

1. [20 poin, 25 menit] Tinjau suatu bintang yang berdenyut dengan spektrum yang berubah secara periodik. Diasumsikan spektrum bintang tersebut konsisten dengan spektrum radiasi benda hitam. Panjang gelombang untuk intensitas puncak (*peak intensity*) spektrum bervariasi dari nilai minimum 414 nm hingga nilai maksimum 700 nm. Diketahui fluks energi  $F$  dari permukaan bintang adalah  $1,67 \times 10^8 \text{ W/m}^2$  ketika panjang gelombang intensitas puncak = 414 nm. Adapun luminositas total bintang (keluaran daya total) bintang diasumsikan bernilai tetap terhadap waktu.

Tentukan:

- (4 poin)** selisih suhu permukaan bintang antara maksimum dan minimum.
- (4 poin)** nilai fluks energi ketika panjang gelombang intensitas puncak = 700 nm.
- (4 poin)** perbandingan jari-jari maksimum bintang dengan jari-jari minimumnya.
- (4 poin)** kecepatan maksimum permukaan bintang ketika bintang tersebut mengalami ekspansi, dimana biasanya garis serapan natrium bernilai 589,3 nm ternyata bergeser pada spektrum bintang ini dari nilai minimum 589,2 nm ke nilai maksimum 589,4 nm. Asumsikan posisi bintang tersebut diam terhadap bumi.
- (4 poin)** nilai  $R_{\min}$  dan  $R_{\max}$  ketika bintang tersebut berekspansi dari jari-jari minimum  $R_{\min}$  ke jari-jari maksimum  $R_{\max}$  dalam 12,7 jam. Asumsikan bahwa kecepatan rata-rata ekspansi permukaan bintang adalah setengah dari nilai maksimum kecepatannya.

2. **[23 poin, 25 menit]** Tinjau sebuah proton bermassa  $m_p$  dan sebuah elektron bermassa  $m_e$  terikat bersama membentuk “atom Hidrogen” hanya karena pengaruh gaya gravitasi saja dengan konstanta gravitasi universal  $G$ . “Atom Hidrogen” ini tetap memenuhi kaidah Bohr tentang kuantisasi momentum sudut. Elektron dapat menempati kulit-kulit elektron dengan nomor  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Tentukan:
- (9 poin)** jari-jari lintasan elektron pada kulit terendah.
  - (6 poin)** kecepatan elektron pada kulit terendah.
  - (8 poin)** panjang gelombang foton yang dipancarkan ketika elektron pindah dari kulit  $n = 1$  ke  $n = 2$ .

3. **[27 poin, 30 menit]** Sebuah partikel bermassa (invarian)  $m$  bergerak pada bidang dua dimensi  $(x, y)$  secara relativistik. Partikel tersebut mula-mula memiliki momentum relativistik konstan sebesar  $p_0$  ke arah sumbu  $x$  positif, kemudian dikenakan gaya relativistik konstan sebesar  $f_0$  ke arah sumbu  $y$  positif. Antara vektor gaya relativistik  $\vec{\mathbf{F}}$  dan vektor momentum relativistik  $\vec{\mathbf{p}}$  tetap berlaku hubungan

$$\vec{\mathbf{F}} = \frac{d\vec{\mathbf{p}}}{dt}.$$

Kecepatan cahaya sama dengan  $c$ . Misalnya pada saat awal, partikel tersebut berada di titik O. Tentukan:

- (18 poin)** bentuk persamaan trayektori partikel  $y(x)$  secara relativistik dinyatakan dalam besaran-besaran tersebut di atas.
- (9 poin)** syarat hubungan antara  $f_0$  dan  $p_0$  agar gerak partikel tersebut bersifat klasik (non-relativistik). Selanjutnya, untuk gerak non-relativistik tersebut tentukan trayektori gerak partikel tersebut dari hasil (a) di atas.

4. **[30 poin, 40 menit]** Sebuah partikel bermassa  $m$  berada pada sistem satu dimensi  $x$  yang memiliki potensial

$$V(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq a \\ \infty, & x < 0 \text{ dan } x > a \end{cases}$$

Pada waktu  $t = 0$ , fungsi gelombang partikel tersebut pada daerah  $0 \leq x \leq a$  berbentuk

$$\psi(x, t = 0) = C \sum_{n=1}^{10} \frac{\sin(n\pi x / a)}{2^{n/2}}$$

dengan  $C$  suatu bilangan real positif. Tentukan:

- (17 poin)** nilai  $C$  agar fungsi gelombang tersebut ternormalisir,
- (6 poin)** energi rata-rata system,
- (7 poin)** bentuk fungsi gelombang untuk  $t = 1$ .