w arkusz można stwierdzić, że opór wewnętrzny badanej baterii jest równy  $(4,8 \pm 0,6) \Omega$ , a jej SEM wynosi  $(4,75 \pm 0,02) \text{ V}$ .

### 22. Wyznaczanie oporu opornika, sprawdzanie prawa Ohma

Celem eksperymentów jest sprawdzenie prawa Ohma oraz wyznaczenie oporu opornika.

#### Materiały:

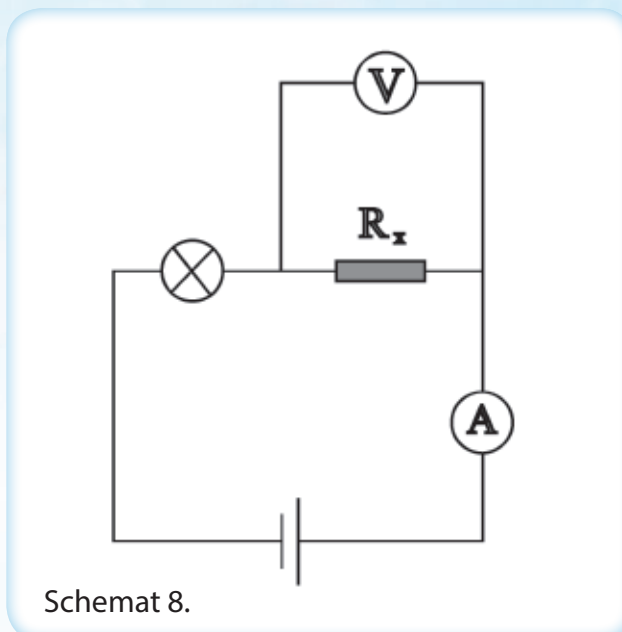
Płaska bateria, przewody, miernik uniwersalny lub woltomierz, miernik uniwersalny lub amperomierz, żaróweczka z oprawką, kilka oporników, których oporów nie musimy znać.

### 22.1. Eksperyment I

Montujemy obwód według schematu 8. Mierzmy spadek napięcia  $U$  na badanym oporze  $R_x$  i natężenie prądu płynącego w obwodzie  $I$ . Obliczamy opór  $R_x$  opornika korzystając ze wzoru:

$$R_x = \frac{U}{I}.$$

Dokładność, z jaką został wyznaczony opór  $R_x$ , można oszacować korzystając z metody NKP (najmniej korzystnego przypadku).

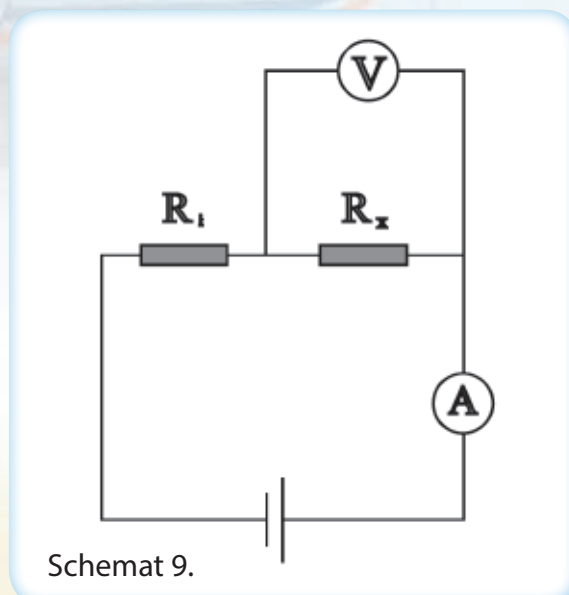


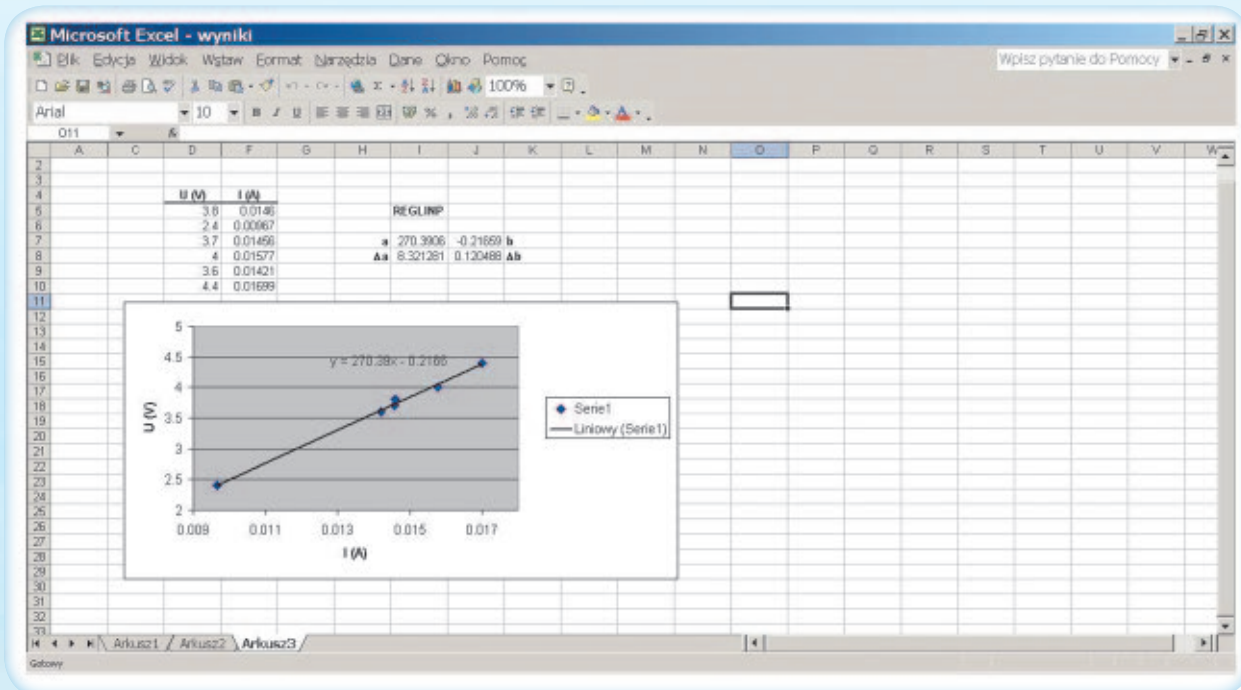
### 22.2. Eksperyment II

Montujemy obwód według schematu 9. Podłączamy do obwodu oporniki o różnych oporach  $R_i$  (nie musimy ich znać). Mierzmy spadek napięcia  $U_{xi}$  na badanym oporze  $R_x$  i natężenie prądu płynącego w obwodzie  $I_i$ . Sporządzamy wykres zależności  $U_{xi} = f(I_i)$  – jeżeli opór opornika jest stały, to jest to zależność liniowa:

$$U_{xi} = R \cdot I_i$$

Współczynnik kierunkowy tej prostej jest równy  $R_x$ . Do sporządzenia wykresu można wykorzystać arkusz kalkulacyjny Excel – dodanie do wykresu linii trendu z opcją „Wyświetl równanie na wykresie” daje możliwość odczytania współczynnika kierunkowego prostej. Jeżeli dodatkowo chcemy mieć informację o dokładności wyznaczenia współczynników prostej powinniśmy skorzystać z tablicowej funkcji REGLINP (wykorzystuje ona przy dopasowaniu metodę najmniejszych kwadratów) – na stronie obok przykładowy arkusz z obliczeniami:





Przy podaniu wyników pamiętaj o odpowiednim ich zaokrągleniu. Na podstawie danych przedstawionych w arkuszu można stwierdzić, że opór  $R_x$  badanego opornika jest równy  $(270 \pm 9) \Omega$ .

## ŁĄCZENIE OPORÓW - OPÓR ZASTĘPCZY

Celem eksperymentów jest wyznaczenie oporów dwóch oporników oraz sprawdzenie wzorów pozwalających obliczyć opór zastępczy oporników połączonych szeregowo i równolegle.

### 23. Opór zastępczy układu oporników

#### Materiały:

Bateria płaska, przewody, miernik uniwersalny lub woltomierz, miernik uniwersalny lub amperomierz, żaróweczka z oprawką, dwa oporniki.

#### Wykonanie:

Montujemy obwód według schematu 10 i wyznaczamy opór  $R$  każdego z dwóch oporników mierząc spadek napięcia na oporze  $U$  oraz natężenie prądu  $I$  – korzystamy ze wzoru:

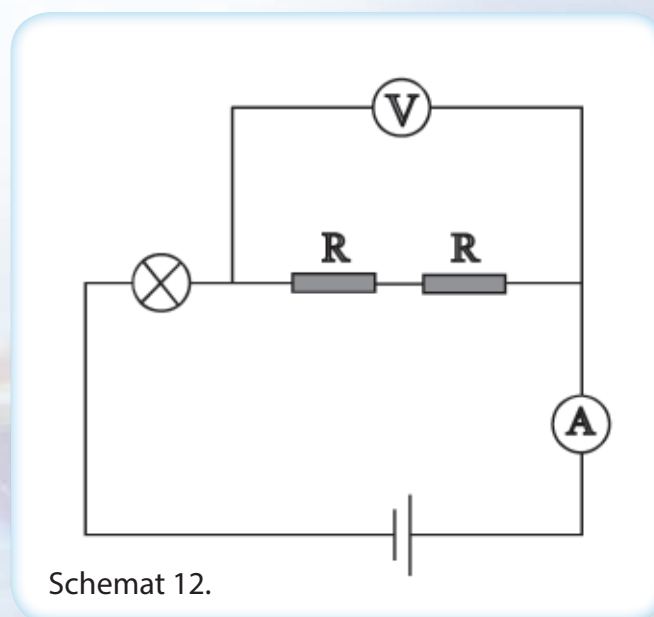
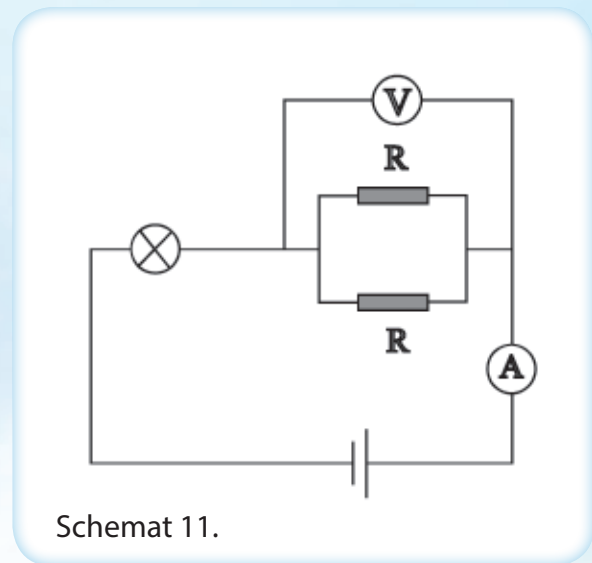
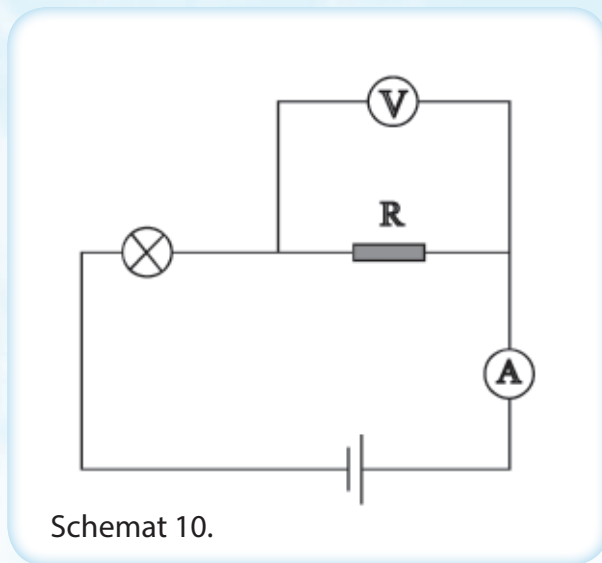
$$R = \frac{U}{I}$$

Łączymy obwód według schematu 11, w którym oba oporniki połączone są równolegle i mierzymy spadek napięcia na obu opornikach  $U$  oraz natężenie prądu  $I$ , w celu wyznaczenia oporu zastępczego układu oporników.

Łączymy obwód według schematu 12, w którym oba oporniki połączone są szeregowo i ponownie mierzymy spadek napięcia na obu opornikach  $U$  oraz natężenie prądu  $I$ , a następnie wyznaczamy opór zastępczy układu oporników.



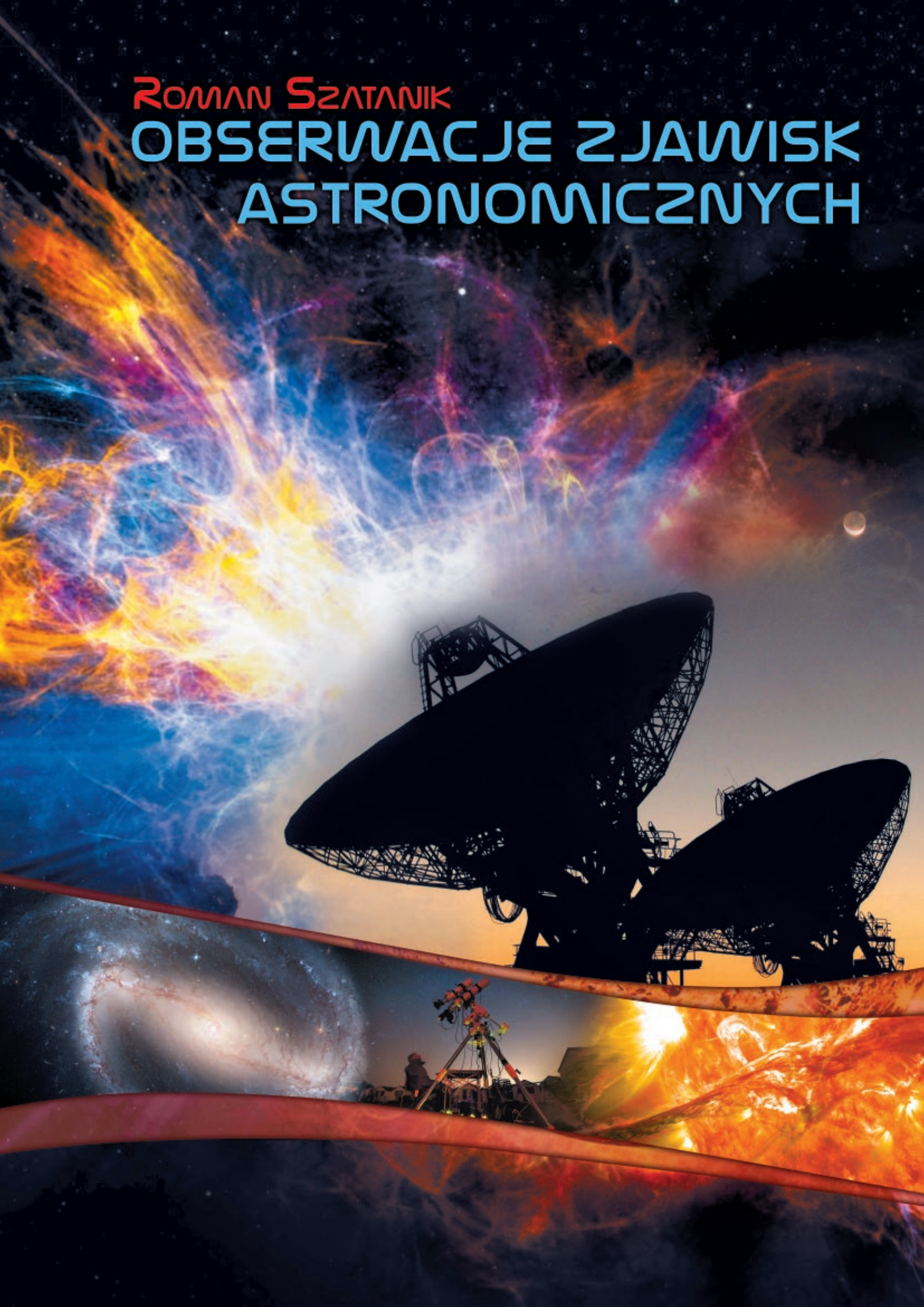
Sprawdź, czy wyniki pomiarów oporu w obwodzie 11 i 12 są zgodne z regułami obliczania oporu zastępczego oporników połączonych równoległe i szeregowo.





ROMAN SZTANIK

# OBSERWACJE ZJAWISK ASTRONOMICZNYCH







# VII. OBSERWACJE ZJAWISK ASTRONOMICZNYCH

**Cele:** Orientacja na sferze niebieskiej poprzez identyfikację znajdujących się na niej obiektów. Przeprowadzenie prostych obserwacji niektórych zjawisk astronomicznych oraz ich wyjaśnienie na podstawie posiadanej wiedzy. Zrozumienie, poprzez wykonanie odpowiednich doświadczeń, wpływu atmosfery ziemskiej na powstawanie zjawisk na sferze niebieskiej.

## Plan pracy:

- Sfera niebieska i jej pozorny ruch obrotowy, gwiazdozbiory.
- Atmosfera ziemska, zjawiska powstające podczas przechodzenia światła przez atmosferę.
- Słońce, aktywność słoneczna.
- Eksperymenty fizyczne:
  - orientacja na sferze niebieskiej,
  - orientacja w terenie – wyznaczenie punktów kardynalnych na horyzoncie, czyli punktu północy, południa oraz punktów wschodu i zachodu,
  - obserwacja szczegółów na tarczy Księżyca,
  - czy Księżyc zmienia swe rozmiary?
  - obserwacja zjawiska „migotania” gwiazd,
  - obserwacja plam słonecznych,
  - bieg promieni świetlnych w ośrodku niejednorodnym.

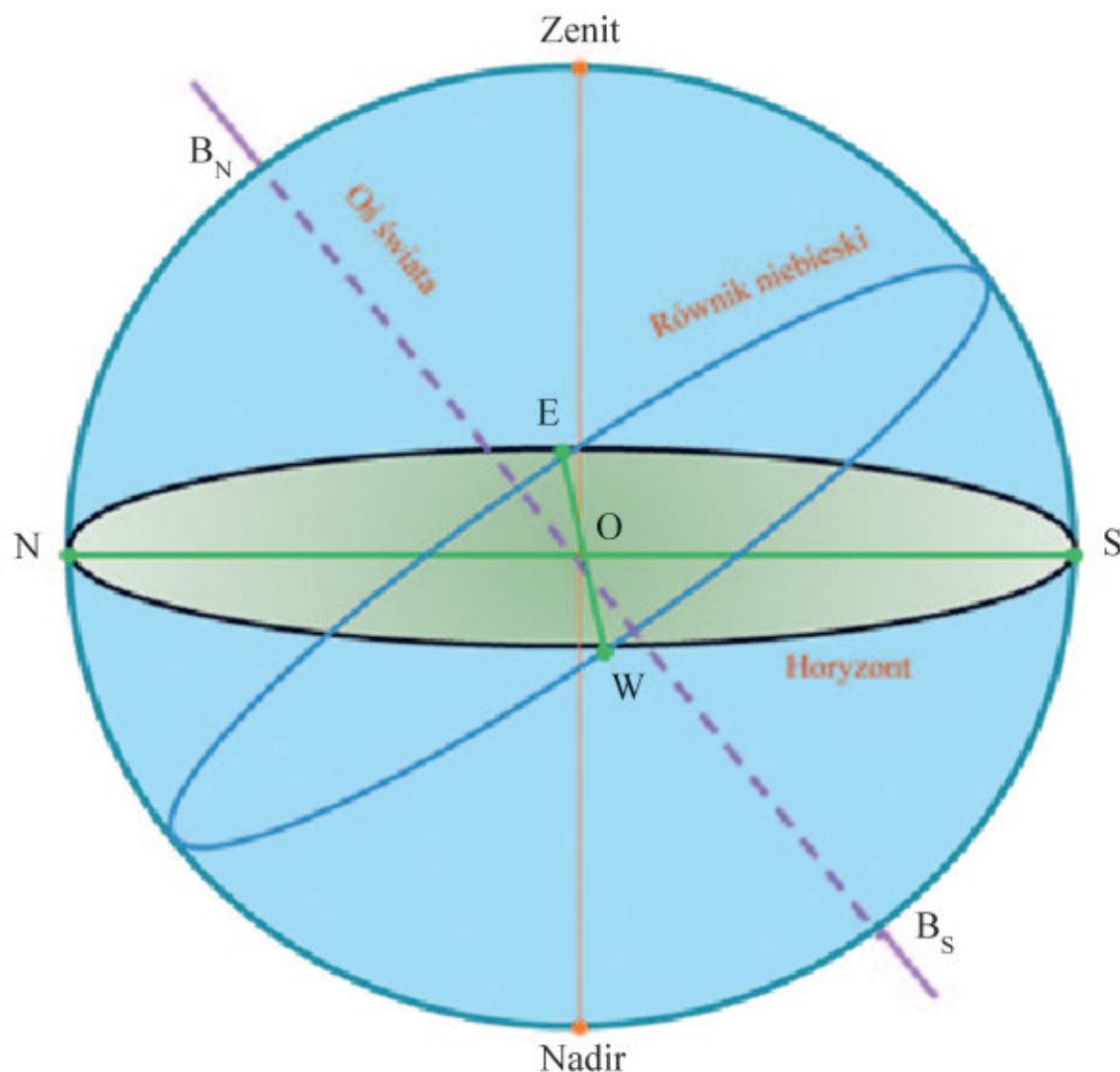
## Najważniejsze pojęcia:

**Sfera niebieska** – fikcyjna kula o dowolnym promieniu otaczająca obserwatora znajdującego się w danym miejscu obserwacji na Ziemi.

Charakterystyczne punkty na sferze niebieskiej:

- zenit – punkt znajdujący się na sferze niebieskiej dokładnie nad głową obserwatora (O) jako przedłużenie linii pionu do góry,
- nadir – punkt znajdujący się na sferze niebieskiej po przeciwnej stronie zenitu,
- horyzont – płaszczyzna prostopadła do linii zenit–nadir, styczna do kulistej powierzchni Ziemi w miejscu obserwatora,
- biegun północny ( $B_N$ ) i południowy ( $B_S$ ), punkty przez które przechodzi fikcyjna linia zwana osią świata (przedłużenie osi obrotu Ziemi),
- punkt północy (N) – punkt na linii horyzontu leżący pod biegunem północnym,
- punkt południa (S) – punkt na linii horyzontu leżący dokładnie naprzeciw punktu północy,

- punkty wschodu (E) i zachodu (W) – punkty na horyzoncie leżące na linii prostopadłej do prostej przechodzącej przez punkty N i S.



Punkty: północy, południa, wschodu i zachodu wyznaczają **strony świata**, przy ich pomocy orientujemy się na Ziemi.

**Gwiazdozbiory (konstelacje gwiazdne)** – to ściśle ograniczony fragment nieba, który obejmuje wyraźną grupę gwiazd.

**Atmosfera ziemska** – gazowa powłoka, która otacza Ziemię. Warstwy gazu utrzymywane są przy powierzchni Ziemi dzięki sile grawitacji.

**Światło widzialne** – promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu długości fal od 400 do 700nm, na które reaguje siatkówka oka dając wrażenie widzenia. Jest mieszaniną barw: od fioletowej, której odpowiada najmniejsza długość fali, do ciemnoczerwonej – o największej długości fali.

**Absorpcja światła** – to inaczej pochłanianie światła w czasie jego przechodzenia przez ośrodek materialny. W wyniku absorpcji następuje zmniejszenie natężenia światła, ponieważ część



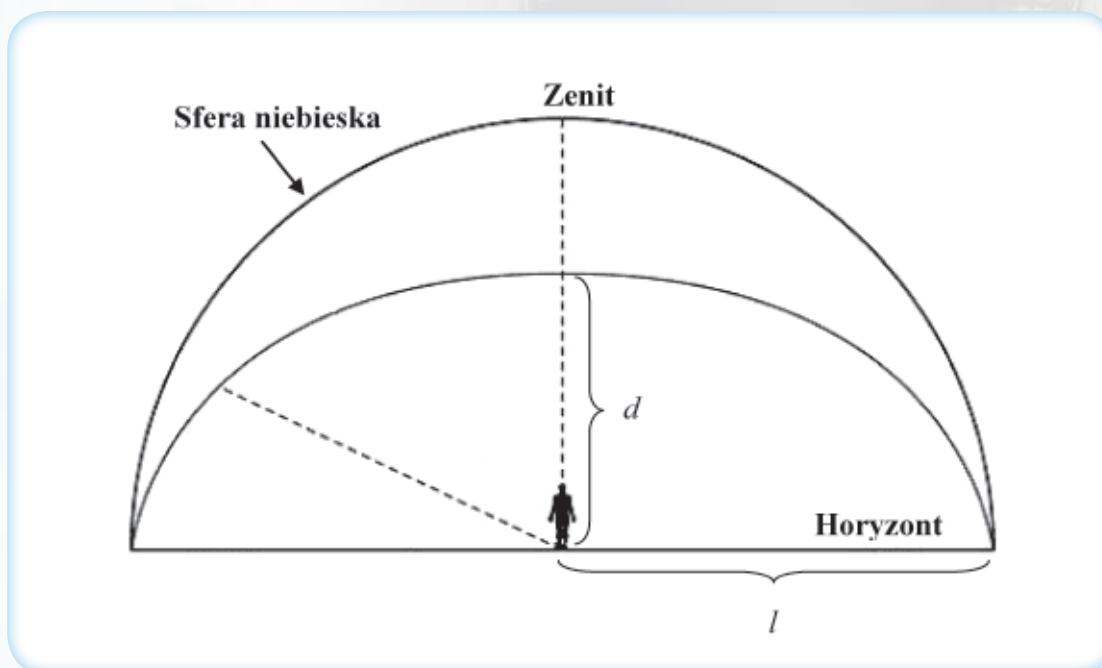
jego energii zamienia się w inne formy energii, np. energię wzbudzenia lub jonizacji atomów i cząsteczek ośrodka materialnego. Absorpcja światła zależy od długości fali świetlnej (barwy światła) oraz od gęstości ośrodka.

**Rozpraszanie światła** – zjawisko rozchodzenia się światła w różnych kierunkach w wyniku odbicia (oddziaływania) od cząsteczek ośrodka materialnego, w którym światło się rozchodzi. Rozpraszanie światła wywołuje złudzenie świecenia ośrodka.

**Refrakcja światła (załamanie światła)** – zjawisko polegające na zmianie kierunku rozchodzenia się światła w ośrodkach o zróżnicowanej gęstości (ośrodkach niejednorodnych), np. przy przechodzeniu przez warstwy powietrza w atmosferze. Wielkością, która decyduje o tym, jak bardzo światło zmienia swój kierunek rozchodzenia podczas przechodzenia do innego ośrodka jest współczynnik załamania światła.

## SFERA NIEBIESKA I JEJ POZORNY RUCH OBROTOWY, GWIAZDOZBIORY

Wiemy od dawna, że gwiazdy, planety, a także Słońce i Księżyc, są rozmieszczone w przestrzeni w różnych odległościach od Ziemi. Jednak nie mając możliwości bezpośredniego stwierdzenia różnic w tych odległościach, ulegamy złudzeniu jakby wszystkie ciała niebieskie znajdowały się w jednakowej odległości od Ziemi, na wewnętrznej powierzchni pewnej sfery, w środku której znajduje Ziemia. Sferę niebieską postrzegamy jednakże nie jako sferyczną czaszę, lecz jako spłaszczoną kopułę, której wysokość  $d$  w zenicie jest około dwa razy mniejsza od promienia horyzontu  $l$ .

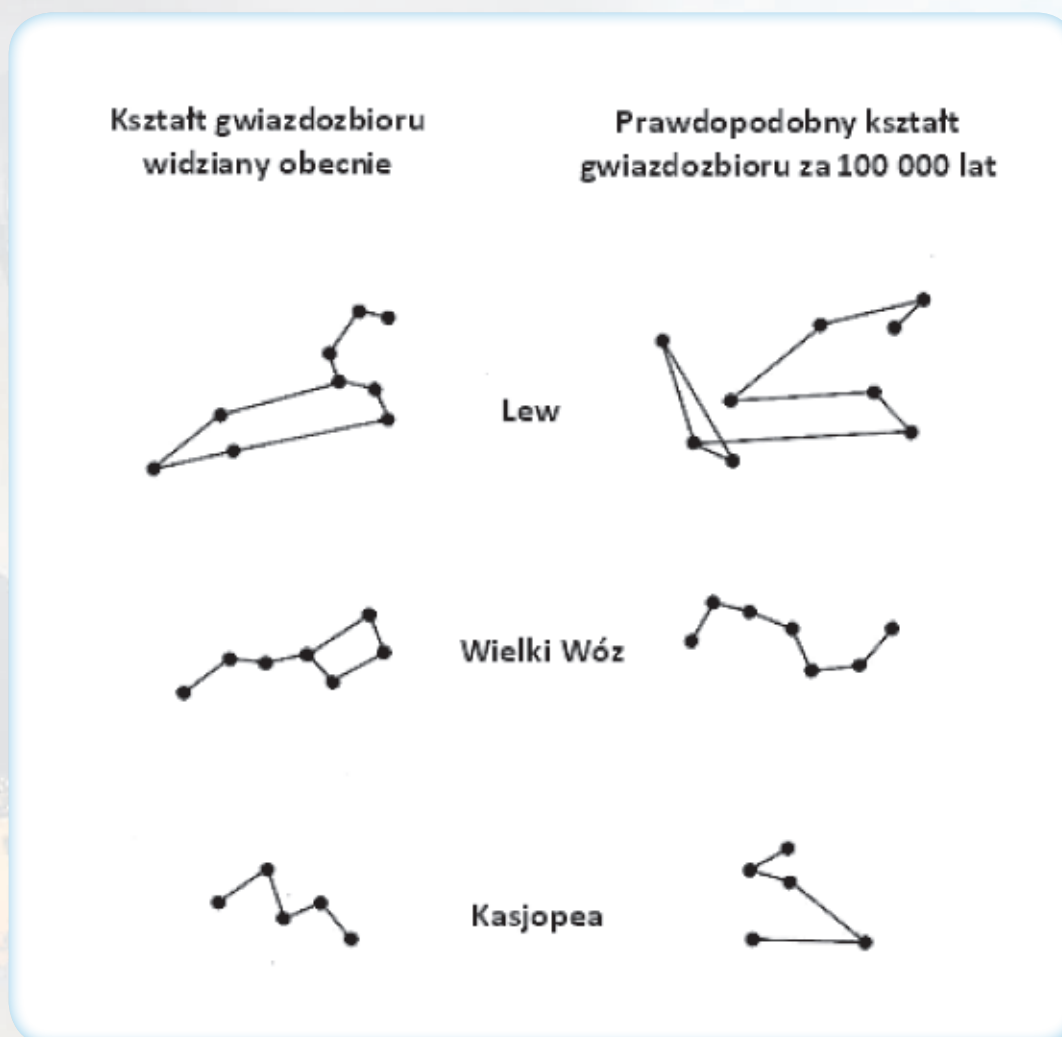


Wiemy również, że Ziemia wiruje wokół własnej osi, jednakże wydaje nam się, jakby olbrzymia, pusta w środku kula wraz ze wszystkimi ciałami niebieskimi obracała się nad nami ze wschodu na zachód tzn. w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu Ziemi. Widowym skutkiem tego dobowego ruchu nieba są następstwa dnia i nocy, wschody i zachody Słońca, Księżycy i gwiazd.

Pomimo, że są to tylko złudzenia, to jednak współcześni astronomowie, podobnie jak wieki temu, dalej posługują się pojęciem sfery niebieskiej, ponieważ umożliwia ona łatwe określenie położenia gwiazd i galaktyk oraz wyznaczanie torów Słońca, Księżycy i planet na niebie w ciągu roku.

Położenie jakiegoś miejsca na Ziemi można określić, podając jego długość i szerokość geograficzną. Jednak znacznie prościej jest podać kraj, w którym to miejsce się znajduje. Tak jest również w przypadku orientacji na sferze niebieskiej w celu odnajdywania na niej interesujących nas ciał niebieskich. Np. informacja, że gwiazda o nazwie Betelgeza ma współrzędne równikowe:  $\lambda=+7^{\circ}24'$  i  $\alpha=5^{\text{h}}55,2^{\text{m}}$  trudno zapamiętać i tym samym odnaleźć taką gwiazdę na nocnym niebie. Łatwiej będzie, jeśli powiemy, że gwiazda ta świeci w gwiazdozbiornie Oriona. Tak więc, jeśli nauczymy się rozpoznawać chociaż kilkanaście najjaśniejszych **gwiazdozbiorów** to ułatwi nam to orientację na sferze niebieskiej.

Gwiazdy w gwiazdozbiornach w znacznej większości nie są ze sobą w żaden sposób powiązane. W obrębie gwiazdozbiornu gwiazdy znajdują się względem nas w różnych – niekiedy bardzo dużych – odległościach, poruszają się w różnych kierunkach z różnymi prędkościami, dlatego kształty gwiazdozbiornów ulegają zmianie w miarę upływu czasu.



Prawdopodobna zmiana kształtów kilku najbardziej znanych gwiazdozbiornów w miarę upływu czasu.

Prawdopodobnie pierwsze kształty i nazwy gwiazdozbiorów powstały w Egipcie ok. 13000 lat p.n.e. Początkowo gwiazdozbiorem nazywano grupę jasnych gwiazd, które nasi przodkowie utożsamiali w swoich wyobrażeniach z kształtami różnych postaci, zwierząt i rzeczy. Różne figury i wzory na niebie odzwierciedlały wierzenia, sceny z życia dawnych bogów i ludzi, życiowe potrzeby i czynności człowieka. Stąd przeróżne nazwy gwiazdozbiorów: Wielka Niedźwiedzica, Wielki Pies, Warkocz Bereniki, Byk, Ryby, Woźnica, Tarcza Sobieskiego itd.

Na sferze niebieskiej odróżniamy obecnie 88 gwiazdozbiorów. Od ok. XVII w. przypisuje się gwiazdom w danym gwiazdozbiornie litery alfabetu greckiego oraz liczby w zależności od ich jasności. I tak najjaśniejsza gwiazda otrzymuje literę  $\alpha$ , kolejna w hierarchii jasności –  $\beta$  itd. Gwiazdozbiory rzeczywiście ułatwiały od wieków i ułatwiają obecnie orientację na sferze niebieskiej i Ziemi. Do najbardziej użytecznych do tego celu należą Wielka i Mała Niedźwiedzica zwane też Wielkim i Małym Wozem. Ponieważ współcześnie, przedłużenie hipotetycznej osi obrotu Ziemi przechodzi przez sferę niebieską w punkcie znajdującym się bardzo blisko gwiazdy należącej do Małego Wozu („koniec dyszla”), to gwiazda ta wyznacza tym samym północny biegun Ziemi i północny kierunek na lokalnym horyzoncie. Ta gwiazda to **Gwiazda Polarna** lub **Gwiazda Północy**.

## ATMOSFERA ZIEMSKA, ZJAWISKA POWSTAJĄCE PODCZAS PRZECHODZENIA ŚWIATŁA PRZEZ ATMOSFERĘ

Ziemia jest otoczona przez powłokę gazową, którą nazywamy atmosferą. Najbliższe powierzchni Ziemi warstwy atmosfery składają się głównie z:

- azotu (ok. 78%)
- tlenu (ok. 21%),
- argonu (ok. 1%).
- innych pierwiastków (ok. 0,04%) m.in.: dwutlenku węgla, helu, metanu, kryptonu.

Oprócz wymienionych gazów w skład atmosfery wchodzi: para wodna, pyłki roślinne, piasek oraz zanieczyszczenia przemysłowe.

Atmosfera ziemska dzieli się na następujące warstwy:

- **troposfera** – 8÷16 km od pow. Ziemi. W tej warstwie zachodzą prawie wszystkie zjawiska meteorologiczne: chmury, opady, burze itp. Zawiera ok. 80% masy całej atmosfery.
- **stratosfera** – do ok. 50 km od pow. Ziemi. Warstwa ta zawiera gęstą warstwę ozonu – gazu całkowicie pochłaniającego krótkofalowe (ultrafioletowe) promieniowanie słoneczne bardzo szkodliwe dla organizmów żywych na Ziemi.
- **mezosfera** – do ok. 80 km od pow. Ziemi. Temperatura w tej warstwie spada do ok.  $-90^{\circ}\text{C}$ .
- **jonosfera** – do ok. 400 km od pow. Ziemi. Składa się z kilku warstw gazu, zawierających (wysoko) zjonizowane atomy i cząsteczki. Ma ona olbrzymie znaczenie w radiofonii, ponieważ umożliwia odbiór radiowy na falach krótkich, średnich i długich odbijających się od jej warstw.

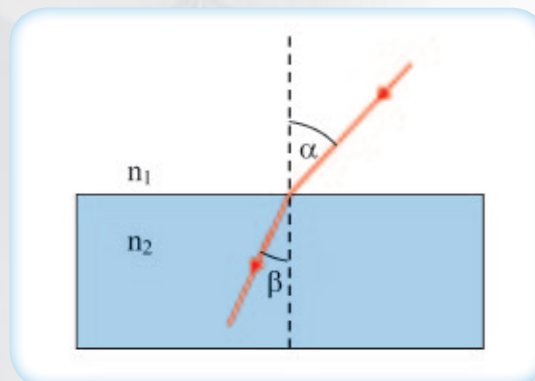


- **egzosfera** – do ok. 1 500 km od pow. Ziemi. W wyniku silnej jonizacji w warstwie tej przeważają protony. Warstwa ta stopniowo przechodzi w przestrzeń międzyplanetarną.

Masa atmosfery wynosi ok.  $5 \cdot 10^{18}$  kg, co stanowi około  $\frac{1}{1\,000\,000}$  masy Ziemi. Masa Ziemi =  $6 \cdot 10^{24}$  kg.

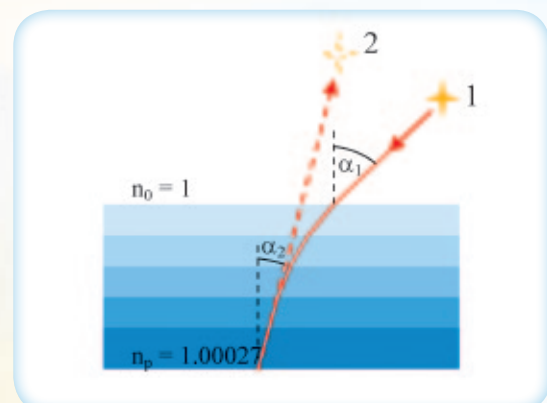
Z powodu istnienia atmosfery do powierzchni Ziemi dociera z przestrzeni kosmicznej tylko niewielka część promieniowania ciał niebieskich. Górne warstwy atmosfery pochłaniają znaczną część tego promieniowania (gamma, rentgenowskie, UV) i do Ziemi dociera tylko część promieniowania UV, światło widzialne oraz fragment promieniowania podczerwonego.

Atmosfera ziemiska ze względu na swój skład i warstwową strukturę jest ośrodkiem bardzo niejednorodnym ponieważ wraz z wysokością od powierzchni Ziemi zmienia się gęstość powietrza oraz ciśnienie a także zmienia się temperatura. Promień światła pochodzący od dowolnego ciała niebieskiego, zanim dojdzie do obserwatora na powierzchni Ziemi przechodzi przez warstwy atmosfery o coraz to większej gęstości, a tym samym coraz większym współczynniku załamania światła, który zmienia się od wartości  $n_0=1$  – dla przestrzeni kosmicznej, gdzie jest prawie próżnia do wartości  $n_p=1,00027$  – dla powietrza przy powierzchni Ziemi. Tak więc na granicy każdej warstwy powietrza promienie światła ulegają załamaniu. Podobne zjawisko obserwujemy, kiedy światło przechodzi z ośrodka rzadszego (kąt padania  $\alpha$ ) o współczynniku załamania  $n_1$  do bardziej gęstego ośrodka o współczynniku załamania  $n_2$  przy czym  $n_2 > n_1$  (np. z powietrza do wody).



Na granicy rozdziału ośrodków promień ulega oprócz odbicia także załamaniu w kierunku do „normalnej” – linia przerywana na rysunku powyżej – i w ośrodku gęstszym rozchodzi się pod kątem  $\beta$ .

Wszystko to prowadzi do tego, że promień światła nie biegnie po linii prostej lecz w atmosferze ulega zakrzywieniu, jak to schematycznie przedstawiono na rysunku poniżej. Skutkiem tego obserwator na powierzchni Ziemi będzie widział ciało niebieskie nie tam, gdzie się ono rzeczywiście znajduje (1) lecz wzdłuż stycznej (2) do zakrzywionego toru promienia w pobliżu powierzchni Ziemi. Zjawisko to nazywa się **refrakcją atmosferyczną**. Innymi słowy atmosfera jest przyczyną tego, że obserwując ciała niebieskie widzimy je trochę wyżej niż są w rzeczywistości (z wyjątkiem obiektów w okolicy zenitu).



Podczas przechodzenia światła od ciał niebieskich przez atmosferę ziemską, w wyniku jego oddziaływania z cząsteczkami gazów atmosfery, część tego światła jest **absorbowana** przez te cząsteczki, a część ulega **rozproszeniu**. W wyniku tych procesów do obserwatora dociera mniej światła i widziane ciała są mniej jasne. Pochłanianie i rozpraszanie światła zależy od wysokości świecącego ciała niebieskiego nad horyzontem i od długości fali emitowanego światła. Promień świetlny, biegnący od ciała niebieskiego, znajdującego się nisko nad horyzontem, musi przebyć znacznie grubszą warstwę powietrza w porównaniu do ciała niebieskiego znajdującego się wysoko nad horyzontem. Stąd wschodzące i zachodzące ciała niebieskie w wyniku silniejszego pochłaniania świecą znacznie słabiej niż wtedy, gdy są wysoko na niebie. Dodatkowo mają barwę czerwoną, ponieważ najbardziej pochłaniana jest część krótkofalowa widma światła, a więc barwa niebieska, natomiast część długofalowa (barwa czerwona) jest znacznie mniej pochłaniana. Barwa niebieska światła jest też bardziej rozpraszana na cząsteczkach powietrza niż barwa czerwona. Dlatego zawarta w świetle słonecznym barwa niebieska przechodząc przez atmosferę daje w wyniku rozproszenia efekt świecenia atmosfery w kolorze błękitu.

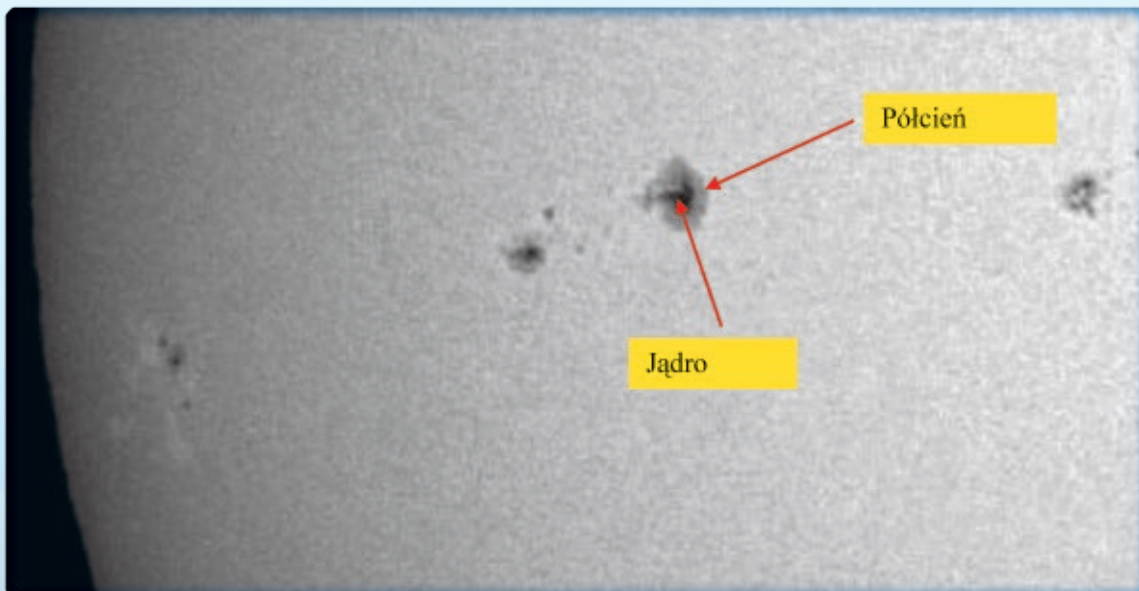
Atmosfera ziemska nie jest jednorodną, stabilną powłoką gazową. Nagrzane w ciągu dnia, szczególnie dolne warstwy powietrza, unoszą się do góry mieszając się z warstwami chłodniejszymi. Powoduje to lokalne zmiany gęstości i temperatury, a tym samym silne ruchy warstw powietrza, które nazywamy **ruchami turbulencyjnymi**. Światło gwiazd przechodząc przez takie niejednorodne, niestabilne warstwy atmosfery ulega wielokrotnemu załamaniu i tym samym kierunek rozchodzenia się promieni świetlnych ciągle się zmienia – obserwujemy „migotanie” gwiazd. Jest to zjawisko bardzo niepożądane przez astronomów, ponieważ bardzo zakłóca obserwacje gwiazd. Podobne efekty obserwujemy również w czasie gorących, letnich dni obserwując odległe przedmioty przez warstwę rozgrzanego powietrza nad asfaltową jezdnią. W wyniku silnych ruchów mas powietrza obserwujemy „drżenie” tych przedmiotów.

## SŁOŃCE, AKTYWNOŚĆ SŁONECZNA

Słońce jest najbliższą Ziemi gwiazdą powstałą ok. 4.6 mld lat temu. Składa się głównie z wodoru (74%) i helu (25%) w postaci plazmy. Jest to jednocześnie centralna gwiazda układu planetarnego zwanego Układem Słonecznym, w skład którego wchodzi m.in. Ziemia i siedem innych planet wraz z ich księżycami. Słońce jest głównym źródłem energii docierającej do Ziemi i innych planet. Energia ta powstaje na skutek reakcji jądrowych zachodzących we wnętrzu Słońca i rozchodzi się w postaci ciepła oraz głównie w postaci promieniowania elektromagnetycznego, którego częścią jest tak ważne dla życia na Ziemi światło widzialne.

W wyniku ciągle zachodzących reakcji jądrowych (głównie reakcji przemiany wodoru w hel w Słońcu, szczególnie w jego zewnętrznej warstwie – fotosferze) zachodzi wiele zjawisk nazywanych ogólnie **aktywnością słoneczną**. Najbardziej znanym przejawem tej aktywności są **plamy słoneczne**. Są to obszary na tarczy słonecznej o temperaturze niższej (ok. 4 000K) niż temperatura warstw otaczających (ok. 5 500K). Plamy składają się – jak można zobaczyć na rysunku na następnej stronie – z części centralnej (jądra plamy) i otaczającego jądro półcienia. Rozmiary plam są różne i średnica największych plam może być porównywalna ze średnicą Ziemi.



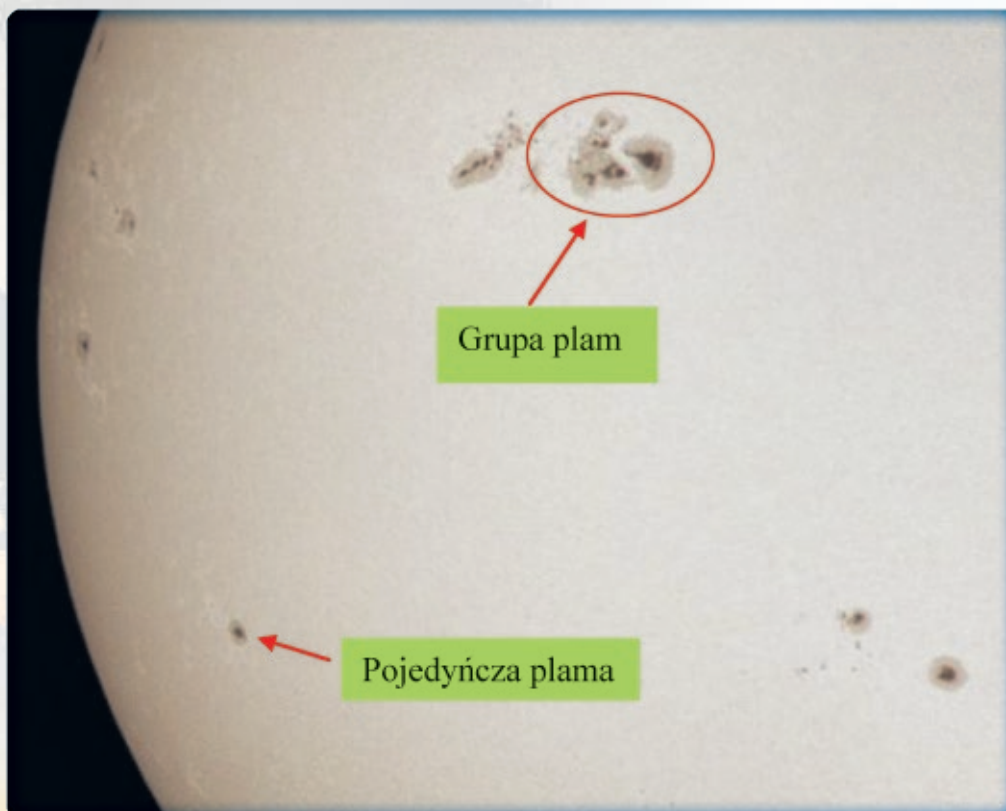


Struktura plamy słonecznej. (Źródło: [www.astro4u.net/yabbse/index.php?topic=10079.0](http://www.astro4u.net/yabbse/index.php?topic=10079.0) – zmieniony)

Czas życia plam słonecznych zawiera się w granicach od kilku godzin do nawet kilku miesięcy. Plamy występują głównie w grupach. Zarówno pojedyncze plamy, jak i grupy plam usytuowane są w okolicach równika Słońca. Stwierdzono, że aktywność słoneczna związana jest z liczbą plam i zmienia się okresowo w przybliżeniu co 11 lat. Stopień tej aktywności określa się za pomocą tzw. liczby Wolfa:

$$W = k(10g + f)$$

gdzie  $g$  oznacza liczbę grup plam,  $f$  łączną liczbę plam,  $k$  jest to współczynnik charakteryzujący instrument użyty do obserwacji.



Rysunek przedstawiający na tarczy słonecznej pojedyncze plamy i wyraźną grupę plam. (Źródło: [www.photoblog.pl/astroniki/107428397/plamy-na-slonce.html](http://www.photoblog.pl/astroniki/107428397/plamy-na-slonce.html) - zmieniony)



# OBSERWACJE I EKSPERYMENTY FIZYCZNE

## 1. Obserwacja I

### Orientacja na sferze niebieskiej

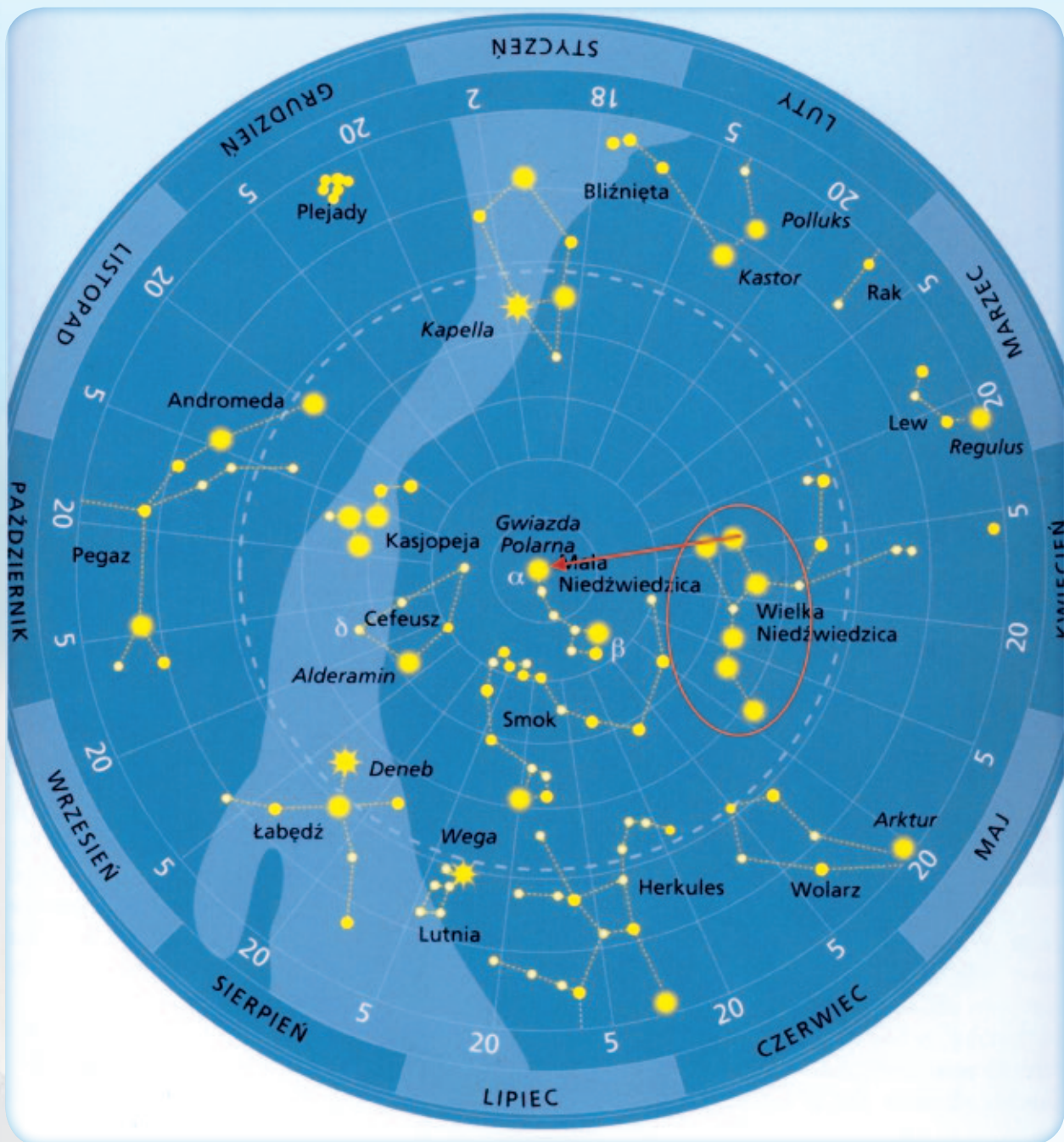
#### Materiały:

Obrotowa mapka nieba lub atlas nieba, latarka, lornetka (lub w miarę możliwości mały teleskop).

**Ogólna uwaga:** Obserwacje nieba najlepiej przeprowadzać w nocy bezksiężycowe z dala od miejsc silnie oświetlonych.

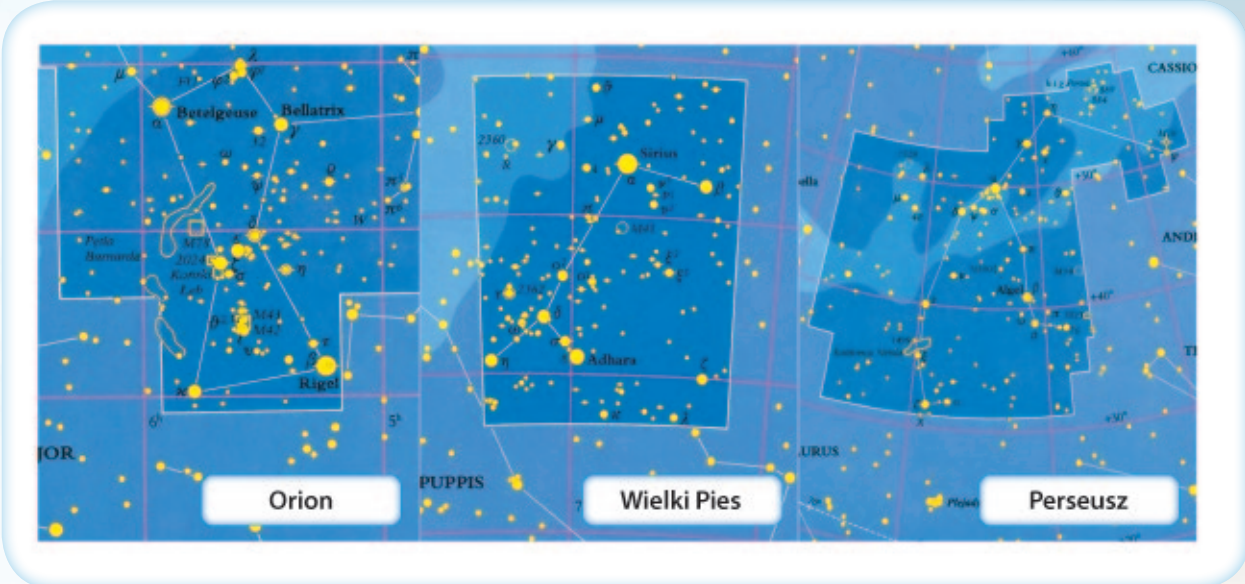
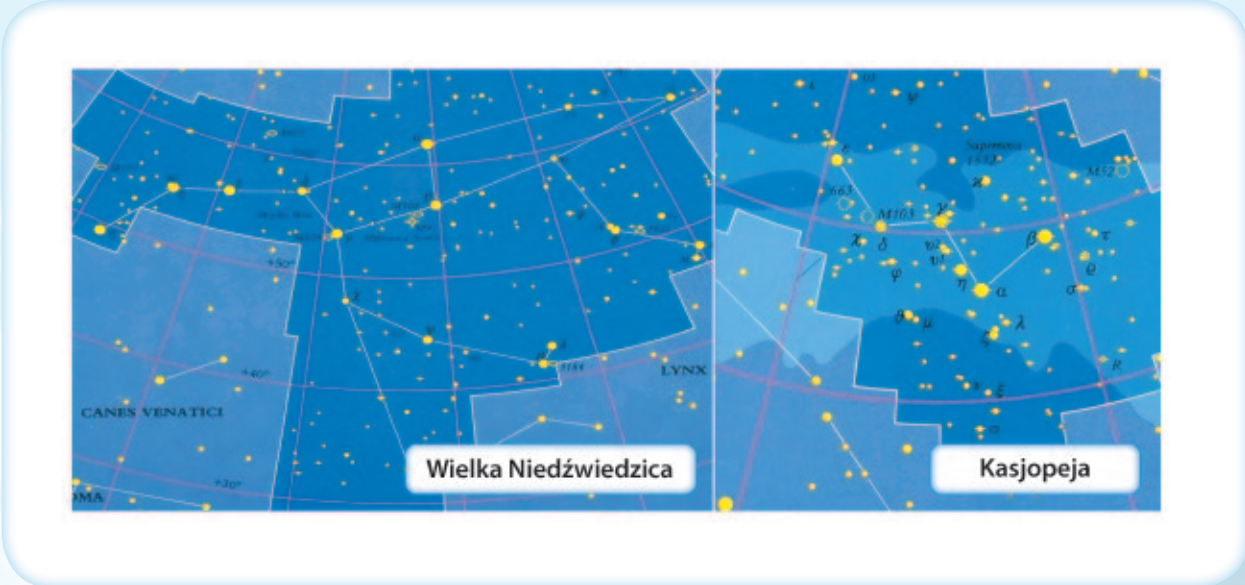
#### Wykonanie:

Korzystając z obrotowej mapki nieba (patrz: instrukcja obsługi mapki) lub atlasu nieba odnajdujemy na sferze niebieskiej gwiazdozbiór Wielki Wóz (będący częścią gwiazdozbioru Wielkiej Niedźwiedzicy) i Gwiazdę Polarną wyznaczającą kierunek północny stron świata wg schematu: na prostej wyznaczonej przez dwie tylne gwiazdy Wielkiego Wozu leży Gwiazda Polarna będąca końcem „dyszła” Małego Wozu. W odniesieniu do tych obiektów odnajdujemy występujące w danej porze roku na sferze niebieskiej najbardziej znane gwiazdozbiory w tym gwiazdozbiory Zodiaku, na tle których Słońce znajduje się w kolejnych miesiącach w czasie pozornej wędrówki na sferze niebieskiej, najjaśniejsze gwiazdy w tych gwiazdozbiorach także niektóre planety. Wyjaśniamy ruch gwiazd i gwiazdozbiorów tzw. okołobiegunowych oraz różnic pomiędzy wyglądem planet i gwiazd, biorąc pod uwagę odległości tych ciał niebieskich od Ziemi.



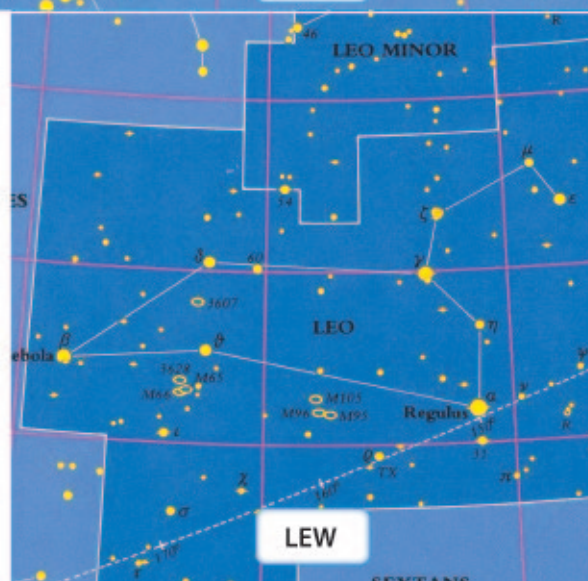
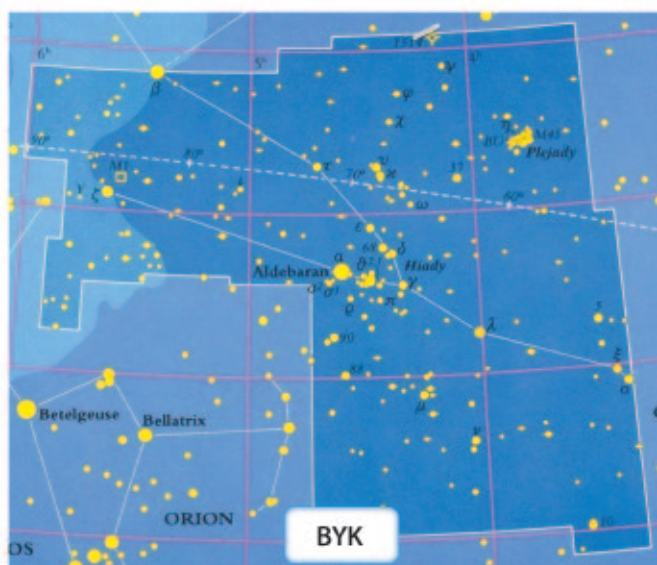
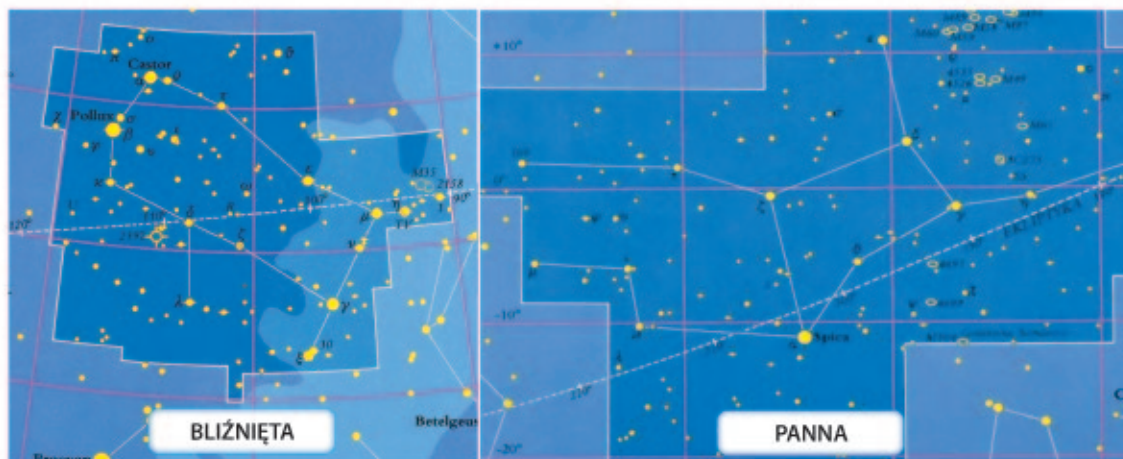
Przykładowy wygląd nocnego nieba z zaznaczonym gwiazdozbiorem Wielkiego Wozu i Gwiazdą Polarną. (Źródło: Atlas Nieba. Wyd. Arkady Sp. z.o.o. W-wa 2008 - zmieniony).





Przykładowe Gwiazdozbiory Zodiaku:





Przykłady niektórych gwiazdozbiorów z zaznaczonymi za pomocą liter alfabetu greckiego gwiazdami wg. ich jasności. (Źródło: Atlas Nieba. Wyd. Arkady Sp. z.o.o. W-wa 2008 - zmieniony).

## 2. Obserwacja II

**Orientacja w terenie – wyznaczenie punktów kardynalnych na horyzoncie czyli punktu północy, południa i punktów wschodu i zachodu**

**Materiały:**

Obrotowa mapka nieba lub atlas nieba, latarka.

**Wykonanie:**

Za pomocą atlasu nieba lub obrotowej mapy nieba odnajdujemy Gwiazdę Polarną, która wyznacza jednocześnie północny biegun sfery niebieskiej. Punkt na horyzoncie leżący pod Gwiazdą Polarną będzie jednocześnie punktem północy. Stoimy zwróceniem twarzą w stronę tego punktu mając poziomo na boki rozłożone ramiona. Punkt na horyzoncie leżący za naszymi plecami jest punktem południa, prawe ramie jest skierowane w stronę punktu wschodu, a lewe w stronę zachodu. Najlepiej będzie, jeśli punkty te skojarzymy z obiektami leżącymi w ich sąsiedztwie – drzewo, budynek itp.). Punkty kardynalne horyzontu wyznaczają tym samym cztery podstawowe strony świata. Zastanówmy się nad problemem: dlaczego miejsca wschodu i zachodu Słońca nie pokrywają się dokładnie z punktami wschodu i zachodu na horyzoncie? Czy tak jest zawsze w ciągu roku?

## 3. Obserwacja III

**Obserwacja szczegółów na tarczy Księżyca**

**Materiały:**

Teleskop szkolny (w ostateczności lornetka), statyw, atlas nieba, przybory do rysowania, latarka.

**Wykonanie:**

Posługując się atlasem nieba (w którym są fotografie Księżyca z opisanymi ważniejszymi elementami jego powierzchni widzianej z Ziemi) odnajdujemy jasne obszary – pasma górskie i obszary ciemne – tzw. „morza” i „oceany”, a także liczne kratery. Na podstawie atlasu przypisujemy identyfikowanym obiektom ich nazwy. (Wyjaśnienie problemu: dlaczego obszary ciemne to „morza” a jasne to pasma górskie? Czy kratery powstały tylko jako efekt uderzenia w Księżyc meteoratów?). Dodatkowym zadaniem może być własnoręcznie sporządzona mapa powierzchni Księżyca.



Fotografia Księżyca z przykładowymi elementami jego powierzchni. (Źródło: [www.astro4u.net/yabbse/index.php?topic=140745.0](http://www.astro4u.net/yabbse/index.php?topic=140745.0) - zmieniony)

Kratery: 1 – Platon, 2 – Kopernik, 3 – Eratostenes, 4 – Tycho.

Morza: 5 – Morze Jasności, 6 – Morze Spokoju, 7 Morze Chmur, 8 – Morze Nektaru.



## 4. Obserwacja IV

### Czy Księżyc zmienia swe rozmiary?

#### Materiały:

Mały przedmiot w kształcie koła o średnicy około 5 mm, bądź nieco większy przedmiot z małym okrągłym otworem o średnicy około 5 mm.

#### Wykonanie:

Kiedy w pogodny wieczór widzisz wschodzący Księżyc w pełni odnosisz wrażenie, że jest ogromny, dużo większy od jego rozmiarów, kiedy znajdzie się wysoko na niebie. To jeden z przykładów złudzeń, którym ulegają nasze zmysły. Aby się o tym przekonać zaopatrzyć się w mały przedmiot w kształcie koła o takiej średnicy, aby przedmiot ten trzymany na wyciągniętej ręce zasłaniał dokładnie tarczę Księżyca. Może to być też okrągły otwór o takiej średnicy, aby Księżyc „mieścił się” wewnątrz otworu. Średnica kółka, względnie otworu powinna wynosić około 5 mm. Zależy to od długości twego ramienia. Zasłoń kółkiem Księżyc, względnie „wpassuj” go do otworu zarówno w przypadku wschodzącego Księżyca, jak i kilka godzin później. Księżyc będzie różnił się tylko barwą, ale nie rozmiarami. A dlaczego różni się barwą? Dowiesz się jeśli wykonasz doświadczenie nr 13 z rozdziału II.

## 5. Obserwacja V

### Obserwacja zjawiska „migotania” gwiazd

#### Materiały:

Obrotowa mapka nieba lub atlas nieba, latarka, lornetka.

#### Wykonanie:

Odnajdujemy na niebie (blisko horyzontu i wysoko nad horyzontem) silnie świecące gwiazdy. Czy można zauważyć jakieś różnice w stabilności dochodzącego do naszego oka światła od gwiazd z tych dwóch obszarów nieba nad horyzontem? Zauważamy, że gwiazdy leżące nisko nad horyzontem wyraźnie zmieniają swój blask, obserwujemy coś w rodzaju „migotania” ich światła, natomiast nie obserwujemy tego zjawiska dla gwiazd leżących wysoko na niebie. Przy pomocy obrotowej mapki nieba lub atlasu nieba odnajdujemy widoczne (w porze obserwacji) planety i obserwujemy, czy światło pochodzące od planet zachowuje się podobnie jak światło gwiazd. Czy potrafimy wytłumaczyć dlaczego planety nie „migotają”?

## 6. Obserwacja VI

### Obserwacja plam słonecznych

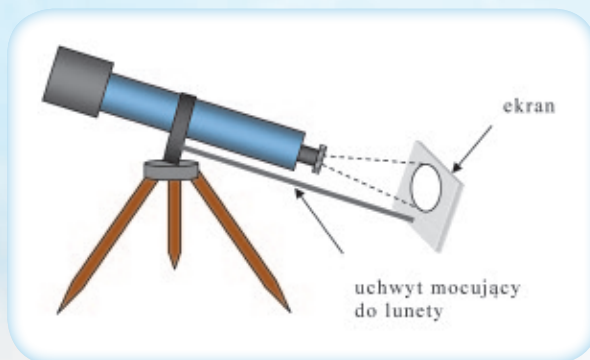
#### Materiały:

Teleskop lub luneta, ekran z uchwytemi mocującymi, filtr z bardzo ciemnego szkła pasujący do okularu teleskopu, ołówek.

Nie wolno patrzeć bezpośrednio na Słońce przez teleskop bez filtra!!!

### Wykonanie:

Za pomocą teleskopu szkolnego i odpowiednio zamocowanego do niego białego ekranu otrzymujemy obraz tarczy Słońca. Odnajdujemy na obrazie plamy słoneczne, które staramy się odwzorować (przerysować). Należy policzyć poszczególne plamy i grupy plam. Obserwacje najlepiej przeprowadzać codziennie każdego pogodnego dnia przez np. miesiąc. Można wykonać wykres zależności tzw. liczby Wolfa od daty obserwacji. Czy plamy zawsze są w tym samym miejscu na tarczy Słońca? Jeżeli nie, to o czym to świadczy? Czy plamy są w dowolnym obszarze na tarczy słonecznej czy raczej nie?



Schemat układu do obserwacji Słońca.

## 7. Eksperyment I

### Bieg promieni świetlnych w ośrodku niejednorodnym

#### Materiały:

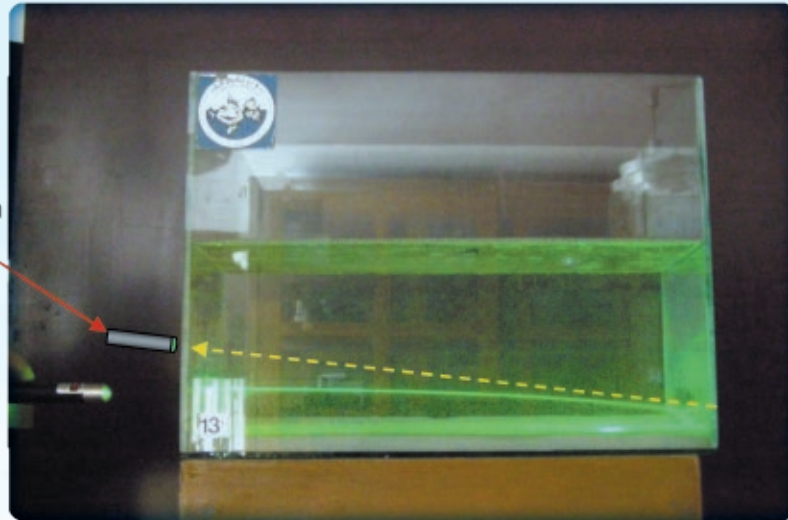
Duże szklane naczynie (małe akwarium) wypełnione wodą, sól, którą dodajemy do wody w naczyniu, źródło światła laserowego.

#### Wykonanie:

Doświadczenie ma na celu symulację zjawiska refrakcji światła (pochodzącego od Słońca czy gwiazd) rozchodzącego się w atmosferze, tj. zjawiska pozornego przesunięcia położenia tych ciał niebieskich spowodowanego załamaniem światła przechodzącego przez masy powietrza o zmieniającej się gęstości. Czy rzeczywiście ciała niebieskie są w tym miejscu na niebie gdzie je widzimy?



Pozorne  
położenie źródła



Do wody w tym naczyniu wsypujemy ostrożnie sól (ok. 25–30dkg) i w miarę możliwości rozprowadzamy ją po całym dnie naczynia – nie mieszając! Naczynie z roztworem wody i soli zostawiamy w spokoju na całą dobę. Roztwór soli będzie miał największą gęstość w pobliżu dna naczynia, a najmniejszą przy powierzchni cieczy. Otrzymamy więc ośrodek niejednorodny, na który kierujemy wiązkę światła laserowego równoległe do powierzchni cieczy i obserwujemy bieg promienia w roztworze. Tor biegu promienia jest wyraźnie zakrzywiony. Gdzie w związku z tym będzie widział źródło światła obserwator gdyby znajdował się na dnie naczynia? Podobną sytuację mamy podczas obserwacji ciał niebieskich (szczególnie nisko leżących nad horyzontem), których światło dochodzi do nas przez długą warstwę niejednorodnego ośrodka jakim jest powietrze o zwiększającej się gęstości w miarę zbliżania się do powierzchni Ziemi.





ROMAN SZTANIK

# ZACHOWANIE SIĘ CIAŁ W POLU GRAWITACYJNYM









# VIII. ZACHOWANIE SIĘ CIAŁ W POLU GRAWITACYJNYM

**Cele:** Przeprowadzenie prostych doświadczeń związanych z działaniem na ciała siły grawitacji, a w szczególności doświadczeń obrazujących zjawisko nieważkości, przeciążenia i spadku swobodnego.

## Plan pracy:

- Siły grawitacji, prawo powszechnego ciążenia, pole grawitacyjne.
- Ruch ciał pod wpływem siły grawitacji.
- Stan nieważkości i przeciążenia.
- Eksperyment fizyczny:
  - Stan nieważkości.
  - Stan przeciążenia i niedociążenia.
  - Spadanie ciał o różnych masach.

## Najważniejsze pojęcia:

**Grawitacja (siła grawitacji)** – jedno z podstawowych oddziaływań w przyrodzie. Jest własnością ciał obdarzonych masą. Siły grawitacji są siłami przyciągającymi.

**Ciężar ciała** – potocznie siła grawitacji, z jaką Ziemia przyciąga dane ciało. W rzeczywistości ciężar jest wypadkową siły grawitacji i siły odśrodkowej bezwładności wynikającej z ruchu wirowego Ziemi. Ciężar jest wielkością wektorową.

**Masa ciała** – wielkość skalarna, będąca miarą bezwładności ciała i siły oddziaływania grawitacyjnego. Potocznie jest to ilość materii zawartej w ciele.

**Nieważkość** – stan, w którym oddziałujące ze sobą ciała nie wywierają na siebie wzajemnie sił nacisku.

**Przeciążenie** – stan, w którym siła wzajemnego nacisku działająca pomiędzy ciałami jest większa od wartości ciężaru ciała.

**Przyspieszenie ziemskie** – przyspieszenie, z jakim poruszają się ciała spadające swobodnie na Ziemię (przy pominięciu oporów powietrza). Nie zależy ono od masy spadających ciał.

## 1. SIŁY GRAWITACJI, PRAWO POWSZECHNEGO CIĄŻENIA, POLE GRAWITACYJNE

Od początku swojego istnienia człowiek obserwował spadanie większości ciał na powierzchnię Ziemi. Jednakże myśliciele i uczeni na przez wieki nie potrafili wyjaśnić przyczyny takiego zachowania się ciał. Dodatkową trudnością w rozważaniach był fakt, że niektóre ciała upuszczone z pewnej wysokości spadają, ale inne – jak dym, mgła, balony zachowują się zupełnie inaczej tzn. unoszą się do góry. Nie widziano też żadnej analogii pomiędzy ruchem spadających ciał a ruchem planet na niebie.

Dopiero w końcu XVII wieku Newton stworzył teorię, w myśl której Ziemia oraz wszystkie ciała obdarzone masą mają własność polegającą na tym, że są źródłem sił, które powodują wzajemne przyciąganie się ciał. Ta siła przyciągania (grawitacji) powoduje, że ciała spadają na Ziemię, ale również działa ona pomiędzy Ziemią i Księżycem, Słońcem i planetami – zmuszając je do ruchu wokół Słońca i w ogóle pomiędzy wszystkimi ciałami w Kosmosie. Tak, więc siła grawitacji jest siłą działającą powszechnie według podanego przez Newtona prawa – prawa powszechnego ciężenia:

Każde dwa ciała o masach  $m_1$  i  $m_2$  przyciągają się siłą której wartość jest wprost proporcjonalna do iloczynu mas tych ciał i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości  $r$  między ich środkami:

$$F_g = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2} \quad \text{– wartość stałej grawitacji.}$$

Pod wpływem siły grawitacji ciała przyciągają się wzajemnie, chociaż w odniesieniu do zwykłych, spotykanych w życiu codziennym ciał, siły te mają tak małe wartości, że są praktycznie niezauważalne. Jeżeli natomiast jednym z ciał będzie Ziemia o masie  $M_Z$ , a drugim dowolny przedmiot o masie  $m$  leżący na powierzchni Ziemi lub w niewielkiej odległości od niej, to pomiędzy tymi ciałami działa siła grawitacji wyrażona następującym wzorem:

$$F_g = G \frac{m \cdot M_Z}{R_Z^2}$$

gdzie  $R_Z$  – jest promieniem Ziemi.

W wyniku działania tej siły ciała spadają w kierunku Ziemi lub są dociskane do podłoża, na którym się znajdują. Siły grawitacji działają „na odległość” a przestrzeń wokół Ziemi lub innych ciał niebieskich, w których na umieszczone w niej dowolne ciała działają siły grawitacji, nazywamy polem grawitacyjnym.

## 2. RUCH CIAŁ POD WPŁYWEM SIŁY GRAWITACJI

Poruszające się tylko pod wpływem siły grawitacji ciała - zgodnie z II zasadą dynamiki – doznają w swoim ruchu stałego przyspieszenia, którego średnią wartość obliczamy ze wzoru:

$$g = G \frac{M_Z}{R_Z^2} = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Przyspieszenie to, zwane przyspieszeniem grawitacyjnym, nie zależy od masy ciała, na które działa siła przyciągania grawitacyjnego. Mierzone (odczuwane) przyspieszenie na powierzchni Ziemi jest prawie równe przyspieszeniu ziemskiemu. Niewielka różnica wynika z tego, że na wynik pomiaru wpływa dodatkowo, również niezależne od masy ciała, przyspieszenie odśrodkowe jakiemu podlega ciało a pochodzące od działającej na nie odśrodkowej siły bezwładności, wynikającej z ruchu wirowego Ziemi.

Wszystko to sprawia, że np. ciężki kamień i lekkie piórko upuszczone z tej samej wysokości powinny w jednakowym czasie osiągnąć podłoże na które spadają. W praktyce obserwujemy jednak, że ciała cięższe spadają krócej niż ciała lekkie. Dzieje się tak, ponieważ na ruch ciał w pobliżu powierzchni Ziemi ma wpływ nie tylko siła grawitacji ale również przeciwnie skierowana do ich ruchu siła oporu powietrza.

## 3. STAN NIEWAŻKOŚCI I PRZECIĄŻENIA

W wyniku działania na ciało siły grawitacji, ciało to naciska na podłoże, na którym się znajduje. Zgodnie z III zasadą dynamiki każdej akcji towarzyszy reakcja. Tak więc podłoże również naciska na ciało z taką samą siłą lecz przeciwnie skierowaną. Człowiek znajdujący się w takiej sytuacji odczuwa w ten sposób swój ciężar. Powiemy, że człowiek „waży” lub, że jest w stanie ważkości. Ciężar ciała lub stan ważkości polega więc na występowaniu sił wzajemnego nacisku ciał na siebie. Co by jednak było, gdyby nagle zabrakło podłoża na którym stoimy? Albo podłoże to spadałoby swobodnie razem z nami (przez chwilę trochę podobną sytuację mamy w ruszającej w dół windzie). Przestalibyśmy odczuwać nacisk podłoża na swoje stopy, bo podłoże uciekało by nam spod stóp – nie będziemy więc odczuwać swojego ciężaru. Taki stan braku wzajemnego nacisku ciał na siebie nazywamy stanem nieważkości. Stan ten nie jest spowodowany – jak się często słyszy – brakiem sił grawitacji. Jest wręcz odwrotnie. Ciała znajdują się w stanie nieważkości, kiedy podlegają działaniu tylko sile grawitacji. Poruszają się wtedy swobodnie i nie naciskają na siebie. Stan nieważkości spowodowany brakiem sił grawitacji lub ich równowagi jest we Wszechświecie sytuacją niezwykle rzadką.

Jeżeli natomiast występują siły wzajemnego nacisku pomiędzy ciałami i mają wartość większą od wartości ciężaru to mówimy, że ciało znajduje się w stanie przeciążenia. Stan taki jest spowodowany działaniem na ciało dodatkowych – oprócz siły grawitacji – sił, głównie sił bezwładności.



# EKSPERYMENTY FIZYCZNE

## 1. Stan nieważkości

### 1.1. Eksperyment I

#### Materiały:

Dwa ciężkie przedmioty (książki, cegły), pasek papieru.

#### Wykonanie:

Doświadczenie to (jak i dwa następne) ma na celu zobrazowanie zjawiska stanu nieważkości. Pomiedzy dwa ciężkie przedmioty leżące jeden na drugim na stole (cegły, grube książki itp.) wkładamy wąski pasek papieru i chwytając za wystający koniec spróbujemy pasek wyciągnąć. Próby wyciągnięcia paska się nie udają ponieważ z powodu dużego nacisku istniejącego pomiędzy przedmiotami pasek się urywa. Następnie druga osoba unosi przedmioty wraz z paskiem pomiędzy nimi i z pewnej wysokości puszcza je swobodnie. Jeżeli w trakcie spadku uda nam się pociągnąć za pasek to stwierdzamy, że bez problemu można go wyciągnąć z pomiędzy przedmiotów. Tłumaczymy to tym, że stan w jakim znalazły się spadające przedmioty i pasek pomiędzy nimi jest określany jako stan nieważkości – czyli stan braku wzajemnego nacisku ciał na siebie spowodowanego tym, że ciała te poruszają się z jednakowym przyspieszeniem wywołanym tylko siłą grawitacji (prawie).

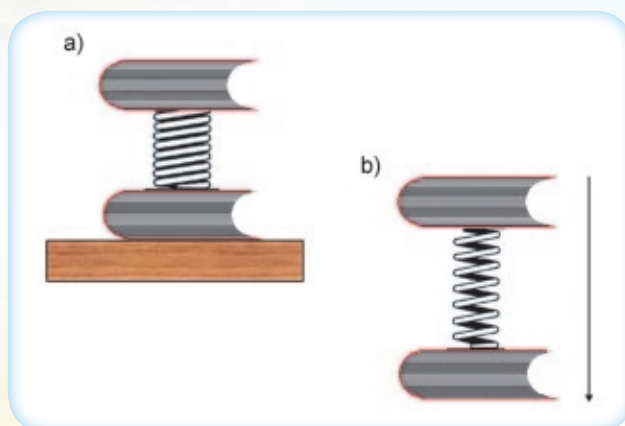
### 1.2. Eksperyment II

#### Materiały:

Dwie książki, sprężyna.

#### Wykonanie:

Do tego doświadczenia musimy postarać się o kawałek sprężyny, którą następnie umieszczamy pomiędzy dwoma książkami. Sprężyna powinna być taka aby dawała się łatwo ścisnąć pod ciężarem jednej książki. Cały ten układ tzn. książki i ściśniętą pomiędzy nimi sprężynę leżący początkowo na stole (część a rysunku poniżej) upuszczamy z pewnej wysokości na podłogę (część b rysunku). Obserwujemy zachowanie się sprężyny. Stwierdzamy, że podczas spadku sprężyna przestaje być ściśnięta – tak jakby na nią nie działała swoim ciężarem leżąca na niej książka. Tłumaczymy to zjawisko w ten sposób, że spadające pod wpływem siły grawitacji ciała nie wywierają na siebie nacisku, są względem siebie nieważkie. W takim razie spadająca sprężyna na którą leżąca na niej książka nie wywiera nacisku powraca pod wpływem siły sprężystości do stanu o najmniejszej energii tzn. do normalnej swojej długości.



### 1.3. Eksperyment III

#### **Materiały:**

Plastikowa butelka po wodzie mineralnej, ostry szpikulec (np. gwóźdź) do wykonania otworów w butelce.

#### **Wykonanie:**

Do plastikowej butelki, w której robimy 3 lub 4 małe dziurki (np. za pomocą gwoździa) wlewamy wody. Trzymając butelkę w ręku np. nad wanną w łazience widzimy, że woda w wyniku nacisku (parcia) na ścianki butelki wypływa poprzez otworki. Ponownie do butelki wlewamy wodę i z pewnej wysokości puszcza ją swobodnie. Obserwujemy, że teraz woda nie wypływa z butelki. Woda spadając z takim samym przyspieszeniem jak butelka przestała naciskać na ścianki butelki. Oba ciała – butelka i znajdująca się w niej woda są w stanie nieważkości.

## 2. STAN PRZECIĄŻENIA I NIEDOCIĄŻENIA

Doświadczenie ma na celu zademonstrowanie stanu tzw. przeciążenia i niedociążenia, a więc stanów w których ciężar ciała ulega zmianie.

### 2.1. Eksperyment IV

#### **Materiały:**

Waga łazienkowa.

#### **Wykonanie:**

Często mówi się, że ciężar ciała jest równy sile grawitacji wywieranej przez Ziemię na dane ciało. Czy tak jest zawsze? Stoimy spokojnie na dobrze wypoziomowanej wadze łazienkowej i odczytujemy wskazanie wagi. Następnie bardzo powoli robimy przysiad i powrót do pozycji stojącej (ciągle stojąc na wadze). Nie obserwujemy zmian wskazań wagi. Można powiedzieć, że działająca na nasze ciało siła grawitacji Ziemi jest jednocześnie ciężarem ciała z jakim naciskamy na wagę. Z kolei bardzo szybko robimy przysiad i stwierdzamy, że wskazówka wagi przechyliła się w stronę mniejszych wartości (zmniejszenie ciężaru – niedociążenie), powracając po chwili do wartości jaką wskazywała waga, kiedy byliśmy na niej w pozycji stojącej. Z pozycji przysiadu szybkim ruchem powstajemy obserwując tym razem odchylenie wskazówki w stronę większych wartości (zwiększenie ciężaru – przeciążenie). Ale przecież w każdym z przypadków siła ciężkości (grawitacji) była taka sama (nie zmieniała się masa ciała ani odległość od środka Ziemi) a pomimo to ciężar ciała był różny. Podobną sytuację zmiennego ciężaru obserwujemy w ruszającej lub zatrzymującej się windzie.

Za zmianę ciężaru w takich przypadkach odpowiedzialne są dodatkowe siły – siły bezwładności.

## 2.2. Eksperyment V

Często trudnym dla uczniów jest zrozumienie, że ciała o różnych masach spadają w polu grawitacyjnym z jednakowym przyspieszeniem. Nawet niektóre codzienne obserwacje pokazują, iż ciała lekkie spadają wolniej niż ciała cięższe.

### Materiały:

Ciała o różnych masach np. dwa odważniki 1 i 2 kg.

### Wykonanie:

Dwaj uczniowie stoją na krzesłach. Jeden uczeń trzyma w rękach odważnik o ciężarze 1 kg a drugi – odważnik np. o ciężarze 2 kg. Starają się trzymać odważniki na tej samej wysokości nad podłożem. Następnie na komendę puszczaają jednocześnie odważniki. Jaki będzie wynik doświadczenia? Oczywiście odważniki jednocześnie osiągną podłoże, na które spadają. Możemy jednak – przed wykonaniem doświadczenia – usłyszeć stwierdzenie, że szybciej będzie spadał odważnik cięższy, ponieważ ma większą masę niż odważnik lżejszy i Ziemia przyciąga go z większą siłą. Ktoś taki powinien jednak pamiętać, że siła przyciągania rzeczywiście zwiększyła się w przypadku ciężarka o 2 kg, ale dokładnie tyle razy ile razy zwiększyła się masa tego ciężarka w stosunku do ciężarka o 1 kg. I w rezultacie przeprowadzonego rachunku:

$$F = m \cdot g; \quad m \cdot g = m \cdot a; \quad a = F/m; \quad a = m \cdot g/m = g$$
$$2F = 2m \cdot g; \quad 2m \cdot g = 2m \cdot a; \quad a = 2F/2m; \quad a = 2m \cdot g/2m = g$$

stwierdzamy, że obydwie odważniki spadają z takim samym przyspieszeniem i dlatego w tym samym czasie osiągną podłoże.



MARZENA SŁAWSKA  
BUDOWA MATERII







# IX. BUDOWA MATERII

**Cele:** Poznać budowę cząsteczkową ciał i zaobserwować skutki oddziaływań międzycząsteczkowych.

## Badamy i mierzymy:

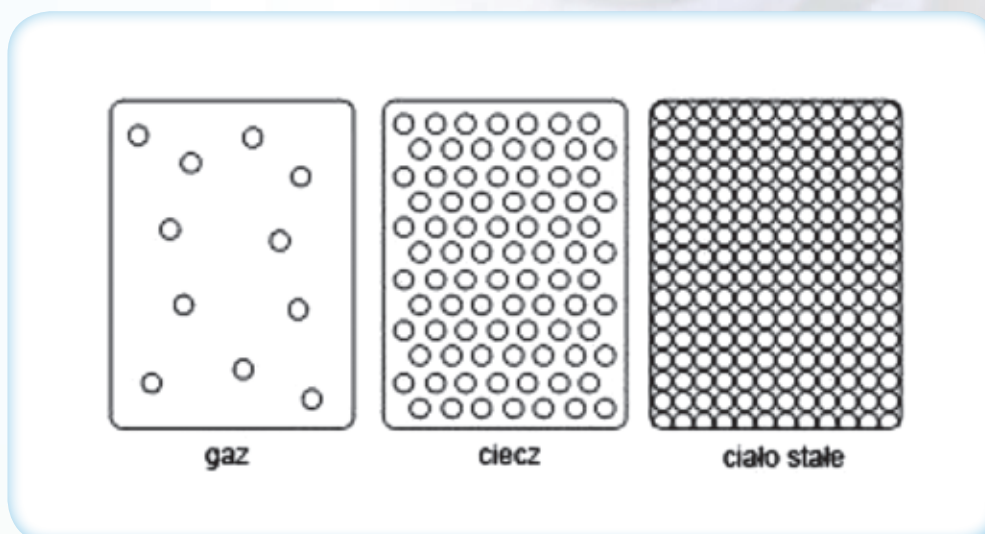
- a - wielkość cząsteczki,
- b - oddziaływania międzycząsteczkowe,
- c - gęstość substancji.

## Plan pracy:

- Podstawowe informacje na temat budowy i właściwości materii.
- Szacowanie średnicy cząsteczki oleju.
- Dyskusja nad niepewnościami pomiarowymi i ich wpływie na wiarygodność wyznaczenia średnicy cząsteczki oleju.
- Badanie oddziaływań międzycząsteczkowych.
- Wyznaczanie gęstości substancji.
- Dyskusja nad niepewnościami pomiarowymi i ich wpływie na wiarygodność wyznaczania gęstości marchewki.
- Wykorzystanie oddziaływań międzycząsteczkowych w życiu codziennym.
- Konstrukcje prostych przyrządów pomiarowych do doświadczeń z budowy materii.

## I. BUDOWA MATERII

Wszystkie substancje zbudowane są z cząsteczek lub atomów i na Ziemi mogą występować w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym.





Człowiek jest zbiorem wszystkich trzech stanów skupienia, co jest bardzo ważnym czynnikiem warunkującym jego życie na Ziemi. Ma stałe kości, ciecz jest głównym składnikiem krwi i płynów ustrojowych, a gaz (powietrze) znajduje się w płucach.

Materia we Wszechświecie występuje także w postaci plazmy (czwarty stan materii), czyli w stanie zjonizowanym. W warunkach ziemskich plazmę można spotkać: w płomieniu, iskrze, podczas wyładowań elektrycznych, w neonówkach (patrz zdjęcie poniżej). Najnowsze badania wskazują, że we Wszechświecie najwięcej jest tzw. ciemnej energii (ok. 74%) oraz tzw. ciemnej materii (ok. 22%), a pozostałą część, tylko ok. 4%, stanowi międzygalaktyczny gaz oraz gwiazdy z planetami.



Źródło: <http://www.krainaeksperymentow.pl/wp-content/uploads/2011/08/lampa-plazmowa.jpg>

Stan skupienia w jakim ciało występuje, zależy od rodzaju substancji i jego temperatury. W ciałach stałych cząsteczki ułożone są ciasno, blisko siebie i drgają. Ze względu na ułożenie cząsteczek rozróżnia się ciała stałe bezpostaciowe (cząsteczki rozmieszczone są nieregularnie) i krystaliczne (cząsteczki tworzą regularną sieć) – zdjęcie poniżej.



Źródło: [http://www.witajwpodrozy.pl/\\_items/\\_upload/\\_files/documentsgalleries/1316694980krystaly.jpg](http://www.witajwpodrozy.pl/_items/_upload/_files/documentsgalleries/1316694980krystaly.jpg)

W cieczech cząsteczki są ułożone chaotycznie i poruszają się ruchem postępowym. W gazach odległości między cząsteczkami są bardzo duże i cząsteczki poruszają się ruchem postępowym z prędkościami o dużych wartościach. Cząsteczki oddziałują na siebie wzajemnie tzw. siłami międzycząsteczkowymi. Siły te mają charakter przyciągający, gdy odległość między cząsteczkami jest nie większa niż wielkość jednej cząsteczki lub charakter odpychający jeśli cząsteczki się stykają. Gdy oddziałują na siebie cząsteczki jednego rodzaju (np. cząsteczki wody z cząsteczkami wody) to siły działające między nimi nazywamy siłami spójności. Jeżeli oddziałują na siebie cząsteczki różnego rodzaju (np. cząsteczki wody z cząsteczkami szkła) to siły występujące między nimi nazywamy siłami przylegania.

Właściwości mechaniczne substancji wynikają z ułożenia cząsteczek i oddziaływań międzycząsteczkowych. Ciała stałe posiadają własny kształt i są trudno ściśliwe. Ciecze przyjmują kształt naczyń, w którym się znajdują, są mało ściśliwe i wykazują napięcie powierzchniowe. Gazy charakteryzują się ściśliwością i rozprężliwością oraz tym, że wypełniają całe naczynie w którym się znajdują.

Ze względu na odległości między cząsteczkami, każdemu ciału (stałemu, ciekłemu, gazowemu) można przypisać inną gęstość. Określona substancja ma największą gęstość, gdy jest w stanie stałym, mniejszą, gdy występuje w stanie ciekłym, a najmniejszą, gdy jest w stanie gazowym. Wyjątkiem jest lód, który ma mniejszą gęstość niż woda. Ciała stałe, ciecze i gazy mogą zmieniać swoją gęstość nie zmieniając stanu skupienia. Występuje to podczas zjawiska rozszerzalności temperaturowej, która polega na zwiększaniu objętości substancji podczas ogrzewania i zmniejszaniu objętości podczas ochładzania.

Wyjątkiem jest woda, która charakteryzuje się tzw. anomalną rozszerzalnością temperaturową. Woda w przedziale temperatur od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $4^{\circ}\text{C}$  nie rozszerza się jak inne ciecze, lecz się kurczy. W temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$  woda ma największą gęstość. Ogrzewanie wody o tej temperaturze powoduje zmniejszenie jej gęstości (wzrost objętości), ale i jej oziębianie wywołuje ten sam efekt. Dzięki anomalii temperaturowej woda o temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$  opada na dno zbiornika wodnego. Zimą na powierzchni jeziora tworzy się lód. Ponieważ ma on mniejszą gęstość niż woda, nie opada na dno. Woda zamraża więc od góry, ale nie całkowicie, gdyż przy dnie ma temperaturę  $4^{\circ}\text{C}$ . Dzięki temu zimą możliwe jest życie roślin i zwierząt w jeziorze.





## II. SZACOWANIE ŚREDNICY CZĄSTECZKI OLEJU

### Materiały:

Elektroniczna waga kuchenna, olej, pipeta, talerz z wodą destylowaną, słoiczek, starty korek, linijka.



### Wykonanie:

Zmierzyć masę słoiczka a następnie odmierzyć za pomocą pipety 100 kropli oleju i zważyć słoiczek z olejem. Obliczyć masę oleju, a następnie obliczyć masę 1 kropli oleju:  $m_1 = m/100$

Obliczyć objętość 1 kropli oleju, korzystając z przekształconego wzoru na gęstość:

$$V = m_1 / \rho \quad \text{gdzie: } V \text{ – objętość kropli oleju,}$$
$$m_1 \text{ – masa kropli oleju,}$$
$$\rho \text{ – gęstość oleju.}$$

Nalać wody na talerz i posypać wodę startym korkiem. Wpuścić kroplę oleju na wodę i gdy utworzy się kolista plama, zmierzyć jej średnicę. Ponieważ objętość kropli nie uległa zmianie, można założyć, że grubość plamy oleju jest równa średnicy pojedynczej cząsteczki.



Do obliczenia grubości warstwy oleju skorzystamy ze wzoru na objętość:

$$V = \pi R^2 \cdot d \quad \text{gdzie: } R \text{ – promień plamy oleju,}$$
$$d \text{ – średnica cząsteczki oleju (grubość warstwy oleju).}$$

ponieważ  $V = m_1 / \rho$  i  $V = \pi R^2 \cdot d$ , to  $d = m_1 / \pi R^2 \rho$ .



### Wyjaśnienie:

W przypadku wody i oleju, siły przylegania są większe niż siły spójności między cząsteczkami oleju. Można zatem założyć, że cząsteczki oleju tworzą na wodzie pojedynczą warstwę, której grubość jest równa średnicy cząsteczki oleju.

## III. Dyskusja nad niepewnościami pomiarowymi i ich wpływem na wiarygodność wyznaczenia średnicy cząsteczki oleju

Pomiar średnicy cząsteczki oleju jest pomiarem pośrednim. Aby wyznaczyć średnicę cząsteczki oleju, należy wyznaczyć masę jednej kropli oleju oraz średnicę plamy oleju, czyli dokonać pomiarów bezpośrednich. W takim przypadku mamy do czynienia z niepewnością pośrednią. Do obliczenia niepewności takiego pomiaru posłużymy się wzorem, który pozwoli w sposób uproszczony obliczyć niepewność pomiaru pośredniego. Jeśli wielkość mierzona  $x$  jest wyrażona wzorem typu:

$$x = A/B^2$$

to niepewność bezwzględną obliczamy według następującego schematu:

$$\Delta x = (\Delta A/A + 2\Delta B/B) \cdot x$$

### Analiza niepewności przykładowego pomiaru średnicy cząsteczki oleju

Pomiar masy 100 kropli oleju = 1 g

Masa 1 kropli oleju = 0,01 g

Pomiar średnicy plamy oleju  $2R = 10$  cm

Pomiaru średnicy plamy oleju, dokonano za pomocą linijki, która mierzy z dokładnością do 1 mm więc:

$$\Delta R = 0,5 \text{ mm} = 0,05 \text{ cm}$$

Pomiar masy 100 kropli dokonano za pomocą wagi, która mierzy z dokładnością do 1 g, więc:  $\Delta m_1 = 0,01$  g

Obliczamy grubość warstwy plamy oleju czyli średnicę cząsteczki, zgodnie ze wzorem:

$$d = m_1 / \pi R^2 \rho \quad \mathbf{d = 0,00014 \text{ cm}} \quad \text{gdzie } \rho_{\text{oleju}} = 0,92 \text{ g/cm}^3$$

Obliczamy niepewność naszego pomiaru zgodnie ze schematem:

$$\Delta d = (\Delta m_1 / m_1 + 2\Delta R / R) \cdot d \quad \mathbf{\Delta d = 0,000004 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ cm}}$$

Średnica cząsteczki oleju wynosi więc:  $d = 0,00014 (\pm 0,000004)$  cm

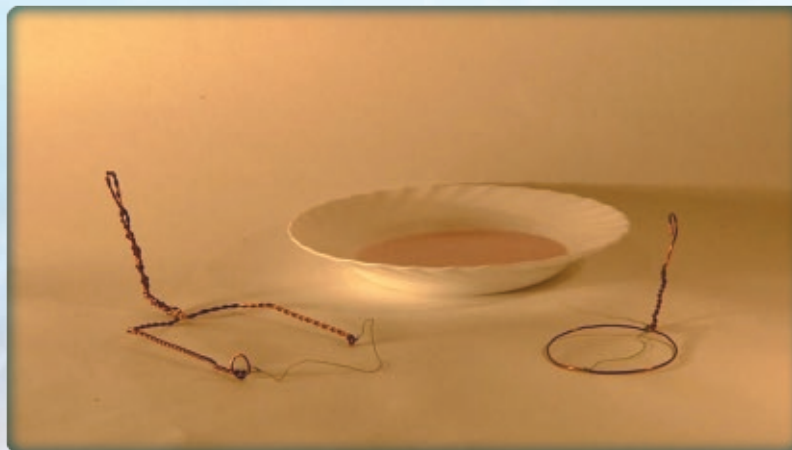
Na podstawie tej metody pomiaru można jedynie powiedzieć, że rozmiary cząsteczki oleju nie są większe niż uzyskany wynik.

## IV. BADANIE ODDZIAŁYWAŃ MIĘDZYCZĄSTECzkOWYCH

### Doświadczenie I

#### Materiały:

Woda, płyn do mycia naczyń, talerz, słomka, nitki, cukier, nóż, druty wygięte w kształcie: U, O.

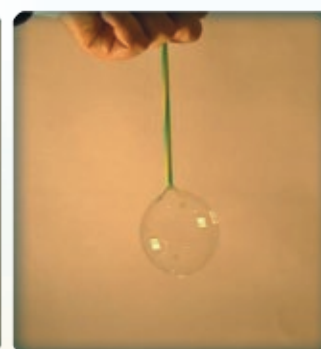
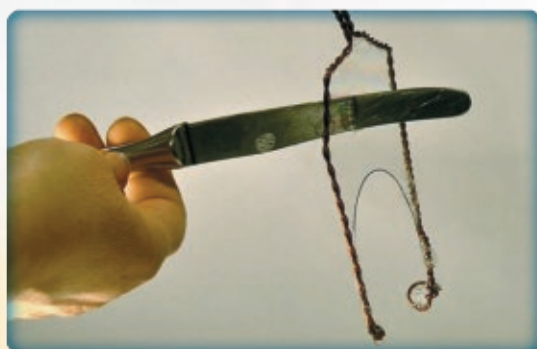
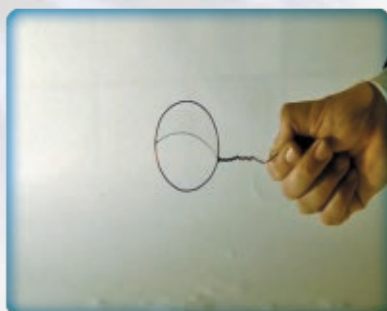


#### Wykonanie:

Ze sztywnego drutu wykonać:

- okrąg i wzdłuż średnicy umocować luźno nitkę,
- literę U na której końcach umocować luźno nitkę.

Z wody i płynu do mycia naczyń oraz łyżeczki cukru zrobić mieszaninę, w której należy zanurzyć wygięte druty. Po wyjęciu okrągłego drutu przerwać błonę mydlaną po jednej stronie nitki. Po wyjęciu drutu w kształcie U, obserwować zachowanie się nitki. Następnie delikatnie, namoczonym nożem w roztworze, przebić błonę mydlaną. Zanurzyć słomkę w roztworze i dmuchając w słomkę utworzyć bańkę mydlaną. Po nadmuchaniu bańki zatkać palcem drugi koniec słomki, po chwili odetkać słomkę i obserwować rozmiary bańki.



**Obserwacja:**

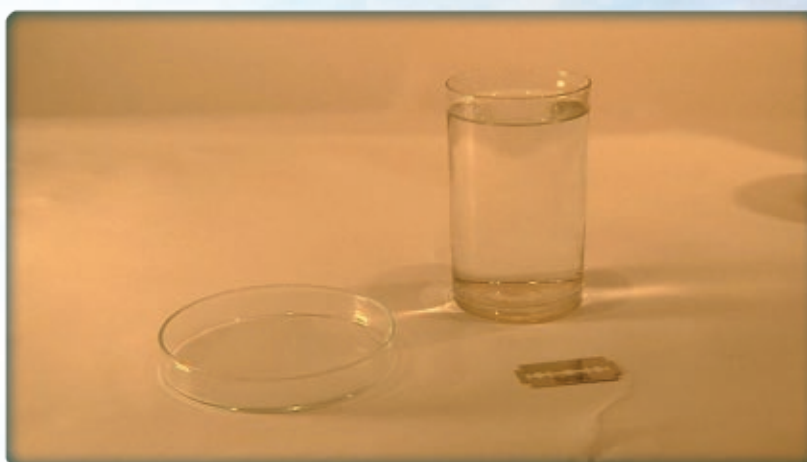
Nitka zostaje napięta w kształcie łuku (jest ciągnięta przez błonę). Błona przebita nożem nie pękła. Bańka mydlana zmniejsza swoje rozmiary.

**Wyjaśnienie:**

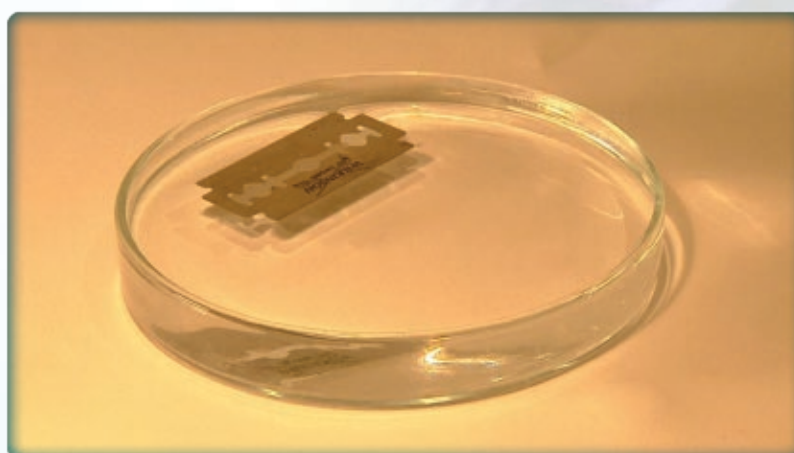
Bańka mydlana zmniejszała rozmiary, nitka jest ciągnięta przez błonę, ponieważ występują między cząsteczkami błony mydlanej siły przyciągania. Siły międzycząsteczkowe dążą do maksymalnego zmniejszenia powierzchni błonki, która utworzyła się między nitką a drutem. Siły międzycząsteczkowe utrzymują błonę w całości podczas przecinania jej nożem.

**Doświadczenie II****Materiały:**

Naczynie z wodą, żyletka.

**Wykonanie:**

Położyć na powierzchni wody żyletkę i obserwować zachowanie się żyletki oraz powierzchnię wody. Wyjąć żyletkę i ponownie zwrócić uwagę na kształt powierzchni wody.

**Obserwacja:**

Żyletka nie tonie, a na powierzchni wody tworzy się wyraźne wgłębienie, świadczące o nacisku żyletki na wodę. Po usunięciu żyletki wgłębienie znika.



**Wyjaśnienie:**

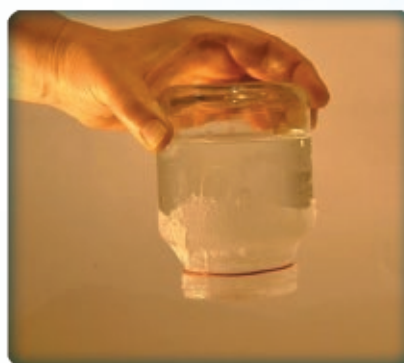
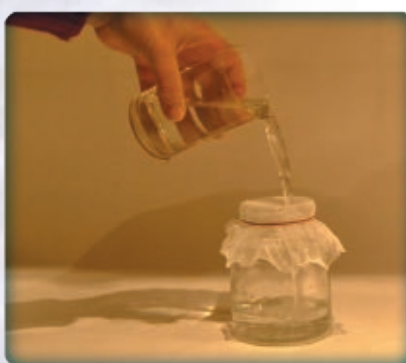
Żyłekta nie tonie, choć zgodnie z prawem Archimedesesa powinna pójść na dno. Żyłekę utrzymuje napięcie powierzchniowe. Na powierzchni cieczy tworzy się warstwa odznaczająca się sprężystością: odkształca się pod wpływem sił zewnętrznych, lecz po ich usunięciu powraca do pierwotnego kształtu. Pod wpływem wypadkowych sił spójności warstwa powierzchniowa cieczy wywiera na sąsiadujące z nią warstwy nacisk zwrócony do wnętrza cieczy, prostopadle do jej powierzchni. Zgodnie z III zasadą dynamiki, niższe warstwy muszą wywierać nacisk o takiej samej wartości, lecz zwrócony przeciwnie tj. w stronę powierzchni cieczy.

**Doświadczenie III****Materiały:**

Słoik, gaza, recepturka, woda, miska.

**Wykonanie:**

Na otwór słoika nałożyć gazę i przymocować ją recepturką. Do słoika nalać przez gazę do pełna wody, przykryć dłonią otwór i odwrócić słoik do góry nogami. Obserwować zachowanie się wody w słoiku po odsunięciu dłoni. Potrząsnąć słoikiem i ponownie obserwować zachowanie się wody. Doświadczenie przeprowadzać nad miską.

**Obserwacja:**

Po odwróceniu słoika, woda nie wylewa się przez gazę. Po potrząśnięciu słoikiem niewielka ilość wody wylała się, a pozostała woda nadal zatrzymywana jest przez gazę. Jeśli jednak przechylić słoik, to przy pewnym kącie nachylenia woda wypłynie ze słoika.

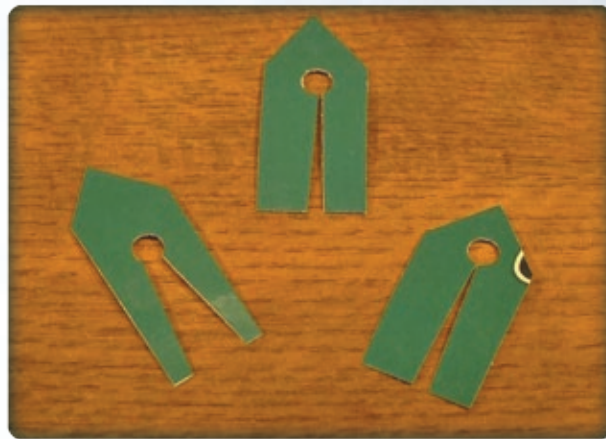
**Wyjaśnienie:**

W wodzie między oczkami gazy występuje napięcie powierzchniowe, które utrzymuje wodę w słoiku. Im dłuższa jest krawędź, do której prostopadle działa siła rozciągająca błonę powierzchniową cieczy, tym większej siły trzeba użyć do rozerwania błony powierzchniowej. Sieć, z której utworzona jest gaza powoduje, że krawędź, z którą styka się błona powierzchniowa jest bardzo duża i dlatego utrzymuje nawet ciężar wody zawartej w słoiku (w otoczeniu panuje ciśnienie atmosferyczne).

## Doświadczenie IV

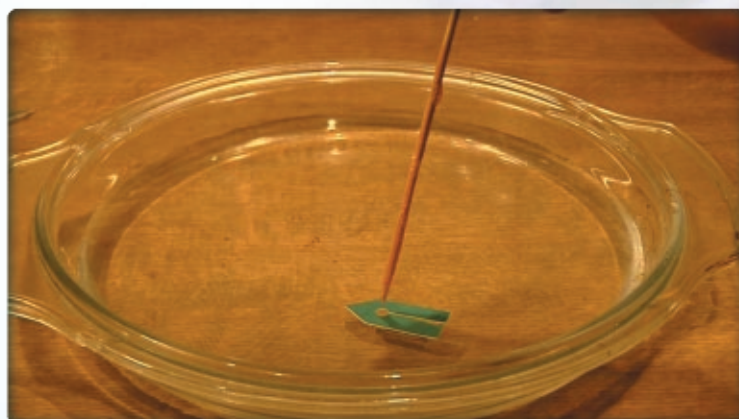
### Materiały:

Płaskie naczynie z wodą, kartonik z pudełka po butach, nożyczki, kropla płynu do mycia naczyń.



### Wykonanie:

Z kartonika wyciąć kształt „rakiety” pokazany na zdjęciu i położyć go na wodzie. Puścić kroplę płynu do mycia naczyń między końce dysz „rakiety” i obserwować jej zachowanie.



### Obserwacja:

Po wpuszczeniu kropli płynu do mycia naczyń między dysze „rakiety” ruszyła.

### Wyjaśnienie:

Płyn do mycia naczyń osłabił napięcie powierzchniowe wody. Cząsteczki wody zaczęły oddalać się od siebie i te które poruszały się w stronę „rakiety” popychały ją.

## Doświadczenie V

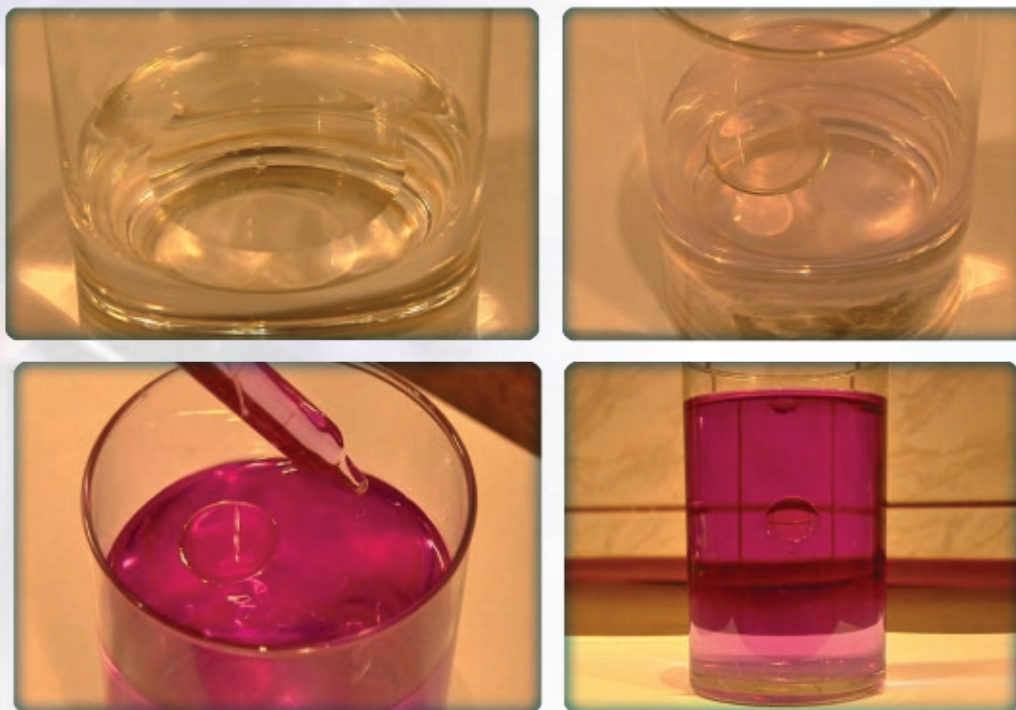
### Materiały:

Szklanka z niewielką ilością wody, około  $1\text{ cm}^3$  oleju jadalnego, denaturat.

### Wykonanie:



Do niewielkiej ilości wody wpuścić w jedno miejsce  $1\text{ cm}^3$  oleju. Obejrzeć kształt plamy oleju. Dolewać stopniowo denaturat mieszając go z wodą tak, aby nie rozdrobnić plamy oleju. Doprowadzić do tego, aby olej pływał we wnętrzu roztworu. Porównać kształt plamy oleju na końcu z kształtem na początku doświadczenia.



### Obserwacja:

Początkowo olej przyjął kształt plamy, a po dolaniu denaturatu olej przyjął kształt kulisty.

### Wyjaśnienie:

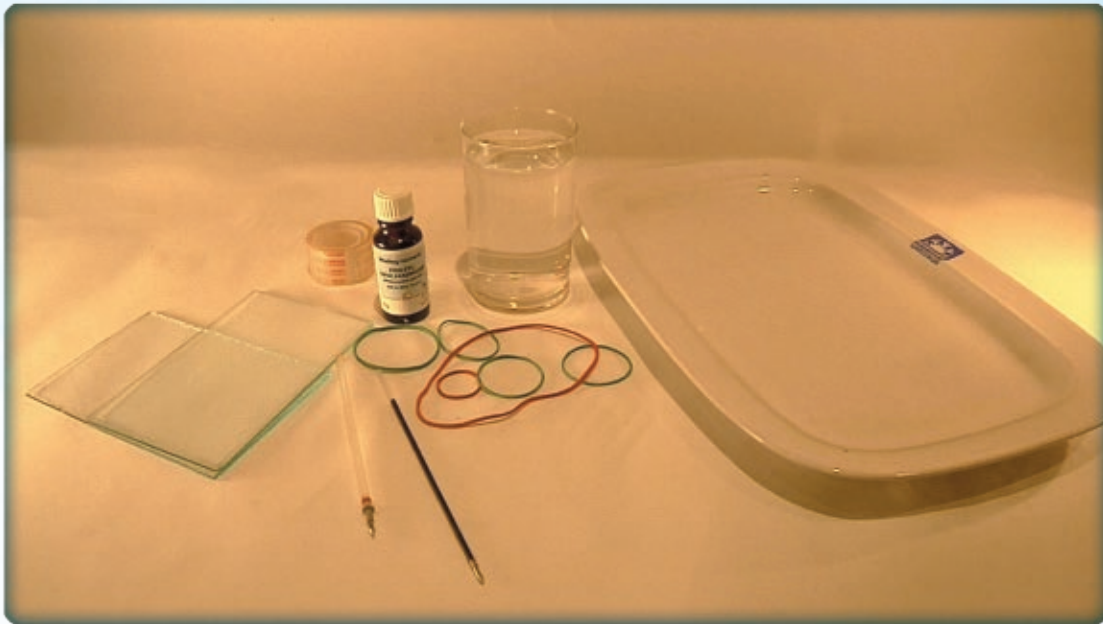
Początkowo olej przyjmuje kształt plamy, gdyż siły przylegania cząsteczek oleju są większe niż siły spójności cząsteczek oleju. Po dolaniu denaturatu, siły spójności cząsteczek oleju są większe od sił przylegania cząsteczek oleju oraz roztworu denaturatu w wodzie i olej przyjmuje kształt kulisty.



## Doświadczenie VI

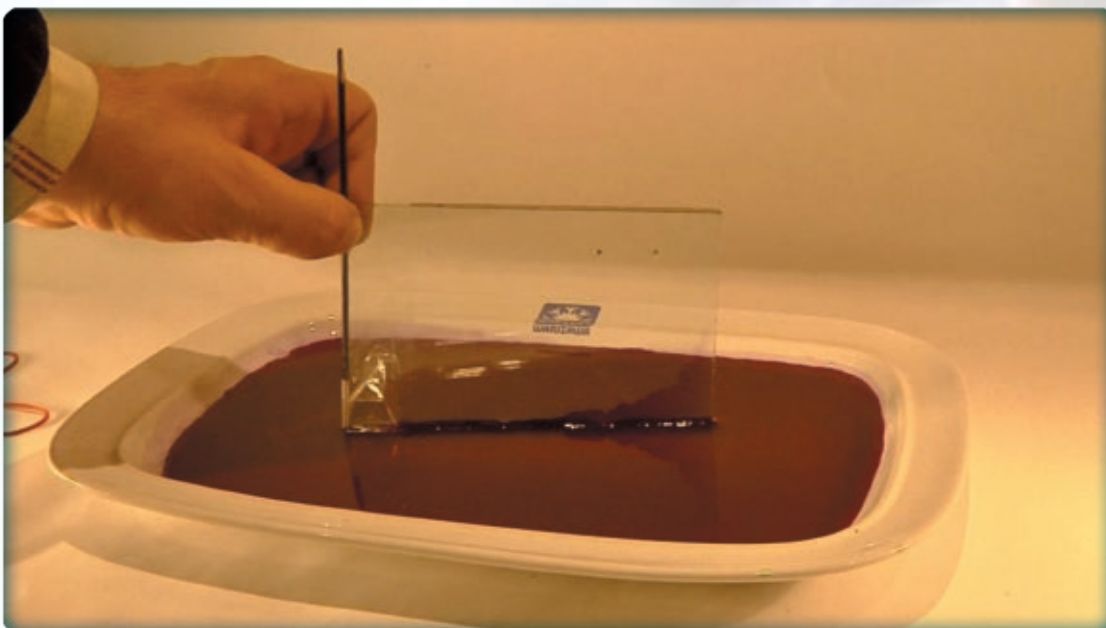
### Materiały:

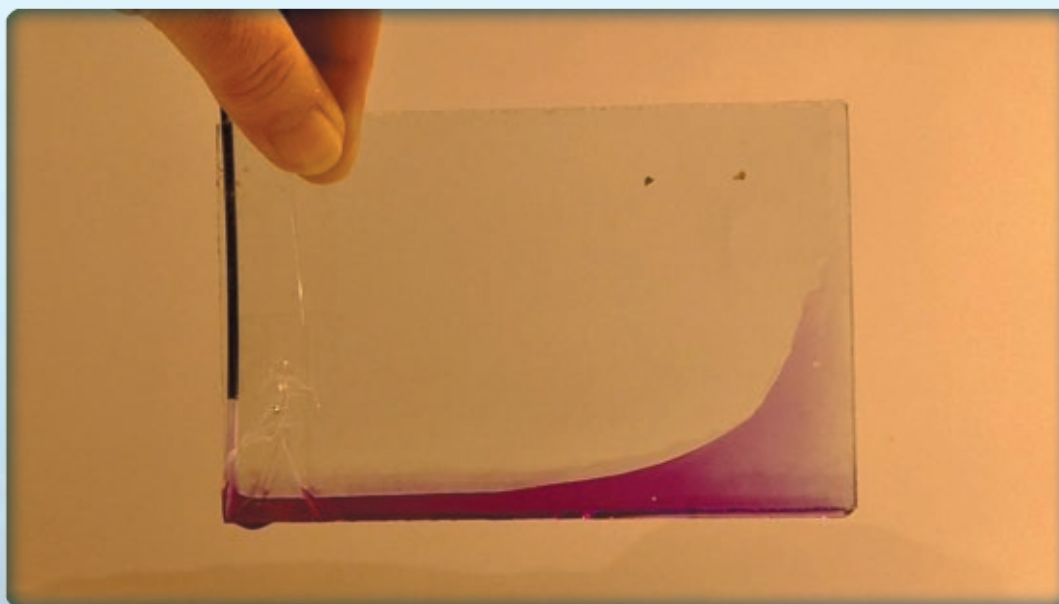
Dwie szybki, patyczek np. do szaszłyków, recepturka, zabarwiona woda w naczyniu.



### Wykonanie:

Szybki złożyć i między nie włożyć przy jednym z boków, patyczek. Wszystko złączyć recepturką. Zanurzyć krawędź szybek w zabarwionej wodzie i obserwować zachowanie wody między szybkami.





**Obserwacja:**

Woda wspina się najwyżej w tej części między szybkami, gdzie jest najmniejsza między nimi odległość.

**Wyjaśnienie:**

Cząsteczki znajdujące się przy samej ścianie naczynia poddane są dwóm siłom: spójności i przylegania. Jeśli przeważają siły przylegania, to cząsteczki cieczy zwilżają ścianki „pnąc” się niejako po nich, tak jak jest w przypadku wody i szkła.

## V. WYZNACZANIE GĘSTOŚCI SUBSTANCJI

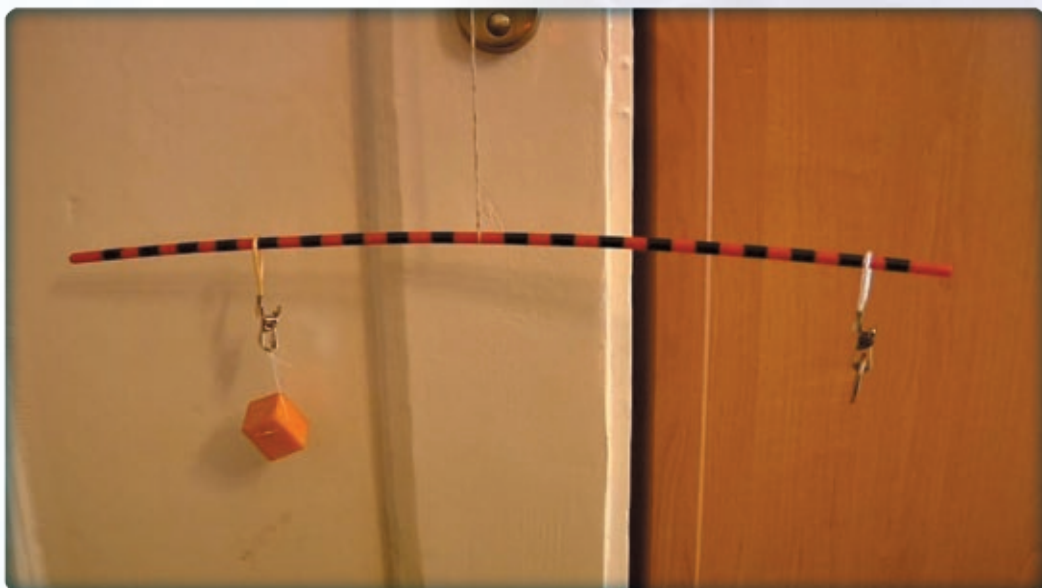
**Materiały:**

Rurka do balonów, cienki sznurek, nitka, igła, linijka, nóż, marchewka, spinacze do identyfikacji, moneta 1 zł.



### Wykonanie:

Przekłuć rurkę do balonów igłą dokładnie w połowie i przewlec przez otwory sznurek. Zawiązać sznurek i zawiesić poziomo rurkę, przywiązując drugi koniec sznurka np. do klamki. Z marchewki wyciąć niewielki prostopadłościan i zmierzyć jego krawędzie. Obliczyć objętość prostopadłościanu zgodnie ze wzorem:  $V = a \cdot b \cdot c$ . Za pomocą igły przewlec nitkę przez środek prostopadłościanu. Po dwóch stronach rurki do balonów, umieścić spinacze do identyfikatorów (tak powstała dźwignia dwustronna). Do jednego spinacza przyczepić monetę 1zł, a do drugiego nitkę z marchewką. Ustalić równowagę rurki (dźwigni dwustronnej). Zmierzyć odległości  $r_1$  (odległość monety od środka rurki) i  $r_2$  (odległość prostopadłościanu od środka rurki). Wykorzystując warunek równowagi dźwigni dwustronnej, obliczyć masę marchewki.





Warunek równowagi dźwigni dwustronnej:

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

gdzie:  $F_1 = m_1 \cdot g$  (ciężar monety);  $F_2 = m_2 \cdot g$  (ciężar marchewki).

Warunek równowagi naszej dźwigni można więc zapisać jako:

$$m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot r_2$$

gdzie:  $m_1 = 5g$  - masa monety 1 zł (wg NBP);  $m_2$  - masa marchewki.

Do obliczenia gęstości marchewki skorzystamy z następujących wzorów:

$$m_2 = m_1 \cdot r_1 / r_2 \quad V = a \cdot b \cdot c \quad \rho = m_2 / V$$

gdzie wzór końcowy to:  $\rho = m_1 \cdot r_1 / r_2 \cdot a \cdot b \cdot c$ .

## VI. DYSKUSJA NAD NIEPEWNOŚCIAMI POMIAROWYMI I ICH WPŁYWIE NA WIARYGODNOŚĆ WYZNACZENIA GĘSTOŚCI MARCHEWKI

Pomiar gęstości jest pomiarem pośrednim. Aby wyznaczyć gęstość marchewki należy: dokonać pomiaru długości ramion dźwigni i długości krawędzi prostopadłościanu marchewki, czyli dokonać pomiarów bezpośrednich. W takim przypadku mamy do czynienia z niepewnością pośrednią. Do obliczenia niepewności takiego pomiaru posłużymy się wzorem, który pozwoli w sposób uproszczony obliczyć niepewność pomiaru pośredniego. Jeśli wielkość mierzona  $x$  jest wyrażona wzorem typu:

$$x = A/B$$

to niepewność bezwzględną obliczamy według następującego schematu:

$$\Delta x = (\Delta A/A + \Delta B/B) \cdot x$$

### Analiza niepewności przykładowego pomiaru gęstości marchewki

Pomiaru dokonano dla trzech różnych objętości marchewki według poniższego schematu, a wyniki zamieszczono w tabeli poniżej.

Pomiar długości krawędzi prostopadłościennej marchewki:  $a = \dots \text{cm}$   $b = \dots \text{cm}$   $c = \dots \text{cm}$ .

Pomiar odległości na dźwigni dwustronnej:  $r_1 = \dots \text{cm}$ ;  $r_2 = \dots \text{cm}$

Pomiarów tych dokonano za pomocą linijki, która mierzy z dokładnością do 1 mm więc:

$$\Delta a = 0,1 \text{ cm} \quad \Delta b = 0,1 \text{ cm} \quad \Delta c = 0,1 \text{ cm} \quad \Delta r_1 = 0,1 \text{ cm} \quad \Delta r_2 = 0,1 \text{ cm}$$

Obliczamy gęstość marchewki zgodnie ze wzorem:

$$\rho = m_1 \cdot r_1 / r_2 \cdot a \cdot b \cdot c \quad \rho = \dots \text{g/cm}^3$$

Obliczamy niepewność naszego pomiaru zgodnie ze schematem:

$$\Delta\rho = (\Delta r_1/r_1 + \Delta r_2/r_2 + \Delta a/a + \Delta b/b + \Delta c/c) \cdot \rho \quad \Delta\rho = \dots\dots\dots$$

Wynik naszego pomiaru wynosi więc:  $\rho = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots) \text{ g/cm}^3$

| L.p. | a [cm] | b [cm] | c [cm] | V [cm <sup>3</sup> ] | r <sub>1</sub> [cm] | r <sub>2</sub> [cm] | m <sub>2</sub> [g] | ρ [g/cm <sup>3</sup> ] | Δρ [g/cm <sup>3</sup> ] | ρ ± Δρ [g/cm <sup>3</sup> ] |
|------|--------|--------|--------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1.   | 1,9    | 2,0    | 2,5    | 9,5                  | 16,2                | 10,5                | 7,71               | 0,81                   | 0,13                    | 0,81±0,13                   |
| 2.   | 1,6    | 1,8    | 4,5    | 12,96                | 18,2                | 8,0                 | 11,37              | 0,87                   | 0,14                    | 0,87±0,14                   |
| 3.   | 1,8    | 1,9    | 6,5    | 22,23                | 7,1                 | 2,0                 | 17,75              | 0,80                   | 0,15                    | 0,80±0,15                   |

## VII. BADANIE ROZSZERZALNOŚCI TEMPERATUROWEJ CIAŁ STAŁYCH, CIECZY I GAZÓW

### Doświadczenie I

#### Materiały:

Moneta, świeczka, zapalniczka, dwa gwoździe, pinceta lub drewniana klamerka do bielizny, młotek.



#### Wykonanie:

Położyć monetę na deseczce i wbić dwa gwoździe tak, aby moneta między nimi przesuwiała się swobodnie. Następnie trzymając monetę za pomocą pincety, ogrzać ją w płomieniu świecy. Ponownie położyć monetę na deseczce i spróbować przesunąć między gwoździami.



**Obserwacja:**

Moneta nie mieści się w przestrzeni między gwoździami.

**Wniosek:**

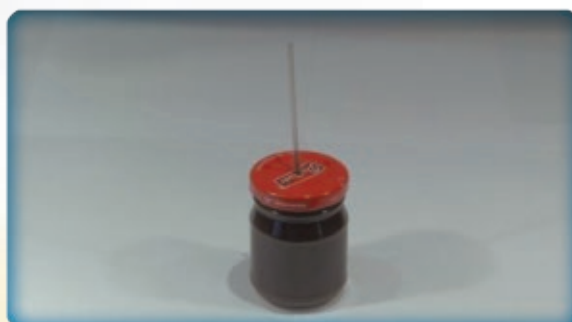
Ciało stałe na skutek ogrzewania zwiększyło swoją objętość. Rozszerzalność temperaturową monety tłumaczymy wzrostem amplitudy drgań cząsteczek względem położenia równowagi. Wzrost tych drgań powoduje więc zwiększenie wzajemnych odległości między cząsteczkami.

**Doświadczenie II****Materiały:**

Mały słoiczek, esencja z herbaty, klej, gwóźdź, pusty przezroczysty wkład z długopisu.

**Czynności:**

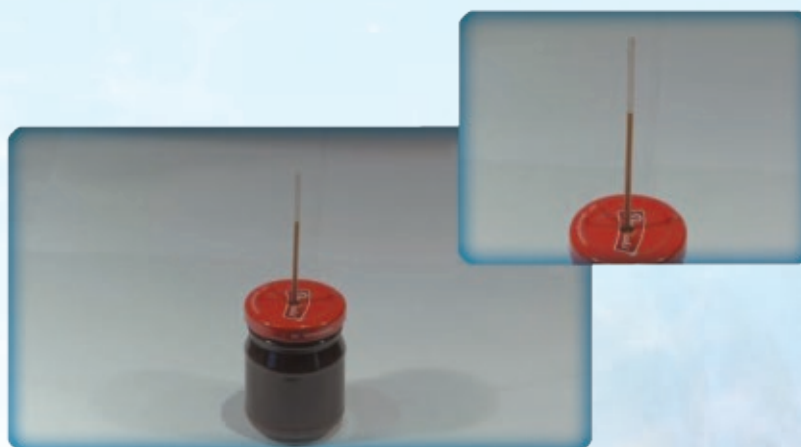
W nakrętce od słoiczka zrobić otwór gwoździem i włożyć w otwór pusty wkład od długopisu. Uszczelnić otwór klejem. Do słoiczka wlać esencję i zamknąć go nakrętką. Ogrzewać rękami słoiczek. Obserwować poziom cieczy w rurce.





**Obserwacja:**

Poziom cieczy podniósł się.

**Wniosek:**

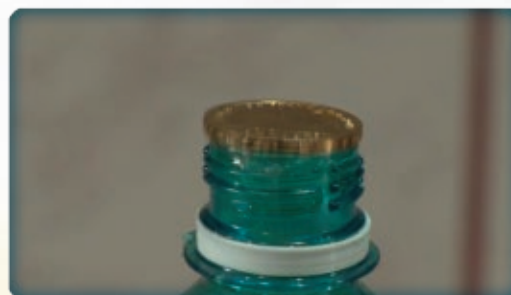
Ciecze, podobnie jak ciała stałe, w wyniku ogrzewania zwiększają swoją objętość. Wzrost temperatury cieczy powoduje wzrost średniej energii kinetycznej cząsteczek, a zatem wzrost odległości między cząsteczkami, czyli wzrost objętości cieczy.

**Doświadczenie III****Materiały:**

Butelka 1,5 l po wodzie mineralnej, moneta, spirytus salicylowy, odrobina płynu do mycia naczyń.

**Czynności:**

Do butelki wlać niewielką ilość spirytusu salicylowego, posmarować otwór butelki płynem do mycia naczyń, położyć monetę na otwór butelki. Ogrzewać butelkę rękami i obserwować zachowanie się monety.



### Obserwacja:

Moneta „podskakuje” na otworze butelki.

### Wniosek:

Gazy w wyniku ogrzewania zwiększają swoją objętość. Wzrost temperatury powoduje wzrost prędkości cząsteczek, które oddalają się od siebie coraz bardziej.

## VIII. WYKORZYSTANIE ODDZIAŁYWAŃ MIĘDZYCZĄSTECZKOWYCH I ROZSZERZALNOŚCI TEMPERATUROWEJ CIAŁ W ŻYCIU CODZIENNYM

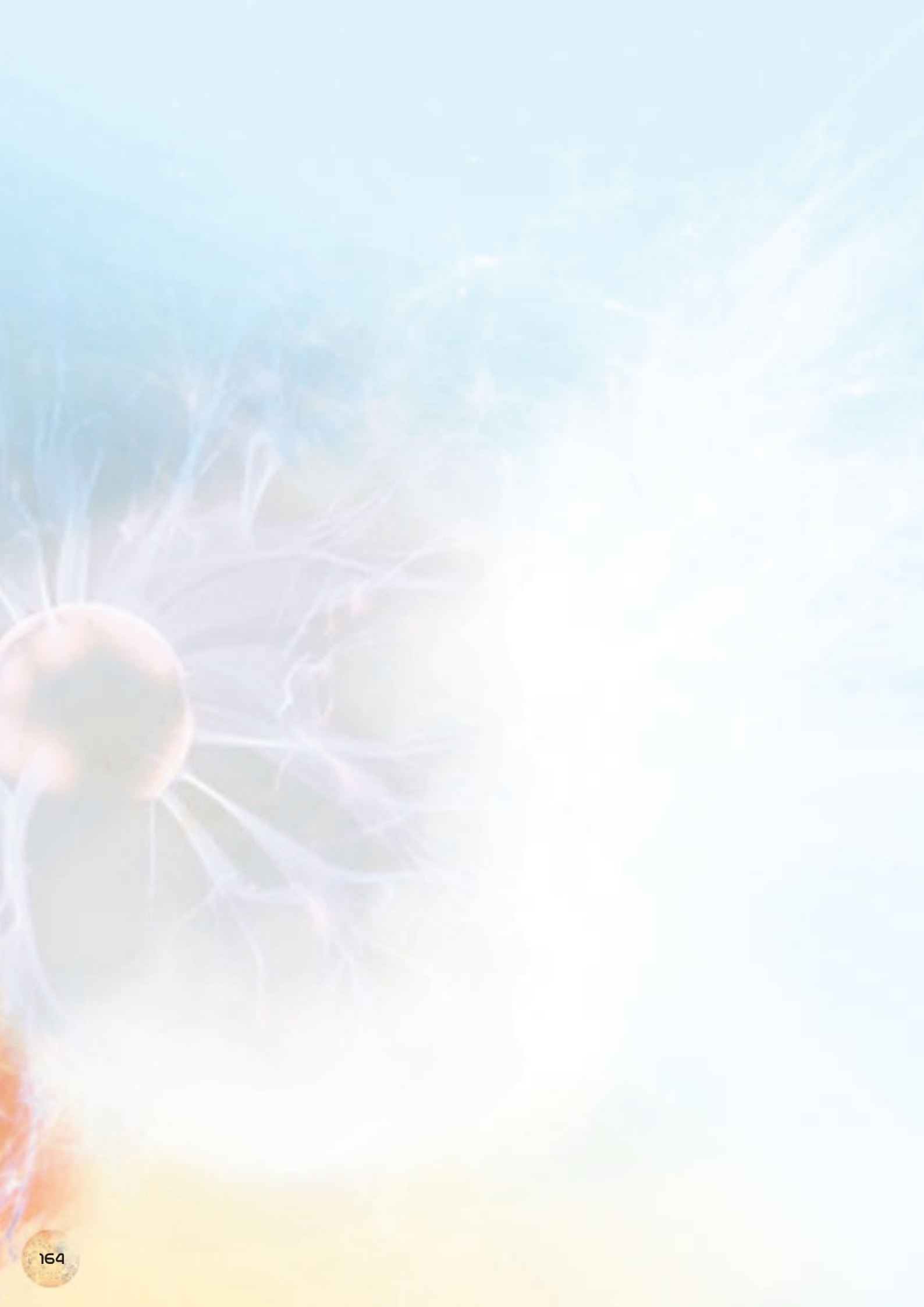
Znajomość działania sił spójności, sił przylegania i włoskowatości, pozwala wyjaśnić różne zjawiska występujące w przyrodzie i w życiu codziennym np:

- a) Pióra ptactwa wodnego pokryte są warstwą tłuszczu. Siły spójności działające między cząsteczkami wody są większe niż siły przylegania między cząsteczkami wody a cząsteczkami tłuszczu, co tłumaczy spływanie wody po ptasich piórach (woda ich nie zwilża).
- b) Kleje wykonuje się z substancji, które charakteryzują się dużą przyczepnością (dużymi siłami przylegania) do ciał stałych, czyli silnymi oddziaływaniami drobin kleju z drobinami ciał stałych. Kleje też odznaczają się dużymi siłami spójności, dzięki czemu są odporne na rozerwanie.
- c) Napięcie powierzchniowe wody wykorzystuje się stosując różnego rodzaju okrycia nieprzemakalne jak parasole, namioty. Wykonane są one z tkanin, które nie są wodoszczelne, a jednak zabezpieczają skutecznie przed deszczem. Parasol nie przecieka dopóki nie potrzemy go od wewnętrznej strony palcem i nie zniszczymy błony. Z tego samego powodu nie należy dotykać wewnętrznej powierzchni namiotu podczas deszczu.
- d) Do prania stosujemy różnego typu detergenty, których celem jest zmniejszenie napięcia powierzchniowego wody, dzięki czemu proszek wnika w tkaninę i ułatwia oddzielenie brudu od tkaniny.
- e) Dzięki zjawisku włoskowatości, woda z gleby dociera do liści. Ze względu na to, że siły przylegania są większe od sił spójności, błona powierzchniowa wywołuje podciśnienie i pociąga za sobą ciecz znajdującą się bezpośrednio pod błoną. Gdyby nie włoskowatość naczyń, woda nie mogłaby się podnieść wyżej niż na wysokość 10 m.
- f) Włoskowatość gleby jest warunkiem urodzajów. Korzenie roślin musiałyby sięgać nieraz bardzo głęboko w glebę w poszukiwaniu wilgoci. Orka po żniwach ma na celu m.in. zlikwidować włoskowatość wierzchniej warstwy gleby, aby ta nie wyschła nadmiernie pod wpływem wiatru i słońca.
- g) Włoskowatość wykorzystujemy zbierając za pomocą ścierki wodę z podłogi, wycierając ręcznikiem ręce po umyciu, stosując knot w świecy.

Znajomość skutków rozszerzalności temperaturowej ciał stałych, cieczy i gazów znalazło zastosowanie w:

- a) układaniu torów kolejowych z uwzględnieniem tzw. przerw dylatacyjnych, które latem chronią tory przed wyboczeniem,
- b) w mostach na przęsłach montuje się specjalne „grzebienie”, które latem zapewniają swobodę wydłużania się przęseł i wzajemne nachodzenie na siebie,
- c) w betonowej drodze robi się specjalne szczeliny, aby zapobiec deformacjom, które mogłyby powstać latem na skutek rozszerzania się betonu.
- d) w budownictwie używa się do „zbrojenia” betonowych bloków stalowych prętów, które mają taką samą rozszerzalność temperaturową jak beton,
- e) do regulowania temperatury np. w żelazkach, używa się termostatów, w których zastosowano bimetale, czyli dwa paski metali o różnej rozszerzalności temperaturowej,
- f) rozszerzalność temperaturową cieczy wykorzystujemy w termometrach,
- g) rozszerzalność gazów pod wpływem ogrzewania wykorzystuje się w lotach balonem. Ogrzany gaz zwiększa swoją objętość, a więc zwiększa się siła wyporu unosząca balon.





MARZENA SŁAWSKA  
HYDROSTATYKA







# X. HYDROSTATYKA

**Cele:** Zaobserwować skutki działania ciśnienia hydrostatycznego i siły wyporu oraz dokonać ich pomiaru.

## Badamy i mierzymy:

- a - Od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne,
- b - Wartość ciśnienia hydrostatycznego,
- c - Od czego zależy siła wyporu,
- d - Wartość siły wyporu.
- e - Efekty związane z prawem Bernoulliego.

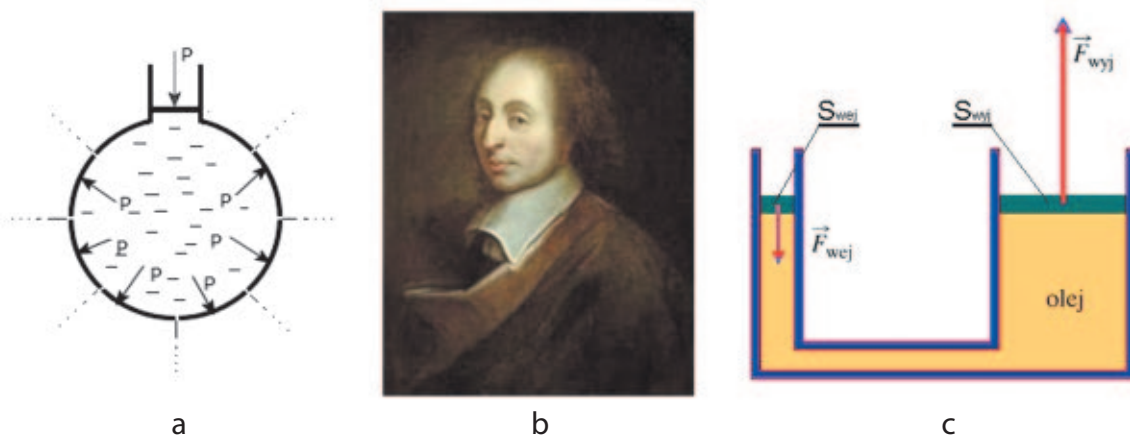
## Plan pracy:

- Podstawowe prawa hydrostatyki.
- Związek między szybkością cieczy a jej ciśnieniem.
- Badanie od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne.
- Zachowanie się cieczy w naczyniach połączonych.
- Wyznaczanie gęstości cieczy za pomocą naczyń połączonych.
- Dyskusja nad niepewnościami pomiarowymi i ich wpływie na wiarygodność wyznaczenia gęstości cieczy.
- Wyznaczanie ciśnienia hydrostatycznego za pomocą naczyń połączonych.
- Dyskusja nad niepewnościami pomiarowymi i ich wpływie na wiarygodność wyznaczenia ciśnienia hydrostatycznego.
- Badanie zachowania się cieczy pod wpływem działania na nią siły z zewnątrz.
- Badanie od czego zależy siła wyporu.
- Dyskusja nad niepewnościami pomiarowymi i ich wpływie na wiarygodność wyznaczenia siły wyporu.
- Wykorzystanie ciśnienia hydrostatycznego i siły wyporu.
- Konstrukcje prostych przyrządów pomiarowych do doświadczeń z hydrostatyki.
- Obserwacje skutków działania prawa Bernoulliego.

## I. PODSTAWOWE PRAWA HYDROSTATYKI

Ciecze i gazy przyciągane przez Ziemię naciskają na podłoże swoim ciężarem, wywołując ciśnienie. Ciśnienie, to stosunek siły do powierzchni, na którą siła ta działa. Ciecze i gazy mają również możliwość przenoszenia działającego na nie zewnętrznego ciśnienia i to jednakowo we wszystkich kierunkach (por. ryc. 1 a). Udowodnił to swoim doświadczeniem Blaise Pascal (ryc. 1 b). Ten doświadczalny fakt można wytłumaczyć budową wewnętrzną cieczy i gazów. Drobiny cieczy czy gazu naciskają na drobiny sąsiednie, te z kolei przekazują nacisk swoim sąsiadom. Prawo Pascala stanowi podstawę działania maszyn hydraulicznych (wodnych) i pneumatycznych (ze sprężonym powietrzem) np. prasy hydraulicznej (patrz ryc. 1 c).

Ryc. 1.



- Ilustracja prawa Pascala: ciśnienie zewnętrzne wywarte na ciecz (od góry), powoduje nacisk cieczy na ścianki naczynia we wszystkich kierunkach. Linie przerywane wskazują na kierunki, w których tryskałaby ciecz, gdyby w tych miejscach były małe otwory.
- Portret Blaise Pascala (Źródło: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/98/Blaise\\_Pascal\\_Versailles.JPG/201px-Blaise\\_Pascal\\_Versailles.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/98/Blaise_Pascal_Versailles.JPG/201px-Blaise_Pascal_Versailles.JPG))
- Zasada działania prasy hydraulicznej:  $F_{wyj} = \frac{S_{wyj}}{S_{wej}} \cdot F_{wej}$

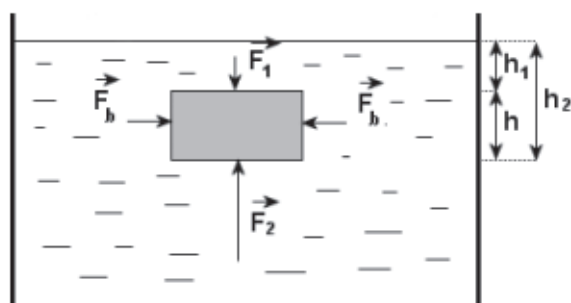
Ze względu na to, że na ciecz działa siła ciężkości, ciśnienie w otwartym zbiorniku z cieczą, zwane ciśnieniem hydrostatycznym, jest tym większe im wyższy jest słup cieczy. Jest to spowodowane tym iż kolejne warstwy cieczy pod działaniem siły ciężkości dodatkowo naciskają na warstwy położone niżej. Ciśnienie wywierane przez ciecz na dowolną powierzchnię na pewnej głębokości zależy od rodzaju cieczy (od jej gęstości), od wysokości jej słupa oraz od przyspieszenia grawitacyjnego. Z tego więc powodu, ten sam słup cieczy wywiera na równiku mniejsze ciśnienie niż na biegunie, a jeszcze mniejsze wywierałby na Księżycu.

Skutkiem działania ciśnienia hydrostatycznego jest siła wyporu. Siła wyporu jest wypadkową sił parcia działających na ciało ze strony cieczy i jest zwrócona ku górze, dlatego ciała włożone do cieczy tracą pozornie na ciężarze (patrz ryc. 2).

Ryc.2.

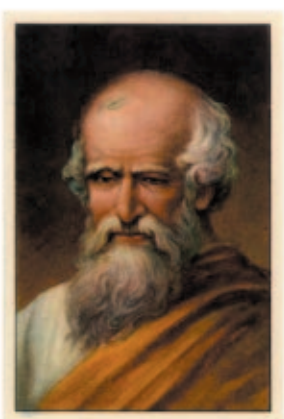
Schemat ilustruje siły działające ze strony cieczy na prostopadłościan w niej zanurzony. W kierunku pionowym działa wypadkowa siła skierowana do góry równa  $F_2 - F_1$ . Siły działające w kierunkach poziomych się znoszą.

Ryc. 2.

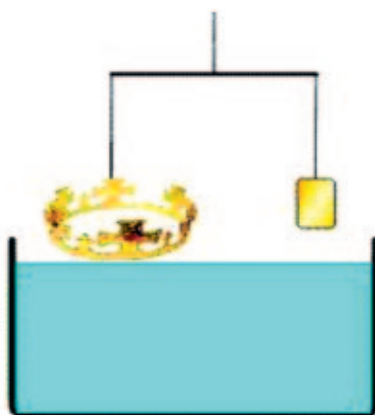


Wartość siły wyporu jest tym większa im większa jest objętość wypartej cieczy przez zanurzone w niej ciało oraz im większa jest gęstość cieczy. Siła wyporu jest równa ciężarowi wypartej cieczy. Zależności te zauważył Archimedes (ryc. 3 a). Legenda głosi, że Król Syrakuz poprosił Archimedes o sprawdzenie uczciwości złotnika, któremu zlecił wykonanie korony ze złota. Król podejrzewał, że złotnik go oszukał. Wprawdzie ciężar korony zgadzał się z ciężarem złota dostarczonego złotnikowi, ale mógł on ją wykonać ze złota i tańszego srebra. Archimedes kąpiąc się w wannie, zauważył, że im więcej ciała zanurza się w wodzie tym więcej cieczy ono wypiera. Powiesił więc na ramionach wagi szalkowej z jednej strony koronę, a z drugiej bryłkę czystego złota o takiej samej masie (ryc. 3 b) i zanurzył oba ciała w wodzie. Okazało się, że ramię wagi z koroną przechyliło się do góry, a co za tym idzie siły wyporu działające na oba przedmioty nie były sobie równe. Ponieważ gęstość srebra jest prawie dwukrotnie mniejsza niż złota, złotnik na zrobienie korony musiał użyć go więcej i koronę tylko pozłocił. W ten doświadczalny sposób Archimedes udowodnił nieuczciwość złotnika nie niszcząc przy tym korony.

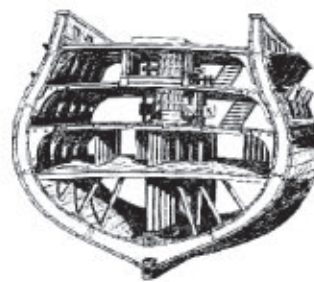
Ryc. 3.



a



b



c

- a. Portret Archimedes (Źródło: <http://biographywanted.com/wp-content/uploads/2012/03/Archimedes1.jpg>).
- b. Ilustracja eksperymentu przeprowadzonego przez Archimedes.
- c. Szkic przekroju kadłuba statku (Źródło: <http://www.zaglowce.ow.pl/szkutnictwo/kadlub/przekroj.gif>).

Siła wyporu działa na każde ciało zanurzone w cieczy czy w gazie, ale tylko niektóre ciała pływają (wznoszą się) inne natomiast toną. Warunkiem pływania ciała jest równowaga między siłą wyporu i ciężarem ciała. Prawo Archimedes wykorzystują więc między innymi konstruktorzy statków. Statki, choć wykonane ze stali, której gęstość jest większa niż gęstość wody – nie toną, ponieważ we wnętrzu kadłuba znajdują się obszary wypełnione powietrzem (ryc. 3 c). Średnia gęstość kadłuba wraz z wypełniającym go powietrzem jest mniejsza od gęstości wody. Aby ryby mogły pływać, przyroda wyposażyła je w pęcherzyk pławny wypełniony gazem, dzięki któremu średnia gęstość ryby jest równa gęstości wody (ryc. 4a).

Prawo Archimedes opisuje też siłę wyporu działającą na ciało zanurzone w gazie, na przykład w powietrzu, co wykorzystuje się w budowie balonów (ryc. 4b).





Ryc. 4a.



Ryc. 4b.

Źródło: a. <http://photos03.istore.pl/11397/photos/midi/464682.jpg>;

b. [http://kineskop.blox.pl/resource/balony\\_9.jpg](http://kineskop.blox.pl/resource/balony_9.jpg).

Dla cieczy podobnie jak dla gazów obowiązuje prawo Bernoulliego, które mówi, że wewnętrzne ciśnienie w cieczy maleje wraz ze wzrostem jej prędkości. Należy jednak odróżnić ciśnienie wewnątrz cieczy od ciśnienia wywieranego przez ciecz na otoczenie. Jeśli wylot węża ogrodowego zwężymy, to woda wylatuje z niego z większą szybkością za to ciśnienie wody w przewężeniu zmaleje. Jednak nacisk wody na przeszkodę, na którą jest skierowany strumień będzie bardzo duży. Znajomość prawa Bernoulliego pozwala sternikom unikać zderzenia bocznego podczas mijania się statków. Woda między mijającymi się statkami płynie szybciej niż woda od zewnętrznej strony burty więc ma mniejsze ciśnienie. Większe ciśnienie wody działającej na zewnętrzne ściany statków dociska je do siebie.

## II. BADAMY OD CZEGO ZALEŻY CIŚNIENIE HYDROSTATYCZNE

### 1. Eksperyment I

#### Materiały:

Butelka plastikowa, gruba igła, woda, miska.



#### Wykonanie:

Za pomocą igły zrobić w butelce trzy otwory rozmieszczone jeden nad drugim w równych odległościach. Do butelki nalać wody i obserwować tor strumieni wody wypływających otworami. Doświadczenie przeprowadzać nad miską.

**Obserwacja:**

Największy zasięg ma strumień wypływający z dolnego otworu, a najmniejszy z górnego. W miarę jak ubywa wody, prędkość strumieni zmniejsza się, aż woda przestaje kolejno z nich wypływać.

**Wyjaśnienie:**

Ciśnienie na powierzchni cieczy jest równe ciśnieniu atmosferycznemu. Kolejne warstwy cieczy pod działaniem siły ciężkości dodatkowo naciskają na warstwy położone niżej. Tak więc im głębiej, tym ciśnienie jest większe. Na danej głębokości ciśnienie jest równe sumie ciśnienia atmosferycznego oraz ciśnienia pochodzącego od cieczy znajdującej się powyżej punktu pomiaru.

## 2. Eksperyment II

**Materiały:**

Dwie jednakowe butelki plastikowe, pisak, lejek, recepturki, nóż, dwie gumowe rękawiczki jednorazowe lub balon, woda, sól, miska.

**Wykonanie:**

Obciąć dna butelek. Dwa balony lub gumowe rękawiczki obciąć tak, by zrobić z nich membrany, które należy założyć na dno butelek i przewiązać recepturką. Na każdej butelce zaznaczyć pisakiem jednakową wysokość do której zostaną wlane ciecze. Z wody i soli zrobić gęsty roztwór. Butelki postawić na stole sztykami do góry i do jednej z nich wlać wodę do drugiej wodny roztwór soli. W obu butelkach ma być jednakowy poziom cieczy. Powoli podnosić obie butelki i obserwować wybrzuszenia membran.

Doświadczenie przeprowadzić nad miską.

**Obserwacja:**

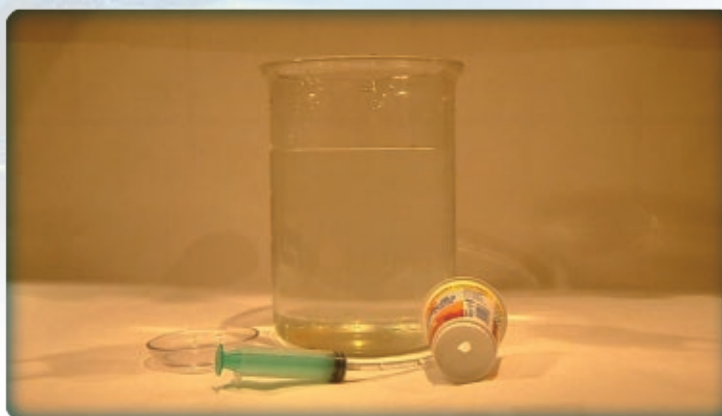
Membrana w butelce z wodnym roztworem soli jest bardziej wybrzuszona.

**Wyjaśnienie:**

Woda i wodny roztwór soli mają różne gęstości. Większe ciśnienie wywiera wodny roztwór soli, czyli ciśnienie hydrostatyczne zależy nie tylko od wysokości słupa cieczy ale i od gęstości cieczy. Im większa jest gęstość cieczy, tym większe ciśnienie wywiera ona na dno naczynia.

**3. Eksperyment III****Materiały:**

Kubek po jogurcie, szklany spodek, butelka z wodą, nożyczki, woda, miska lub wiaderko (najlepiej przezroczyste).

**Wykonanie:**

Wyciąć w denku kubka otwór. Nalać wody do połowy zlewki, ustawić kubek do góry dnem, a od dołu przyłożyć spodek, zanurzyć kubek wraz ze spodkiem do poziomu wody wskazanego na rysunku i obserwować zachowanie się spodka. Następnie przez wycięty otwór w kubku, nalewać niewielkie ilości wody i ponownie obserwować zachowanie się spodka. Uwaga: spodek nie powinien być zbyt ciężki.



**Obserwacja:**

Spodek nie tonie, tylko utrzymuje się tuż pod kubkiem. Gdy przez otwór w kubku nalewamy wody, obserwujemy oderwanie się spodka od kubka i jego zatonięcie. Podobny efekt możemy zaobserwować, jeżeli, nie nalewając wody, będziemy podnosić kubek wraz ze spodkiem.

**Wyjaśnienie:**

Ciecz wywiera ciśnienie nie tylko od góry na ciało ale i działa od dołu w górę, wynika to z prawa Pascala. Ciecz naciska na dno naczynia siłą parcia więc zgodnie z III zasadą dynamiki, naczynie naciska na ciecz z taką samą siłą lecz przeciwnie zwróconą. Spodek tonie, gdy parcie cieczy nad nim jest większe niż parcie cieczy od dołu.

### III. ZACHOWANIE SIĘ CIECZY W NACZYNIACH POŁĄCZONYCH

#### 1. Eksperyment I

**Materiały:**

Dwie butelki plastikowe 1,5 l, butelka plastikowa 0,5 l o nietypowym kształcie, rurka igielitowa, silikon techniczny, nóż, nożyczki, barwnik spożywczy.



**Wykonanie:**

W jednej z 1,5 litrowych plastikowych butelek wyciąć nożem i nożyczkami trzy otwory, jeden wielkości rurki igielitowej oraz dwa wielkości szyjek butelki 1,5 litrowej i 0,5 litrowej. W pozostałych butelkach (1,5 l i 0,5 l) odciąć denka. Włożyć w wycięte otwory szyjki obu butelek tak, aby możliwy był swobodny przepływ cieczy między nimi. Silikonem uszczelnić otwory. Nałożyć nakrętkę na butelkę, w której wycięte zostały otwory i wlać przez dowolne z naczyń zabarwioną wodę tak, aby było widać poziom cieczy w naczyniach połączonych.

Uwaga: połączenia naczyń silikonem trzeba dokonać dzień wcześniej aby zdążył wyschnąć i uszczelnić naczynia.

**Obserwacja:**

Poziom cieczy w naczyniach połączonych jest jednakowy, niezależnie od tego jaki kształt mają te naczynia.

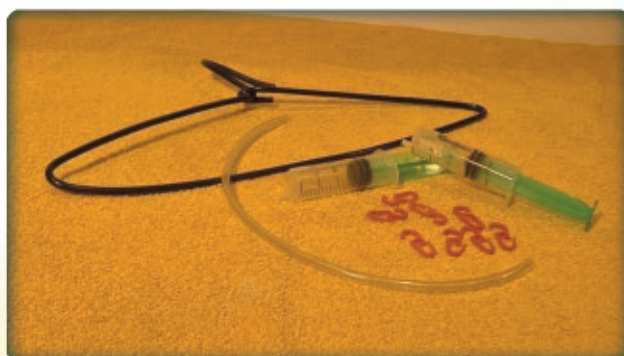
**Wyjaśnienie:**

W każdym z naczyń znajdują się różne masy wody. Z doświadczenia wynika, że mała masa wody może „zrównoważyć” dużą masę wody, a dzieje się tak dlatego, że gdy ciecz znajduje się w równowadze, ciśnienie na tym samym poziomie w całej cieczy jest jednakowe. Równowaga cieczy w naczyniach połączonych nie wynika więc z równości ciężarów, ale z równości ciśnień. Niezależnie od wielkości i kształtu naczyń powierzchnie swobodne cieczy o jednakowej gęstości, są zawsze na tym samym poziomie.

#### IV. WYZNACZANIE GĘSTOŚCI CIECZY ZA POMOCĄ NACZYŃ POŁĄCZONYCH

**Materiały:**

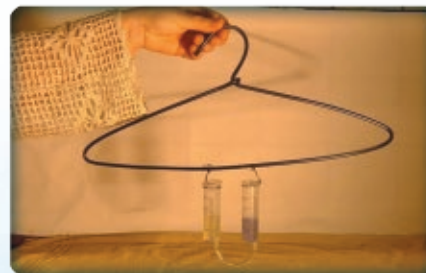
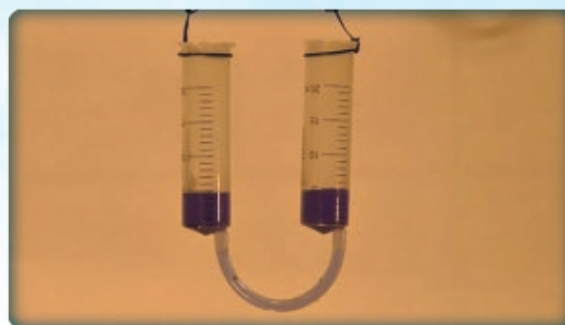
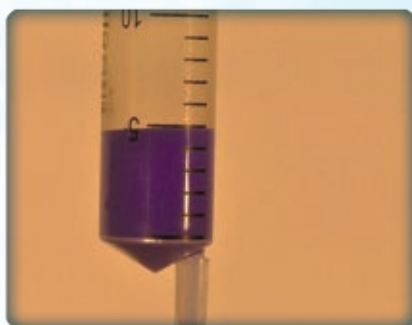
Dwie jednakowe strzykawki (np. o pojemności 20 cm<sup>3</sup>), rurka plastikowa (np. wężyk do kroplówki) o długości około 5cm, kawałek drutu, wieszak na spodnie, woda, olej, linijka.



### Wykonanie:

Aby zbudować przyrząd pomiarowy należy wyjąć tłoki ze strzykawk, połączyć wężykami końce strzykawk, drutem owinąć strzykawki z szerszej ich strony tak, aby posłużył za haczyk, zawiesić strzykawki na wieszaku, który posłuży za ramię statywu i całość zawiesić na klamce. Do jednej ze strzykawk nalać wody do poziomu „5”, a do drugiej strzykawki nalewać powoli oleju do momentu, aż granica między wodą i olejem ustawi się dokładnie w połowie wężyka, za pomocą linijki zmierzyć wysokość słupa oleju i wody w strzykawkach.

Ponieważ w naczyniach połączonych znajdują się ciecze nie mieszające się, ich poziom ustali się na takich wysokościach przy których w obu naczyniach będzie jednakowe ciśnienie hydrostatyczne.



$$p_{\text{wody}} = p_{\text{oleju}}$$

wiemy, że  $p = \rho \cdot g \cdot h$

Więc po wstawieniu do wzoru otrzymamy:

$$\rho_{\text{wody}} \cdot h_{\text{wody}} = \rho_{\text{oleju}} \cdot h_{\text{oleju}}$$

gdzie  $\rho_{\text{wody}} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$\rho_{\text{oleju}} = \rho_{\text{wody}} \cdot h_{\text{wody}} / h_{\text{oleju}}$$

### Wyjaśnienie:

W doświadczeniu widać, że słup oleju jest wyższy niż słup wody. Widomo, że równowaga cieczy ustala się w naczyniach połączonych wtedy, gdy obie ciecze wywierają jednakowe ciśnienie hydrostatyczne. Ponieważ olej ma mniejszą gęstość niż woda, to musi większą wysokością słupa zrównoważyć ciśnienie wywierane przez wodę.



## V. Dyskusja nad niepewnościami pomiarowymi i ich wpływie na wiarygodność wyznaczenia gęstości cieczy

Pomiar gęstości jest pomiarem pośrednim. Aby wyznaczyć gęstość oleju, należy dokonać pomiaru wysokości słupów wody i oleju, czyli pomiarów bezpośrednich. W takim przypadku mamy do czynienia z niepewnością pośrednią. Do obliczenia niepewności takiego pomiaru posłużymy się wzorem, który pozwoli w sposób uproszczony obliczyć niepewność pomiaru pośredniego. Jeśli wielkość mierzona  $x$  jest wyrażona wzorem typu:

$$x = A/B$$

to niepewność bezwzględną obliczamy według następującego schematu:

$$\Delta x = (\Delta A/A + \Delta B/B) \cdot x$$

### Analiza niepewności przykładowego pomiaru gęstości oleju

Pomiar wysokości wody  $h_{\text{wody}} = 3,1$  cm i oleju  $h_{\text{oleju}} = 3,5$  cm.

Pomiaru wysokości słupów cieczy, dokonano za pomocą linijki, która mierzy z dokładnością:

$$\Delta h_{\text{wody}} = \Delta h_{\text{oleju}} = \Delta h = 0,1 \text{ cm}$$

Obliczamy gęstość oleju zgodnie ze wzorem:

$$\rho_{\text{oleju}} = \rho_{\text{wody}} \cdot h_{\text{wody}} / h_{\text{oleju}} \quad \text{gdzie } \rho_{\text{wody}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{oleju}} = 885,7 \text{ kg/m}^3$$

Obliczamy niepewność naszego pomiaru zgodnie ze schematem:

$$\Delta \rho = (\Delta h/h_{\text{wody}} + \Delta h/h_{\text{oleju}}) \cdot \rho_{\text{oleju}}$$

$$\Delta \rho = (0,1/3,1 + 0,1/3,5) \cdot 885,7 = 54,0 \text{ kg/m}^3$$

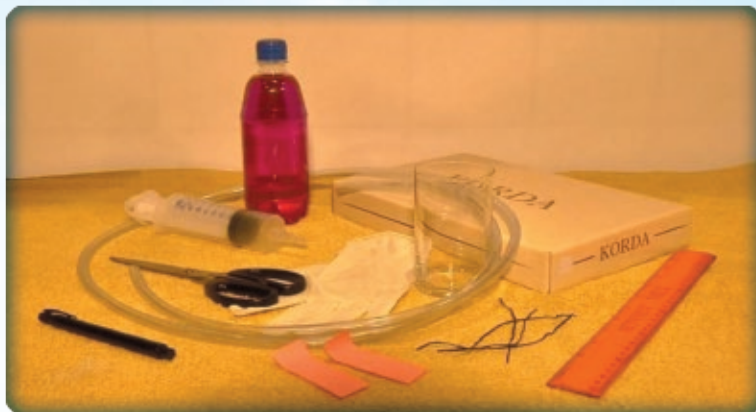
Wynik naszego pomiaru wynosi więc  $\rho_{\text{oleju}} = (886 \pm 54) \text{ kg/m}^3$

Tablicowa gęstość oleju wynosi  $920 \text{ kg/m}^3$ .

## VI. WYZNACZANIE CIŚNIENIA HYDROSTATYCZNEGO ZA POMOCĄ NACZYŃ POŁĄCZONYCH

### Materiały:

Strzykawka, plastikowa rurka o średnicy takiej jak wylot strzykawki i długości około 100 cm, denaturat lub lekko zabarwiona woda, kawałek kartonu (np. pokrywka z pudełka do butów), jednorazowa rękawiczka, nożyczki, nóż, kawałek drutu, szklanka, pasek papieru, długopis.



### Wykonanie:

Wyjąć tłok strzykawki i obciąć w górnej części strzykawki wystające części plastiku, nałożyć wężyk na dolny koniec strzykawki, drugi koniec wężyka (około 50 cm) wygiąć w kształcie litery U i przymocować do kartonu za pomocą drucika (patrz rysunek). Napełnić U-rurkę do połowy cieczą zabarwioną, nałożyć na grubszy koniec strzykawki membranę zrobioną z jednorazowej rękawiczki, wyciąć pasek papieru, na którym zaznaczyć długopisem kreski co 1 cm i przykleić go do szklanki, napełnić szklankę do około 3/4 wodą, tak aby jej poziom był równy z kreską na pasku (zaznaczyć na pasku przy tej kresce „0”), zanurzać co 1 cm strzykawkę membranę zwróconą do dołu i zaznaczać na kartonie poziom cieczy w otwartej części U-rurki, mierzyć różnicę poziomów cieczy w U-rurce przy każdym zanurzeniu membrany o 1 cm.



Wyniki zanotować w tabeli:

| Głębokość zanurzenia membrany [cm] | Różnica poziomów cieczy h [mm] | Ciśnienie hydrostatyczne [Pa] |
|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 1                                  |                                |                               |
| 2                                  |                                |                               |
| 3                                  |                                |                               |
| 4                                  |                                |                               |
| 5                                  |                                |                               |
| 6                                  |                                |                               |

Ciśnienie hydrostatyczne liczyć zgodnie ze wzorem:

$$p = \rho \cdot g \cdot h, \quad \text{gdzie } \rho \text{ to gęstość cieczy zawarta w U-rurce}$$

Wykonać wykres zależności ciśnienia hydrostatycznego ( $p$ ) od głębokości zanurzenia ( $h$ ) membrany i zaznaczyć na nim niepewności pomiarowe. Wykres sporządzić na papierze milimetrowym.

#### Wyjaśnienie:

Część U-rurki, która połączona jest z membraną, wypełniona jest powietrzem. Podczas zanurzenia membrany, wzrasta ciśnienie hydrostatyczne, co skutkuje zwiększeniem ciśnienia sprężonego powietrza. Ciśnienie sprężonego powietrza równoważone jest ciśnieniem słupa cieczy o wysokości  $h$ .

## VII. DYSKUSJA NAD NIEPEWNOŚCIAMI POMIAROWYMI I ICH WPŁYWIE NA WIARYGODNOŚĆ WYZNACZENIA CIŚNIENIA HYDROSTATYCZNEGO

Pomiar ciśnienia jest pomiarem pośrednim. Aby wyznaczyć ciśnienie hydrostatyczne należy dokonać pomiaru przyrostu wysokości słupa cieczy w U-rurce czyli dokonać pomiaru pośredniego. Do obliczenia niepewności pomiaru pośredniego, posłużymy się uproszczonym wzorem. Jeśli wielkość mierzona  $x$  jest wyrażona wzorem typu:

$$x = k \cdot A \quad (k \text{ jest stała}),$$

to niepewność bezwzględną obliczamy według następującego wzoru:

$$\Delta x = (\Delta A/A) \cdot x$$



## Analiza niepewności przykładowego pomiaru ciśnienia hydrostatycznego

Używając w U-rurce zabarwionej wody, otrzymaliśmy następujące wyniki:

| Głębokość zanurzenia membrany [cm] | Różnica poziomów cieczy h [mm] | Ciśnienie hydrostatyczne [Pa] |
|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 1                                  | 9                              | 90                            |
| 2                                  | 19                             | 190                           |
| 3                                  | 30                             | 300                           |
| 4                                  | 41                             | 410                           |
| 5                                  | 52                             | 520                           |

Pierwszy pomiar przyrostu wysokości wody w U-rurce wyniósł 0,9 cm, niepewność naszej linijki wynosi  $\Delta h = 1 \text{ mm}$

Obliczamy ciśnienie hydrostatyczne zgodnie ze wzorem :

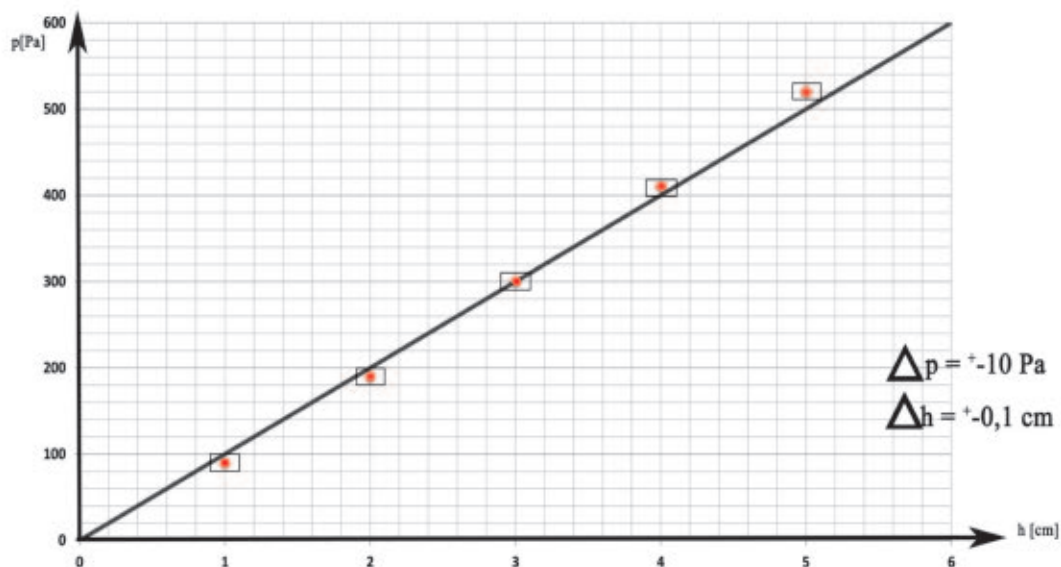
$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{gdzie } \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Obliczamy niepewność naszego pomiaru zgodnie ze schematem:

$$\Delta p = (\Delta h/h) \cdot p \quad \Delta p = 10 \text{ Pa}$$

Wynik naszego pomiaru wynosi więc  $p = (90 \pm 10) \text{ Pa}$

Wykres zależności  $p(h)$  z uwzględnieniem niepewności pomiarowych.



## VIII. BADANIE ZACHOWANIA SIĘ CIECZY POD WPŁYWEM DZIAŁANIA NA NIĄ SIŁY Z ZEWNĄTRZ

### Materiały:

Piłeczka pingpongowa, strzykawka, plastelina, igła, naparstek, gwóźdź, woda, miska.

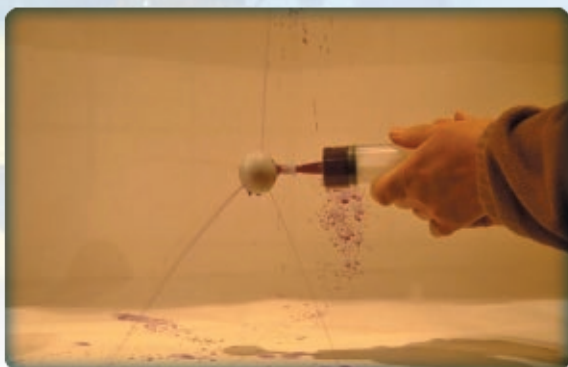


### Wykonanie:

W piłeczce wykonać gwoździem otwór wielkości wylotu strzykawki. Za pomocą igły i naparstka zrobić kilka otworów równomiernie rozmieszczonych na całej powierzchni piłeczki. Następnie piłeczkę nałożyć na wylot strzykawki i uszczelnić plasteliną. Wyjąć tłok ze strzykawki i napełnić ją wodą. Wsuwać tłok do strzykawki i obserwować wytryskującą wodę z piłeczki. Doświadczenie przeprowadzać nad miską.

### Obserwacja:

Woda wytryskuje przez wszystkie otwory jednakowymi strumieniami, które we wstępnej fazie są prostopadłe do powierzchni piłeczki. Ich późniejsze zakrzywienie wynika z działania siły grawitacji i sił oporu powietrza.



### Wyjaśnienie:

Ciśnienie, które wywieramy na ciecz, jest przez nią przenoszone równomiernie we wszystkich kierunkach.

## IX. BADANIE SIŁY WYPORU

### Eksperyment I.

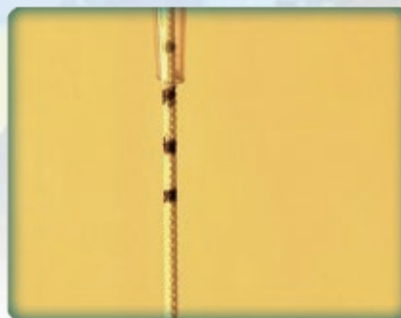
#### Materiały:

Szklanka z wodą, obudowa długopisu, okrągła gumka modelarska o długości około 15 cm, spinacz biurowy, ciężarki o masie 50 g, cienkopis, trzy ciała o jednakowej objętości, ale różnych masach. Mogą to być trzy plastikowe opakowania z jajek niespodzianek wypełnione np. wodą, żelazem, plasteliną. Każde z ciał musi tonąć w wodzie.



#### Wykonanie:

- a) Do pomiaru sił potrzebny jest siłomierz, który można wykonać w następujący sposób:
  - przewlec gumkę przez obudowę długopisu i zamocować ją zaciskając zakrętką,
  - na drugim końcu zrobić pętelkę, na którą nałożyć spinacz biurowy jako haczyk,
  - wyskalować siłomierz za pomocą odważników, zaznaczając cienkopisem na gumce kreski odpowiadające różnym wartościom siły ciężkości. Masa 50 g jest przyciągana przez Ziemię z siłą 0,5 N.



- b) wypełnić opakowania, z jajek niespodzianek, substancjami obciążającymi tak, aby każde miało inną masę i do każdego z jajek włożyć nitkę w taki sposób, aby wystawała z boku jako pętelka,
- c) zmierzyć ciężar każdego jajka niespodzianki za pomocą siłomierza i wyniki zapisać w tabeli pomiarów,





d) zawieszono na siłomierzu jajka zanurzyć w szklance z wodą, odczytać wskazania siłomierza i wyniki zanotować w tabeli pomiarów,



e) obliczyć siłę wyporu jako różnicę ciężaru ciała i wskazań siłomierza, gdy ciało jest zanurzone w cieczy.

Tabela pomiarów

| Ciało o tej samej objętości | Ciężar ciała $Q$ [N] | Wskazanie siłomierza, gdy ciało jest zanurzone $F$ [N] | Siła wyporu $F_w = Q - F$ [N] |
|-----------------------------|----------------------|--|-------------------------------|
| ciało 1                     |                      |  |                               |
| ciało 2                     |                      |  |                               |
| ciało 3                     |                      |  |                               |

**Wniosek:**

Gdy zanurzone ciała mają jednakową objętość, to działa na nie jednakowa siła wyporu. Siła wyporu nie zależy więc ani od ciężaru ciała ani od jego gęstości.

## X. DYSKUSJA NAD NIEPEWNOŚCIAMI POMIAROWYMI I ICH WPLYWIE NA WIARYGODNOŚĆ WYZNACZENIA SIŁY WYPORU

Pomiar siły wyporu jest pomiarem pośrednim. Aby wyznaczyć siłę wyporu należy dokonać pomiaru ciężaru ciała i wskazań siłomierza gdy ciało jest zanurzone, czyli dokonać pomiarów pośrednich. Do obliczenia niepewności pomiaru pośredniego, posłużymy się uproszczonym wzorem. Jeśli wielkość mierzona  $x$  jest wyrażona wzorem typu:

$$x = A - B$$

to niepewność bezwzględna pomiaru pośredniego jest wyrażona wzorem:

$$\Delta x = \Delta A + \Delta B$$

### Analiza niepewności przykładowego pomiaru siły wyporu

W naszym doświadczeniu uzyskaliśmy następujące wyniki:

| Ciało o tej samej objętości | Ciężar ciała $Q$ [N] | Wskazanie siłomierza, gdy ciało jest zanurzone $F$ [N] | Siła wyporu $F_w = Q - F$<br>$F_w$ [N] |
|-----------------------------|----------------------|--|--|
| ciało 1                     | 0,5                  | 0,25   | 0,25                                   |
| ciało 2                     | 0,75                 | 0,5  | 0,25                                   |
| ciało 3                     | 1                    | 0,75   | 0,25                                   |

Siłę wyporu obliczamy ze wzoru:  $F_w = Q - F$

więc niepewność pomiaru obliczymy zgodnie ze wzorem:

$$\Delta F_w = \Delta Q + \Delta F$$

Do pomiaru obu sił używaliśmy tego samego siłomierza, którego dokładność wynosiła

$$\Delta F = 0,25 \text{ N}$$

Niepewność bezwzględna pomiaru siły wyporu wynosi:

$$\Delta F_w = 0,25 \text{ N} + 0,25 \text{ N} = 0,5 \text{ N}$$

Aby pomiar był wiarygodny należałoby użyć siłomierza o większej dokładności np. 0,05 N.

## Eksperyment II

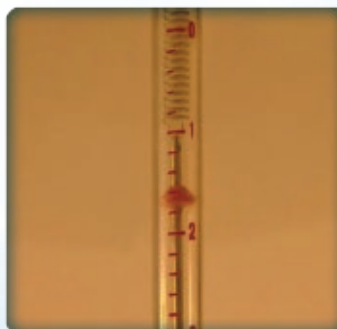
### Materiały:

Szklanka z wodą, sól, siłomierz, plastikowe opakowanie jajka niespodzianki wypełnione żelazem.

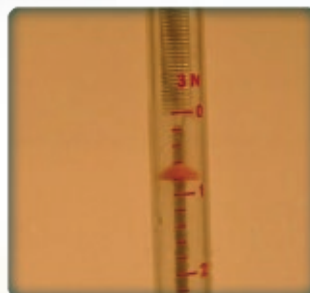


### Wykonanie:

- przygotować jedno jajko niespodziankę tak jak w doświadczeniu 1 i zmierzyć ciężar jajka za pomocą siłomierza,
- zanurzyć jajko w wodzie, odczytać wskazania siłomierza,
- dosypać 6 łyżeczek soli do wody. Po wymieszaniu roztworu zanurzyć w nim jajko i odczytać wskazania siłomierza,



- dosypać do roztworu kolejne 6 łyżeczek soli i powtórzyć pomiar z podpunktu „c”.



### Wniosek:

Gdy zanurzone ciała mają jednakową objętość to siła wyporu zależy tylko od gęstości cieczy. Im większa gęstość cieczy tym większa siła wyporu.



## Eksperyment III

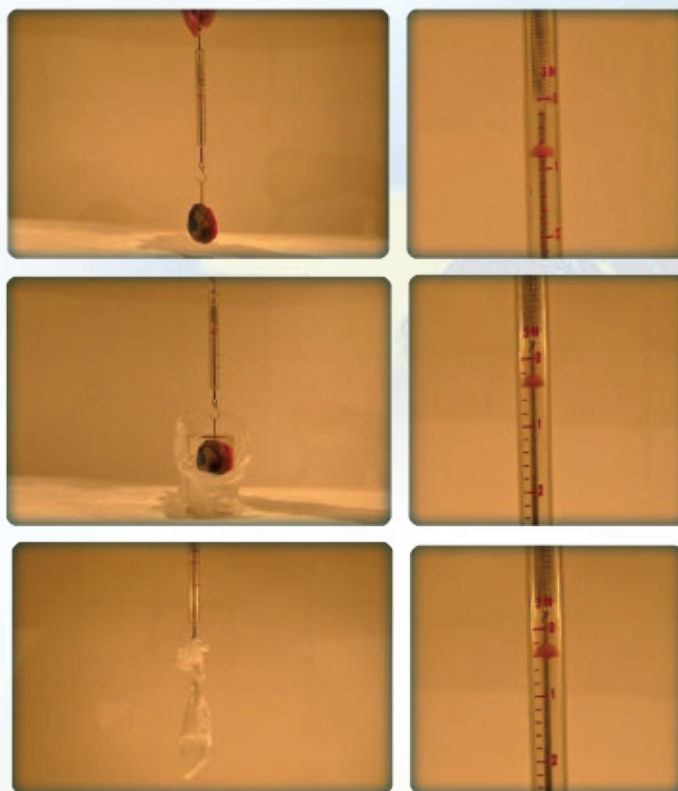
### Materiały:

Siłomierz, szklanka z wodą, torebka foliowa, plastelina, kawałek nitki.



### Wykonanie:

- szklankę napełnić po brzegi wodą i wstawić do torebki foliowej,
- uformować kulkę z plasteliny, wkleić w nią nitkę w postaci pętelki,
- zawiesić plastelinową kulkę na siłomierzu i odczytać jej ciężar  $Q$ ,
- zanurzyć całą kulkę w wodzie i ponownie odczytać wskazania siłomierza  $F$ ,
- obliczyć siłę wyporu działającą na kulkę:  $F_w = Q - F$ ,
- zawiesić na siłomierzu torebkę z wodą, która wylała się ze szklanki podczas zanurzania kulki i odczytać jej ciężar.



### Wniosek:

Wartość siły wyporu równa jest ciężarowi cieczy wypartej przez ciało. Uwaga: należy wykorzystać torebkę foliową o jak najmniejszej masie (cienką).

## XI. WYKORZYSTANIE CIŚNIENIA HYDROSTATYCZNEGO I SIŁY WYPORU

Znajomość zależności ciśnienia od wysokości słupa cieczy, praw Pascala i Archimedesesa, wykorzystuje się w następujących sytuacjach:

- a) Do nurkowania w głębinach, konstruuje się dla człowieka specjalny hełm i skafander, który jest połączony długim węzłem z powierzchnią. Przez wąż pompuje się do hełmu i skafandra powietrze, aby nurek miał czym oddychać i aby wyrównać ciśnienie wewnątrz skafandra z ciśnieniem hydrostatycznym.
- b) Do budowy łodzi podwodnych używa się bardzo mocnych i wytrzymałych materiałów, aby nie uległy zmięczeniu przez wysokie ciśnienie w głębinach morskich.
- c) Budując zapory na rzekach, jej podstawę konstruuje się grubszą (mierzoną w kierunku nurtu) niż część wystającą nad lustro wody. Dolna część zapory musi wytrzymać działanie większych sił parcia.
- d) Na zasadzie naczyń połączonych działa wieża ciśnień. Woda w rurach wodociągowych może przepływać pod górę do mieszkań, ale tylko takich, które są poniżej poziomu wody zawartej w wieży.
- e) Naczynia połączone służą jako manometry, czyli przyrządy do pomiaru ciśnienia cieczy i gazów.
- f) Zasadę naczyń połączonych wykorzystuje się jako wodowskaz do wskazywania poziomu cieczy w zbiorniku na przykład w czajniku elektrycznym.
- g) W oparciu o zasadę naczyń połączonych działają śluzy na kanałach łączących zbiorniki o różnym poziomie wody. Otworzenie wrót śluzy dokonuje się po wyrównaniu poziomu w sąsiednich zbiornikach, dzięki czemu mogą przepływać barki.
- h) W oparciu o prawo Pascala działa prasa hydrauliczna, układ hamulcowy samochodu, podnośnik hydrauliczny. Wartość siły uzyskanej za pomocą tych urządzeń jest tyle razy większa od siły włożonej, ile razy powierzchnia tłoka dużego jest większa od powierzchni tłoka małego.
- i) Siłę wyporu wykorzystuje się do utrzymania statków na powierzchni wody, konstruuje je tak, aby przy oczekiwanym wzroście ładunku, możliwe było dalsze zanurzanie się statku, wywołujące wzrost siły wyporu do poziomu równoważącego ciężar statku i ładunku.
- j) Siłę wyporu w powietrzu wykorzystuje się w budowie balonów. Balon napełnia się gazem lżejszym niż powietrze, albo rozgrzanym powietrzem, które ma mniejszą gęstość od powietrza zimnego. Balony mają dużą objętość, a więc działają na nie duża siła wyporu, a mały ich ciężar umożliwia im wznoszenie się.
- k) Znajomość prawa Archimedesesa wykorzystuje się do budowy areometru, czyli przyrządu do pomiaru gęstości cieczy. Głębokość zanurzenia areometru w badanej cieczy jest tym większa, im mniejsza jest jej gęstość.

## Eksperyment I

### Statek przemytników

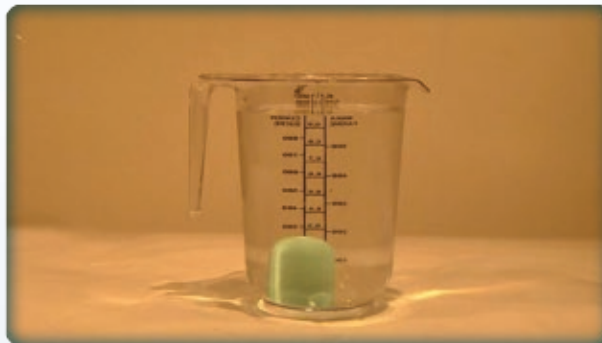
#### Materiały:

Plastikowe pudełko z jajka niespodzianki, metalowe obciążniki (np. nakrętki), plastikowa pokrywka z dezodorantu (większe od pudełka jajka niespodzianki), szeroki słoik z wodą, obustronnie klejąca taśma.

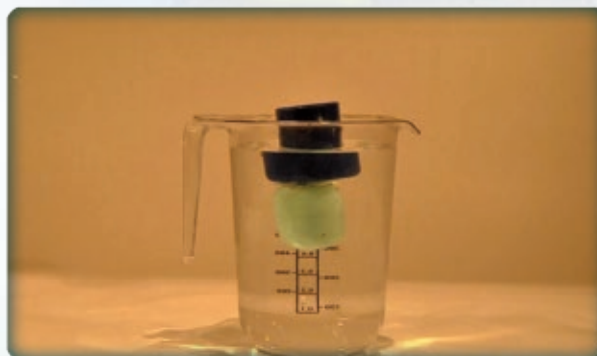


#### Wykonanie:

- Obciążyc pudełko z jajka niespodzianki metalowymi obciążnikami tak, aby tonęło w wodzie,

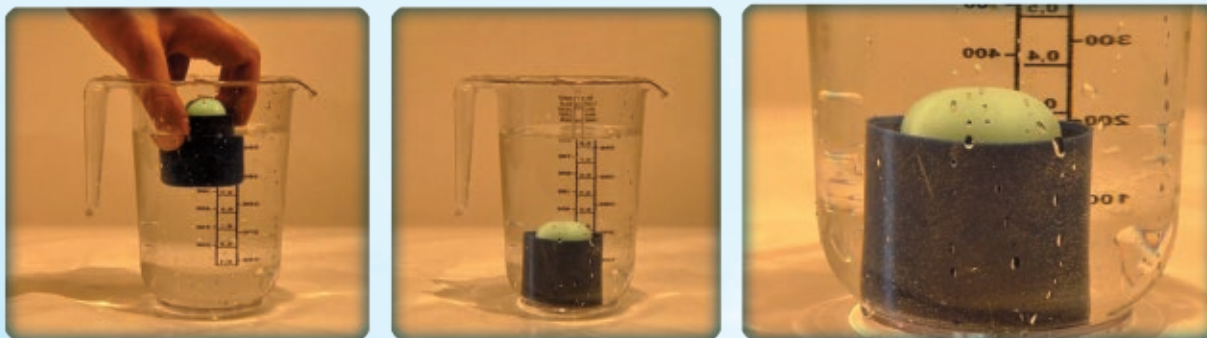


- przykleić taśmą klejącą jajko do zewnętrznej strony dna pokrywki dezodorantu i włożyć do naczynia z wodą. Jeśli jajko jest odpowiednio obciążone, całość będzie pływać częściowo zanurzona tak, aby niewielka krawędź zakrętki po dezodorancie wystawała ponad lustro wody.



- odkleić jajko niespodziankę i włożyć do pokrywki po dezodorancie i ponownie zanurzyć w naczyniu z wodą. Obserwować zachowanie się „statku z ładunkiem na pokładzie”.





**Obserwacja:**

„Statek” z podczepionym ładunkiem pływa częściowo zanurzony, a z ładunkiem włożym do wnętrza, tonie.

**Wyjaśnienie:**

„Statek” z ładunkiem podczepionym do dna pływa częściowo zanurzony ponieważ jego ciężar jest zrównoważony przez siłę wyporu. Jeżeli ładunek włożymy do wnętrza „statku” to on tonie. Nie zmieniając ciężaru całości zmniejszona została jego objętość. Zgodnie z prawem Archimidesa, uległa zmniejszeniu siła wyporu. Ciężar stał się większy od siły wyporu i „statek” zatonął.

**Eksperyment II**

Nurek Kartezjusza

**Materiały:**

Butelka plastikowa 0,7 l z wodą, buteleczka po olejku zapachowym do ciasta, plastelina.



**Wykonanie:**

Buteleczkę po olejku zapachowym do ciasta obciążyć plasteliną od zewnętrznej strony tak, aby nie zatkać otworu. Obciążenie dobrać tak, aby nurek włożony otworem do dołu, pływał równo z powierzchnią wody. Nalać do butelki do pełna wody, zanurzyć w niej nurka i zakręcić nakrętkę. Obserwować zachowanie się nurka, gdy butelka jest ściskana z różną siłą.



**Obserwacja:**

Gdy butelka jest ściskana, to nurek wędruje w dół, a gdy maleje ucisk na butelkę to nurek podnosi się.



**Wyjaśnienie:**

Początkowo nurek pływa całkowicie zanurzony w wodzie, ponieważ siła wyporu działająca na niego równa jest jego ciężarowi. Naciskając na butelkę wywieramy ciśnienie, które zgodnie z prawem Pascala rozchodzi się wewnątrz cieczy we wszystkich kierunkach jednakowo. Zwiększone ciśnienie cieczy powoduje zmniejszenie objętości powietrza w nurku. Zgodnie z prawem Archimedesego zmniejsza się więc siła wyporu działająca na nurka. Siła wyporu staje się mniejsza niż ciężar nurka i nurek tonie.



### Eksperyment III

#### Tańczące winogrono

##### Materiały:

Szklanka z gazowaną wodą mineralną, pojedynczy owoc winogrona.

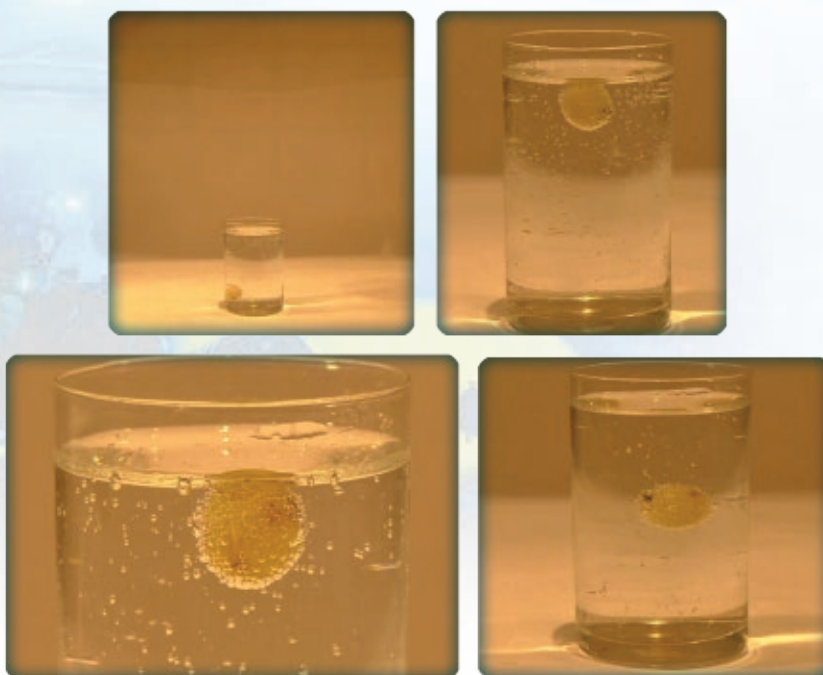


##### Wykonanie:

Do szklanki z wodą gazowaną wrzucić pojedynczy owoc winogrona i obserwować jego zachowanie się.

##### Obserwacja:

Owoc początkowo opada na dno, ale po pewnym czasie unosi się i ponownie opada. Ruch owocu do góry i na dół powtarza się wielokrotnie.



##### Wyjaśnienie:

Początkowo owoc opadł na dno szklanki ponieważ jego gęstość jest większa od gęstości wody. Do owocu leżącego na dnie przylegają pęcherzyki dwutlenku węgla, którym jest nasycona woda mineralna. Otaczające owoc winogrona pęcherzyki  $\text{CO}_2$  spowodowały, że zmalała „średnia gęstość” owocu, która stała się mniejsza od gęstości wody. Winogrono powędrowało do góry, gdzie pęcherzyki  $\text{CO}_2$  oderwały się od niego przedostając się do powietrza. Ponownie średnia gęstość owocu wzrosła i opadł ono na dno. Owoc wielokrotnie wędruje tam i z powrotem.



## Eksperyment IV

„Zaczarowana” piłeczka.

### Materiały:

Piłeczka pingpongowa, pakowa taśma klejąca, nitka, silny strumień wody.



### Czynności:

Za pomocą taśmy klejącej przyczepić nitkę do piłeczki. Trzymając drugi koniec nitki zbliżyć piłeczkę do strumienia wody i odchylić nitkę w bok.

### Obserwacja:

Piłeczka „trzymaana” jest przez strumień wody i pozostaje w tym samym miejscu nawet po odchyleniu nitki.

### Wyjaśnienie:

Zgodnie z prawem Bernoulliego ciśnienie panujące w płynącej z dużą szybkością wodzie jest niższe niż ciśnienie powietrza dookoła piłeczki. Powietrze wpycha piłeczkę w obszar mniejszego ciśnienia.

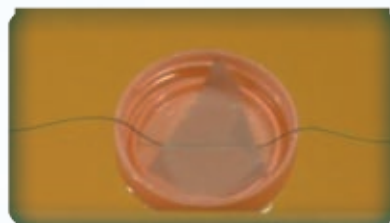
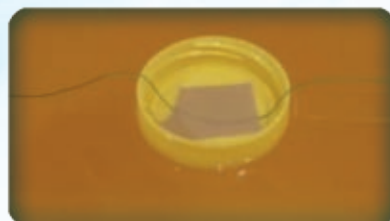


## Eksperyment V

„Zakochane” statki

### Materiały:

Dwie plastikowe nakrętki, duże naczynie z wodą, dwie nitki o długości większej niż naczynie z wodą, taśma klejąca, wążek gumowy podłączony do kranu lub buteleczka po wodzie utlenionej zakończona wąskim otworem.



### Czynności:

Nakrętki to dwie łódki. Za pomocą taśmy klejącej do każdej nakrętki przyczepić środkową część nitki. Łódki postawić na wodę obok siebie w odległości około 6-8 cm, a swobodne końce nitek przykleić do przeciwległych ścianek naczynia. Nitki muszą zwisać luźno tak aby umożliwić łódkom ruch na boki. Między łódki skierować z buteleczki lub wężyka, silny strumień wody.

### Obserwacja:

Łódki zbliżą się do siebie i zderzą bokami.



**Wyjaśnienie:**

Woda między łódkami porusza się bardzo szybko, a więc zgodnie z prawem Bernoulliego maleje w niej ciśnienie. Po zewnętrznych stronach łódek ciśnienie jest większe i dociska łódki do siebie.





MARZENA SŁAWSKA

# CISNIENIE ATMOSFERYCZNE







# XI. CIŚNIENIE ATMOSFERYCZNE

**Cele:** Zaobserwować skutki działania ciśnienia atmosferycznego i dokonać pomiaru jego wartości.

**Obserwujemy i mierzymy:**

- a - Sprawdzamy doświadczalnie istnienie ciśnienia atmosferycznego.
- b - Obserwujemy skutki działania ciśnienia atmosferycznego.
- c - Mierzmy wartość ciśnienia atmosferycznego.
- d - Obserwujemy efekty związane z prawem Bernoulliego.

**Plan pracy:**

- Historia odkryć naukowych – ciśnienie atmosferyczne.
- Związek między szybkością gazu a jego ciśnieniem.
- Sprawdzamy doświadczalnie istnienie ciśnienia atmosferycznego.
- Obserwujemy skutki działania ciśnienia atmosferycznego i prawa Bernoulliego.
- Pomiar ciśnienia atmosferycznego.
- Dyskusja nad niepewnościami pomiarowymi i ich wpływie na wiarygodność wyników.
- Wykorzystanie ciśnienia atmosferycznego w życiu codziennym.
- Wykorzystanie związku między szybkością gazu i jego ciśnieniem.

## I. HISTORIA ODKRYĆ NAUKOWYCH - CIŚNIENIE ATMOSFERYCZNE

W starożytności uważano, że powietrze „nic nie waży”. Nie brano pod uwagę, że powietrze otaczające Ziemię ma swój ciężar i jest przez nią przyciągane. Wywiera ono ciśnienie na dowolną powierzchnię w nim zanurzoną, czyli na wszystkie przedmioty, a także zwierzęta i ludzi. Wartość tego ciśnienia maleje ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Przyczyną zmniejszającego się ciśnienia jest malejący słup powietrza i zmniejszająca się gęstość powietrza wraz ze wzrostem wysokości. Na poziomie morza, ciśnienie powietrza wynosi około 100 tys. Pa, a na wysokości 5 000 m wynosi ono o połowę mniej. Zależność zmiany ciśnienia od wysokości wykorzystano przy budowie wysokościomierzy. Pierwszym, który zmierzył ciśnienie atmosferyczne, był Ewangelista Torricelli.

Inspiracje czerpał z doświadczeń Galileusza, który zwrócił uwagę na fakt, że wysokość słupa wody w rurach pomp ssących nie przekracza 10 m. Wynikiem badań Torricellego, było określenie wysokości słupa rtęci w rurkach zamkniętych i zanurzonych w naczyniu z rtęcią. W 1644 roku skonstruował on pierwszy barometr rtęciowy jako przyrząd do pomiaru ciśnienia atmosferycznego.



Źródło: [www.portalplanetasedna.com.ar/archivos\\_varios3/torricelli.jpg](http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos_varios3/torricelli.jpg);  
[upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/Torricelli-Mercury-Tube.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/Torricelli-Mercury-Tube.png);  
[upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/df/Torricelli.jpg/250px-Torricelli.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/df/Torricelli.jpg/250px-Torricelli.jpg).

Zmiany ciśnienia atmosferycznego odczytywane na barometrze pomagają przy przewidywaniu pogody. Nadchodzenie wyżu, czyli mas powietrza o większym ciśnieniu, powoduje, że wskazania barometru rosną, jeśli zbliża się niż, czyli układ mas powietrza o ciśnieniu niższym, wskazania barometru maleją.

W bardzo efektywny sposób, istnienie ciśnienia atmosferycznego udowodnił Otto Guericke w 1654 roku. Przeprowadził on słynne doświadczenie z półkulami magdeburskimi. Aby je rozdzielić po wypompowaniu z nich powietrza, trzeba było zaprząć osiem koni.

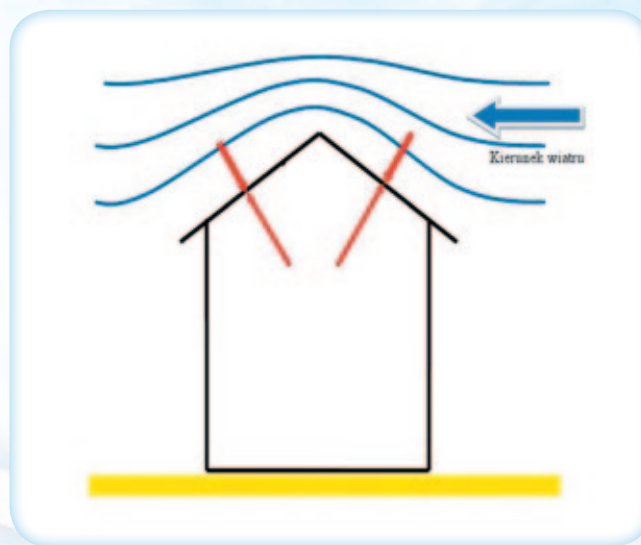


Źródło: [t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQPEBHv8v7ohcB3\\_8FHy9sxU\\_iHLaYHf01qH2Xvyj6vYr\\_ZdmeP5A](http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQPEBHv8v7ohcB3_8FHy9sxU_iHLaYHf01qH2Xvyj6vYr_ZdmeP5A;);  
[t0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRpdPB9K7SycFJNS94QS1tHas-DshAiPqP1D4s8fl1XxUaOrb0b](http://t0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRpdPB9K7SycFJNS94QS1tHas-DshAiPqP1D4s8fl1XxUaOrb0b).

Dlaczego huragan zrywa dachy domów a szybowiec może unosić się w powietrzu?

Podczas huraganu zaobserwowano, że ciśnienie atmosferyczne obniża się i jest mniejsze niż wewnątrz domu, ale gęstość powietrza w domu i na dworze jest taka sama. Dlaczego tak się dzieje wyjaśnił Dawid Bernoulli w XVIII wieku. Odkrył on związek między szybkością gazu a jego ciśnieniem. Według Bernoulliego ciśnienie gazu maleje wraz ze wzrostem jego prędkości. Za pomocą tego prawa można więc wyjaśnić dlaczego gwałtowny wiatr unosi dachy domów. Im wiatr ma większą prędkość tym powietrze ma mniejsze ciśnienie statyczne. Zrywanie dachów podczas huraganu należy więc tłumaczyć różnicą ciśnień między ciśnieniem w domu a ciśnieniem na dworze. Ciśnienie wewnątrz domu jest większe niż na zewnątrz i to ono wypycha dach od środka. Podobny mechanizm unosi szybowiec.

Dlaczego nie odczuwamy działającego na nas ciśnienia atmosferycznego?



Dzieje się tak, dlatego, że ciśnienie krwi w naczyniach krwionośnych i ciśnienie płynów ustrojowych w komórkach ciała jest zbliżone do ciśnienia atmosferycznego.



Źródło: [www.farmacjajia.pl/photo/29855/6/0/pomiar-cisnienia-krwi-w-aptece.jpg](http://www.farmacjajia.pl/photo/29855/6/0/pomiar-cisnienia-krwi-w-aptece.jpg)



## II. SPRAWDZAMY DOŚWIADCZALNIE ISTNIENIE CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO

### Eksperyment 1

#### Materiały:

Plastikowa butelka z nakrętką po napojach o pojemności 1,5 litra, lejek, gruba rękawica kuchenna, szklanka gorącej wody.



#### Wykonanie:

Podgrzać w czajniku wodę do temperatury około  $80^{\circ}\text{C}$ . Wlać jedną szklankę gorącej wody do butelki. Używając rękawicy kuchennej wymieszać wodę w butelce tak, by dokładnie oblała ścianki naczynia. Wylać wodę i szybko zakręcić butelkę. Odstawić butelkę na blat stołu.



#### Obserwacja:

Butelka „sama” się zgmiotła.

#### Wyjaśnienie:

Ogrzane powietrze w butelce zwiększa swoją objętość i część jego uchodzi z butelki. Zakręcenie butelki powoduje, że po chwili (po ostygnięciu gazu) będzie w niej niższe ciśnienie niż na zewnątrz, co wywołuje jej zgniecenie.

## Eksperyment II

### Materiały:

Szklanka, woda, kartka papieru, miska.



### Wykonanie:

Nalać do szklanki wody do pełna tak, aby nie pozostał w niej żaden pęcherzyk powietrza i przykryć ją kartką papieru. Przytrzymując kartkę papieru, odwrócić szybkim ruchem szklankę do góry dnem i puścić kartkę. Doświadczenie przeprowadzić nad miską.



### Obserwacja:

Po usunięciu ręki kartka papieru szczelnie przylega do szklanki i woda ze szklanki nie wylewa się.

### Wyjaśnienie:

Od dołu w górę na kartkę papieru działa ciśnienie atmosferyczne. Siła ciężkości wody jest mniejsza od siły parcia pochodzącej od ciśnienia atmosferycznego.

### Eksperyment III

Materiały:

Plastikowa butelka, woda, gwóźdź, miska.



#### Wykonanie:

Za pomocą gwoździa zrobić w butelce otwór w pobliżu jej dna i zakleić go taśmą klejącą. Nalać do butelki wody do połowy jej objętości. Odkleić przylepioną wcześniej taśmę i obserwować przez krótką chwilę zachowanie się strumyka wody, a następnie zakręcić szczelnie butelkę. Doświadczenie przeprowadzać nad miską.

#### Obserwacja:

Początkowo woda swobodnie wypływa przez dolny otwór. Po zakręceniu butelki, wypływ wody ustał.



#### Wyjaśnienie:

Początkowo ciśnienie atmosferyczne działało na wodę przez oba otwory i woda mogła swobodnie wypływać z butelki. Po zakręceniu butelki wypływ wody spowodował, że powietrze zwiększyło objętość a tym samym zmniejszyło się jego ciśnienie. Ciśnienie powietrza w butelce stało się mniejsze niż ciśnienie na zewnątrz. Ciśnienie atmosferyczne zahamowało wypływ wody.



## Eksperyment IV

### Materiały:

Plastikowa butelka, woda, gwóźdź, balon (lub ucięty „palec” z gumowej jednorazowej rękawiczki), miska.



### Wykonanie:

Za pomocą gwoździa zrobić w butelce otwór w pobliżu jej dna i zakleić go taśmą klejącą. Nalać do butelki prawie do pełna wody i nałożyć na jej szyjkę nienadmuchany balonik. Odkleić przylepioną wcześniej taśmę i obserwować zachowanie się balonika. Doświadczenie wykonać nad miską.



### Obserwacja:

Woda wypływa przez dolny otwór butelki, a balonik jest zasysany do jej wnętrza.

### Wyjaśnienie:

Wypływ wody z butelki spowodował, że niewielka ilość powietrza w niej zawarta zwiększyła swoją objętość, a tym samym zmniejszyła swoje ciśnienie. Ciśnienie w butelce stało się mniejsze niż ciśnienie na zewnątrz. Ciśnienie atmosferyczne wepchnęło balonik do butelki.

### III. OBSERWUJEMY SKUTKI DZIAŁANIA CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO

#### Eksperyment 1

##### Materiały:

Butelka z szyjką o obwodzie trochę mniejszym niż obwód jajka (np. po soku Kubuś), ugotowane na twardo i obrane ze skorupki jajko, kawałek kartki papieru, zapalniczka.



##### Wykonanie:

Do wnętrza butelki wrzucić zapalony papierek i natychmiast na otworze butelki położyć jajko.



##### Obserwacja:

Jajko zostało wciągnięte do wnętrza butelki.

##### Wyjaśnienie:

Palący się papierek ogrzał powietrze w butelce, które zwiększyło swoją objętość i część jego wydostała się na zewnątrz butelki. Po chwili ciśnienie wewnątrz butelki stało się mniejsze niż ciśnienie atmosferyczne. Różnica ciśnień spowodowała zassanie jajka do butelki. Porównaj wynik tego doświadczenia z wynikiem eksperymentu I w podrozdziale II.

## IV. POMIAR CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO

### Materiały:

Strzykawka, duży lejek, pięciolitrowa butelka po wodzie mineralnej, litrówka (pojemnik używany w gospodarstwie domowym do wyznaczania pojemności różnych produktów), kawałek mocnego drutu, linijka.



### Wykonanie:

- Zmierzyć średnicę tłoka strzykawki i obliczyć jego powierzchnię  $S = \pi r^2$
- Przymocować uchwyt butelki za pomocą drutu do tłoka strzykawki.
- Przesunąć tłok strzykawki tak, aby wypchnąć z niej powietrze. Zatkanąć palcem otwór na igłę lub założyć gumową zatyczkę i trzymając strzykawkę podnieść ją z butelką tak, aby butelka wisiała swobodnie nad ziemią.



- Wlać przez lejek dwa litry wody, a następnie dolewać litrówką mniejsze ilości wody aż do momentu kiedy tłok strzykawki ruszy z miejsca.
- W chwili kiedy tłok ruszy z miejsca, parcie atmosferyczne zostanie zrównoważone ciężarem wody zawartej w butelce  $F = Q$ .





f) Obliczamy masę wody zawartej w butelce.

$$m = \rho \cdot V \quad \text{gdzie } \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

g) Obliczamy ciężar wody  $Q = m \cdot g$

h) Obliczamy ciśnienie atmosferyczne zgodnie ze wzorem  $p = F/S$

### Wyjaśnienie:

Wylot strzykawki jest zamknięty palcem i powietrze nie może się dostać pod tłok. Można przyjąć, że panuje tam próżnia. Powietrze atmosferyczne działa na tłok z zewnątrz, siłą o wartości równej ciężarowi butelki z wodą.

## V. DYSKUSJA NAD NIEPEWNOŚCIAMI POMIAROWYMI I ICH WPŁYWIE NA WIARYGODNOŚĆ WYNIKÓW

Pomiary takich wielkości jak długość czy czas, to pomiary bezpośrednie, natomiast pomiar takiej wielkości jak ciśnienie jest pomiarem pośrednim. Do obliczenia niepewności takiego pomiaru posłużymy się wzorem, który pozwoli w sposób uproszczony obliczyć niepewność pomiaru pośredniego.

Jeśli wielkość mierzona  $x$  jest wyrażona wzorem typu :

$$x = A/B^2$$

to niepewność bezwzględną obliczamy według następującego schematu:

$$\Delta x = (\Delta A/A + 2\Delta B/B) \cdot x$$

### Analiza niepewności przykładowego pomiaru ciśnienia

Zmierzona objętość wody w butelce  $V = 3,5 \text{ dm}^3$ , a dokładność naszej litrowki wynosiła  $\Delta V = 0,1 \text{ dm}^3$ .

Pomiar średnicy tłoka wyniósł  $d = 2 \text{ cm}$ , a dokładność linijki której użyliśmy  $\Delta d = 0,1 \text{ cm}$ , więc promień tłoka  $r = 1 \text{ cm}$ , a  $\Delta r = 0,05 \text{ cm}$

Obliczamy ciśnienie zgodnie ze wzorem:

$$p = F/S = mg/\pi r^2 = \rho \cdot V \cdot g/\pi r^2 \quad p = 1090 \text{ hPa}$$

Obliczamy niepewność naszego pomiaru zgodnie ze schematem:

$$\Delta p = (\Delta V/V + 2\Delta r/r) \cdot p$$
$$\Delta p = (0,1/3,5 + 2 \cdot 0,05/1) \cdot 1090 \text{ hPa} = (0,03 + 0,1) \cdot 1090 \text{ hPa} = 141,7 \text{ hPa}$$

Wynik naszego pomiaru wynosi więc  $p = (1090 \pm 141,7) \text{ hPa}$ .

Jak widać z rachunku niepewności, decydujący wpływ na nasz pomiar miało użycie linijki do pomiaru średnicy tłoka. Aby uzyskać większą dokładność pomiaru ciśnienia, należałoby użyć zamiast linijki suwmiarki.

## VI. WYKORZYSTANIE CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO W ŻYCIU CODZIENNYM

Różnicę ciśnień w życiu codziennym wykorzystujemy w następujących sytuacjach:

- a) nabierając płynu do strzykawki czy pipety wytwarzamy podciśnienie i parcie atmosferyczne działając na ciecz wpycha ją do zbiornika,
- b) pijąc napoje przez słomkę wciągamy powietrze ze słomki co powoduje obniżenie w niej ciśnienia, co z kolei umożliwia ciśnieniu atmosferycznemu „wepchnięcie” do niej napoju,
- c) chcąc szybciej wypić napój z kartonowego pudełka, robimy w górnej jego części dodatkowy otwór, aby powietrze atmosferyczne wypełniło przestrzeń zwolnioną przez wypity napój i wywierało parcie na powierzchnię napoju ułatwiając jego wypicie drugim otworem,
- d) przyczepiając wieszaczek w postaci przyssawki, dociskamy go do gładkiej powierzchni i wypychamy powietrze znajdujące się między powierzchnią a przyssawką natomiast ciśnienie atmosferyczne dociska ją do powierzchni,
- e) oddychając, wyginająca się przepona wytwarza różnicę ciśnień między płucami a ciśnieniem zewnętrznym, co umożliwia nam wdech i wydech,
- f) gotując słoiki z przetworami powodujemy, że część nagranego powietrza uchodzi ze słoika wywołując podciśnienie, a parcie atmosferyczne działając na pokrywkę szczelnie ją dociska,
- g) stawiając bańki lekarskie, wypuszczamy z nich część powietrza na miejsce którego zasysana jest skóra oddzielająca płyny ustrojowe o ciśnieniu równym ciśnieniu atmosferycznemu,
- h) kierowcy samochodów, szczególnie ciężarowych, muszą odpowiednio manewrować pojazdem podczas mijania się z dużymi prędkościami, gdyż są narażeni na zderzenie boczne. Zgodnie z prawem Bernoulliego, ciśnienie powietrza od strony mijających się samochodów zmniejsza się. Ciśnienie działające na zewnętrzne ściany pojazdów jest większe i dociska samochody do siebie.
- i) przy silnym wietrze często doświadczamy wywijania się parasoli na zewnątrz. Winny jest ich zakrzywiony kształt. Powietrze nad parasolem ma większą szybkość czyli zgodnie z prawem Bernoulliego, panuje tam niższe ciśnienie niż pod parasolem. Podobnie jak na skrzydła samolotu zaczyna działać różnica ciśnień, która pomnożona przez powierzchnię parasola daje siłę naciskającą od jego wnętrza i wyginającą parasol do góry.

## Eksperyment I

### Model płuc

#### Materiały:

Plastikowa butelka po napoju, mały i duży balon (lub gumowe jednorazowe rękawiczki), nożyczki, śrubokręt, nóż.



#### Wykonanie:

Obcinamy dno butelki, a w nakrętce robimy otwór śrubokrętem. Mniejszy balon wkładamy do wnętrza butelki i nakładamy na jej szyjkę a następnie zakręcamy nakrętkę. Drugi balon obcinamy w połowie tak, by zrobić z niego membranę, którą zakładamy na obcięty koniec butelki i przewiązujemy recepturką. Raz ciągniemy membranę w dół, a następnie wpychamy ją do wnętrza butelki i obserwujemy zachowanie się balonika we wnętrzu butelki.



#### Obserwacja:

Podczas naciągania membrany, balonik znajdujący się w butelce zwiększa swoją objętość, a podczas wciskania membrany zmniejsza swoją objętość.



### Wyjaśnienie:

Podczas naciągania membrany objętość powietrza w butelce rośnie, ciśnienie natomiast maleje. W butelce wytwarza się podciśnienie i do balonika wpływa powietrze czyli następuje wdech. Wciskając membranę, powodujemy zmniejszenie objętości powietrza znajdującego się w butelce, wytwarza się nadciśnienie powodujące wypchanie powietrza z balonika czyli następuje wydech.

### Eksperyment II

Stawianie „baniek”

#### Materiały:

Balonik, dwie nietłukące się szklanki, zimna i gorąca woda, miska.



#### Wykonanie:

Nalać ostrożnie do obu szklanek gorącej wody i poczekać chwilę aby szklanki się zagrzały, następnie wodę wylać. Do nie za mocno napompowanego balonu przyłożyć ciepłe szklanki tak, aby balon znajdował się między nimi. Podać szklanki zimną wodą, a następnie złapać za jedną ze szklanek i podnieść do góry. Doświadczenie przeprowadzać nad miską.

#### Obserwacja:

Szklanki „przykleiły” się do balonu i łapiąc za jedną ze szklanek można było za pośrednictwem balonu podnieść drugą szklankę.





### Wyjaśnienie:

Powietrze w rozgrzanych szklankach zwiększyło swoją objętość i wydostało się na zewnątrz. Polanie szklanek zimną wodą spowodowało ochłodzenie powietrza zawartego w szklankach. Powstała różnica ciśnień między powietrzem zawartym w balonie a powietrzem zawartym w szklankach. Różnica ciśnień spowodowała zassanie balonu przez szklanki co pozwoliło podnieść drugą szklankę za pośrednictwem balonu.

### Eksperyment III

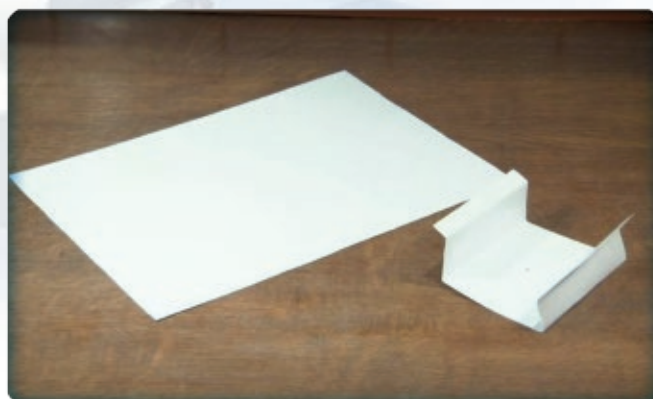
„Niebezpieczny huragan”

#### Materiały:

Kartka papieru.

#### Czynności:

Wygiąć kartkę papieru tak, by utworzyć most. Postawić most na stole i mocno dmuchać w otwór między stołem a mostem.





**Obserwacja:**

Most ugina się w stronę stołu.

**Wyjaśnienie:**

Pod mostem powietrze porusza się z dużą szybkością a więc zgodnie z prawem Bernoulliego w obszarze tym występuje niższe ciśnienie niż nad mostem. Różnica ciśnień powoduje wygięcie mostu w dół.







AGNIESZKA BARTECKA  
PRACA, MOC, ENERGIA









# XII. PRACA, MOC, ENERGIA

## Cele:

- a - Opisanie różnych form energii występujących w środowisku człowieka i sposobów zmiany jednego rodzaju energii w drugi.
- b - Wskazanie na możliwość wykorzystania zasobów energetycznych w celu wykonania pracy i wykonania pracy w celu zmagazynowania energii.

## Plan pracy:

- Najważniejsze pojęcia.
- Praca, moc, energia mechaniczna:
  - praca;
  - moc;
  - energia mechaniczna;
  - energia kinetyczna;
  - twierdzenie o pracy i energii;
  - zasada zachowania energii mechanicznej;
  - układy zachowawcze i niezachowawcze;
  - zasada zachowania energii;
  - pęd i zasada zachowania pędu;
  - skutki wykonania pracy nad ciałem;
  - eksperymenty fizyczne;
- Przekazywanie energii w formie ciepła:
  - przepływ ciepła;
  - energia wewnętrzna;
  - eksperymenty fizyczne.

## Najważniejsze pojęcia:

**Praca** – jeden ze sposobów (obok ciepła) przekazywania energii i jednocześnie miara ilości energii przekazywanej między układami fizycznymi w różnych procesach (np. mechanicznych, elektrycznych, termodynamicznych i innych).

**Moc** – stosunek pracy do czasu, potrzebnego na jej wykonanie.

**Sprawność maszyn** – stosunek mocy użytecznej do mocy dostarczonej maszynie.

**Energia** – zdolność ciała do wykonania pracy.

**Energia mechaniczna** – postać energii związana z ruchem i położeniem obiektu fizycznego względem wybranego układu odniesienia, stanowiąca sumę energii potencjalnej i kinetycznej.

**Energia kinetyczna** – energia, którą posiadają ciała będące w ruchu.

**Energia potencjalna grawitacji** – energia, jaką posiada ciało przeniesione względem wybranego poziomu odniesienia, równa pracy jaką musiała wykonać siła przemieszczając to ciało na tę wysokość.

**Energia potencjalna sprężystości** – energia, jaką posiada ciało odkształcone sprężystością, równa pracy potrzebnej do zmiany kształtu tego ciała.

**Energia wewnętrzna** – całkowita energia układu będącą sumą energii oddziaływań międzycząsteczkowych i wewnątrzcząsteczkowych układu, a także energii ruchu cieplnego cząsteczek (energii termicznej) oraz wszystkich innych rodzajów energii występujących w układzie.

**Moment bezwładności** – miara bezwładności ciała w ruchu obrotowym względem nieruchomej osi obrotu, odpowiednik masy w ruchu postępowym.

**Ciepło** – jeden ze sposobów (obok pracy), przekazywania energii pomiędzy ciałami o różnych temperaturach.

**Konwekcja** – proces przenoszenia ciepła związany z makroskopowym ruchem materii w płynie (cieczy lub gazie).

**Pęd** – podstawowa wielkość dynamiczna charakteryzująca ruch obiektu fizycznego. Pęd punktu materialnego jest równy iloczynowi masy  $m$  tego punktu i jego prędkości  $v$  ( $p = mv$ ).

## PRACA, MOC, ENERGIA MECHANICZNA

### Praca

W potocznym rozumieniu, pojęciem pracy określa się zwykle wysiłek podjęty przez człowieka lub inny żywy organizm w celu osiągnięcia jakiegoś zamierzonego skutku. Po wynalezieniu maszyn, które umożliwiają wykorzystanie sił przyrody do wykonywania różnych czynności, zaczęto wykorzystywać pojęcie „praca” do porównywania i oceny skutków działania maszyn i urządzeń technicznych. Wykonana praca jest miarą „efektu” wywołanego poprzez działającą siłę. Jeżeli zastosowana siła i przesunięcie obiektu, na który tą siłą zadziałano, mają ten sam kierunek i zwrot, wtedy praca wykonana przez tę siłę może być wyrażona przez związek:

**wykonana praca = siła pomnożona przez przesunięcie**

$$W = F \cdot s$$

Jeśli zwrot siły jest przeciwny do przesunięcia obiektu (np. przy hamowaniu ciała będącego w ruchu) wykonana praca jest ujemna. Kierunek działania siły jednak często różni się od kierunku

ruchu. Siłę można wówczas rozłożyć na dwie składowe: siłę równoległą do kierunku ruchu, która pokonuje opory przeszkadzające w przemieszczaniu, oraz siłę prostopadłą do kierunku ruchu, równoważoną przez siłę reakcji podłoża. Składowa prostopadła nie przyczynia się w niczym od przemieszczania, dlatego tylko składowa równoległa do kierunku ruchu wykonuje pracę, potrzebną do wprowadzenia ciała w ruch względnie jego hamowania.

Jednostką pracy jest dżul będący iloczynem jednostki siły ( $N$ ) i drogi ( $m$ ):

[dżul = niuton razy metr]

$$[J = N \cdot m]$$

## Moc

W wielu sytuacjach ważna jest nie tylko wartość wykonanej pracy, ale także to, jak szybko lub jak wolno ta praca jest wykonana. Mówi się, że maszyna, która wykona daną pracę w krótszym czasie ma większą moc. Moc charakteryzuje silniki lub maszyny robocze, wyrażając wielkość wykonywanej przez nie pracy w jednostce czasu. Moc jest to zatem tempo, w jakim praca jest wykonana lub inaczej tempo, w jakim energia przyjmuje inną formę. Moc można obliczyć ze wzoru:

**Moc = wykonana praca podzielona przez czas zużyty na jej wykonanie = zużyta energia podzielona przez czas**

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

Jednostką mocy jest wat ( $W$ ) czyli dżul na sekundę

$$[W = \frac{J}{s}]$$

## Energia mechaniczna

**Energia** jest to skalarna wielkość fizyczna charakteryzująca stan układu fizycznego jako jego zdolność do wykonania pracy. Energia jest pojęciem abstrakcyjnym. Nie można jej zobaczyć, ani poczuć, mimo to jest jednym z najważniejszych pojęć w nauce, ponieważ równoważność energii i masy jest podstawą istnienia Wszechświata.

Należy wykonać pracę aby wprowadzić nieruchome ciało w ruch, ciało samo staje się wtedy zdolne do wykonania pracy. Można powiedzieć, że ciało poruszające się posiada pewien zasób pracy wykonanej przy wprowadzeniu go w ruch. Również niektóre ciała znajdujące się w spoczynku posiadają określony zasób pracy i mogą go oddać w pewnych warunkach. Na przykład ciężarek zawieszony na pewnej wysokości może spadając wprowadzić w ruch inny ciężarek, zwinięta sprężyna rozwijając się może wykonywać pracę i napędzać mechanizm zegarowy. Ten zasób pracy zgromadzony w ciele znajdującym się na pewnej wysokości, napiętym lub będącym w stanie ruchu jest miarą jego energii mechanicznej  $E$ .

Jednostką energii jest więc tak samo jak pracy dżul ( $J$ ).

Energia mechaniczna występuje w dwóch różnych formach: jako energia potencjalna i energia kinetyczna, którą są obdarzone ciała w ruchu. Przy czym obie te formy mogą istnieć jednocześnie.



Dany obiekt może gromadzić energię poprzez zmianę położenia względem innego ciała lub wybranego układu ciał. Jest to energia potencjalna, bo nadaje ciału zdolność (potencjał) do wykonania pracy. Na przykład trzeba wykonać pracę przy ścisaniu sprężyny. Sprężyna magazynuje tę pracę w postaci **potencjalnej energii sprężystości**. Po zwolnieniu sprężyny, staje się ona zdolna do wykonania pracy (np. wprowadzenia w ruch wskazówek zegarka, wystrzelenia pocisku itp.).

**Grawitacyjna energia potencjalna** jest energią zmagazynowaną w ciele poprzez zmianę jego wysokości względem wybranego poziomu odniesienia. Wartość potencjalnej energii grawitacyjnej jest równa pracy, jaką należy wykonać przeciw sile grawitacji, aby podnieść ciało, można więc wyznaczyć ją z zależności:

**Grawitacyjna energia potencjalna = ciężar pomnożony przez wysokość**

$$E_p = mgh$$

**Energia kinetyczna** to energia, którą posiada poruszające się ciało. Jeżeli ciało porusza się ruchem postępowym, zależy ona od masy ciała i jego prędkości w następujący sposób:

**Energia kinetyczna = 1/2 masa razy prędkość podniesiona do kwadratu.**

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Jeżeli natomiast ciało o momencie bezwładności  $I$  porusza się ruchem obrotowym, energia kinetyczna tego ciała wynosi:

**Energia kinetyczna = 1/2 moment bezwładności razy prędkość kątowa podniesiona do kwadratu**

$$E_k = \frac{I\omega^2}{2}$$

### Twierdzenie o pracy i energii

Wprawiając jakieś ciało w ruch wykonujemy nad nim pracę nadając mu energię kinetyczną. Energia ta jest równa pracy potrzebnej do wprowadzenia go w ruch, bądź też pracy potrzebnej do zatrzymania go. Można więc powiedzieć, że zmiana energii kinetycznej ciała jest równa pracy wypadkowej siły, która wywołała tę zmianę.

Stanowi to treść **twierdzenia o pracy i energii kinetycznej**, które brzmi: praca wykonana nad ciałem lub wykonana przez ciało jest równa zmianie jego energii kinetycznej.

### Zasada zachowania energii mechanicznej

Całkowita energia mechaniczna ciała jest równa sumie jego energii potencjalnej i kinetycznej. Na przykład w czasie spadania ciała przy zaniedbywalnym oporze powietrza, jego energia mechaniczna nie ulega zmianie, następuje jedynie stopniowa zamiana energii potencjalnej na kinetyczną, przy czym przyrost energii kinetycznej równa się dokładnie ubytkowi energii potencjalnej.

### Układy zachowawcze i niezachowawcze

Układ ciał, w którym niezależnie od położenia tych ciał, całkowita energia mechaniczna jest stała, to układ zachowawczy. W rzeczywistości jednak najczęściej spotykamy się z układami

niezachowawczymi, w których następuje rozpraszanie energii mechanicznej. Przykładem takiego układu może być ciało spadające w chwili uderzenia o Ziemię albo ciała przesuwane po podłodze, sprężyna, która po rozciągnięciu i puszczeniu drga z coraz mniejszą amplitudą, aż w końcu się zatrzymuje. Ciała te nie wrócą samoistnie do pierwotnego położenia, a część ich energii mechanicznej zostaje zamieniona na energię termiczną, która jest energią ruchu cząsteczkowego. Odwrotne zjawisko zachodzi w silnikach cieplnych, w których następuje zamiana ciepła wytworzonego w wyniku spalania paliwa na energię mechaniczną. W każdym z tych przypadków określona ilość energii jednego rodzaju zostaje zamieniona w równą jej ilość energii innego rodzaju.

### Zasada zachowania energii

Energii nie można stworzyć z niczego ani zniszczyć. Ta powszechna zasada nosi nazwę zasady zachowania energii. Ogólnie można ją sformułować następująco: w układzie odizolowanym od otoczenia suma wszystkich rodzajów energii jest zawsze stała. Jeśli układ przestanie być zamknięty, a więc zostanie włożona weń pewna praca, albo też wykona on pracę na rzecz innego układu, to jego energia zostanie odpowiednio zwiększona lub zmniejszona o wartość wykonanej pracy.

### Pęd i zasada zachowania pędu

Pęd jest to wektorowa wielkość fizyczna opisująca ruch obiektu fizycznego. Pęd punktu materialnego stanowi iloczyn prędkości tego punktu i jego masy:

$$\begin{aligned} \text{pęd} &= \text{masa razy prędkość} \\ \mathbf{p} &= m \cdot \mathbf{v} \end{aligned}$$

Pęd układu ciał można znaleźć sumując wektorowo pędy wszystkich jego elementów. Pęd układu izolowanego (nie poddanego żadnym oddziaływaniom zewnętrznym) stanowiący sumę wektorową pędów wszystkich elementów pozostaje stały, chociaż pędy poszczególnych części układu mogą się zmieniać w wyniku oddziaływań wewnątrz układu.

### Skutki wykonania pracy nad ciałem

Jeżeli nad ciałem jest wykonana praca, to:

- ciało może następnie wykonać pracę nad innym ciałem,
- może wzrosnąć prędkość ciała (zwiększyć się jego energia kinetyczna),
- może wzrosnąć temperatura ciała (zwiększyć się jego energia wewnętrzna),
- ciało może zmagazynować energię i wykorzystać ją później (może się zwiększyć jego energia potencjalna).

# EKSPERYMENTY FIZYCZNE

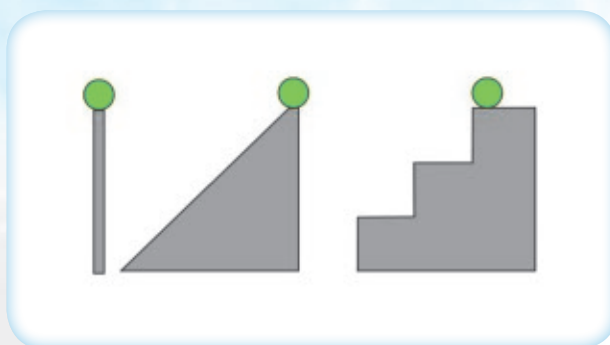
## 1. Porównanie pracy potrzebnej na wzniesienie piłki bezpośrednio w górę z pracą potrzebną na wtoczenie jej po równi i po schodach

### Materiały:

Schody, drewniana deska, piłka lekarska, przymiar, waga.

### Wykonanie:

Należy podnieść piłkę na pewną wysokość, potem wtoczyć ją na tę samą wysokość po równi, a następnie wtoczyć ją na tę wysokość po schodach (schodek po schodku).



### Wnioski:

Postaraj się odpowiedzieć na pytanie, w którym przypadku należy wykonać większą pracę, aby kulka znalazła się na wysokość  $h$ ?

W którym przypadku musimy użyć większej siły, aby piłka znalazła się na wysokości  $h$ ?

## 2. Wspinaczka po schodach

### Materiały:

Waga łazienkowa, taśma miernicza (5 m), stoper.

### Wykonanie:

Każda osoba biorąca udział w doświadczeniu waży się na wadze łazienkowej. Należy zmierzyć wysokość schodów od najniższego schodka do najwyższego. Jeden z uczniów wbiega po schodach. Drugi mierzy jego czas. Następny uczeń wchodzi krokiem marszowym po schodach. Drugi uczeń mierzy jego czas. Kolejny uczeń wchodzi po schodach powoli. Drugi uczeń mierzy jego czas.

### Wnioski:

Dane zebrane w doświadczeniu należy wykorzystać do obliczenia przyrostu energii potencjalnej każdego z uczniów, pracy jaką wykonali oraz mocy każdego z nich.

Podobne doświadczenie można wykonać używając roweru i polecając wjeżdżać uczniom na pobliskie wzniesienie, którego wysokość można określić na podstawie dostępnych map lub używając GPS. Należy pamiętać, aby w obliczeniach uwzględnić masę roweru i że wyznaczona moc to, w tym przypadku, moc użyteczna.



### 3. Wścigi kulek

#### Materiały:

Dwie identyczne kulki (małe ciężkie piłki lub kulki z łożyska), dwa dość długie paski łatwej do formowania blachy lub giętkie korytka instalacyjne o jednakowej długości.

#### Wykonanie:

Uformuj tory o kształtach zbliżonych do pokazanych na zdjęciu. Puść jednocześnie kulki po obu torach i obserwuj, która pierwsza dotrze do końca toru.



#### Wnioski:

Postaraj się wyjaśnić wynik obserwacji, na podstawie zasady zachowania energii? Która kulka będzie mieć większą prędkość na końcu toru?

Rozważ przypadek przedstawiony na rysunku poniżej. Na podstawie wyników eksperymentu, odpowiedz, która z kulek dotrze szybciej do końca toru w tym przypadku.



### 4. Zderzenia kul

#### Materiały:

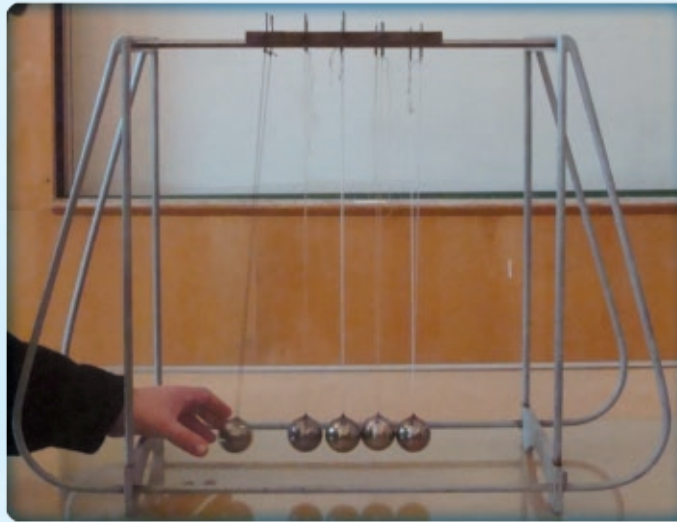
Stalowe kulki (kilka sztuk) o średnicy 10–15 mm z przymocowanym haczykiem, sznurek, metalowy pręt, 2 statywy.

Lub:

Stalowe kulki (kilka sztuk) o średnicy 10–15 mm (ze starego łożyska), 2 proste gładkie pręty metalowe o okrągłym przekroju (o średnicy ok. 10 mm i długości ok. 0,5 m), sznurek.

#### Wykonanie:

Z kulek i sznurka zrób jednakowej długości wahadła i zawieś je na pręcie przymocowanym poziomo do dwóch statywów, aby uzyskać układ podobny do przedstawionego na zdjęciu.



Odchyl jedną z kulek i puść swobodnie. Co zaobserwowałeś? Teraz odchyl dwie kulki i puść, aby uderzyły w pozostałe. Co dzieje się teraz? Powtórz doświadczenie z trzema kulkami. Jak wyjaśnić uzyskane wyniki?

Podobne doświadczenie można wykonać tworząc tor dla kulek z dwóch prętów.

Pręty połóż na stole lub innej płaskiej powierzchni obok siebie, tak aby się stykały. Zwiąż ich końce. Połóż na tak utworzonym torze kulki. Odsuń jedną z nich i zdecydowanym ruchem skieruj w stronę pozostałych (staraj się pchnąć kulkę tak mocno, żeby się nie toczyła, tylko przesuwiała). Powtórz eksperyment z dwiema i trzema kulkami.

#### **Wnioski:**

W tym doświadczeniu mamy do czynienia ze zderzeniem sprężystym, podczas którego muszą być spełnione jednocześnie: zasada zachowania pędu i zasada zachowania energii. Jeżeli  $k$  to liczba uderzających kulek o prędkości  $v$ , a  $n$  to liczba kulek odskakujących o prędkości  $u$ , to:

$$k \frac{mv^2}{2} = n \frac{mu^2}{2}$$

$$kmv = nmu$$

Po podniesieniu drugiego równania do kwadratu i podzieleniu stronami uzyskuje się:

$$k=n$$

co oznacza, że liczba odskakujących kulek musi być równa liczbie kulek uderzających.

## 5. Zderzenia monet

### Materiały:

Trzy monety, stół o gładkiej powierzchni.

### Wykonanie:

Położ na stole dwie monety, tak aby się stykały. Jeną z nich przyciśnij mocno palcem do stołu. Trzecią monetę „pstryknij” mocno, tak by uderzyła w przytrzymywaną monetę. Dotykająca jej moneta powinna odskoczyć.

### Wnioski:

Postaraj się wyjaśnić obserwację, bazując na wynikach poprzedniego doświadczenia.

## 6. Stalowa kulka i klocek

### Materiały:

Stalowa kulka, nić, klocek zrobione z drewna, metalu i plasteliny, stół.

### Wykonanie:

Zawieś kulkę na nici na takiej wysokości, aby po odchyleniu od pionu i puszczeniu uderzyła w leżący na stole klocek. Co dzieje się z klockiem?

Powtórz kilka razy doświadczenie zwiększając za każdym razem kąt wychylenia kulki.

### Wnioski:

Sprawdź czy kąt odchylenia nici wpływa na ruch klocka po stole.

Czy masa klocka odgrywa rolę w tym doświadczeniu?

Jakie znaczenie ma materiał, z którego wykonany jest klocek, dla przebiegu doświadczenia?

## 7. Skutki wykonania pracy nad ciałem (cegła na dykcie)

### Materiały:

Trzy cegły, kawałek cienkiej płyty pilśniowej (50 cm × 10 cm).

### Wykonanie:

Dyktę połącz na dwóch rozstawionych na długość dytki ceglach. Połącz delikatnie trzecią cegłą na środku dytki. Co obserwujesz?

Teraz podnieś cegłę leżącą na środku i upuść ją z dość dużej wysokości. Co obserwujesz tym razem?

### Wnioski:

Dykta po położeniu na niej cegły ulega sprężystemu odkształceniu, dzięki czemu jest potencjalnie zdolna do wykonania pracy po usunięciu dociążenia. Oznacza to, że posiada energię potencjalną sprężystości.



Bardzo możliwe, że dykta po upuszczeniu na nią cegły z wysokości mocno się wygnie, a nawet pęknie, co świadczy o tym, że spadająca cegła w momencie zetknięcia z dyktą posiada większą energię (wykonana nad nią przy podnoszeniu praca powoduje, że cegła nabywa energię potencjalną, która stopniowo podczas spadku zmienia się w energię kinetyczną, maksymalną w momencie zetknięcia z dyktą). Energia ta może zostać przekazana dykcie i spowodować zwiększenie jej energii wewnętrznej, prowadzące do rozerwania wiązań międzycząsteczkowych i w skrajnym przypadku przełamania dykty.

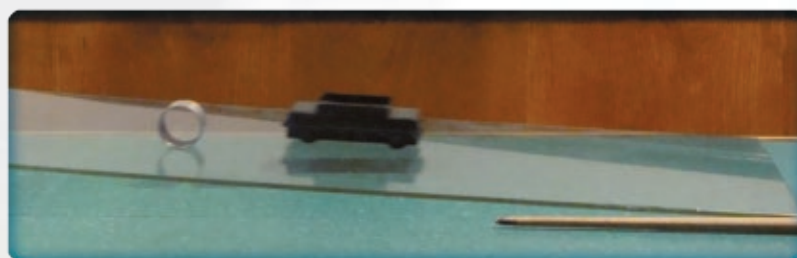
## 8. Równia pochyła, wózek i obręcz

### Materiały:

Równia pochyła (np. przechylona ławka lub płyta pilśniowa, gładka deska, szyba), wózek (lub inny pojazd z małymi i lekkimi kółkami), krótki odcinek stalowej rury o cienkich ściankach i średnicy 8–10 cm.

### Wykonanie:

Wózek i pierścień ustaw u szczytu równi pochyłej na tej samej wysokości i puść swobodnie. Który dotrze pierwszy do podstawy równi?



### Wnioski:

Korzystając z zasady zachowania energii, mamy dla ruchu wózka (ruchu postępowego) po równi:

$$mgh = \frac{mv^2}{2}$$

a po przekształceniu  $v = \sqrt{2hg}$

Natomiast dla toczącego się pierścienia (ruch postępowy i obrotowy wokół osi symetrii):

$$mgh = \frac{mu^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$$

Skąd po przekształceniu, wiedząc, że znajdujemy:

$v = \omega R$ , i że moment bezwładności cienkościennego walca wynosi  $I = mR^2$ , znajdujemy

$$u = \sqrt{gh}$$

Wózek porusza się z prędkością  $\sqrt{2}$  razy większą niż walec, dlatego dotrze szybciej do końca równi.

## 9. Rzut poziomy i rzut ukośny

### Materiały:

Dwuosobowa ławka uczniowska lub duża płyta wykonana np. z dykty lub metalu (do wykorzystania jako równia pochyła), kulka (metalowa lub kauczukowa), kreda.

### Wykonanie:

Wysmaruj dokładnie kulkę kredą. Przechyl ławkę lub płytę tworząc z niej równię pochyłą (na leży unieść dłuższy bok ławki), po której ma się toczyć kulka. Nadawaj prędkość kulce pod różnymi kątami w stosunku do bocznej (krótszej) krawędzi płyty starając się, aby jej szybkość była za każdym razem taka sama. Obserwuj jej ruch i tor zaznaczony kredą. Pod jakim kątem należy wyrzucić piłkę, aby poleciała jak najdalej?

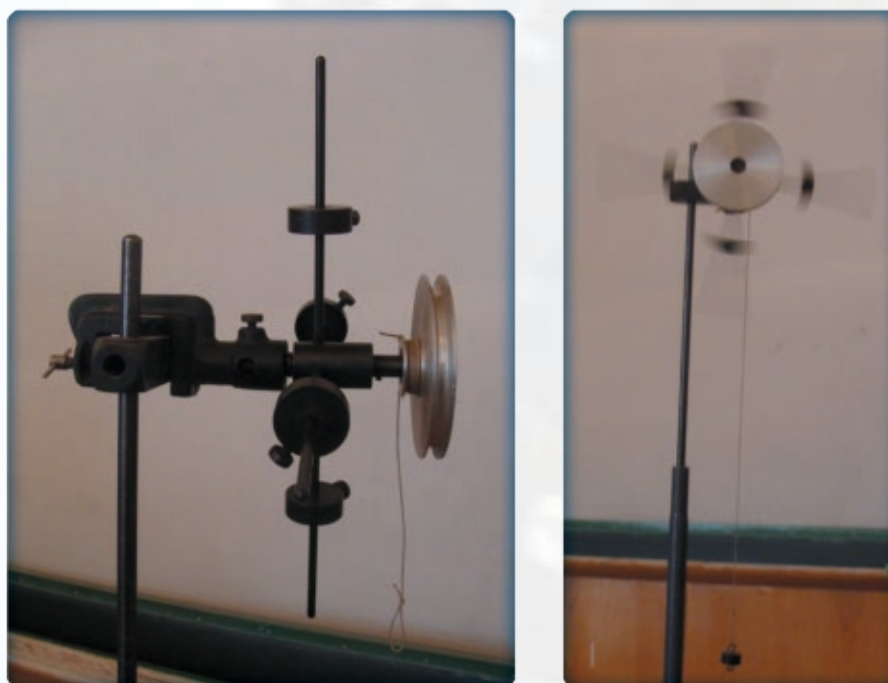
## 10. Bezwładność koła zamachowego.

### Materiały:

Statyw, dwa pręty, cztery jednakowe ciężarki do obciążenia prętów (z otworami, do nałożenia na pręty i śrubami, aby się nie przesunęły), uchwyt obrotowy (łożyskowy), cienki sznurek, ciężarek, do którego można przywiązać sznurek.

**Uwaga:** Doświadczenie można też wykonać przy użyciu jednego pręta i dwóch nałożonych na niego ciężarków.

### Wykonanie:



Pręty połączone z uchwytem obrotowym zamocuj symetrycznie na pionowym statywie, tak żeby mogły się obracać swobodnie w płaszczyźnie pionowej (patrz zdjęcie powyżej). Nałóż na pręty ciężarki, tak aby znalazły się na zewnętrznych końcach prętów. Przywiąż ciężarek do nici i nawiń jej drugi koniec wokół uchwyty obrotowego, tak żeby opuszczając się spowodował obracanie się pręta.

Powtórz doświadczenie umieszczając ciężarki na prętach w pobliżu osi obrotu. Porównaj wyniki obu części doświadczenia.

### Wnioski:

Podczas gdy ciężarek opada, grawitacyjna energia potencjalna ciężarka ulega przekształceniu w energię ruchu obrotowego pręta i energię kinetyczną opadającej masy. Jeżeli moment bezwładności ulegnie zmianie (inny układ mas na pręcie), stosunek energii ruchu obrotowego do energii kinetycznej ciężarka również się zmieni.

## 11. Skok na bungee

### Materiały:

Cienka rozciągliwa gumka pasmanteryjna o okrągłym przekroju, waga elektroniczna ważąca z dokładnością do 0,1 g, mała zabawka (np. ludzik Lego) o masie ok. 5 g, plastelina, przymiar, statyw, zacisk, papier milimetrowy.

### Wykonanie:

Najpierw należy sprawdzić jak mocno gumka rozciąga się przy wzrastającym obciążeniu i sporządzić wykres energii sprężystości gumki w zależności od wydłużenia, aby to zrobić:

Przygotuj kawałek nierozciągniętej gumki o długości 50 cm. Zawieś gumkę pionowo w odległości ok. 180 cm od podłoża używając zacisku i statywu (można ją też powiesić na karniszu używając np. mocno ściskającej żabki do wieszania firanek). Odważ kilka małych kawałków plasteliny (1 g każdy). Dokładaj po jednym kawałku plasteliny do końca gumki i zapisuj wydłużenie gumki w zależności od masy. Kontynuuj do momentu aż gumka wydłuży się do długości 1,5 m.

**Uwaga:** Jeżeli twoja gumka nie rozciąga się wyraźnie przy obciążeniu 1 g, musisz dobrać większe obciążenie, takie, aby można było zmierzyć wydłużenie za pomocą linijki. Ciężar skoczka, też musi być wtedy odpowiednio większy.

Wykonaj wykres siły ciężkości w zależności od wydłużenia  $F_g = f(x)$ .

Na podstawie wykresu oblicz zmianę energii sprężystości  $\Delta E$ , korzystając z zależności:  $\Delta E = F \cdot x$ , w odstępach 5 cm. Wykonaj wykres energii w zależności od wydłużenia.

Umocuj ludzika na końcu gumki i przygotuj wykres zmiany energii w zależności od wydłużenia. Postaraj się przewidzieć na podstawie zasady zachowania energii oraz wykresu, wysokość z jakiej ludzik powinien skoczyć, aby jego skok był bezpieczny, ale i ekscytujący. Celem jest osiągnięcie odległości od podłogi mniejszej bądź równej 8 cm, przy czym ludzik nie może dotknąć podłogi.

Na podstawie uzyskanych wyników można zakwalifikować się do trzech kategorii:

- Przewidziałem właściwą wysokość i skoczek wykonał skok, który był bezpieczny i ekscytujący;
- Przewidziałem zbyt dużą wysokość, przez co skoczek ocalał, ale jego skok nie był wystarczająco przerażający;
- Nie powinienem być zatrudniany jako operator bungee.



### Wnioski i wskazówki:

Skoczek bungee znajdzie się w spoczynku, kiedy strata grawitacyjnej energii potencjalnej będzie równa energii sprężystości gumki (fakt, że energia kinetyczna skoczka najpierw rośnie, a potem maleje, jest bez znaczenia przy przeprowadzaniu obliczeń). Dopóki skoczek spada do poziomu odpowiadającego nierozciągniętej gumce  $l$ , energia sprężystości gumki nie będzie ulegała zmianie. Dla skoczka, który przebył odległość równą  $l$ , wydłużenie gumki  $x = 0$ , a strata grawitacyjnej energii potencjalnej skoczka wynosi  $\Delta E_g = mgl$ .

Aby znaleźć wysokość, na jakiej skoczek znajdzie się w spoczynku, narysuj linię na wykresie  $\Delta E = f(x)$ , pokazującą jak zmienia się grawitacyjna potencjalna energia  $E_g$  skoczka w miarę jego spadania. Będzie to prosta linia zaczynająca się w punkcie o współrzędnych  $E_g = mgl$  i  $x = 0$ . Współczynnik kierunkowy tej prostej wynosi  $mg$ . W momencie, w którym obie linie na wykresie się przetną, spadek grawitacyjnej energii potencjalnej jest równy energii sprężystości zgromadzonej w gumce. I w tym momencie skoczek się zatrzyma. Użyj wykresu, aby określić wysokość, na jakiej to zajdzie.

(Źródło: *Salter's Horners Advanced Physics „University of York Science Education Group”*).

## 12. Jajko i prześcieradło – demonstracja pokazująca efektywność poduszek powietrznych

### Materiały:

Surowe jajko, stare prześcieradło lub zasłona, osłony na oczy – 2 szt., kaski – 2 szt.

### Wykonanie:

Dwaj uczniowie rozciągają między sobą prześcieradło trzymając je niezbyt napięte za górne końce tak wysoko jak mogą. Dolne końce podnoszą nieco do góry, tworząc z prześcieradła (patrząc z boku) coś na kształt litery J. Powinni mieć nałożone gogle i kaski ochronne.

Pozostali uczniowie rzucają kolejno z całej siły jajkiem w środek prześcieradła (dobrze jest robić to doświadczenie na dworze). Można się przekonać, że mimo iż uczniowie będą starali się rzucać jajkiem z całej siły nie uda im się go rozbić.

### Wnioski:

Mamy tu do czynienia ze zderzeniem niesprężystym, podczas którego jajko oddaje swój pęd prześcieradłu, powodując jego odkształcenie dzięki czemu jajko się nie rozbija. Aby udowodnić, że jajko było surowe można je po skończonym eksperymencie rozbić do jakiegoś naczynia. Doświadczenie to może stanowić prostą demonstrację efektywności poduszek powietrznych lub pasów bezpieczeństwa. Prześcieradło pozwala na zatrzymanie jajka znacznie mniejszą siłą, działającą na dłuższej drodze (w dłuższym czasie), w porównaniu do zderzenia jajka ze ścianą.

(Autor doświadczenia: *Ken Zetie, Head of Physics at St Paul's School in West London*).

# PRZEKAZYWANIE ENERGII W FORMIE CIEPŁA

## Przepływ ciepła

Przepływ ciepła między ciałami o różnej temperaturze może odbywać się trzema sposobami: przez przewodzenie, unoszenie (konwekcję) i promieniowanie.

**Przewodzenie** ciepła polega na przenoszeniu ciepła od ośrodka o temperaturze wyższej do ośrodka o temperaturze niższej za pośrednictwem ciała, zwanego wymiennikiem ciepła, wewnątrz którego tworzy się różnica temperatur.

Złe przewodniki ciepła (np. korek, wełna, pilśni) nazywamy izolatorami ciepła. Dobre przewodniki ciepła (miedź, aluminium, stal) są używane do budowy wymienników ciepła (np. kotłów, grzejników, garnków).

**Konwekcja (unoszenie ciepła)** jest to zjawisko ruchu ciepła polegające na tym, że ciepło pobrane w pewnym miejscu przez cząsteczki cieczy lub gazu jest przenoszone razem z tymi cząsteczkami i oddane chłodniejszemu otoczeniu w innym miejscu. Przenoszące ciepło prądy cząsteczek cieczy lub gazów to prądy konwekcyjne. Na zjawisku konwekcji oparte jest działanie centralnego ogrzewania oraz działanie kominów.

**Promieniowanie** polega na tym, że ciało o wystarczająco wysokiej temperaturze emituje ze swej powierzchni promieniowanie cieplne, które rozchodzi się zarówno w ośrodkach materialnych, np. w powietrzu, jak i w próżni. Jeżeli promieniowanie cieplne pada na jakieś ciało, to zostaje przynajmniej częściowo pochłonięte przez jego cząsteczki, zwiększając ich średnią energię kinetyczną, a co za tym idzie, podwyższając temperaturę ciała.

## Energia wewnętrzna

Większość zjawisk cieplnych można wytłumaczyć na podstawie cząsteczkowej budowy materii. Każde ciało (niezależnie od swojego stanu skupienia) jest zbudowane z atomów, które łącząc się ze sobą tworzą cząsteczki. Spoiwem wiążącym ze sobą cząsteczki, są siły międzycząsteczkowe pochodzenia elektromagnetycznego, które oddziałują na niewielkich odległościach, rzędu wymiarów cząsteczki. Siły międzycząsteczkowe są przyczyną występowania w materii specjalnego rodzaju energii potencjalnej, zwanej energią wiązania. Jest ona równa pracy niezbędnej dla rozsunienia cząsteczek znajdujących się początkowo w położeniu równowagi. Wartość energii wiązania jest przede wszystkim zależna od stanu skupienia materii. W każdym stanie skupienia, czy to stałym, ciekłym czy gazowym, atomy i cząsteczki nieustannie się poruszają.

Większość ciał stałych ma budowę krystaliczną i poszczególne cząsteczki są w nich rozmieszczone w geometrycznych układach, tworząc regularną sieć przestrzenną oraz nieustannie drgają wokół ustalonych położeń równowagi. Średnia energia kinetyczna cząsteczek tworzących ciało jest tym wyższa im wyższa jest temperatura bezwzględna ciała. Suma energii kinetycznej ruchu cieplnego cząsteczek i energii potencjalnej ich wiązania jest miarą energii wewnętrznej ciała.

# EKSPERYMENTY FIZYCZNE

## 13. Zmiana temperatury gumki recepturki przy rozciąganiu

### Potrzebne materiały:

Gumka recepturka.

### Wykonanie:

Zbliż gumkę do ust i rozciągnij ją szybko kilka – kilkanaście razy w dłoniach. Czujesz, że po rozciąganiu temperatura gumki się zmieniła? Jak to wyjaśnić?

### Wnioski:

Rozciągając gumkę wykonujemy pracę, której skutkiem jest zwiększenie energii wewnętrznej gumki, objawiające się zwiększeniem jej temperatury.

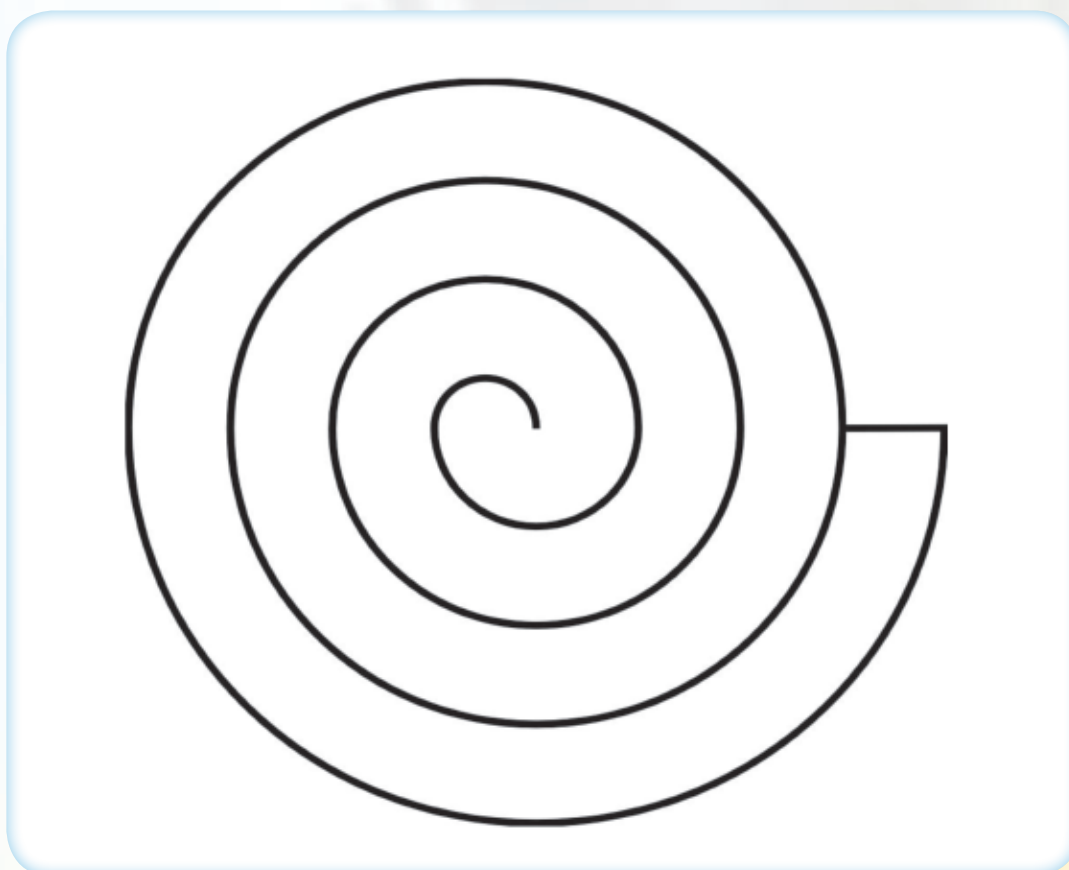
**Uwaga:** Doświadczenia obrazujące wykonanie pracy w celu zwiększenia energii wewnętrznej układu możesz też znaleźć w dziale „Termodynamika w środowisku człowieka”.

## 14. Konwekcja

### 14.1. Spirala

#### Materiały:

Kartka papieru formatu A4, szpikuliec o długości ok. 50 cm (może to być np. rożen, drut do robótek ręcznych), nożyczki, plastelina do umocowania szpikulca pionowo (lub inny przyrząd, który posłuży za statyw), świeczka, zapałki.





**Wykonanie:**

Wytnij z kartki spiralę, taką jak przedstawiona na rysunku.

Szpikulec umieść w statywie lub ustaw pionowo na stole za pomocą plasteliny. Środek spirali umieść na szpikulcu, tak aby reszta swobodnie zwisała (na kształt węża okręconego wokół szpikulca). Zapal świeczkę i ostrożnie umieść na stole pod węzem (uważaj by go nie zapalić). Wąż powinien zacząć się obracać wokół szpikulca. Jak wyjaśnić ten efekt?

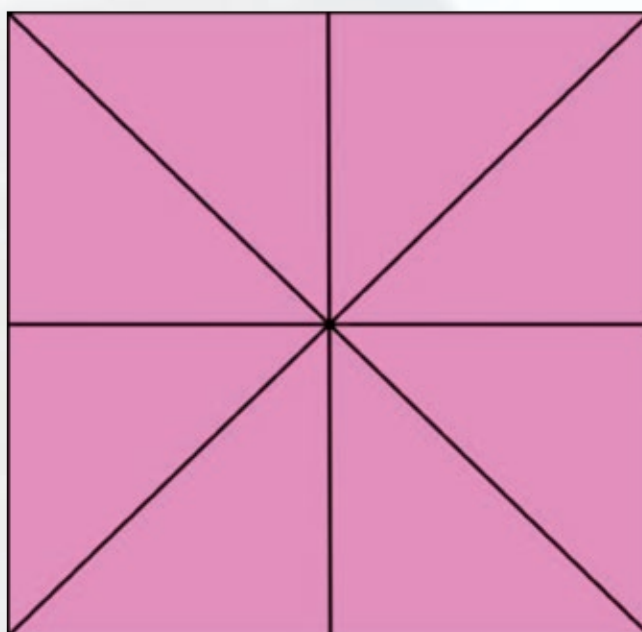
**Wnioski:**

Zachodzi tu zjawisko konwekcji. Prąd konwekcyjny przenosi energię cieplną od świeczki do spirali i wykonuje pracę, której skutkiem jest wprowadzenie spirali w ruch.

## 14.2. Obracająca się karteczka

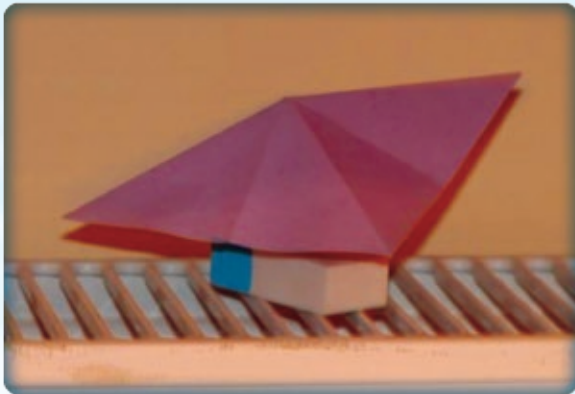
**Materiały:**

Mała kwadratowa karteczka (z bloczku do notatek, ale bez kleju), igła i gumka myszka do mazania, plastikowe przezroczyste pudełko (np. po słodyczach) lub słoik z szerokim otworem.

**Wykonanie:**

Wbij igłę w gumkę do mazania, tak aby przeszła na drugą stronę i w gumce znalazł się tylko jej tępy koniec. Potraktuj gumkę jak statyw. Tak powstały statyw postaw na grzejniku. Zegnij karteczkę wzdłuż linii zaznaczonych na rysunku, tak aby powstało z niej coś na kształt parasolki z wyraźnie widocznym środkiem.

Środek karteczki umieść dokładnie na końcu igły. Po chwili karteczka powinna zacząć wirować na końcu igły na skutek istnienia prądu konwekcyjnego ciepłego powietrza nad grzejnikiem.



Zdejmij układ z kaloryfera i postaw na stole. Zbliż obie dłonie z dwóch stron do układu, tak jakbyś chciał go objąć, nie dotykaj go jednak. Udało ci się wprawić karteczkę w ruch obrotowy? Układ doświadczalny składający się z igły, gumki i karteczki nakryj teraz przezroczystym pojemnikiem, który następnie obejmij dłońmi. Czy i tym razem karteczka wiruje?

### 14.3. Konwekcja w wodzie

#### Materiały:

Akwarium, woda, grzałka, mocno zmrożony w zamrażalniku kawałek metalu na sznurku (np. spora metalowa nakrętka), oświetlacz lub lampka (np. na biurko) z mocną żarówką, stół, ekran (można też wykorzystać fragment ściany).

#### Wykonanie:

Do akwarium nalej wody. Ustaw akwarium na stole w pobliżu kontaktu. Skieruj na akwarium z wodą światło z lampki, tak aby na ekranie (lub ścianie) umieszczonym po drugiej stronie akwarium zobaczyć wyraźnie jego cień. Jest to tzw. projekcja cieniowa.

- A. Włóż do akwarium grzałkę i włącz ją do gniazdka. Oczekaj chwilę, aż grzałka się rozgrzeje i obserwuj cień akwarium na ekranie (jeśli nie masz grzałki, możesz mocno rozgrzać kawałek metalu nad palnikiem gazowym i włożyć go do wody, czas obserwacji będzie jednak wtedy krótszy). Co zauważyłeś? Jak wytłumaczysz zaobserwowane zjawisko?
- B. Wyjmij grzałkę z wody. Następnie przynieś z zamrażalnika schłodzony kawałek metalu i trzymając za sznurek włóż go do wody (nie wrzucaj go na dno, tylko trzymaj pod wodą w pewnej odległości od dna). Co zaobserwowałeś tym razem?



**Wnioski:**

W doświadczeniu tym widać, że prądy konwekcyjne ogrzanej grzałką wody wędrują do góry, natomiast ochłodzona woda przemieszcza się w dół.

Na tej właśnie zasadzie jest oparte działanie grawitacyjnej instalacji centralnego ogrzewania, w której ma miejsce ciągłe wędrowanie ciepłej wody w górę i opadanie zimnej. Na podstawie obserwowanego zjawiska można też odpowiedzieć na pytanie po co miesza się potrawy podczas gotowania.

## 15. Pochłanianie energii światła przez powierzchnie o różnych barwach

**Materiały:**

Dwie takie same puszki (w tym jedna pomalowana na czarno, a druga błyszcząca lub pomalowana na biało), lampka na biurko z mocną żarówką, dwa termometry, woda.

**Wykonanie:**

Nalej do puszek jednakową ilość wody. Zmierz temperaturę wody w obu puszkach używając termometrów. Tuż przed puszkami z włożonymi termometrami ustaw lampę, tak aby oświetlała równomiernie boczną powierzchnię obu puszek. Włącz lampę i przez kilkanaście minut obserwuj wskazania obu termometrów. Jak wyjaśnić wynik doświadczenia?

**Wnioski:**

W doświadczeniu tym mamy do czynienia z przekazywaniem energii termicznej przez promieniowanie oraz przewodnictwo. Włókno żarówki, rozgrzane do wysokiej temperatury emituje nie tylko światło, ale również promieniowanie cieplne, które rozchodzi się w powietrzu, dochodzi do powierzchni puszek i zostaje pochłonięte przez cząsteczki, z których te powierzchnie są zbudowane i powoduje zwiększenie ich średniej energii kinetycznej, a co za tym idzie podwyższa temperaturę puszek. Puszka pełni w tym doświadczeniu rolę wymiennika ciepła i przez przewodzenie przekazuje je wodzie znajdującej się w jej wnętrzu.

Jednak, jak można zaobserwować w tym doświadczeniu, więcej energii termicznej absorbuje puszka pomalowana na czarno (temperatura wody w tej puszcze osiąga większą temperaturę). Promieniowanie docierające do puszek błyszczących ulega na jej powierzchni odbiciu.

Właśnie z tego powodu kolektory słoneczne, mające za zadanie magazynować energię słoneczną są czarne. Z tego samego powodu w upalny słoneczny dzień jest nam goręcej, jeśli ubierzemy się na czarno.



AGNIESZKA BARTECKA  
DRGANIA I FALE  
MECHANICZNE







# XIII. DRGANIA I FAŁE MECHANICZNE

## Cele:

- a- Przedstawienie ruchu drgającego, jako ruchu najczęściej występującego w przyrodzie.
- b- Wskazanie na powszechność występowania fal mechanicznych.
- c- Pokazanie sposobów wytwarzania fal dźwiękowych.

## Plan pracy:

- Najważniejsze pojęcia.
- Drgania:
  - ruch drgający;
  - ruch kulki zawieszony na sprężynie;
  - wahadło matematyczne;
  - tłumienie i wymuszanie drgań;
  - drgania własne;
  - rezonans;
  - eksperymenty fizyczne;
- Fale:
  - fale mechaniczne;
  - fala poprzeczna;
  - fala podłużna;
  - wykres i parametry opisujące falę mechaniczną;
  - interferencja fal;
  - fala stojąca;
  - eksperymenty fizyczne.

## Najważniejsze pojęcia:

**Drgania** – procesy, w trakcie których niektóre wielkości fizyczne dla nich charakterystyczne na przemian rosną i maleją w czasie.

**Drgania mechaniczne** – ruch cząstek ośrodka sprężystego względem położenia równowagi.



**Fala** – okresowe zaburzenie rozchodzące się w ośrodku lub przestrzeni ze skończoną prędkością i przenoszące energię.

**Fala mechaniczna** – fala rozchodząca się w ośrodkach sprężystych poprzez rozprzestrzenianie się drgań tego ośrodka.

**Fala poprzeczna** – występuje, gdy zaburzenie ośrodka jest prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali.

**Fala podłużna** – występuje, gdy zaburzenie ośrodka jest zgodne z kierunkiem rozchodzenia się fali.

**Długość fali  $\lambda$**  – odległość dwu najbliższych zaburzeń, mających tę samą fazę drgań.

**Okres drgań  $T$**  – najkrótszy czas po jakim układ drgający znajduje się (w ustalonym miejscu) ponownie w takiej samej fazie.

**Częstotliwość  $\nu$**  – jest to liczba drgań (albo cykli) na jednostkę czasu. Odwrotność okresu.

**Fala stojąca (drgania normalne)** – stan drgań utworzony poprzez nałożenie się na siebie fali padającej i odbitej biegnących wzdłuż tego samego kierunku, podczas którego obserwuje się węzły fali tj. obszary niezaburzone, oraz strzałki, w których zaburzenie jest maksymalne, przy czym odległość między dwoma najbliższymi węzłami jest równa połowie długości fali.

**Fala dźwiękowa** – rodzaj fal podłużnych polegających na przenoszeniu energii mechanicznej przez drgające cząstki ośrodka (zgęszczenia i rozrzedzenia) bez zmiany ich średniego położenia o częstotliwościach z przedziału od 16 do 20 000 Hz, rejestrowanych przez ucho ludzkie.

**Ton** – proste drganie akustyczne, którego wykresem jest sinusoida.

**Dźwięk** – drganie akustyczne będące wynikiem nakładania się tonów.

**Szum** – zjawisko akustyczne nie wykazujące stałego okresu drgań.

**Drgania wymuszone** – drgania powstające w układzie pod wpływem zewnętrznego źródła energii innego układu drgającego (siły wymuszającej).

**Drgania tłumione** – drgania o malejącej w czasie amplitudzie, na skutek rozpraszania energii.

**Rezonans** – zjawisko narastania amplitudy drgań wymuszonych, występujące gdy częstotliwość drgania wymuszającego jest zbliżona do jednej z częstości własnych układu drgającego.

## DRGANIA

### Ruch drgający

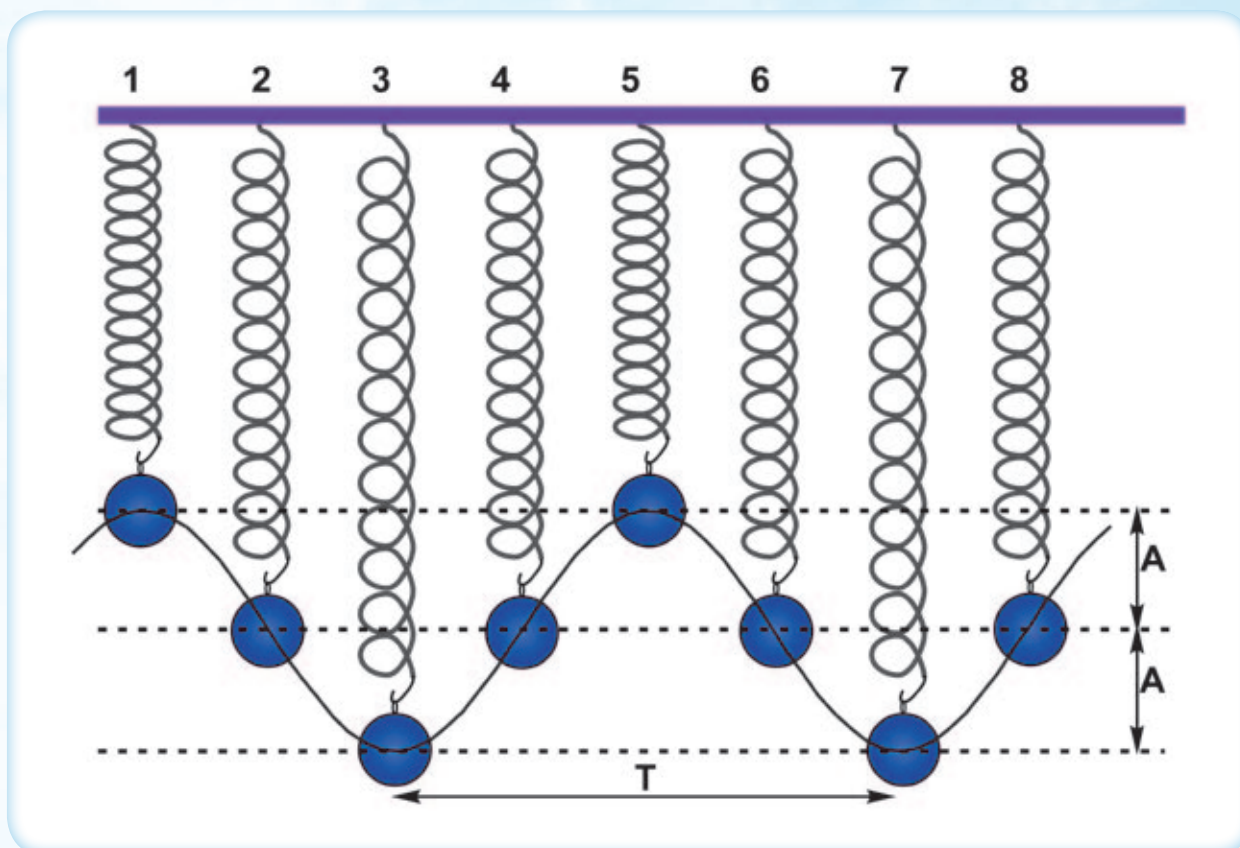
Cechą charakterystyczną ruchu drgającego jest jego okresowa powtarzalność, co oznacza, że po upływie określonego czasu zwanego okresem, ciało drgające powtarza ten sam ruch od nowa. Okresem ruchu drgającego  $T$  jest czas trwania jednego pełnego drgnięcia albo cyklu (jest to najkrótszy czas, po upływie którego ruch zaczyna się powtarzać). Szczególnym

przypadkiem ruchu drgającego jest ruch harmoniczny. Jest to taki ruch, w którym położenie ciała zmienia się w zależności od czasu sinusoidalnie.

Ruch drgający jest to jeden z najbardziej rozpowszechnionych ruchów w przyrodzie i technice. Ruchem drgającym jest na przykład kurczenie i rozkurczanie ludzkiego serca, ruch wahadła zegara, ruch atomów w cząsteczkach lub w sieci krystalicznej, ruch cząstek powietrza podczas rozchodzenia się fali dźwiękowej, a także drgania strun skrzypiec czy gitary, ruch tłoka w silniku spalinowym, ruch huśtawki, ruch wahadła zegara czy ruch ciężarka na końcu sprężyny.

### Ruch kulki zawieszona na sprężynie

W przypadku, gdy kulka zawieszona na sprężynie się nie porusza, ciężar kulki równoważy siłę sprężystości i kulka znajduje się w położeniu równowagi.



Jeżeli wykonamy pracę (działając siłą) i podniesiemy kulkę powyżej położenia równowagi (**pozycja nr 1** na rysunku) a następnie puścimy swobodnie, wówczas kulka będzie wykonywać drgania.

W **pozycji 3** kulka osiąga maksymalne dolne wychylenie z położenia równowagi. W pozycji tej układ ciał (sprężyna i kulka) posiada energię potencjalną sprężystości a prędkość kulki jest równa zero.

W tym położeniu na kulkę działa siła ciężkości oraz większa niż w **położeniu 2** siła sprężystości, bo sprężyna jest bardziej odkształcona. Kulka nie jest w równowadze, wypadkowa siła skierowana jest ku górze i powoduje powrót kulki do położenia równowagi. Można zaobserwować wzrost prędkości kulki, a więc również wzrost jej energii kinetycznej. Zmniejsza się zaś wychylenie kulki, więc maleje jej energia potencjalna.

W **pozycji 4** kulka osiąga znowu położenie równowagi i wypadkowa sił działających na kulkę zeruje się. Natomiast jej prędkość oraz energia kinetyczna są w tym położeniu maksymalne. Dzięki temu, że kulka posiada energię kinetyczną mija położenie równowagi i porusza się

w górę ściskając sprężynę (wykonuje pracę). Prędkość i energia kinetyczna kulki maleją, wzrasta zaś wychylenie oraz energia potencjalna sprężystości.

W **pozycji 5** kulka zatrzymuje się osiągając górne maksymalne wychylenie. Jej energia kinetyczna ponownie całkowicie zamienia się w energię potencjalną sprężystości. Wypadkowa siła działająca na kulkę w tym położeniu jest zwrócona w dół, bo siła sprężystości jest teraz mniejsza od siły ciężkości. Siła ta spowoduje ruch kulki w dół. Prędkość kulki znowu rośnie, rośnie więc energia kinetyczna a maleje energia potencjalna sprężystości.

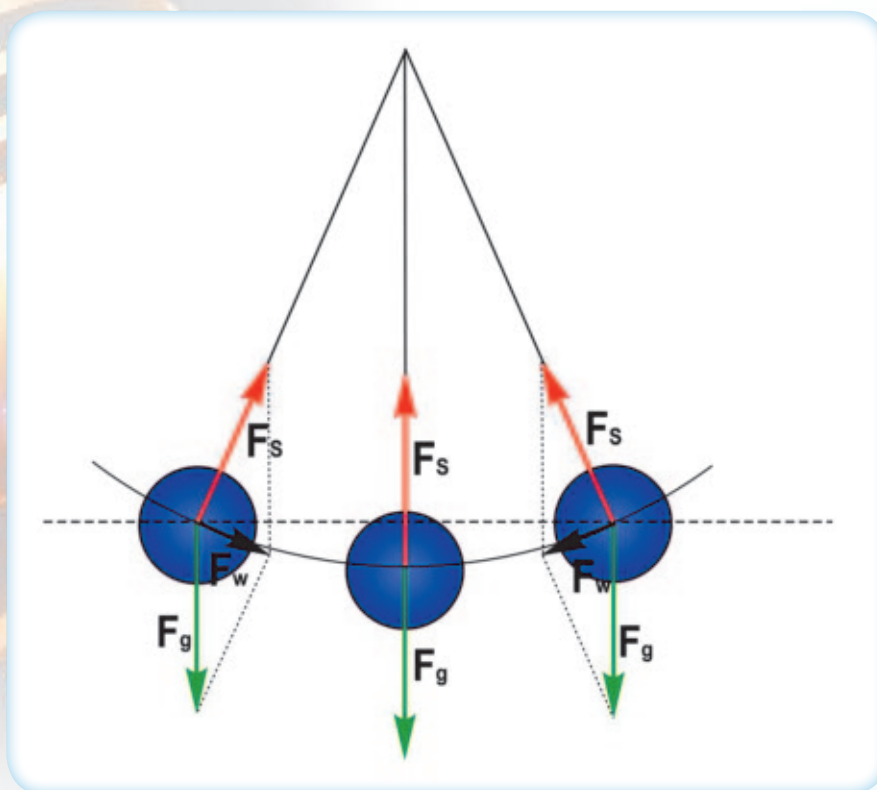
W **pozycji 6** kulka ponownie znajduje się w położeniu równowagi. Pomimo, że wypadkowa siła jest równa zero kulka nie zatrzymuje się, bo ma nabytą prędkość i dalej sytuacja się powtarza. Czas, po którym kulka zaczyna powtarzać swój ruch, to okres.

Gdybyśmy wykonali serię zdjęć filmowych kulki drgającej ruchem harmonicznym, otrzymalibyśmy obraz umożliwiający sporządzenie wykresu tego ruchu w zależności od czasu. Wykres taki to falująca linia przedstawiona na rysunku (sinusoida).

W rozumowaniu nie uwzględniono zmian energii potencjalnej grawitacyjnej, nie zmienia to jednak istoty powyższego opisu. Zachęca się ambitnych czytelników do przeprowadzenia obliczeń z uwzględnieniem zmian energii potencjalnej grawitacyjnej.

### Wahadło matematyczne

Kolejnym ze szczególnych przypadków ruchu harmonicznego jest ruch wahadła. Wahadło matematyczne to wyidealizowane ciało o masie  $m$  skupionej w jednym punkcie, zawieszona na nieważkiej i nierozciągliwej nici o długości  $l$ . Rzeczywistym przybliżonym modelem wahadła matematycznego jest stalowa kulka zawieszona na długiej cienkiej nici.



W położeniu równowagi ciężar ciała zawieszona na nici ( $F_g$ ) jest zrównoważony przez siłę sprężystości nici ( $F_s$ ) i kulka pozostaje w spoczynku.

Na kulkę wychyloną z położenia równowagi działa pionowo w dół siła ciężkości  $F_g$  oraz siła



sprężystości nici  $F_s$ . Wypadkowa tych dwóch sił  $F_w$  powoduje powracanie kulki do położenia równowagi.

Wahadło wychylone z położenia równowagi waha się w płaszczyźnie pionowej, z okresem równym:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Z tego równania wynika, że okres drgań wahadła matematycznego nie zależy od amplitudy i masy wahadła, a jedynie od jego długości i wartości działającego w danym miejscu przyspieszenia ziemskiego. Posługując się wahadłem i stoperem można zatem wyznaczyć doświadczalnie wartość przyspieszenia ziemskiego.

Właściwość wahadła polegająca na niezależności okresu drgań od jego amplitudy nazwana została izochronizmem i zastosowana w zegarach. Tę własność posiadają wahadła, dla których maksymalny kąt wychylenia nie przekracza  $15^\circ$ .

### Wnioski

Po przeanalizowaniu ruchu drgającego kulki zawieszony na sprężynie i ruchu wahadła możemy wyciągnąć następujące wnioski:

- Położeniem równowagi w ruchu drgającym nazywamy położenie, w którym na punkt materialny nie działa siła wypadkowa i energia potencjalna osiąga w tym punkcie wartość minimalną. Energia kinetyczna w tym punkcie jest natomiast maksymalna, ponieważ prędkość punktu materialnego ma w tym punkcie największą wartość.
- Przemieszczenie (wychylenie) jest to odległość drgającego punktu od położenia równowagi w dowolnej chwili. Maksymalne możliwe wychylenie to amplituda. W punkcie maksymalnego możliwego wychylenia prędkość punktu drgającego jest równa zero, więc zeruje się też energia kinetyczna, a energia potencjalna jest w tym punkcie największa.
- Okresem drgań nazywamy czas, w którym ciało wykona jedno pełne drganie (lub jest to odstęp czasu, po upływie którego drganie się powtarza), a częstotliwość jest to liczba drgań przypadająca na jednostkę czasu.

### Tłumienie i wymuszanie drgań

Amplituda drgań wahadła i każdego innego rzeczywistego drgającego ciała maleje w miarę upływu czasu, aż wreszcie ciało to zatrzymuje się. Świadczy to o rozpraszaniu energii, zużywanej na pokonanie sił tarcia i wydzielające się przy tym ciepło.

Jeżeli jednak na drgające ciało będzie działała okresowa siła zewnętrzna pobudzająca to ciało do ruchu i jeśli energia dostarczana w każdym impulsie pobudzającym zrównoważy energię rozpraszaną, to drgania będą niegasnące. Takie drgania wzbudzone za pomocą zmieniających się okresowo sił zewnętrznych to drgania wymuszone.

### Drgania własne

Wahadło i każde inne ciało wychylone z położenia równowagi, na które nie działają żadne siły zewnętrzne (np. tarcie, lub siła wymuszająca drgania) wykonuje drgania zwane drganiami własnymi ciała. Przyczyną tego są właściwości sprężyste tego ciała. Dla każdego ciała istnieje pewna charakterystyczna częstotliwość drgań własnych (jedna lub kilka), która jest niezależna od sposobu wzbudzenia drgań.

## Rezonans

Jeżeli częstotliwość wymuszających impulsów jest równa częstotliwości drgań własnych pobudzanego ciała, amplituda jego drgań osiąga maksymalną wartość. Częstotliwość, której odpowiada maksymalna amplituda drgań wymuszonych, to częstotliwość rezonansowa. Wszystkie ciała dają się pobudzać do bardzo dużych drgań, gdy pobudzenie jest okresowe i ma częstotliwość bliską częstości własnej. To zjawisko nazywamy rezonansem.

Zjawisko rezonansu jest wykorzystywane na przykład w różnych instrumentach muzycznych, ale także w obwodach prądu przemiennego. Dzięki rezonansowi działają radia, telewizory, krótkofalówki, a także telefony komórkowe i wszelkie urządzenia nadawczo-odbiorcze.

Rezonans bywa też jednak niepożądany, konstruktorzy muszą tak projektować obudowy silników, aby te nie znalazły się w rezonansie z pracującym silnikiem, ponieważ bardzo szybko uległyby wtedy zniszczeniu. Amortyzatory w samochodach, muszą być tak zaprojektowane, aby tłumiły drgania, a nie wpadały w nie. Również powtarzające się okresowo podmuchy wiatru, mogą się znaleźć w rezonansie z drganiami własnymi budynków czy mostów i spowodować ich zniszczenie w wyniku ogromnego wzrostu amplitudy drgań wymuszonych, co musi zostać uwzględnione przez architektów na etapie projektowania budowli.

# EKSPERYMENTY FIZYCZNE

## 1. Opis różnych rodzajów ruchu harmonicznego na podstawie obserwacji

### Materiały:

Nić, metalowa kulka, sprężyna, korytko instalacyjne (ok. 2 m), ciężkie podstawki (np. cegły), statyw z uchwytem, stoper.



**Wykonanie:**

Przeprowadź obserwację i opisz, jakim ruchem porusza się kulka:

- a - zawieszona na nici i odchylona od pionu,
- b - zawieszona na sprężynie i wychylona z położenia równowagi,
- c - wprowadzona w ruch w łukowato wygiętym korytku instalacyjnym.

Za pomocą stopera wyznacz okres drgań i wyznacz częstotliwości własne badanych układów. Pomiaru trzeba powtórzyć wielokrotnie a uzyskane wyniki uśrednić.

**Wnioski:**

Opisz, jak zmienia się prędkość i przyspieszenie kulek w każdym z tych przypadków w zależności od ich położenia. Jak zmienia się energia kulek? Czy w tych doświadczeniach jest spełniona zasada zachowania energii? Dlaczego po pewnym czasie ruch zanika? Co to znaczy, że ruch tych kulek jest ruchem okresowym?

## 2. Wahadło matematyczne – wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego

**Materiały:**

Dwie stalowe kuli o różnych masach zawieszona na niciach o równych długościach, statyw lub inne miejsce, gdzie można zawiesić kulkę. Ponadto stoper i długa linijka.

**Wykonanie:**

Zmierz linijką długość wahadła (od punktu zaczepienia do środka kulki). Wychyl wahadło o mały kąt i zmierz czas trwania 20 okresów. Swoje pomiary powtórz przynajmniej 3 razy.

Wyznacz okres drgań wahadła. Wykorzystaj uzyskany wynik do wyznaczenia przyspieszenia ziemskiego, posługując się wzorem na okres drgań wahadła matematycznego.

Powtórz procedurę dla wahadła z cięższą kulką wychylając ją o taki sam kąt.

Następnie skróć długość wahadła i powtórz pomiar 20 okresów dla lżejszej i cięższej kulki. Podobnie jak poprzednio wykorzystaj uzyskane wyniki do wyznaczenia przyspieszenia ziemskiego.

**Wnioski:**

Odpowiedz na pytanie, jak zależy okres drgań wahadła od jego długości?

Czy masa kulki ma wpływ na okres drgań wahadła?

Porównaj uzyskaną uśrednioną wartość przyspieszenia ziemskiego z wartością tablicową. Jakie czynniki mogły wpłynąć na ewentualną różnicę pomiędzy uzyskanym wynikiem a wartością tablicową? Jak można by zmodyfikować doświadczenie, aby uzyskać dokładniejsze wyniki?



### 3. Wahadło matematyczne + kołek

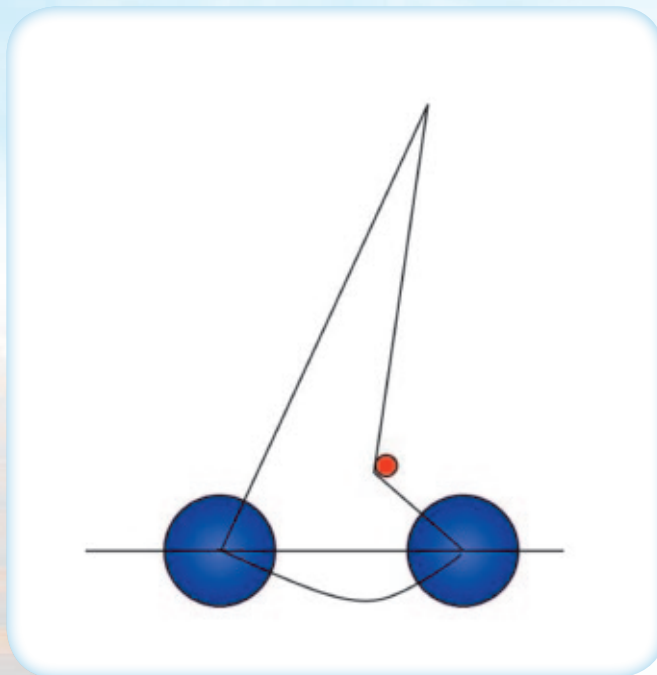
#### Materiały:

Wahadło matematyczne zrobione z metalowej kulki (bądź nakrętki) i sznurka, kołek (może to być ołówek, pręt, patyk).

#### Wykonanie:

Wpraw wahadło w drgania na tle tablicy. Zaznacz kredą poziom, do którego wychyla się wahadło. Ustaw kołek w taki sposób, aby znalazł się na drodze wychylającej się nici. Zaznacz poziom do którego dociera wahająca się kulka.

#### Wnioski:



Zawieszona na nici kulka powinna osiągnąć taką samą wysokość po tym, jak nie napotka kołek (nieruchomy) ustawiony prostopadłe do płaszczyzny wahań.

Wynik doświadczenia można wyjaśnić w oparciu o zasadę zachowania energii. Określ jak zmienia się energia podczas ruchu wahadła i postaraj się podać wyjaśnienie przeprowadzonej obserwacji.

### 4. Badanie zależności wychylenia od czasu w ruchu harmonicznym

#### 4.1. Wahadło matematyczne

#### Materiały:

Drobny suchy piasek, lejek z wąskim wylotem (może to być lejek kuchenny lub zrobiony z kartonu), sznurek, pas ciemnej gumy (papieru lub dość sztywnej zwilżonej tkaniny), statyw z wysięgnikiem, stoper.

#### Wykonanie:

Z lejka i sznurka zrób wahadło takie, jak pokazane na rysunku poniżej. Zawieś wahadło nisko nad pasem gumy, wsyp do lejka piasek i wpraw wahadło w drgania w kierunku prostopadłym do płaszczyzny utworzonej przez nitki, na których wisi wahadło. Przesuwaj równomiernie pas

gumy, obserwuj jaki ślad zostawia piasek na pasie. Zmierz stoperem czas. Obserwując gęstość piasku wzdłuż całego wykresu można określić, w którym miejscu prędkość poruszającego się wahadła jest najmniejsza, a w którym największa. Spróbuj to ocenić.



#### 4.2. Sprężyna

##### Materiały:

Zawieszona pionowo sprężyna obciążona ciężarkiem, pisak, plastelina, tektura, stoper.

##### Wykonanie:

Przymocuj pisak do ciężarka za pomocą plasteliny tak, aby był prostopadły do osi sprężyny. Umieść pionowo tekturkę tak, aby koniec pisaka dosięgał do niej. Wpraw sprężynę w drgania pionowe o amplitudzie nie przekraczającej szerokości tektury. Przesuwaj równomiernie papier w bok i obserwuj ślad zostawiony przez pisak. Zmierz stoperem czas.

##### Wnioski:

Na podstawie uzyskanych wykresów wyznacz częstotliwość z jaką drga wahadło i sprężyna. Z jaką prędkością był przesuwany papier w każdym z przypadków? Porównaj wyniki uzyskane w obu eksperymentach.

#### 5. Krzywe Lissajous

*Ciekawostka dla zainteresowanych tematem składania drgań harmoniczných.*

##### Materiały:

Lejek, drobny suchy piasek, sznurek, statyw. Duży arkusz ciemnego papieru, gumy lub kawałek lekko zwilżonego ciemnego sztywnego materiału.

##### Wykonanie:

Ze sznurka i lejka zrób wahadło na wzór tego przedstawionego na zdjęciu (wahadło identyczne jak w doświadczeniu 19). Nasyp do lejka piasku i wychyl go z położenia równowagi prostopadłe do płaszczyzny utworzonej przez nici, na których wisi wahadło. Powinieneś/powinnaś zaobserwować figury podobne do tych przedstawionych na zdjęciach.



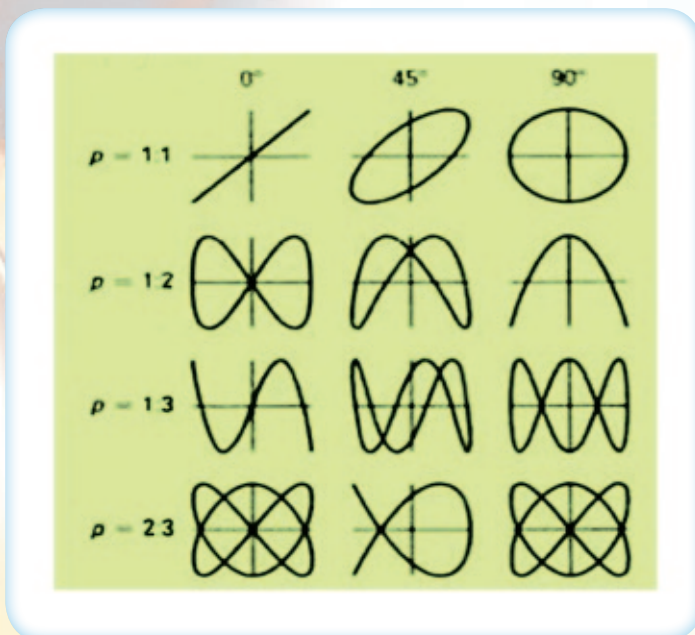
### Wnioski:

Takie „atrakcyjne” wyniki uzyskasz jednakże tylko przy odpowiednim doborze długości obu wahadeł: (1) górnego, utworzonego przez dwie nitki zamocowane na pręcie (długość tego wahadła to wysokość trójkąta utworzonego przez pręt i nitki); (2) dolnego, na którym wisi zbiornik z piaskiem (długość tego wahadła to odległość środka masy zbiornika z piaskiem od punktu zamocowania na nitkach górnego wahadła – wierzchołka trójkąta).

Jeżeli stosunek okresów drgań tych dwu wahadeł będzie bardzo bliski stosunkowi dwóch (małych, np. 2/3) liczb naturalnych, wtedy otrzymasz ładne krzywe zamknięte. Z powyższego rozważania wynika jeszcze kolejny warunek powodzenia doświadczenia. Zbiornik, do którego nasypiesz piasku nie może być zbyt lekki, a tym bardziej wysoki. Wtedy bowiem, w trakcie wysypywania się piasku będzie zmieniać się długość dolnego wahadła, a tym samym okres drgań.

Uzyskane w takim doświadczeniu krzywe to tzw. **krzywe Lissajous**. Są to tory zamknięte zakreślane przez punkt wykonujący jednocześnie dwa drgania harmoniczne w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach. Kształt figur zależy od stosunków między okresami i amplitudami obu drgań. W przypadku krzywych pokazanych na zdjęciach różnica faz obu składowych drgań wynosi  $0^\circ$ , a stosunek ich okresów wynosi 2/3.

Na rysunku są pokazane różne, możliwe do uzyskania przy odpowiedniej konstrukcji układu drgającego, rodzaje figur Lissajous (u góry podane są różnice faz, a z boku – stosunki okresów drgań).





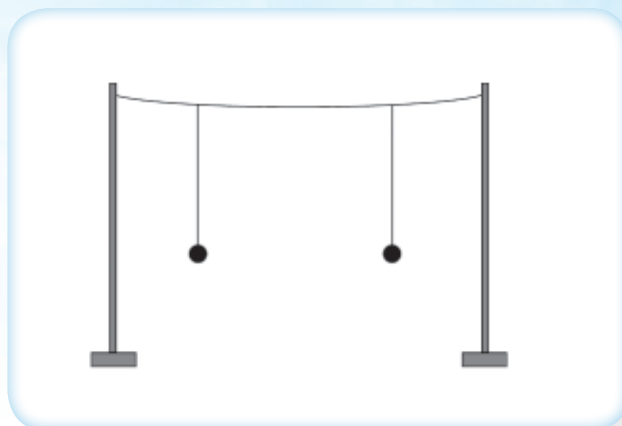
## 6. Rezonans mechaniczny. Połączone wahadła

### Materiały:

Cztery lub pięć identycznych kulek lub metalowych nakrętek, mocna nić lub sznurek, dwa statywy.

### Wykonanie:

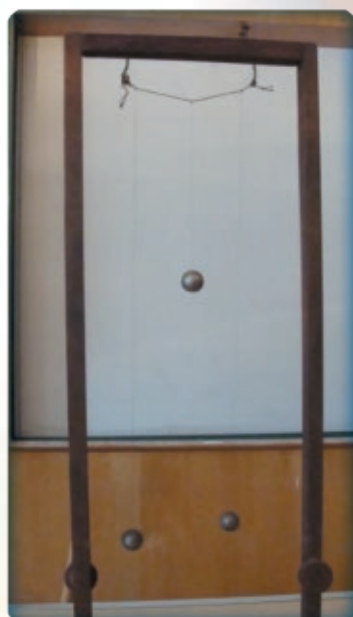
- A. Umieść dwa statywy w odległości ok. 50 cm od siebie i przymocuj pomiędzy nimi sznurek. Zawieś dwa identyczne wahadła zrobione z kulek bądź nakrętek symetrycznie na sznurku, tak aby były oddalone od siebie o ok. 25 cm. Wychyl jedno z wahań z położenia równowagi i puść. Obserwuj co się stanie.



### Wnioski:

Kiedy jedno z wahań oscyluje, jego amplituda stopniowo maleje, a energia jest przenoszona do drugiego wahań przez łączący go z nim sznurek. Amplituda drgań drugiego wahań stopniowo wzrasta. Ma miejsce rezonans mechaniczny.

- B. Umieść teraz pomiędzy dwoma wahańmi dodatkowe wahadło o innej długości (tak jak na zdjęciu poniżej). Jedno z jednakowych wahań wychyl z położenia równowagi i puść. Obserwuj pozostałe wahadła. Co zauważyłeś? Powtórz doświadczenie dokładając jeszcze jedno lub dwa wahadła o różnej długości. Porównaj wyniki z uzyskanymi w poprzedniej części doświadczenia.



## Wnioski:

W rezonansie z pobudzonym do drgań wahadłem jest tylko wahadło o takiej samej długości, ponieważ częstość własna drgań tego wahadła jest taka sama jak częstość drgań wahadła pobudzonego do drgań. Pozostałe wahadła mają inną długość i zgodnie ze wzorem na okres drgań wahadła matematycznego, będą miały inny okres drgań, a co za tym idzie inną częstotliwość drgań własnych, dlatego nie zostaną pobudzone do drgań.

## 7. Rezonans akustyczny

### 7.1. Dwa kamertony

#### Materiały:

Dwa identyczne kamertony i młoteczek lub dwa duże kieliszki do wina oraz ołówek lub drewniana łyżka.

#### Wykonanie:

Ustaw kamertony kilka centymetrów od siebie. Uderz młoteczką jeden z nich, tak aby wydobyć z niego głośny dźwięk. Po chwili dotknij dźwięczący kamerton dłonią, aby wytłumić dźwięk. Pewnie nadal słyszysz ciche dźwięczenie. Jak to wytłumaczyć?

To doświadczenie można wykonać używając zamiast kamertonów kieliszków do wina i uderzając jeden z nich ołówkiem lub drewnianą łyżką.

### 22.2. Dwa kamertony i piłeczka pingpongowa

#### Materiały:

Dwa kamertony, piłeczka pingpongowa, nitka, trochę plasteliny, statyw. Jeśli nie masz kamertonów i w tym przypadku możesz posłużyć się dużymi pękatymi kieliszkami do wina.

#### Wykonanie:

Piłeczkę pingpongową zawieś na nitce, używając w tym celu niewielkiej ilości plasteliny, przymocuj nitkę do statywu i ustaw go tak, aby piłeczka lekko dotykała kamertonu (patrz zdjęcie po lewej stronie). Drugi kamerton wpraw w drgania używając młoteczka. Piłeczka powinna zacząć miarowo odskakiwać od kamertonu (zdjęcie po prawej). O czym to świadczy?



W przypadku, gdy używasz kieliszków, ustaw układ podobny jak z kamertonami. W celu wprawienia kieliszka w drgania, zwilż palec i pocieraj ruchem okrężnym brzeg kieliszka, aż usłyszysz głośny dźwięk.

### **Wnioski:**

Kamerton jest przyrządem, którym ludzie związani z muzyką posługują się na co dzień, strojąc instrumenty. Kamerton stanowi źródło dźwięku o czystym tonie, co oznacza, że drga wyłącznie z jedną częstotliwością. Kiedy ustawimy obok siebie dwa kamertony i uderzeniem wprawimy jeden z nich w drganie, to usłyszymy także dźwięk drugiego, ponieważ drgania powodują ruch otaczającego kamerton powietrza, które zaczyna drgać w taki sam sposób i przenosi drganie do drugiego kamertonu.

## **8. Figury Chladniego**

*Ciekawostka dla zainteresowanych tematem drań własnych.*

### **Materiały:**

Tortownica, folia spożywcza, kolumna głośnikowa, generator akustyczny lub komputer, sól lub drobno zmielony korek (ewentualnie kasza manna).

### **Wykonanie:**

Na tortownicy rozepnij folię spożywczą, naprężając ją mocno. Połącz kolumnę z generatorem. Połóż płasko kolumnę głośnikiem do góry i postaw na niej tortownicę przykrytą folią. Folię posyp równomiernie solą lub korkiem. Na generatorze zmieniaj płynnie częstość drgań. Obserwuj co dzieje się z rozsypaną na folii solą.

### **Wnioski:**

W tortownicy powstają fale stojące o ściśle określonych częstościach zwanych własnymi. Podczas tych drgań sól zsypuje się do pozycji linii węzłowych fali, w których amplituda drgań własnych jest zerowa, tworząc figury Chladniego o niepowtarzalnych kształtach (nazwa pochodzi od nazwiska szwajcarskiego fizyka, który zbadał je po raz pierwszy pod koniec XVIII wieku). Natomiast przy częstościach pomiędzy częstościami własnymi, sól rozsypuje się chaotycznie po całej tarczy. Każdej figurze Chladniego odpowiada określona częstość własna lub jej wielokrotność. Wygląd figur Chladniego zależy od kształtu tarczy i od sposobu jej zamocowania, czyli od warunków brzegowych (bardzo ciekawe kształty można też uzyskać na płycie kwadratowej zamocowanej w środku).

## **FALE**

Ruch falowy jest bardzo rozpowszechniony w przyrodzie. W życiu codziennym mamy do czynienia z falami mechanicznymi, do których zaliczają się na przykład fale dźwiękowe czy fale na wodzie, z falami elektromagnetycznymi, do których zaliczyć można np. fale radiowe, mikrofales, świetlne (widzialne).

Krótko można powiedzieć, że fala to rozchodzenie się zaburzenia w przestrzeni.

### **Fale mechaniczne**

Fala mechaniczna to fala rozchodząca się w ośrodku sprężystym (czyli takim, który powraca do pierwotnego kształtu, po usunięciu zewnętrznej siły powodującej powstanie w nim naprężeń) i przenosząca energię poprzez rozprzestrzenianie się drgań tego ośrodka. Wytrącenie zespołu cząsteczek ośrodka sprężystego z położenia równowagi powoduje ich drganie wokół tego położenia, przy czym poprzez zderzenia z sąsiednimi cząsteczkami zaburzenie przenosi się z jednej warstwy ośrodka na następną, wprawiając ją w ruch drgający o takim samym okresie drgań.



Przykładem ruchu falowego są, wspomniane już, fale rozchodzące się kołowo na powierzchni wody po wrzuceniu do niej kamienia lub ruch potrząsanego sznura. Wrzucenie kamienia i potrząsanie sznurem ma na celu wyprowadzenie cząsteczek ośrodka w określonym miejscu z położenia równowagi. Ruch cząsteczek wody i sznura polega na ich podnoszeniu i opadaniu w jednym miejscu, natomiast sama fala, przenosząca te drgania, rozchodzi się po powierzchni wody lub wzdłuż sznura. Ośrodek nie porusza się więc wraz z rozchodzącą się falą, lecz jedynie jego cząsteczki drgają wokół położenia równowagi, zaś istotę ruchu falowego stanowi przeniesienie się tych drgań na coraz dalsze warstwy ośrodka.

Dobłą ilustracją tego zjawiska jest ruch szałwika wędki na powierzchni wody. Jeżeli po wodzie rozchodzi się fala, szałwik unosi się do góry i w dół, ale nie przesuwa się razem z falą, co oznacza, że cząsteczki wody z którymi się styka nie przesuwały się.

### Fala poprzeczna

Fale na wodzie i sznurze są przykładami tzw. fal poprzecznych.

**Fala poprzeczna** występuje wtedy, gdy cząsteczki ośrodka sprężystego drgają prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali. Powstanie fali poprzecznej wiąże się ze zmianą kształtu ciała, a więc może się ona rozchodzić jedynie w ośrodkach mających sprężystość postaci (głównie w ciałach stałych).

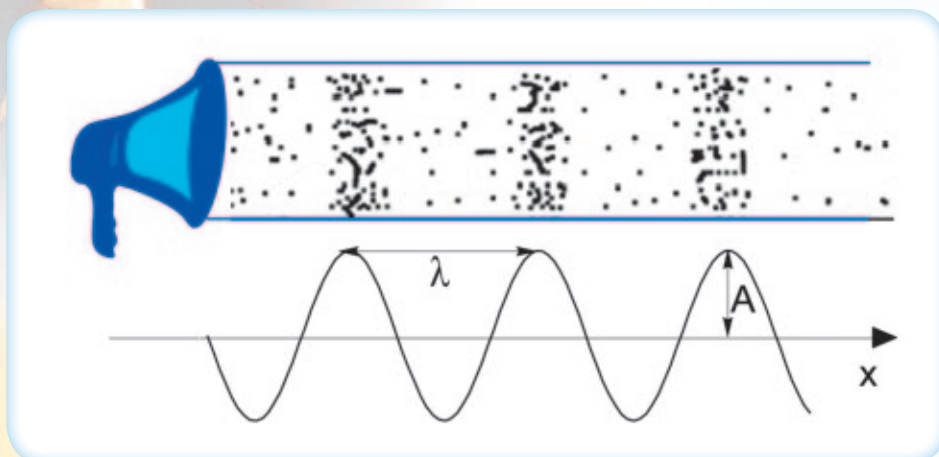
### Fala podłużna

W zależności od kierunku drgań cząsteczek ośrodka w stosunku do kierunku rozchodzenia się fali oprócz fal poprzecznych występują też fale podłużne.

Z **falą podłużną** mamy do czynienia wtedy, gdy cząsteczki ośrodka drgają wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali. Można ją otrzymać na przykład uderzając z jednej strony w koniec długiej sprężyny. Obserwujemy wtedy zagęszczanie się zwojów sprężyny w pobliżu miejsca uderzenia i przesuwanie się tego zagęszczenia wzdłuż jej osi, przy czym kierunek drgań zwojów sprężyny jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali.

Ponieważ rozchodzenie się fal podłużnych jest związane z okresowymi zmianami gęstości ośrodka, fale te mogą się rozchodzić we wszystkich ośrodkach wykazujących sprężystość objętości, a więc zarówno w ciałach stałych, cieczach i gazach.

Ważnym przykładem fali podłużnej jest fala dźwiękowa (patrz rysunek poniżej).



## Wykres i parametry opisujące falę mechaniczną

Falę tę (jak również wszystkie inne fale harmoniczne) można przedstawić na rysunku, który bardzo przypomina wykres wychylenia w ruchu harmonicznym. Jest jednak zasadnicza różnica. W przypadku drgań harmonicznych (np. sprężyny) wykres przedstawia położenie jednego drgającego punktu w różnych chwilach (seria zdjęć), natomiast w przypadku fali wykres przedstawia położenie różnych punktów ośrodka w jednej chwili (jedno zdjęcie).

Ruch falowy podobnie jak ruch drgający opisuje amplituda ( $A$ ), okres ( $T$ ) i częstotliwość drgań ( $f$ ). Z amplitudą fali związane są określenia: grzbiet fali i dolina fali. Grzbiet fali to maksymalne górne wychylenie cząsteczek ośrodka z położenia równowagi, a doliną – maksymalne dolne wychylenie. Dwa sąsiednie grzbiety lub doliny charakteryzują się tym, że są w zgodnych fazach tzn. mają jednakowe wychylenie i taką samą co do wartości i zwrotu prędkość.

Odległość pomiędzy sąsiednimi grzbietami (dolinami), czyli odległość dwóch najbliższych punktów ośrodka znajdujących się w tej samej fazie, nazywamy **długością fali** i oznaczamy symbolem  $\lambda$  (lambda). Ponieważ czas, w którym ruch falowy przenosi się na odległość  $\lambda$  jest równy okresowi drgań  $T$ , prędkość ruchu fali można opisać wzorem:

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

## Interferencja fal

Jeżeli przez ośrodek sprężysty przechodzi równocześnie kilka fal, to każda jego cząsteczka uczestniczy w kilku nakładających się wzajemnie ruchach drgających, przy czym wychylenie, jakiego doznaje wtedy cząsteczka jest sumą wektorową wychyleń, jakich doznałaby ona pod działaniem każdej z tych fal z osobna. Drgania cząsteczki mogą się osłabiać lub wzmacniać, w zależności od tego, czy są wynikiem nakładania się fal o fazach zgodnych czy też przeciwnych. Zjawisko będące wynikiem nakładania się fal nosi nazwę interferencji.

## Fala stojąca

Szczególnym przypadkiem interferencji fal jest powstanie fali stojącej, będącej wynikiem nakładania się dwóch fal o jednakowych częstościach i amplitudach, rozchodzących się w przeciwnych kierunkach. Zjawisko to można zaobserwować najczęściej podczas rozchodzenia się fal w rurach, prętach, strunach itp., więc tam, gdzie fale poruszają się naprzeciw siebie. W wyniku nakładania się fali pierwotnej i fali odbitej, cząsteczki ośrodka uzyskują, w zależności od ich położenia wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali, różne amplitudy drgań zawarte w granicach od zera do wartości podwójnej amplitudy fali pierwotnej. Punkt w których drgania nie występują to węzły fali stojącej, punkty o największej amplitudzie drgań to strzałki fali stojącej.

# EKSPERYMENTY FIZYCZNE

## 9. Rozprzestrzenianie się fali poprzecznej wzdłuż sznura

### Materiały:

Przynajmniej 3 m gumowego węża (może być w nim trochę piasku) lub luźnego niezbyt sztywnego sznura.

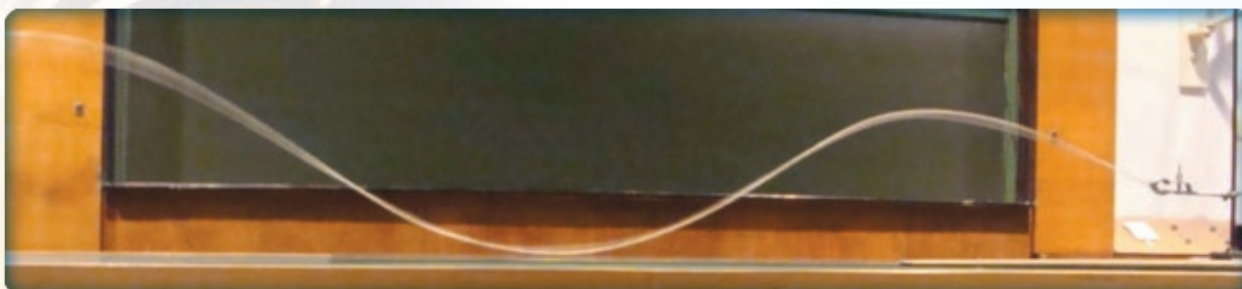
### Wykonanie:

Do wykonania tego ćwiczenia są potrzebne 2 osoby.

Uczniowie łapią za końce sznura i oddalają się od siebie, jednak nie za daleko, tak aby sznur nie był napięty. Jedna osoba stara się trzymać koniec sznura nieruchomo, a druga jedną ręką trzyma za koniec sznura (ciągle w tym samym miejscu) a drugą ręką szarpie za sznur w górę i w dół. Opiszcie co dzieje się ze sznurem i z trzymającymi go osobami.

### Wnioski:

Odształcenie odcinka węża gumowego lub sznurka na skutek jego potrząśnięcia (jak na zdjęciu poniżej) jest zaburzeniem stanu równowagi tego odcinka. Zaburzenie to przesuwa się wzdłuż węża. Kolejne obszary węża przekazują energię następnym odcinkom, dzięki czemu wykonują one drgania, wtedy w wężu rozchodzi się fala.



Należy zwrócić uwagę, że:

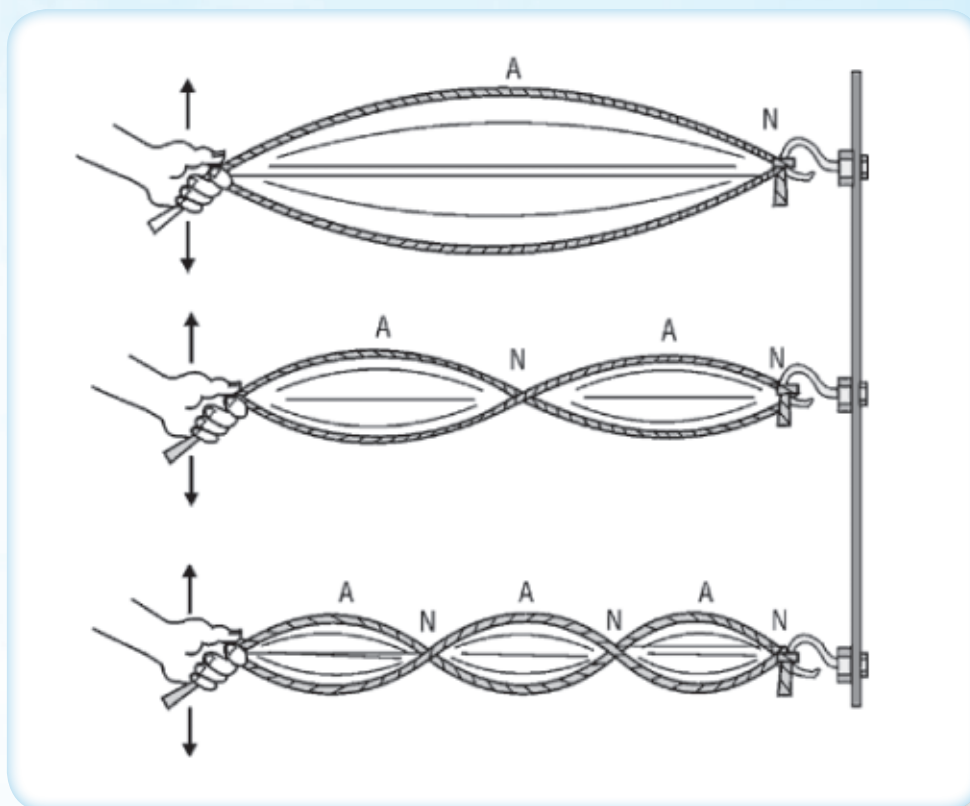
- a - rozprzestrzeniająca się wzdłuż sznura fala poprzeczna zmniejsza swoją amplitudę w miarę oddalania się od źródła;
- b - można też zaobserwować, że fala odbija się na nieruchomym końcu sznura i zaczyna poruszać się w przeciwnym kierunku;
- c - uczeń na końcu sznura, który ma trzymać go nieruchomo, ma z tym kłopot, ponieważ fala przenosi energię, która po dotarciu do jego ręki powoduje, że ręka zaczyna się poruszać.



## 10. Poprzeczna fala stojąca

### Materiały:

Przynajmniej 3 m gumowego węża (może być w nim trochę piasku) lub luźnego niezbyt sztywnego sznura, kolorowe frotki lub cienkie wstążeczki (4–6 sztuk).



### Wykonanie:

Do wykonania tego ćwiczenia są potrzebne dwie osoby, można też przywiązać jeden z końców sznura nieruchomo do jakiegoś uchwyty (np. klamki drzwi lub okna). Dzielimy sznur na równe części (np. 3) zaznaczając odległości frotkami lub wstążkami. Próbuje wytworzyć falę stojącą. Łapiemy mocno za końce sznura w skrajnych zaznaczonych miejscach. Jedna z osób energicznie porusza sznurem w górę i w dół ustalając częstotliwość taką, aby w zaznaczonych miejscach powstały węzły fali. Druga osoba stara się trzymać sznur nieruchomo.

Zwiększamy liczbę węzłów i znowu próbujemy wytworzyć falę stojącą.

### Wnioski:

Jak musi się zmienić częstotliwość, aby uzyskać falę stojącą z węzłami w zaznaczonych miejscach?

## 11. Podłużna fala stojąca

### Materiały:

Dość długa i miękka sprężyna z zaczepem, hak, metalowa blaszka

### Wykonanie:

Zaczepioną z jednej strony o hak sprężynę wprawiamy w drgania podłużne starając się wytworzyć falę stojącą. Metalową blaszkę wkładamy najpierw w węzeł podłużnej fali stojącej, a potem w staramy się ją włożyć w strzałkę.

**Wnioski:**

Co dzieje się ze sprężyną i blaszką w obu przypadkach?

**Uwaga:**

Wytworzenie fali stojącej w sprężynie może być dość trudnym zadaniem. Najlepiej posłużyć się wibratorem elektromechanicznym (patrz zdjęcie) podłączonym do generatora funkcyjnego.

## 12. Uczniowska falownica

**Materiały:**

Kilku–kilkunastu uczniów.

**Wykonanie:**

Aby przeprowadzić to doświadczenie z sukcesem wymagana jest dyscyplina klasy porównywalna z dyscypliną na paradzie wojskowej.

- A. Uczniowie ustawiają się w rzędzie, jeden obok drugiego, biorąc się pod rękę. Delikatnie popchnij jednego z uczniów w pierś. Co obserwujesz?
- B. Teraz uczniowie ustawiają się jeden za drugim kładąc dłonie na ramionach poprzednika. Teraz delikatnie popchnij ostatniego ucznia w plecy? Co tym razem zaobserwowałeś?

**Wnioski:**

Na przykładzie tego doświadczenia można prześledzić zachowanie się cząsteczek sprężystego ośrodka (reprezentowanych tu przez uczniów) podczas gdy przez ten ośrodek przechodzi fala podłużna lub poprzeczna.

## 13. Impulsy i fala – sprężyna slinky

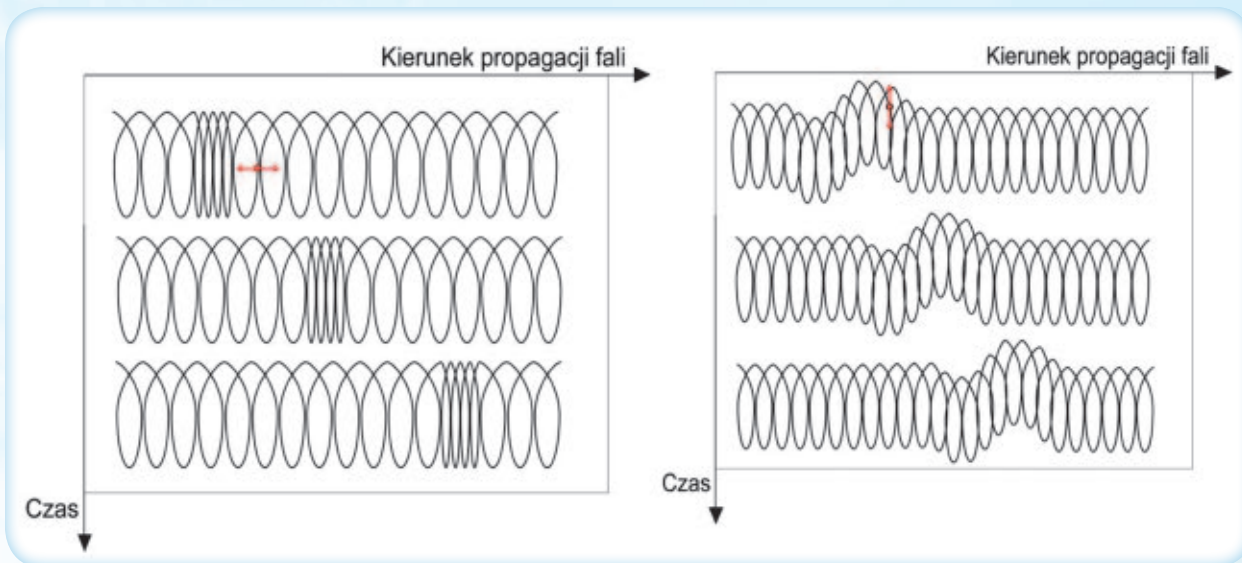
**Materiały:**

Dwie sprężyny „slinky”, linijka, miarka.



### Wykonanie:

- A. Za pomocą sprężynki „slinky” można wytworzyć zarówno falę podłużną (rysunek po lewej stronie), jak i poprzeczną (rysunek po prawej stronie). Wytwórz i porównaj dwa rodzaje fal.



- B. Dwie sprężynki umieść równoległe obok siebie na stole. Jedną z nich rozciągnij, tak aby była dwukrotnie dłuższa od drugiej i przy pomocy drugiej osoby lub mocowań ustal ich położenia. Szybko uderzając linijką jednocześnie w końce obu sprężyn wywołaj w nich impuls. Obserwuj przemieszczanie się impulsu w obu sprężynach i porównaj czas jaki jest potrzebny impulsowi na dodarcie do końca sprężyny w obu przypadkach.

Powtórz eksperyment potrajając długość jednej ze sprężyn.

Co można powiedzieć o prędkości impulsów w każdym z przypadków?

### Wnioski:

Podwajając i potrajając długość sprężyny można zaobserwować, że jeden zajmuje w przypadku krótszej i dłuższej sprężyny tyle samo czasu. Wydłużona sprężyna jest bardziej napięta i prędkość impulsu jest wtedy większa. Na przykład podwojenie napięcia sprężyny przez podwojenie jej wydłużenia powoduje zmniejszenie o połowę masy przypadającej na jednostkę długości sprężyny. Impuls musi przemieszczać się dwa razy szybciej niż w krótkiej sprężynie, aby czas przemieszczenia się do końca sprężyny pozostał stały.

## 14. Rozchodzenie się dźwięku

### Materiały:

Kamerton lub masywny widelec, stół, drewniana pałeczka (może być np. drewniana łyżka).

### Wykonanie:

Trzymaj kamerton w dłoni i uderz go młoteczką. Jeśli używasz widelca trzymaj go delikatnie w dwóch palcach za trzonek ząbkami do góry i uderz w ząb widelca drewnianą pałeczką, tak żeby usłyszeć wyraźny dźwięk. W czasie, gdy kamerton bądź widelec jeszcze dźwięczy, dotknij końcem trzonka dowolnej płaszczyzny (np. blat stołu). Co możesz powiedzieć teraz o głośności rozlegającego się dźwięku?



### Wnioski:

Gdy oprzemy widelec (kamerton) o płytę, zostaje ona pobudzona do drgań, a jej duża powierzchnia skuteczniej wprawi w drgania otaczające powietrze, co sprawi, że rozlegający się dźwięk będzie głośniejszy. Płyta działa jak głośnik.

## 15. Fale na wodzie

### Materiały:

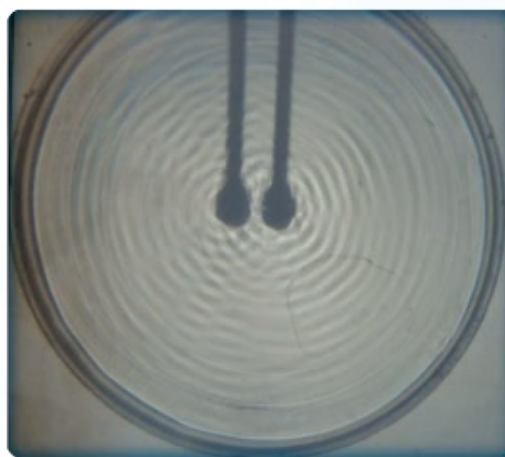
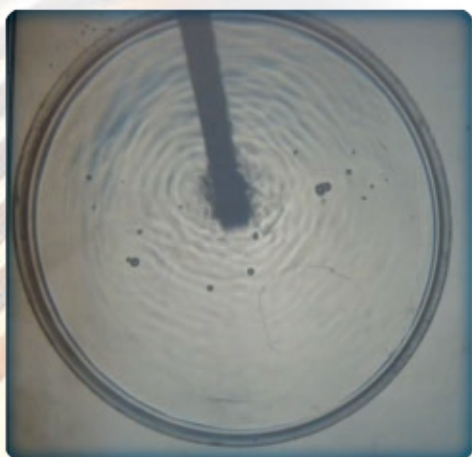
Kamertony lub masywny widelec, młoteczek lub drewniana pałka, płaska przezroczysta zlewka, rzutnik pisma.

### Wykonanie:

Nalej do zlewki niewielką ilość wody i ustaw zlewkę na płycie włączonego rzutnika. Ustaw rzutnik tak, aby na ekranie bądź ścianie uzyskać ostry obraz zlewki.

Wpraw kamerton w drgania uderzając młoteczką. Włóż jedno z jego ramion do zlewki z wodą. Powinieneś zaobserwować powstawanie fal na wodzie (tak jak na zdjęciu po lewej stronie).

Ponownie wpraw kamerton w drgania i tym razem włóż do wody oba jego ramiona. Tym razem możesz zaobserwować nakładanie się fal (tak jak na zdjęciu po prawej stronie).



## 16. Dźwiękowa fala stojąca

### Materiały:

Dość wysokie naczynie wypełnione w 2/3 wodą, dowolna rura o średnicy ok. 5 cm i długości ok. 0,5 m (może to być np. rura PCV), głośnik ze wzmacniaczem lub głośnik komputerowy podłączony do komputera, linijka.

### Wykonanie:

Zanurz koniec rury pionowo w pojemniku z wodą. Do drugiego końca rury przystaw głośnik wydający czysty dźwięk (patrz zdjęcie poniżej). Zmieniaj zanurzenie rury, do momentu, aż znajdziesz położenie przy którym dźwięk jest najsilniejszy. Upewnij się czy zjawisko następuje tylko na jednej głębokości zanurzenia rury i odpowiedz na pytanie: jakie warunki muszą być spełnione aby dźwięk uległ wzmocnieniu? Wyznacz częstotliwość dźwięku emitowanego z głośnika, korzystając z prędkości dźwięku znalezionej w tablicach i wyników swoich obserwacji.



### Wnioski:

Fala dźwiękowa przemieszczająca się wewnątrz rury dociera do powierzchni wody i odbija się od niej. Fala odbita nakłada się na falę padającą. Przy długości słupa powietrza wewnątrz rury spełniającej warunek:  $d = (2n+1) \frac{\lambda}{4}$  powstaje fala stojąca i zostają wzбудzone drgania rezonansowe (n – liczba całkowita).

## 17. Model mikrofonu

*Ciekawostka dla zainteresowanych sposobami przesyłania i wzmacniania fali dźwiękowej.*

### 17.1. Mikrofon koksowy

#### Materiały:

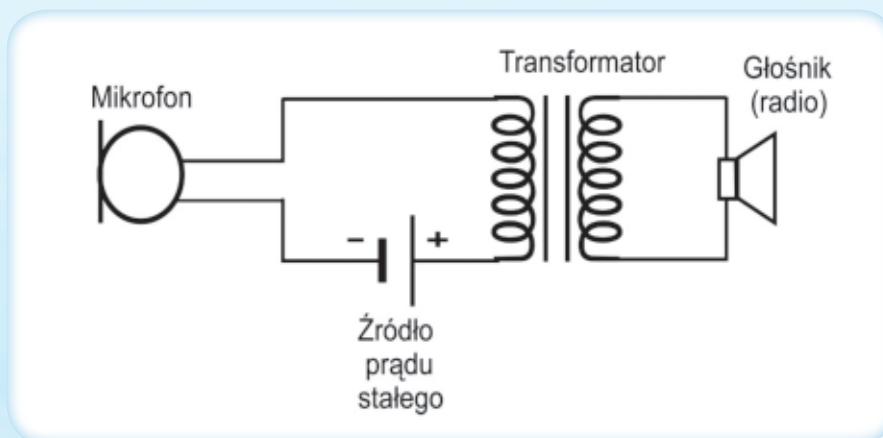
Słoik z pokrywką (z pokrywki należy usunąć gumową podkładkę), okrągła blaszka (np. denko z puszki o średnicy nieznacznie mniejszej od średnicy dna słoika, koks do wypełnienia słoika, bateria (najlepiej z podstawką), pięć kabli z banankami, statyw z uchwytem, transformator w celu wzmacnienia sygnału, radio.

#### Wykonanie:

Na dnie słoika umieść blaszkę i przymocuj do niej jeden kabel (można go przylutować). Napełnij słoik koksem. W pokrywce zrób otwór i przewlec przez niego kabel przylutowany do blaszki na dnie słoika. Zakręć słoik. Do pokrywki przylutuj drugi kabel. Umieść słoik w uchwycie na statywie (patrz zdjęcie).



Połącz układ, zgodnie ze schematem:



Starsze odbiorniki radiowe posiadały tzw. wejścia adapterowe, które umożliwiały wzmocnienie i odtwarzanie sygnału wytworzonego przez drgającą igłę gramofonu przesuwającą się po ścieżce dźwiękowej płyty. Takie rozwiązanie jest zilustrowane na poniższym zdjęciu. Po włączeniu radia do sieci zacznij mówić w kierunku słoika. Twój wzmocniony głos powinien być słyszany z radiowego głośnika.



## 17.2. Mikrofon grafitowy

### Materiały:

Pudełko po zapałkach, dwie żyłki, grafit (wkład z ołówka), bateria, głośnik (może być komputerowy), kable (lub miedziane druty).

### Wykonanie:

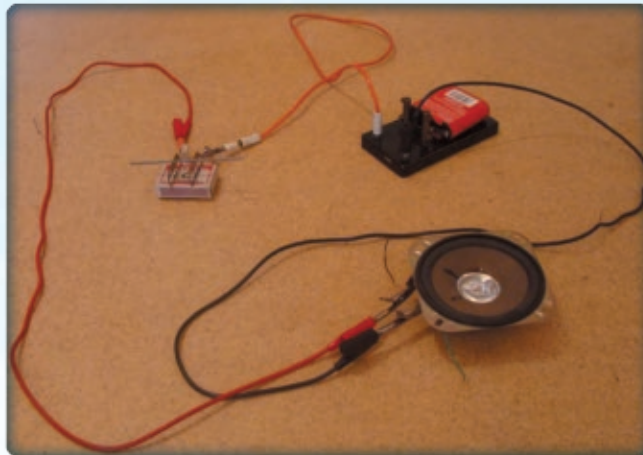
Jest to doświadczenie prostsze do wykonania od poprzedniego. Można je wykonać przy użyciu jedynie przedmiotów codziennego użytku. W pudełko po zapałkach wbij równoległe dwie żyłki i połóż na nich grafit (patrz zdjęcie).





Pudełko powinno być dobrze wypoziomowane tak, żeby grafit nie staczał się z żyłek.

Połącz układ tak jak na zdjęciu.



Jedną z żyłek podłącz do „+” baterii, do „-” baterii podłącz głośnik. Drugą z żyłek podłącz bezpośrednio do głośnika. Stukaj lub dmuchaj w bok pudełka po zapalniczkach, pełniącego w tym doświadczeniu rolę pudła rezonansowego. Odgłos stukania powinien być słyszany w głośniku.

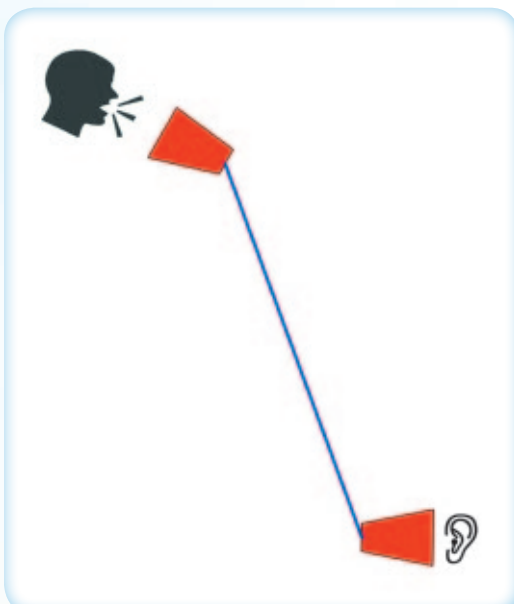
## 18. Model telefonu.

### Materiały:

Dwie metalowe puszki (np. po kukurydzy lub groszku) lub kartonowe kubki (np. po Coca-Coli), cienki sznurek o długości ok. 10 m.

### Wykonanie:

Do wykonania tego doświadczenia są potrzebne dwie osoby. Zróbcie niewielkie otworki w denkach puszek lub kubków. Połączcie puszkę sznurkiem, przekładając go przez otworki i zawiązując supełki na końcach. Udajcie się do dwóch sąsiadujących ze sobą pomieszczeń, każdy z jedną puszką. Spróbujcie użyć puszek połączonych sznurkiem jako telefonu, oddalcie się przy tym na taką odległość, aby sznurek był lekko naprężony (jedna osoba mówi do puszek, a druga osoba przykłada swoją puszkę do ucha).



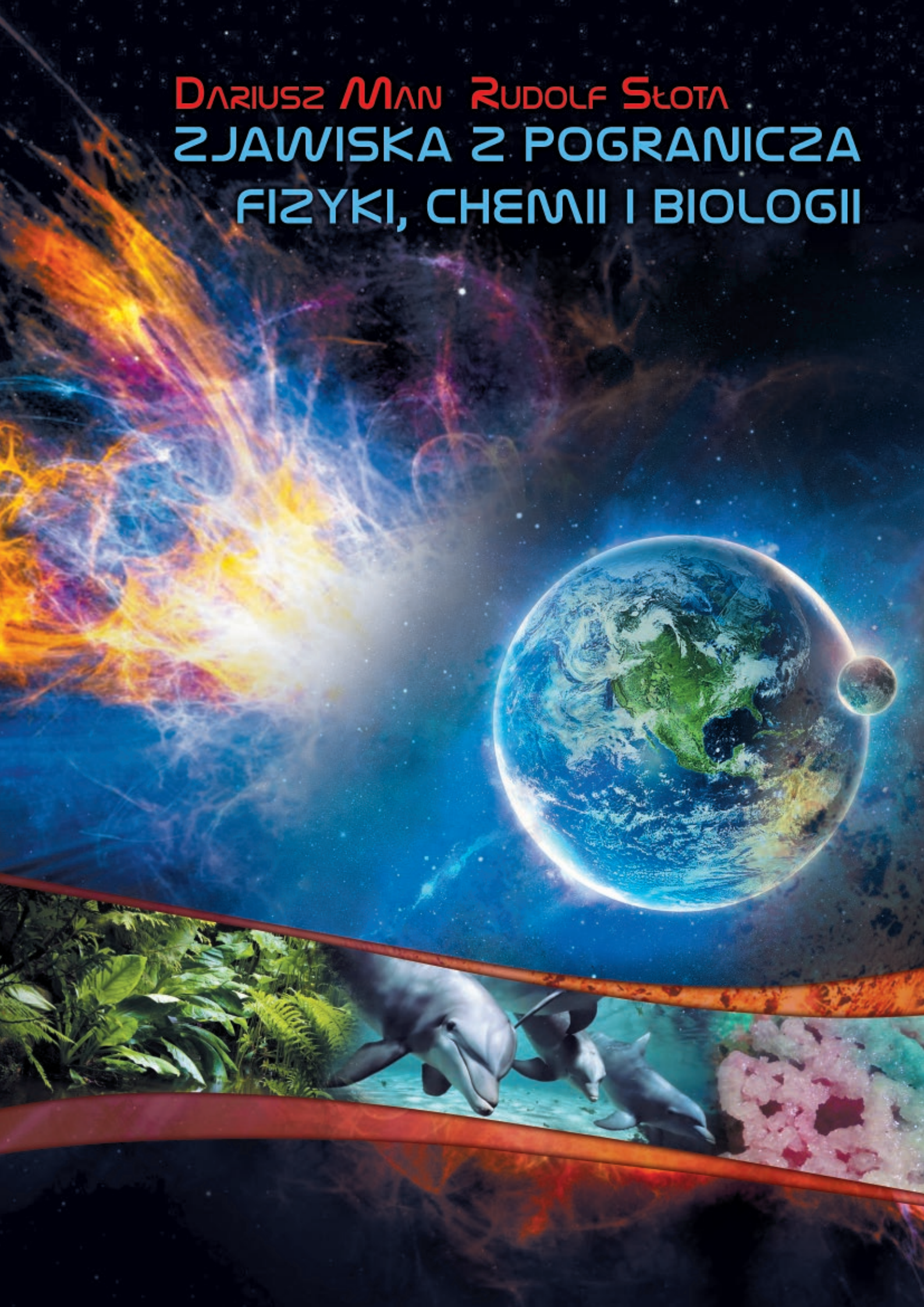
### Wnioski:

Dowiedzcie się z jakimi prędkościami rozchodzą się fale dźwiękowe w różnych ośrodkach i na tej podstawie wyjaśnijcie wynik doświadczenia.





**DARIUSZ MAN RUDOLF SŁOTA**  
**ZJAWISKA Z POGRANICZA**  
**FIZYKI, CHEMII I BIOLOGII**







## XIV. ZJAWISKA Z POGRANICZA FIZYKI, CHEMII I BIOLOGII

Wnikliwa obserwacja środowiska naturalnego pozwala nam dostrzec, że ważne dla jego funkcjonowania procesy, przynajmniej w pewnym stopniu, związane są z wymianą energii pomiędzy jego składnikami materialnymi a ich otoczeniem. Parowanie wody oraz to, że pada deszcz lub śnieg, że materia może mieć postać ciała stałego, cieczy lub gazu, że świat wokół nas jest taki kolorowy, że metal może przewodzić prąd a kamień nie, czy chcemy czy też nie, związane są nierozdzielnie z przepływem energii. Wiemy, że energia może przybierać różne formy, w zależności od tego, co jest jej źródłem: proces czysto fizyczny, chemiczny czy też cykl przemian biologicznych. Ale czy w związku z tym możemy tak po prostu mówić o topnieniu lodu w promieniach słońca czy tworzeniu mgły w chłodny jesienny poranek tylko w ujęciu typowo „fizycznych” cech tych procesów (topnienie, skraplanie) bez oglądania się na udział innych czynników? Przecież to, co obserwujemy na niebie i na ziemi to w istocie zespół zjawisk, o których nie możemy jednoznacznie powiedzieć, że są to zjawiska wyłącznie fizyczne – ich „fizyczność” związana jest z budową materii, której podstawę stanowią atomy, połączone ze sobą według ściśle określonych reguł. I tu wkraczamy już w obszar innej dziedziny, chemii, gdyż o właściwościach materii w zasadniczym stopniu decydują wiązania chemiczne pomiędzy tworzącymi ją atomami. Z kolei uporządkowanie atomów w jakiejś substancji określa nie tylko jej cechy typowo chemiczne (np. reaktywność), ale również fizyczne (np. magnetyzm czy barwę) oraz aktywność biologiczną. Zatem nawet pozornie proste zjawiska, jak np. topnienie lodu, często mają bardziej skomplikowaną naturę, niżby się to mogło wydawać. Wynika to stąd, że w przyrodzie, która nas otacza taki ścisły podział na obszary fizyki, chemii czy biologii w przypadku wielu pospolitych zjawisk naturalnych nie ma większego znaczenia, gdyż właśnie tutaj dziedziny te wzajemnie się przenikają i uzupełniają. Dlatego też dla podkreślenia tych zależności używamy takich pojęć jak właściwości „fizykochemiczne”, „biochemiczne” czy „biofizyczne”.

Proponowane doświadczenia ilustrują wspomniane wyżej wzajemne powiązania pomiędzy fizyką, chemią i biologią w procesach, z którymi stykamy się na co dzień, nie zastanawiając się nad ich istotą i często bardzo złożonym mechanizmem. Czy ktokolwiek, wsypując sól do zupy w celu poprawienia jej smaku zastanawia się nad tym, że w danej chwili kryształy soli rozpuszczając się w rosole pochłaniają ciepło i w konsekwencji NaCl pod wpływem wody w tejże zupie ulega dysocjacji na jony  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ , które z kolei ulegają hydratacji i pewnie też „reagują” z innymi składnikami zupy itd. Jak widać, mamy tutaj naraz i fizykę, i chemię, i biologię, a wszystko to razem służy... poprawieniu smaku naszej zupy!

Część eksperymentalna dotyczy ważnych zagadnień z pogranicza fizyki, chemii i biologii, nawiązujących do relacji pomiędzy budową materii a jej właściwościami, z podkreśleniem znaczenia praktycznego omawianego przykładu. Przedstawiono sposób badania wybranych zjawisk (procesów) i analizy wyników badań oraz możliwości ich wykorzystania do określonych celów. Poznanie istoty tych zjawisk powinno stanowić ważny krok w kierunku lepszego zrozumienia otaczającego nas świata.

# FIZYKA WOKÓŁ NAS

Nawet niezbyt wnikliwy obserwator jest w stanie zauważyć ogromną liczbę zjawisk przyrodniczych, których istotą są procesy fizyczne, opisywane w podręcznikach i wykładane na lekcjach fizyki w szkole. Świat przyrody stanowi jedność – to ludzie rozdzielili jej prawa na poszczególne dyscypliny nauki: fizykę, biologię, chemię. Jednak sama przyroda nic o tym nie wie i nadal działa według własnych reguł. Dlatego, aby w pełni zrozumieć otaczający nas świat, musimy przestawić szkolne myślenie z szufladkami w głowie na otwarte na oścież wrota naszego umysłu. Opisuując otaczającą nas przyrodę wykorzystujemy pełną naszą wiedzę, łączmy dyscypliny w jedno – bo nauka jest jedna!

## BIOFIZYKA

W tym rozdziale przedstawię jak zjawiska zachodzące w przyrodzie widzi fizyk badający układy biologiczne. Spróbujemy przyjrzeć się znanym powszechnie zjawiskom oczami fizyka. Spróbujemy znaleźć odpowiedzi na pytania: dlaczego nartnik nie tonie, dlaczego olej niszczy glebę, po co nasiona klonu mają wypustki, dlaczego trawa jest zielona a komar byczy cienie od bąka i na wiele innych.

## ZJAWISKA TRANSPORTU W PRZYRODZIE

Fizyka podpowiada, że wszędzie tam gdzie pojawia się ruch musi zadziałać niezrównoważona siła (zasady dynamiki Newtona 1687 r. ). Pełny opis zależności i wzajemnych relacji, pomiędzy siłami i ciałami, na które działają siły, podał ponad 300 lat temu genialny uczony Isaac Newton. Spróbujemy zatem, na zjawiska transportu w przyrodzie spojrzeć oczami I. Newtona.

Woda to podstawowa substancja warunkująca życie. Dlaczego tak się dzieje, że bez wody na Ziemi nie ma życia? Jest kilka istotnych powodów.

Po pierwsze, woda to świetny rozpuszczalnik, wiele substancji występujących w środowisku dobrze rozpuszcza się w wodzie. Umożliwia to ich transportowanie w wodnych arteriach przesyłowych roślin, gleby i zwierząt. Natomiast siły napędzające wodę mogą być różne.

Po drugie, woda posiada pewną unikalną właściwość fizyczną. Jej gęstość jest największa w temperaturze 4°C, co powoduje, że zbiorniki wodne zamarzają od góry, chroniąc żywe organizmy zgromadzone na dnie.

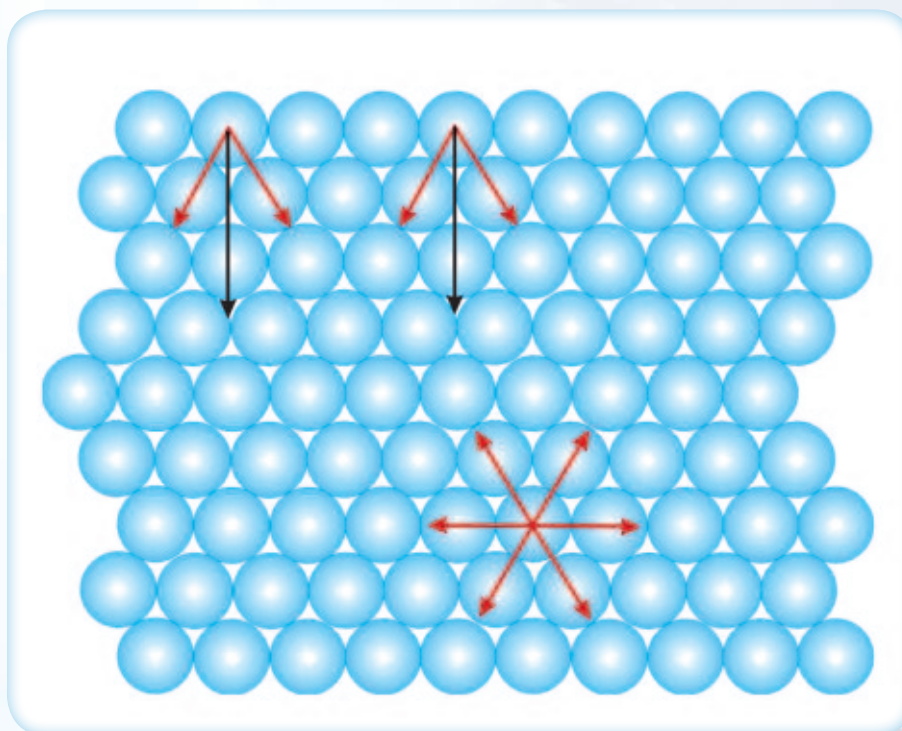
Po trzecie, woda posiada wspaniałe właściwości magazynowania energii. Chroni to klimat na Ziemi przed gwałtownymi zmianami temperatur. Oceany ziemskie stanowią potężny zbiornik energii cieplnej – stabilizator klimatyczny. Bez jego działania wahania temperatur pomiędzy latem i zimą byłyby ogromne, zagrażające życiu.



## ZWILŻANIE GLEBY - WŁOSKOWATOŚĆ

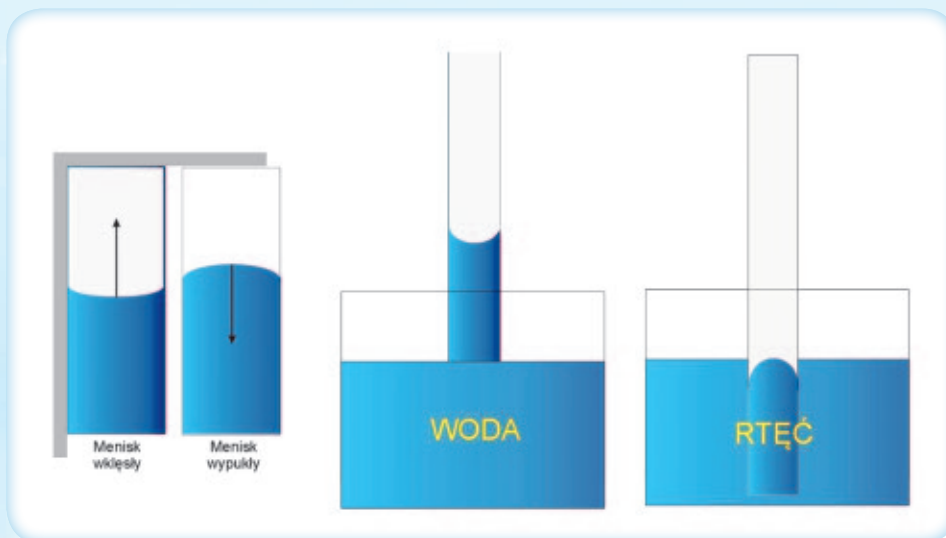
Jedną z ciekawych i ważnych właściwości wody jest jej umiejętność do zwilżania niektórych materiałów. Zjawisko to jest powszechnie wykorzystywane przez przyrodę do transportowania rozpuszczonych w niej substancji. Kropla deszczu, która upadnie na glebę jest natychmiast rozprowadzana po jej objętości. Jak uczy I. Newton muszą działać na cząsteczki wody niezrównoważone siły, ponieważ pojawił się ruch. Te siły to **siły przylegania** i **siły spójności**. Pomiedzy nimi rozgrywa się mecz o zwycięstwo. Jeżeli wygrywają siły przylegania to woda wędruje, jeżeli siły spójności to woda cofa się tworząc optymalną energetycznie formę – w skrajnym przypadku kulę. Jeżeli siły się zrównoważą ruch zamiera.

Siły spójności to przyciąganie zachodzące pomiędzy cząsteczkami cieczy. To właśnie one powodują, że na granicy ośrodków, powietrze–woda powstaje błona rozdzielająca te dwa środowiska. Zjawisko to nazywa się napięciem powierzchniowym. Dzieje się tak dlatego, ponieważ siły działające na cząsteczki wody znajdujące się na powierzchni wytwarzają strukturę przypominającą membranę napiętą jak błona na bębnie. Siły działające na cząsteczki znajdujące się wewnątrz cieczy zerują się, rysunek poniżej.



Rysunek przedstawia schemat oddziaływań zachodzących na powierzchni cieczy (czarne strzałki to wypadkowe siły działające na cząsteczki wody znajdujące się na granicy faz) i w jej wnętrzu (czerwone strzałki wychodzące z cząsteczki po zsumowaniu zerują się).

Woda w kontakcie z obcym ciałem (np. powierzchnią naczynia) w zależności od relacji pomiędzy siłami spójności a siłami przylegania może wytworzyć menisk wklęsły lub wypukły. Menisk wklęsły powstanie, jeżeli siły przylegania są większe od sił spójności, menisk wypukły powstaje w przypadku odwrotnym. Na rysunku poniżej przedstawiono zachowanie się dwóch różnych cieczy w cienkiej szklanej rurce (kapilarze). Strzałki pokazują kierunek i zwrot siły wypadkowej, w wyniku jej działania np. słupek wody może powędrować do góry, natomiast słupek rtęci zostanie wepchnięty w dół.



Rysunek przedstawia zachowanie się dwóch substancji, wody i rtęci w kontakcie z szkłem. Stosunek siły spójności do siły przylegania decyduje o zachowaniu się cieczy w kapilarze.

### Ćwiczenie 1

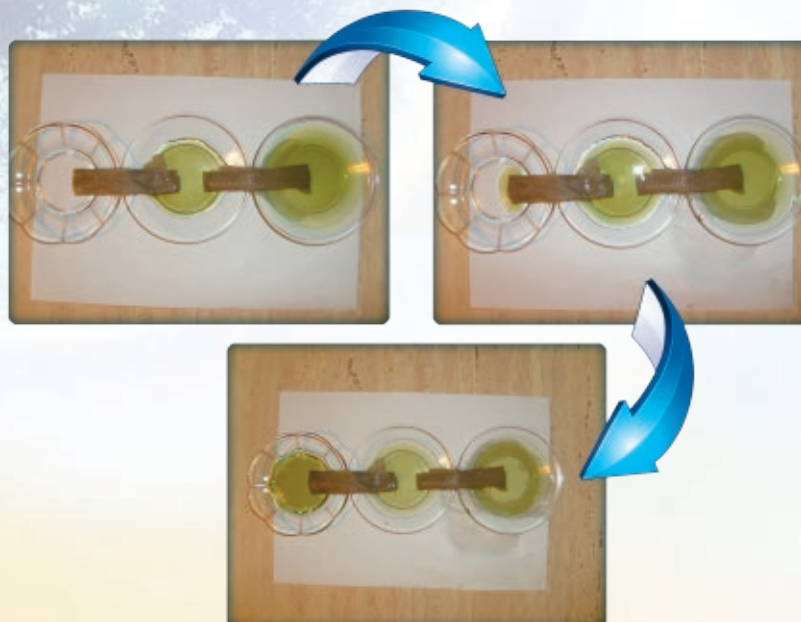
#### Materiały:

Trzy podstawki np. szklane talerzyki, zabarwiona woda, papier toaletowy lub bibuła.

#### Przebieg eksperymentu:

Jeden skrajny talerzyk napelniamy zabarwioną wodą (zabarwienie ma ułatwić obserwację zjawiska), pozostałe dwa ustawiamy obok w szeregu. Listek (lub dwa) papieru toaletowego zwijamy w rulon i umieszczamy łącząc talerzyki ze sobą. W celu przyspieszenia eksperymentu delikatnie zwilżamy kawałki papieru wodą (końce, które wkładamy do talerzyków). W ten sposób utworzymy mosty pomiędzy naczyniami, po których przepłynie woda, wypełniając je równomiernie. Zjawisko to ilustruje jak działa włoskowatość w praktyce i w jaki sposób woda transportowana jest w glebie.

Rysunek przedstawia kolejne fazy ruchu cieczy pomiędzy talerzykami połączonymi mostami z papieru. Ruch ten odbywa się dzięki właściwości włoskowatości papieru.





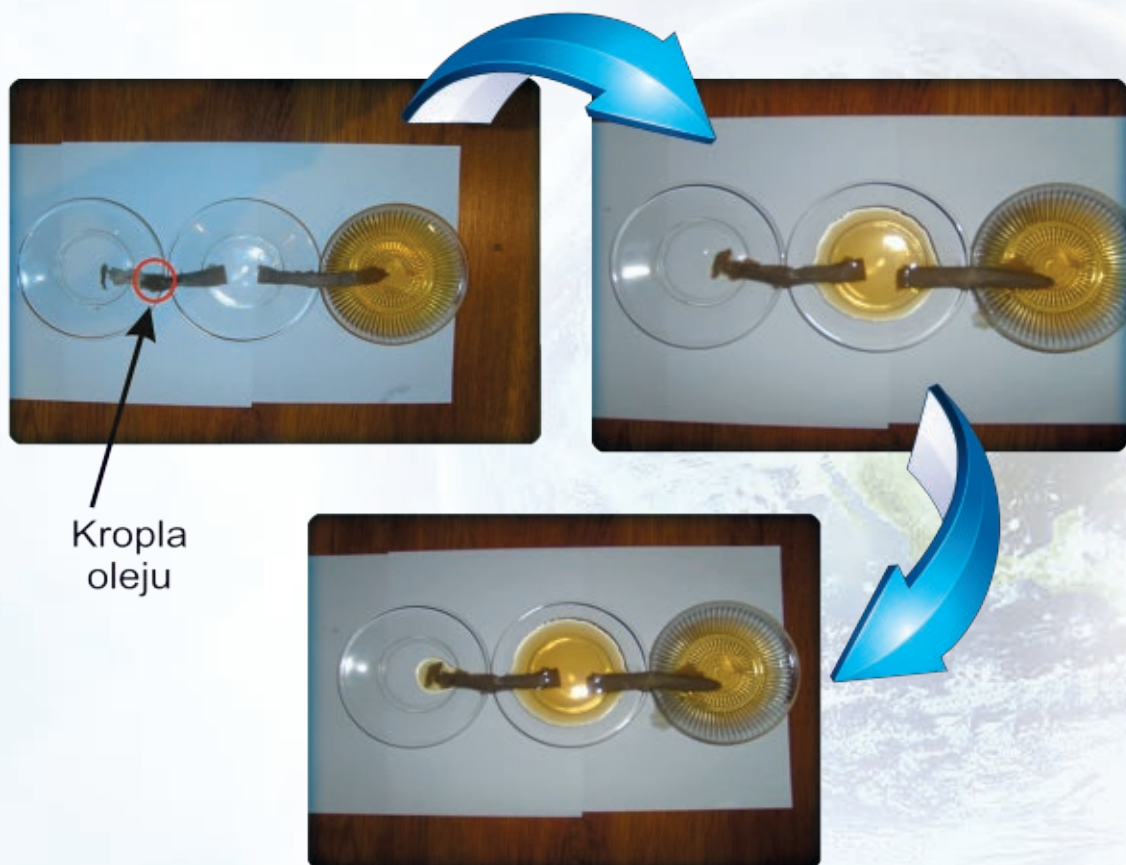
## Ćwiczenie 2

### Materiały:

Trzy podstawki np. szklane talerzyki, zabarwiona woda, papier toaletowy lub bibuła, olej (np. jadalny olej rzepakowy).

### Przebieg eksperymentu:

Jeden z trzech talerzyków (środkowy) napelniamy zabarwioną wodą, pozostałe dwa ustawiamy obok w szeregu. Listek (lub dwa) papieru toaletowego zwijamy w rulon i umieszczamy łącząc talerzyki ze sobą. W celu przyspieszenia eksperymentu delikatnie zwilżamy kawałki papieru wodą (końce, które wkładamy do talerzyków). Na środku jednego z rulonów umieszczamy kroplę oleju. W ten sposób utworzymy dwa mosty pomiędzy naczyniami, po których przepłynie woda (podobnie jak w poprzednim ćwiczeniu). Jednakże na jednym z nich woda napotka papier zwilżony olejem. Olej zniszczył właściwości włoskowate papieru, co spowodowało utrudnienie transportu. Zjawisko to ilustruje jak destruktywne działanie na glebę ma olej. Niewielka jego ilość, potrafi całkowicie zablokować transport wody w glebie, lub znacząco go ograniczyć. Na rysunku poniżej widać, że nawet po długim czasie w talerzyku połączonym ze środkowym talerzem papierem zwilżonym olejem, ilość wody jest minimalna.



Rysunek przedstawia blokujące transport wody działanie oleju. W talerzyku połączonym papierem zwilżonym olejem nawet po długim okresie czasu pojawiła się zaledwie niewielka plamka wody.



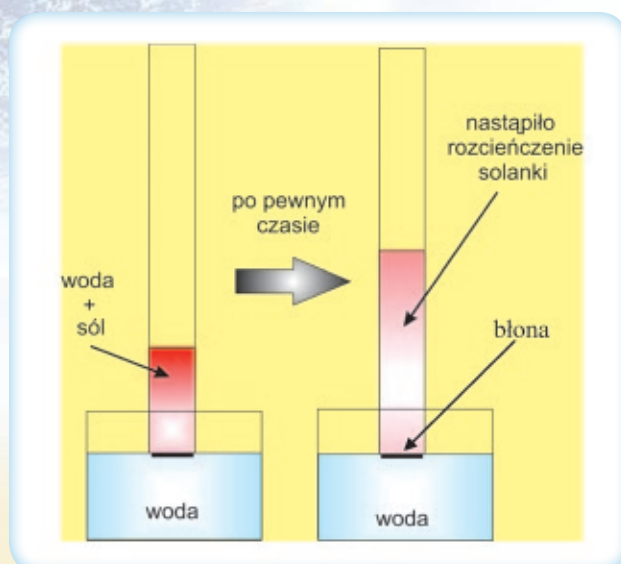
## WIAETR

Innym czynnikiem ogromnie ważnym, wpływającym na transport w przyrodzie, jest ruch powietrza. Wiatr dla fizyka to przemieszczające się w określonym kierunku cząsteczki powietrza. Wywołują go oczywiście jakieś siły, np. różnica ciśnień. Zjawisko wiatru wykorzystują na przykład rośliny do transportowania nasion. Przyroda wykazuje wielką pomysłowość w ich konstrukcji. Mogą być delikatne jak np. nasiona dmuchawca lub przypominające śmigło samolotu nasiona klonu. W jednym i drugim przypadku cel jest ten sam – rozmieścić je na maksymalnie dużym obszarze. Cząsteczki powietrza uderzając w nasiona przemieszczają je zgodnie z zasadami fizyki. Im większa siła (silniejszy wiatr), tym dalszy zasięg.



## OSMOZA

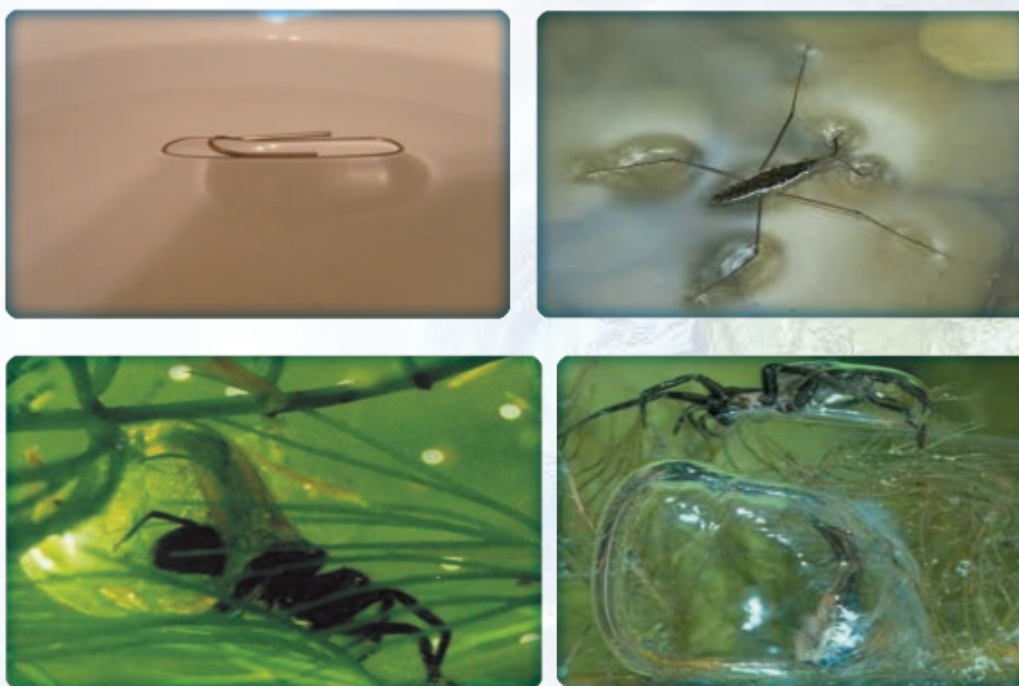
Różnica stężeń soli rozpuszczonych w wodzie również stanowi źródło siły napędzającej transport. Jeżeli dwa roztwory (np. soli kuchennej lub cukru) o różnym stężeniu, rozdzielimy błoną półprzepuszczalną, zaobserwujemy zjawisko polegające na takim ruchu cząsteczek, aby doszło do wyrównania stężeń. Zadaniem błony półprzepuszczalnej jest zatrzymywanie obiektów o zbyt dużych rozmiarach – spełnia funkcję sita. Ponieważ cząsteczki soli i cukru są zbyt duże, aby przejść przez sito, jedynym sposobem na wyrównanie stężeń w obu zbiornikach jest przepływ znacznie mniejszych cząsteczek wody. Zjawisko to nazywamy osmozą, jest ono podstawowym narzędziem przyrody do transportowania wody na znaczne wysokości w roślinach (biolodzy nazywają je parciem korzeniowym). Niektóre drzewa są naprawdę wysokie (sekwoja 115 m) a woda z rozpuszczonymi w niej solami mineralnymi musi dotrzeć na sam szczyt. Mechanizm transportujący wodę w sekwojach wytwarza ciśnienie ponad 10 atmosfer = 9800 hPa. Słup wody o wysokości 10 m wywiera ciśnienie u podstawy 1 atm. Dla przykładu ciśnienie wody w sieci miejskiej wynosi około 3 atmosfer.



Rysunek przedstawia schemat osmozy zachodzącej pod wpływem różnicy stężeń soli kuchennej w wodzie. Stężona solanka znajduje się w rurze zamkniętej błoną półprzepuszczalną – np. celofanem. Rura zostaje zanurzona w naczyniu z czystą wodą. Dodatkowo, w celu lepszej obserwacji, solankę można zabarwić. Po kilku minutach słup wody w rurze wyraźnie się podnosi. Wędrówka wody w rurze odbywa się do momentu wyrównania sił (jak uczy I. Newton): siły parcia osmotycznego wywołanego różnicą stężeń i właściwościami błony oraz przeciwnie skierowanej siły parcia (ciśnienia) hydrostatycznego słupa cieczy na błonę.

## NAPIĘCIE POWIERZCHNIOWE

Mechanizm powstawania napięcia powierzchniowego na granicy faz, powietrze–woda, został opisany na początku tego rozdziału. W tym miejscu opiszemy niektóre zaskakujące zjawiska fizyczne, związane z tym oddziaływaniem. Błona utworzona na powierzchni wody potrafi utrzymać przedmioty, których gęstość przewyższa gęstość wody, a więc powinny one zatonać. Na rysunku poniżej przedstawiono spinacz wykonany ze stali, który pływa, nartnika biegającego po wodzie i pająka topika, który wykorzystuje napięcie powierzchniowe do zamknięcia w bańce powietrza. Następnie transportuje ją z powierzchni pod wodę i tam magazynuje – pająk oddycha powietrzem.



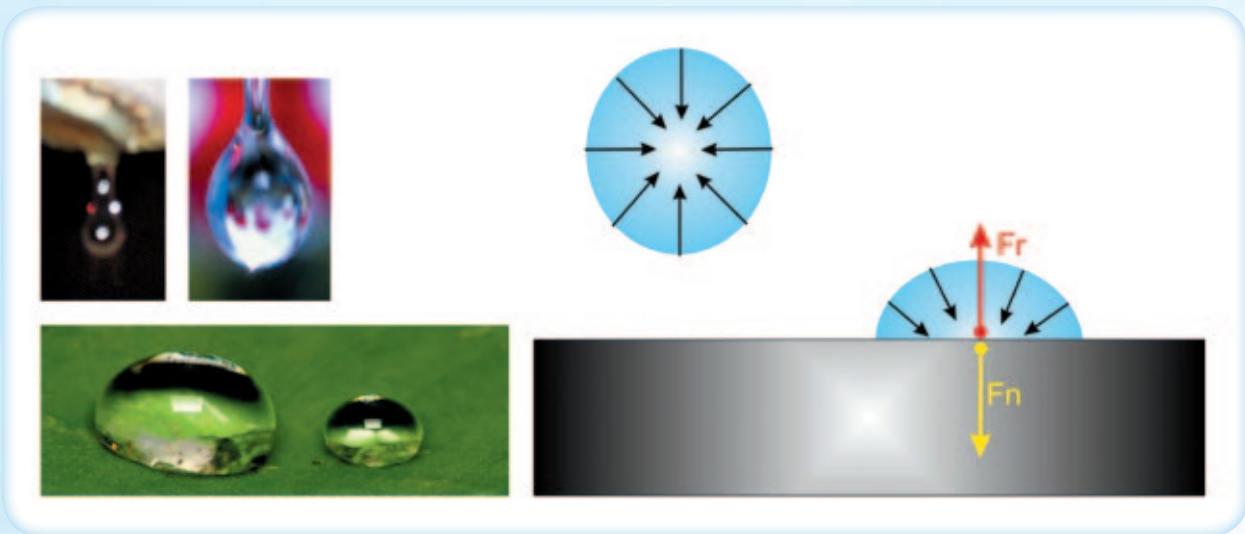
Rysunek przedstawia efekt występowania napięcia powierzchniowego na styku fazy powietrze – woda. Stalowy spinacz unosi się na powierzchni błony powodując jej ugięcie. Nartnik chodzi po wodzie powodując uginanie jej powierzchni. Pająk transportuje bańkę powietrza pod wodą.

### Skutki występowania napięcia powierzchniowego w przyrodzie.

Krople deszczu spadając swobodnie w powietrzu przyjmują kształt bardzo bliski kuli, dlaczego? Fizyka daje na to pytanie odpowiedź: siły napięcia powierzchniowego zaginają powierzchnię wody, formując kulę. Ten kształt przyjmuje również ciecz w stanie nieważkości. Krople wody na powierzchni szkła są zniekształcone (spłaszczone), ponieważ działa na nie siła grawitacji i reakcja podłoża. Trzecia zasada dynamiki Newtona mówi, że każdej akcji (oddziaływaniu)



towarzyszy reakcja (oddziaływanie skierowane przeciwnie, równe co do wartości, ale przyłożone do drugiego ciała). Ciężar kropli działa na podłoże, ale i podłoże działa na kroplę powodując jej ugięcie.



Rysunek przedstawia krople wody podczas formowania się (cieknący kran) i po upadku na podłoże. Obok na schemacie zaznaczono siły działające na krople w powietrzu i na podłożu. Czarne strzałki reprezentują siły spójności nadające kropli kształt kuli, strzałka żółta reprezentuje siłę nacisku  $F_n$ , z jaką kropla działa na podłoże, strzałka czerwona, siłę reakcji podłoża  $F_r$ . Pod wpływem działania siły  $F_r$  powierzchnia kuli ulega zniekształceniu. Jak widać z załączonego przykładu, zasady dynamiki Newtona są obecne w przyrodzie na każdym kroku. Otaczający nas świat funkcjonuje zgodnie z zasadami fizyki, które są wspólne dla całego Wszechświata.

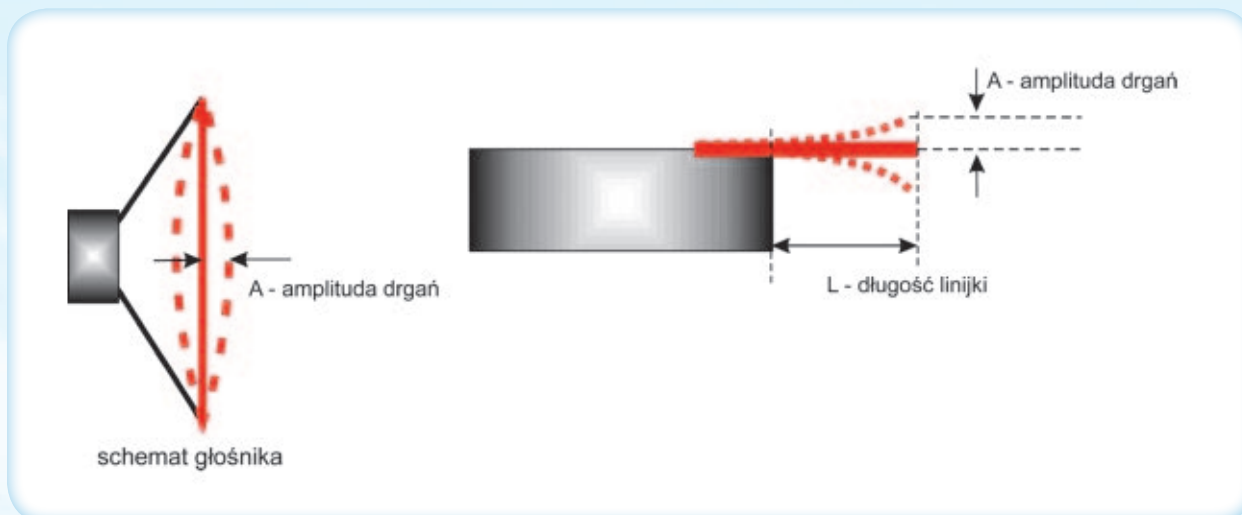
## DŹWIĘKI W PRZYRODZIE

Ludzie wykorzystują dźwięk do komunikowania się, zwierzęta również. Różne dźwięki wypełniają otaczającą nas przestrzeń przez całą dobę. Jedne są przyjemne jak ulubiona piosenka, inne nie, jak chrapanie sąsiada. Dla fizyka dźwięk to rozchodząca się w przestrzeni fala akustyczna – wędrujące od źródła zaburzenie ciśnienia. Dźwięk ma podstawowe dwie cechy: głośność (natężenie) i wysokość tonu (częstotliwość). Złożenie tych dwóch wielkości tworzy ogromną różnorodność – od Chopina do skrzypienia drzwi. W tym rozdziale wyjaśnimy jak powstaje dźwięk, jak jest przenoszony i jak odbierany, i w jaki sposób wykorzystuje go przyroda.

### Jak powstaje dźwięk?

Przeprowadźmy następujący eksperyment: na blacie stołu umieszczamy linijkę lub listewkę w taki sposób, aby część jej wystawała poza krawędź. Jedną ręką mocno przyciska my ją do blatu, a drugą wychylamy z położenia. Po puszczeniu linijka zaczyna drgać emitując dźwięk. Skracając lub wysuwając część linijki poza blat regulujemy wysokość tonu (częstotliwość drgań). Zmieniając wychylenie (na mniejsze lub większe) regulujemy głośność (natężenie dźwięku).



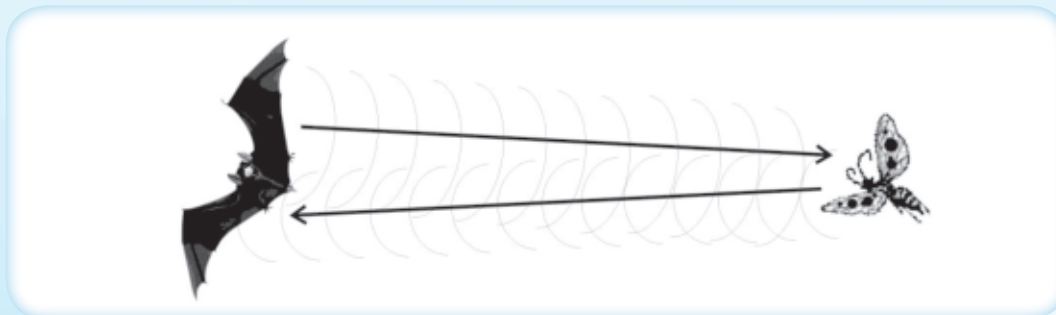


Na podobnej zasadzie działa głośnik. Membrana drgając pod wpływem sił wciągających ją i wypychających do przodu staje się źródłem dźwięku. W tym przypadku funkcję ręki wprawiającej głośnik w drgania spełnia cewka przyklejona do membrany i umieszczona w polu magnetycznym. Prąd płynący przez cewkę wytwarza pole magnetyczne. W zależności od kierunku prądu cewka jest wciągana lub wypychana z pola magnesu. Wartość prądu decyduje o amplitudzie (głośności), częstotliwość prądu określa prędkość drgań membrany (wysokość tonu). Jak widać z przedstawionych przykładów wszędzie tam, gdzie pojawiają się drgania jakichś elementów, powstaje dźwięk. Komar latając brzęczy, ponieważ jego skrzydełka uderzając w powietrze (podobnie jak linijka) powodują lokalne zmiany ciśnienia. Zaburzenie to rozchodzi się w przestrzeni i trafia np. do naszego ucha, gdzie zamieniane jest na impuls nerwowy (elektryczny).

Impuls ten po kablu, zwanym nerwem słuchowym, wędruje do mózgu, gdzie jest interpretowany jako wrażenie słuchowe (dźwięk). Bąk brzęczy niżej – emituje dźwięki o niższej częstotliwości. Oznacza to, że podczas lotu uderza w powietrze skrzydełkami rzadziej od komara. Dlaczego więc nie słyszymy latających ptaków? Nasze ucho, a właściwie mózg nie potrafi rozpoznać dźwięków o częstotliwościach poniżej pewnej granicy. Uważa się, że ludzie słyszą przedział częstotliwości od 20 drgań na sekundę do 20 tysięcy drgań na sekundę (20 Hz do 20 kHz). Zatem ptaki muszą machać skrzydłami mniej razy aniżeli 20 na sekundę. Gdybyśmy założyli na głowę hełm z przetwornikiem, podwyższającym docierającą z otoczenia do uszu częstotliwość znaleźlibyśmy się w nowym świecie dźwięków – moglibyśmy usłyszeć latające ptaki. Tą umiejętność słyszenia niskich dźwięków (dźwięki poniżej 20 Hz nazywa się infradźwiękami) posiadają np. wieloryby. Kontaktują się one (rozmawiają) używając między innymi częstotliwości zaledwie kilku Hz. Tak niskie tony, niesłyszane przez ludzi, bardzo dobrze rozchodzą się w wodzie i dlatego są wykorzystywane przez stworzenia wodne.

## Echolokacja

Dźwięki bardzo wysokie, powyżej częstotliwości 20 tysięcy drgań na sekundę (20 kHz), nazywa się ultradźwiękami. Używane są w świecie przyrody np. przez nietoperze do echolokacji. Polega ona na wysłaniu ukierunkowanej wiązki fal akustycznych wysokiej częstotliwości i ich odbiorze po odbiciu od przeszkody. Mechanizm zjawiska jest podobny do powstawania echa, jednak w przypadku fal o wysokich częstotliwościach przeszkody nie muszą być duże. Technika echolokacji charakteryzuje się kierunkowym rozchodzeniem się fal (przypominającym snop światła z reflektora) i wysoką rozdzielczością (można wykryć przedmiot o rozmiarach kilku milimetrów).



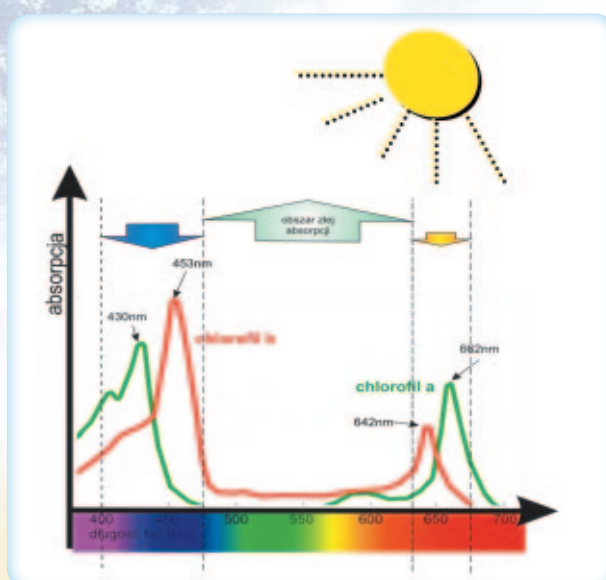
Rysunek przedstawia mechanizm echolokacji stosowany przez nietoperze do polowania na owady.

## BARWY W PRZYRODZIE

### Dlaczego trawa jest zielona?

Takie pytanie może wydawać się śmieszne, albo przynajmniej mało naukowe, ale tak nie jest. Przyroda postępuje w sposób celowy, zatem i kolor trawy musi mieć naukowe uzasadnienie. Pamiętajmy, że dla fizyka barwa światła to jego energia. Barwa tak naprawdę jest wytworem naszego mózgu, interpretacją nerwowego bodźca (elektrycznego impulsu) przesłanego z siatkówki za pomocą nerwu wzrokowego do odpowiedniego obszaru mózgu.

Zatem widzenie barwne jest odzwierciedleniem energetycznego widma źródła światła lub jego odbiciem. W otaczającym nas świecie, zdecydowana większość obiektów nie wytwarza własnego światła (w zakresie widzialnym), a jedynie odbija światło np. słoneczne, żarówki itp. Światło jest falą elektromagnetyczną, ale w wielu procesach fizycznych zachowuje się jak porcja energii – kwant zwany fotonem. Energia fotonu  $E$  jest wielokrotnością stałej Plancka  $h$  i równa się  $E=hv$ , gdzie  $v$  jest częstotliwością fali świetlnej (odwrotnie proporcjonalna do jej długości). Słońce jest głównym źródłem energii dla Ziemi, która przesyłana jest przez próżnię kosmosu właśnie w postaci fotonów. Cała flora ziemská zasilana jest przede wszystkim energią Słońca. Rośliny czerpią ją absorbując fotony w specjalnych pułapkach (chloroplastach) i przetwarzają na inną formę energii (energię chemiczną), wykorzystywaną do procesów życiowych. Zielony kolor trawy, liści drzew i wielu innych roślin powstaje wskutek odbicia od nich „niechcianych” fotonów. Zatem barwa ta jest nieprzydatna do vegetacji roślin (trochę zaskakujące). Widmo absorpcyjne chlorofilu przedstawiają wykresy.





Rysunek przedstawia widmo absorpcyjne chlorofilu a i b. Strzałka zielona wskazuje ten zakres widma światła (barwa zielono-żółta), z którego fotony są przepuszczane lub odbijane przez chlorofile obecne w roślinach. Natomiast strzałką niebieską i czerwono-żółtą zaznaczono te zakresy widma, z których fotony są silnie absorbowane przez cząsteczki obydwu chlorofili.

### Kolory ostrzegawcze

Środowisko przyrodnicze, w którym żyjemy, wypracowało pewien system informacyjny w postaci kodów barwnych. Owoc czerwony lub żółty informuje o zakończeniu procesu dojrzewania – nadaje się do zjedzenia. Barwa zielona wskazuje na kontynuowanie procesów dojrzewania. W świecie zwierząt jest odwrotnie. Barwy żółte i czerwone to ostrzeżenie: „jestem niebezpieczny”, „zostaw mnie w spokoju”.

## Z POGRANICZA FIZYKI I CHEMII, CZYLI TROCHĘ FIZYKI I TROCHĘ CHEMII

### Wstęp

Zjawiska typowo fizyczne, które znamy z życia codziennego, znajdują swoje uzasadnienie w budowie chemicznej cząsteczek, z których zbudowany jest nasz świat. To, że woda ( $H_2O$ ) jest cieczą, która wrze aż w  $100^{\circ}C$ , choć zbudowana jest z bardzo lekkich „gazowych” atomów, podczas gdy np.  $PbH_4$  zawierający ciężki metal, ołów, wrze już w  $-13^{\circ}C$  i w normalnych warunkach jest gazem, wynika ze specyficznych właściwości chemicznych każdej z tych substancji.

A zatem **fizyczne zjawisko** „parowania cieczy” zależy od energii **oddziaływań chemicznych** pomiędzy cząsteczkami tworzącymi dany rodzaj cieczy. Im te oddziaływania są silniejsze, tym wyższa jest temperatura wrzenia cieczy i proces parowania jest mniej intensywny. Ta sama zasada dotyczy innych przemian fazowych: topnienia ciał stałych, krystalizacji cieczy, sublimacji czy skraplania gazów. Wartości temperatur, w których te przemiany zachodzą, są przypisane do rodzaju substancji i stanowią jej niepowtarzalny „znak szczególny”. To świadczy o tym, że chemiczne właściwości materii, które zależą od energii (siły), z jaką wiązane są jej podstawowe składniki mają decydujący wpływ na tak ważne procesy termodynamiczne, jak przemiany fazowe.

Proces skraplania gazów ma bardzo duże znaczenie praktyczne, gdyż dzięki niemu można znacznie zmniejszyć objętość substancji, które w normalnych warunkach, jako gazy, zajmują bardzo dużą przestrzeń. Natomiast po skropleniu można je łatwo przechowywać i transportować w dużych ilościach. Skroplone gazy, zwłaszcza te, które mają niską temperaturę wrzenia, mogą być wykorzystane do celów chłodniczych, w tym do skraplania gazów, które mają wyższą temperaturę wrzenia. Dowolny gaz można skroplić jedynie wtedy, jeśli zostanie ochłodzony do temperatury niższej od tzw. **temperatury krytycznej**, charakterystycznej dla każdego gazu. Dla niektórych gazów są one bardzo niskie, jak to pokazuje Tabela 1.



Tabela 1. Temperatura krytyczna ( $T_{kr}$ ) dla fazy gazowej wybranych substancji [°C].

| wodór  | azot   | tlen   | hel  | chlor  | woda   | tlenek<br>węgla | metan |
|--------|--------|--------|------|--------|--------|-----------------|-------|
| -240,2 | -146,9 | -118,6 | -268 | +143,8 | +374,2 | -140,2          | -82   |

Gazy można skroplić ochładzając je do odpowiednio niskiej temperatury, np. wykorzystując w tym celu pary łatwo skraplającego się gazu, które najpierw spręża się i chłodzi, a następnie gwałtownie odparowuje otrzymaną ciecz. Dzięki temu temperatura w układzie może obniżyć się nawet o kilkadziesiąt stopni. Można wówczas skroplić gaz, który wrze w niższej temperaturze. Powtarzając ten proces wielokrotnie, oziębiając gazy o coraz niższej temperaturze wrzenia (tzw. metoda kaskadowa) możliwe jest tak znaczne obniżenie temperatury, że udaje się skroplić powietrze. Dokonali tego po raz pierwszy Z. Wróblewski i K. Olszewski w 1883 roku w Krakowie.

Współczesne metody skraplania gazów wykorzystują tzw. „dodatni” **efekt Joule’a-Thomsona** polegający na tym, że sprężony gaz, podczas jego rozprężania przez zawór dławiący (albo np. otwór o małej średnicy) znacznie obniża swoją temperaturę. Można się o tym przekonać w prosty sposób, otwierając gwałtownie napój gazowany obserwujemy mgiełkę skroplonej pary wodnej, która powstała w schłodzonym powietrzu pod kapsłem lub korkiem – to jest właśnie efekt Joule’a-Thomsona („dodatni”). Większość gazów oziębia się podczas rozprężania, jednak niektóre się ogrzewają np. wodór (tzw. „ujemny” efekt Joule’a-Thomsona).

Tabela 2 odzwierciedla różnice w oddziaływaniach pomiędzy cząsteczkami skroplonych gazów w fazie ciekłej: im oddziaływania w cieczy są silniejsze tym wyższa jest temperatura wrzenia tych cieczy.

Tabela 2. Temperatura wrzenia ( $T_w$ ) dla fazy ciekłej wybranych substancji, °C

| wodór  | azot   | tlen | hel    | chlor | woda | tlenek<br>węgla | metan  |
|--------|--------|------|--------|-------|------|-----------------|--------|
| -253,2 | -195,8 | -183 | -268,9 | -34   | +100 | -191,5          | -161,5 |

**Tlen** jest bardzo ważnym gazem technicznym, o dużym znaczeniu przemysłowym. Ma wiele interesujących właściwości, o czym można przeczytać w literaturze do chemii nieorganicznej oraz w publikacjach poświęconych wyłącznie tlenowi (np. G. Bartosz „Druga twarz tlenu”, PWN Warszawa 2004). Osobliwą cechą cząsteczki tlenu jest to, że ma naturalne właściwości paramagnetyczne, czyli zachowuje się tak jak mały magnes. Można się o tym przekonać zbliżając do kropli ciekłego tlenu zwykły magnes sztabkowy – zobaczymy wtedy, że kropla wyraźnie „odkształca się” i przemieszcza w jego stronę. Takie zachowanie cząsteczek  $O_2$  (w fazie ciekłej i gazowej) wynika stąd, że zawierają one tzw. **niesparowane elektrony**, których obecność w cząsteczce powoduje, że ma ona właściwości magnetyczne.

Substancje chemiczne zbudowane z jonów (czyli atomów lub cząsteczek obdarzonych ładunkiem elektrostatycznym, dodatnim bądź ujemnym) nazywamy związkami jonowymi. Należą do nich m.in. sole jonowe np. chlorek sodu (sól kuchenna, NaCl), azotan potasu ( $\text{KNO}_3$ ), siarczan miedzi ( $\text{CuSO}_4$ ) i wiele innych substancji, w których budowie krystalicznej można wyróżnić jony dodatnie (kationy) i ujemne (aniony). Wiele soli jonowych rozpuszcza się w wodzie, gdyż woda jest rozpuszczalnikiem polarnym, dzięki czemu kryształy soli mogą ulegać rozpadowi na pojedyncze jony. Proces rozpuszczania związany jest z wymianą energii, która potrzebna jest do „zniszczenia” struktury ciała stałego i w konsekwencji do rozdzielania od siebie (uwolnienia) kationów i anionów. W kryształach soli jony dodatnie i ujemne są ze sobą silnie „związane” dzięki elektrostatycznemu przyciąganiu różnoimiennych jonów. Aby to oddziaływanie osłabić układ musi otrzymać porcję dodatkowej energii, równą co najmniej energii wiązania kationów i anionów ( $E_w$ ). Energia ta, w postaci **ciepła**, pobierana jest z otoczenia. W roztworze wodnym uwolnione jony oddziałują z cząsteczkami wody. Prowadzi to do otaczania kationów i anionów przez cząsteczki wody; mówimy, że jony te ulegają **hydratacji**. Otaczająca kationy i aniony woda nie sprzyja ponownemu ich połączeniu, ponieważ względna przenikalność dielektryczna wody wynosi  $\epsilon = 81$ , a więc siła przyciągania pomiędzy nimi będzie 81-krotnie mniejsza aniżeli w próżni. Podczas tego procesu wydzielana jest energia tzw. **energia hydratacji** ( $E_H$ ). Różnica między wartością  $E_w$  a  $E_H$  decyduje o rozpuszczalności ciała stałego w wodzie, tzn. o tym jaką ilość (w gramach) substancji można rozpuścić w 100 g wody w określonej temperaturze. W przypadku większości soli jonowych różnica

$$E_w - E_H > 0$$

a zatem podczas rozpuszczania, aby jony mogły „oderwać się od siebie”, układ musi zaabsorbować dodatkową energię (ciepło) z otoczenia, czyli należy go po prostu ogrzać. Dlatego im wyższa temperatura roztworu, tym więcej można w nim rozpuścić danej substancji. Dlatego też, aby przyspieszyć proces rozpuszczania, często prowadzi się go w podwyższonej temperaturze (czyli w odpowiednio ogrzanej wodzie). Istnieją również takie sole, które lepiej rozpuszczają się w niższej temperaturze niż w wyższej (np. siarczan ceru,  $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Dla tego typu substancji różnica

$$E_w - E_H < 0$$

i podczas rozpuszczania w układzie wydziela się ciepło, a do rozdzielania jonów nie jest potrzebna dodatkowa energia. Jeżeli ogrzalibyśmy **roztwór nasycony** takiej soli, to zaczęłyby wydzielać się z niego kryształy rozpuszczonej w nim substancji.

Zjawisko pochłaniania (absorpcji) ciepła z otoczenia podczas rozpuszczania soli ma zastosowanie praktyczne. Wykorzystuje się je do sporządzania tzw. **mieszanin oziębiających**, które używane są jako czynnik zapewniający odpowiednio niską temperaturę w instalacjach przemysłowych, reaktorach chemicznych czy podczas prowadzenia badań laboratoryjnych. Dodatek soli kuchennej do lodu (lub śniegu) powoduje znaczne obniżenie jego temperatury topnienia (aż do  $-21^\circ\text{C}$ ), stąd też różne sole (głównie NaCl i  $\text{CaCl}_2$ ) wykorzystuje się w zimie do posypywania ulic, aby zapobiec ich oblodzeniu.

Skoro proces rozpuszczania (lub topnienia) ciała stałego wymaga dostarczenia określonej ilości ciepła, to proces odwrotny, czyli **krystalizacja** związany jest z wydzieleniem równoważnej ilości



energii. Zatem roztwory nasycone (lub „przesycone”) magazynują w sobie pobrane z otoczenia ciepło, które może być z powrotem oddane do otoczenia podczas krystalizacji. Zjawisko to zostało wykorzystane w tzw. „saszetkach termicznych”, służących do ogrzewania np. dłoni czy stóp. W tym celu doprowadza się roztwór soli (najczęściej tiosiarczanu sodu,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) do stanu **cieczy przechłodzonej**, a następnie pod wpływem jakiegoś bodźca (np. wrzucony kryształek soli, intensywne zamieszanie cieczy, impuls dźwiękowy) wywołuje się jego gwałtowną krystalizację. Towarzyszy temu wydzielenie energii (ciepła), co powoduje, że pojemnik z solą ogrzewa się do temperatury, w której zachodzi proces krystalizacji ( $48,5^\circ\text{C}$  dla  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).

## EKSPERYMENTY FIZYCZNE

### Doświadczenie 1

#### Parowanie cieczy – na przykładzie wody. Para nasycona.

(Opracowano na podstawie: A.A. Domański „Laboratorium chemii ogólnej nie tylko dla chemików”, Wyd. Uniwersytetu Opolskiego Opole 2007)

#### Cel:

Ilustracja zjawiska parowania cieczy (wody) i tworzenia pary nasyconej, w zależności od temperatury otoczenia.

Jest to prosty eksperyment pokazujący, że woda paruje w różnej temperaturze oraz że zawartość wody w mieszaninie z powietrzem zależy od temperatury otoczenia. Podobny proces zachodzi w warunkach naturalnych i wpływa na zawartość wilgoci w atmosferze, czyli bezpośrednio decyduje o mikroklimacie panującym w naszym otoczeniu.

#### Opis doświadczenia:

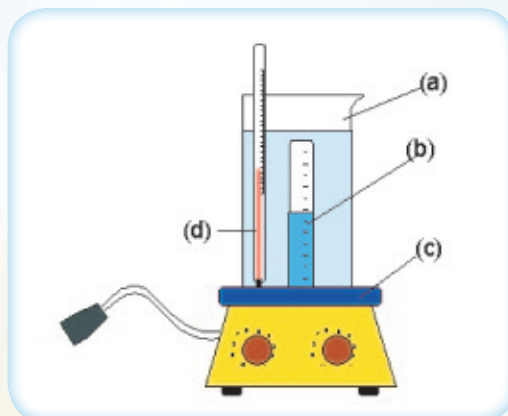
Potrzebne materiały\*: zlewka  $500\text{ cm}^3$ , cylinder miarowy  $10\text{ cm}^3$ , termometr ( $0\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$ ), czasza grzejna, woda demineralizowana, lód, chlorek sodu ( $\text{NaCl}$ ).

\*) zamiast w/w można użyć zwykłego garnka  $0,5\text{ l}$ , probówki z zaznaczoną markerem podziałką, kuchenki elektrycznej lub gazowej, wody z kranu i zwykłej soli kuchennej.

#### Wykonanie:

Napełnij zlewkę wodą do ok.  $2/3$  objętości; wlej do cylindra tyle wody, aby pozostało w nim ok.  $4\text{--}5\text{ cm}^3$  powietrza, zatkał go palcem, odwróć do góry dnem i włóż do zlewki z wodą, jak pokazano na Rys. 1.1. Uzupełnij wodę w zlewce tak, aby probówka była całkowicie zanurzona w wodzie, umocuj termometr jak na Rys. 1.1 i ogrzej wodę w czaszy grzejnej do temp. ok.  $80^\circ\text{C}$  (podczas ogrzewania objętość fazy gazowej w probówce zwiększa się), po czym wyłącz ogrzewanie.

**Rys. 1.1** Zestaw do obserwacji procesu parowania wody i tworzenia pary nasyconej w różnych temperaturach; (a) zlewka z wodą, (b) cylinder miarowy, w którym faza ciekła (woda) jest w równowadze z powietrzem nasyconym parą wodną, (c) czasza grzejna, (d) termometr. **UWAGA:** rysunek ma charakter poglądowy i nie przedstawia rzeczywistych proporcji elementów układu.





Odczekaj, aż objętość fazy gazowej zmniejszy się do poziomu podziałki cylindra (ok. 10 cm<sup>3</sup>), odczytaj tę objętość oraz odpowiadającą jej temperaturę wody w zlewce. Zanotuj wyniki pomiaru i po ochłodzeniu układu do ok. 75°C ponownie odczytaj objętość gazu w cylindrze oraz odpowiadającą jej temperaturę wody. Odczytaj objętość gazu w cylindrze oraz temperaturę wody, co ok. 5°C, aż do chwili osiągnięcia przez wodę w zlewce temperatury ok. 50°C i zanotuj wyniki. Pamiętaj, aby podczas chłodzenia stale mieszać wodę w zlewce (np. szklanym pręciem), aby utrzymać stałą temperaturę wody w całej jej objętości. Gdy temperatura wody zmaleje poniżej 50°C, wrzuć do zlewki tyle lodu, aby woda ochłodziła się do temperatury poniżej 5°C. Wówczas ponownie odczytaj i zanotuj objętość gazu w cylindrze oraz temperaturę wody; można przyjąć, że w tej temperaturze w cylindrze jest wyłącznie powietrze (a zawartość pary wodnej jest tak mała, że można ją pominąć). Odczytaj z barometru wartość ciśnienia atmosferycznego ( $p_{atm}$ ).

### Opracowanie wyników i obserwacji:

Na podstawie tych pomiarów można wyznaczyć tzw. **krzywą pary nasyconej** dla ciekłej wody, będącej w stanie równowagi termodynamicznej z parą wodną, czyli zależność ciśnienia pary wodnej od temperatury,  $p_{H_2O} = f(T)$ . W tym celu należy wykonać proste obliczenia według niżej przedstawionego algorytmu i następnie przedstawić wyniki w postaci wykresu

$$p_{H_2O} = f(T)$$

Ponieważ podczas doświadczenia ilość (liczba moli) powietrza w cylindrze jest stała, obserwowana zmiana objętości gazu związana jest ze zmianą ilości (liczby moli) pary wodnej w fazie gazowej w zależności od temperatury wody w zlewce (czyli temperatury całego układu). Jest to równoznaczne ze zmianą ciśnienia zarówno cząsteczek pary wodnej ( $p_{H_2O}$ ) jak i powietrza ( $p_{pow}$ ) w badanej mieszaninie powietrze–para wodna. Przyjmując, że ciśnienie całkowite (równe ciśnieniu atmosferycznemu) jest stałe podczas eksperymentu, wówczas w badanym zakresie temperatur (tzn. dla każdej zmierzonej temperatury)

$$p_{atm} = p_{pow} + p_{H_2O} \quad (1)$$

Stałą liczbę moli powietrza ( $n_{pow}$ ) znajdującą się w cylindrze podczas doświadczenia można obliczyć z równania Clapeyrona

$$n_{pow} = \frac{p_{atm} \cdot V}{RT} \quad (2)$$

gdzie:  $V$  [m<sup>3</sup>] – objętość gazu w cylindrze w temperaturze poniżej 5°C,

$T$  [K] – temperatura, dla której zmierzono  $V$  (w zakresie 0–5°C),

$p_{atm}$  [Pa] – wartość ciśnienia atmosferycznego podczas pomiaru,

$R = 8,31$  [J/mol·K] – uniwersalna stała gazowa.

**Pamiętaj, aby w obliczeniach stosować wyłącznie jednostki układu SI.**

Znając liczbę moli powietrza ( $n_{pow}$ ) ze wzoru Clapeyrona można obliczyć ciśnienie wywierane przez cząsteczki powietrza w cylindrze (w mieszaninie powietrze–para wodna) dla każdej zmierzonej temperatury i odpowiadającej jej objętości gazu w cylindrze

$$p_{pow} = \frac{n_{pow} \cdot RT_i}{V_i} \quad (3)$$

gdzie:  $T_i$  [K] – temperatura danego pomiaru,

$V_i$  [m<sup>3</sup>] – objętość gazu (powietrze + para wodna) w temperaturze  $T_i$

Stąd, na podstawie zależności (1), dla każdej zmierzonej temperatury można obliczyć ciśnienie cząsteczek wody w fazie gazowej w cylindrze ( $p_{H_2O}$ ), czyli w powietrzu nasyconym parą wodną

$$p_{H_2O} = p_{atm} - p_{pow} \quad (4)$$

Wyniki obliczeń wartości  $p_{H_2O}$  dla poszczególnych temperatur ( $T_i$ ) zapisz w Tabeli 1.1, a na ich podstawie przedstaw je również w postaci wykresu  $p_{H_2O} = f(T)$ .

Tabela 1.1

|                       |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $T_i, ^\circ\text{C}$ |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $V_i, \text{m}^3$     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $p_{pow}, \text{Pa}$  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $p_{H_2O}, \text{Pa}$ |  |  |  |  |  |  |  |  |

### Etap II : Wpływ zawartości soli (NaCl) w wodzie na proces parowania wody.

Ten eksperyment można odnieść do warunków klimatycznych w „środowisku nadmorskim”. Wykonaj podobne doświadczenie, według tego samego scenariusza, biorąc zamiast czystej wody roztwór soli (NaCl) w wodzie. W tym celu w zlewce o objętości 800–1000 cm<sup>3</sup>, rozpuść 150 g NaCl (czyli zwykłej soli kuchennej) w 500 cm<sup>3</sup> wody demineralizowanej; aby przyspieszyć proces rozpuszczania można wodę ogrzać do ok. 50°C, a po rozpuszczeniu soli ochłodzić do temperatury pokojowej. Z tak przygotowanym roztworem wykonaj wszystkie czynności jak w doświadczeniu z czystą wodą.

Opracuj wyniki wg wyżej przedstawionego schematu i przedstaw na jednym rysunku wykresy  $p_{H_2O} = f(T)$  dla czystej wody i roztworu NaCl w wodzie. Co wynika z porównania tych wykresów? Czy obecność soli w wodzie wpływa na proces jej parowania?



## Doświadczenie 2

### Skraplanie gazów. Ciekły tlen i właściwości magnetyczne cząsteczek $O_2$ .

#### Cel:

Ilustracja procesu skraplania tlenu, czyli gazu o niskiej temperaturze krytycznej oraz demonstracja **właściwości paramagnetycznych** cząsteczek  $O_2$ .

Jest to prosty eksperyment pokazujący, jak można otrzymać ciekły tlen z powietrza (z otoczenia). Doświadczenie pozwala przekonać uczniów, że skroplony tlen jest bardziej „reaktywny” niż tlen w postaci gazowej, oraz że cząsteczki tlenu są paramagnetyczne. Czyli uczeń może bezpośrednio zaobserwować ważne zjawiska, wynikające zarówno z teorii chemii, jak i badań fizykochemicznych molekularnego tlenu.

#### Opis doświadczenia:

**Potrzebne materiały\***: cylinder zakończony stożkiem, wykonany z rury miedzianej (lub aluminiowej) o grubości ścianki nie przekraczającej 2 mm (im cieńsza tym lepiej), średnicy ok. 5 cm i długości ok. 20 cm, ciekły azot (ok. 1 dm<sup>3</sup>), statyw laboratoryjny, probówka szklana, szkiełko zegarkowe (o średnicy 10 cm), magnes sztabkowy – najlepiej neodymowy, ale może to również być zwykłe mieszadełko magnetyczne.

\*) zamiast w/w cylindra można użyć zwykłej aluminiowej puszki po napojach, z częściowo odpiłowanym wieczkiem

#### Wykonanie:

Do cylindra o stożkowym zakończeniu, zamontowanego w statywie, jak pokazano na rys. 2.1, zachowując szczególną ostrożność, wlej porcję ciekłego azotu. Obserwuj proces kondensacji pary wodnej oraz  $CO_2$  zawartych w powietrzu w postaci „szronu” na zewnętrznej ściance cylindra. Po paru minutach warstwa „szronu” zacznie się „pocić”, a utworzone krople ciekłego tlenu zaczną pojawiać się w części stożkowej cylindra i następnie spływać do podstawionej probówki (należy ją trzymać szczypcami) lub na szkiełko zegarkowe.

Zaobserwuj **jaką barwę ma ciekły tlen** zebrany do probówki.

#### Właściwości piroforyczne ciekłego tlenu:

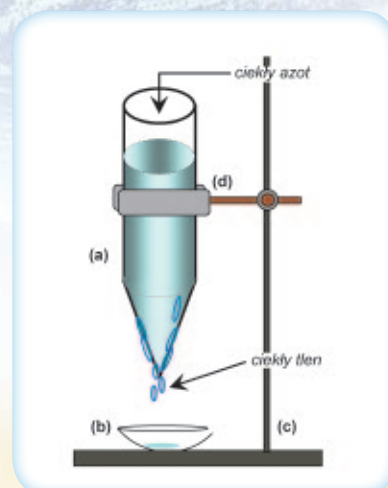
Do kropli ciekłego tlenu przyłóż żarzący się kawałek drewnianego patyczka (należy go trzymać za pomocą szczypec laboratoryjnych) i obserwuj proces jego spalania.

#### Właściwości paramagnetyczne ciekłego tlenu:

Do kropli ciekłego tlenu przybliż biegun magnesu i obserwuj wyraźne przyciąganie kropli przez magnes. Świadczy to o tym, że cząsteczki tlenu (w stanie podstawowym) są paramagnetyczne, czyli że zawierają „niesparowane elektrony”.

**Rys. 2.1** Zestaw do skraplania tlenu; (a) cylinder z ciekłym azotem, (b) szkiełko zegarkowe, do którego wykrapla się ciekły tlen, (c) statyw, (d) uchwyt.

**UWAGA:** rysunek ma charakter poglądowy i nie przedstawia rzeczywistych proporcji elementów układu.





### Opracowanie wyników obserwacji:

Przeanalizuj obserwacje poczynione w trakcie eksperymentu i przedyskutuj następujące problemy:

- Dlaczego możliwe było otrzymanie ciekłego tlenu za pomocą tak prostego zestawu?
- Porównaj intensywność spalania drewnianego patyczka w otaczającym powietrzu i w ciekłym tlenie lub w pobliżu jego kropli; wyjaśnij zauważone różnice.
- Jakie inne znane gazy można skroplić używając do tego celu ciekłego azotu?

## Doświadczenie 3

### Rozpuszczanie soli jonowych w wodzie. Roztwory nasycone

(Opracowano na podstawie: A.A. Domański „Laboratorium chemii ogólnej nie tylko dla chemików”, Wyd. Uniwersytetu Opolskiego Opole 2007)

#### Cel:

Poznanie zjawisk towarzyszących procesowi rozpuszczania soli jonowych w wodzie, zbadanie wpływu temperatury oraz zmiany polarności fazy wodnej (przez dodanie etanolu) na rozpuszczalność związków jonowych.

Jest to proste doświadczenie pokazujące, że proces rozpuszczania różnych soli w wodzie zależy od energii wiązania jonów w sieci krystalicznej, natomiast wpływ temperatury na ilość rozpuszczonej soli zależy również od energii solwatacji (hydratacji) uwalnianych jonów. Wiąże się z tym ważne efekty termiczne (oziębienie lub ogrzewanie się roztworu podczas rozpuszczania soli), które można wykorzystać do celów praktycznych. Podczas doświadczenia badane są sole, których rozpuszczalność w wodzie rośnie wraz z temperaturą oraz takie, których rozpuszczalność maleje bądź raz rośnie a raz maleje.

#### Opis doświadczenia:

Potrzebne materiały: azotan (V) potasu ( $\text{KNO}_3$ ), chlorek potasu (KCl), bezwodny siarczan (VI) sodu ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), uwodniony siarczan (VI) ceru ( $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ), probówka o długości 20 cm i średnicy 2 cm z korkiem, termometr, mieszadełko z tworzywa sztucznego (lub metalowe) do probówki, zlewka o pojemności  $600 \text{ cm}^3$ , pipeta o pojemności  $5 \text{ cm}^3$  (z podziałką co  $0,1 \text{ cm}^3$ ). W doświadczeniu należy używać wyłącznie wody demineralizowanej lub destylowanej.

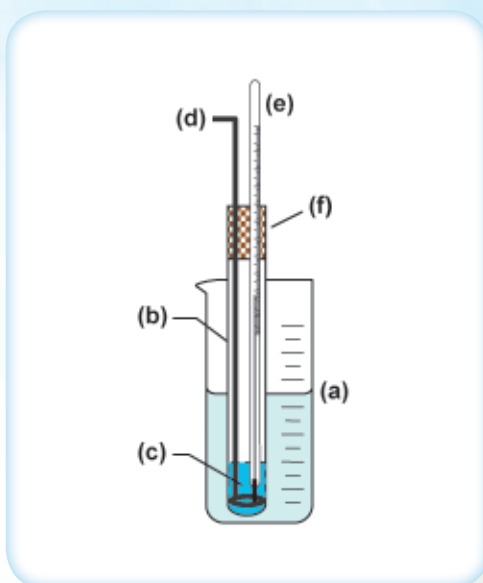
#### Wykonanie:

Sporządź roztwory poszczególnych soli o podanym niżej stężeniu:

- (a)  $7,0 \text{ g KNO}_3$  w  $5,0 \text{ cm}^3$  wody
- (b)  $2,5 \text{ g KCl}$  w  $5,0 \text{ cm}^3$  wody
- (c)  $2,4 \text{ g Na}_2\text{SO}_4$  w  $5,0 \text{ cm}^3$  wody (należy użyć soli bezwodnej!)
- (d)  $1,5 \text{ g Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  w  $10,0 \text{ cm}^3$  wody

Na przykład, w celu otrzymania roztworu (a) odważ na wadze laboratoryjnej ok.  $7,0 \text{ g KNO}_3$  (zannotuj dokładną masę odważonej soli), przenieś ostrożnie całość do probówki, dodaj pipetą dokładnie  $5,0 \text{ cm}^3$  wody i zamknij wylot probówki korkiem, w którym osadzono termometr i mieszadło (jak pokazuje Rys. 3.1). Umieść probówkę w zlewce z gorącą wodą (ok.  $85^\circ\text{C}$ ) i ogrzewaj jej zawartość aż do całkowitego rozpuszczenia soli. Następnie wyjmij probówkę z gorącej wody i pozwól aby zawarty w niej roztwór się ochłodził, przy ciągłym mieszaniu cieczy w probówce.

Zaobserwuj moment, w którym w roztworze pojawi się pierwsze zmętnienie – oznaka wytrącania pierwszych kryształów soli – i zanotuj temperaturę, w której to nastąpiło. Następnie do roztworu w probówce dodaj pipetą dokładnie  $5,0 \text{ cm}^3$  wody, zamknij probówkę korkiem i ogrzewaj (jak poprzednio, w zlewce z gorącą wodą) aż wydzielone uprzednio kryształy całkowicie się rozpuszczą. Ponownie wyjmij probówkę z gorącej wody i przy ciągłym mieszaniu jej zawartości zanotuj temperaturę, w której pojawi się zmętnienie, towarzyszące wydzielającym się kryształom soli. Dodaj kolejną porcję  $5,0 \text{ cm}^3$  wody do roztworu w probówce i powtarzaj tę procedurę tak długo, aż przy kolejnym ochładzaniu roztworu zmętnienie się nie pojawi. Wówczas można ochłodzić badany układ umieszczając probówkę z roztworem (przy ciągłym mieszaniu jej zawartości) w zlewce wypełnionej wodą z lodem i następnie odczytać ponownie temperaturę, w której zaczną wytrącać się kryształy soli.



**Rys. 3.1** Zestaw do badania rozpuszczalności soli jonowych w wodzie; (a) zlewka z gorącą wodą, (b) probówka zawierająca roztwór soli (c), (d) mieszałko, (e) termometr, (f) korek z otworami na termometr i mieszałko. **UWAGA:** rysunek ma charakter poglądowy i nie przedstawia rzeczywistych proporcji elementów układu

W podobny sposób należy wykonać pomiary temperatury krystalizacji dla roztworów soli (b). Badania należy tak zaplanować, aby uzyskać 6–8 wyników pomiarów w zakresie temperatur pomiędzy  $10^\circ\text{C}$  a  $80^\circ\text{C}$ . Wyniki pomiarów przedstaw odpowiednio w Tabeli 3a i Tabeli 3b.

Trochę inaczej należy postąpić z solą (c), gdyż proces rozpuszczania  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  w wodzie ma inny przebieg i w inny sposób zależy od temperatury układu, niż w przypadku soli (a) i (b). W pierwszej części eksperymentu odważoną porcją  $2,4 \text{ g}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (zanotuj dokładną masę odważonej soli) przenieś do probówki, dodaj  $5,0 \text{ cm}^3$  wody i zamknij wylot probówki korkiem, jak pokazano na Rys. 3.1. Umieść probówkę w zlewce z gorącą wodą i ostrożnie ogrzewaj, stale mieszając jej zawartość, aż wszystkie kryształy się rozpuszczą, co powinno nastąpić w temperaturze ok.  $40^\circ\text{C}$ . Zanotuj temperaturę, w której zniknął ostatni kryształek. Następnie powoli ogrzewaj probówkę z roztworem i zanotuj temperaturę, w której pojawi się zmętnienie, spowodowane wytrącaniem się kryształków  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Wyjmij probówkę ze zlewki z gorącą wodą, za pomocą pipety dodaj do roztworu  $0,2 \text{ cm}^3$  wody i jeśli wszystkie wytrącone kryształki rozpuściły się, ponownie powoli ogrzewaj roztwór w probówce aż do chwili, gdy znów pojawi się zmętnienie od wytrącających się kryształków; zanotuj temperaturę, w której to nastąpi. Powtórz tę czynność jeszcze dwukrotnie, za każdym razem dodając po  $0,2 \text{ cm}^3$  wody i notując temperaturę, w której ponownie wytrąca się kryształki.



W drugiej części eksperymentu, otrzymany powyżej roztwór należy ochłodzić (wyjmując probówkę z gorącej wody) do temperatury ok. 40°C i zanotować temperaturę, w której pojawi się zmętnienie. Wówczas pipetą dodaj do roztworu 5,0 cm<sup>3</sup> wody i powoli ogrzej do ok. 40°C, aż wszystkie kryształki się rozpuszczą. Następnie ponownie ochłódź roztwór i zanotuj temperaturę, w której znowu pojawi się zmętnienie. Dodaj kolejną porcję 5,0 cm<sup>3</sup> wody i postępuj jak wyżej; powtórz tę czynność jeszcze pięciokrotnie, za każdym razem dodając po 5,0 cm<sup>3</sup> wody i notując temperaturę, w której pojawiają się kryształki soli. **Pamiętaj, aby przez cały czas mieszać zawartość probówki.** Wyniki pomiarów przedstaw w Tabeli 3c.

W przypadku soli (d), odważoną dokładnie porcję ok. 1,5 g Ce<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O przenieś do probówki, dodaj pipetą 10 cm<sup>3</sup> wody i rozpuść sól w możliwie niskiej temperaturze (ok. 5°C). Zanotuj temperaturę, w której to nastąpiło. Następnie do roztworu dodaj 5,0 cm<sup>3</sup> wody, poczekaj, aż wszystkie kryształy się rozpuszczą (aby to ułatwić można układ odpowiednio schłodzić). Powoli ogrzewaj probówkę z zawartością (w powietrzu) i zanotuj temperaturę, w której pojawi się zmętnienie (kryształki). Powtórz te czynności jeszcze pięciokrotnie, za każdym razem dodając po 5,0 cm<sup>3</sup> wody i notując temperaturę, w której pojawiają się kryształki soli. Po osiągnięciu temperatury pokojowej roztwór należy ogrzewać w zlewce z ciepłą wodą. Pomiary należy prowadzić aż do temperatury ok. 60°C. **Pamiętaj o ciągłym mieszaniu zawartości probówki.** Wyniki pomiarów przedstaw w Tabeli 3d.

#### Opracowanie wyników pomiarów:

Na podstawie wykonanych pomiarów można wyznaczyć tzw. krzywą rozpuszczalności (zwaną też „krzywą nasycenia”), przedstawiającą równowagę termodynamiczną w układzie sól-roztwór nasycony, czyli zależność stężenia roztworu nasyconego od temperatury ( $T$ )

$$R = f(T)$$

Stężenie to określa się jako **rozpuszczalność**,  $R$ , i wyraża ono masę substancji rozpuszczonej w 100 g wody w danej temperaturze (dla roztworu nasyconego).

#### Obliczanie rozpuszczalności, $R$ :

Rozpuszczalność substancji oblicz na podstawie znajomości masy substancji użytej do danego doświadczenia (nie ulega ona zmianie) oraz ilości wody w roztworze, dla którego zmierzono temperaturę, w której wytrącały się kryształki.

$$R = \frac{m_s}{m_w} \cdot 100,$$

gdzie  $m_s$  – masa użytej soli (w gramach),

$m_w$  – masa wody w roztworze (w gramach), odpowiednia dla danego punktu pomiaru temperatury ( $T$ ).

Dla uproszczenia obliczeń możemy przyjąć, że gęstość wody w warunkach naszego eksperymentu wynosi 1 g/cm<sup>3</sup>, zatem  $m_w$  będzie równa liczbowo całkowitej objętości wody w układzie (oczywiście będzie ona inna dla każdego punktu pomiarowego).

Dla wartości przedstawionych w tabelach 3a-3d narysuj odpowiednie zależności  $R = f(T)$ ; przedstaw je wszystkie na jednym rysunku. Przedyskutuj ich przebieg i spróbuj wyjaśnić, co jest przyczyną różnic w przebiegu narysowanych wykresów.



Tabela 3a

| KNO <sub>3</sub>           |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pomiar                     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| <i>T</i> , °C              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| R, g/100g H <sub>2</sub> O |   |   |   |   |   |   |   |   |

Tabela 3b

| KCl                        |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pomiar                     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| <i>T</i> , °C              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| R, g/100g H <sub>2</sub> O |   |   |   |   |   |   |   |   |

Tabela 3c

| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Pomiar                          | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| <i>T</i> , °C                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| R, g/100g H <sub>2</sub> O      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |

Tabela 3d

| Ce <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pomiar  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| T, °C   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| R, g/100g H <sub>2</sub> O  |   |   |   |   |   |   |   |   |

## Doświadczenie 4

### Mieszanki oziębiające

#### Cel:

Poznanie „zasady działania” mieszanin oziębiających, zbadanie wpływu rodzaju użytej soli jonowej na końcowy efekt schłodzenia układu w mieszaninach typu woda (lód)–sól.

Jest to proste doświadczenie, które można wykonać w warunkach domowych, polegające na pomiarze temperatury badanych mieszanin, sporządzonych przy użyciu łatwo dostępnych odczynników chemicznych, tj. NaCl, MgCl<sub>2</sub> czy CaCl<sub>2</sub>. Poznanie termodynamicznych podstaw obserwowanego zjawiska pozwala m.in. zrozumieć, dlaczego zimą posypuje się zaśnieżone i oblodzone ulice solą (a kogo na to stać – mieszanką NaCl+CaCl<sub>2</sub>).

#### Opis doświadczenia:

**Potrzebne materiały\***: zlewka o pojemności 250 cm<sup>3</sup>, termometr ze skalą temperatur ujemnych (do -60°C), plastikowa łopatką lub łyżka do mieszania zestawów oraz:

- lód (drobno pokruszony); woda (o temp. ok. 0°C);
- azotan (III) sodu, NaNO<sub>2</sub> (dawna nazwa: azotyn sodu);
- chlorek sodu, NaCl (czyli zwykła „sól”);
- chlorek magnezu, MgCl<sub>2</sub>;
- uwodniony chlorek wapnia, CaCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O.

\*) doświadczenie można wykonać w warunkach „domowych”

#### Wykonanie:

W zlewce (250 cm<sup>3</sup>) sporządź 50 g wybranej mieszaniny. Ilość poszczególnych składników oblicz na podstawie ich stosunku masowego podanego w Tabeli 4.1. Dokładnie wymieszaj jej składniki i po czasie ok. 5 min zmierz temperaturę mieszaniny (T). Pozostaw termometr w mieszaninie i przez kolejne 20 minut sprawdzaj, czy jej temperatura nie ulega zmianie. Najniższą wartość temperatury zapisz w Tabeli 4.1. Badania wykonaj dla wszystkich mieszanin przedstawionych w tabeli.

Tabela 4.1

| Składniki mieszaniny                            | Stosunek masowy | $T$ , °C |
|---|-----------------|----------|
| woda + $\text{NaNO}_2$                          | 10 : 6          |          |
| lód + $\text{NaCl}$                             | 3 : 1           |          |
| lód + $\text{MgCl}_2$                           | 10 : 3          |          |
| lód + $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 100 : 125       |          |
| lód + $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 100 : 143       |          |

#### Opracowanie wyników pomiarów i obserwacji:

Przeanalizuj obserwacje poczynione w trakcie eksperymentu i spróbuj wyjaśnić, od czego zależy temperatura, którą można uzyskać dzięki takim mieszaninom. Jakie zjawisko wykorzystuje się posypując zimą ulice mieszanką piasku z solą ( $\text{NaCl}$ )? Dlaczego korzystnie jest dodawać  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  do mieszanki piasku z  $\text{NaCl}$ ?

#### Doświadczenie 5

##### Ciepło krystalizacji. Roztwór przesycony jako magazyn energii

##### Cel:

Poznanie „termodynamiki” przemiany fazowej w procesie krystalizacji.

Jest to bardzo prosty i interesujący eksperyment (możliwy do przeprowadzenia w warunkach domowych) pokazujący, że ciepło użyte do rozpuszczenia substancji może być odzyskane w procesie jej krystalizacji z roztworu. Szczególnie „odczuwalny” jest efekt termiczny uzyskany w wyniku gwałtownej krystalizacji przesyconego roztworu tiosiarczanu sodu ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), co wykorzystuje się m.in. w tzw. „saszetkach rozgrzewających” wielokrotnego użytku.

##### Opis doświadczenia:

**Potrzebne materiały\*:** ok. 10 g tiosiarczanu sodu ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), probówka szklana o pojemności ok. 20 cm<sup>3</sup>, zlewka (lub szklanka) o pojemności 250 cm<sup>3</sup>, pręcik szklany, czasza grzejna (może być również czajnik lub kuchenka elektryczna), termometr (najlepiej elektroniczny, tzw. „bagnetowy”).

\*) doświadczenie można wykonać w warunkach „domowych”

##### Wykonanie:

Około 10 g krystalicznego tiosiarczanu sodu ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) przenieś do szklanej probówki, szklanym pręcikiem ubij nieco jej zawartość. Do zlewki nalej ok. 100 cm<sup>3</sup> wody i doprowadź ją



do wrzenia. Probówkę z tiosiarczanem sodu ostrożnie zanurz w gorącej wodzie; uważaj, aby woda nie wlała się do probówki. Poczekał, aż cała zawartość probówki zamieni się w klarowną, bezbarwną ciecz (tiosiarczan sodu ulega rozpuszczeniu we własnej wodzie krystalizacyjnej). Następnie wyjmij probówkę z wrzątku i ostrożnie, unikając gwałtownych ruchów, ochłódź jej zawartość do temperatury pokojowej, polewając probówkę strumieniem zimnej wody z kranu. Zawartość probówki, po ochłodzeniu, powinna być w fazie ciekłej. Następnie do probówki wrzuć 2–3 kryształki tiosiarczanu i szybko włóż termometr. Jeśli masz do dyspozycji termometr elektroniczny z sondą typu „bagnet” to wystarczy, że zanurzysz sondę w ochłodzonej cieczy w probówce. Obserwuj proces krystalizacji soli oraz towarzyszący mu efekt termiczny. Zmierz okres czasu (w minutach), przez który probówka pozostaje przynajmniej jeszcze wyczuwalnie ciepła (ok. 30°C). Zanotuj najwyższą temperaturę wskazaną przez termometr i porównaj ją z **temperaturą topnienia**  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (jej wartość można znaleźć w tablicach fizykochemicznych, albo w Internecie). Zmierz czas, przez jaki utrzymuje się maksymalna temperatura zawartości probówki oraz czas, po którym temperatura obniży się do temperatury pokojowej (ok. 22°C). Wyniki zapisz w Tabeli 5.1.

Tabela 5.1

| $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ |                                  |                                     |  |  |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| Maksymalna temp. efektu termicznego                         | Czas topnienia wartość tablicowa | Czas utrzymywania maksymalnej temp. | Czas od początku krystalizacji do 30°C | Czas od początku krystalizacji do 22°C |
| °C  | °C                               | min                                 | min                                    | min                                    |
|   |                                  |                                     |  |  |

#### Analiza wyników obserwacji:

Przeanalizuj i przedyskutuj obserwacje poczynione w trakcie eksperymentu. Wyjaśnij, w jakim stanie termodynamicznym znajduje się faza ciekła w probówce po jej ochłodzeniu do temperatury pokojowej. Dlaczego po wrzuceniu do niej kryształków probówka ogrzała się?

#### Słowniczek najważniejszych pojęć użytych w tekście

Definicje opisane poniżej przedstawione są w znaczeniu odnoszącym się wyłącznie do zagadnień, których dotyczą eksperymenty. Należy pamiętać, że niektóre spośród nich (np. absorpcja) mają znacznie szersze zastosowanie i używane są do opisu wielu zjawisk fizykochemicznych.

**Absorpcja** – oznacza „pochłanianie” (np. energii lub masy) i jest to określenie stosowane w wielu dziedzinach.

**Ciecz przechłodzona** – stan układu, w którym faza ciekła istnieje poniżej jej temperatury krzepnięcia (krystalizacji). Jest to stan nietrwały termodynamicznie i zwykle pod wpływem niewielkiego zaburzenia (np. po wrzuceniu kryształku) następuje gwałtowna krystalizacja.

**Hydratacja** – patrz hasło „solwatacja”.

**Para nasycona** – gaz, który jest w stanie równowagi termodynamicznej z fazą ciekłą tej samej substancji.

**Roztwór nasycony** – jest to taki roztwór, w którym nie można już rozpuścić większej ilości danej substancji; jej nadmiar będzie gromadził się w postaci osadu na dnie naczynia.

**Solwatacja** – otaczanie jonów lub cząsteczek substancji rozpuszczonej przez cząsteczki rozpuszczalnika. W przypadku roztworów wodnych mówimy o **hydratacji**.

**Temperatura krytyczna gazu ( $T_{kr}$ )** – jest to temperatura, powyżej której nie występuje faza ciekła substancji w równowadze z jej fazą gazową; fazę, która występuje w takich warunkach definiujemy jako **gaz**. Aby skroplić gaz, należy go najpierw ochłodzić poniżej  $T_{kr}$ .

**Temperatura topnienia / krystalizacji** – temperatura przemiany fazowej ciało stałe–ciecz; dla danej substancji ma ona wartość stałą, niezależnie od kierunku przemiany.

**Temperatura wrzenia** – odpowiada warunkom, w których ciśnienie pary nasyconej cieczy równa jest ciśnieniu zewnętrznemu (np. atmosferycznemu).

**Warunki normalne** – odpowiadają one stanowi układu, w którym temperatura wynosi  $0^{\circ}\text{C}$  a ciśnienie  $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  (czyli 1013 hPa lub 1 atm).

















**NOTATKI**

A series of horizontal dotted lines for writing notes, spanning the width of the page.





**NOTATKI**

A series of horizontal dotted lines for writing notes, set against a background of a blue sky with clouds and a warm orange glow at the bottom.















**NOTATKI**

A series of horizontal dotted lines for writing notes.



# NOTATKI

A series of horizontal dotted lines for writing notes, spanning the width of the page.





**NOTATKI**

A series of horizontal dotted lines for writing notes, spanning the width of the page.







