



Szkoła z przyszłością

szkolenie współfinansowane przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Narodowe Centrum Badań Jądrowych, ul. Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock-Świerk

ĆWICZENIE	LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ
20a	Sprężarkowa pompa ciepła
Data pomiaru:	
Imię i nazwisko:	
Imię i nazwisko:	

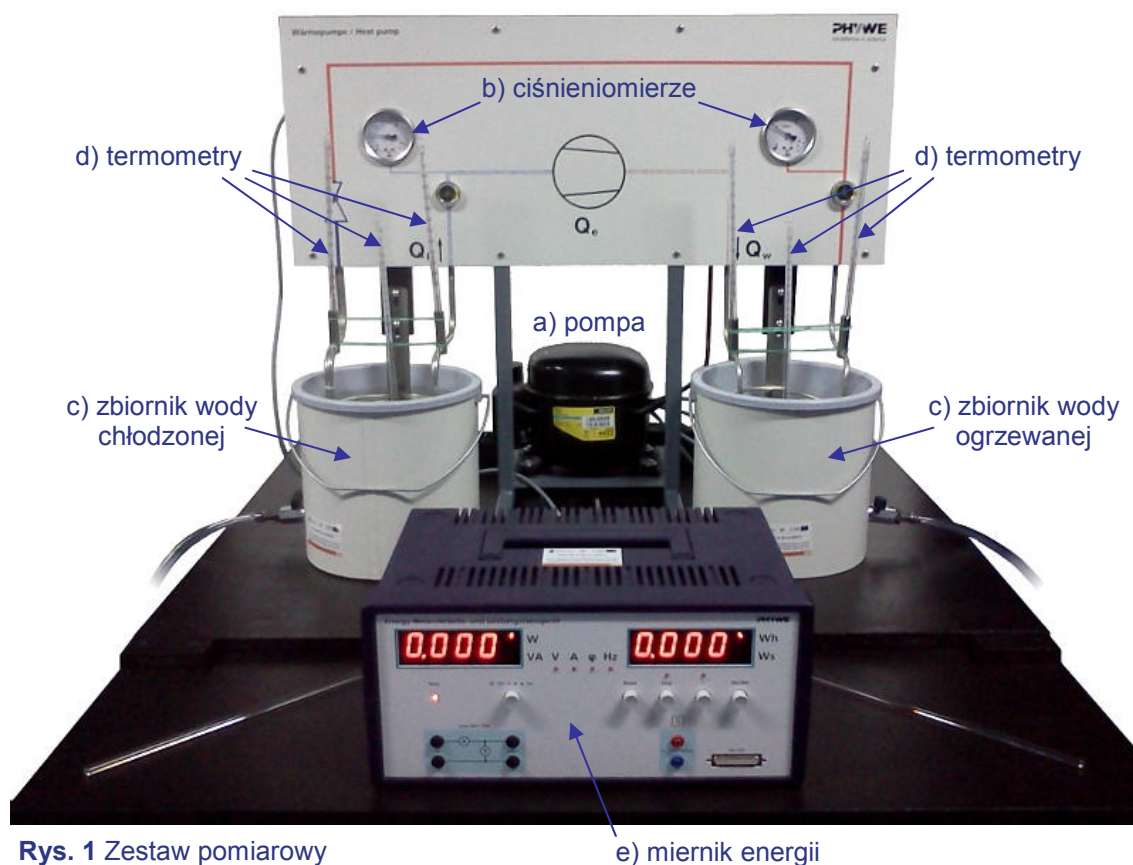
1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania pompy ciepła oraz zmierzenie faktycznych możliwości transportu ciepła przy jej pomocy, a także oszacowanie sprawności tego procesu.

2. UKŁAD DOŚWIADCZALNY

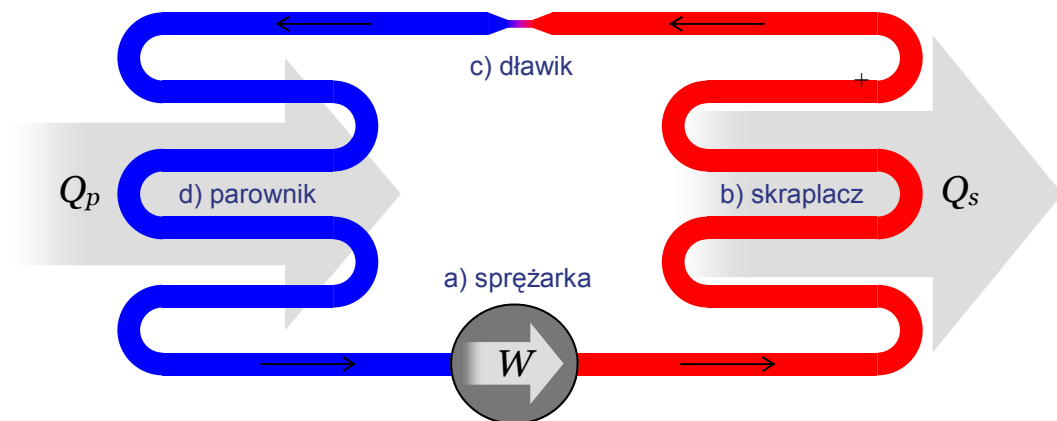
Zestaw doświadczalny stanowią:

- sprężarkowa pompa ciepła (rys. 1a) z wbudowanymi miernikami ciśnienia czynnika roboczego (rys. 1b),
- dwa izolowane zbiorniki wody (rys. 1c),
- zestaw termometrów do pomiaru temperatury różnych części układu (rys. 1d),
- miernik energii elektrycznej (rys. 1e).



Rys. 1 Zestaw pomiarowy

e) miernik energii



Rys. 2 Schemat działania sprężarkowej pompy ciepła

3. WSTĘP TEORETYCZNY

Pompami ciepła nazywa się urządzenia, które potrafią transportować ciepło z jednego miejsca do innego, nawet wbrew jego naturalnemu przepływowi. Zgodnie z prawami fizyki (i zdrowego rozsądku) ciepło przepływa od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej, podobnie jak woda spływa z góry do dołu. Pompa ciepła potrafi natomiast przetransportować ciepło z ciała zimniejszego do ciała cieplejszego, podobnie jak pompa wody potrafi przetransportować tę ciecz pod górę.

Pompy ciepła znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach życia, a najczęściej spotykane są w lodówkach, zamrażarkach i klimatyzatorach. Stosuje się zwykle pompy ciepła, w których odpowiednia substancja (np. freon lub amoniak) sprężana jest w jednym miejscu, a rozprężana w innym. Przed sprężeniem substancja ta (zwana czynnikiem roboczym) ma postać gazu. Sprężanie (rys. 2a) powoduje, że wzrasta ciśnienie, a wraz z nim temperatura tego gazu. Przepływa on wtedy przez pierwszy wymiennik ciepła (w lodówkach zamontowany zwykle za tylną ścianką) i oddaje energię do otoczenia, które jest zimniejsze niż on sam. Wymiana ciepła jest szczególnie duża, jeśli w tym wymienniku zachodzi zjawisko skraplania, stąd ten pierwszy wymiennik ciepła nazywa się często skraplaczem (rys. 2b), a parametry pracy pompy dobiera się tak, by to skraplanie następowało. Wynika to z tego, że wszystkie przemiany fazowe, takie jak np. skraplanie, krzepnięcie, topnienie i parowanie, związane są z większą zmianą energii wewnętrznej większości substancji niż zwykła zmiana temperatury. W wypadku skraplania i krzepnięcia energia substancji oddawana jest do otoczenia, a topnienie i parowanie wymagają dostarczenia odpowiedniej porcji energii. Na przykład, żeby zagotować wodę (czyli przemienić ją w parę wodną) nie wystarczy podgrzanie do 100°C. Trzeba dostarczyć jej jeszcze trochę energii, która pozwoli cząsteczkom wody odrywać się od powierzchni cieczy i przechodzić w stan gazowy.

Po przejściu przez skraplacz czynnik roboczy przepuszczany jest przez odpowiedni dławik (lub jego odpowiednik), który powoduje rozprężanie (rys. 2c). Następuje spadek ciśnienia, czyli także spadek temperatury i substancja kierowana jest do drugiego wymiennika ciepła, w którym ogrzewa się od otoczenia (w lodówce następuje to w jej wnętrzu). Ten drugi wymiennik ciepła jest nazywany często parownikiem (rys. 2d), ponieważ zwykle następuje w nim proces parowania czynnika roboczego (o ile poprzednio był on skroplony). Podobnie jak w przypadku skraplania, parowanie powoduje odebranie od otoczenia większej ilości ciepła niż zwykła zmiana temperatury. Odparowany czynnik roboczy trafia z powrotem do sprężarki i obieg się zamyka.

W całym tym cyklu spełniona musi być zasada zachowania energii i nie jest możliwe odprowadzenie większej ilości ciepła z parownika (Q_p) niż ta, która wydzielana jest na skraplaczu (Q_s). Wynika to z tego, że pompa potrzebuje dodatkowej energii, by móc wymusić obieg czynnika roboczego. Jest to praca W wprowadzona do układu. W przypadku idealnym suma pracy i ciepła odebranego w parowniku byłaby równa ciepłu wydzielonemu w skraplaczu ($W + Q_p = Q_s$), ale wszystkie maszyny rzeczywiste cechuje pewna strata energii, stąd wydzielone ciepło jest nieco mniejsze od tej sumy ($W + Q_p > Q_s$). Za miarę sprawności pompy ciepła powinno się zatem przyjmować stosunek wyrażony następującym wzorem:

$$\eta = \frac{Q_s}{W + Q_p} \quad (1)$$

Mówiąc o sprawności ciekawe jest to, że niektóre parametry pomp ciepła mylnie wskazują na ich sprawność większą od 100%. Na przykład nawet rzeczywiste maszyny mogą oddać ciepło ponad 2 razy większe niż włożona praca i odebrać ciepło nieco większe niż ta praca. Oczywiście nie przeczy to zasadzie zachowania energii, bo powyższe zależności pozostają spełnione, ale pokazuje unikalne możliwości układów takich jak pompy ciepła. Stąd coraz powszechniej stosuje się je nie tylko w sprężeniu chłodzącym, ale także do ogrzewania budynków mieszkalnych.

Ciepło dostarczone lub odebrane materii, w której nie zachodzą przemiany fazowe, oznacza zmianę temperatury proporcjonalną do jego ilości i wyraża się wzorem:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (2)$$

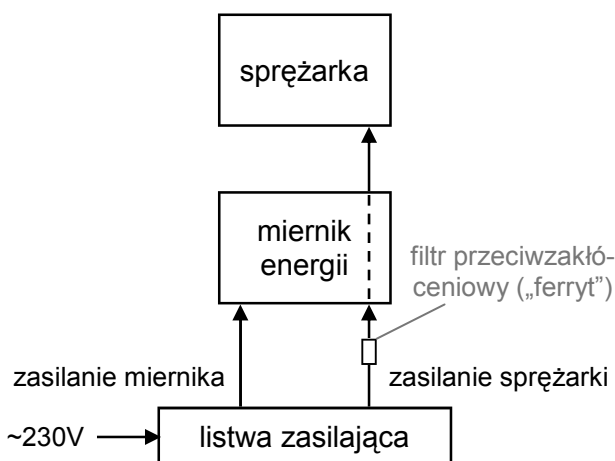
gdzie Q oznacza ciepło, m – masę ogrzanej lub oziębionej substancji, ΔT – różnicę temperatur uzyskaną w wyniku dostarczenia lub odebrania ciepła, zaś c to ciepło właściwe danej substancji. Różne substancje charakteryzują się różnymi wartościami ciepła właściwego, które dodatkowo zależy też od ich stanu skupienia, a w wielu przypadkach także od innych czynników (np. dla gazów od sposobu ogrzewania). W większości obliczeń można jednak przyjąć, że ciepło właściwe jest stałą materiałową. Przykładowe wartości ciepła właściwego wynoszą:

- dla wody w postaci ciekłej $c \approx 4185 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
- dla wody w postaci stałej (czyli lodu) $c \approx 2100 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
- dla wody w postaci gazowej (czyli pary wodnej) $c \approx 1850 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
- dla miedzi w postaci stałej $c \approx 383 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
- dla mosiądzu w postaci stałej $c \approx 381 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
- dla glinu (aluminium) w postaci stałej $c \approx 900 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Dla porównania ciepło oddawane przez wodę podczas krzepnięcia (i pobierane podczas topnienia lodu) wynosi ok. $334\,000 \text{ J/kg}$, a ciepło parowania wody to aż ok. $2\,260\,000 \text{ J/kg}$! Oznacza to, że jeśli pompa ciepła doprowadzi ochładzaną wodę do stanu krzepnięcia, to będzie od niej pobierać ciepło bez zmiany temperatury, póki woda nie zmieni się w lód. Podobnie aby doprowadzić wodę do całkowitego odparowania, trzeba dostarczyć jej energię dużo większą niż ta potrzebna do jej ogrzania do 100°C .

4. PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA

A) Przy pomocy dołączonego naczynia wypełnić wodą z kranu oba izolowane zbiorniki tak, aby poziom wody zakrywał wymienniki ciepła w zbiornikach. Zanotować, jaka masa wody znalazła się w każdym ze zbiorników. **UWAGA: przed nalaniem wody sprawdzić, czy zawory do opróżniania zbiorników są zamknięte! Nalewając wodę należy uważać, by nie uszkodzić żadnego z termometrów! W razie potrzeby odłożyć je w bezpieczne miejsce, a po nalaniu wody włożyć z powrotem. UWAGA: końcówki niektórych z termometrów posmarowane są termoprzewodzącą pastą silikonową!**



Rys. 3 Połączenie przewodów elektrycznych

B) Sprawdzić połączenia przewodów układu pomiarowego wedle rys. 3. W razie wątpliwości skonsultować się z obsługą laboratorium. Po sprawdzeniu włączyć zasilanie przedłużacza i miernika energii (przyciskiem na tylnej ścianie obudowy).

C) Na mierniku energii przełącznikiem „W VA V A ϕ Hz” ustawić podgląd pobieranej mocy w watach na lewym wyświetlaczu, zaś przełącznikiem „Ws/Wh” ustawić podgląd pobranej energii w watogodzinach. Wybór odpowiedniej funkcji wyświetlacza potwierdza zapalenie się odpowiedniej diody. Diody nad przyciskami „Stop” i „t” powinny być wyłączone. Wyświetlacz pobranej energii powinien wyświetlać zero – w razie potrzeby zresetować wyświetlacz pobranej energii przyciskiem „Reset”.

D) W pierwszym wierszu tabeli 1 zanotować wartości temperatur odczytane z każdego z termometrów (numerację termometrów można dobrać dowolnie tak, aby odczyt odbywał się jak najsprawniej).

E) O pełnej minucie wskazywanej przez zegar włączyć zasilanie pompy ciepła (przyciskiem na lewej bocznej ścianie). Zapisać godzinę rozpoczęcia pomiaru w odpowiednim miejscu tabeli.

F) Dokładnie co 2 minuty (nie przerywając pracy urządzeń) zapisywać wartość energii pobranej przez sprężarkę, wartości wszystkich mierzonych temperatur oraz godzinę wykonania pomiaru. Obok wartości zmierzonych zapisać ich oszacowane niepewności pomiarowe. Starać się, by czas odczytu i zapisywania wyników był jak najkrótszy. W razie przeoczenia dokładnej godziny zrobić odstęp w tabeli i przejść na następnego najbliższego pomiaru odsuniętego od poprzedniego o wielokrotność pełnych 2 minut. Pomiędzy odczytami wodę w obu zbiornikach **delikatnie** mieszać przy pomocy dołączonych szklanych pałeczek (tzw. bagietek), by wyrównać rozkłady temperatur.

G) Pomiary przeprowadzać przez pół godziny lub aż do pojawienia się w wodzie chłodzonej oznak krystalizacji lodu (w zależności od tego, co nastąpi szybciej). Po wykonaniu ostatniego pomiaru wyłączyć zasilanie pompy ciepła i zatrzymać działanie miernika energii przyciskiem „Stop”.

H) Wykonać wspólny wykres zależności wszystkich zmierzonych temperatur od czasu, najlepiej używając różnych kolorów i oznaczeń punktów (np. kółka, „iksy”, „plusy” itp.) dla każdego z termometrów. Jakie wnioski można wyciągnąć z tego wykresu?

I) Z różnicy temperatur wody na początku i na końcu pomiaru (ale przed rozpoczęciem krzepnięcia wody chłodzonej!) obliczyć całkowitą ilość ciepła odebranego w parowniku Q_p , ciepła wydzielonego w skraplaczu Q_s i porównać te wielkości z całkowitą pracą włożoną w sprężarkę W . Zakładając, że pojemność cieplna innych części układu jest pomijalna w porównaniu do pojemności cieplnej wody obliczyć sprawność pompy ciepła η wyrażoną wzorem (1) oraz przeprowadzić analizę niepewności pomiarowych. Jakie wnioski można wyciągnąć z tych obliczeń?

J) Po zakończeniu pracy wyłączyć zasilanie wszystkich urządzeń elektrycznych oraz opróżnić zbiorniki wody. W celu wylania wody należy skorzystać z zaworów wbudowanych w zbiorniki i przelać większość wody do podstawionego naczynia, a z niego do zlewu. Gdy takie usuwanie wody będzie już niemożliwe, unieść lekko zbiornik, usunąć półkę pod nim, wyprowadzić zbiornik w dół i pozostałą w nim resztkę wody wylać bezpośrednio do zlewu. **UWAGA: wykonywać to w dwie osoby oraz za wiedzą obsługi laboratorium! Uważać, by nie uszkodzić parownika, skraplacza, a także znajdujących się w układzie termometrów!**

ĆWICZENIE 20a	LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ Sprężarkowa pompa ciepła
Data pomiaru:..... Imię i nazwisko:..... Imię i nazwisko:..... Szkoła, klasa:.....	

Masa wody w zbiorniku parownika $m_p = \dots \pm \dots$ kg

Masa wody w zbiorniku skraplacza $m_s = \dots \pm \dots$ kg

Całkowita różnica temperatur wody chłodzonej $\Delta T_p = \dots \pm \dots$ °C

Całkowita różnica temperatur wody ogrzewanej $\Delta T_s = \dots \pm \dots$ °C

Całkowite ciepło odebrane z parownika $Q_p = \dots \pm \dots$ J

Całkowite ciepło wydzielone na skraplaczu $Q_s = \dots \pm \dots$ J

Całkowita włożona praca $W = \dots \pm \dots$ Wh = $\dots \pm \dots$ J

Sprawność pompy ciepła $\eta = \dots \pm \dots$

TABELA 1

godzina [hh:mm]	W [Wh]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	T_5 [°C]	T_6 [°C]
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±
	±	±	±	±	±	±	±