

**Zadania domowe z fizyki statystycznej (IV rok)**  
**do wykładu prof. B. Cichockiego.**

**Seria 2**

**Zadanie 1.** Pokazać, że jeśli przemiana adiabatyczna układu jest opisywana równaniem

$$pV^\kappa = \text{const} ,$$

to jego energia wewnętrzna dana jest wzorem

$$U = \frac{pV}{\kappa - 1} + N f \left( \frac{pV^\kappa}{N^\kappa} \right) ,$$

w którym  $f(\cdot)$  jest pewną funkcją.

**Wskazówka:** Pokazać, że  $U - pV/(\kappa - 1)$  jest wielkością stałą na każdej adiabatcie.

**Zadanie 2.** Znaleźć sprawność cyklu Otto. Ciałem roboczym w tym cyklu jest gaz doskonały o stałej pojemności cieplnej  $C_V$ . Na diagramie w zmiennych  $(V, p)$  cykl Otto składa się z dwu izochor (jedna dla  $V = V_A$ , druga dla  $V = V_B > V_A$ ) połączonych dwiema adiabatami: górną zaczynającą się w punkcie  $(V_A, p_A)$  i dolną zaczynającą się w punkcie  $(V_B, p_B)$  (gdzie  $p_B < p_A$ ).

**Zadanie 3.** Znaleźć sprawność cyklu Diesla, w którym ciałem roboczym jest gaz doskonały o stałej pojemności cieplnej  $C_V$ . Na diagramie w zmiennych  $(V, p)$  cykl Diesla składa się z izobary biegnącej przy  $p = p_A$  od  $V_A$  do  $V_B$  ( $V_B > V_A$ ), dwu adiabat zaczynających się w końcowych punktach tej izobary (o współrzędnych  $(V_A, p_A)$  i  $(V_B, p_A)$ ) i biegnących w dół do objętości  $V_C$ . Wykres cyklu domyka izochora  $V = V_C$  łącząca końce adiabat.

**Zadanie 4.** Na ćwiczeniach pokazaliśmy, że w przemianach (reakcjach chemicznych) przeprowadzanych przy stałej objętości układu lub przy stałym ciśnieniu zewnętrznym (które w na początku i na końcu procesu jest równe ciśnieniu wewnątrz układu) ciepło wydzielone w przemianie (zwane także efektem cieplnym reakcji) nie zależy od sposobu jej przeprowadzenia i jest równe różnicy energii wewnętrznych (w przemianie izochorycznej) lub entalpii (w przemianie izobarycznej) w stanie końcowym i początkowym. Udowodnić prawa Kirchoffa mówiące, że gdy przemiana (reakcja chemiczna) zachodzi izochorycznie

$$\frac{dQ_V}{dT} = C_{V_2} - C_{V_1} ,$$

a gdy zachodzi izobarycznie, to

$$\frac{dQ_p}{dT} = C_{p_2} - C_{p_1} .$$

$Q_V(T)$  jest tu ciepłem reakcji w temperaturze  $T$  przy stałej objętości, a  $Q_p(T)$  ciepłem reakcji w temperaturze  $T$  przy stałym ciśnieniu.  $C_{V_i}$  oraz  $C_{p_i}$  są odpowiednio pojemnościami

cieplnymi przy stałej objętości i stałym ciśnieniu. Indeks 1 oznacza stan początkowy, a 2 stan końcowy.

**Zadanie 5.** Wykazać, że jeśli w procesie cyklicznym układ znajduje się stale w kontakcie z termostatem o temperaturze  $T$ , to praca wykonana przez ten układ spełnia nierówność

$$\oint \bar{W}_{\text{el}} \leq 0 .$$

Każde z zadań proszę rozwiązać na osobnej kartce. Jedno z nich będzie zbierane na wykładzie we czwartek 21 X.

**Uwaga:** Rozwiązania zadań *muszą* być opatrzone komentarzami wyjaśniającymi tok rozumowania! Za same wzorki punkty przyznawane nie będą