

Politechnika Wrocławska  
Katedra Inżynierii Kriogenicznej, Lotniczej i Procesowej

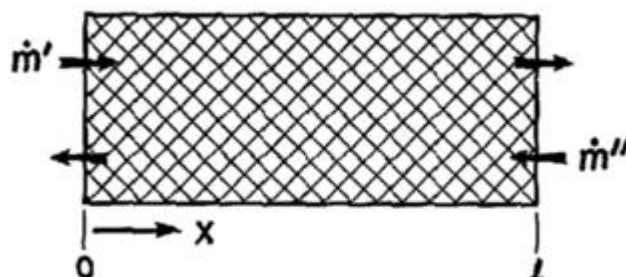
**LABORATORIUM Z PODSTAW KRIOGENIKI**

**ĆWICZENIE NR 5:**  
**WYDAJNOŚĆ CIEPLNA CHŁODZIARKI**  
**TYPU GIFFORD - MCMAHON**

## WSTĘP

### Regeneracyjne wymienniki ciepła.

Chłodziarki typu Gifford McMahon, obok chłodziarek typu np. Stirlinga czy rur pulsacyjnych, są przykładem technicznego wykorzystania regeneracyjnych wymienników ciepła. Zasady działania regeneracyjnego wymiennika ciepła przedstawia rys 1.

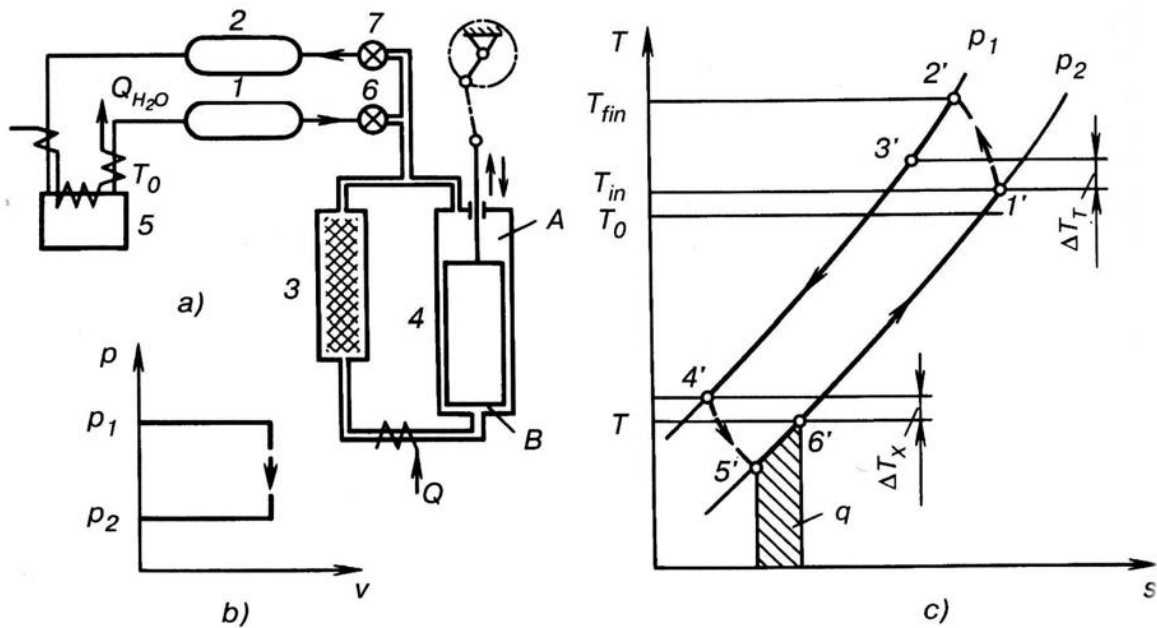


Rys. 1. Zasada działania regeneratora.

Przez regenerator gaz przepływa cyklicznie raz w jednym, raz w drugim kierunku. W trakcie przepływu przez regenerator ciepły gaz będący pod wysokim ciśnieniem oziębia się, następnie przechodzi przemianę, w której jego temperatura jeszcze bardziej obniża się i ponownie przepływając przez regenerator ogrzewa się, oziębiając równocześnie wypełnienie regeneratora. Regeneratory pracują zawsze w sposób niestacjonarny. Wypełnieniem regeneratora powinien być materiał porowaty o dużej pojemności cieplnej (np. kulki ołowiane). Zgodnie z III Zasadą Termodynamiki (Teoremat Nernsta) w temperaturach bliskich temperaturze zera bezwzględnego pojemności cieplne wszystkich materiałów dążą do zera. Stąd istnieją materiałowe trudności budowy regeneratorów przeznaczonych do pracy w temperaturach niższych od 10 K. Trudność tę pokonano stosując do budowy regeneratorów materiały magnetyczne, w których przemiana namagnesowania zachodzi w bardzo niskich temperaturach. Obecnie chłodziarki gazowe z regeneratorami osiągają temperatury rzędu kilku K.

### Budowa chłodziarki typu Gifford - McMahon

W trakcie obrad Międzynarodowego Kongresu Chłodziarstwa w Kopenhadze w roku 1959 W.E. Gifford oraz H.O. McMahon zademonstrowali oryginalną chłodziarkę gazową, w której procesem prowadzącym do uzyskania niskich temperatur był proces swobodnego wypływu. Schemat chłodziarki Gifforda-McMahona został pokazany na rys. 2.



Rys. 2. Chłodziarka Gifforda-McMahona, a) - schemat, b) - odwzorowanie procesów w układzie  $p$ - $v$ , c) - odwzorowanie procesów w układzie  $T$ - $s$ , 1, 2 - zbiorniki wyrównujące ciśnienie gazu, 3 - regenerator, 4 - cylinder roboczy z tłokiem, 5 - sprężarka, 6, 7 - zawory wlotowy i wylotowy, A - część wysokotemperaturowa cylindra, B - część niskotemperaturowa cylindra.

### Praca chłodziarki typu Gifford – McMahon

Cykl pracy chłodziarki składa się z czterech etapów:

#### 1. Napełnianie gazem.

Tłok znajduje się w dolnym położeniu, zawór wlotowy jest otwarty. Gaz o temperaturze  $T_0$  wpływa do "cieplej" części cylindra 4, w wyniku sprężania gazu znajdującego się już w cylindrze i mieszaniu go z gazem nowo napływającym temperatura gazu podnosi się i osiąga wartość  $T_{fin}$  (proces 1' - 2' na rys. 2 c):

#### 2. Przetłaczanie gazu.

Przy otwartym zaworze wlotowym następuje ruch tłoka w górę. Gaz zostaje przetłoczony przez regenerator do niskotemperaturowej komory B. Ponieważ regenerator jest zimny z poprzedniego cyklu, gaz obniża swoją temperaturę do wartości  $T_4'$ . W wyniku oziębiania maleje objętość gazu. Przez otwarty zawór wlotowy do komory zimnej wpływa dodatkowa porcja gazu.

#### 3. Wypływ swobodny gazu.

Kiedy tłok osiąga górny martwy punkt zawór wlotowy się zamyka, natomiast zawór wylotowy się otwiera. Następuje nierównowagowy proces swobodnego wypływu gazu. Temperatura i ciśnienie w komorze zimnej obniżają się (przemiana 4' - 5'). Wytworzona zostaje moc chłodnicza  $q$  i gaz pozostały w komorze zimnej ogrzewa się do temperatury 6' na skutek dopływu ciepła od kriostatowanego obiektu.

#### 4. Opróżnianie komory zimnej.

Po zakończeniu procesu swobodnego wypływu rozpoczyna się ruch tłoka w dół przy otwartym zaworze wylotowym. Pozostały w komorze zimnej gaz zostaje ogrzany w regeneratorze i przetłoczony do komory ciepłej. W trakcie ogrzewania objętość gazu rośnie i jego nadmiar wypływa przez zawór wylotowy. Kiedy tłok osiąga dolne martwe położenie, zawór wylotowy zamyka się i cykl się powtarza.

Przyjmując pełną regenerację ciepła w regeneratorze i adiabatyczność ścianek cylindra, całe ciepło wytworzone podczas napełniania komory ciepłej i sprężania znajdującej się w niej początkowej ilości gazu i przekazane regeneratorowi, musi zostać całkowicie usunięte przez zimny gaz powracający przez regenerator i oddane do otoczenia. Ponieważ tłok przesuwa się tylko przy otwartych zaworach i przy braku oporów hydraulicznych regeneratora nie wykonuje żadnej pracy, chłodziarka może wytwarzać moc chłodniczą jedynie wtedy kiedy strumień zimnego gazu ogrzeje się w regeneratorze do temperatury  $T_1'$  wyższej od temperatury otoczenia - porównaj rys. 2 c.

## PRZEBIEG ĆWICZENIA

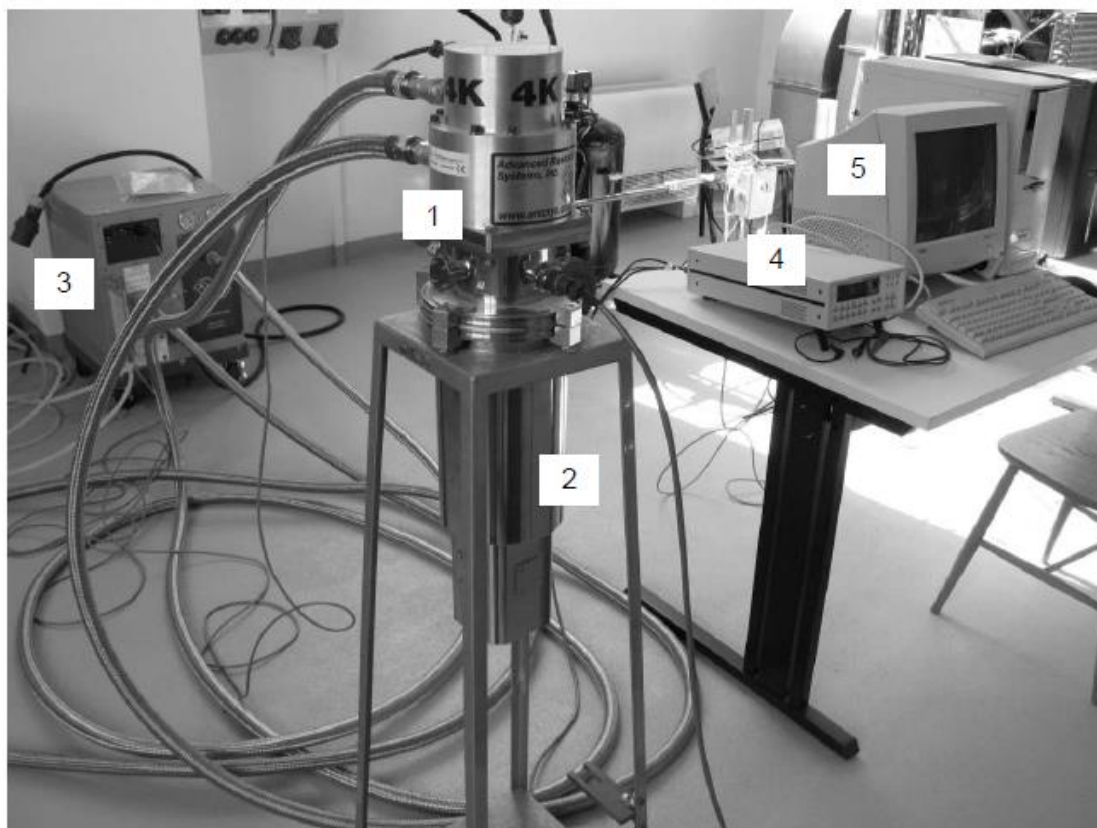
### Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest:

1. Wyznaczenie czasu rozruchu chłodziarki typu Gifford – McMahon
2. Wyznaczenie minimalnej temperatury chłodziarki
3. Określenie wydajności cieplnej chłodziarki dla różnych poziomów temperatury zimnej głowicy chłodziarki

### Opis stanowiska:

Widok stanowiska przedstawia rys. 3. Głównym elementem stanowiska jest dwustopniowa chłodziarka typu Gifford-McMahon DE – 210SF firmy Advanced Research Systems ([www.arscryo.com](http://www.arscryo.com)), której szczegółowy widok przedstawiono na rys. 4. Chłodziarka współpracującej z kompresorem helu poprzez elastyczne węże wypełnione helum. Zimna głowica chłodziarki znajduje się we wnętrzu zbiornika próżniowego, w którym wytwarza się próżnię izolującej termicznie o wartości poniżej  $1 \cdot 10^{-3}$  Pa. Na zimnej głowicy chłodziarki umieszczony jest czujnik temperatury (dioda silikonowa typu DT-670) oraz grzejniki elektryczny o oporze  $55 \Omega$ , dzięki czemu możliwe jest monitorowanie oraz regulowanie poziomu temperatury głowicy za pomocą regulatora Lake Shore type 331S, umieszczonego na zewnątrz układu.



Rys. 3 Stanowisko do badań wydajności chłodziarki typu Gifford-McMahon: 1- dwustopniowa chłodziarka Gifford'a McMahon'a, 2- zbiornik próżniowy, 3- kompresor helu, 4- czujnik temperatury, 5- system akwizycji danych

Maksymalne moc cieplne układu regulacji wynosi 55W.

Regulator temperatury wyświetla aktualną temperaturę zimnej głowicy chłodziarki, temperaturę zadaną oraz aktualną moc grzania układu regulacji (w % mocy maksymalnej). Regulator podłączony jest do komputerowego systemu akwizycji danych, dzięki czemu możliwa jest zapisywanie wskazań regulatora w stałym odstępie czasu.



Rys 4. Widok dwustopniowej chłodziarki typu Gifford Mcmahon (Foto: www.arscryo.com)

#### Zadania do wykonania:

1. Wytworzyć próżnię izolacyjną wokół zimnej głowicy chłodziarki
2. Uruchomić sprężarkę helu i chłodziarkę
3. Monitorować zmianę temperatury zimnej głowicy chłodziarki  $T$  do czasu osiągnięcia stabilnej, minimalnej temperatury głowicy. Temperaturę  $T$  notować co 1 min.
4. Na regulatorze temperatury ustawić kolejny poziom temperatury zimnej głowicy chłodziarki  $T$ . Monitorować temperaturę  $T$  do czasu ustabilizowania się tej temperatury.
5. Dla stabilnej temperatury z regulatora temperatury odczytać moc cieplną  $Q$  rozpraszaną na zimnej głowicy chłodziarki.
6. Kroki z punktów 4 i 5 powtórzyć dla następujących temperatur  $T$  zimnej głowicy: 5K, 10K, 20K, 30K, 50K i 77.3K

#### Zasady bezpieczeństwa:

Studenci są zobowiązani do zachowania ostrożności podczas kontaktów z przewodami elektrycznymi z uwagi na ryzyko porażenia prądem.

#### Zadania:

1. Na podstawie pomiarów narysować charakterystykę schładzania chłodziarki
2. Określić minimalną temperaturę chłodziarki oraz czas rozruchu chłodziarki (czas po jakim chłodziarka osiągnie minimalną temperaturę)
3. Opracować charakterystykę chłodziarki we współrzędnych  $Q-T$