

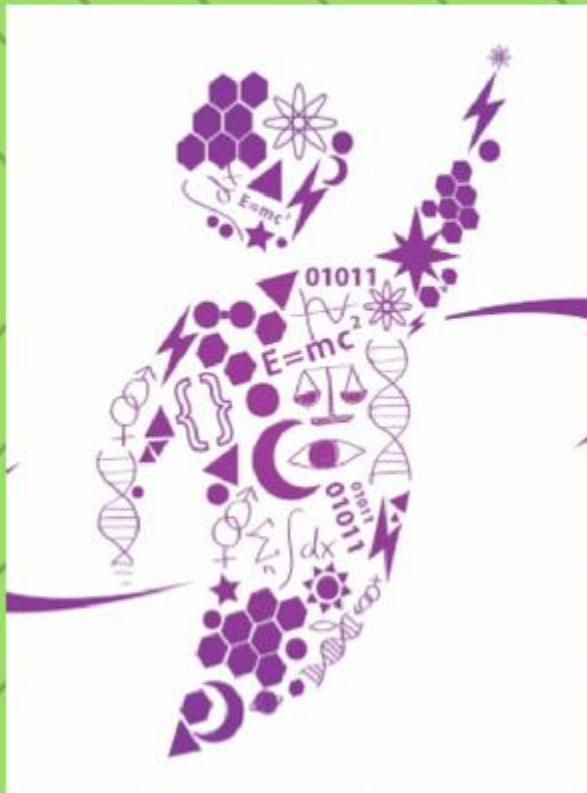
PAKET 14

PELATIHAN ONLINE

2019

**SMA
KEBUMIAN**

po.alcindonesia.co.id



WWW.ALCINDONESIA.CO.ID

@ALCINDONESIA

085223273373

FOTOMETRI DAN SPEKTROMETRI BINTANG

FOTOMETRI BINTANG

Untuk mempelajari benda-benda langit, informasi yang diterima hanyalah berupa seberkas cahaya yang merupakan gelombang elektromagnet. Berdasarkan panjang gelombangnya, gelombang elektromagnet terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Gelombang radio: dengan λ antara beberapa mm sampai 20 m
2. Gelombang inframerah: dengan λ sekitar 7500 Å hingga sekitar 1 mm ($1 \text{ Å} = 1 \text{ Angstrom} = 10^{-10} \text{ m}$)
3. Gelombang optik atau gelombang tampak dengan λ sekitar 3800 Å sampai 7500 Å. Terbagi menjadi:
 - Merah (6300-7500 Å)
 - Merah oranye (6000-6300 Å)
 - Oranye (5900-6000 Å)
 - Kuning (5700-5900 Å)
 - Kuning hijau (5500-5700 Å)
 - Hijau (5100-5500 Å)
 - Hijau biru (4800-5100 Å)
 - Biru (4500-4800 Å)
 - Biru ungu (4200-4500 Å)
 - Ungu (3800-4200 Å)
4. Gelombang ultraviolet, sinar X, dan sinar γ yang mempunyai λ kurang dari 3500 Å.

Dengan mengamati pancaran gelombang elektromagnet, kita dapat mengetahui:

1. Arah pancaran
Dari pengamatan dapat diamati letak dan gerak benda yang memancarkannya.
2. Kuantitas pancaran
Bisa diukur kuat atau kecerahan pancaran.
3. Kualitas pancaran
Dapat dipelajari warna, spektrum, maupun polarisasinya.

Hukum Pancaran (*Radiation Law*)

Hukum Wien

Untuk memahami sifat pancaran suatu benda, kita hipotesakan suatu pemancar sempurna yang disebut benda hitam (*black body*).

1. Pada keadaan kesetimbangan termal, temperatur benda hanya ditentukan oleh jumlah energi yang diserapnya per detik.
2. Suatu benda hitam tidak memancarkan seluruh gelombang elektromagnet secara merata. Benda hitam bisa memancarkan cahaya biru lebih banyak dibandingkan dengan cahaya merah, atau sebaliknya.

Panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) pancaran benda hitam dapat ditentukan dengan menggunakan Hukum Wien yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda_{maks} = \frac{0.2898}{T}$$

Dimana λ_{maks} dinyatakan dalam cm dan T dalam K.

Hukum Wien ini menyatakan semakin tinggi temperatur suatu benda hitam maka semakin pendek panjang gelombangnya. Hukum ini dapat digunakan untuk menerangkan gejala bahwa bintang yang temperaturnya tinggi akan tampak berwarna biru sedangkan yang temperaturnya rendah akan tampak berwarna merah.

Fluks dan Luminositas

Fluks adalah jumlah energi yang dipancarkan oleh setiap satuan luas permukaan benda hitam per detik ke semua arah yang dinyatakan oleh rumus berikut:

$$F = \sigma T^4$$

Apabila suatu benda berbentuk bola beradius R dan bertemperatur T memancarkan radiasi dengan sifat-sifat benda hitam maka energi yang dipancarkan seluruh benda itu ke semua arah per detik disebut sebagai luminositas. Dinyatakan sebagai:

$$L = A \times F = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$$

Dimana A adalah luas permukaan benda hitam dan F adalah fluks.

Sementara fluks energi yang diterima oleh pengamat yang berjarak d dari suatu bintang yang berluminositas L adalah E yang dinyatakan sebagai:

$$E = \frac{L}{4\pi d^2}$$

Persamaan tersebut disebut juga hukum kuadrat kebalikan (*inverse square law*) untuk kecerlangan (*brightness*). Karena persamaan ini menyatakan bahwa kecerlangan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya. Oleh karena itu, semakin jauh sebuah bintang berarti semakin redup cahayanya.

Sistem Magnitudo

Terang suatu bintang dalam astronomi dinyatakan dalam satuan magnitudo. Magnitudo merupakan ukuran terang bintang yang kita lihat atau terang semu (ada faktor jarak dan penyerapan yang harus diperhitungkan). Hipparchus pada abad ke-2 SM membagi terang bintang dalam 6 kelompok berdasarkan penampakkannya dengan mata telanjang. Bintang paling terang tergolong magnitudo ke-1. Bintang yang lebih lemah tergolong magnitudo ke-2 dst hingga bintang paling lemah yang masih bisa dilihat dengan mata termasuk magnitudo ke-6. Sehingga dapat disimpulkan bahwa makin terang suatu bintang maka makin kecil magnitudonya.

John Herschel mendapatkan bahwa kepekaan mata dalam menilai terang bintang bersifat logaritmik. Bintang yang magnitudonya satu ternyata 100 kali lebih terang daripada bintang yang magnitudonya 6. Berdasarkan kenyataan ini, Norman Robert Pogson pada tahun 1856

mendefinisikan skala satuan magnitudo secara lebih tegas. Apabila terdapat 2 bintang dimana:

m_1 = magnitudo bintang ke-1

m_2 = magnitudo bintang ke-2

E_1 = fluks bintang ke-1

E_2 = fluks bintang ke-2

Maka Skala Pogson didefinisikan sebagai:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \left(\frac{E_1}{E_2} \right)$$

atau

$$\frac{E_1}{E_2} = 2.512^{-(m_1 - m_2)}$$

Jika $m_1 = 1$ dan $m_2 = 6$, maka:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2.512^{-(m_1 - m_2)} = 2.512^{-(1-6)} = 2.512^5 = 100$$

Sehingga diperoleh $E_1 = 100E_2$. Hal ini berarti, dengan skala Pogson ini dapat ditunjukkan bahwa bintang bermagnitudo 1 adalah 100 kali lebih terang daripada bintang bermagnitudo 6. Secara umum rumus Pogson dapat dituliskan:

$$m = -2,5 \log E + \text{tetapan}$$

Dimana m dan E merupakan besaran lain untuk menyatakan fluks bintang yang diterima di bumi per $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Rumus di atas ini merupakan rumus yang menyatakan magnitudo semu (*apparent magnitude*).

Harga tetapan ditentukan dengan mendefinisikan suatu titik nol. Pada awalnya sebagai standar magnitudo digunakan bintang Polaris yang tampak di semua Observatorium yang berada di belahan langit utara. Bintang Polaris ini diberi magnitudo 2 dan magnitudo bintang lainnya dinyatakan relatif terhadap magnitudo bintang Polaris. Akan tetapi, pada tahun 1911 Pickering mendapatkan bahwa bintang Polaris cahayanya berubah-ubah (bintang variabel) dan Pickering mengusulkan sebagai standar magnitudo digunakan kelompok bintang yang ada di sekitar kutub utara (*North Polar Sequence*).

Cara terbaik untuk mengukur magnitudo adalah dengan menggunakan bintang standar yang berada di sekitar bintang yang diamati karena perbedaan keadaan atmosfer Bumi tidak terlalu berpengaruh dalam pengukuran. Pada saat ini telah banyak bintang standar yang bisa digunakan untuk menentukan magnitudo sebuah bintang, baik yang berada di langit belahan utara maupun di belahan langit selatan.

Sementara untuk menyatakan luminositas atau kuat sebenarnya sebuah bintang, kita definisikan besaran magnitudo mutlak, yaitu magnitudo bintang yang diandaikan diamati dari jarak 10 pc. Skala Pogson untuk magnitudo mutlak (M) ini adalah:

$$m - M = -5 + 5 \log d$$

Dimana m adalah magnitudo semu, M adalah magnitudo mutlak, $m-M$ adalah modulus jarak, dan d adalah jarak bintang ke pengamat (dalam pc).

Sebelum perkembangan fotografi, magnitudo bintang ditentukan dengan mata. Akan tetapi, kepekaan mata untuk daerah panjang gelombang yang berbeda tidaklah sama. Mata terutama peka untuk cahaya kuning hijau di daerah $\lambda = 5500 \text{ \AA}$, karena itu magnitudo yang diukur pada daerah ini disebut magnitudo visual atau m_{vis} .

Dengan berkembangnya fotografi, magnitudo bintang selanjutnya ditentukan secara fotografi. Pada awal fotografi, emulsi fotografi mempunyai kepekaan di daerah biru-ungu pada panjang gelombang sekitar 4500 \AA . Magnitudo yang diukur pada daerah ini disebut magnitudo fotografi atau m_{fot} . Sebagai contoh kita ambil perbandingan hasil pengukuran magnitudo visual dengan magnitudo fotografi untuk bintang Rigel dan Betelgeuse yang berada di rasi Orion. Rigel berwarna biru sedangkan Betelgeuse berwarna merah.

Rigel (berwarna biru)	Betelgeuse (berwarna merah)
<ul style="list-style-type: none"> Menurut Hukum Planck dan Wien, temperatur permukaan bintang Rigel lebih tinggi daripada Betelgeuse Akan memancarkan lebih banyak cahaya biru daripada cahaya kuning Diamati secara fotografi akan tampak lebih terang daripada diamati secara visual (m_{vis} besar dan m_{fot} kecil) 	<ul style="list-style-type: none"> Temperatur permukaannya lebih rendah daripada Rigel Akan memancarkan lebih banyak cahaya kuning daripada cahaya biru Diamati secara visual akan tampak lebih terang daripada diamati secara fotografi (m_{vis} kecil dan m_{fot} besar)

Jadi untuk suatu bintang, m_{vis} berbeda dari m_{fot} . Selisih kedua magnitudo tersebut, dinamakan indeks warna (*Color Index – CI*).

$$CI = m_{fot} - m_{vis}$$

Dari indeks tersebut diperoleh bahwa semakin panas atau makin biru suatu bintang, semakin kecil indeks warnanya.

Karena ada perbedaan antara m_{vis} dan m_{fot} maka perlu diadakan pembakuan titik nol kedua magnitudo tersebut.

$$m_{vis} = -2.5 \log E_{vis} + C_{vis}$$

$$m_{fot} = -2.5 \log E_{fot} + C_{fot}$$

Dimana E_{vis} = fluks dalam daerah visual, E_{fot} = fluks dalam daerah fotografi, dan C_{vis} dan C_{fot} adalah tetapan. Tetapan C_{vis} dan C_{fot} dapat diambil sedemikian rupa sehingga untuk bintang deret utama yang spektrumnya termasuk kelas A0 (akan dibicarakan kemudian) harga $m_{\text{vis}} = m_{\text{fot}}$. Contoh bintang deret utama dengan kelas spektrum A0 adalah bintang Vega. Sehingga berdasarkan definisi indeks warna bintang Vega adalah nol ($CI = 0$). Jadi bintang yang lebih biru atau lebih panas daripada Vega, misalnya bintang Rigel indeks warnanya akan negatif. Bintang yang lebih merah atau lebih dingin daripada Vega, misalnya bintang Betelgeuse indeks warnanya akan positif.

Dengan berkembangnya fotografi, selanjutnya dapat dibuat pelat foto yang peka terhadap daerah panjang gelombang lainnya, seperti kuning, merah, bahkan inframerah. Pada tahun 1951, H.L. Johnson dan W.W. Morgan mengajukan sistem magnitudo yang disebut sistem UBV, yaitu:

- U = magnitudo semu dalam daerah ultraviolet ($\lambda_{\text{ef}} = 3500 \text{ \AA}$)
- B = magnitudo semu dalam daerah biru ($\lambda_{\text{ef}} = 4350 \text{ \AA}$)
- V = magnitudo semu dalam daerah visual ($\lambda_{\text{ef}} = 5550 \text{ \AA}$)

Dalam sistem UBV ini, indeks warna adalah U-B dan B-V, dimana untuk bintang panas B-V kecil. Saat ini pengamatan fotometri tidak lagi menggunakan pelat film tetapi dilakukan dengan kamera CCD sehingga untuk menentukan bermacam-macam sistem magnitudo tergantung pada filter yang digunakan.

Diagram Hertzsprung-Russel (H-R)

Pada tahun 1911, seorang astronom Denmark bernama Ejnar Hertzsprung membandingkan hubungan antara magnitudo & indeks warna di dalam gugus Pleiades dan Hyades. Kemudian pada 1913, Henry Norris Russell, seorang Ph.D dari Universitas Princeton, membuat plot hubungan antara magnitudo mutlak & spektrum bintang. Hasil yang mereka peroleh sekarang dikenal sebagai diagram Hertzsprung-Russell atau diagram H-R. Diagram H-R ini menunjukkan hubungan luminositas (atau besaran lain yang identik, seperti magnitudo mutlak) dan temperatur efektif (atau besaran lain, seperti indeks warna (B - V) atau kelas spektrum.

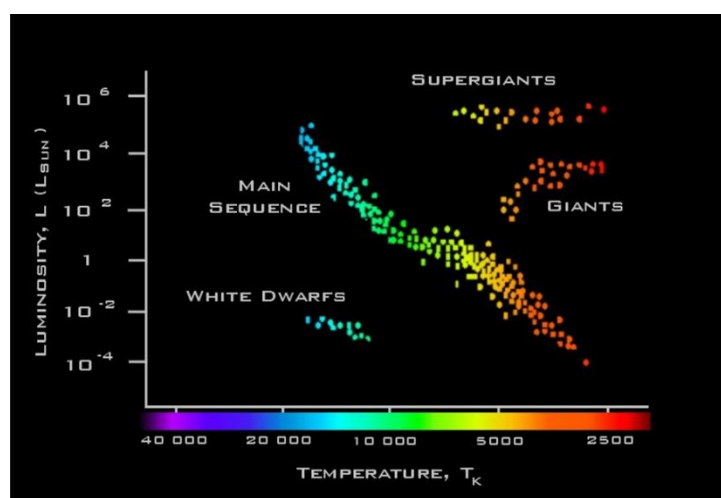


Diagram H-R

Dari diagram H-R ini dapat kita lihat bahwa bintang-bintang berkelompok dalam empat kelompok besar yaitu:

- Bintang Deret Utama (*Main Sequence*)
- Bintang Raksasa (*Giants*)
- Maharaksasa (*Supergiants*)
- Katai Putih (*White Dwarf*)

Sebagian besar bintang-bintang berada dalam deret utama. Dari diagram dapat kita lihat bahwa bintang yang mempunyai temperatur sama tetapi kelompoknya berbeda akan mempunyai luminositas yang berbeda. Sebagai contoh, bintang A adalah bintang deret utama dan bintang B adalah bintang Maharaksasa, maka luminositas bintang A lebih kecil daripada bintang B. Dari hubungan rumus luminositas (L) dapat diketahui bahwa radius bintang B lebih besar daripada radius bintang A.

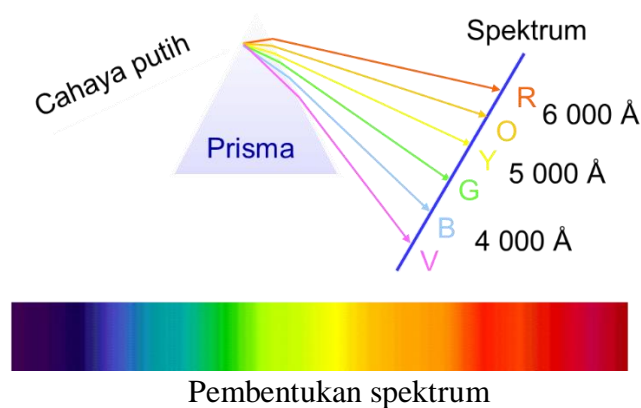
SPEKTROSKOPI BINTANG

Teori Dasar Spektroskopi

Pada tahun 1665, Newton menyatakan bahwa cahaya Matahari yang tampak putih apabila dilalukan pada suatu gelas prisma akan terurai dalam berbagai warna. Uraian warna ini disebut sebagai spektrum. Pada tahun 1804, Wollaston melihat adanya garis gelap pada spektrum Matahari. Pada tahun 1815, Fraunhofer melakukan pengamatan pada spektrum Matahari dan berhasil mengkatalogkan 600 garis dan pada 1823 mendapatkan bahwa spektrum bintang juga mengandung garis-garis gelap seperti yang terdapat pada Matahari. Dengan demikian, Matahari adalah sebuah bintang. Hal ini juga menunjukkan bahwa garis-garis spektrum pada bintang dapat dibentuk di laboratorium.

Pembentukan Spektrum

Apabila seberkas cahaya putih dilalukan ke dalam prisma maka cahaya tersebut akan terurai dalam beberapa warna (panjang gelombang).

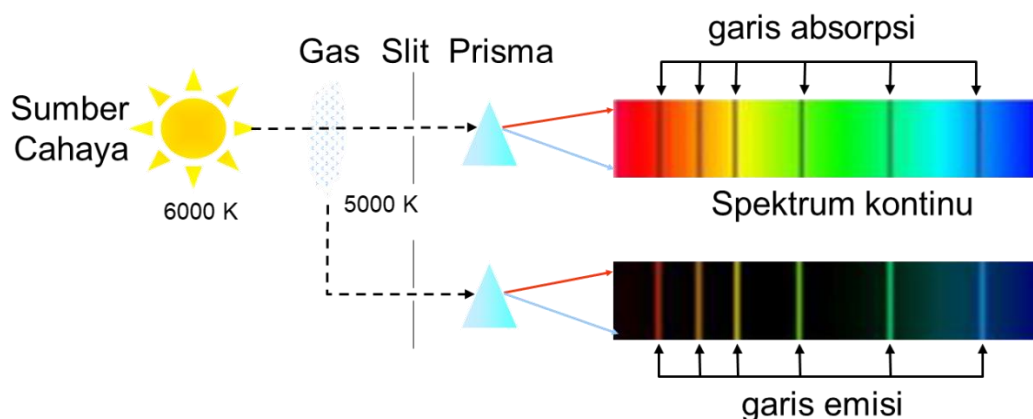


Selain dengan prisma, spektrum cahaya juga dapat diuraikan oleh kisi-kisi, yang digunakan dalam spektrograf.

Hukum Kirchoff

Pada tahun 1859, Gustav R. Kirchoff menyatakan Hukum Kirchoff yang berisi:

1. Bila suatu benda cair atau gas bertekanan tinggi dipijarkan, benda tadi akan memancarkan energi dengan spektrum pada semua panjang gelombang.
2. Gas bertekanan rendah bila dipijarkan akan memancarkan energi hanya pada warna, atau panjang gelombang tertentu saja. Spektrum yang diperoleh berupa garis-garis terang yang disebut garis pancaran atau garis emisi. Letak setiap garis atau panjang gelombang garis tersebut merupakan ciri gas yang memancarkannya.
3. Bila seberkas cahaya putih dengan spektrum kontinu dilewatkan melalui gas yang dingin dan renggang (bertekanan rendah), gas tersebut akan menyerap cahaya tersebut pada warna atau panjang gelombang tertentu. Akibatnya akan diperoleh spektrum kontinu yang berasal dari cahaya putih yang dilewatkan diseling-seling garis gelap yang disebut garis serapan atau garis absorpsi.



Hukum Kirchoff

Deret Balmer

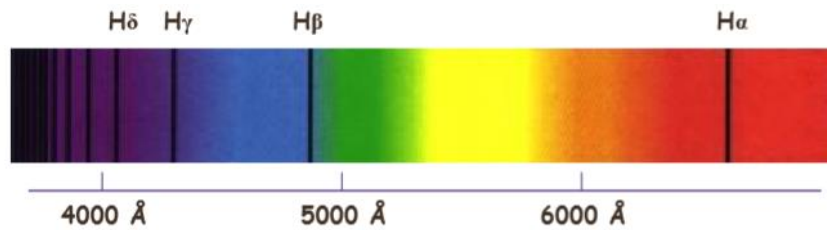
Apabila seberkas gas hidrogen dipijarkan akan memancarkan sekumpulan garis terang atau garis emisi dengan jarak antar satu dan lainnya yang memperlihatkan suatu keteraturan tertentu. Menurut Balmer (ahli fisika dari Swiss), panjang gelombang garis emisi tersebut mengikuti hukum:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Dimana λ = panjang gelombang, n = bilangan bulat 3, 4, 5, dst, dan R = tetapan Rydberg. Untuk:

- $n = 3 \rightarrow$ deret Balmer pertama: H_α pada $\lambda = 6563 \text{ \AA}$
 - $n = 4 \rightarrow$ deret Balmer kedua: H_β pada $\lambda = 4861 \text{ \AA}$
 - $n = 5 \rightarrow$ deret Balmer ketiga: H_γ pada $\lambda = 4340 \text{ \AA}$
 - $n = 6 \rightarrow$ deret Balmer pertama: H_δ pada $\lambda = 4101 \text{ \AA}$
- dst hingga:

$n = \infty \rightarrow$ limit deret Balmer pada $\lambda = 3650 \text{ \AA}$



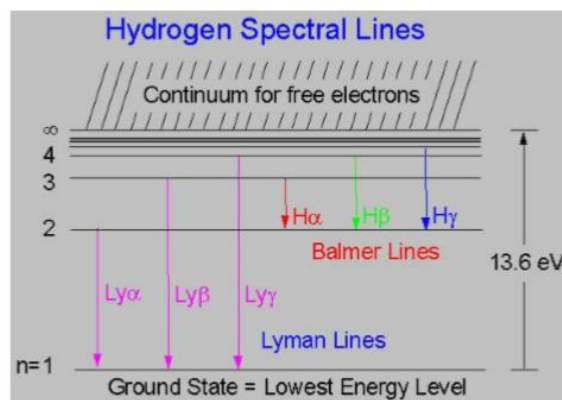
Deret Balmer dalam bentuk garis absorpsi

Setelah ditemukan deret Balmer ditemukan deret hidrogen lainnya, dan persamaan deret Balmer masih tetap berlaku dengan mengubah 2^2 menjadi m^2 dimana m adalah bilangan bulat mulai dari 1, 2, 3, dst. sehingga:

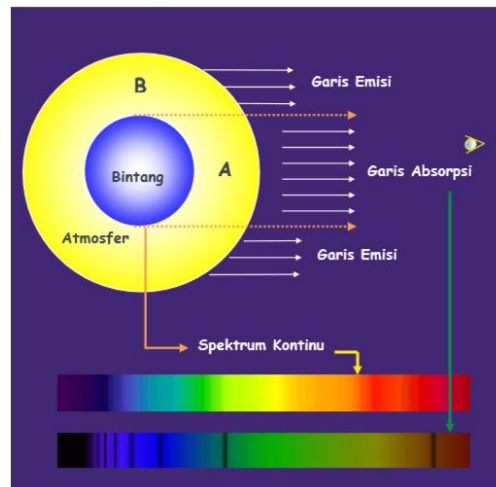
$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Dimana R adalah konstanta Rydberg apabila λ dinyatakan dalam cm maka $R = 109.678$. Untuk:

- $m = 1 \rightarrow$ deret Lyman dengan $n = 2, 3, \dots$
- $m = 2 \rightarrow$ deret Balmer dengan $n = 3, 4, \dots$
- $m = 3 \rightarrow$ deret Paschen dengan $n = 4, 5, \dots$
- $m = 4 \rightarrow$ deret Brackett dengan $n = 5, 6, \dots$



Garis spektrum hidrogen



Pembentukan spektrum bintang

Spektrum Bintang

Pola spektrum bintang umumnya berbeda-beda, pada tahun 1863 seorang astronom Italia bernama Angelo Secchi mengelompokkan spektrum bintang dalam empat golongan berdasarkan kemiripan susunan garis spektrumnya. Miss A. Maury dari Harvard Observatory menemukan bahwa klasifikasi Secchi dapat diurutkan secara kesinambungan hingga spektrum suatu bintang dengan bintang urutan sebelumnya tidak berbeda banyak. Klasifikasi yang dibuat oleh Miss Maury selanjutnya diperbaiki kembali oleh Miss Annie J. Cannon. Hasil klasifikasi Miss Cannon inilah yang sekarang digunakan.

Klasifikasi Secchi	Tipe I, Tipe II, Tipe III, Tipe IV, Tipe V
Klasifikasi Miss A. Maury	Kelas A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P dan Q
Klasifikasi Miss. Annie J. Cannon	Kelas O, B, A, F, G, K, M

Perjalanan klasifikasi spektrum bintang

Klasifikasi Spektrum Bintang

- Kelas spektrum : O
 Warna : Biru
 Temperatur : > 30000 K
 Ciri utama :
 Garis absorpsi yang tampak sangat sedikit. Garis helium terionisasi, garis nitrogen terionisasi dua kali, garis silikon terionisasi tiga kali dan garis atom lain yg terionisasi beberapa kali tampak, tapi lemah. Garis hidrogen juga tampak, tapi lemah.
 Contoh : Bintang 10 Lacerta
- Kelas spektrum : B
 Warna : Biru



Temperatur : 11000 - 30000 K

Ciri utama :

Garis helium netral, garis silikon terionisasi satu dan dua kali serta garis oksigen terionisasi terlihat. Garis hidrogen lebih jelas daripada kelas O.

Contoh : Bintang Rigel dan Spica

3. Kelas spektrum : A

Warna : Biru

Temperatur : 7500 - 11000 K

Ciri utama :

Garis hidrogen tampak sangat kuat. Garis magnesium silikon, besi, titanium dan kalsium terionisasi satu kali mulai tampak. Garis logam netral tampak lemah.

Contoh : Bintang Sirius dan Vega



4. Kelas spektrum : F

Warna : Biru keputihan

Temperatur : 6000 - 7500 K

Ciri utama :

Garis hidrogen tampak lebih lemah daripada kelas A, tapi masih jelas. Garis-garis kalsium, besi dan chromium terionisasi satu kali dan juga garis besi dan chromium netral serta garis logam lainnya mulai terlihat.

Contoh : Bintang Canopus dan Procyon



5. Kelas spektrum : G

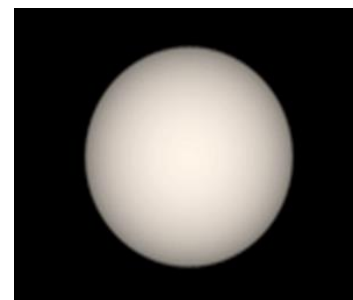
Warna : Putih kekuningan

Temperatur : 5000 - 6000 K

Ciri utama :

Garis hidrogen lebih lemah daripada kelas F. Garis kalsium terionisasi terlihat. Garis-garis logam terionisasi dan logam netral tampak. Pita molekul CH (G-Band) tampak sangat kuat.

Contoh : Matahari dan Bintang Capella



6. Kelas spektrum : K

Warna : Jingga kemerahan

Temperatur : 3500 - 5000 K

Ciri utama :

Garis logam netral tampak mendominasi. Garis hidrogen lemah sekali. Pita molekul TiO mulai tampak.

Contoh : Bintang Arcturus dan Aldebaran



7. Kelas spektrum : M

Warna : Merah

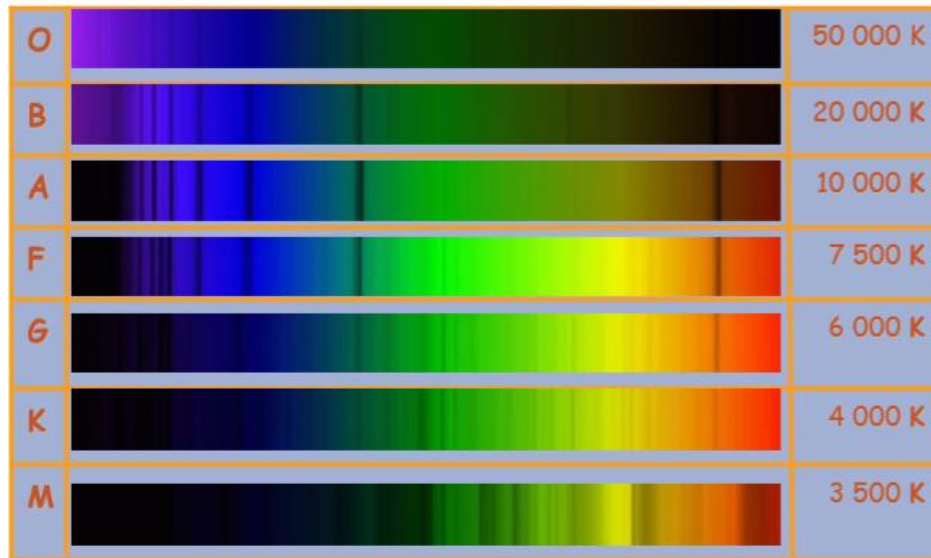


Temperatur : 2500 - 3000 K

Ciri utama :

Pita molekul Tio (titanium oksida) terlihat sangat mendominasi, garis logam netral juga tampak dengan jelas.

Contoh : Bintang Betelgeues dan Antares



Spektrum bintang-bintang dari berbagai kelas spektrum

Klasifikasi spektrum bintang O, B, A, F, G, K, M masih dibagi lagi dalam subkelas, yaitu:

- B0, B1, B2, B3,, B9
- A0, A1, A2, A3,, A9
- F0, F1, F2, F3,, F9
- Dst

Semakin besar angka, menunjukkan suhu bintang yang semakin rendah. Penggunaan subkelas ini dimaksudkan agar pengklasifikasian spektrum bintang menjadi lebih spesifik sehingga lebih jelas dan tepat.

Kelas Luminositas

Bintang dalam kelas spektrum tertentu ternyata dapat mempunyai luminositas yang berbeda. Pada tahun 1913 Adam dan Kohlschutter di Observatorium Mount Wilson menunjukkan ketebalan beberapa garis spektrum dapat digunakan untuk menentukan luminositas bintang. Berdasarkan kenyataan ini pada tahun 1943 Morgan dan Keenan dari Observatorium Yerkes membagi bintang dalam kelas luminositas yaitu:

Kelas Ia	Maharaksasa yang sangat terang
Kelas Ib	Maharaksasa yang kurang terang
Kelas II	Raksasa yang terang
Kelas III	Raksasa
Kelas IV	Subraksasa
Kelas V	Bintang deret utama

Kelas luminositas bintang (kelas MK)

Kelas Luminositas Bintang dari Morgan-Keenan (MK) digambarkan dalam diagram Hertzsprung-Russell (diagram H-R). Klasifikasi spektrum bintang sekarang ini merupakan penggabungan dari kelas spektrum dan kelas luminositas. Contoh:

- G2 V : Bintang deret utama kelas spektrum G2
- G2 Ia : Bintang maharaksasa yang sangat terang kelas spektrum G2
- B5 III : Bintang raksasa kelas spektrum B5
- B5 IV : Bintang subraksasa kelas spektrum B5

Analisis Garis Spektrum

Efek Doppler

Pada tahun 1842, Christian Doppler menunjukkan bahwa jika suatu sumber cahaya bergerak mendekati pengamat, frekuensinya menjadi lebih tinggi (λ lebih pendek), dan sebaliknya. Peristiwa ini disebut efek Doppler.

Pada spektrum bintang, pergeseran ini dapat dihitung berdasarkan garis absorpsinya. Misalkan suatu sumber cahaya memancarkan cahayanya pada panjang gelombang λ_0 . Jika sumber cahaya ini bergerak relatif terhadap pengamat dengan komponen kecepatan radial v_r . Maka pengamat akan melihat perubahan panjang gelombang sebesar $\Delta\lambda$, yaitu:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\sqrt{1 + v_r/c}}{\sqrt{1 - v_r/c}} - 1$$

c = kecepatan cahaya, $\Delta\lambda$ = pergeseran Doppler, v_r = kecepatan radial, dan λ_0 = panjang gelombang diam (panjang gelombang sumber jika sumber dan pengamat berada pada kecepatan yang sama). Jika $v_r \ll c$ maka persamaan tersebut menjadi:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c}$$

Jika v_r positif berarti sumber bergerak menjauhi pengamat. Sementara jika v_r negatif berarti sumber bergerak mendekati pengamat

Pelebaran Garis Spektrum

Garis spektrum tidak merupakan garis yang tajam, tetapi mempunyai lebar tertentu. Pelebaran garis ini disebabkan oleh beberapa hal, antara lain:

1. Pengaruh langsung dari atom sendiri:
 - a. Pelebaran alamiah
 - Atom mempunyai tingkat energi yang diskret
 - Tingkat energi tersebut sebenarnya tidak tajam
 - Harga energi yang diberikan pada suatu tingkat energi sebenarnya adalah harga yang paling mungkin untuk tingkat tersebut
 - Suatu atom yang berada pada tingkat tersebut dapat mempunyai energi yang berbeda dari harga yang paling mungkin itu

- Karenanya, λ foton yang bisa diserap atom untuk mengeksitasi elektronnya juga bukan merupakan harga yang pasti, tetapi bisa berkisar pada harga tertentu.
- Akibatnya garis spektrum yang dihasilkan oleh sekumpulan atom tidak tajam tetapi agak lebar.
- Pelebaran Doppler
 - Atom yang memberikan suatu garis spektrum tidak diam tetapi bergerak ke berbagai arah.
 - Makin tinggi temperatur, gerak atom makin cepat.
 - Akibat efek Doppler, setiap atom akan menyerap foton dengan λ yang berbeda-beda, bergantung pada kecepatan radialnya terhadap pengamat. Hal ini mengakibatkan pelebaran garis spektrum
- Pelebaran tumbukan
 - Tingkat energi suatu atom dapat terganggu oleh adanya atom atau ion yang lewat di dekatnya, atau yang menumbuknya.
 - Akibatnya, tingkat energi atom akan berubah sedikit sehingga λ foton yang dapat diserap agak berbeda dengan kalau tidak ada gangguan: atom akan memberikan garis yang lebar.
- Efek Zeeman
 - Medan magnet dapat menyebabkan suatu tingkat energi sebuah atom terpecah menjadi dua atau lebih.
 - Akibatnya garis spektrum juga terpecah menjadi dua garis atau lebih.
 - Dalam spektrum bintang komponen garis ini umumnya tidak dapat dipisah, sehingga akibatnya tampak seperti pelebaran garis.
- b. Pengaruh dari luar:
 - Rotasi bintang
 - Pengembangan selubung bintang (profil P-Cygni)
 - Turbulensi atmosfer bintang

Menghitung Jarak dalam Astronomi

Jarak bintang-bintang ke kita sangatlah jauh. Oleh sebab itu, indra kita tidak mampu lagi membedakan bintang mana yang sebenarnya jauh ataukah dekat. Tidak seperti dengan jarak benda-benda di sekitar kita. Kita dapat langsung mengetahui bahwa benda A lebih dekat daripada benda B karena benda-benda yang ada di sekitar kita jaraknya relatif dekat dengan kita. Indra spasial kita memiliki kepekaan terbatas. Ada beberapa cara untuk mengukur jarak benda-benda langit. Beberapa cara yang termasuk sederhana adalah:

1. Paralaks: trigonometri, dinamika, spektroskopi, paralaks rata-rata dan gugus
 2. Modulus jarak
- Paralaks trigonometri

Suatu cara untuk menentukan jarak ke suatu benda langit yang jaraknya relatif dekat dengan kita sebagai pengamat. Dasarnya: trigonometri sederhana. Misalnya perhitungan jarak Bumi-Bulan.

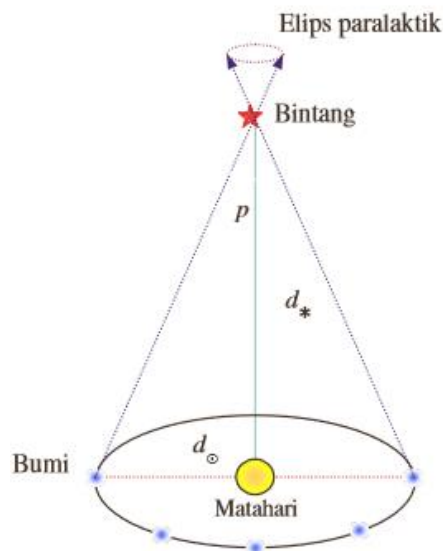
Karena jarak bintang sangat jauh maka tidak dapat lagi kita menggunakan diameter Bumi sebagai *baseline* perhitungan sudut paralaks. Jarak bintang-bintang yang dekat dapat ditentukan dengan cara paralaks trigonometri:

$$\tan p = \frac{d_{\odot}}{d_{*}}$$

d_{\odot} = jarak Matahari-Bumi = 1.5×10^{13} cm = 1 AU

d_{*} = jarak Matahari-bintang

p = sudut paralaks bintang



Pengukuran jarak dalam astronomi dengan paralaks

Karena p sangat kecil maka persamaan di atas dapat dituliskan:

$$p = \frac{d_{\odot}}{d_{*}}$$

Dimana p dalam radian.

Apabila p dinyatakan dalam detik busur dan karena 1 radian = 206265'' maka:

$$p = \frac{206265 d_{\odot}}{d_{*}}$$

Jika jarak dinyatakan dalam AU maka $d_{*} = 1$ AU sehingga persamaan di atas menjadi:

$$p = \frac{206265}{d_*}$$

Selain AU, dalam astronomi digunakan juga satuan jarak lainnya, yaitu *parsec* atau disingkat pc. Satu parsec (*parallax second*) didefinisikan sebagai jarak sebuah bintang yang paralaksnya satu detik busur.

$$p = \frac{1}{d_*}$$

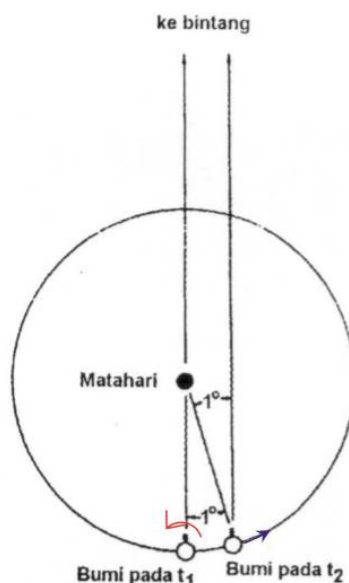
Dimana p dalam detik busur dan d_* dalam pc.

Satuan lain yang sering digunakan dalam astronomi untuk menyatakan jarak adalah tahun cahaya (*light year*):

$$1 \text{ ly} = 9.46 \times 10^{17} \text{ cm}$$
$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ ly}$$

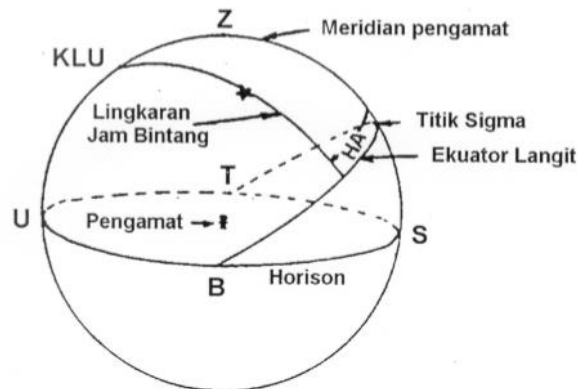
Waktu

Tiga satuan dasar dari waktu adalah hari, tahun, dan bulan. Ada 2 macam hari, yaitu hari Matahari (*solar day*) yaitu lamanya rotasi Bumi relatif terhadap Matahari, yang didefinisikan sebagai interval waktu dari saat Matahari terbit ke saat Matahari terbit berikutnya atau Matahari terbenam ke Matahari terbenam berikutnya. Yang kedua adalah hari sideris (*sidereal day*), jika yang menjadi acuan adalah bintang, yaitu lama rotasi Bumi relatif terhadap bintang. Pada t_1 Matahari dan sebuah bintang tertentu tepat berada di atas kepala. Satu hari sideris kemudian, Bumi telah bergerak dalam orbitnya dari t_1 ke t_2 , dan bintang yang sama sudah tepat di atas kepala. Tetapi pada t_2 Matahari belum tepat di atas kepala; satu hari Matahari belum sepenuhnya dirampungkan. Perlu 1° lagi Bumi berotasi. Karena $360^\circ = 24$ jam, atau $1^\circ = 4$ menit. Jadi, Bumi perlu berotasi 4 menit lagi untuk merampungkan 1 hari Matahari.



Ilustrasi hari Matahari dan hari sideris

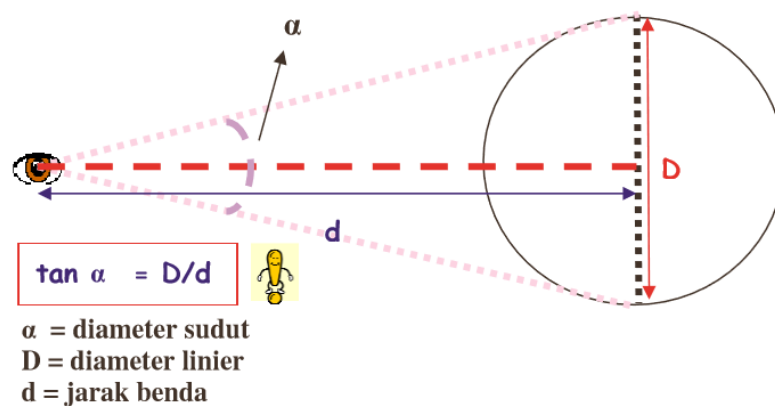
Sudut jam sebuah bintang adalah jarak sudut sepanjang ekuator ke arah barat, dari titik sigma ke lingkaran jam bintang, yang merupakan waktu yang ditempuh sejak sebuah objek melewati meridian. Sudut jam sebuah objek memberitahukan dimana objek itu di langit (dalam kerangka acuan lokal).



Ilustrasi sudut jam pada bola langit

Diameter Sudut

- Menyatakan ukuran benda langit dengan satuan sudut.
- 1 derajat ($^{\circ}$) = 60 menit busur ($'$) = 3600 detik busur ($''$)
- Ukuran linier/asli benda langit tidak bergantung dari besar diameter sudutnya saja melainkan juga ditentukan oleh jaraknya dari pengamat.
- Besar piringan Matahari dan Bulan = $\pm 30'$

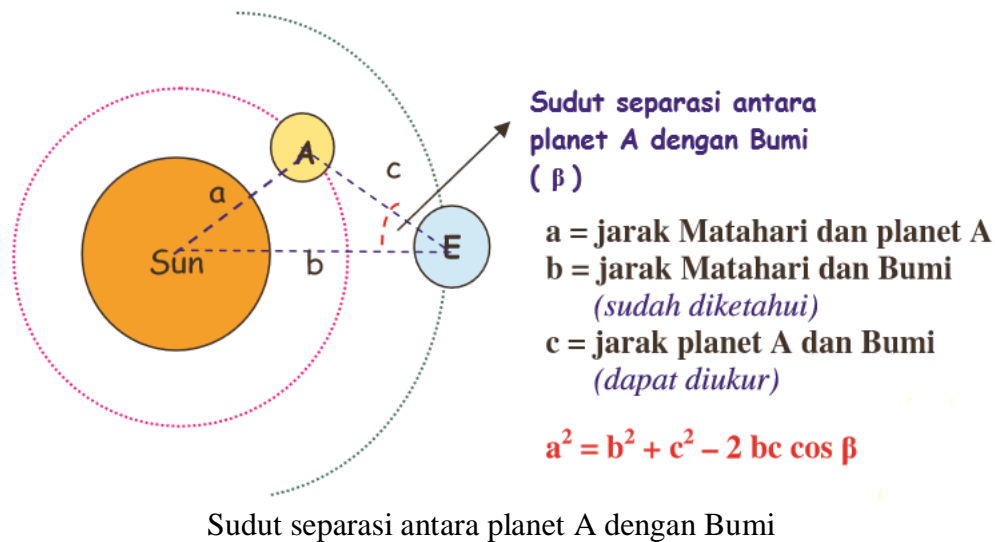


Diameter sudut

Sudut Separasi/Jarak Sudut

- Sudut pisah antara 2 objek langit
- Dinyatakan dalam satuan sudut (radian atau derajat)
- Sudut separasi menyatakan proyeksi jarak pisah 2 objek langit pada bola langit kita
- Jadi, besarnya jarak pisah linier antara 2 objek langit bersifat relatif dan ditentukan oleh jarak

- Maksudnya hampir sama dengan prinsip diameter sudut bahwa besarnya sudut separasi/jarak sudut tidak langsung menentukan jauh/dekatnya jarak di antara 2 objek langit



Dengan persamaan di atas, kita dapat menghitung jarak suatu planet dalam ke Matahari. Cara ini pernah diaplikasikan ketika menghitung jarak Matahari-Venus.

Sumber:

- Slide Pelatnas Kebumihan Bidang Astronomi: Fotometri Bintang
- Slide Pelatnas Kebumihan Bidang Astronomi: Pembentukan Spektrum Bintang
- Slide Pelatnas Kebumihan Bidang Astronomi: Analisis Garis Spektrum
- Gunawan, Hans. 2006. Modul Persiapan Menuju Olimpiade Sains Nasional Bidang: Astronomi.

SOAL

Catatan: Tanda koma menunjukkan pemisah angka ribuan. Tanda titik menunjukkan pemisah desimal.

1. Bintang yang baru lahir ($T \sim 1,000 \text{ K}$) akan terlihat pada panjang gelombang.....
 - A. Radio
 - B. Inframerah
 - C. Cahaya tampak
 - D. Ultraviolet
 - E. Sinar X
2. Informasi yang dapat diperoleh dari spektrum suatu objek antara lain....
 - A. Temperatur objek
 - B. Komposisi objek
 - C. Kecepatan gerak objek
 - D. A dan B
 - E. Semua benar
3. Sisa-sisa supernova mengembang pada kecepatan $1,000 \text{ km/s}$. Jika sisa-sisa tersebut berada sejauh $10,000 \text{ pc}$, berapakah besar perubahan diameter angular selama 2 tahun?
 - A. $0.005''$
 - B. $0.009''$
 - C. $0.02''$
 - D. $0.01''$
 - E. $0.1''$
4. Bulan dan Matahari memiliki ukuran sudut yang sama di langit (0.5°). Jika diketahui diameter Bulan adalah sekitar $3,500 \text{ km}$ dan diameter Matahari adalah sekitar $1,400,000 \text{ km}$. Maka sejauh apakah jarak Matahari daripada Bulan dari Bumi?
 - A. 100 kali jarak Bumi-Bulan
 - B. 200 kali jarak Bumi-Bulan
 - C. 300 kali jarak Bumi-Bulan
 - D. 400 kali jarak Bumi-Bulan
 - E. 500 kali jarak Bumi-Bulan
5. Europa berukuran 5 kali lebih besar dibandingkan Bumi dan Matahari. Berapakah perbandingan fluks yang diterima Europa dibandingkan yang diterima Bumi?
 - A. 10 kali lebih sedikit dibandingkan yang diterima Bumi
 - B. 15 kali lebih sedikit dibandingkan yang diterima Bumi
 - C. 20 kali lebih sedikit dibandingkan yang diterima Bumi
 - D. 25 kali lebih sedikit dibandingkan yang diterima Bumi
 - E. 30 kali lebih sedikit dibandingkan yang diterima Bumi
6. Pilihlah pernyataan yang benar....
 - A. Bintang kelas O menunjukkan garis helium terionisasi dan pita molekul titanium oksida.

- B. Dalam kelas spektrum yang sama, garis spektrum bintang dengan kelas luminositas katai lebih lebar daripada kelas luminositas maharaksasa.
 - C. Dalam kelas spektrum yang sama, garis spektrum bintang dengan kelas luminositas katai lebih sempit daripada kelas luminositas maharaksasa.
 - D. Penampakan spektrum hanya bergantung pada kelimpahan elemen.
 - E. Penampakan hanya bergantung kepada temperatur permukaan bintang.
7. Pilihlah pernyataan yang benar....
- A. Kelas spektrum bintang menunjukkan temperatur bintang tetapi tidak mencerminkan warna bintang.
 - B. Diagram dua warna adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara magnitudo dalam daerah panjang gelombang biru dan magnitudo dalam panjang gelombang merah.
 - C. Diagram Hertzsprung – Russell adalah diagram yang menggambarkan antara energi yang dipancarkan bintang dengan temperatur bintang.
 - D. Dalam Diagram Hertzsprung – Russell, luminositas bintang kelas spektrum M selalu lebih tinggi daripada luminositas bintang kelas spektrum G.
 - E. Dalam Diagram Hertzsprung – Russell, luminositas bintang kelas spektrum A selalu lebih rendah daripada bintang kelas spektrum G.
8. Pilihlah pernyataan yang salah....
- A. Spektrum bintang kelas O memperlihatkan kontinum ultraviolet yang kuat dan garis helium terionisasi satu kali
 - B. Garis hidrogen Balmer tampak kuat dalam spektrum bintang kelas A
 - C. Garis-garis metal tampak dalam bintang kelas F
 - D. Bintang-bintang kelas M memperlihatkan spektrum dari pita molekul
 - E. Dalam sebuah spektrum bintang bisa tampak garis helium terionisasi dan pita molekul titanium oksida
9. Pilihlah pernyataan yang salah....
- A. Garis emisi yang tampak pada spektrum menunjukkan bahwa bintangnya memiliki selubung gas.
 - B. Bintang Wolf-Rayet adalah bintang kelas O yang memiliki garis emisi lebar.
 - C. Garis emisi yang lebar pada sebuah spektrum menunjukkan selubung gas asal dari garis emisi itu bergerak dengan kecepatan tinggi.
 - D. Daerah H II (hidrogen terionisasi) memberikan spektrum emisi.
 - E. Elektron yang berpindah tempat dari tingkat energi rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi menimbulkan garis emisi.
10. Pilihlah pernyataan yang salah...
- A. Jika Matahari dipindahkan ke jarak 100 kali lebih jauh dari semula, maka terangnya akan menjadi 10000 kali lebih lemah.
 - B. Jika bintang Alpha Centauri dipindahkan ke jarak 1/10 kali jarak semula maka terangnya akan menjadi 100 kali lebih kuat.
 - C. Terang bintang bermagnitudo 2 sama dengan 2 kali terang bintang bermagnitudo 1.
 - D. Magnitudo semu (atau magnitudo) didefinisikan sebagai ukuran terang bintang sebagaimana kita lihat.

- E. Magnitudo mutlak (absolut) didefinisikan sebagai ukuran terang bintang kalau bintang tersebut ditempatkan pada jarak 10 parsek.
11. Pilihlah pernyataan yang salah....
- A. Diagram H-R (Hertzprung-Russell) menunjukkan hubungan antara umur dengan temperatur bintang.
 - B. Diagram H-R menunjukkan hubungan antara luminositas dengan temperatur bintang.
 - C. Temperatur bintang dalam diagram H-R dapat juga dinyatakan dengan kelas spektrum atau harga warna bintang.
 - D. Dalam Diagram H-R, sebagian besar (sekitar 90%) bintang terdistribusi pada pita yang disebut deret utama (*main sequence*).
 - E. Bintang dengan kelas spektrum A dan kelas luminositas III mempunyai harga magnitudo mutlak yang lebih kecil dibanding bintang dengan kelas spektrum A dan kelas luminositas V.
12. Pilihlah pernyataan yang benar....
- A. Di Kutub Selatan dalam bulan Desember, Matahari berada di atas horizon paling singkat.
 - B. Di Kutub Utara pada tanggal 23 Desember, elevasi maksimum Matahari dari horizon adalah 23.5° .
 - C. Di daerah ekuator, lamanya siang sama dengan lamanya malam terjadi pada tanggal 21 Maret dan 23 September.
 - D. Di daerah ekuator, lamanya siang sama dengan lamanya malam terjadi pada tanggal 21 Maret saja.
 - E. Kalau kita berada di Kutub Utara, kita masih bisa melihat bintang Alpha Centauri.
13. Pada suatu saat, Bulan sabit berada dekat sekali dengan Venus, sehingga sebagian Venus terhalang oleh bagian Bulan yang gelap. Andaikan tepat separuh permukaan Venus yang bercahaya terhalang oleh Bulan, berapa beda kecerlangan Venus pada saat itu dibandingkan dengan ketika tak terhalang? (Kecerlangan dalam hal ini dinyatakan dengan magnitudo melalui rumus : $m = -2,5\log(f) + C$, dengan f adalah energi yang diterima pengamat setiap detik, C suatu konstanta)
- A. beda magnitudo 0,25
 - B. beda magnitudo 0,5
 - C. beda magnitudo 0,75
 - D. beda magnitudo 1
 - E. tidak dapat dihitung jika C tidak diketahui
14. Kala hidup bintang di deret utama yang massanya 4 kali lebih besar dari massa Matahari dan luminositasnya 100 kali lebih besar dari luminositas Matahari adalah...
- A. 4 kali lebih lama daripada Matahari
 - B. 400 kali lebih lama daripada Matahari
 - C. 4 kali lebih singkat daripada Matahari
 - D. 100 kali lebih singkat daripada Matahari
 - E. 25 kali lebih singkat daripada Matahari

15. Sebuah bintang raksasa mempunya luminositas yang sama dengan luminositas bintang di deret utama. Karena bintang raksasa tersebut lebih besar ukurannya, maka..... daripada bintang deret utama.
 - A. Sudut paralaksnya lebih kecil
 - B. Sudut paralaksnya lebih besar
 - C. Temperaturnya lebih rendah
 - D. Temperaturnya lebih tinggi
 - E. Tidak ada pernyataan yang benar
16. Bagaimana kita melakukan pengamatan untuk menentukan gerak diri bintang, tanpa dipengaruhi oleh efek paralaks trigonometri?
 - A. Kita lakukan pengamatan paralaks trigonometri secara terpisah, kemudian hasil pengamatan gerak diri dikoreksi terhadap paralaks yang diamati secara terpisah.
 - B. Kita hanya cukup mengamati bintang tersebut pada tanggal yang sama selama bertahun-tahun untuk memperoleh data gerak diri.
 - C. Kita hitung jarak bintang dengan menggunakan metode sekunder, diperoleh paralaks yang akan menjadi faktor koreksi pengamatan gerak diri.
 - D. Butuh informasi kecepatan radial bintang agar kecepatan tangensial, dalam hal ini gerak diri, dapat kita tentukan secara terpisah dari paralaks.
 - E. Tidak mungkin mengamati gerak diri terpisah dari efek paralaks trigonometri bintang.
17. Apa yang dapat kamu simpulkan dari sebuah bintang dengan kelas temperatur M3 Ib?
 - A. Bintang temperatur tinggi
 - B. Bintang M deret utama
 - C. Anggota populasi I
 - D. Anggota populasi II
 - E. Bintang cabang horizontal raksasa
18. Tujuh buah bintang masing-masing dari kelas temperatur A, B, F, G, K, M, dan O. Manakah dari pernyataan tentang bintang-bintang tersebut berikut ini yang benar....
 - A. Bintang kelas A dan B memiliki tempertar permukaan yang lebih rendah dari bintang kelas M dan O
 - B. Urutan kelas temperatur A, B, A, F, G, K, M dan O menunjukkan urutan semakin rendahnya temperatur permukaan bintang
 - C. Bintang-bintang kelas temperatur G dan K lebih panjang kala hidupnya dibandingkan kelas temperatur A dan B
 - D. Urutan kelas temperatur A, B, F, G, K, M, O menunjukkan urutan semakin besarnya radius bintang
 - E. Bintang-bintang kelas temperatur O adalah yang paling panjang usia hidupnya
19. Galaksi Andromeda diamati memiliki pergeseran biru, bukan pergeseran merah. Berkaitan dengan hal ini manakah pernyataan yang benar.....
 - A. Andromeda diamati memiliki pergeseran biru karena efek pengamatan. Jika dikoreksi dengan gerak diri Bima Sakti sebenarnya Andromeda mengalami pergeseran merah.

- B. Tipe-tipe morfologi tertentu mengalami pergeseran biru, bukan pergeseran merah. Andromeda adalah salah satu tipe galaksi yang mengalami pergeseran biru.
 - C. Untuk galaksi spiral raksasa seperti Andromeda, perlu berbagai koreksi internal gerak bintang di dalamnya. Jika semua koreksi internal bintang dalam Andromeda dilakukan, akan dideteksi bahwa Andromeda mengalami pergeseran merah.
 - D. Jarak Andromeda terlalu dekat ke Bima Sakti sehingga efek pengembangan alam semesta tidak teramati, dan yang teramati dominan adalah gerak dirinya dalam ruang, yang arahnya menuju ke Bima Sakti.
 - E. Ketidakakuratan detektor menyebabkan pergeseran merah terdeteksi sebagai pergeseran biru. Jika menggunakan peralatan yang lebih teliti, akan diperoleh ternyata Andromeda mengalami pergeseran merah.
20. Bintang-bintang biasa dikategorikan dalam Populasi I, Populasi II, dan Populasi II (yang masih intensif dicari). Pernyataan yang salah adalah....
- A. Populasi I memiliki kandungan metal yang lebih tinggi dibandingkan Populasi II
 - B. Gugus-gugus bola berisi bintang Populasi II
 - C. Gugus terbuka beranggotakan bintang Populasi I
 - D. Lengan spiral berisi bintang-bintang Populasi I
 - E. Bintang-bintang Populasi I lebih tua dari bintang-bintang Populasi II
21. Pusat galaksi Bima Sakti sulit diamati karena banyaknya kandungan debu antar bintang. Untuk mengamatinya, dilakukan pengamatan pada panjang gelombang.....
- A. Cahaya tampak, ultraviolet, dan sinar-X
 - B. Sinar gamma, sinar-X, inframerah, dan radio
 - C. Ultraviolet, sinar-X, dan sinar gamma
 - D. Cahaya tampak, radio, dan sinar gamma
 - E. Inframerah, ultraviolet, dan sinar-X
22. Pilihlah pernyataan yang benar....
- A. Kalau kita mengamati galaksi, kita melihat pergeseran merah dalam spektrumnya. Ini berarti jagat raya mengembang.
 - B. Terdapat hubungan linier antara kecepatan menjauh dari galaksi dengan jaraknya dari kita.
 - C. Beberapa Quasar memiliki pergeseran merah yang paling besar yang berarti bahwa Quasar ini adalah objek yang paling jauh yang bisa kita amati.
 - D. Model jagat raya terbuka (*open universe*) mengatakan bahwa jagat raya akan terus berkembang.
 - E. Pengamatan menunjukkan bahwa galaksi yang jauh semuanya menjauhi kita. Dapat disimpulkan bahwa galaksi Bima Sakti kita merupakan pusat keseluruhan jagat raya.
23. Ketika terjadi pembakaran hidrogen di selubung, lapisan luar bintang menjadi panas. Ini menyebabkan lapisan terluar bintang serta temperaturnya dan luminositas Setelah itu bintang akan berevolusi menuju tahap Raksasa Merah.
- A. Mengerut; bertambah; bertambah
 - B. Mengerut; bertambah; berkurang
 - C. Mengembang; menurun; bertambah

- D. Mengembang; menurun; berkurang
 - E. Mengembang; tetap sama; tetap sama
24. Bintang A mempunyai ukuran yang sama dengan bintang B. Jika luminositas bintang A tersebut makin besar, maka daripada bintang B.
- A. Sudut paralaksnya lebih kecil
 - B. Sudut paralaksnya lebih besar
 - C. Temperaturnya lebih rendah
 - D. Temperaturnya lebih tinggi
 - E. Tidak ada pernyataan yang benar karena besaran fisis kedua bintang akan selalu sama
25. Ketika Matahari berevolusi menjadi rakasa merah, pusatnya akan...
- A. Mengembang dan memanaskan
 - B. Mengembang dan mendingin
 - C. Mengerut dan memanaskan
 - D. Mengerut dan mendingin
 - E. Mengembang dengan temperatur tetap seperti sebelumnya
26. Tipe radiasi mana yang memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dibanding cahaya tampak?
- A. Gelombang mikro
 - B. Gelombang radio
 - C. Sinar X
 - D. Radiasi gamma
 - E. Radiasi cahaya biru
27. Matahari termasuk ke dalam kelas spektrum bintang....
- A. O
 - B. F
 - C. G
 - D. K
 - E. M
28. Medan magnet dapat menyebabkan suatu tingkat energi sebuah atom terpecah menjadi dua atau lebih sehingga garis spektrum terpecah menjadi dua garis atau lebih. Dalam spektrum bintang, komponen garis ini umumnya tidak dapat dipisah sehingga akibatnya tampak seperti pelebaran garis. Peristiwa tersebut disebut sebagai....
- A. Pelebaran Doppler
 - B. Pelebaran tumbukan
 - C. Efek Zeeman
 - D. Pelebaran alamiah
 - E. Pengembangan selubung bintang
29. Bintang yang lebih panas dari Matahari adalah....
- A. Spica
 - B. Antares

- C. Betelgeuse
 - D. Capella
 - E. Aldebaran
30. Hal-hal yang dapat diketahui dari pancaran gelombang, yaitu.....
- A. Gerak benda
 - B. Polarisasi pancaran
 - C. Kecerahan pancaran
 - D. A dan C
 - E. Semua benar