



DLF

**DYDAKTYCZNE
LABORATORIUM
FIZYCZNE**

Instytut Fizyki Doświadczalnej
Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki
UNIwersytet Gdański

Ćwiczenie 9

Wyznaczanie parametrów technicznych silnika Stirlinga



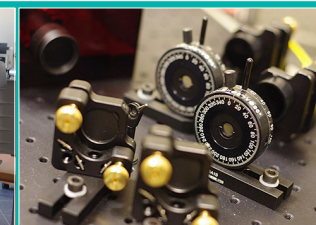
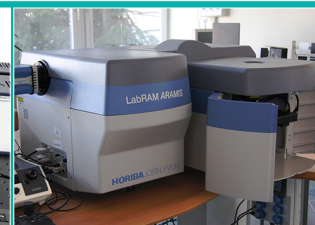
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIwersytet Gdański



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

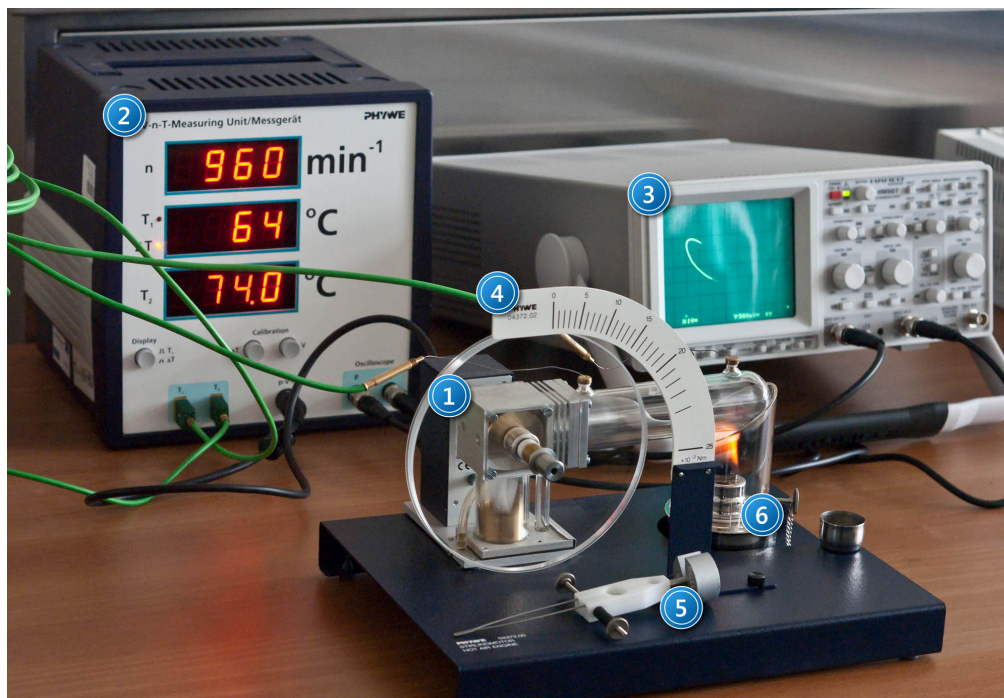


I. Zagadnienia do opracowania.

1. Ruch obrotowy jednostajny:
 - a) prędkość kątowna;
 - b) prędkość liniowa;
 - c) moment obrotowy;
 - d) moc w ruchu obrotowym;
 - e) moment bezwładności.
2. Pomiar temperatury i skale termometryczne.
3. Budowa i zastosowanie termopar.
4. Ciepło właściwe, parowania, spalania cieczy.
5. Przemiany stanu gazów:
 - a) równanie stanu gazu doskonałego;
 - b) przemiana izotermiczna;
 - c) przemiana izochoryczna;
 - d) przemiana izobaryczna.
6. Pierwsza i druga zasada termodynamiki.
7. Cykl Carnota:
 - a) równanie adiabaty;
 - b) równanie izotermy;
 - c) energia wewnętrzna ciała roboczego;
 - d) twierdzenie Carnota.
8. Silniki cieplne.
9. Silniki Stirlinga:
 - a) budowa i zasada działania;
 - b) wady i zalety silnika Stirlinga;
 - c) zastosowanie silników Stirlinga.

II. Zadania doświadczalne.

1. Zapoznać się z układem pomiarowym widocznym na *Zdjęciu 1*.



Zdjęcie 1. Układ pomiarowy z silnikiem Stirlinga: 1 – model silnika Stirlinga; 2 – miernik p-V-n-T; 3 – oscyloskop; 4– skala miernicza; 5 – miernik momentu obrotowego; 6 – palnik z założonym kominem.

2. Przygotować układ do rozpoczęcia pomiarów zgodnie z opisem w *Dodatku A*.
3. Wyznaczyć moc P_H palnika. W tym celu zważyć palnik z metanolem przed rozpoczęciem pomiarów. Zapalić palnik, założyć komin oraz rozpocząć pomiar czasu. Po zakończeniu wszystkich pomiarów i zgaszeniu palnika, niezwłocznie zanotować wskazanie stopera i ponownie zważyć palnik.



UWAGA!

Zapalenie palnika może się odbyć tylko w obecności prowadzącego ćwiczenie.

4. Uruchomić model silnika Stirlinga. W tym celu przełączyć miernik p-V-n-T w tryb różnic temperatur i odczekać, aż ΔT wyniesie $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, po czym zainicjować ruch silnika, lekko popychając ręką koło silnika w prawą stronę.
Odczekać około 5 minut na stabilizację układu.
5. Wyznaczyć pracę W_{pV} wykonywaną przez silnik w jednym cyklu pracy.
W tym celu oszacować pole pod wykresem pV widocznym na ekranie oscyloskopu.

Opis proponowanego sposobu szacowania znajduje się w *Dodatku B*.

Stosowane przeliczniki:

- przelicznik ciśnienia: 1 V = 329 hPa,
 - przelicznik objętości: 1 V = 2,4 cm³.
6. Wykonać pomiary momentu obrotowego M silnika od wartości 0 do 18 Nm \cdot 10⁻³ na jego skali co jedną podziałkę. W tym celu ostrożnie założyć na silnik miernik momentu obrotowego (1 na *Zdjęciu 2*) tak, aby nie wpadł w oscylacje po czym stopniowo zwiększać moment obrotowy, zwiększając zacisk miernika (2 na *Zdjęciu 2*). Dla każdej wartości momentu obrotowego notować wartości częstotliwości f oraz temperatur T_1 i T_2 .



Zdjęcie 2. Uruchomiony silnik Stirlinga: 1 – miernik momentu obrotowego; 2 – śruba zaciskowa miernika; 3 – skala miernika; 4 – palnik z kominem.

7. Obliczyć pracę W_m i moc mechaniczną P_m silnika, a także pracę siły tarcia W_{fr} podczas jednego cyklu pracy silnika. Wyniki i obliczenia uzyskane w poleceniach w części II. ująć w tabeli, której proponowany układ znajduje się poniżej.

Tabela 1: Przykładowa tabela do wykonania obliczeń w ćwiczeniu.

lp.	f [min ⁻¹]	f [s ⁻¹]	M [Nm \cdot 10 ⁻³]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	ΔT [K]	W_m [mJ]	P_m [mW]	W_{fr} [mJ]

8. Sporządzić wykres zależności pracy mechanicznej i pracy siły tarcia od częstotliwości oraz wykres zależność mocy mechanicznej od częstotliwości. Wyciągnąć wnioski z otrzymanych zależności.
9. Na podstawie wyników pomiarowych dla maksymalnej wartości mocy mechanicznej obliczyć:
- a) liczbę moli gazu roboczego (do obliczeń przyjąć $p = 1013$ hPa, $V = 38$ cm³);
 - b) sprawność mechaniczną;
 - c) sprawność całkowitą;
 - d) sprawność Carnota.

III. Zestaw przyrządów.

1. Model silnika Stirlinga.
2. Miernik p-V-n-T.
3. Oscyloskop.
4. Miernik momentu obrotowego ze skalą.
5. Dwie termopary.
6. Palnik z nakładanym kominem.
7. Stoper

IV. Literatura.

1. I. W. Sawieliew – „Kurs fizyki”, T.1 „Mechanika. Fizyka cząsteczkowa”, PWN, Warszawa 2000.
2. R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands – „Feynmana wykłady z fizyki”. T. 1., 2, PWN, 2004.
3. A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski – „Wstęp do fizyki”. T. 2, Cz. 2, PWN, Warszawa 1990.
4. S. Żmudzki – „Silniki Stirlinga” – WNT, Warszawa 1993.
5. F. Wolańczyk – „Termodynamika”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2007.
6. Cz. Bobrowski – „Fizyka – krótki kurs”, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1998.
7. J. Kociński – „Wstęp do fizyki współczesnej”, T.1, PWN Warszawa 1977.
8. A.N. Matwiejew – „Fizyka cząsteczkowa”, PWN, Warszawa 1989.
9. J. Orear – „Fizyka”, T.1, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1998.
10. L.N. Cooper – „Istota i struktura fizyki”, PWN, Warszawa 1975.
11. B. Jaworski, A. Dietłaf, L. Miłkowska, G. Siergiejew – „Kurs fizyki”, T.1., PWN, Warszawa 1974.
12. PHYWE Handbook „Laboratory Experiments Physics”, P2360415 „Stirling Engine”.
13. R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands – “The Feynman Lectures on Physics”, Wesley 2005.
14. J. Orear – “Physics”, Macmillan Publishing Co., Inc., 1979.
15. L.N. Cooper – “An Introduction to the Meaning and Structure of Physics”, Harper & Row, 1968.

Dodatek A

Przygotowanie układu do pomiarów

I. Przygotowanie układu do pomiarów obejmuje:

1. uzupełnienie zawartości paliwa w zbiorniku;
2. zamontowanie skali do pomiaru momentu obrotowego;
3. podłączenie przewodów w układzie;
4. uruchomienie i kalibrację miernika p-V-n-T;
5. uruchomienie i skonfigurowanie oscyloskopu.

II. Uzupelnienie zawartości paliwa w zbiorniku.



Zdjęcie 3. Widok palnika: 1 – nakrętka; 2 – zbiornik; 3 – komin palnika.

1. Wlać paliwo (metanol) do pojemnika (2 na Zdjęciu 3).
2. Założyć i dobrze zakręcić nakrętkę.

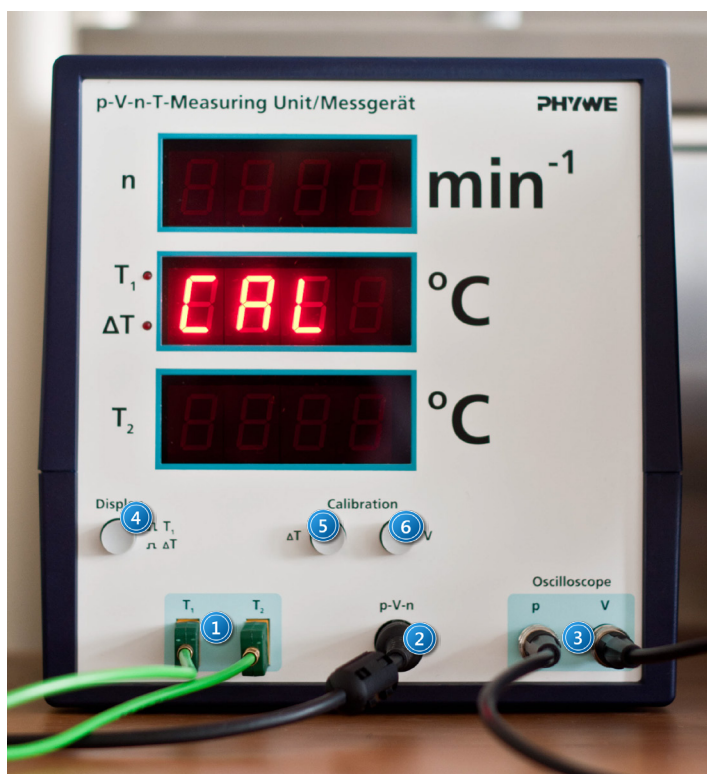


Wskazówka

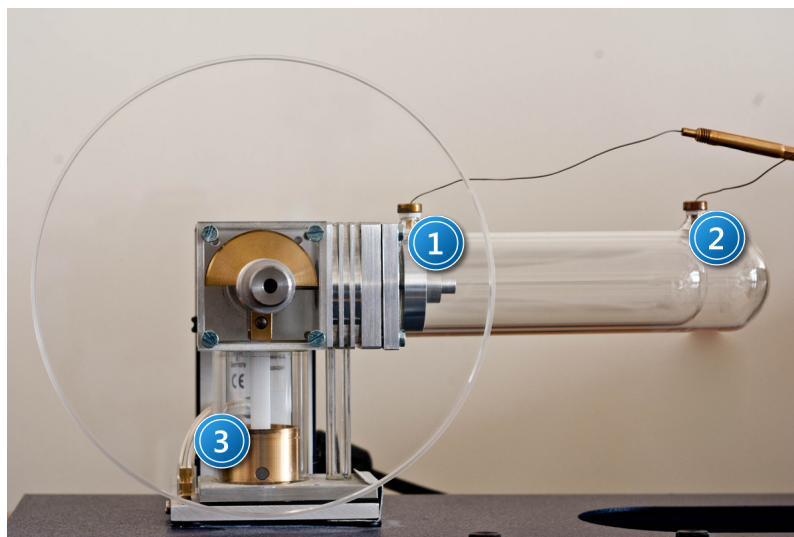
50 ml metanolu wystarcza na około godzinę pomiarów.

III. Podłączenie przewodów w układzie.

1. Połączyć elementy stanowiska pomiarowego korzystając ze Zdjęć 4 i 5 .



Zdjęcie 4. Miernik p-V-n-T: 1 – wejścia termopar T_1 , T_2 ; 2 – wejście przewodu do miernika p-V-n; 3 – wyjścia oscyloskopowe p i V; 4 – przełącznik zmiany trybu wyświetlania temperatury; 5 – pokrętko temperatury; 6 – pokrętko objętości.



Zdjęcie 5. Model silnika Stirlinga z pionowym tłokiem ustawionym w dolnej pozycji: 1 – wtyk termopary T_1 ; 2 – wtyk termopary T_2 ; 3 – pionowy tłok silnika w dolnym położeniu.

2. Do odpowiednich wejść miernika p-V-n-T podłączyć obie termopary T_1 i T_2 (1 na Zdjęciu 4) i przewód miernika ciśnienia p-V-n (2 na Zdjęciu 4) a także przewody BNC do wyjść pomiarowych ciśnienia i objętości (3 na Zdjęciu 4).

- Podłączyć przewody BNC z oscyloskopem.
Kanał pomiaru objętości na jednostce p-V-n-T podłączyć do kanału 1 na oscyloskopie, a kanał pomiaru ciśnienia podłączyć do kanału 2 oscyloskopu.
- Delikatnie wetknąć końcówki termopar do metalowych wypustek na poziomym cylindrze silnika, zgodnie z kolejnością pokazaną na *Zdjęciu 5*.

IV. Uruchomienie i kalibracja miernika p-V-n-T.



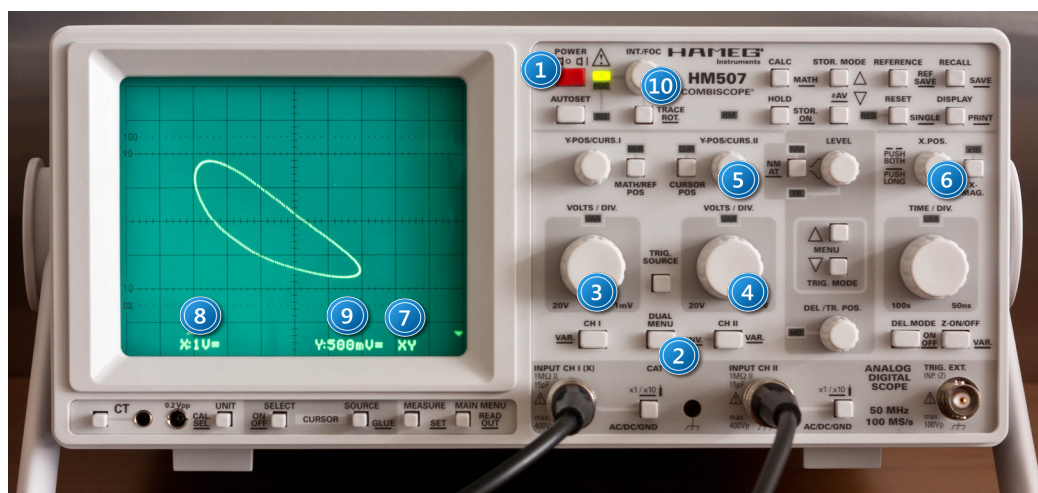
UWAGA!

Kalibracji miernika p-V-n-T należy dokonywać w temperaturze pokojowej. Jeśli silnik jest ciepły należy odczekać aż ostygnie.

- Ustawić silnik tak, aby pionowy tłok (3 na *Zdjęciu 5*) znajdował się w jego najniższym położeniu.
- Włączyć miernik p-V-n-T (włącznikiem znajdującym się na tylnej ścianie obudowy).
- Dokonać kalibracji temperatury poprzez kliknięcie przycisku ΔT na panelu miernika p-V-n-T (5 na *Zdjęciu 4*), a następnie kalibracji objętości, klikając przycisk ΔV (6 na *Zdjęciu 4*).

V. Uruchomienie i konfiguracja oscyloskopu.

- Włączyć oscyloskop czerwonym przyciskiem *POWER* (1 na *Zdjęciu 6*).



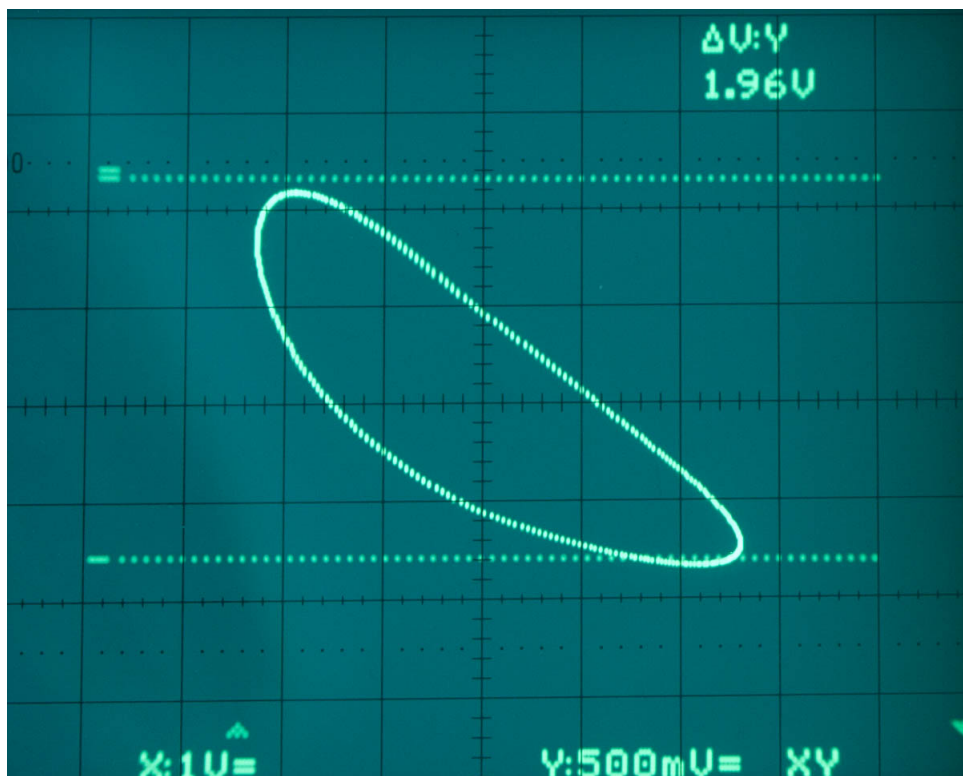
Zdjęcie 6. Widok przedniego panelu oscyloskopu: 1 – włącznik; 2 – przycisk zmiany trybu pracy; 3, 4 – pokrętki zmiany wzmacnienia kanałów; 5, 6 – pokrętki zmiany pozycji oscylografu; 7 – aktualny tryb pracy; 8, 9 – aktualne wzmacnienia kanałów; 10 – pokrętło zmiany intensywności oscylografu.

- Pokrętkami zmiany wzmacnienia (3, 4 na *Zdjęciu 6*) ustawić wzmacnienie kanału 1 na 500 mV a wzmacnienie kanału 2 na 1 V.
Aktualne wzmacnienie jest wyświetlane na ekranie oscyloskopu (8 i 9 na *Zdjęciu 6*).
- Przełączyć oscyloskop w tryb XY, kilkakrotnie klikając przycisk *DUAL MODE* (2 na *Zdjęciu 6*), aż do pojawienia się na ekranie oscyloskopu podświetlonego napisu XY (7 na *Zdjęciu 6*).
- Pokrętkami zmiany pozycji (5 i 6 na *Zdjęciu 6*) ustawić plamkę oscyloskopu na środku ekranu.

Dodatek B

Sposób oszacowania pola oscylografu pV

Typowy oscylograf pV przedstawiono na Zdjęciu 7.



Zdjęcie 7. Oscylograf.

Prostym i wygodnym sposobem na oszacowanie pola pod wykresem pV jest policzenie, ile kratek podziałki ekranu oscyloskopu znajduje się w środku wykresu.

Pole jednej kratki wynosi $\Delta V_x \times \Delta V_y$, a przeliczniki pomiędzy napięciem a objętością i ciśnieniem wynoszą:

- przelicznik ciśnienia: $1 V = 329 \text{ hPa}$;
- przelicznik objętości: $1 V = 2,4 \text{ cm}^3$.

Całkowite pole pod wykresem jest równe iloczynowi pola jednej kratki i ilości oszacowanych krater.