Podstawy Fizyki IV

ćwiczenia #7

(7 kwietnia 2020)

Wstępy teoretyczne do zadań są przedstawione w notatkach do ćwiczeń.

Zadanie 1

Wyznaczyć energię wewnętrzną oraz entropię N moli gazu gazu van der Waalsa. Korzystając z wyprowadzonego wzoru na entropię znajdź równanie adiabaty we współrzędnych $p - V$.

Zadanie 2

Kawałek gumy o długości swobodnej L_0 został poddany doświadczeniom mającym stwierdzić wpływ temperatury na własności sprężyste gumy. W zakresie długości $L_0 < L < L_1$ guma ulega sprężystym deformacjom. Badania doprowadziły do sformułowania dwóch obserwacji:

- naciąg gumy f rośnie monotonicznie wraz ze wzrostem temperatury T (w przeciwieństwie do metali),
- pojemność cieplna gumy c na jednostkę jej długości swobodnej jest stała, a także jej energia wewnętrzna nie zależy od długości L.

Obserwacje te prowadzą do następujących równań stanu:

$$U(T) = cL_0T, \quad f(T, L) = g(T)\frac{L - L_0}{L_1 - L_0},$$

gdzie $g(T)$ jest pewną monotoniczną funkcją temperatury. Na podstawie tych informacji wyznaczyć funkcję $g(T)$, a także znaleźć związek podstawowy dla gumy w reprezentacji entropowej $S(U, L)$.

$\triangleright$ Wklęsłość entropii, zasada minimum energii, zasada pracy maksymalnej

Zadanie 3

Jaką pracę maksymalną możemy uzyskać, wyrównując temperatury dwóch ciał o jednakowych, stałych pojemnościach cieplnych C_V, jeżeli temperatury początkowe tych ciał wynoszą T_1 i T_2, a ich objętości nie zmieniają się? Zbiorniki zawierają gaz doskonały. Układ złożony z tych zbiorników jest izolowany.

Zadanie 4

Jaką pracę maksymalną można otrzymać, ochładzając N moli gazu doskonałego o cieple molowym $c_v =$ const od temperatury T do temperatury otoczenia T_o przy stałej objętości?

Zadanie 5

Układ składający się z jednego mola gazu van der Waalsa zmienia swój stan od stanu początkowego (T_0, v_0) do końcowego (T_k, v_k). Jego ciepło molowe jest stałe i wynosi c_v. Układ znajduje się w kontakcie termicznym z otoczeniem o temperaturze początkowej T_0^{ot}, którego pojemność cieplna wynosi $C(T) = DT$, gdzie D jest stałą. Ile wynosi maksymalna praca jaką może wykonać gaz van der Waalsa nad zbiornikiem pracy?

$\triangleright$ Sformułowania Clausiusa i Kelvina II zasady termodynamiki, maszyny cieplne

Zadanie 6

Korzystając ze wzoru na entropię N moli gazu doskonałego, $S = Nc_v \ln T + NR \ln V + S_0$, znajdź równanie izochory we współrzędnych T-S. Narysuj w tych współrzędnych cykl Stirlinga (dwie izotermy T_g i T_{ch} połączone dwiema izochorami). Obliczyć sprawność tego cyklu.

Zadanie 7
Cykl Otto, zwany również *cyklem Beau de Rochas* składa się z dwóch adiabat połączonych dwiema izochorami ($V_2 < V_1$). Cykl ten modeluje działanie silnika czterosuwowego o zapłonie iskrowym, czyli silnika benzynowego. Znajdź jego sprawność η i wyraź ją przy pomocy stopnia sprężania $r_c = V_1/V_2$. Przyjąć, że gazem roboczym jest dwuatomowy gaz doskonały ($c_v = \frac{5}{2}R$).

Zadanie 8
Rozważyć lodówkę działającą w oparciu o następujący cykl:

a) Gaz roboczy sprężany jest izotermicznie w temperaturze otoczenia T_g do ciśnienia p_2.
b) Sprężony gaz doprowadzamy do kontaktu termicznego z wnętrzem lodówki i chłodzimy izobarycznie do T_{ch}.
c) Gaz izotermicznie rozprężamy do ciśnienia p_1 (w kontakcie z wnętrzem lodówki).
d) Gaz doprowadzamy do kontaktu z otoczeniem i ogrzewamy izobarycznie do T_g.

Znaleźć współczynnik sprawności η_L lodówki. Dla ustalonych T_g, p_1 i p_2 obliczyć dla jakiej temperatury T_{ch} lodówka będzie jeszcze działać, tzn. pobierać ciepło ze swego wnętrza. Przyjąć, że ciałem roboczym jest gaz doskonały.

Zadanie 9
Zbiornik zawiera 100 kg wody o temperaturze $T_1 = 100°\mathrm{C}$. Znajśź maksymalną pracę, jaką może wykonać maszyna cieplna pracująca pomiędzy tym zbiornikiem a otoczeniem o temperaturze $T_2 = 0°\mathrm{C}$. Założyć, że w trakcie całego procesu rozkład temperatury wewnątrz zbiornika jest jednorodny. Woda ma ciepło właściwe wynoszące $c = 4189.9$ J/K·kg.

Zadanie 10
Rozważyć cykl Carnota dla którego gaz roboczy na odcinkach izotermicznych wymienia ciepło ze zbiornikami, ale zachodzi to przy pewnej różnicy temperatur $T_1 < T_g$ oraz $T_2 > T_{ch}$. Zakładamy, że szybkość wymiany ciepła wynosi odpowiednio $\frac{Q_p}{\Delta t} = k(T_g - T_1)$ oraz $\frac{\bar{Q}_o}{\Delta t} = k(T_2 - T_{ch})$, przy czym Δt i k są takie same dla obu procesów. Co więcej przyjmujemy, że przemiany adiabatyczne są bardzo szybkie ($\Delta t = 0$). Znaleźć sprawność tego cyklu w sytuacji odpowiadającej maksymalnej mocy tego silnika cieplnego.

mgr Piotr Zdybel
`piotr.zdybel@fuw.edu.pl`