

LABORATORIUM Z KRIOGENIKI

TEMAT: Uzyskiwanie niskich temperatur poprzez obniżanie ciśnienia wrzenia kriogenu.

1. Wstęp

Analizując własności czynników np. kriogenicznych łatwo dojść do wniosku, iż jednym ze sposobów obniżania temperatury jest obniżanie ciśnienia nasycenia par czynnika.

Temperatury nasycenia przy ciśnieniu atmosferycznym dla wybranych czynników kriogenicznych zestawione są w Tabeli 1.

TABELA 1

Ciecz	T _N [K]	T _{Tr} [K]	P _{Tr} [kPa]	T _{Kr} [K]	P _{Kr} [MPa]
He	4,2	---	---	5,2	0,229
H	20,3	13,80	7,04	33,0	1,29
Ne	27,1	24,5	43,35	44,5	2,73
N ₂	77,3	63,15	12,46	126,2	3,39
Ar	87,3	83,8	68,90	150,9	4,90
O ₂	90,2	54,35	0,14	154,6	5,04
CO	91,6	68,12	15,43	132,9	3,50
CH ₄	111,6	90,68	11,74	190,5	4,60

T_N, T_{Tr}, T_{Kr} – temperatury odpowiednio: wrzenia w warunkach normalnych, punktu potrójnego, krytyczna; P_{Tr}, P_{Kr} - ciśnienia odpowiednio: punktu potrójnego i punktu krytycznego

Możliwość obniżania temperatury wraz ze spadkiem ciśnienia nasycenia bezpośrednio opisuje także równanie Clausiusa-Clapeyrona (1).

$$\frac{dp_s}{dT_s} = \frac{r}{T_s(v'' - v')} \quad (1)$$

gdzie: v to objętość właściwa, wskaźnik $''$ dotyczy pary nasyconej suchej, zaś wskaźnik $'$ wrzającej cieczy przy ciśnieniu p_s i temperaturze T_s , r – ciepło parowania.

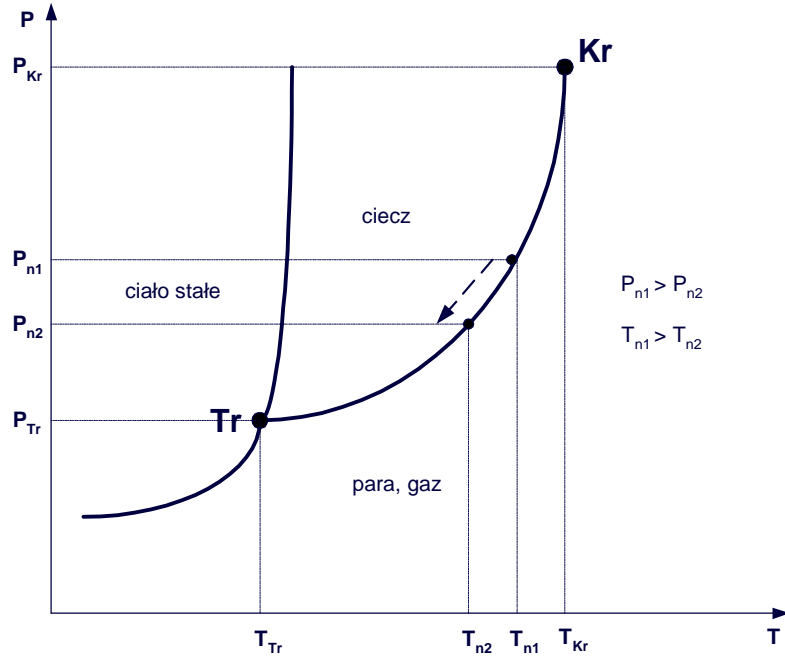
Dla celów praktycznych wykorzystuje się równanie Antoine'a (2), które wynika z przekształcenia zależności (1).

$$\ln p_s = A - \frac{B}{T_s} - C \ln T_s \quad (2)$$

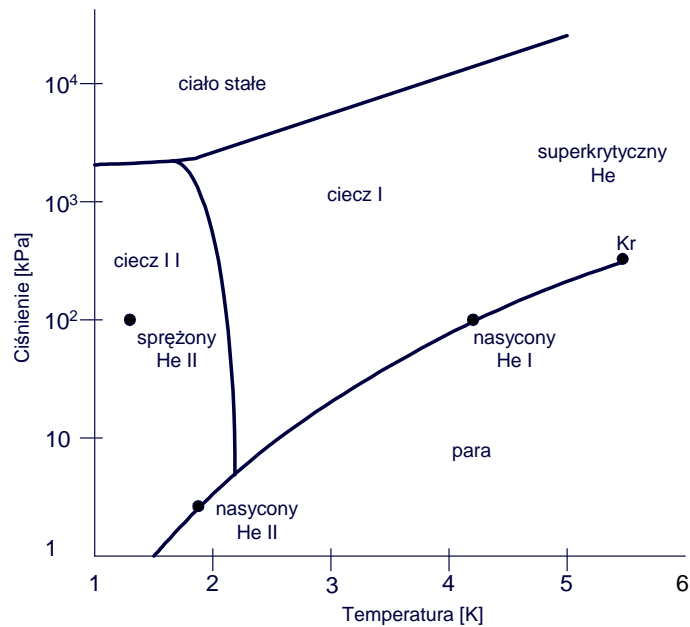
Wielkości A, B, C są to stałe wyznaczone eksperymentalnie i charakterystyczne dla każdego czynnika.

Proces obniżania temperatury w łatwy sposób można przeanalizować na wykresie współistnienia (równowagi) faz. Oprócz helu wszystkie kriogeny charakteryzują się typowym wykresem fazowym (Rys.1), na którym rozgraniczone faza gazowa, ciekła i stała współistnieją ze sobą w punkcie zwanym potrójnym (hel go nie posiada). Punkt potrójny (Tr) określa graniczną temperaturę cieczy, osiągalną na skutek obniżania ciśnienia (patrz Tabela 1). W technice minimalna osiągalna temperatura jest zazwyczaj o jeden stopień wyższa od T_{Tr}. W przypadku helu po odpowiednim obniżeniu ciśnienia nasycenia osiąga się stan nadcieczy (Rys.2). Wynika stąd teoretyczna nieograniczoność obniżania temperatury, jednak w praktyce, ze względów technicznych, obniżając ciśnienie nie osiąga się temperatur niższych niż 0,7 K dla ⁴He i 0,3 K dla ³He.

Obniżając w taki sposób temperaturę czynnika kriogenicznego zwiększa się zakres wykorzystania danego kriogenu (np. do kriostatowania kabli nadprzewodzących – co w tym przypadku jednocześnie wiąże się z osiąganymi parametrami technicznym materiałów nadprzewodzących).



Rys.1. Schematyczny wykres równowagi fazowej.



Rys.2. Wykres równowagi fazowej helu.

2. Sposoby realizacji ziębienia na przykładzie LN₂

Istnieją dwa podstawowe sposoby realizowania procesu obniżania ciśnienia nasycenia a tym samym obniżania temperatury. Schematycznie przedstawione są one na Rys.3.

Pierwszy z nich (Rys.3a) polega na bezpośrednim odpompowywaniu par czynnika z nadłustra cieczy. Jest to najprostszy sposób, jednak nie zawsze korzystny. Ze względu na to, że proces ten przebiega bezpośrednio na granicy faz, dlatego mamy do czynienia z ośrodkiem dwufazowym. Mogą więc lokalnie występować pęcherze gazu, które w przypadku kriostatowanej próbki znajdującej się bezpośrednio w odparowywującej cieczy kriogenicznej, niekorzystnie wpływają na wymiany ciepła. Kolejną wadą jest fakt, że w takim układzie zawsze panuje podciśnienie w związku z czym w przypadku powstania nieszczelności do środka zawsze dostaje się powietrze z otoczenia zanieczyszczając układ (z podstaw bezpiecznego posługiwania się kriocieczami wiadomo, że jest to zjawisko szczególnie niepożądane).

Zdecydowanie odbiega się od takiego problemu, gdy proces obniżania temperatury realizowany jest według schematu przedstawionego na Rys.3b.

Odparowywanie czynnika zachodzi w tym przypadku w wężownicy. Ciepło odbierane przez parujący w wężownicy czynnik powoduje jednocześnie obniżenie temperatury cieczy kriostatującej. Ciśnienie czynnika, w którym znajduje się próbka jest równe ciśnieniu otoczenia, zapobiegamy więc przedostaniu się zanieczyszczeń do układu. Oddalamy się także od linii nasycenia czynnika – znika więc problem dwufazowości. Odpowiednie nastawy na zaworze regulacyjnym pozwalają doprowadzać do wężownicy taką ilość czynnika, który wrząc nie doprowadzi do lokalnych przechłodeń w pobliżu zaworu. W prostszy i bardziej kontrolowany sposób można uniknąć zbyt dużych gradientów temperatur niż ma to miejsce w przypadku pierwszym.

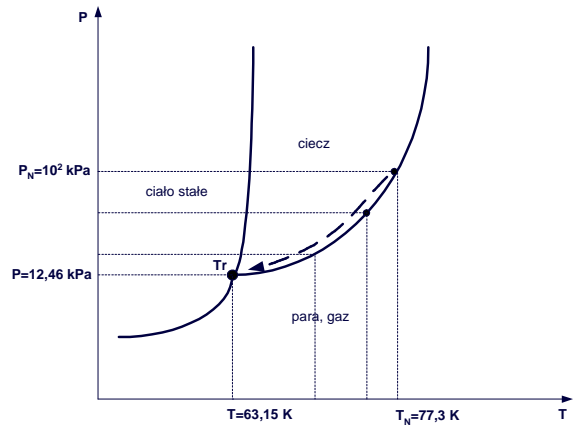
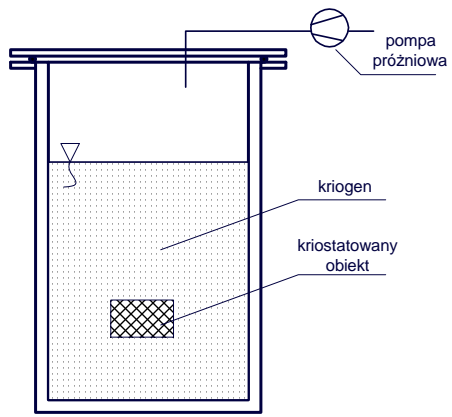
3. Wykonanie ćwiczenia

W oparciu o koncepcje urządzenia przedstawioną na Rys.3b zbudowano kriostat wykorzystywany do celów kriostatowania próbki taśmy nadprzewodnika wysokotemperaturowego w ciekłym azocie.

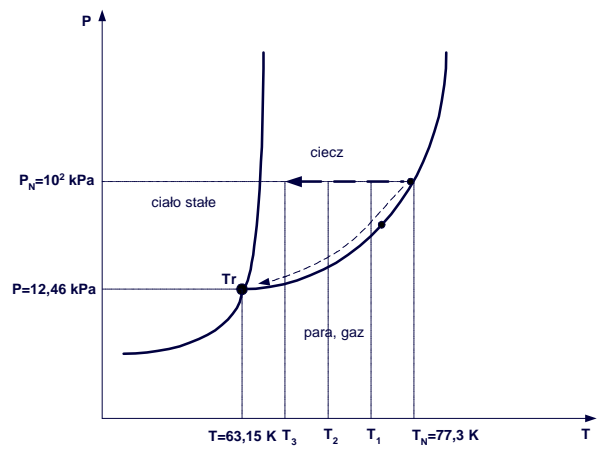
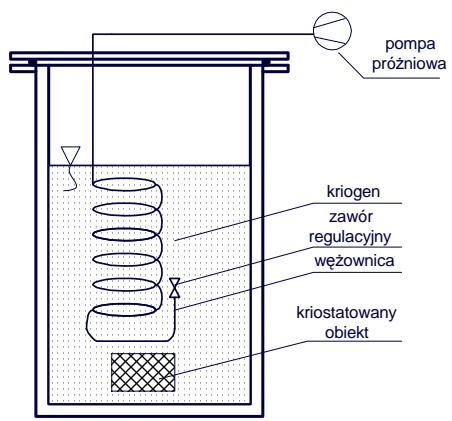
Celem ćwiczenia jest sporządzenie charakterystyki zmiany temperatury kriocieczy w czasie pompowania czynnika oraz zbadanie w jaki sposób zmienia się prąd krytyczny nadprzewodnika wraz ze spadkiem temperatury.

Aby wykonać ćwiczenie należy kolejno:

- zalać kriostat azotem
- umieścić w nim wężownicę
- podłączyć pompę próżniową
- rejestrować co pół minuty zmiany temperatury o
- rejestrować odpowiadające im zmiany prądu krytycznego próbki przyjmując za kryterium wyjścia ze stany nadprzewodzącego następująca zależność:
mierzone na próbce zmiany napięcia powinny być rzędu 1 μ V na 1cm długości próbki.



a)



b)

Rys.3. Sposoby realizacji procesu obniżania temperatury poprzez obniżanie ciśnienia