

Wydział WI	Imię i nazwisko 1. Dominik Marek 2. Maciej Nowakowski	Rok II	Grupa 8	Zespół 4
PRACOWNIA FIZYCZNA WFİS AGH	Temat: <u>Fale podłużne w ciałach stałych</u>			Nr ćwiczenia 113
Data wykonania 24.10.2023	Data oddania 31.10.2023	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia
				OCENA

1.Cel ćwiczenia

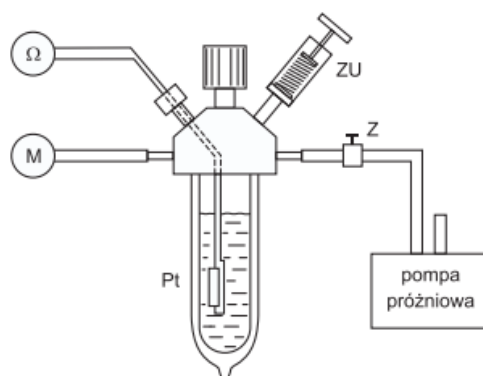
Celem ćwiczenia było zapoznanie się z urządzeniami kriogenicznymi wykorzystującymi ciekły azot. Wyznaczenie ciepła parowania ciekłego azotu oraz zależności temperatury wrzenia od ciśnienia. Ponadto zestalenie azotu pod obniżonym ciśnieniem oraz pomiar parametrów punktu potrójnego.

2.Wstęp teoretyczny

Kriogenika to dziedzina nauki i techniki zajmująca się badaniem i wykorzystaniem niskich temperatur. Kriogenika jest nie do pomyślenia bez zastosowania cieczy kriogenicznych czyli cieczy o niskich temperaturach wrzenia. Najpowszechniej używaną cieczą kriogeniczną jest ciekły azot, który pod ciśnieniem atmosferycznym wrze w temperaturze $T_w = 77,3 \text{ K}$, a krystalizuje w ciało stałe w temperaturze topnienia $T_t = 63,1 \text{ K}$. Ze wzrostem ciśnienia rośnie temperatura wrzenia aż do osiągnięcia punktu krytycznego K, przy którym zanika różnica między cieczą i gazem. Obniżanie ciśnienia powoduje obniżenie temperatury wrzenia aż do osiągnięcia punktu potrójnego P, w którym ciekły azot zaczyna krzepnąć. W punkcie potrójnym koegzystują w stanie równowagi termodynamicznej wszystkie trzy stany skupienia, stały, ciekły i gazowy.

3.Układ pomiarowy.

Eksperymenty pod ciśnieniem tak wyższym, jak i niższym od atmosferycznego umożliwia specjalnie skonstruowany kriostat ze szklanym naczyniem Dewara(rys. 4)., omomierz do pomiaru rezystencji oraz pompa próżniowa.



Rys. 4. Układ pomiarowy do wyznaczenia zależności temperatury wrzenia azotu od ciśnienia i do uzyskiwania zestalonego azotu

Kriostat składa się z 5 głównych elementów:

- szklanego naczynia Dewara o cylindrycznym kształcie
- manometru mechanicznego, mierzącego różnicę między ciśnieniem w kriostacie i atmosferycznym
- opornika platynowego służącego do pomiaru temperatury
- otworu wlewowego umożliwiającego aplikację ciekłego azotu do naczynia
- zaworu upustowego chroniącego przed niebezpiecznym wzrostem ciśnienia wewnątrz kriostatu
- połączenia z pompą próżniową umożliwiającą regulację ciśnienia w kriostacie

4.Przebieg doświadczenia

Po napełnieniu kriostatu ciekłym azotem dokonaliśmy pomiaru temperatury wrzenia pod ciśnieniem atmosferycznym. Następnie zamknąwszy otwór wlewowy, przy pomocy pompy próżniowej zwiększaliśmy ciśnienie w naczyniu o ok. 0.1 atm aż do osiągnięcia nadciśnienia 1 atm. Dla kolejnych wartości ciśnienia odczytywaliśmy wartość temperatury wrzenia.

Analogiczne kroki wykonaliśmy podczas pomiaru temperatury wrzenia przy ciśnieniu mniejszym od atmosferycznego. Dodatkowo po osiągnięciu punktu potrójnego, w którym występują w stanie równowagi termodynamicznej wszystkie trzy stany skupienia, stały, ciekły i gazowy, odczytaliśmy jego współrzędne.

5. Niepewności pomiarowe

- Niepewność omomierza 0,01Ω.

- Niepewność barometru w urządzeniu z ciekłym azotem: 0,05 bara.

6. Dane pomiarowe:

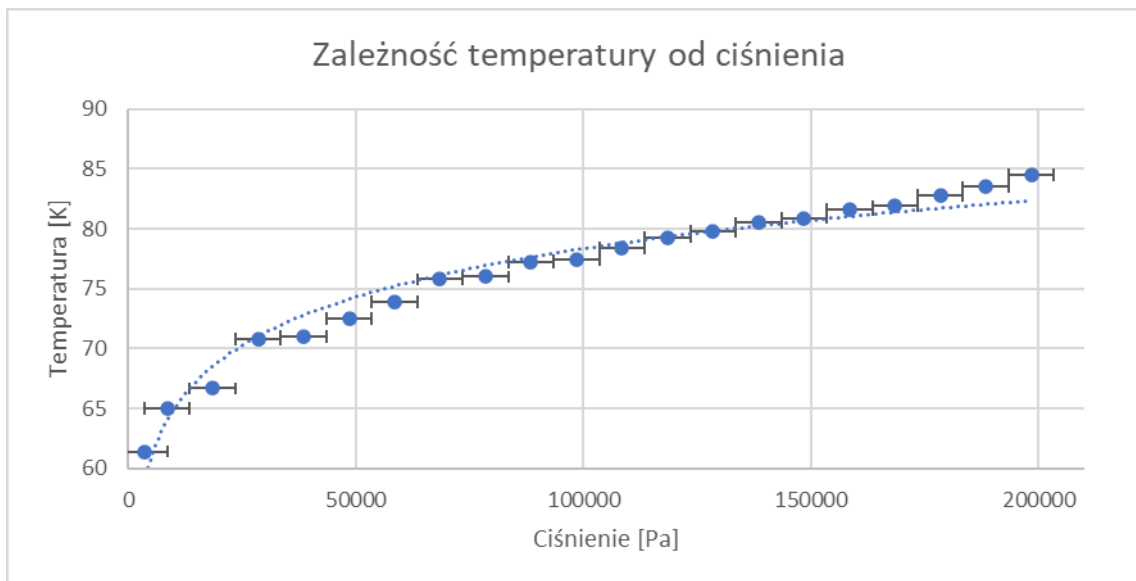
Ciśnienie atmosferyczne: $P_{atm} = -985$ hPa.

Tabela z pomiarami temperatury wrzenia azotu.

Ciśnienie [Bar]	Opór [Ω]	Temperatura[K]
-0,95	13,62	61,4
-0,9	15,15	65,0
-0,8	15,84	66,7
-0,7	17,51	70,8
-0,6	17,63	71,0
-0,5	18,24	72,5
-0,4	18,80	73,9
-0,3	19,57	75,8
-0,2	19,73	76,0
-0,1	20,20	77,2

Ciśnienie [Bar]	Opór [Ω]	Temperatura[K]
0	20,33	77,4
0,1	20,70	78,4
0,2	21,06	79,3
0,3	21,30	79,8
0,4	21,63	80,5
0,5	21,79	80,9
0,6	22,11	81,6
0,7	22,34	81,9
0,8	22,60	82,8
0,9	22,87	83,5
1	23,31	84,5

7. Opracowanie danych



Wykres ten przedstawia punkty, wraz z dopasowaną do nich funkcją logarytmiczną. Pod uwagę nie braliśmy pierwszego punktu przy wyliczaniu wartości funkcji logarytmicznej, ponieważ był to punkt, dla którego dochodziło do krystalizacji azotu. Następnie przy pomocy Excela dla pozostałych punktów wyliczyliśmy wartości funkcji logarytmicznej w postaci:

$$y = a \cdot \ln x + b$$

Wyliczona funkcja miała współczynniki:

$a = 6,418$ oraz $b = 4,062$

Znajdujemy wzór stycznej prostej do wykresu logarytmicznego dla wartości $p = 1$ at, przy użyciu tego wzoru, gdzie za x_0 przyjmujemy $1 \text{ at} = 101325 \text{ Pa}$

$$y = f'(x_0) \cdot (x - x_0) + f(x_0)$$

$$y = \frac{6,418K}{x_0} \cdot (x - x_0) + 6,418 \frac{K}{Pa} \ln(x_0) + 4,062K =$$

$$= 6,335 \cdot 10^{-5} \frac{K}{Pa} + 71.61K$$

Z tego równania wynika, że $\frac{dT}{dp} = 6,335 \cdot 10^{-5} \frac{K}{Pa}$

$$T = 6,418 \frac{K}{Pa} \ln(101325)Pa + 4,062K = 78,0364K \approx 78.04K$$

Objętości właściwe obliczamy na podstawie tabelarycznej gęstości ciekłego azotu oraz równania stanu gazu doskonałego:

$$\rho = \frac{0,808 \text{ g}}{\text{cm}^3} \Rightarrow V_1 = 1,2376 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 = 1,2376 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \approx 0,0012 \text{ m}^3$$

$$p = 10,13 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1000 \text{ g}}{28 \text{ g}} = 35,71 \text{ mol}$$

$$pV_2 = nRT \Rightarrow V_2 = \frac{nRT}{p} = \frac{35,71 \text{ mol} * 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} * 77,17 \text{ K}}{10,13 * 10^4 \text{ Pa}} = 0,2261 \text{ m}^3$$

$$V_2 - V_1 = 0,2248 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{parowania}} = \frac{T(V_2 - V_1)}{\frac{dT}{dp}} = \frac{78,04 \text{ K} * 0,2248 \text{ m}^3}{6,335 * 10^{-5} \frac{\text{K}}{\text{Pa}}} = 276928 \text{ J}$$

Ciepło parowania było liczone dla kg, więc dla grama wynosi $276 \frac{\text{J}}{\text{g}}$

Otrzymana wartość jest o 38% większa niż wartość tabelaryczna wynosząca $199 \frac{\text{J}}{\text{g}}$.

Współrzędne punktu potrójnego:

Temperatura [K]	Ciśnienie [Bar]
61,4	0,05

Porównanie zmierzonych wartości z wartościami tablicowymi:

Wielkość	Zmierzona wartość	Wartość tabelaryczna
Temperatura wrzenia w ciśnieniu atmosferycznym	78,04K	77,2K
Temperatura punktu potrójnego	61,4K	63K
Temperatura topnienia	61,4K	63K

8. Wnioski

Podsumowując otrzymane wartości temperatury wrzenia azotu w ciśnieniu atmosferycznym oraz temperatura punktu potrójnego są zbliżone do wartości tabelarycznych. Natomiast wartość ciepła parowania jest znacząco większa od oczekiwanej wartości. Rozbieżność ta mogła być spowodowana, trudnością odczytania oporu dokładnie w momencie rozpoczęcia wrzenia azotu, spowodowaną ciągłym oblodzeniem naczynia Dewara, oraz nie równym poziomem cieczy dla poszczególnych wartości ciśnienia, spowodowanym parowaniem azotu. Ponadto na wynik doświadczenia mogły też mieć wpływ zbyt gwałtowne zmiany ciśnienia przy użyciu pompy próżniowej.