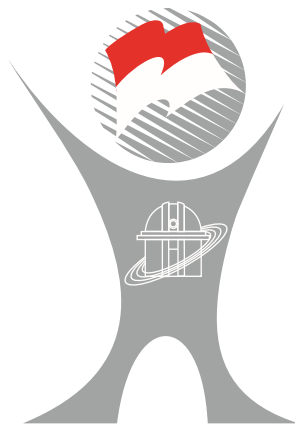




**SOAL**  
**OLIMPIADE SAINS NASIONAL**  
**TAHUN 2016**



**ASTRONOMI**  
**RONDE TEORI**  
**Waktu: 240 menit**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**  
**DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN MENENGAH**  
**DIREKTORAT PEMBINAAN SEKOLAH MENENGAH ATAS**  
**TAHUN 2016**



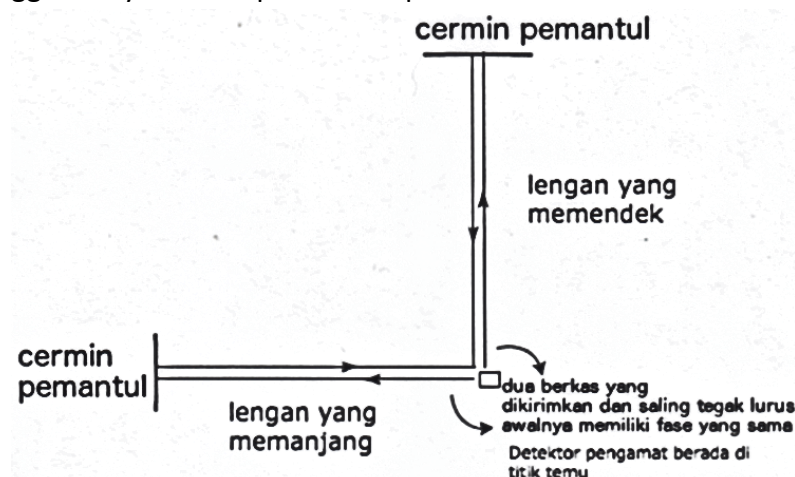
**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**  
**DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN MENENGAH**  
**DIREKTORAT PEMBINAAN SEKOLAH MENENGAH ATAS**

**Petunjuk:**

1. Jawablah seluruh soal hanya dilembat jawaban, dan jangan dilembat soal ini!
2. Naskah soal terdiri dari 8 (delapan) soal esai, disertai daftar konstanta dan data astronomi.
3. Kalkulator boleh digunakan.
4. Tidak ada pengurangan nilai untuk jawaban salah.
5. Waktu pengerjaan adalah 240 menit (4 jam)

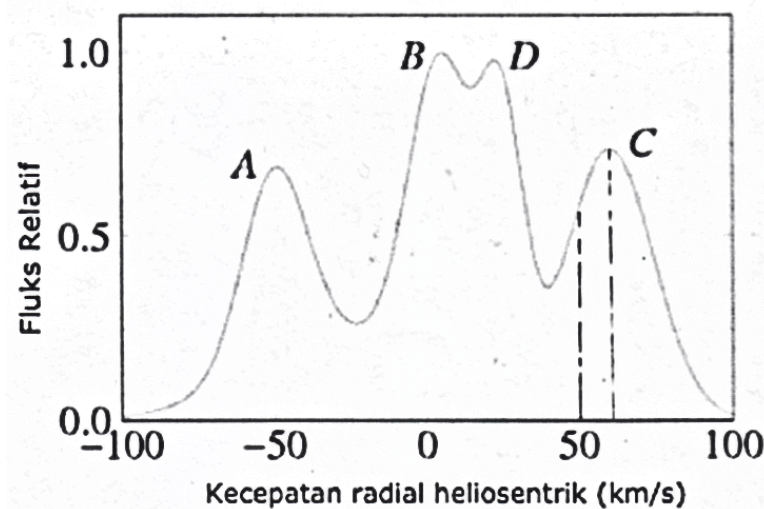
**Soal Esai**

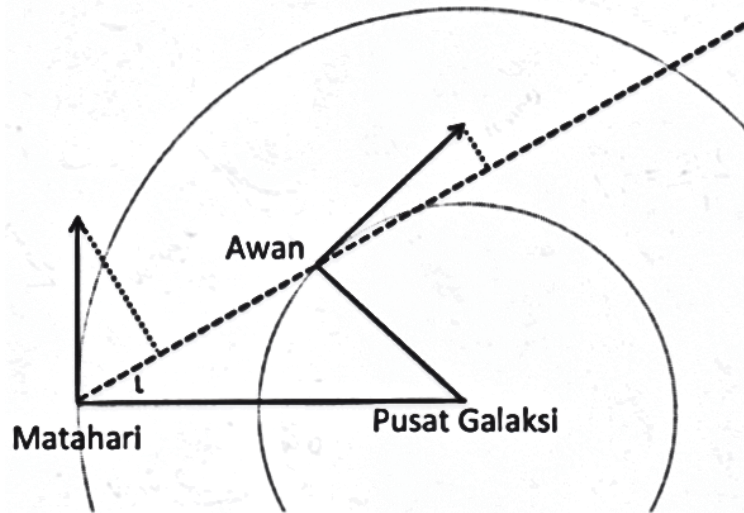
1. Komponen suatu bintang ganda mempunyai massa yang sama, yaitu  $1,25M_{\odot}$ . Jika periode orbit sistem adalah 7,5 jam dan orbit dianggap lingkaran dengan inklinasi sebesar  $65^{\circ}$  terhadap bidang langit, berapakah kecepatan radial masing-masing bintang (dalam satuan m/s)?
2. Perhatikan skema interferometer LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) berikut. LIGO menggunakan Laser 700 nm dan memiliki panjang lengan awal masing-masing 4 km. Pada awalnya, berkas laser dari masing-masing lengan yang bertemu memiliki fase yang sama. Jika terdapat gelombang gravitasi, maka lengan interferometer dapat memendek atau memanjang sehingga menyebabkan perubahan pola interferensi di titik temu.



- a. Jika terdapat gelombang gravitasi yang menyebabkan salah satu lengan interferometer memendek sebesar  $\Delta l$  sedangkan lengan lainnya memanjang sebesar  $\Delta l$ , maka akan terjadi perubahan pola interferensi dari terang menjadi gelap. Berapakah nilai  $\Delta l$  (dalam satuan m)?
- b. Hitunglah perbandingan besar perubahan panjang lengan terhadap panjang lengan awal. Perbandingan ini disebut sebagai regangan atau strain yang sebanding dengan amplitudo gelombang gravitasi.

- c. Jika gelombang gravitasi yang diakibatkan oleh interaksi lubang hitam ganda menyebabkan pada akhirnya kedua lubang hitam bersatu (merge) menjadi lubang hitam simetris, berapakah amplitudo gelombang gravitasi yang terdeteksi?
3. Gerhana Matahari Cincin akan terjadi pada tanggal 1 September 2016. Andaikan titik pusat kedua piringan Bulan dan Matahari berimpit, dan piringan Bulan di saat gerhana tersebut menutupi 98% piringan Matahari, berapakah jarak Bumi-Bulan pada saat itu (dinyatakan dalam satuan km)? Diketahui eksentrisitas orbit Bumi  $e = 0,0167$ , dan Bumi berada di perihelion pada tanggal 3 Januari 2016.
4. Pada suatu bintang ganda gerhana, bintang pertama memiliki radius  $R_1$  dan temperatur efektif  $T_1$ , sedangkan bintang kedua dengan radius  $R_2 = 0,75R_1$  dan temperatur efektif  $T_2 = 2,5T_1$ . Pada saat bintang yang berukuran lebih besar menggerhanai bintang yang lebih kecil, berapakah perubahan magnitudo bolometrik sistem bintang ganda ini?
5. Kuil Abu Simbel atau disebut juga Monumen Nubia adalah sebuah kuil di tepi sungai Nil di selatan Mesir yang dibangun oleh Firaun Ramses II pada sekitar abad 13 SM. Kuil tersebut dibangun sebagai peringatan bagi Firaun Ramses II dan istrinya Nefertari setelah memenangkan sebuah perang besar yang disebut Perang Kadesh (perang antara kekaisaran Mesir dan kekaisaran Hittite). Kuil ini dibangun dengan mengukir sebuah bukit batu dan di depannya terdapat patung raksasa Ramses II.
- Di ujung paling dalam kuil, terdapat sebuah altar dengan patung dewa Ra, Ramses II, dewa Amon, dan dewa Ptah (dewa kematian). Setiap dua kali setahun, cahaya Matahari yang baru terbit di horison akan masuk ke dalam kuil hingga menyinari altar tersebut. Kedua waktu tersebut diperkirakan sebagai saat hari lahir Firaun Ramses II dan hari ketika Ramses II diangkat menjadi Firaun. Jika diketahui koordinat kuil tersebut adalah  $\phi = 22^\circ 20' 13''$  Lintang Utara,  $\lambda = 31^\circ 37' 32''$  Bujur Timur, dan azimuth arah pintu masuk kuil adalah  $A_z = 100,^\circ 55$ , tentukan pada tanggal dan bulan apakah (dua waktu dalam satu tahun) cahaya Matahari terbit akan mengarah tepat ke patung di dalam altar. Abaikan efek refraksi dan efek ketinggian.
6. Perhatikan spektrum dan skema berikut:





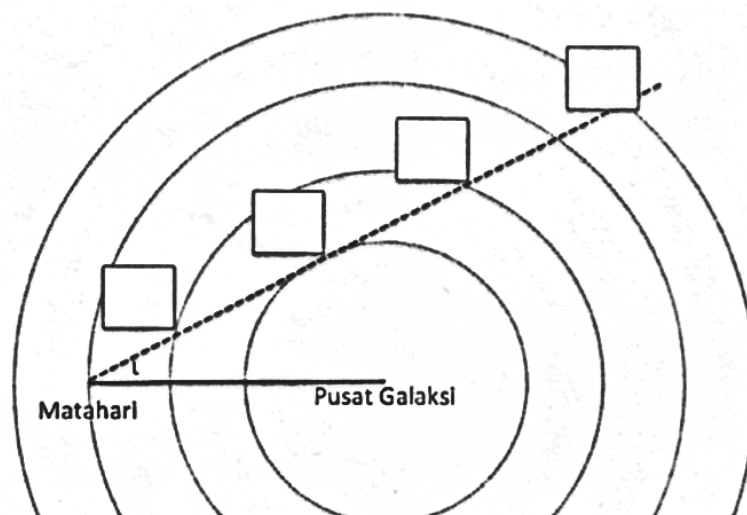
Diketahui spektrum Hidrogen 21 cm yang diamati pada koordinat galaktik  $(\ell, b) = (30^\circ, 0^\circ)$  memiliki puncak-puncak A, B, C, dan D yang disebabkan oleh awan-awan antarbintang.

- a. Asumsikan awan antar bintang dan Matahari mengelilingi pusat Galaksi dengan orbit lingkaran dan jarak Matahari dari pusat Galaksi sebesar  $R_0 = 8$  kpc serta kecepatan orbit Matahari  $V_\odot = 220$  km/s, Buktikanlah bahwa kecepatan radial awan antarbintang ( $V_r$ ) yang teramati mengikuti persamaan berikut:

$$V_r = R_o(\omega - \omega_\odot) \sin \ell$$

dengan  $\omega$  dan  $\omega_\odot$  masing-masing adalah kecepatan sudut awan antar bintang dan kecepatan sudut Matahari.

- b. Berdasarkan kecepatan radial maksimum pada spektrum, berapakah jarak minimum dari pusat Galaksi (Galactocentric) dan kecepatan orbitnya?
- c. Perhatikan skema berikut. Gambarlah skema tersebut di lembar jawaban, lalu posisikanlah awan antarbintang A, B, C, dan D dengan menuliskan alfabet nama awan pada kotak yang disediakan.



7. Jika hanya meninjau energi radiasi, gradien temperatur pada jarak  $0 < r \leq R$  dari pusat bintang dapat didekati dengan hubungan

$$-\frac{\kappa \rho_r L_r}{a c T_r^3 r^2}$$

dan gradien tekanan pada jarak itu didekati dengan hubungan

$$-\frac{G M_r \rho_r}{r^2}$$

dengan  $\rho_r$ ,  $L_r$ ,  $T_r$ , dan  $\kappa$ , masing-masing adalah massa jenis, luminositas, temperatur, dan kekedapan (opasitas) pada jarak  $r$ , sedangkan  $M_r$  adalah massa hingga jarak  $r$ . Jejari bintang adalah  $R$ .

Karena perbedaan yang sangat besar dengan nilai di pusat bintang, temperatur dan tekanan di permukaan bintang ( $r = R$ ) dianggap nol, sedangkan temperatur dan tekanan di pusat akan dihitung secara perkiraan.

Gunakanlah tetapan  $G$ ,  $a$ , dan  $c$  di dalam tabel. Jika  $\kappa = 1$  dan  $\rho_r$  selalu konstan tak nol, maka

- Rumuskanlah temperatur pusat dan tekanan pusat bintang sebagai fungsi dari  $L$ ,  $M$ , dan  $R$ .
- Perkirakanlah nilai temperatur pusat Matahari (dalam satuan K) dan tekanan pusat Matahari (dalam satuan  $\text{N/m}^2$ ).
- Anggap tekanan  $P_r$  di dalam bintang dapat didekati dengan

$$P_r = \frac{\mathcal{R}}{\mu} \rho_r T_r$$

dengan  $\mathcal{R}$  konstanta gas dan  $\mu$  berat molekul rata-rata (tak bersatuan). Dengan mengambil  $\mu = 0,5$ , berapakah massa jenis di pusat Matahari ( $\rho_r$ ) dinyatakan dalam satuan  $\text{kg/m}^3$ ?

- Dengan menggunakan persamaan dari soal (7c), buktikanlah bahwa hubungan luminositas dengan massa memenuhi persamaan:

$$L = \mathcal{Z} M^3$$

dengan  $\mathcal{Z}$  adalah konstanta. Dibandingkan dengan Matahari, berapa kalikah luminositas bintang deret utama bermassa  $3M_\odot$ ?

- Seandainya tekanan di Matahari menghilang seketika, berapa lama waktu keruntuhan Matahari?

8. Pada saat Gerhana Matahari Total, kita dapat mengamati korona Matahari yang memiliki kerapatan rendah ( $n = 10^8 \text{ cm}^{-3}$ ) dan temperatur tinggi ( $2 \times 10^6 \text{ K}$ ). Korona ini tersusun dari atom-atom Hidrogen yang terionisasi dan di bawah pengaruh medan magnet.

- Agar partikel-partikel atom Hidrogen dapat lepas dari Matahari, berapakah laju minimum yang dibutuhkan (dalam satuan  $\text{m/s}$ )?
- Hitunglah laju termal atom Hidrogen dan Hidrogen terionisasi (yang terdiri dari proton dan elektron) di korona (masing-masing dalam satuan  $\text{m/s}$ ). Apakah orde laju tersebut sesuai dengan yang dibutuhkan untuk lepas dari Matahari? Apakah semua partikel dapat lepas?
- Jika partikel yang lepas menjadi angin Matahari, tentukan berapa massa Matahari yang hilang tiap tahun. Anggap angin Matahari mengembang dengan bentuk simetri bola dan partikel yang lepas hanya elektron.

- d. Selain terdiri dari partikel-partikel, korona juga terdiri dari medan magnet yang bergerak bebas. Hal ini dikarenakan tekanan medan magnetik  $P_B$  lebih besar dari tekanan gas  $P$  di korona. Diketahui tekanan medan magnetik mengikuti persamaan berikut

$$P_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

dengan  $2\mu_0$  adalah permeabilitas di ruang hampa. Jika kuat medan magnet di korona, yaitu  $B = 10$  Gauss, hitunglah tekanan magnetik di korona.

- e. Hitunglah tekanan gas di korona. Bandingkanlah tekanan magnetik pada soal (8d) dengan tekanan gas di korona.