

**Soal Tes Pekan I Pembinaan Jarak Jauh IPhO 2017**

**Dr. Rinto Anugraha**

1. Alam semesta di masa-masa awalnya setelah terjadi Big Bang dapat diasumsikan mengalami masa yang disebut masa dominasi radiasi. Seluruh radiasi (elektromagnetik, interaksi kuat, lemah dan sebagainya) tersebut dapat diasumsikan seperti sebagai radiasi elektromagnetik.
- a. Ditinjau radiasi benda hitam (*black body radiation*) yang dipancarkan dengan spektrum kontinu oleh suatu objek pada suhu  $T$ . Daya radiasi persatuan luas persatuan panjang gelombang diberikan oleh persamaan

$$F(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc / \lambda k_B T) - 1}$$

dengan  $\lambda$  = panjang gelombang,  $c$  = kecepatan cahaya dalam vakum,  $h$  = tetapan Planck dan  $k_B$  = tetapan Boltzmann. Tentukan nilai  $\lambda = \lambda_{\max}$  sebagai fungsi  $T$  saat  $F(\lambda)$  bernilai maksimum. Hasil ini disebut sebagai hukum pergeseran Wien.

- b. Total daya radiasi persatuan luas =  $D$  diperoleh dengan mengintegrasikan daya radiasi persatuan luas persatuan panjang gelombang terhadap seluruh jangkauan panjang gelombang. Jika  $D$  dapat dituliskan sebagai  $D = \sigma T^n$ , tentukan tetapan  $\sigma$  dinyatakan dalam sejumlah tetapan fisika. Tentukan pula nilai  $n$ .

Sekarang ditinjau siklus Carnot untuk radiasi termal benda hitam, dimana rapat energi internal  $u$  diberikan oleh  $u = kT^n$  dengan  $k$  = suatu tetapan positif dan pangkat  $n$  sama seperti pada pertanyaan (b). Tekanan radiasi  $p$  diberikan oleh persamaan keadaan  $p = \frac{1}{3}u$ .

- c. Tentukan kapasitas panas untuk radiasi pada volume tetap, serta kapasitas panas pada tekanan tetap.
- d. Tinjau untuk proses kuasi-statik adiabatik pada radiasi tersebut. Tentukan persamaan keadaan (*equation of state*) dari proses adiabatik tersebut, baik persamaan keadaan untuk volume  $V$  dan suhu  $T$ , maupun persamaan keadaan untuk  $p$  dan  $V$ . Jika persamaan keadaan tersebut dapat dituliskan sebagai

$$\frac{pV}{T^m} = \text{konstan},$$

tentukan nilai  $m$ .

- e. Gambarkan siklus Carnot dalam diagram  $pV$  untuk radiasi tersebut. Anggap bahwa dua suhu untuk dua keadaan isothermal adalah  $T_1$  dan  $T_3$  dengan  $T_3 < T_1$ .
  - f. Tentukan nilai efisiensi siklus Carnot untuk radiasi tersebut.
  - g. Tentukan rapat entropi  $s$  untuk radiasi tersebut.
2. Ditinjau sebuah sistem yang berisi  $N$  buah spin yang saling tidak berinteraksi  $s = \frac{1}{2}$  dalam suatu medan magnet  $H$ . Energi bebas Helmholtz  $F$  akibat terjadinya efek pemisahan Zeeman diberikan oleh

$$F = -NkT \ln[2 \cosh(\mu_B H / 2kT)]$$

dengan  $\mu_B =$  tetapan magneton Bohr.

- a. Tentukan nilai magnetisasi sistem  $M$ .
- b. Tentukan nilai magnetisasi maksimum  $M_{\max}$ .
- c. Tentukan susceptibilitas magnetik untuk kasus suhu  $T$  tinggi.
- d. Tentukan nilai entropi  $S$ .
- e. Untuk kasus limit  $H \rightarrow 0$ , tentukan jumlah derajat kebebasan untuk setiap spin.

Untuk menentukan magnetisasi sistem seperti yang telah dikerjakan pada (a), dapat pula dikerjakan dengan cara sebagai berikut. Misalnya medan  $H$  tersebut mengarah ke sumbu  $z$  positif, sedangkan spin tersebut dapat mengarah ke sumbu  $z$  positif atau sumbu  $z$  negatif. Momen magnet berspin  $s = \frac{1}{2}$  tersebut memiliki nilai  $\mu = s\mu_B$ , sedangkan energi interaksi spin dengan medan  $H$  diberikan oleh  $E_{\text{int}} = -\vec{\mu} \cdot \vec{H}$ .

- f. Jika spin tersebut memenuhi faktor Boltzmann, tentukan momen magnetik rata-rata sebuah spin.
- g. Tentukan magnetisasi total  $N$  spin tersebut.

3. Ditinjau suatu gas yang memenuhi persamaan keadaan Dieterici

$$p = \frac{nRT}{V - nb} \exp\left(-\frac{na}{RTV}\right)$$

dengan  $p$  = tekanan,  $V$  = volume,  $T$  = suhu mutlak,  $n$  = jumlah mol,  $R$  = tetapan gas universal serta  $a$  dan  $b$  = tetapan positif.

- Tentukan tekanan kritis  $p_c$ , volume kritis  $V_c$  dan suhu kritis  $T_c$  untuk gas tersebut.
- Tuliskan persamaan gas Dieterici di atas dinyatakan dalam variabel tereduksi yang menghubungkan antara tekanan, volume dan suhu dengan tekanan kritis, volume kritis dan suhu kritis.

Sekarang ditinjau efek Joule-Thomson yang terjadi pada gas Dieterici tersebut.

- Tentukan nilai tekanan tereduksi sebagai fungsi suhu tereduksi pada titik inversi. Disini, titik inversi pada efek Joule-Thomson diperoleh ketika

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_h = 0$$

dengan  $h$  = entalpi.

\*\*\*

Petunjuk:

- solusi untuk persamaan transendental  $5 - x = 5e^{-x}$  adalah  $x = 0$  atau  $x = 4,965$ .
- $\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15}$ .
- $h = U + pV$
- $dF = -SdT - MdH$