

Podstawy Fizyki IV

ćwiczenia #8

(21 kwietnia 2020)

Wstępy teoretyczne do zadań są przedstawione w notatkach do ćwiczeń.

▷ TRANSFORMACJA LEGENDRE'A I POTENCJAŁY TERMODYNAMICZNE

Zadanie 1

Rozważmy prosty układ dla którego równanie podstawowe w reprezentacji energetycznej ma postać:

$$U(S, V, N) = \frac{1}{VN} \left(\frac{S}{3A} \right)^3,$$

gdzie A to pewna stała. Wyznaczyć energię swobodną Helmholtza, entalpię, entalpię swobodną Gibbsa i wielki potencjał termodynamiczny dla tego układu.

Zadanie 2

Wypisać wszystkie możliwe tożsamości Maxwella dla energii swobodnej Helmholtza $F(T, V, N)$ i entalpii swobodnej Gibbsa $G(T, p, N)$.

Zadanie 3

Pokaż, że

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_T - V = -T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = -C_p \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_S$$

Zadanie 4

Rozważmy paramagnetyk o następujących trzech własnościach:

- jego objętość nie zmienia się w procesach termodynamicznych ($V = \text{const}$),
- spełnione jest prawo Curie: $\chi_T(T) = \frac{a}{T}$,
- pojemność cieplna w zerowym polu magnetycznym jest dana wzorem: $C_h(T, 0) = \frac{bV}{T^2}$,

gdzie a i b są dodatnimi stałymi. Znaleźć pojemność cieplną $C_h(T, h)$ dla dowolnej wartości natężenia pola magnetycznego h .

Zadanie 5

Proces Joule'a - Thomsona (dławienie gazu) polega na powolnym przeciskaniu gazu poprzez porowatą przegrodę (dławik) z jednego podukładu do drugiego przy ustalonych wartościach ciśnień w obu podukładach (równych odpowiednio p_A i p_B , $p_A > p_B$) i przy adiabatycznym osłonięciu całego układu. Stałość ciśnień gazu w każdym z podukładów zapewniona jest dzięki powolnemu ruchowi tłoków ograniczających te podukłady. Ruch tłoka w podukładzie o większym ciśnieniu związany jest ze zmniejszaniem jego objętości w trakcie przechodzenia gazu przez porowatą przegrodę; w podukładzie o mniejszym ciśnieniu ruchowi tłoka towarzyszy zwiększanie jego objętości.

Przejściu przez dławik w tym procesie towarzyszy zmiana temperatury gazu:

$$(T_B - T_A) = \mu_{JT}(p_B - p_A),$$

gdzie $\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_{H, N}$ nosi nazwę współczynnika Joule'a-Thomsona. Krzywą inwersji nazywamy krzywą w przestrzeni stanów zadaną równaniem $\mu_{JT}(T, p) = 0$. Wyznaczyć współczynnik μ_{JT} , krzywą inwersji, a także maksymalną i minimalną temperaturę inwersji dla gazu van der Waalsa.

Zadanie 6

Sprawdź stabilność mechaniczną 1 mola gazu van der Waalsa. Następnie przedyskutować konstrukcję Maxwella dla tego gazu wykorzystując odpowiednie potencjały termodynamiczne. Zinterpretować uzyskany diagram fazowy.

Zadanie 7

Gaz znajduje się w zbiorniku z ruchomym tłokiem i jest w równowadze cieplnej oraz mechanicznej z otoczeniem o zadanej temperaturze T i ciśnieniu p . W wyniku jakiegoś zewnętrznego działania tłok adiabatycznie (odwracalnie) przesunął się na zewnątrz, a zatem zmalało ciśnienie gazu. Opisać jak układ zareaguje na tą zmianę.

Zadanie 8

Pokaż, że spełniona jest nierówność

$$\left(\frac{\partial X_i}{\partial y_i}\right)_{X_k} < \left(\frac{\partial X_i}{\partial y_i}\right)_{y_k},$$

gdzie $(S, V, N, \dots) = (X_1, X_2, X_3, \dots)$ oraz $(T, -p, \mu, \dots) = (y_1, y_2, y_3, \dots)$. Zinterpretuj ten wynik dla $\kappa_S < \kappa_T$ odwołując się do reguły przekory Le Châteliera-Brauna.

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