

SOAL PEMBINAAN JARAK JAUH IPhO 2017 Pekan X

Dosen Penguji : Dr. Rinto Anugraha

Bagian A Efek Fotolistrik dan Emisi Termionik

Dalam suatu eksperimen fotolistrik, permukaan logam Natrium dikenai cahaya monokromatik yang datang dengan berbagai panjang gelombang λ . Akibatnya dari logam tersebut terpancar berkas elektron dari katoda ke anoda. Agar berkas elektron tersebut terhambat pergerakannya menuju anoda, beda potensial listrik yang diberikan untuk menghentikan elektron diberikan pada Tabel 1 di bawah ini sebagai fungsi panjang gelombang λ .

| No | Panjang gelombang λ (Å) | Beda potensial (V) |
|----|---------------------------------|--------------------|
| 1 | 5051 | 0,15 |
| 2 | 4475 | 0,37 |
| 3 | 4100 | 0,71 |
| 4 | 3591 | 1,23 |
| 5 | 3193 | 1,61 |
| 6 | 2723 | 2,17 |

- Dengan nilai muatan elektron e sebesar $1,602 \times 10^{-19}$ C, tentukan nilai tetapan Planck h .
- Tentukan fungsi kerja $e\phi$ untuk logam Natrium dalam satuan eV.

Pada suatu eksperimen fotolistrik dengan frekuensi ambang $f_0 = 1,03 \times 10^{15}$ Hz, foton dengan panjang gelombang λ akan menghasilkan berkas sinar katoda dengan energi kinetik sebesar $K_1 = 2,5$ eV sedangkan jika panjang gelombang yang digunakan adalah $\frac{1}{2}\lambda$ maka energi kinetik elektron sebesar $K_2 = 9,25$ eV.

- Tentukan energi kinetik elektron jika panjang gelombang yang digunakan adalah $\frac{3}{4}\lambda$.

Untuk mengukur fungsi kerja $e\phi$ pada tungsten, digunakan metode emisi termionik yaitu fenomena arus elektron dengan rapat arus sebesar j yang menguap dari permukaan logam yang dipanaskan pada suhu T , dimana tidak ada medan listrik luar. Fenomena ini dijelaskan dengan persamaan Richardson-Dushman berikut ini.

$$j = A_R T^2 \exp(-e\phi / kT)$$

dimana j adalah besarnya rapat arus termionik [A/m^2] dan T adalah suhu [K]. Besaran k adalah tetapan Boltzmann = $8,617 \times 10^{-5}$ eV/K sedangkan A_R adalah tetapan Richardson.

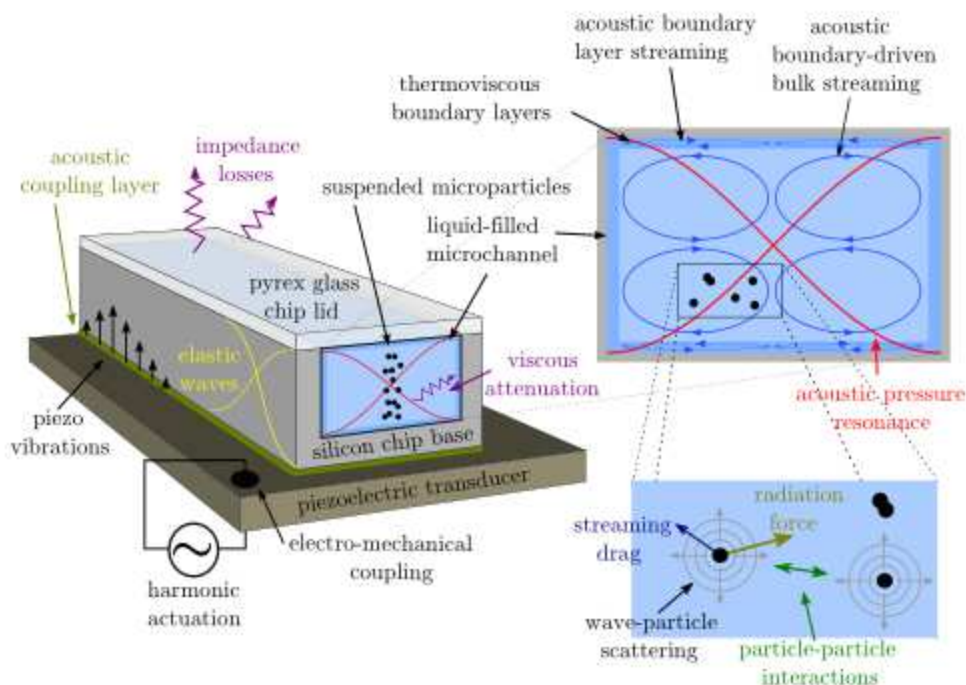
Atas fenomena ini, Richardson meraih Nobel bidang Fisika tahun 1928.

Data eksperimen menunjukkan besarnya rapat arus termionik untuk berbagai suhu seperti disajikan pada Tabel 2.

| No | Suhu T (K) | Rapat arus termionik j (A/m^2) |
|----|--------------|--------------------------------------|
| 1 | 1250 | $6,6 \times 10^{-7}$ |
| 2 | 1500 | $1,0 \times 10^{-3}$ |
| 3 | 1750 | 0,345 |
| 4 | 2000 | 14,9 |
| 5 | 2250 | 220 |
| 6 | 2500 | 3050 |

d. Tentukan nilai tetapan A_R dan fungsi kerja termionik $e\phi$ untuk tungsten.

Bagian B: Acoustofluidic



Gambar di atas mengilustrasikan fenomena acoustophoresis. Chip suatu piezoelektrik transducer dipasang pada Chip gelas/silikon yang mengandung mikrokanal 3 dimensi (microchannel). Di dalam mikrokanal tersebut terdapat fluida.

Dalam sistem ini berlaku prinsip kelestarian massa, momentum dan energi. Kelestarian massa diberikan oleh persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{v}).$$

Kelestarian momentum diberikan oleh persamaan Navier-Stokes, sedangkan kelestarian energi diberikan oleh persamaan perpindahan panas (*heat-transfer*). Sebelum diberikan gangguan oleh gelombang akustik yang berasal dari piezoelectric transduser, fluida di dalam mikrokanal (untuk orde ke-nol) bersifat homogen, diam (*quiescent*) dan dalam kesetimbangan termal, sehingga besaran-besaran fisika bernilai konstan, yaitu suhu $T = T_0$, tekanan $p = p_0$, rapat massa $\rho = \rho_0$, entropi persatuan volume $s = s_0$ dan kecepatan fluida adalah $\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 = \mathbf{0}$.

Sementara itu, hubungan termodinamika yang berlaku dalam sistem ini antara besaran-besaran fisika di atas adalah

$$d\rho = \left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_p dT + \left(\frac{\partial \rho}{\partial p}\right)_T dp = -\alpha \rho dT + \gamma \rho \kappa dp$$

$$ds = \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_p dT + \left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T dp = \frac{C_p}{T} dT - \frac{\alpha}{\rho} dp$$

dimana α = tetapan koefisien ekspansi termal isobarik, $\gamma = C_p / C_V$ = perbandingan antara kapasitas panas isobarik C_p pada tekanan tetap dengan kapasitas panas isokhorik C_V dan κ = tetapan kompresibilitas isentropik (entropi tetap).

1. Pada kasus isentropik, hubungan termodinamika di atas dapat dituliskan menjadi

$$d\rho = \frac{\rho^2 \kappa C_p}{\alpha T} dT.$$

Tuliskan sebuah identitas termodinamika yang menyatakan hubungan antara tetapan γ dengan besaran-besaran ρ, T dan tetapan-tetapan α, κ, C_p .

Selanjutnya piezoelectric transduser dipasang pada frekuensi berorder MHz. Akibatnya muncul gelombang akustik yang memberikan gangguan kecil pada sistem sehingga besaran-besaran fisika di atas akan berubah menjadi (untuk orde ke-satu)

$$T = T_0 + T_1, p = p_0 + p_1, \rho = \rho_0 + \rho_1, s = s_0 + s_1 \text{ dan } \mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_1.$$

Disini, gangguan T_1, p_1, ρ_1, s_1 dan \mathbf{v}_1 bernilai jauh lebih kecil dibandingkan nilai besaran masing-masing pada orde ke-nol. Selain itu gangguan di atas diasumsikan bersifat harmonik,

sebagai contoh $p_1 = p_1(\mathbf{r}, t) = p_1(\mathbf{r}) \exp(-i\omega t)$ dengan ω adalah frekuensi sudut dari gelombang akustik yang berasal dari piezoelectric transduser.

2. Pada kasus isentropik di atas, jika tekanan berubah dari p_0 menjadi $p_0 + p_1$, sedangkan suhu berubah dari T_0 menjadi $T_0 + T_1$ (asumsikan rapat massa relatif tetap $= \rho_0$) maka terdapat hubungan linear antara T_1 dengan p_1 . Tuliskan hubungan tersebut.
3. Dengan menggunakan hubungan termodinamika di atas, persamaan konservasi massa akan berubah menjadi

$$\frac{\partial p_1}{\partial t} = A \frac{\partial T_1}{\partial t} + B \nabla \cdot \mathbf{v}_1$$

Tentukan nilai tetapan A dan B .

Sementara itu persamaan Navier-Stokes dan transfer panas, bersama-sama dengan persamaan konservasi massa di atas akan tereduksi ke dalam dua persamaan berikut ini.

$$i\omega \mathbf{v}_1 + \nu \nabla^2 \mathbf{v}_1 + f(\mathbf{v}_1) = g(T_1)$$

$$i\omega T_1 + \gamma D_{th} \nabla^2 T_1 = h(\mathbf{v}_1)$$

dimana f , g dan h masing-masing merupakan suatu fungsi. Disini, ν = viskositas kinematik dan D_{th} = diffusivitas termal.

4. Tentukan dua panjang karakteristik (*characteristic length*) atau skala panjang (*length scale*) yang dapat diperoleh dari dua persamaan terakhir di atas.

Bagian C berisi soal-soal yang saling lepas

1. Dua buah planet dengan massa yang berbeda saling bergerak satu sama lain dalam orbit lingkaran karena pengaruh gaya gravitasi dengan periode orbit T . Tiba-tiba gerakan keduanya berhenti, kemudian dilepas sehingga kedua planet tersebut akan bertabrakan dalam waktu nT sejak mulai dilepas. Tentukan nilai n .
2. Persamaan gas van der Waals merupakan persamaan gas yang memodifikasi persamaan gas ideal, dengan menyatakan bahwa molekul gas memiliki volume berhingga (dengan tetapan b) serta tekanan gas yang diukur akan berubah (dengan faktor tetapan a) karena adanya gaya atraktif antar molekul gas. Persamaan gas van der Waals yang memiliki tekanan P , volume V pada suhu T dirumuskan sebagai

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

dengan R adalah suatu tetapan. Jika gas ideal tidak memiliki titik kritis, ternyata gas van der Waals memiliki titik kritis berupa tekanan kritis P_c dengan volume V_c pada suhu T_c yang memenuhi dua syarat secara bersamaan

$$\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P = 0 \text{ dan } \left(\frac{\partial^2 T}{\partial V^2}\right)_P = 0.$$

Jika saat titik kritis tersebut gas van der Waals memenuhi persamaan

$$P_c V_c = k R T_c$$

maka tentukan nilai k .

3. Ada tiga buah lensa yang memiliki panjang fokus yang sama f . Untuk membentuk suatu sistem optik, ketiga lensa tersebut ditempatkan segaris dengan titik fokus mereka, dimana jarak antara lensa pertama dengan lensa kedua adalah d_a , sedangkan jarak antara lensa kedua dengan lensa ketiga adalah d_b . Dengan sistem optik ini, bayangan sebuah obyek akan tampak pada layar yang berjarak A dari obyek tersebut. Sistem optik yang diinginkan adalah sedemikian rupa sehingga ketika sistem tersebut digerakkan maju atau mundur, bayangan pada layar selalu tajam. Tentukan syarat-syarat untuk d_a , d_b dan A untuk membentuk sistem optik tersebut di atas.

