



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

# FENIKS

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

## **Pakiet nr 5: Zimno, zimniej, najzimniej – od lodów do kriogeniki – instrukcje dla uczniów**

dr Radosław Maj

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

**Wersja UJK/1.0**

Niniejszy tekst dotyczy realizacji pakietu na UJK. Materiał będzie aktualizowany w miarę poszerzania bazy aparaturowej pracowni uczelnianych.



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

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

## Spis treści

<b>Wstęp</b> .....	3
<b>Potencjalne zagrożenia, zasady BHP</b> .....	4
<b><u>Doświadczenie nr 1.</u> Przemiany gazowe - Prawo Boyle'a – Mariotte'a</b> .....	5
<b><u>Doświadczenie nr 2.</u> Przemiany gazowe - Prawo Gay-Lussaca</b> .....	8
<b><u>Doświadczenie nr 3.</u> Termometr gazowy, temperatura zera bezwzględnego.</b> .....	11
<b><u>Doświadczenie nr 4.</u> Chłodzenie gazu przez rozprężanie.</b> .....	14
<b><u>Doświadczenie nr 5.</u> Mieszanina oziębiająca.</b> .....	16
<b><u>Doświadczenie nr 6.</u> Gęstość wody w pobliżu temperatury krzepnięcia.</b> .....	17
<b><u>Doświadczenie nr 7.</u> Pomiar gęstości ciekłego azotu.</b> .....	19
<b><u>Doświadczenie nr 8.</u> Skraplanie argonu.</b> .....	21
<b><u>Doświadczenie nr 9.</u> Chłodzenie przez parowanie.</b> .....	22
<b><u>Doświadczenie nr 10.</u> Wrzenie pod obniżonym ciśnieniem.</b> .....	23
<b><u>Doświadczenie nr 11.</u> Zestawienie ciekłego azotu.</b> .....	25
<b><u>Doświadczenie nr 12.</u> Przewodnictwo metali w zależności od temperatury.</b> .....	26
<b><u>Doświadczenie nr 13.</u> Właściwości elementów półprzewodnikowych w zależności od temperatury.</b> .....	28
<b><u>Doświadczenie nr 14.</u> Lewitacja diamagnetyka i nadprzewodnika.</b> .....	30
<b>Literatura</b> .....	31

## Wstęp

Prezentowany tutaj zestaw ćwiczeń, oparty w części o już zrealizowane pakiety w ramach projektu, ma na celu zaznajomienie ucznia przede wszystkim: ze sposobami oziębiania - czyli uzyskiwania coraz niższych temperatur oraz z nowymi zjawiskami fizycznymi, które występują w bardzo niskich temperaturach. Wreszcie zestaw tych ćwiczeń stanowi również pomoc w opanowaniu i utrwaleniu zagadnień z zakresu termodynamiki, które okazują się trudne nie tylko dla początkujących.

Nauczyciel przygotowujący ucznia z tego zakresu materiału nie powinien również zapominać o polskim wkładzie w fizykę niskich temperatur. Na „*niekończącej się drodze do zera bezwzględnego*” istotną rolę odegrali fizyk Zygmunt Wróblewski i chemik Karol Olszewski, zatem nauczanie o niskich temperaturach jest też okazją do nauki historii polskiej myśli fizycznej.

## Potencjalne zagrożenia, zasady BHP

Przy wykonywaniu wielu ćwiczeń konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności i przestrzeganie zasad bezpieczeństwa. Przy posługiwaniu się źródłami zasilania sieciowego, łatwopalnymi materiałami (np. denaturat lub nafta), grzałkami, gorącymi i bardzo zimnymi cieczami występuje zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia. Przy wykonywaniu ćwiczeń w pracowniach należy przestrzegać obowiązującego w nich regulaminu BHP.

W związku z powyższym zaleca się przestrzeganie następujących zasad:

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

## Doświadczenie nr 1.

# Przemiany gazowe - Prawo Boyle'a – Mariotte'a

### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest zbadanie zależności ciśnienia gazu od jego objętości w danej temperaturze. Mamy tu do czynienia z przemianą izotermiczną, gdzie ustalonym parametrem jest temperatura. Z równania stanu gazu doskonałego:

$$pV = nRT,$$

przy ustalonej temperaturze ( $T = \text{const}$ ) i przy niezmiennącej się masie gazu ( $n = \text{const}$ ) możemy wywnioskować, że podczas izotermicznej przemiany gazu doskonałego jego ciśnienie jest odwrotnie proporcjonalne do objętości:

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

W doświadczeniu sprawdzamy powyższą zależność.

### Opis i schemat

U-kształtna giętka rurka napełniona wodą zamknięta jest z jednej strony strzykawką z powietrzem. Przy przesuwaniu w górę lub w dół strzykawki (albo otwartego końca rurki) zmieniamy różnicę poziomów wody. Powoduje to zmianę ciśnienia powietrza wewnątrz strzykawki. Cały proces musimy przeprowadzać wolno, aby mogło nastąpić wyrównanie się temperatury powietrza zamkniętego w strzykawce z temperaturą otoczenia.

Jeżeli poziom wody w otwartym ramieniu rurki jest wyższy niż w strzykawce, ciśnienie  $p$  w strzykawce wyraża się wzorem:

$$p = p_{\text{atm}} + p_h,$$

w przeciwnym wypadku:

$$p = p_{\text{atm}} - p_h,$$

gdzie  $p_h$  oznacza ciśnienie, jakie wywiera słup wody o wysokości  $h$  - równej różnicy poziomów wody w strzykawce i w otwartym ramieniu rurki;  $p_{\text{atm}}$  - ciśnienie atmosferyczne.

Jeżeli poziom wody w otwartym końcu rurki jest powyżej poziomu wody w strzykawce, przyjmujemy wartość  $h$  dodatnią, w przeciwnym wypadku ujemną. Wówczas zależność ciśnienia gazu w strzykawce w zależności od różnicy poziomów wody w obydwu ramionach rurki zapisujemy w postaci:

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

gdzie przyjmujemy:  $\rho = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  - gęstość wody,  $g = 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$ .

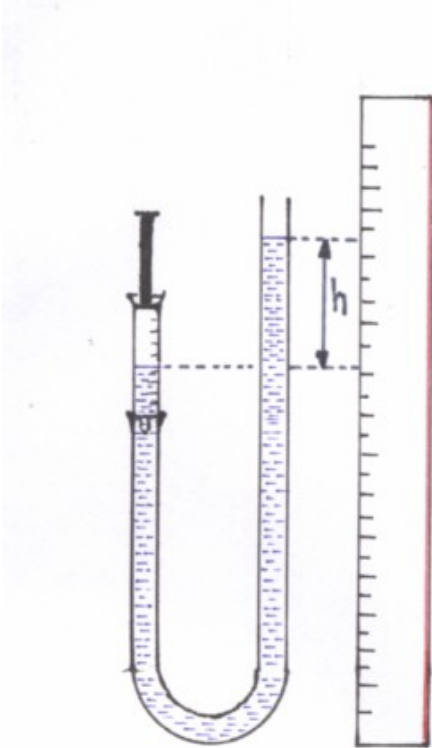
Korzystając z równania stanu gazu doskonałego zapisujemy:

$$\frac{nRT}{V} = p_{\text{atm}} + \rho gh,$$

a stąd otrzymujemy:

$$h = \frac{nRT}{\rho g} \frac{1}{V} - \frac{p_{\text{atm}}}{\rho g}$$

Przyjmując oznaczenia:  $y = h$ ,  $x = 1/V$ ,  $a = nRT/\rho g$ ,  $b = -p_{\text{atm}}/\rho g$ , otrzymujemy równanie linii prostej:  $y = ax + b$



### **Przebieg doświadczenia**

1. Wykonujemy pomiar objętości  $V$  gazu w strzykawce (korzystając ze skali strzykawki) dla różnych wartości  $h$  (korzystając z umocowanej podziałki milimetrowej).
2. Wyniki zapisujemy w tabeli:

Lp	$h[\text{cm}]$	$V[\text{cm}^3]$	$\frac{1}{V}[\frac{1}{\text{cm}^3}]$

3. Zależność  $h$  od  $1/V$  przedstawiamy na wykresie.

4. Do otrzymanych punktów dopasowujemy graficznie prostą  $y = ax + b$  .
5. Analizujemy zjawiska fizyczne zachodzące podczas wykonywania eksperymentu.
6. Zastanawiamy się nad czynnikami, które mogły mieć wpływ na dokładność przeprowadzonych pomiarów.

## Doświadczenie nr 2.

# Przemiany gazowe - Prawo Gay-Lussaca

### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest zbadanie zależności objętości gazu od temperatury przy danym ciśnieniu. Mamy tu do czynienia z przemianą izobaryczną, gdzie ustalonym parametrem jest ciśnienie gazu. Z równania stanu gazu doskonałego:

$$pV = nRT,$$

przy ustalonym ciśnieniu (  $p = \text{const}$  ) i przy niezminiającej się masie gazu (  $n = \text{const}$  ) możemy wywnioskować, że podczas izobarycznej przemiany gazu doskonałego stosunek jego objętości do temperatury jest stały:

$$\frac{V}{T} = \text{const},$$

lub inaczej, że objętość zajmowana przez tę samą masę gazu jest wprost proporcjonalna do jego temperatury:

$$V = \text{const} \cdot T$$

W doświadczeniu sprawdzamy powyższą zależność.

### Opis i schemat

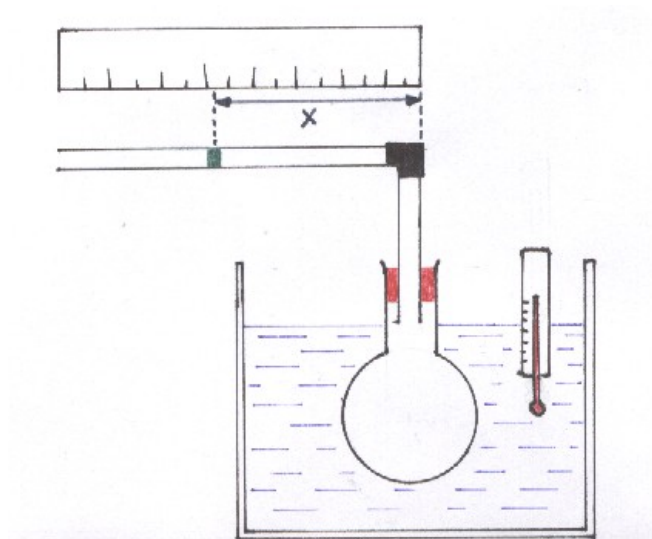
Szklana kolba zanurzona w kąpielu wodnej połączona jest z L-kształtną szklaną rurką. W poziomym ramieniu rurki znajduje się kropla zabarwionej cieczy, która zamyka powietrze w kolbie, określa jego objętość i może swobodnie zmieniać swoją pozycję. Jeżeli ciśnienie w kolbie będzie się różnić od ciśnienia atmosferycznego kropla zabarwionej cieczy zacznie zmieniać swoje położenie aż do momentu wyrównania się ciśnień. W ten sposób zapewniamy stałą wartość ciśnienia w tym doświadczeniu, równą ciśnieniu atmosferycznemu.

Temperatura gazu w kolbie jest równa temperaturze kąpielu wodnej. Podgrzewając kąpiel wodną, zmieniamy temperaturę gazu. Przy wzroście temperatury gaz zwiększa swoją objętość, co ma swoje odzwierciedlenie w położeniu kropli zabarwionej cieczy. Zmianę objętości cieczy  $\Delta V$  obliczamy według wzoru:

$$\Delta V = S \Delta x,$$

gdzie:  $S$  - pole poprzecznego przekroju szklanej rurki,  $\Delta x$  - zmiana położenia kropli zabarwionej cieczy.





### **Przebieg doświadczenia**

1. Za pomocą suwmiarki mierzymy wewnętrzną średnicę szklanej rurki, zapisując wynik w  $\text{cm}$ .
2. Obliczamy, wyrażając wynik w  $\text{cm}^2$ , pole poprzecznego przekroju szklanej rurki według wzoru:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

3. W naczyniu z kąpielą wodną i kolbą umieszczamy termometr i mieszadło.
4. Do poziomej rurki wprowadzamy, za pomocą strzykawki, kroplę zabarwionej cieczy.
5. Zaznaczamy pisakiem początkowe położenie kropli  $x_0$  i odczytujemy początkową temperaturę wody  $T_0$ .
6. Wyznaczamy początkową objętość gazu:  $V_0 = V_k + Sh + Sx_0$ , gdzie  $V_k$  - objętość kolby.
7. Podgrzewamy wodę w naczyniu, ciągle ją mieszając. Co dwa stopnie zaznaczamy położenie kropli zabarwionej cieczy.
8. Wyniki zapisujemy w tabeli:

Lp.	Temperatura $t [^{\circ}\text{C}]$	Temperatura $T [\text{K}]$	Położenie kropli $x [\text{cm}]$	Zmiana położenia kropli $\Delta x [\text{cm}]$	Zmiana objętości $\Delta V = \Delta x \cdot S$ $[\text{cm}^3]$	Objętość $V$ $[\text{cm}^3]$
1						
2						

9. Zależność  $V$  od  $T$  przedstawiamy na wykresie.
10. Analizujemy zjawiska fizyczne zachodzące podczas wykonywania eksperymentu.
11. Zastanawiamy się nad czynnikami, które mogły mieć wpływ na dokładność przeprowadzonych pomiarów.

## Doświadczenie nr 3.

# Termometr gazowy, temperatura zera bezwzględnego.

### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest wykorzystanie mierzalnej cechy fizycznej, jaką jest ciśnienie gazu zamkniętego w stałej objętości do określenia skali i pomiaru temperatury. W rozrzedzonych gazach temperatura jest proporcjonalna do ciśnienia:

$$T(p) = ap + b$$

„Naturalnym” zerem tak przyjętej skali temperatury będzie temperatura dla której znika ciśnienie  $T(0) = 0$ , co oznacza, że przyjmujemy  $b = 0$ . Jako drugi punkt wybieramy punkt potrójny wody, czyli stan w jakim woda może występować w trzech postaciach (stałym, ciekłym i gazowym). Stan ten jest jedynym w swoim rodzaju, a ciśnienie, przy którym może występować współistnienie trzech faz wody wynosi  $p_3 = 611,73 \text{ Pa}$ . Za temperaturę w tym punkcie przyjmujemy  $T_3 = 273,16 \text{ K}$ , czyli  $T(p_3) = T_3$ . Dzięki temu możemy wyznaczyć parametr  $a$ :

$$a = \frac{T_3}{p_3},$$

a temperatura ostatecznie wyraża się wzorem:

$$T(p) = \frac{273,16 \text{ K}}{611,73 \text{ Pa}} \cdot p$$

### Opis i schemat

Szklana kolba zanurzona w kąpielii wodnej o danej temperaturze. Połączona jest ona z U-kształtną giętką rurką, napełnioną wodą. Wolny koniec rurki możemy przesuwac w góre lub w dół. W ten sposób zapewniamy stałą objętość gazu w kolbie. Podgrzewając kąpiel zwiększamy jej temperaturę, co odczuwa gaz w kolbie, zwiększając swoją objętość. Przesuwamy wolny koniec rurki w góre (lub w dół po oziębieniu) tak, aby przywrócić pierwotną objętość gazu, po czym odczytujemy różnicę poziomów wody w rurce  $h$ .

Jeżeli poziom wody w otwartym ramieniu rurki jest wyższy niż w zamkniętym, ciśnienie  $p$  w strzykawce wyraża się wzorem:

$$p = p_{\text{atm}} + p_h,$$

w przeciwnym wypadku:

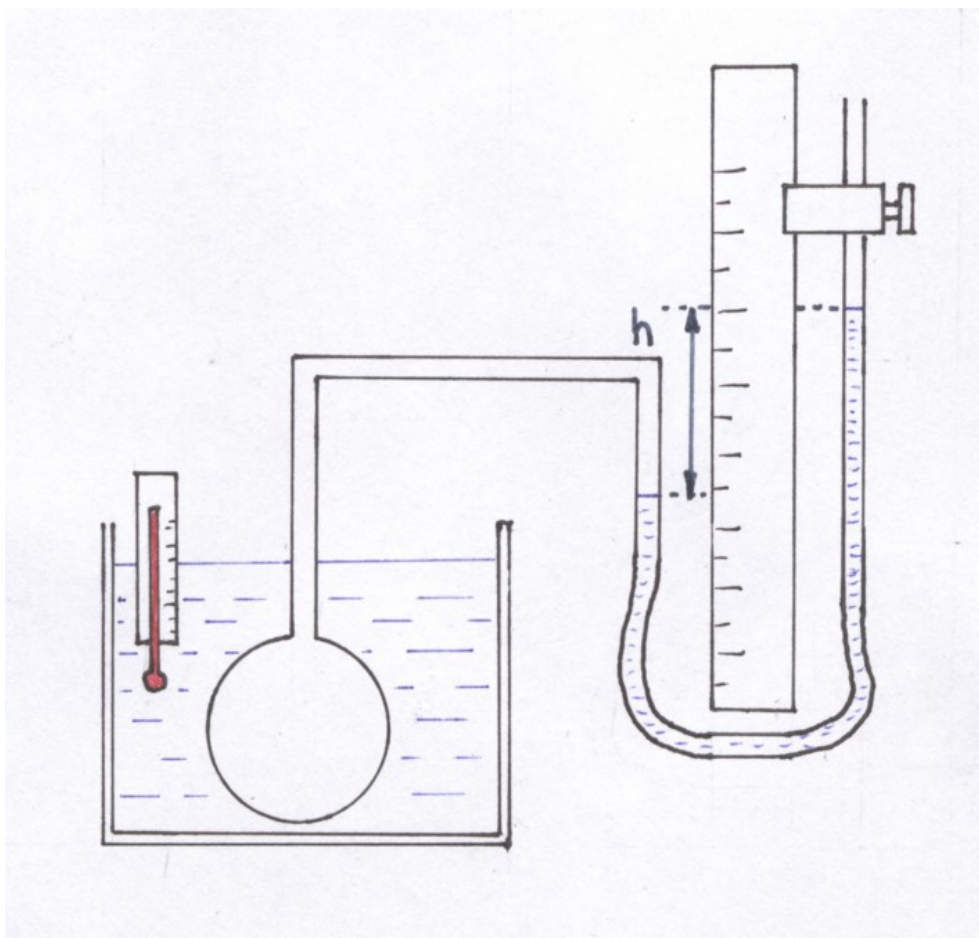
$$p = p_{\text{atm}} - p_h,$$

gdzie  $p_h$  oznacza ciśnienie, jakie wywiera słup wody o wysokości  $h$ ;  $p_{\text{atm}}$  - ciśnienie atmosferyczne.

Jeżeli poziom wody w otwartym końcu rurki jest powyżej poziomu wody w ramieniu zamkniętym, przyjmujemy wartość  $h$  dodatnią, w przeciwnym wypadku ujemną. Wówczas zależność ciśnienia gazu w strzykawce w zależności od różnicy poziomów wody w obydwu ramionach rurki zapisujemy w postaci:

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

gdzie przyjmujemy:  $\rho = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  - gęstość wody,  $g = 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$ .



### **Przebieg doświadczenia**

1. Zaznaczamy pisakiem poziom cieczy w zamkniętym ramieniu rurki. Punkt wyznacza jednocześnie objętość gazu pod ciśnieniem atmosferycznym (poziom wody w obydwu ramionach U-kształtnej rurki jest ten sam).
2. Ogrzewamy kąpiel wodną, mieszając ją.
3. Przesuwamy do góry wolne ramię rurki do momentu, gdy woda w zamkniętym ramieniu osiągnie poziom zaznaczony pisakiem.
4. Odczytujemy na przymiarze różnicę poziomu wody  $h$  w obydwu ramionach wygiętej rurki.
5. Wyznaczamy ciśnienie gazu zamkniętego w kolbie zgodnie ze wzorem:

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

6. Wyznaczamy temperaturę gazu zamkniętego w kolbie zgodnie ze wzorem:

$$T(p) = \frac{273,16 \text{ K}}{611,73 \text{ Pa}} \cdot p$$

7. Wyniki zapisujemy w tabeli:

Lp	h[cm]	p[Pa]	T[K]
1			
2			
3			

8. Zależność  $p$  od  $T$  przedstawiamy na wykresie. Następnie ekstrapolujemy prostą aż do przecięcia się jej z osią temperatury  $T$ .

9. Analizujemy zjawiska fizyczne zachodzące podczas wykonywania eksperymentu.

10. Zastanawiamy się nad czynnikami, które mogły mieć wpływ na dokładność przeprowadzonych pomiarów.

## Doświadczenie nr 4.

# Chłodzenie gazu przez rozprężanie

### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest wykazanie, że temperatura w procesie adiabatycznego rozprężania gazu obniża się.

### Opis i schemat

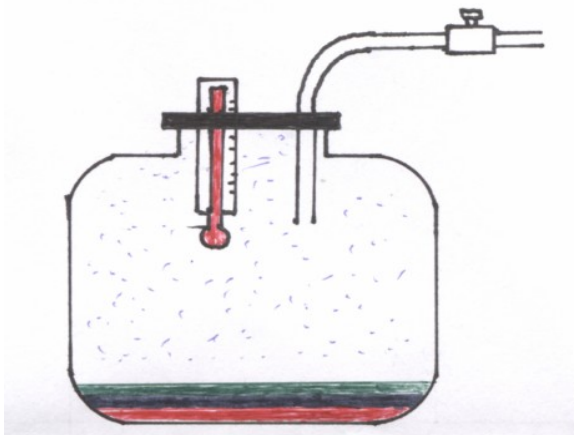
W dużym słoju szczelnie zamykanym zamontowany jest termometr i wyprowadzona jest giętka rurka z zaciskiem. Ciśnienie gazu zwiększamy doprowadzając do reakcji chemicznej określonej masy kwaśnego węgla sodowego i kwasu cytrynowego. W reakcji tej wydziela się

$\text{CO}_2$ , który będzie gazem roboczym. Aby reakcja zachodziła dopiero po szczelnym zamknięciu słoja, warstwy obydwu substancji oddzielamy warstwą skruszonego lodu. Po przereagowaniu substancji ciśnienie gazu będzie wynosić:

$$p = p_{\text{atm}} + p_{\text{CO}_2}$$

Gdy tylko temperatura zamkniętego gazu osiągnie temperaturę otoczenia izolujemy słoje i rozpoczynamy proces rozprężania zwalniając zacisk rurki.

Czynność powtarzamy zwiększając za każdym razem masę obydwu reagujących substancji, tym samym zwiększając ciśnienie gazu.



### Przebieg doświadczenia

1. Na dno słoja wsypujemy, w kolejności, kwas cytrynowy, skruszony lód, kwaśny węgiel sodowy.
2. Zamykamy słoje.
3. Czekamy do momentu gdy lód się stopi, obydwie substancje przereagują i temperatura gazu

wyrówna się z temperaturą otoczenia.

4. Izolujemy cieplnie słój.

5. Rozprężamy gaz zwalniając szybko zacisk giętkiej rurki.

6. Po rozprężeniu sprawdzamy temperaturę gazu.

7. Powyższe czynności powtarzamy, zwiększając masę substancji reagujących.

8. Wyniki zestawiamy w tabeli:

Lp	$m_{kws}$ [g]	$m_{kc}$ [g]	$t$ [°C]
1			
2			
3			

9. Analizujemy zjawiska fizyczne zachodzące podczas wykonywania eksperymentu.

## Doświadczenie nr 5.

### Mieszanina oziębiająca.

#### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest pokazanie, że temperatura zamarzania wodnego roztworu soli kuchennej jest niższa niż temperatura zamarzania wody.

#### Opis i schemat

Do wykonania tego eksperymentu potrzebne są: woreczek foliowy, skruszony lód i sól kuchenna.

#### Przebieg doświadczenia

1. Do foliowego woreczka wkładamy odważony, skruszony lód.
2. Mierzymy temperaturę lodu.
3. Do woreczka z lodem dosypujemy odważoną ilość soli.
4. Woreczek zawiązujemy i wstrząsamy nim przez 5 minut.
5. Odwiązujemy woreczek i mierzymy temperaturę powstałej mieszaniny i obserwujemy samą mieszaninę.
6. Czynność powtarzamy, dosypując za każdym razem większą ilość soli.
7. Wyniki notujemy w tabeli:

Lp	$m_{\text{soli}} [\text{g}]$	$t [^{\circ}\text{C}]$
1		
2		
3		

8. Sporządzamy wykres osiągniętej temperatury  $t$  w zależności od masy soli -  $m_{\text{soli}}$ .
9. Analizujemy zjawiska fizyczne zachodzące podczas wykonywania eksperymentu.



## Doświadczenie nr 6.

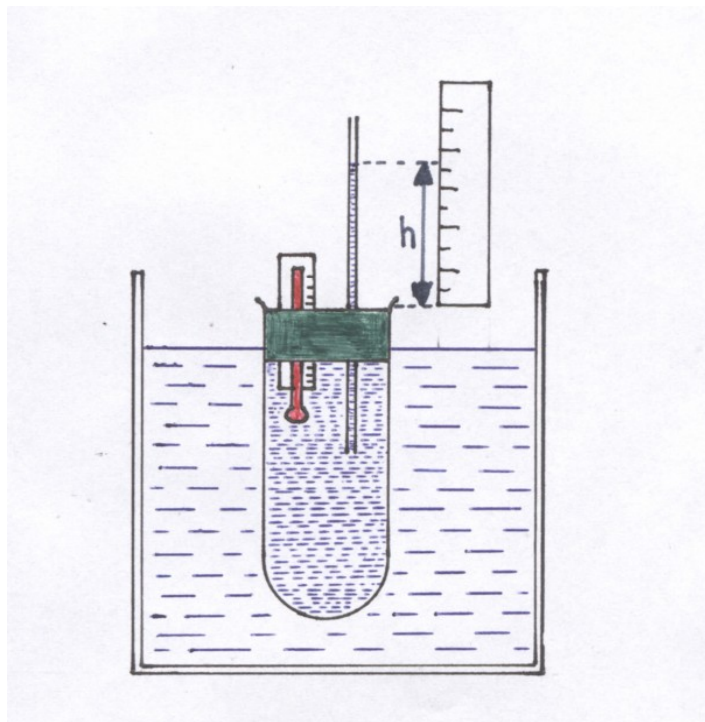
### Gęstość wody w pobliżu temperatury krzepnięcia.

#### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest pokazanie, że woda o temperaturze bliskiej  $0^{\circ}\text{C}$  zmniejsza swoją objętość przy ogrzewaniu, dopóki jej temperatura nie przekroczy  $4^{\circ}\text{C}$ . Woda zatem nie zachowuje się jak normalna, rozszerzająca się pod wpływem ogrzewania ciecz. Ta anomalia ma istotne znaczenie dla życia w środowisku wodnym.

#### Opis i schemat

Probówka z wodą o temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  zakończona jest długą, sztywną, bardzo cienką rurką, która do połowy wypełniona jest również wodą. Podczas ogrzewania wody możemy obserwować zmiany poziomu cieczy w rurce.



#### Przebieg doświadczenia

1. Do probówki nalewamy przygotowanej wody o temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ .
2. Zatykamy probówkę korkiem, następnie uzupełniamy cienką rurkę do połowy jej długości wodą za pomocą strzykawki.
3. Probówkę zanurzamy w kąpeli wodnej o temperaturze pokojowej.

4. Co 1 minutę odczytujemy temperaturę wody w probówce i zaznaczamy pisakiem poziom wody w rurce.

5. Mierzmy linijką wysokość słupka wody w cienkiej rurce -  $h$  .

6. Wyniki zapisujemy w tabeli:

Lp	$t[^\circ\text{C}]$	$h[\text{mm}]$
1		
2		
3		

7. Sporządzamy wykres  $h$  w zależności od  $t$  .

## Doświadczenie nr 7.

### Pomiar gęstości ciekłego azotu.

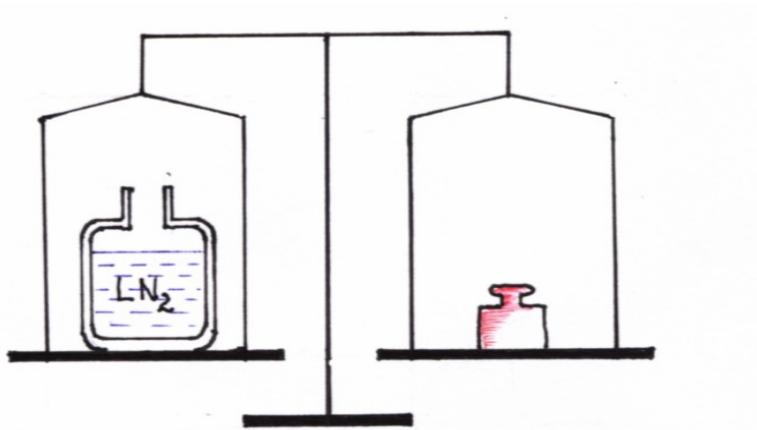
#### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest pomiar gęstości ciekłego azotu.

#### Opis i schemat

Do pomiaru gęstości ciekłego azotu używamy przezroczystego termosu, który wypełniamy ciekłym azotem. Znając masę  $m$  i objętość cieczy  $V$ , wyznaczamy jej gęstość  $\rho$  według wzoru:

$$\rho = \frac{m}{V}$$



#### Przebieg doświadczenia

1. Ważymy termos.
2. Wypełniamy termos ciekłym azotem (**wykonuje prowadzący !**).
3. Ważymy termos z ciekłym azotem (**wykonuje prowadzący !**).
4. Zaznaczamy pisakiem poziom cieczy w termosie (**wykonuje prowadzący !**).
5. Przelewamy ciekły azot do naczynia Dewara (**wykonuje prowadzący !**).
6. Pusty termos uzupełniamy wodą do poziomu, zajmowanego wcześniej przez ciekły azot.
7. Mierzymy objętość wlanej wody cylindrem pomiarowym.

8. Wyniki i obliczenia zapisujemy w tabeli:

Masa termosu [g]	Masa termosu z ciekłym azotem [g]	Objętość ciekłego azotu [cm <sup>3</sup> ]

9. Wyznaczamy masę ciekłego azotu, a następnie jego gęstość.

## Doświadczenie nr 8.

### Skraplanie argonu.

#### Cel doświadczenia

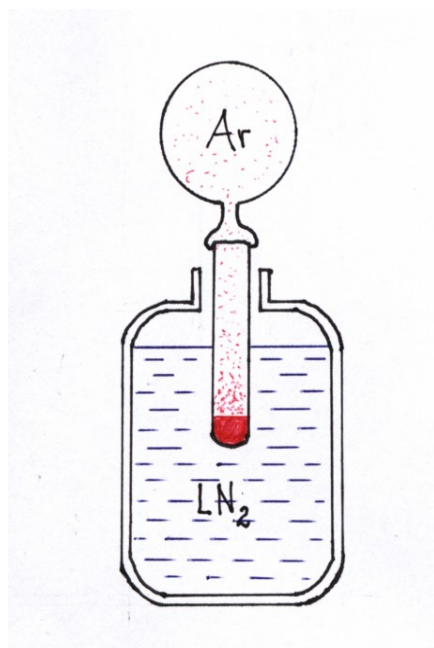
Celem doświadczenia jest skroplenie gazu szlachetnego - argonu, mającego temperaturę wrzenia niższą od temperatury wrzenia azotu.

#### Opis i schemat

Chcąc skroplić argon, napełniamy nim balonik, następnie wylot balonika łączymy z probówką ze szkła laboratoryjnego, którą zanurzamy w termosie z ciekłym azotem.

#### Przebieg doświadczenia

1. Probówkę połączoną z balonem wypełnionym gazowym argonem zanurzamy w kąpeli ciekłego azotu (**wykonuje prowadzący !**).
2. Obserwujemy zachodzący proces chłodzenia.
3. Wyjmujemy probówkę z kąpeli (**wykonuje prowadzący !**).
4. Obserwujemy wygląd otrzymanej cieczy.



## Doświadczenie nr 9.

### Chłodzenie przez parowanie.

#### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest wykazanie, że podczas procesu parowania cieczy pobierane jest ciepło z otoczenia, co może być wykorzystane do osiągnięcia niższych temperatur.

#### Opis i schemat

Butelkę zamkniętą korkiem z zamocowanym w nim termometrem obwijamy nasączonym wodą materiałem. Drugą, taką samą butelkę pozostawiamy jako kontrolną.

#### Przebieg doświadczenia

1. Mierzymy początkową temperaturę w obydwu butelkach.
2. Jedną z nich obwijamy materiałem nasączonym wodą.
3. Co 2 minuty mierzymy temperaturę w obydwu butelkach.
4. Wyniki zapisujemy w tabeli:

Lp	I butelka $t[^\circ\text{C}]$	II butelka $t[^\circ\text{C}]$
1		
2		
3		

5. Analizujemy zjawiska fizyczne zachodzące podczas wykonywania eksperymentu.

## Doświadczenie nr 10.

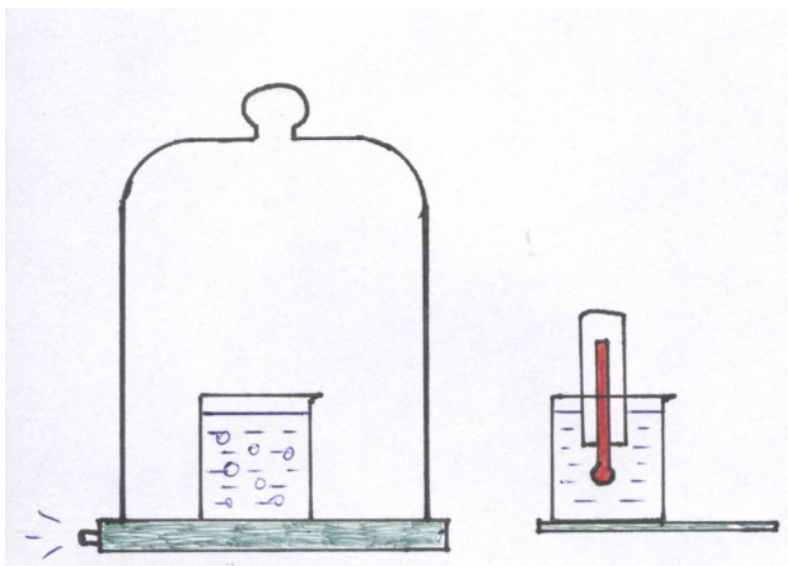
### Wrzenie pod obniżonym ciśnieniem.

#### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest wykazanie, że proces wrzenia cieczy pod obniżonym ciśnieniem prowadzi do spadku jej temperatury.

#### Opis i schemat

Zlewkę z ciepłą wodą stawiamy pod kloszem pompy próżniowej. Obserwujemy intensywne wrzenie wody na skutek obniżonego ciśnienia. Po wyjęciu zlewki spod klosza pompy woda wykazuje mniejszą temperaturę w porównaniu ze stanem początkowym, ponieważ wrzenie obniża temperaturę cieczy. Temperaturę tą możemy porównać z temperaturą ciepłej wody pozostawioną poza kloszem pompy.



#### Przebieg doświadczenia

1. Nalewamy ciepłej wody do dwóch zlewek.
2. Mierzmy temperaturę wody w zlewkach.
3. Stawiamy jedną zlewkę z wodą pod kloszem pompy próżniowej, druga pozostaje na miejscu.
4. Uruchamiamy pompę (**wykonuje prowadzący !**).
5. Obserwujemy proces.
6. Wyłączamy pompę próżniową (**wykonuje prowadzący !**).

7. Dokonujemy pomiaru temperatury wody w obydwu zlewkach.

8. Wyniki zapisujemy w tabeli:

	Temperatura początkowa	Temperatura końcowa
Woda pod kloszem		
Woda poza kloszem		

9. Wyciągamy wnioski z przeprowadzonego doświadczenia.



## Doświadczenie nr 11.

### Zestalanie ciekłego azotu.

#### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest pokazanie, że azotową ciecz możemy zestalić, doprowadzając do jej wrzenia pod obniżonym ciśnieniem.

#### Opis i schemat

Przezroczysty mały termos z ciekłym azotem stawiamy pod kloszem pompy próżniowej. Wskutek obniżenia ciśnienia ciecz intensywnie wrze. Przy odpowiedniej wartości ciśnienia wrzenie ustaje, zaczyna się pojawiać lód azotowy.

#### Przebieg doświadczenia

1. Do małego przezroczystego termosu nalewamy ciekłego azotu (**wykonuje prowadzący !**).
2. Termos stawiamy pod kloszem pompy próżniowej (**wykonuje prowadzący !**).
3. Włączamy pompę próżniową (**wykonuje prowadzący !**).
4. Obserwujemy proces.
5. Wyciągamy wnioski:

## Doświadczenie nr 12.

### Przewodnictwo metali w zależności od temperatury.

#### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest wyznaczenie oporu metali w różnych temperaturach.

#### Opis i schemat

Zależność przewodnictwa metali od temperatury wyraża wzór:

$$\rho(T) = \frac{\rho(T_0)}{1 - a(T - T_0)},$$

gdzie:  $\rho(T)$ ,  $\rho(T_0)$  to, odpowiednio, opór właściwy metalu w temperaturze  $T$  i  $T_0$  ;  
 $a$  - współczynnik temperaturowy przewodności..

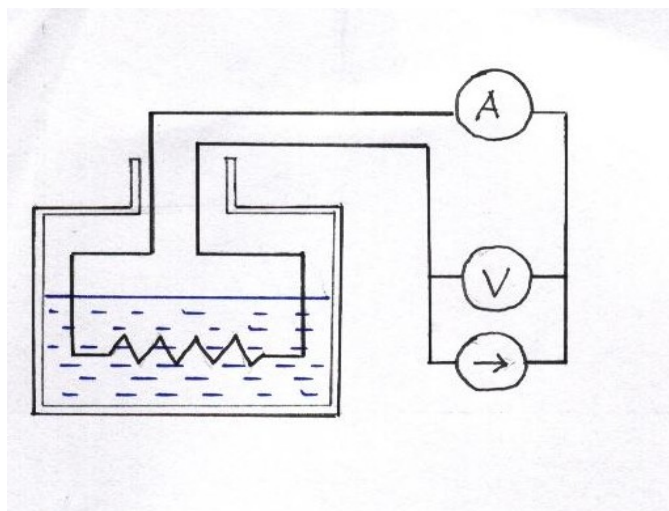
Jeżeli powyższą równość przemnożymy przez długość drutu metalowego, a podzielmy przez pole jego poprzecznego przekroju, to otrzymamy zależność oporu od temperatury:

$$R(T) = \frac{R(T_0)}{1 - a(T - T_0)},$$

Opór przewodnika w każdej temperaturze wyznaczymy przez pomiar natężenia  $I$  płynącego przez prąd w zależności od przyłożonego na napięcia  $U$ , wedle formuły:

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

Pomiary wykonujemy dla trzech substancji: miedzi, aluminium i stopu lutowniczego.



### Przebieg doświadczenia

1. W temperaturze pokojowej  $T_0$ , dla każdej z trzech substancji wykonujemy pomiary natężenia prądu  $I$  zmieniając napięcie  $U$ , a następnie wyznaczamy opór.

2. Czynność powtarzamy dla dowolnej, niższej temperatury  $T_1$  oraz dla temperatury ciekłego azotu  $T_2$  (**wykonuje prowadzący !**).

3. Wyniki zapisujemy w tabeli:

Lp	I[A]	U[V]	R[Ω]
$T_0$ [K]			
1			
2			
3			
Wartość średnia			
$T_1$ [K]			
1			
$T_2$ [K]			
2			

4. Z otrzymanych pomiarów wnioskujemy o zależności oporu badanych przewodników od temperatury.

## Doświadczenie nr 13.

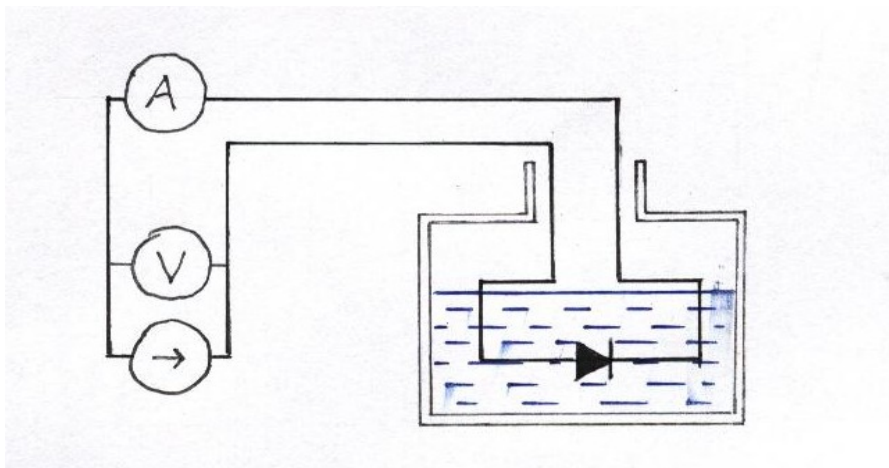
# Właściwości elementów półprzewodnikowych w zależności od temperatury.

### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej dla diody półprzewodnikowej w różnych temperaturach.

### Opis i schemat

Elementy półprzewodnikowe takie jak dioda wykazują nieliniową charakterystykę prądowo-napięciową, tzn. wykres natężenia prądu  $I$  od napięcia  $U$  nie jest linią prostą. Kształt tej charakterystyki wytycza zastosowanie danego elementu półprzewodnikowego w elektronice.



### Przebieg doświadczenia

1. W temperaturze pokojowej  $T_0$ , wykonujemy pomiary natężenia prądu  $I$  zmieniając napięcie  $U$ .
2. Czynność powtarzamy dla dowolnej, niższej temperatury  $T_1$  oraz dla temperatury ciekłego azotu  $T_2$  (**wykonuje prowadzący !**).

3. Wyniki zapisujemy w tabeli:

Lp	I[mA]	U[V]
$T_0$ [K]		
1		
2		
3		
$T_1$ [K]		
1		
2		
3		
$T_2$ [K]		
1		
2		
3		

4. Sporządzamy wykres zależności natężenia  $I$  od napięcia  $U$  dla trzech temperatur.

## Doświadczenie nr 14.

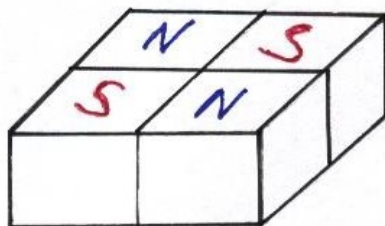
# Lewitacja diamagnetyka i nadprzewodnika.

### Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest pokaz niezwyklej właściwości, jakiej doznają niektóre materiały w temperaturze ciekłego azotu – nadprzewodnictwa. Nadprzewodnictwo odkryte zostało w 1911 roku przez Kamerlingh-Onnesa, objawiało się zanikiem oporu elektrycznego. Było to zjawisko efektowne, prowokujące i wskazywało na użyteczność w przyszłości.

### Opis i schemat

W doświadczeniu używamy płytki grafitu pyrolitycznego oraz pastylki nadprzewodnika wysokotemperaturowego w polu magnetycznym kostki złożonej z magnesów neodymowych, ustawionych naprzemiennie biegunami.



### Przebieg doświadczenia

1. Płytkę grafitu pyrolitycznego ustawiamy na środku utworzonej kostki.
2. Obserwujemy zachowanie się materiału.
3. Pastylkę nadprzewodnika zanurzamy w kąpeli ciekłego azotu (**wykonuje prowadzący !**), a następnie ustawiamy na środku kostki magnetycznej.
4. Obserwujemy zachowanie się materiału.

## Literatura

Przy wyborze niektórych doświadczeń wykorzystano pakiety, opracowane wcześniej w ramach projektu *FENIKS*:

1. pakiet UJK - Ciepło i silniki
2. pakiet UJ - Zimno, zimniej, najzimniej – od lodów do kriogeniki
3. pakiet UJK - Ładunki, prądy, magnesy

Ponadto pomocne okazały się książki:

- K. Mendelssohn – Na drodze do zera bezwzględnego – PWN  
M. W. Zemansky – Temperatury bardzo niskie i bardzo wysokie – PWN  
P. G. Hewitt – Fizyka wokół nas – PWN