

TENTAMEN THERMISCHE FYSICA 2A

Woensdag 24 oktober 2001, 14.00-17.00 uur

Opgave 1: Begrippen (35 punten)

- a) Van een systeem van N deeltjes kunnen we de energie als functie van de temperatuur berekenen door middel van de multipliciteit of door middel van de toestandssom. Leg het fysische verschil uit van het gebruik van beide methodes.
- b) Bij een systeem van N ononderscheidbare identieke deeltjes wordt de toestandssom Z gedeeld door $N!$. Geef de reden aan van het invoeren van deze factor en geef ook aan wanneer deze benadering niet meer geoorloofd is.
- c) Leid door gebruik te maken van de conditie van chemisch evenwicht de barometrische hoogteformule af.

Opgave 2: Rotaties van twee-atomige gassen. (35 punten)

We beschouwen de rotaties van een twee-atomig gas. Volgens de kwantummechanica is de rotatiebeweging gekwantiseerd met energie-eigenwaarden $\epsilon(j) = j(j+1)\epsilon_0$ met $j = 0, 1, 2, \dots$. De ontarding van de toestanden is gelijk aan $g(j) = 2j + 1$.

- a) Geef de toestandssom $Z(\tau)$ van één deeltje voor de rotatiebeweging van de moleculen.
- b) Bereken $Z(\tau)$ in de limiet $\tau \gg \epsilon_0$ door de som om te zetten in een integraal.
- c) Benader $Z(\tau)$ in de limiet $\tau \ll \epsilon_0$.
- d) Geef uitdrukkingen voor de energie U en de soortelijke warmte C_v als functie van τ in beide limieten. Schets het gedrag van $U(\tau)$ en $C_v(\tau)$.

Opgave 3: Stralingsdruk (30 punten)

Zoals bij een gewoon gas kunnen we ook bij een fotonengas van de druk spreken. Voor een afleiding van de druk gaan we uit van de volgende uitdrukking voor de energie van het fotonengas: $U = \sum_s \hbar\omega_s n_s$, waarin $\hbar\omega_s$ de energie is van een foton en n_s het aantal fotonen met deze energie. In een infinitesimaal quasistatisch proces verandert de energie met

$$dU = \sum_s \hbar\omega_s dn_s + \sum_s n_s \hbar d\omega_s. \quad (1)$$

Als we dit vergelijken met de eerste hoofdwet

$$dU = Q + W = \tau d\sigma - PdV, \quad (2)$$

dan ligt het voor de hand om de eerste term van vergelijking (1) te associëren met de warmte Q en de tweede term met de arbeid W .

- a) Geef aan waarom dit een goede aanname is. Beschouw daartoe een proces waarbij de energie verandert maar het volume en eventuele externe krachten constant zijn zodat de energieniveaus niet veranderen.

Voor de druk vinden we dus de relatie:

$$P = - \sum_s \hbar n_s \frac{d\omega_s}{dV} \quad (3)$$

- b) Beschouw nu de energie van fotonen in een volume $V = L^3$ en leid af dat:

$$P = \frac{U}{3V}. \quad (4)$$

- c) Maak een schatting (binnen 1 orde) van de stralingsdruk in de zon, $T \approx 2 \times 10^7$ K ($\tau \approx 3 \times 10^{-16}$ J) en vergelijk deze met de druk van waterstofgas bij dezelfde temperatuur met een dichtheid van 1 mol/cm³.