

Solusi OSP Astronomi 2014



Dibuat Oleh:

David Orlando Kurniawan – Nanyang Technological
University Singapore, Alumni SMAK 1 PENABUR Jakarta
(Medali Emas + *Best in Theory* OSN 2012, Medali Emas
IOAA 2013)

david.orlando.kurniawan@gmail.com

Marcelina Viana – SMA Santa Ursula Jakarta (Medali Perak
OSN 2012, Medali Perak IOAA 2013, Peserta IOAA 2014)

marcelinakatharinaviana@gmail.com

Pendahuluan

Terima kasih sudah mendownload solusi ini. Solusi ini kami buat untuk membantu para peserta OSP 2014 untuk mengestimasi nilai mereka, dan juga menjadi bahan pembelajaran untuk para peserta olimpiade astronomi tahun-tahun berikutnya. Satu hal yang perlu dicatat, solusi ini murni kami buat sendiri tanpa ada petunjuk dari Tim Pembina Olimpiade Astronomi (TPOA). Oleh karena itu, kami tidak menjamin bahwa solusi yang kami buat ini sepenuhnya benar. Walaupun begitu solusi ini dapat menjadi pedoman untuk melihat bagaimana jawaban yang seharusnya. Solusi ini akan secara reguler diperbaharui jika ada kesalahan nantinya, jadi bisa dicek di website untuk informasi tanggal update terakhir. Akhir kata selamat membaca! Untuk peserta OSP 2014, semoga hasilnya nanti merupakan yang terbaik bagi kalian.

**Hak cipta soal OSP Astronomi 2014 ada di Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan dilindungi oleh undang-undang*

Soal Pilihan Ganda

1. Apakah yang dimaksud dengan luminositas Matahari?
 - a. Besarnya energi yang dipancarkan oleh Matahari
 - b. Besarnya energi Matahari yang diterima di permukaan Bumi
 - c. Kecerlangan Matahari yang diukur pada jarak tertentu
 - d. Terang sebenarnya Matahari yang sampai ke Bumi
 - e. Daya Matahari yang diterima di Bumi per satuan luas per satuan waktu

Jawaban: A

Luminositas adalah total energi per satuan waktu pada seluruh panjang gelombang yang dihasilkan oleh suatu objek dalam radius objek. (Detail lebih lengkap:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Luminosity>)

2. Secara spektroskopi, astronom mendeteksi kehadiran medan magnet pada objek-objek astronomi melalui
 - a. Efek Zeeman
 - b. Terowongan kuantum
 - c. Keberadaan garis-garis Balmer
 - d. Efek Polarisasi
 - e. Bentuk kurva benda hitam

Jawaban: A

Adanya medan magnet pada objek astronomi menyebabkan suatu garis absorpsi teramati terbagi menjadi beberapa garis, dan efek tersebut dinamakan efek Zeeman (Detail lebih lengkap: http://en.wikipedia.org/wiki/Zeeman_effect)

3. Sebuah bintang mempunyai jejari 2000 km dan temperatur permukaan 10000 K. Jika jarak bintang ini 10 parsec, maka bintang...
 - a. Sulit diamati dengan mata telanjang karena jaraknya yang terlalu jauh
 - b. Sulit diamati dengan mata telanjang karena nilai magnitudo nya yang terlalu besar
 - c. Relatif lebih mudah diamati dengan mata telanjang karena temperaturnya yang tinggi
 - d. Relatif lebih mudah diamati dengan mata telanjang karena nilai magnitudo nya yang besar
 - e. Tidak dapat disimpulkan apakah dapat diamati dengan mata telanjang atau tidak

Jawaban: B

Ada 2 pendekatan untuk menjawab soal ini:

Menghitung manual:

Hitung Luminositas bintang tersebut

$$\begin{aligned}L &= 4\pi\sigma r^2 T^4 \\L &= 4\pi\sigma (2000000 \text{ m})^2 (10000 \text{ K})^4 \\L &= 2,85 \times 10^{22} \text{ W}\end{aligned}$$

Bandingkan dengan Matahari ($L = 3,86 \times 10^{26} \text{ W}$ dan $M = 4,8$)

$$\begin{aligned}M_1 - M_2 &= -2,5 \log \frac{L_1}{L_2} \\M_1 - 4,8 &= -2,5 \log \frac{2,85 \times 10^{22}}{3,86 \times 10^{26}} \\M_1 &= 15,13\end{aligned}$$

Karena bintang tersebut berada pada jarak 10 pc, maka $m = M$. Nilai $m = 15,13$ terlalu redup untuk dilihat dengan mata telanjang

Menyimpulkan jenis objek:

Dengan melihat fakta bahwa bintang tersebut memiliki suhu tinggi namun radius kecil, kita dapat menyimpulkan bahwa objek tersebut adalah sebuah bintang katai putih.

Sebuah bintang katai putih tidak dapat dilihat pada jarak sejauh 10 pc karena luminositasnya rendah (berada di kiri bawah di Diagram H-R)

4. Jarak dari pusat Bumi ke sebuah satelit yang bergerak melingkari Bumi dengan periode orbit 150% kali periode sideris Bulan adalah...
- $1,02 \times 10^8$ meter
 - $2,02 \times 10^8$ meter
 - $3,02 \times 10^8$ meter
 - $4,02 \times 10^8$ meter
 - $5,02 \times 10^8$ meter

Jawaban: E

Periode sideris Bulan adalah 27,3 hari, sehingga 150%nya adalah 40,95 hari atau $3,54 \times 10^9$ detik. Masukkan nilai ini kedalam persamaan Hukum Kepler 3, disertai Massa Bumi yakni $6 \times 10^{24} \text{ kg}$.

$$\begin{aligned}\frac{r^3}{T^2} &= \frac{GM}{4\pi^2} \\\frac{r^3}{(3,54 \times 10^9 \text{ s})^2} &= \frac{G(6 \times 10^{24} \text{ kg})}{4\pi^2} \\r &= 5,02 \times 10^8 \text{ m}\end{aligned}$$

5. Panjang satu tahun kabisat pada Kalender Matahari Kala Sunda (KMKS) dan Kalender Matahari Gregorian (KMG) adalah 366 hari. Panjang satu tahun basit pada kedua kalender tersebut adalah 365 hari. Aturan tahun kabisat pada KMKS adalah setiap tahun yang habis dibagi 4 dan tidak habis dibagi 128. Aturan tahun kabisat pada KMG adalah setiap tahun kelipatan 100 yang habis dibagi 400, atau setiap tahun bukan kelipatan 100 yang habis dibagi 4. Aturan tahun basit pada kedua kalender tersebut adalah tahun yang tidak memenuhi aturan tahun kabisat. Dengan demikian, dalam kurun waktu 51200 tahun...
- KMG mempunyai 16 tahun kabisat lebih banyak daripada KMKS
 - KMKS mempunyai 16 tahun kabisat lebih banyak daripada KMG
 - KMG mempunyai jumlah tahun kabisat sama dengan KMKS
 - KMG mempunyai 31 tahun kabisat lebih banyak daripada KMKS
 - KMKS mempunyai 31 tahun kabisat lebih banyak daripada KMG

Jawaban: A

Dalam 51200 tahun, jumlah tahun kabisat pada KMKS adalah: $(51200/4)-(51200/128) = 12400$

*Dalam 51200 tahun, jumlah tahun kabisat pada KMG adalah: $(51200/4)-(512*3/4)=12416$*

Maka KMG mempunyai 16 tahun kabisat lebih banyak dari KMKS

6. Jika sabit tipis Bulan tampak sesaat sebelum Matahari terbit, berarti Bulan menuju ke fase...
- Bulan baru
 - Seperempat pertama
 - Purnama
 - Seperempat akhir
 - Gembung Bulan

Jawaban: A

Jika sabit tipis Bulan tampak sesaat sebelum Matahari terbit, maka ada 2 kesimpulan: Bulan sedang pada fase Sabit dan berada sedikit di sisi barat Matahari (karena terbit lebih dulu). Oleh karena itu, Bulan sedang dalam fase sabit akhir. Fase berikutnya yang akan ditempuh adalah bulan baru/mati

7. Komposisi atom di fotosfer Matahari dapat dipelajari dengan
- Mengamati jumlah bintik Matahari
 - Menerapkan hukum pergeseran Wien dalam spectrum Matahari
 - Menelaah garis absorpsi spektrum Matahari
 - Mengamati Korona pada saat terjadinya Gerhana Matahari Total

- e. Mengamati siklus Matahari secara terus menerus

Jawaban: C

Setiap atom mempunyai keunikan masing-masing dalam hal jumlah proton. Jumlah proton mengakibatkan energi yang dibutuhkan untuk eksitasi elektron akan berbeda-beda bagi setiap atom. Itulah mengapa pada spektrum bintang, ada banyak garis absorpsi yang dihasilkan oleh atom-atom di atmosfer bintang tsb.

8. Jika Matahari berada pada jarak 4,37 tahun cahaya, apakah Matahari masih dapat kita amati tanpa alat bantu teleskop?
- Tidak, karena jarak Matahari terlalu jauh dari Bumi sehingga sulit diamati hanya dengan mata telanjang
 - Ya, karena jarak tidak mempengaruhi seberapa besar fluks energi Matahari yang diterima di Bumi
 - Tidak, karena luminositas Matahari menjadi jauh lebih kecil dibandingkan ketika berada lebih dekat dengan Bumi
 - Ya, karena magnitudo semunya masih dalam rentang pengamatan mata manusia
 - Belum bisa diketahui, bergantung pada temperatur Matahari ketika berada pada jarak yang lebih jauh

Jawaban: D

Ada 3 pendekatan untuk menjawab soal ini:

Menghitung manual:

Hitung magnitudo semu Matahari jika dilihat dari jarak 4,37 ly (1,34 pc atau 276500 AU)

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log \frac{E_1}{E_2}$$

$$m_1 - (-26,77) = -2,5 \log \frac{\frac{L}{4\pi(276500 \text{ AU})^2}}{\frac{3,86 \times 10^{26}}{4\pi(1 \text{ AU})^2}}$$

$$m_1 = 0,44$$

0,44 adalah magnitudo yang cukup terang untuk dilihat mata.

Membandingkan dengan magnitudo mutlak Matahari:

Dengan melihat fakta bahwa magnitudo mutlak Matahari adalah 4,8 dimana masih dalam batas yang dapat dilihat mata dan jarak 4,37 ly masih lebih dekat ketimbang 10 pc yang jadi standar magnitudo mutlak, maka Matahari masih dapat terlihat dari jarak 4,37 ly karena masih terlihat cukup terang

Melihat Riqil Kent

Karakteristik bintang Rigel Kent adalah berada pada jarak 4,4 ly dan sedikit lebih terang dari Matahari. Karena Rigel Kent termasuk bintang terang dari Bumi, maka dalam kasus ini Matahari juga dapat terlihat dari jarak 4,37 ly

9. Sebuah satelit dengan massa 1000 kg bergerak dalam orbit lingkaran pada ketinggian 400 km dari permukaan Bumi. Kecepatan linear satelit tersebut adalah
- 7,67 km/s
 - 7,90 km/s
 - 10,82 km/s
 - 11,20 km/s
 - 31,56 km/s

Jawaban: A

Kecepatan linear pada orbit lingkaran adalah sama dengan kecepatan orbitnya.

$$V = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Gunakan data r jarak dari pusat Bumi 6378+400 km = 6778000 m dan M massa Bumi 6×10^{24} , didapat angka 7666 m/s

10. Berikut ini adalah koordinat ekuator dua benda langit pada tanggal 9 April 2014: Mars $\alpha = 13^h12^m$, $\delta = -5^\circ2'$ dan Matahari $\alpha = 1^h10^m$, $\delta = +7^\circ23'$. Dari sebuah pulau kecil dengan lintang geografis 0° , berapa lamakah pada malam itu Mars berada diatas horizon?
- 12 jam
 - 14 jam
 - 2 jam
 - 6 jam
 - 7 jam

Jawaban: A

Selisih RA antara Matahari dan Mars = $13^h12^m - 1^h10^m = 12^h2^m$. Selisih 12 jam menandakan Mars terbit saat Matahari terbenam. Jika kita berada di lintang geografis 0° , maka semua objek akan berada diatas horizon selama 12 jam, yang berarti dalam kasus ini Mars akan berada diatas horizon sepanjang malam.

11. Dua bintang berjejer sama masing-masing mempunyai temperatur 6000 K dan 5000 K. Energi yang dihasilkan oleh bintang yang temperaturnya lebih tinggi adalah ... kali lebih besar dari bintang yang temperaturnya lebih rendah

- a. 1,2
- b. 1,4
- c. 1,6
- d. 1,8
- e. 2,1

Jawaban: E

Kedua bintang berjejer sama namun memiliki T yang berbeda. Berdasarkan rumus luminositas:

$$L = 4\pi\sigma r^2 T^4$$

Maka perbandingan luminositas hanya didasarkan pada perbandingan T^4 , yakni $(6000/5000)^4=2,07$

12. Dari kurva Planck tiga pemancar benda hitam dengan temperatur masing-masing $T_1 = 12000$ K, $T_2 = 9000$ K, dan $T_3 = 6000$ K, maka perbandingan panjang gelombang intensitas maksimum pemancar adalah

- a. $\lambda_2=3\lambda_1/4$, $\lambda_3=2\lambda_1$
- b. $\lambda_2=4\lambda_1/3$, $\lambda_3=\lambda_1/2$
- c. $\lambda_2=4\lambda_1/3$, $\lambda_3=2\lambda_1$
- d. $\lambda_2=3\lambda_1/4$, $\lambda_3=\lambda_1/2$
- e. $\lambda_2=2\lambda_1$, $\lambda_3=4\lambda_1/3$

Jawaban: C

Hukum pergeseran Wien menyatakan bahwa

$$\lambda T_{eff} = \text{konstan}$$

Dengan demikian kita dapat membuat perbandingan

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{T_{eff2}}{T_{eff1}}$$

Maka $\lambda_2=4\lambda_1/3$ dan $\lambda_3=2\lambda_1$

13. Venus adalah planet kedua terdekat dari Matahari setelah Merkurius, tetapi temperatur rata-rata permukaannya lebih tinggi dibandingkan dengan Merkurius. Hal ini disebabkan oleh
- a. Bombardir meteor yang menerus di permukaan Venus
 - b. Albedo venus yang sama dengan Merkurius yakni 0,75
 - c. CO₂ pada atmosfer Venus memberikan efek rumah kaca
 - d. Kerapatan Venus sama dengan kerapatan Bumi yakni 5300 kg/m³
 - e. Ukuran Venus lebih besar daripada ukuran Merkurius

Jawaban: C

Jika kita berbicara energi dari Matahari, maka Merkurius akan menerima energi yang lebih banyak dari Venus per satuan luas. Meskipun begitu, total energi yang diterima akan relatif sama karena perbandingan ukuran Venus dan Merkurius cukup untuk meniadakan faktor jarak. Yang menyebabkan Venus memiliki temperatur permukaan rata-rata lebih tinggi adalah karena temperatur saat malam relatif konstan karena CO₂ pada atmosfer memantulkan kembali cahaya yang akan dibawa keluar sehingga terperangkap dalam atmosfer Venus dan menyebabkan efek rumah kaca. Berbeda dengan Merkurius yang temperatur saat malamnya rendah.

14. Pesawat rover Pathfinder yang diluncurkan oleh Amerika melakukan pemotretan di permukaan planet Mars, dengan perintah yang dikirim dari Bumi melalui gelombang radio. Perintah diberikan pada pukul 23:05 saat oposisi Mars. Jika proses menerima perintah, mengarahkan kamera, memotret lalu mengirimkan datanya ke Bumi membutuhkan waktu 7 menit, pada pukul berapa stasiun pengendali di Amerika menerima fotonya? Anggap Bumi dan Mars mengelilingi Matahari dalam orbit lingkaran.
- Pukul 23:09
 - Pukul 23:12
 - Pukul 23:16
 - Pukul 23:20
 - Pukul 23:25

Jawaban: D

Proses mendapatkan gambar menghabiskan waktu 7 menit, namun jangan lupa ada delay waktu pengiriman perintah dari Bumi ke Mars karena kecepatan cahaya yang terbatas.

*Total delay waktu karena perbedaan posisi adalah 2*Jarak Bumi-Mars/c*

Saat itu, Mars sedang berposisi sehingga jarak kedua planet $1,52-1 = 0,52$ AU

$$\text{Total delay waktu} = \frac{2 \times 0,52 \times 150000000 \text{ km}}{300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 518 \text{ s} = 8 \text{ menit } 38 \text{ detik}$$

Maka data dari Mars akan diterima pukul $23:05+00:07+00:08 = 23:20$

15. Agar sebuah teleskop dapat melihat dengan jelas sebuah kawah di Bulan dengan diameter 2 km, maka teleskop itu harus mempunyai daya pisah...
- Kurang dari 1,0 detik busur
 - Sekitar 1,2 detik busur
 - Lebih besar dari 1,4 detik busur
 - 1,6 detik busur
 - Antara 1,5 dan 1,8 detik busur

Jawaban: A

Diameter sudut kawah bulan tersebut adalah $\tan^{-1}(2\text{km}/384400\text{km}) = 1''$. Supaya kawah tersebut dapat terlihat dengan jelas, maka teleskop harus dapat memisahkan kedua titik yang berjarak lebih kecil dari $1''$. Jika $1''$, maka kawah akan terlihat seperti sebuah titik saja.

16. Jarak terdekat komet P/Halley (periode = 76 tahun) ke Matahari adalah $8,9 \times 10^{10}$ meter. Eksentrisitasnya adalah

- a. 0,567
- b. 0,667
- c. 0,767
- d. 0,867
- e. 0,967

Jawaban: E

Diketahui periode Halley 76 tahun, maka menggunakan hukum Kepler didapat jarak rata-rata Halley sebesar $76^{2/3} = 17,94$ AU

Jarak terdekat Halley adalah $8,9 \times 10^{10}\text{m} = 0,595$ AU

Jarak terdekat dapat dinyatakan sebagai

$$d = a(1 - e)$$

Masukkan angka $d=0,595$ dan $a=17,94$ maka didapat nilai e sebesar 0,967

17. Pilih mana yang BENAR

- a. Panjang gelombang dari garis emisi yang dihasilkan oleh sebuah elemen berbeda dari panjang gelombang garis absorpsi yang dihasilkan oleh elemen yang sama
- b. Energi foton berbanding terbalik dengan panjang gelombang radiasinya
- c. Energi foton berbanding lurus dengan panjang gelombang radiasinya
- d. Garis spektrum hidrogen relatif lemah pada Matahari karena Matahari mengandung hidrogen yang lebih sedikit
- e. Garis Fraunhofer adalah garis emisi dalam spektrum Matahari

Jawaban: B

Analisis per pilihan:

$a \rightarrow$ Panjang gelombang dari garis emisi dan garis absorpsi dari sebuah elemen yang sama adalah sama karena disebabkan oleh eksitasi elektron yang sama.

b dan $c \rightarrow$ Energi foton dinyatakan sebagai hf dimana f berbanding terbalik dengan panjang gelombang. Oleh karena itu, energi foton pun berbanding terbalik dengan panjang gelombang

*d→Hidrogen pada Matahari cukup banyak karena Matahari masih di deret utama
e→Garis Fraunhofer adalah garis absorpsi dari spektrum Matahari*

Pilihan Ganda Bersyarat

Untuk tiga soal berikut ini, jawablah

- A. Jika 1, 2, dan 3 benar
- B. Jika 1 dan 3 benar
- C. Jika 2 dan 4 benar
- D. Jika 4 saja benar
- E. Jika semua benar

18. Hingga saat ini, anggota Tata Surya yang diketahui mempunyai medan magnet adalah

- 1. Bumi
- 2. Venus
- 3. Jupiter
- 4. Mars

Jawaban: B

Merkurius, Mars dan Venus tidak memiliki medan magnet yang cukup kuat sehingga dapat diabaikan. Sementara itu, planet Jovian memiliki medan magnet yang lebih kuat dari Bumi (sumber <http://www.uu.edu/dept/physics/scienceguys/2004Sept.cfm>)

19. Satelit alami yang saat ini diketahui TIDAK mempunyai atmosfer adalah

- 1. Bulan
- 2. Titan
- 3. Phobos
- 4. Io

Jawaban: B

*Yang kita tahu secara pasti, Bulan tidak memiliki atmosfer.
(http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_the_Moon)*

Sementara itu, beberapa waktu yang lalu kita mendengar informasi bahwa astronom menjajaki kemungkinan bahwa manusia dapat tinggal di Titan karena adanya efek

rumah kaca. Hal itu berarti Titan memiliki atmosfer

(http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Titan)

Phobos adalah sebuah bulan yang sangat kecil – lebih seperti asteroid yang tertangkap gravitasi Mars), maka tidak mungkin memiliki atmosfer

(https://solarsystem.nasa.gov/planets/profile.cfm?Object=Mar_Phobos)

Io memiliki atmosfer, namun sangat tipis (<http://www.space.com/16419-io-facts-about-jupiters-volcanic-moon.html>)

20. Jika kita menggunakan teropong bintang untuk meneropong objek-objek di permukaan Bumi, akan tampak citranya terbalik. Sesungguhnya ahli optik dapat saja membuatnya tidak terbalik, seperti jika kita menggunakan teropong medan (binokuler). Mengapa teropong bintang tidak dirancang untuk menghasilkan citra tegak? Karena untuk menghasilkan citra tegak

1. Biaya produksi akan lebih tinggi
2. Diperlukan lensa tambahan yaitu lensa pembalik
3. Resiko kehilangan energi cahaya di dalam teropong akan lebih besar
4. Tidak sesuai dengan prinsip-prinsip astronomi

Jawaban: A

Untuk menghasilkan citra tegak, kita memerlukan lensa pembalik (2 benar).

Konsekuensinya adalah kita memerlukan lensa tambahan yang menambah biaya pembuatan (1 benar) dan juga kita akan perlu panjang teleskop yang lebih, yang membatasi ukuran teleskop nantinya. Selain itu, saat cahaya melewati lensa atau alat optik, ada sebagian fraksi yang mungkin tidak terbias/terpantul sempurna sehingga energi dari fraksi tersebut hilang. Dengan menambah lensa, maka peluang adanya fraksi cahaya yang hilang akan lebih besar (3 benar).

Essay Pendek

21. Dari definisi pergeseran merah (*redshift*, z) dan hukum pergeseran Wien akan didapatkan hubungan temperatur dan *redshift*, $T(z)$. Saat ini temperatur radiasi latar belakang (*Cosmic Microwave Background*, CMB) yang teramati sebesar 2,7K. Berapa temperatur CMB pada pergeseran merah $z=9$?

Diklat nomor 21.

$$21. \frac{\lambda_0 - \lambda_z}{\lambda_z} = z$$
$$\frac{\lambda_0}{\lambda_z} - 1 = z$$
$$\frac{\lambda_0}{\lambda_z} = 1 + z$$
$$\frac{\lambda_z}{\lambda_0} = \frac{1}{1+z}$$
$$\lambda \propto \frac{1}{1+z}$$

Hukum wien : $T = \frac{c}{\lambda}$, $c = \text{konstanta}$

$$T \propto \frac{1}{\lambda} \propto 1+z$$
$$\frac{T_z}{T_0} = \frac{1+z}{1+0} \quad , \quad z_{\text{sekarang}} \text{ selalu } = 0 .$$
$$\frac{T_9}{2.7} = \frac{1+9}{1}$$
$$T_9 = 27 \text{ K}$$

Keterangan : $T_0 = T \text{ saat } z=0$
 $T_9 = T \text{ saat } z=9$
 $T_{z_1} = T \text{ saat } z=z_1$

22. Sebuah asteroid mengorbit Matahari tepat di bidang ekliptika, diantara orbit Mars dan Jupiter. Jejar orbit asteroid tersebut adalah 2,6 satuan astronomi. Jika hari ini asteroid tersebut tepat berada di belakang Matahari, maka hitunglah berapa hari diperlukan agar asteroid tersebut kembali tepat berada di belakang Matahari?

Diketahui:

22. $a_{\text{asteroid}} = 2.6 \text{ AU}$

untuk benda tata surya: $a^3 = T_{\text{sidaris}}^2$

$T_{\text{sidaris}} = 4.192 \text{ tahun}$

waktu yang diperlukan sejak asteroid tepat di belakang matahari sampai kembali tepat di belakang matahari = T_{sinodis}

asumsi: semua benda di Tata surya bergerak searah (ccw dari kutub utara)

$\omega_{\text{rel asteroid-bumi}} = \omega_{\text{bumi}} - \omega_{\text{asteroid}}$

$$\frac{2\pi}{T_{\text{sinodis ast}}} = \frac{2\pi}{T_{\text{bumi}}} - \frac{2\pi}{T_{\text{sidaris ast}}} \quad (\text{indeks ast untuk asteroid})$$

$$\frac{1}{T_{\text{sinodis ast}}} = \frac{1}{1} - \frac{1}{4.192}$$

$T_{\text{sinodis asteroid}} = 1.3132 \text{ tahun}$

$\approx 1.3 \text{ tahun}$

waktu yang diperlukan asteroid kembali tepat berada di belakang matahari = 1.3 tahun

23. Dilihat dari Bumi, sebuah eksoplanet transit didepan bintang induknya sehingga membuat bintang induk tampak meredup 0,0128 magnitudo. Jika cahaya pantulan dari planet dapat diabaikan, berapakah perbandingan jejari planet terhadap bintang induknya?

23. Asumsi : cahaya pantulan dari planet dapat diabaikan

$$m_{\text{gerhana}} - m_{\text{tidak gerhana}} = -2.5 \log \frac{E_{\text{gerhana}}}{E_{\text{tidak gerhana}}}$$

E = total energi dari bintang yang kita terima

R = jejari bintang

r = jejari planet

F = energi yang kita terima dari bintang per satuan luas

$$\Delta m = -2.5 \log \frac{(R^2 - r^2) F}{R^2 F}$$

$$0.0128 = -2.5 \log \frac{(R^2 - \frac{r^2}{R^2} R^2)}{R^2}$$

$$0.9882799851 = 1 - \frac{r^2}{R^2}$$

$$\left(\frac{r}{R}\right)^2 = 0.01172$$

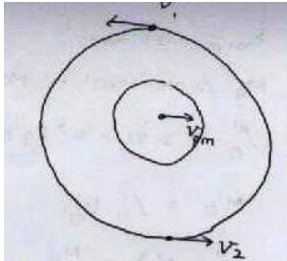
$$\frac{r}{R} = 0.108$$

\therefore perbandingan jejari planet terhadap bintang induknya 0.108.

24. $m_{He} = 4.002602 \text{ amu}$
 $m_{proton} = 1.00727647 \text{ amu}$
 reaksi yang berlangsung
 $6 {}^1_1\text{P} \rightarrow 2 {}^1_1\text{P} + {}^4_2\text{He} + {}^0_{+1}\beta + \gamma$
 \downarrow
 massa positron
 bisa diabaikan
 defek massa = $6 m_{proton} - (2 m_{proton} + m_{He})$
 $\Delta m = 4 m_{proton} - m_{He}$
 $= 0.02654388 \text{ amu} = 4.406 \times 10^{-29} \text{ kg}$
 Energi yang dihasilkan
 reaksi $= \Delta m \cdot c^2$
 $= 3.966 \times 10^{-12} \text{ Joule}$
 reaksi/detik = $10^{34} / \text{s}$
 \therefore besar energi yang dihasilkan per detik :
 $\text{Energi/detik} = \text{Energi/reaksi} \cdot \text{reaksi/detik}$
 $= 3.966 \times 10^{22} \text{ Joule /s}$
 $= 3.97 \times 10^{22} \text{ Watt}$

25. Berdasarkan konfigurasi bintang ganda spektroskopi relatif terhadap pengamat yang sebidang dengan orbit sistem bintang ganda, seperti gambar dibawah, buatlah kurva kecepatan radial (dalam km/s) terhadap fase orbit. Diketahui

- $M_1 = 1 M_{\text{sun}}, M_2 = 2 M_{\text{sun}}$
- Periode orbit, $P = 30$ hari
- Kecepatan radial titik pusat massa, $v_{\text{pm}} = +42 \text{ km/s}$



Asumsi orbit kedua bintang berbentuk lingkaran

$$V_{\text{rev } 1} = 2\pi a_1 / P = 66,06 \text{ km/s}$$

$$V_{\text{rev } 2} = 2\pi a_2 / P = 33,03 \text{ km/s}$$

$$V_{r1 \text{ max}} = V_{\text{rev } 1} + V_{\text{rpm}} = 108 \text{ km/s}$$

$$V_{r1 \text{ min}} = -V_{\text{rev } 1} + V_{\text{rpm}} = -24 \text{ km/s}$$

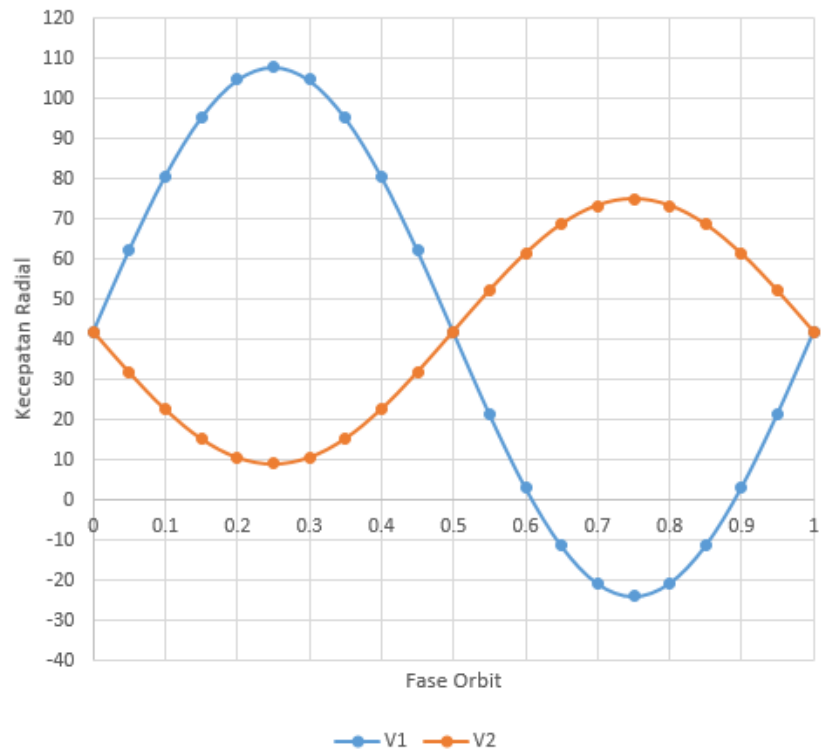
$$V_{r2 \text{ max}} = V_{\text{rev } 2} + V_{\text{rpm}} = 75 \text{ km/s}$$

$$V_{r2 \text{ min}} = -V_{\text{rev } 2} + V_{\text{rpm}} = 9 \text{ km/s}$$

25. $M_1 = 1 M_{\odot}$
 $M_2 = 2 M_{\odot}$
 $P = 30 \text{ hari} = 0.002 \text{ tahun}$
 $v_{\text{pm}} = +42 \text{ km/s}$

$a_{\text{total}} = a_1 + a_2$
 $\frac{a_{\text{total}}^3}{P^2} = M_1 + M_2$
 $a_{\text{total}} = 0.2725 \text{ AU}$
 $a_{\text{total}} = 0.27 \text{ AU}$
 $a_1 M_1 = a_2 M_2$
 $a_1 = (a_{\text{total}} - a_2) 2$
 $a_1 = 0.10 \text{ AU}$
 $a_2 = 0.09 \text{ AU}$

Kurva Kecepatan Radial Sistem Bintang Ganda



Essay Panjang

26. Sebuah satelit geostasioner yang massanya 800 kg mengelilingi Bumi dalam orbit lingkaran. Tiba-tiba satelit itu ditabrak oleh sebuah meteor kecil yang massanya 120 kg. Dilihat dari Bumi, meteoroid itu bergerak di bidang langit dengan kecepatan 4,2 km/s, dengan arah mirip gerak satelit tapi membentuk sudut kira-kira 30° terhadap arah gerak satelit tersebut. Setelah tabrakan, meteoroid itu melekat ke dalam satelit tapi tidak menghancurkannya. Berapa kecepatan satelit sesaat setelah tumbukan dan kemana arahnya yang baru?

26. $M_{\text{satelit}} = 800 \text{ kg}$, orbit satelit lingkaran
geostasioner: $T_{\text{satelit}} = 24 \text{ jam} = 86400 \text{ s}$


$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{4M_{\text{Bumi}}}{4\pi^2} \quad (M_{\text{satelit}} \ll M_{\text{Bumi}}, \text{ bisa diabaikan})$$

$$r_{\text{geostasioner}} = 4.22 \cdot 10^7 \text{ m}$$


$$v_{\text{satelit}} = \frac{2\pi r}{T} = 3070.83 \text{ ms}^{-1} = 3.07 \text{ kms}^{-1} \approx 3.1 \text{ kms}^{-1}$$

$M_{\text{meteoroid}} = 120 \text{ kg}$
 $v_{\text{meteoroid}} = 4.2 \text{ kms}^{-1}$

awal:



akhir:



meteoroid melekat ke dalam satelit

Hukum kekekalan momentum:

$$P_x = P'_x$$

$$M_{\text{meteoroid}} v_{\text{meteoroid}} \cos 30^\circ + M_{\text{satelit}} v_{\text{satelit}} = v'_x (M_{\text{meteoroid}} + M_{\text{satelit}})$$

$$v'_x = 3.144 \text{ kms}^{-1}$$

$$P_y = P'_y$$

$$M_{\text{meteoroid}} v_{\text{meteoroid}} \sin 30^\circ = v'_y (M_{\text{meteoroid}} + M_{\text{satelit}})$$

$$v'_y = 0.274 \text{ kms}^{-1}$$

$$v' = \sqrt{v'^2_x + v'^2_y} = 3.156 \text{ kms}^{-1} \approx 3.2 \text{ kms}^{-1}$$

$$\tan \theta = \frac{v'_y}{v'_x}$$

$$\theta = 4.979^\circ \approx 4.98^\circ$$

arah kecepatannya 4.98° dari arah kecepatan awal.

27. Bintang Barnard adalah salah satu bintang dekat Matahari yang memiliki gerak diri terbesar ($\mu = 10,34''/\text{tahun}$). Bintang tersebut memiliki kecepatan radial sebesar -108 km/s , dan paralaks sebesar $0,546''$. Suatu saat di masa depan, bintang tersebut akan berpapasan dekat dengan Matahari. Gambarkanlah komponen kecepatan bintang Barnard terhadap Matahari! Hitunglah jarak bintang Barnard terhadap Matahari dan kapan saat itu terjadi?

27. Bintang Barnard

$$\mu = 10,34''/\text{tahun}$$

$$V_r = -108 \text{ km/s}$$

$$p = 0,546''$$

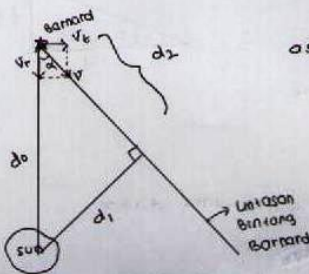
$$\text{Jarak Bintang Barnard sekarang : } d_0 = \frac{1}{p} = 1,832 \text{ pc}$$

$$\text{Jarak Bintang Barnard saat berpapasan : } d_1$$

$$\text{Jarak yang ditempuh : } d_2$$

$$V_t = 4,74 \mu d_0$$

$$= 89,76 \text{ km/s}$$



asumsi: kecepatan bintang Barnard selalu tetap

$$V = \sqrt{V_r^2 + V_t^2} = 140,43 \text{ km/s}$$

$$\tan \alpha = \frac{V_t}{V_r}$$

$$\alpha = 39,73^\circ$$

Jarak terdekat Barnard dari matahari dapat ditentukan dengan menarik garis dari matahari ke lintasan Bintang Barnard, siku-siku lintasan Bintang Barnard.

$$\sin \alpha = \frac{d_1}{d_0}$$

$$d_1 = d_0 \sin \alpha$$

$$= 1,171 \text{ pc} \rightarrow \text{jarak terdekat}$$

$$d_2 = d_0 \cos \alpha$$

$$= 1,409 \text{ pc} = 4,36 \times 10^{13} \text{ km}$$

$$\text{waktu yang diperlukan : } t = \frac{d_2}{V}$$

$$= 3,10 \times 10^5 \text{ s}$$

$$= 9837,03 \text{ tahun}$$

$$= 9,84 \times 10^3 \text{ tahun}$$

\therefore Hal itu akan terjadi $9,84 \times 10^3$ tahun lagi

(di masa datang karena masih mendekat)

28. Dua buah gugus bintang, A dan B, yang terletak pada arah bujur galaksi $l = 30^\circ$ memiliki kesamaan dalam jumlah bintang anggota, bentuk diagram Hertzsprung-Russel (HR), dan sebaran kecepatan. Gugus A tampak berdiameter $1''$, berjarak 150 parsek, dan magnitudo semu bintang deret utama di titik belok diagram HR adalah $m_v = 3,56$. Gugus B tampak berdiameter $6''$ dan magnitudo semu bintang deret utama di titik belok adalah $m_v = 10,18$. Hitung berapa absorpsi antar bintang pada arah $l = 30^\circ$ dalam satuan magnitudo per kiloparsek!

28. $l = 30^\circ$

Gugus A

$\theta_A = 1''$

$d_A = 150 \text{ pc}$

$m_{vA} = 3,56$

Gugus B

$\theta_B = 6''$

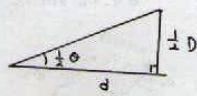
$m_{vB} = 10,18$

Ditanya : absorpsi MAB pada arah 30° (mag / kpc) $\rightarrow k_v$
karena arah sama, k_v sama

diameter gugus A:

$\frac{1}{2} D_A = d_A \tan \frac{1}{2} \theta_A$

$D_A = 2,62 \text{ pc}$



$N_A = N_B$

dengan jumlah anggota yang sama dapat diasumsikan :

1) tiap bintang memiliki luminositas yang sama sehingga $M_{vA} = M_{vB}$

2) $D_A = D_B$

$d_B = \frac{\frac{1}{2} D_B}{\tan \frac{1}{2} \theta_B}$

$= 1500 \text{ pc}$

$m_{vA} - M_{vA} = -5 + 5 \log d_A + A_{vA}$

$m_{vA} - M_{vA} = -5 + 5 \log d_A + k_v d_A$

$m_{vB} - M_{vB} = -5 + 5 \log d_B + k_v d_B$

$m_{vA} - m_{vB} = 5 \log d_A - 5 \log d_B + k_v (d_A - d_B)$

$3,56 - 10,18 = 5 \log \frac{d_A}{d_B} + k_v (150 - 1500)$

$-6,62 = 5 \log \frac{1}{10} - 1350 k_v$

$-1,62 = -1350 k_v$

$k_v = 1,2 \times 10^{-3} \text{ mag / pc}$

$= 1,2 \text{ mag / kpc}$

29. Diketahui periode rotasi Matahari di ekuatornya saat ini adalah 25 hari. Asumsikan massa Matahari kekal selama evolusinya. Jika Matahari berevolusi hingga akhirnya menjadi Katai Putih dengan kerapatan massa $2,51 \times 10^9 \text{ kg/m}^3$,

- Hitunglah jejari dan periode rotasi Katai Putih!
- Bagi planet-planet di tata surya, apakah akan mengalami perubahan pada periode dan ukuran orbitnya? Jelaskan!

29. $P_{\text{rot } \odot} = 25 \text{ hari}$

M_{\odot} selalu kekal $\rightarrow M_{\odot} = M'_{\odot} = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$

$\rho'_{\odot} = 2.51 \times 10^9 \text{ kg m}^{-3}$

$M'_{\odot} = \int_{\odot} V'_{\odot}$

$\frac{4}{3} \pi R'^3_{\odot} = \frac{M'_{\odot}}{\rho'_{\odot}}$

a) $R'_{\odot} = \sqrt[3]{\frac{M'_{\odot}}{\rho'_{\odot}} \cdot \frac{3}{4\pi}}$

$= 5.74 \times 10^6 \text{ m} \rightarrow \text{jar-jari katai putih}$

momentum sudut rotasi matahari kekal :

$L_{\text{rot } \odot} = L'_{\text{rot } \odot}$

$\frac{2}{5} M_{\odot} R^2_{\odot} \omega_{\odot} = \frac{2}{5} M'_{\odot} R'^2_{\odot} \omega'_{\odot}$

$R^2_{\odot} \frac{2\pi}{P_{\text{rot } \odot}} = R'^2_{\odot} \frac{2\pi}{P'_{\text{rot } \odot}}$

$\frac{P'_{\text{rot } \odot}}{P_{\text{rot } \odot}} = \left(\frac{R'_{\odot}}{R_{\odot}}\right)^2$

$P'_{\text{rot } \odot} = 6.02 \times 10^{-5} P_{\text{rot } \odot}$

$= 130 \text{ s} \rightarrow \text{periode rotasi katai putih}$

b) karena massa matahari kekal, energi orbit planet dalam tata surya tetap, tidak akan mengalami perubahan periode dan ukuran orbit

30. Apabila garam dipanaskan, cahaya kuning yang terdiri atas dua garis emisi yang terpisah cukup dekat, yakni pada panjang gelombang 588,997 nm dan 589,594 nm akan dipancarkan. Garis-garis ini disebut garis Natrium D (*Sodium D lines*) dan diamati oleh Fraunhofer dalam spektrum Matahari. Apabila cahaya ini jatuh pada sebuah kisi difraksi dengan 300 baris per millimeter, maka berapakah sudut antara spectrum orde kedua dari kedua panjang gelombang ini? Agar kedua garis emisi dapat dipisahkan, berapa baris per millimeter kisi yang diperlukan? (Diketahui $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)

Diketahui λ_1 588,997 nm dan λ_2 589,594 nm dan kisi difraksi pada poin a) adalah 300 baris/mm. Maka jarak antar baris adalah inversnya, yakni $d=1/300 \text{ mm} = 3,33 \times 10^{-6} \text{ m}$

Sudut antara spectrum orde kedua dari kedua panjang gelombang

Gelombang 1

$$\begin{aligned} d \sin \theta_1 &= 2\lambda_1 \\ 3,33 \times 10^{-6} \text{ m} \times \sin \theta_1 &= 2 \times 588,997 \times 10^{-9} \text{ m} \\ \sin \theta_1 &= 0,353 \\ \theta_1 &= 20,695^\circ \end{aligned}$$

Gelombang 2

$$\begin{aligned} d \sin \theta_2 &= 2\lambda_2 \\ 3,33 \times 10^{-6} \text{ m} \times \sin \theta_2 &= 2 \times 589,594 \times 10^{-9} \text{ m} \\ \sin \theta_2 &= 0,354 \\ \theta_2 &= 20,717^\circ \end{aligned}$$

Selisih sudut antara keduanya = $20,717^\circ - 20,695^\circ = 0,022^\circ$ atau $1'19''$

Daya pisah mata = $1,22\lambda/D$

Untuk panjang gelombang sekitar 589 nm dan asumsi diameter mata 10 mm, daya pisah mata sebesar

$$\begin{aligned} \theta &= 1,22 \frac{589 \times 10^{-9} \text{ m}}{0,01 \text{ m}} \\ \theta &= 14,82'' \end{aligned}$$

Untuk mencari jarak antar baris, kita kembali ke rumus difraksi yang digunakan di bagian A

$$\begin{aligned} d \sin(\theta + 14,82'') &= 2\lambda_2 \\ d \sin \theta &= 2\lambda_1 \end{aligned}$$

Persamaan baris pertama kita bagi dengan baris kedua

$$\begin{aligned} \frac{\sin(\theta + 14,82'')}{\sin \theta} &= \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{589,594 \text{ nm}}{588,997 \text{ nm}} = 1,001 \\ \sin \theta \cos 14,82'' + \cos \theta \sin 14,82'' &= 1,001 \sin \theta \\ \sin 14,82'' \cos \theta &= (1,001 - \cos 14,82'') \sin \theta \end{aligned}$$

$$\tan \theta = \frac{\sin 14,82''}{1,001 - \cos 14,82''} = 0,07$$

$$\tan \theta = 4,054^\circ$$

Masukkan nilai θ kedalam rumus difraksi kembali

$$d \sin \theta = 2\lambda_1$$

$$d \sin 4,054^\circ = 2 \times 588,997 \times 10^{-9}m$$

$$d = 1,666 \times 10^{-5}m = 0,01666 \text{ mm}$$

Maka banyak garis per mm dari kisi tersebut adalah $1/d = \mathbf{60 \text{ garis/mm}}$