

**OLIMPIADE NASIONAL MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PERGURUAN TINGGI 2023
(ONMIPA-PT) Tingkat Nasional**

Tes 2 Bidang Fisika:

**TERMODINAMIKA – FISIKA STATISTIK
dan
FISIKA MODERN – MEKANIKA KUANTUM**

15 Juni 2023

Waktu: 180 menit

Petunjuk Pengerjaan :

1. Tes **Termodinamika-Fisika Statistik** dan **Fisika Modern-Mekanika Kuantum** ini hanya terdiri dari 4 soal esay. Masing-masing soal memiliki bobot nilai seperti tertulis di awal soal.
2. Untuk setiap soal telah disediakan ruang kosong yang cukup banyak karena Anda diharapkan mengerjakannya dengan langkah-langkah yang cukup elaboratif atau lebih panjang tapi tetap padat dan tepat.
3. Jika tempat jawaban yang disediakan tidak mencukupi, Anda dapat meminta lagi kertas tambahan kepada Pengawas dan Anda **dilarang** menggunakan halaman di belakangnya.
4. Waktu tes adalah 3 jam dan Anda boleh menyelesaikan soal-soal manapun terlebih dahulu sesuka Anda.
5. Tuliskan jawaban Anda dengan menggunakan **pena** atau **pulpen** berwarna hitam/biru. Pensil hanya boleh digunakan untuk membuat gambar atau sketsa.
6. Anda **diperbolehkan** menggunakan kalkulator.
7. Di akhir tes, kumpulkan berkas soal ini secara utuh. Jangan lupa mencantumkan identitas Anda dengan menuliskan nomor peserta Anda di setiap halaman.

Korektor 1.

No.	1	2	3	4	Σ
Nilai					

Korektor 2.

No.	1	2	3	4	Σ
Nilai					

**OLIMPIADE NASIONAL MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PERGURUAN TINGGI 2023
(ONMIPA-PT)**

**Bidang Fisika: Termodinamika-Fisika Statistik & Fisika
Modern-Mekanika Kuantum (Tes 2)**

15 Juni 2023

Waktu: 180 menit

Soal Uraian/Essay

1. **(20 poin)** Dalam sel galvanik kadmium, persamaan tegangan sebagai fungsi suhu dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\varphi(T) = \varphi_0 + a(T - T_0) + b(T - T_0)^2$$

dengan $T_0 = 20^\circ\text{C}$, $\varphi_0 = 1,02\text{ V}$, $a = -4,06 \times 10^{-5}\text{ V/K}$, dan $b = -0,95 \times 10^{-6}\text{ V/K}^2$.

Anda juga bisa memanfaatkan persamaan kapasitas panas pada muatan konstan $C_q =$

$T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_q$, nilai kapasitas panas pada muatan konstan sel adalah $4,2\text{ J/K}$, dan persamaan

korelasi $\left(\frac{\partial S}{\partial q} \right)_T = - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial T} \right)_q$ dimana a, b adalah konstanta, S entropi, T suhu, φ tegangan,

U energi dalam, dan C kapasitas panas. Tentukan:

- a. **(8 poin)** jumlah perubahan energi dalam sel untuk setiap perubahan satu muatan pada suhu 20°C . Dikondisikan sel galvanik bersifat reversibel.
- b. **(9 poin)** perubahan suhu yang terjadi dalam setiap perubahan satu muatan pada saat suhu awal 20°C .
- c. **(3 poin)** perubahan suhu yang terjadi dalam setiap perubahan satu muatan pada saat suhu awal 20°C jika Cel dilakukan hubungan singkat (eksperimen Hirn).
Anda juga bisa menggunakan hubungan $C_q = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_q$

Jawab:

2. **(30 poin)** Sebuah sistem terdiri atas 5000 partikel klasik yang menempati salah satu di antara 3 tingkat energi, yaitu 0, ε , dan 2ε satuan. Mula-mula pada tingkat-tingkat energi tersebut diletakkan secara berturut-turut 2500, 2000, dan 500 partikel. Dengan memindahkan 2 partikel dari tingkat energi ε ke tingkat energi 0 dan 2 partikel lain dari tingkat energi ε ke tingkat energi 2ε dan dengan ilustrasi dan perhitungan distribusi Maxwell-Boltzmann.
- (15 poin)** Tunjukkan bahwa distribusi mula-mula tersebut bukan merupakan pembagian populasi termungkin yang menunjukkan kesetimbangan.
 - (15 poin)** Tentukan distribusi partikel dari ketiga tingkat energi tersebut yang memiliki probabilitas terbesar pada keadaan setimbang. Asumsikan tiap tingkat energi memiliki probabilitas intrinsik (degenerasi) sama, g . Perpindahan partikel juga dianggap memenuhi konservasi energi.

Jawab:

3. **(20 poin)** Soal berikut ini berkaitan dengan fisika matahari sebagai sumber energi utama di permukaan bumi. Diketahui rapat daya rata-rata radiasi matahari yang sampai ke atmosfer bumi adalah 1366 W/m^2 . Jari-jari rata-rata bumi adalah 6371 km. Anggap ketebalan karakteristik atmosfer bumi jauh lebih kecil daripada jari-jari rata-rata bumi. Sementara itu, jarak rata-rata bumi – matahari adalah $1,5 \times 10^{11}$ meter. Nilai konstanta Stefan-Boltzmann adalah $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$.
- a. **(2 poin)** Tentukan total energi radiasi matahari yang sampai ke atmosfer bumi selama setahun dalam satuan Joule.

Selanjutnya kita akan melakukan pendekatan untuk memahami mengapa matahari berukuran besar dengan massa dan jari-jari seperti yang diketahui selama ini. Gunakan $M_{\text{sun}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$ dan $R_{\text{sun}} = 7 \times 10^8 \text{ meter}$.

- b. **(3 poin)** Misalnya bagian inti matahari dimodelkan hanya terdiri dari atom Hidrogen saja. Jika v_{rms} pada inti matahari memiliki orde besar yang sama dengan kecepatan lepas dari gravitasi di permukaan matahari, tentukan suhu pada inti matahari.

Sumber energi matahari adalah reaksi nuklir pada inti atom Hidrogen yang berlangsung di dalam inti matahari. Syarat agar hal ini dapat terjadi adalah skala jarak terjadinya reaksi nuklir harus berkisar pada ukuran inti atom Hidrogen, yaitu sekitar 10^{-15} meter.

- c. **(4 poin)** Dengan menggunakan pendekatan energi potensial listrik Coulomb antara dua inti Hidrogen pada jarak terdekat r dengan energi kinetik dengan kecepatan v_{rms} , tunjukkan bahwa secara pendekatan klasik, orde r masih berada pada kisaran 100 – 1000 kali orde ukuran inti Hidrogen.

Untuk menjembatani faktor jarak r di atas akibat gaya Coulomb, maka agar reaksi tetap dapat terjadi akan digunakan pendekatan kuantum. Syarat reaksi dapat terjadi adalah orde jarak r kira-kira sama dengan panjang gelombang de Broglie inti Hidrogen dengan kecepatan yang tidak lagi sama dengan kecepatan rms.

- d. **(3 poin)** Dari syarat reaksi terakhir di atas, pada inti matahari tentukan orde kecepatan yang berkaitan dengan kecepatan pada relasi de Broglie.
- e. **(3 poin)** Dengan menyamakan kecepatan pada (d) di atas dengan kecepatan lepas dari gravitasi permukaan matahari, tentukan rumus untuk $\frac{M_{\text{sun}}}{R_{\text{sun}}}$. Selanjutnya bandingkan nilai ini dengan nilai dari data yang terdapat dalam soal. Bagaimanakah kesimpulannya.

Terakhir akan dikaji tentang dua karakteristik suhu yang ada di permukaan dan di atmosfer matahari.

- f. **(3 poin)** Dengan asumsi bahwa permukaan matahari bersifat benda hitam sempurna, dari data-data yang disebutkan dalam soal di atas tentukan suhu radiasi benda hitam di permukaan matahari.

- Suhu kedua yang berada di atmosfer matahari adalah suhu untuk korona atau lidah api.
- g. **(2 poin)** Dengan asumsi bahwa energi sinar matahari yang terkuantisasi berbanding lurus dengan suhunya, tentukan orde besar suhu *loop* korona yang memiliki karakteristik panjang gelombang sekitar 100 Angstrom (daerah UV ekstrem) dan orde besar suhu *loop* kembang api korona yang memiliki karakteristik energi sebesar 1 keV (*soft X-ray*)

Jawab:

4. **[30 poin]** Sebuah fungsi gelombang adiabatik (fungsi gelombang yang mempertahankan keadaanya dari awal hingga akhir evolusi) dapat dituliskan sebagai

$$\Psi(x, R(t)) = A_n(x, R(t)) e^{\frac{-i}{\hbar} \int_0^t E_n(R(t)) dt} e^{i\varepsilon\theta(x,t)}$$

dengan $R(t) = R_0 + \varepsilon t$, merupakan fungsi waktu yang bersifat adiabatik dengan $\varepsilon \rightarrow 0$, dan θ merupakan fase adiabatik

- (2 poin)** Tuliskan persamaan Schrodinger bergantung waktu untuk fungsi gelombang adiabatik tersebut,
- (17 poin)** Dengan mengabaikan suku ε^2 serta fakta bahwa

$$\frac{\partial \Psi(x, R(t))}{\partial t} = \frac{\partial R}{\partial t} \frac{\partial \Psi(x, R(t))}{\partial R} = \varepsilon \frac{\partial \Psi(x, R(t))}{\partial R}, \text{ serta } -\frac{\hbar^2}{2m_0} \frac{\partial^2 A_n}{\partial x^2} + V A_n = E_n A_n,$$

Buktikan bahwa melalui persamaan Schrodinger, fase adiabatik θ dapat ditentukan melalui fungsi real berikut:

$$\frac{2m_0}{\hbar} \operatorname{Re} \left[A_n \frac{\partial A_n^*}{\partial R} \right] + 2 \operatorname{Re} \left[A_n \frac{\partial A_n^*}{\partial x} \right] \frac{\partial \theta}{\partial x} + |A_n|^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = 0$$

- (11 poin)** Jika A_n merupakan fungsi gelombang keadaan dasar pada sistem osilator harmonik

$$A_n(x, \omega(t)) = \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar} \right)^{\frac{1}{4}} e^{-\frac{m\omega}{2\hbar} x^2}, \text{ dengan fungsi waktu adiabatic } \omega = \omega_0 + \varepsilon t.$$

Tentukan persamaan fase adiabatik θ .

Jawab:

