

SPEKTROSKOPI

Spectral lines

Each element (hydrogen, helium, neon, mercury, iron, ...) has its own particular set of energy levels and its own set of spectral lines.

Uses of spectral lines

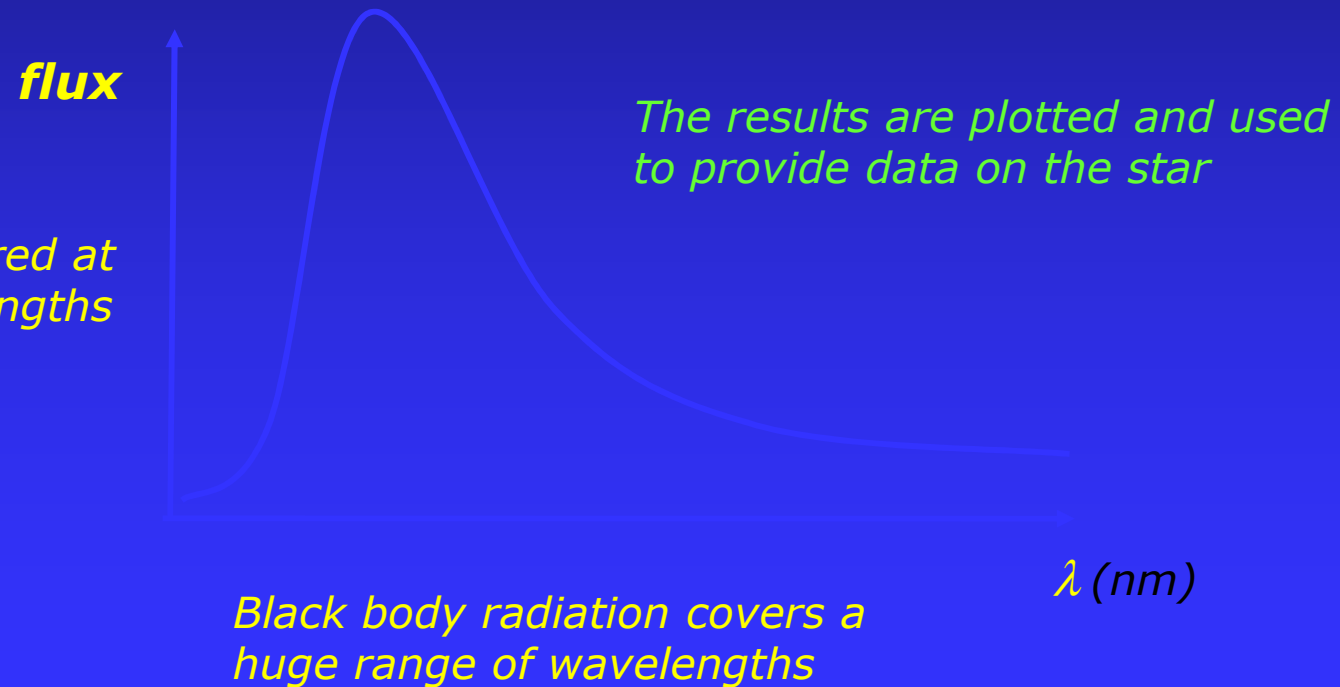
Because each element has its own unique pattern of spectral lines, the spectral lines from stars can be used to determine the composition, or the relative number of atoms of each element of the stars

We can use the spectrum of an object to determine its temperature

Three types of spectra

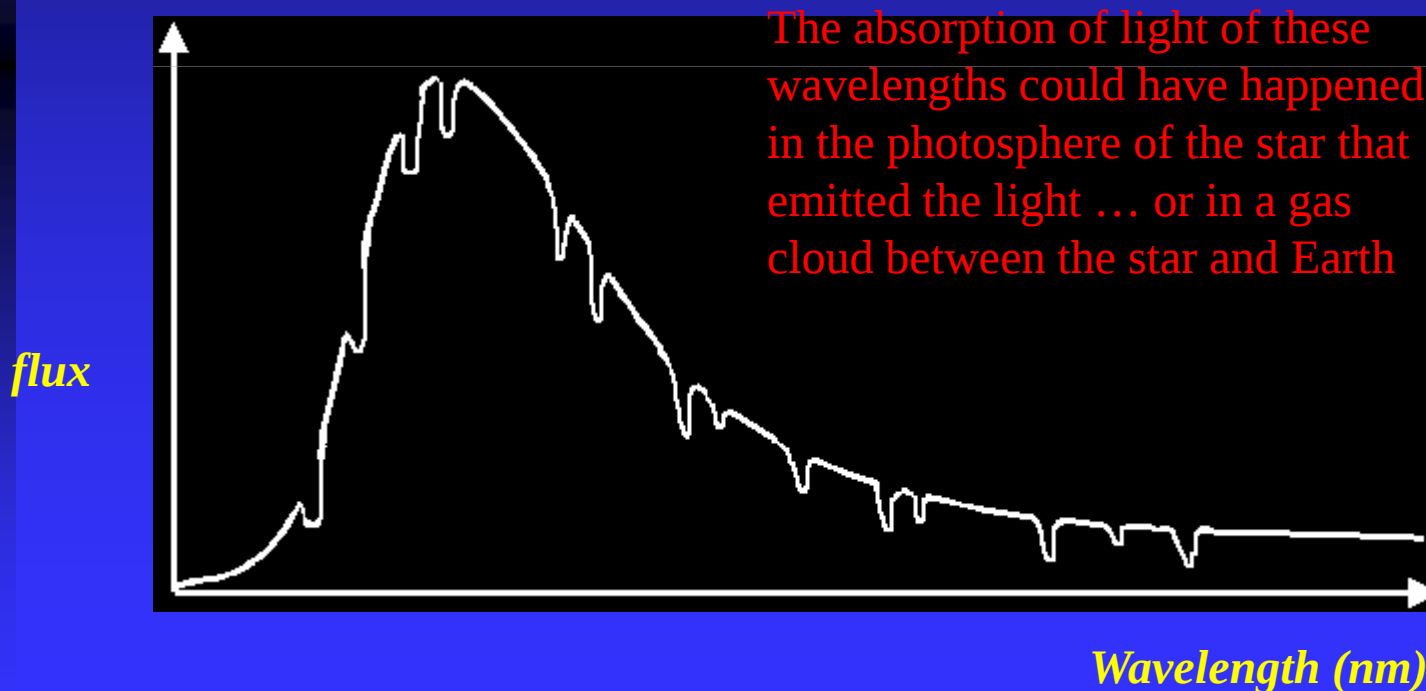
1. Spektrum kontinu

radiasi elektromagnetik yang dipancarkan benda hitam.



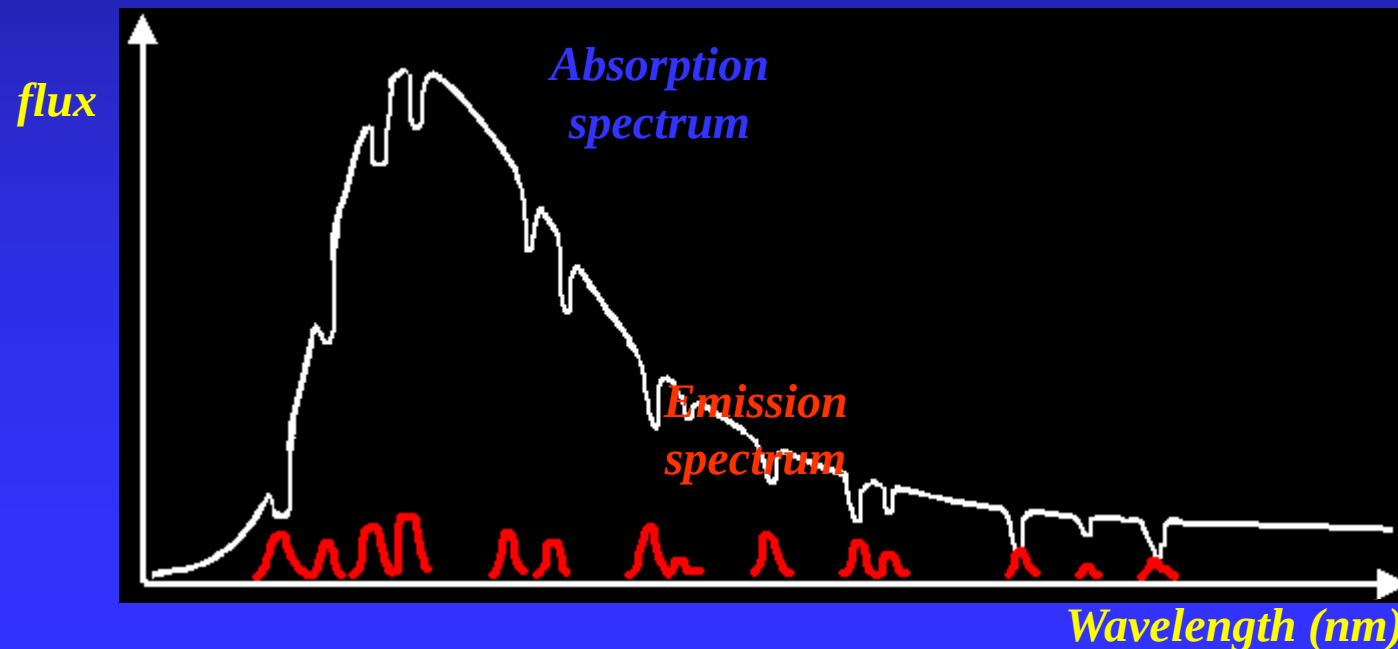
2. Spektrum Absorpsi

Spektrum absorpsi merupakan spektrum kontinu, tetapi dengan flux beberapa frekuensi berkurang karena serapan diantara sumber dan bumi.



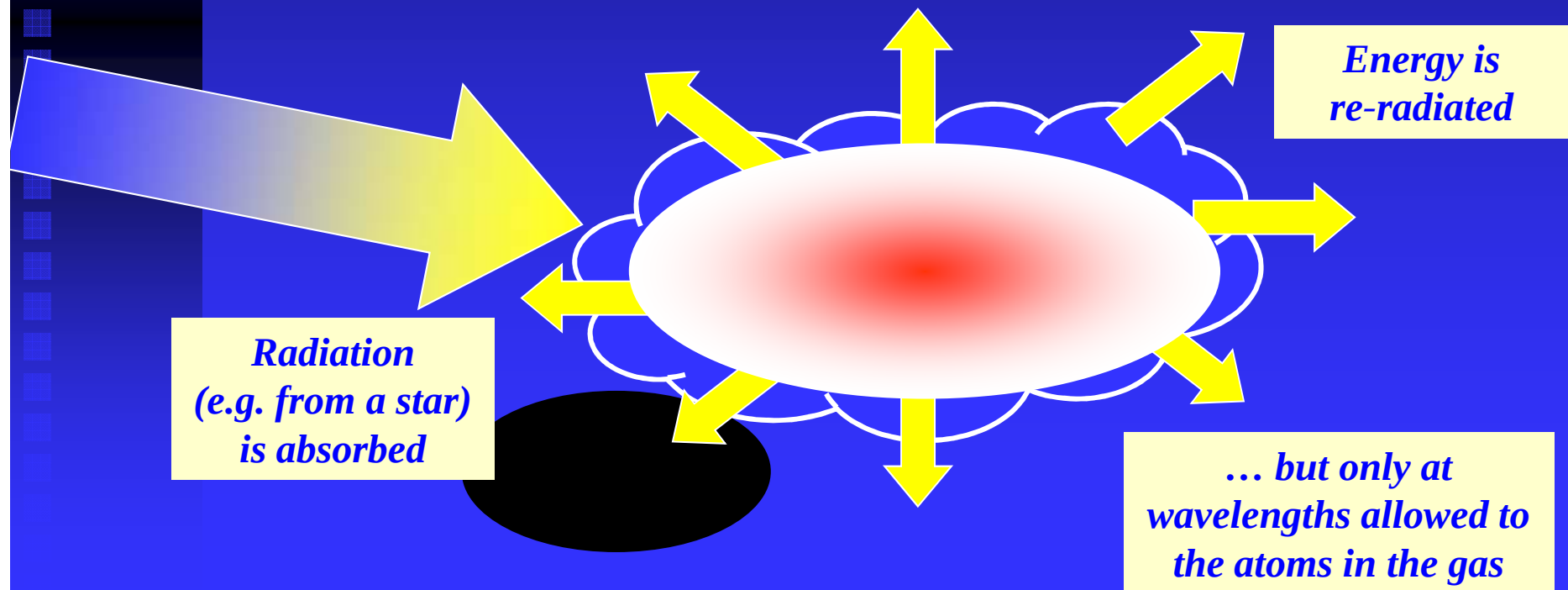
3. Spektrum Emisi

- An emission spectrum looks very different: on film, instead of black lines in a coloured band you see coloured lines in a black band!
- Or you will see the spectrum shown below in red. Why ?

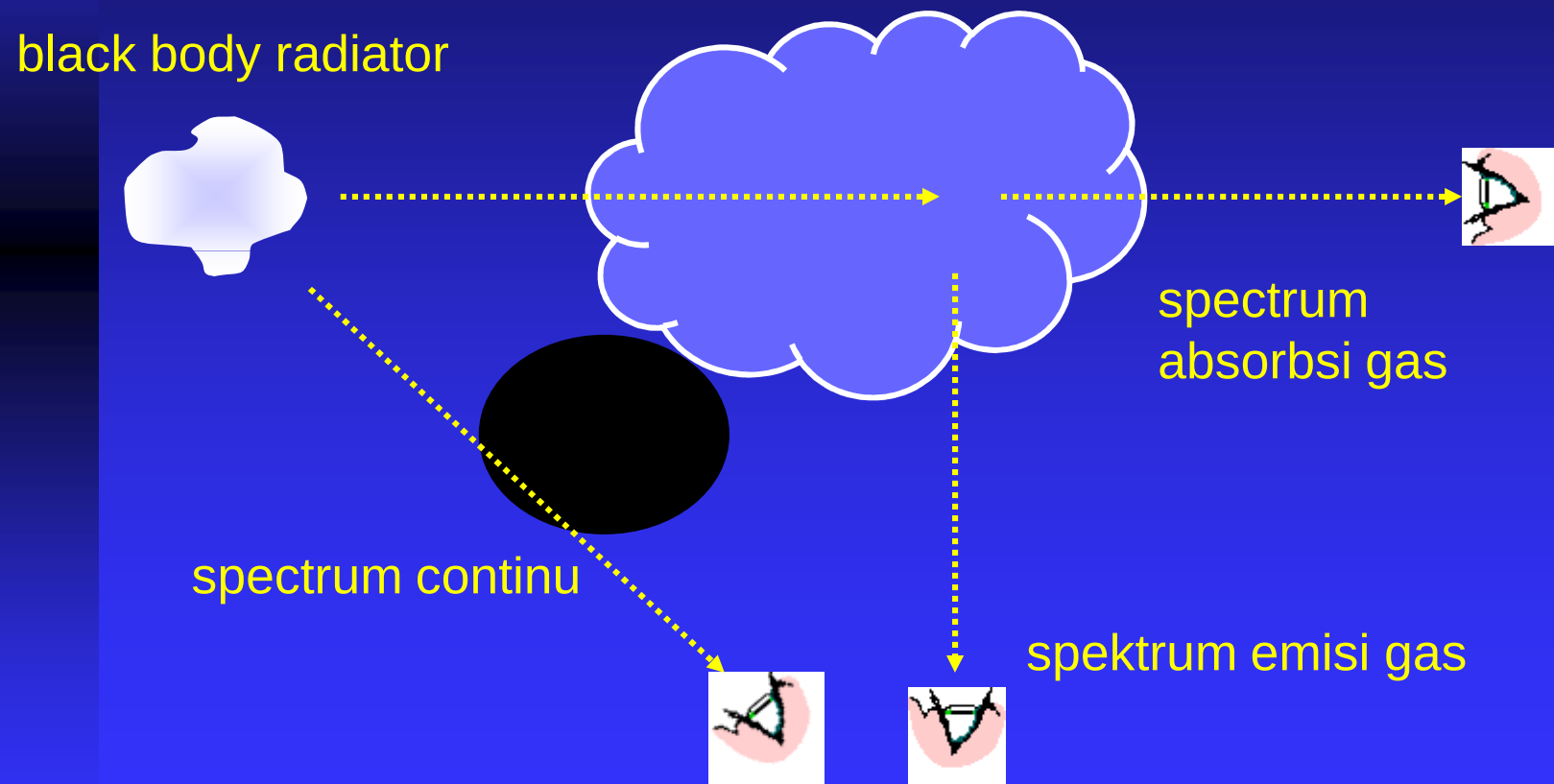


Emission spectra explained

- An emission spectrum is made by an object such as a cloud of gas emitting radiation rather than absorbing it.
- It can only emit those same wavelengths that it can absorb, and those wavelengths will depend on the atoms comprising the gas.

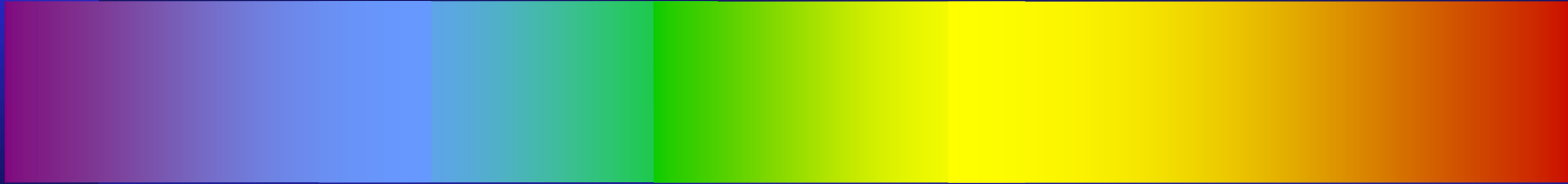


Emission versus absorption spectra

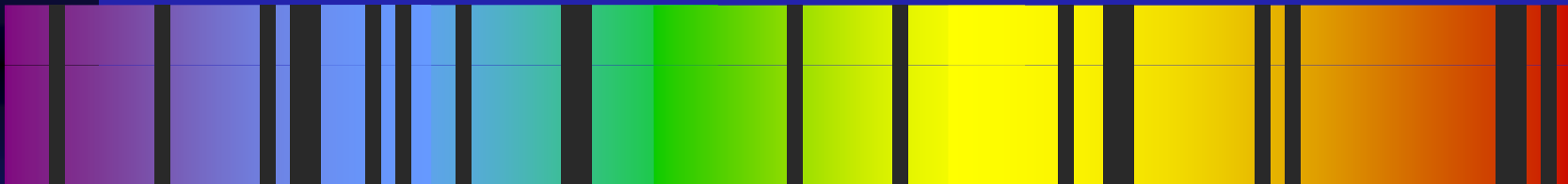


Tiga macam Spektrum

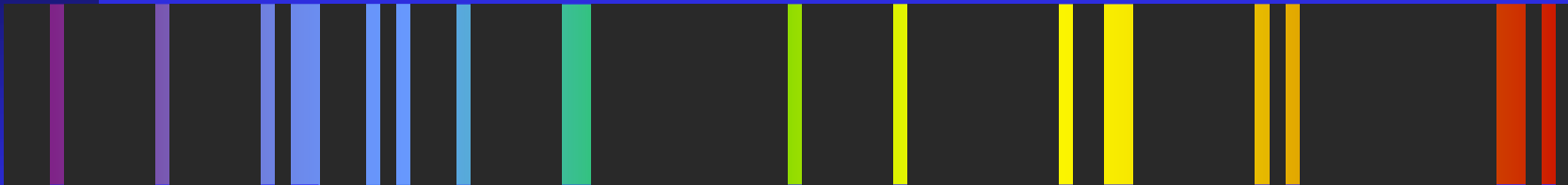
1. Spektrum Kontinu



2. Spektrum Absorpsi



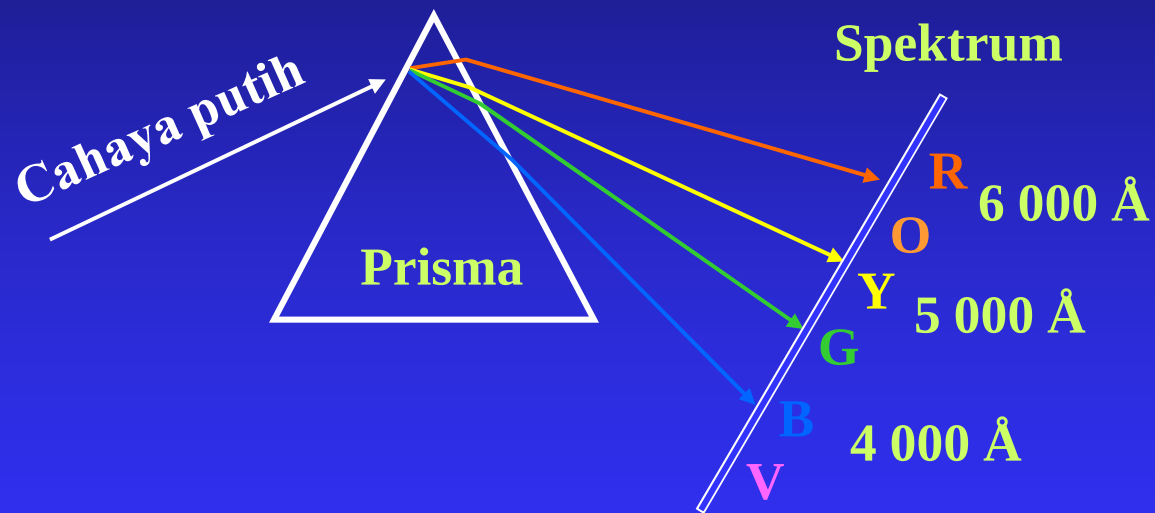
3. Spektrum Emisi



Di kehidupan sehari-hari, kita melihat campuran dari ketiga spektrum tsb.

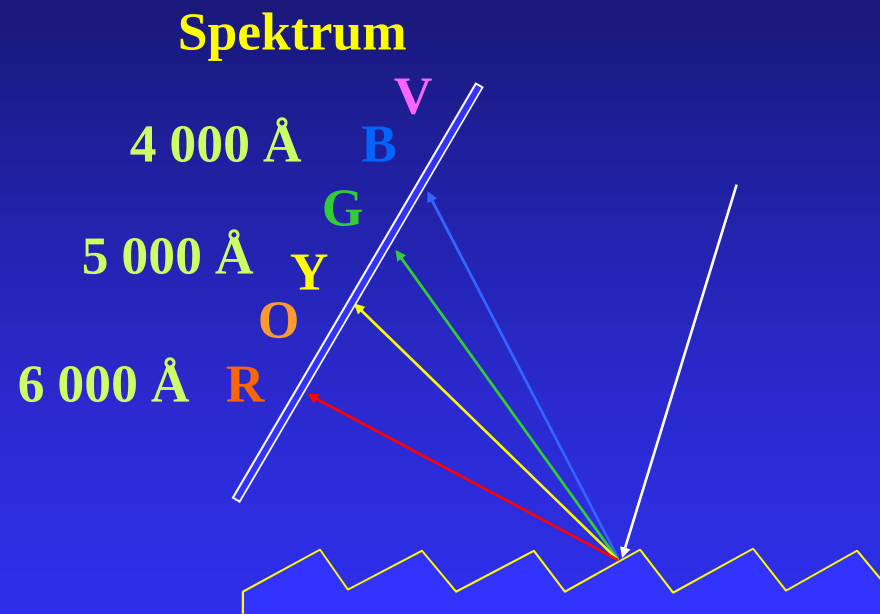
Pembentukan Spektrum

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



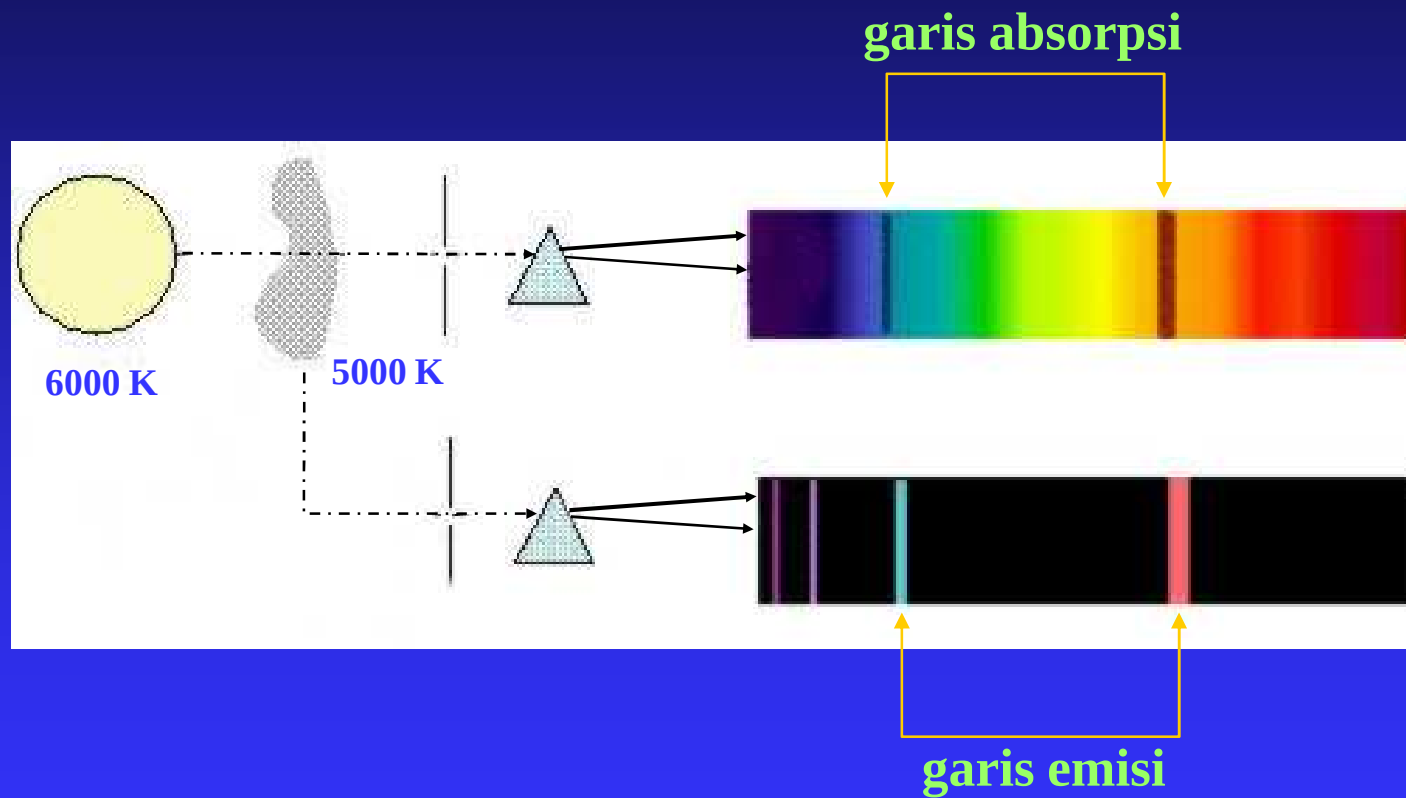
Spektrum kontinu

Selain dengan prisma, spektrum cahaya juga dapat diuraikan oleh *kisi-kisi* → digunakan dalam spektrograf



Spektrum kontinu

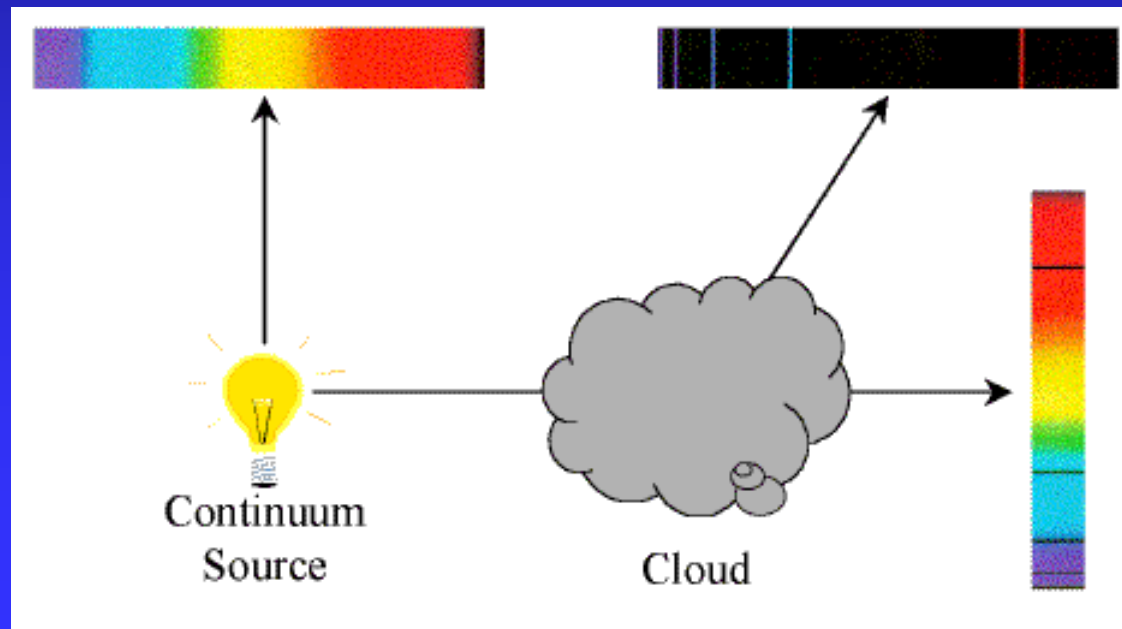
Pembentukan garis absorpsi dan emisi



Hukum Kirchhoff (1859)

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 tersebut akan menyerap cahaya tersebut pada warna atau panjang gelombang tertentu. Akibatnya akan diperoleh spektrum kontinu yang berasal dari cahaya putih yang dilewatkan diselang-seling garis gelap yang disebut *garis serapan* atau *garis absorpsi*.



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

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

λ = panjang gelombang

R = suatu tetapan

n = bilangan bulat 3, 4, 5,

Untuk :

$n = 3 \longrightarrow$ deret Balmer pertama : H_{α} pada $\lambda = 6563 \text{ \AA}$

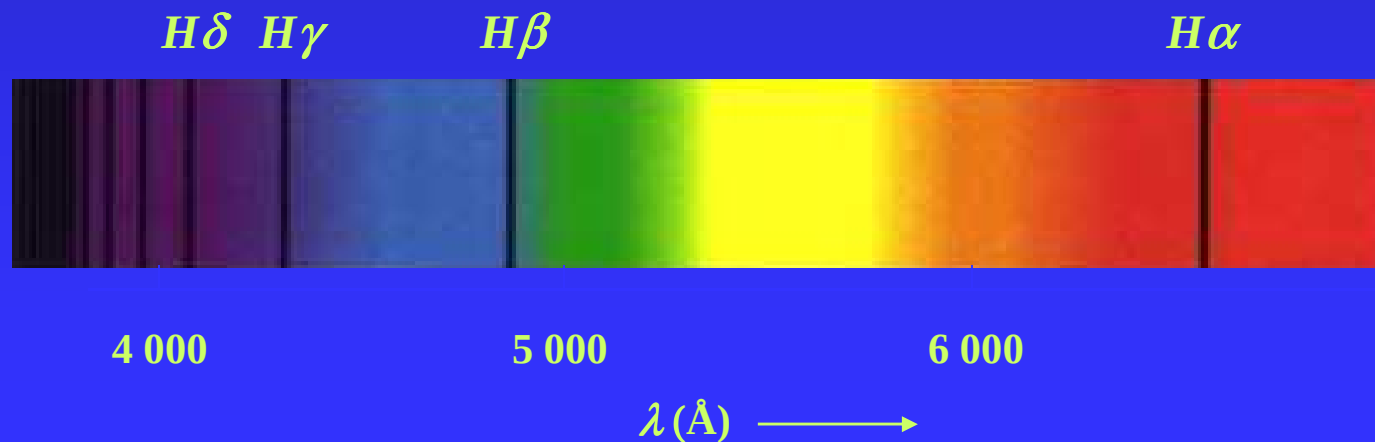
$n = 4 \longrightarrow$ deret Balmer kedua : H_{β} pada $\lambda = 4861 \text{ \AA}$

$n = 5 \longrightarrow$ deret Balmer ketiga : H_{γ} pada $\lambda = 4340 \text{ \AA}$

$n = 6 \longrightarrow$ deret Balmer keempat : H_{δ} pada $\lambda = 4101 \text{ \AA}$

•
•
•

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



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,

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

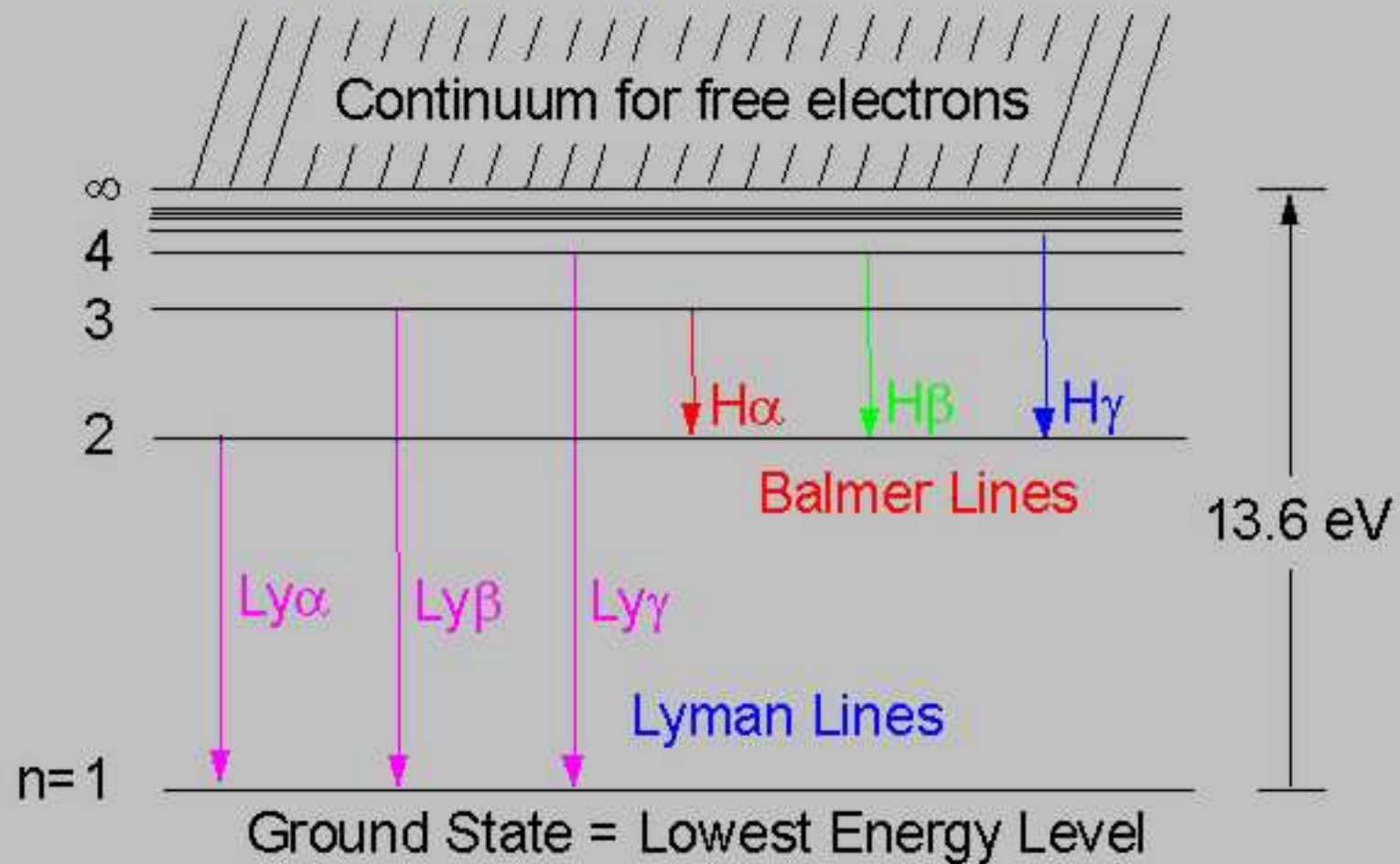
$m = 1 \Rightarrow$ ditemukan deret deret Lyman dengan $n = 2, 3, \dots$

$m = 2 \Rightarrow$ ditemukan deret deret Balmer dengan $n = 3, 4, \dots$

$m = 3 \Rightarrow$ ditemukan deret deret Paschen dengan $n = 4, 5, \dots$

$m = 4 \Rightarrow$ ditemukan deret deret Brackett dengan $n = 5, 6, \dots$

Hydrogen Spectral Lines

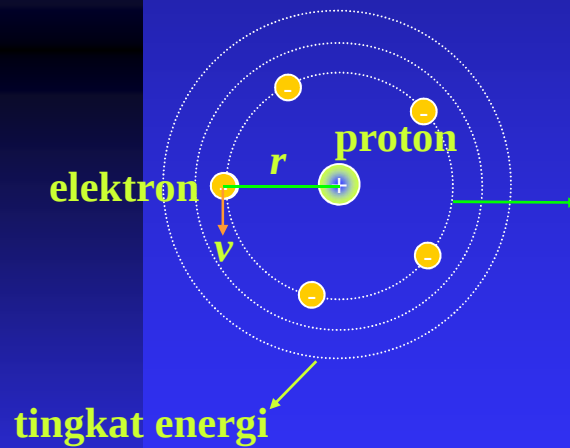


Teori Atom Hidrogen Bohr

- Atom hidrogen terdiri dari inti yang bermuatan positif (proton) yang dikelilingi oleh sebuah elektron

Massa proton (M) $\gg$ massa elektron (m_e)

⇒ orbit dapat dianggap lingkaran



elektron berada dalam orbitnya dlm pengaruh gaya sentral yg disebabkan gaya elektrostatik

Misalkan :

r = jarak elektron-proton

v = kecepatan elektron

E = energi yang dipancarkan elektron

Energi elektron terdiri dari :

Energi kinetik (EK) dan energi potensial (EP)

Energi total elektron adalah,

$$E = EK + EP \dots\dots\dots (i)$$

$$EK = \frac{1}{2} m_e v^2 \dots\dots\dots (ii)$$

Menurut Coulomb, gaya elektrostatik antara proton dan elektron adalah,

$$F = \frac{e^2}{r^2} \longrightarrow \text{muatan elektron} \dots\dots\dots (iii)$$

Supaya elektron tetap stabil dalam orbitnya, gaya elektrostatik ini harus diimbangi oleh gaya centrifugal

$$F = \frac{m_e v^2}{r} \dots\dots\dots (iv)$$

Dari pers (iii) dan (iv) diperoleh,

$$\frac{m_e v^2}{r} = \frac{e^2}{r^2} \implies v = \frac{e}{\sqrt{m_e r}} \dots\dots\dots (v)$$

Dengan mensubtitusikan pers. (v) ke pers. (ii) maka energi kinetik dapat dituliskan menjadi,

$$EK = \frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{1}{2} \frac{e^2}{r} \dots\dots\dots (vi)$$

Energi potensial elektron dalam orbitnya adalah,

$$EP = \int_{\infty}^r \frac{e^2}{r^2} dr = -\frac{e^2}{r} \dots\dots\dots (vii)$$

└─ berarti tarik menarik

Dari pers. (i), (vi) dan (vii) diperoleh,

$$E = \frac{1}{2} \frac{e^2}{r} - \frac{e^2}{r} = -\frac{e^2}{2r} \dots\dots\dots (viii)$$

Momentum sudut elektron pada orbitnya dinyatakan oleh,

$$H = m_e v r = e(m_e r)^{1/2} \dots\dots\dots (ix)$$

Menurut Bohr, elektron hanya dapat bergerak mengelilingi proton pada orbit tertentu dan jarak orbit tersebut (r) memungkinkan momentum sudut elektron di sekitar inti mempunyai harga yang diberikan oleh kelipatan

$$\frac{h}{2\pi} \longrightarrow \text{konstanta Planck}$$

⇒ konsep ini disebut *momentum sudut yang terkuantisasi* ⇒ *elektron terkuantisasi*

Jadi menurut Bohr, momentum sudut elektron dapat dinyatakan oleh,

$$H = \frac{nh}{2\pi} \dots\dots\dots (x)$$

$n = 1, 2, 3, \dots =$ tingkat energi

Dari pers. (ix) dan (x) selanjutnya dapat diperoleh,

$$\frac{nh}{2\pi} = e(m_e r)^{1/2} \dots\dots\dots (xi)$$

Karena itu radius orbit Bohr dapat dinyatakan oleh,

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 e^2 m_e} \dots\dots\dots (xii)$$

$$e = 4,803 \times 10^{-10} \text{ statcoulomb (satuan elektrostatik)}$$

$$m_e = 9,1096 \times 10^{-26} \text{ gr}$$

$$h = 6,626 \times 10^{-27} \text{ erg s}$$

Jika harga-harga ini dimasukkan ke pers. (xii), dan kita ambil $n = 1$ maka akan diperoleh,

$$r = 5,3 \times 10^{-8} \text{ mm} = 0,53 \text{ \AA}$$

Apabila harga r dalam pers. (xii) disubstitusikan ke pers. (viii), maka akan diperoleh energi orbit Bohr yaitu,

$$E_n = -\frac{2\pi^2 e^4 m_e}{n^2 h^2} = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV} \dots\dots\dots (xii)$$

Untuk atom yang berada pada tingkat dasar (*ground state*) $\rightarrow n = 1$

$$E = -13,6 \text{ eV} \dots\dots\dots (xii)$$

└─ melepaskan elektron

Tingkat energi Atom

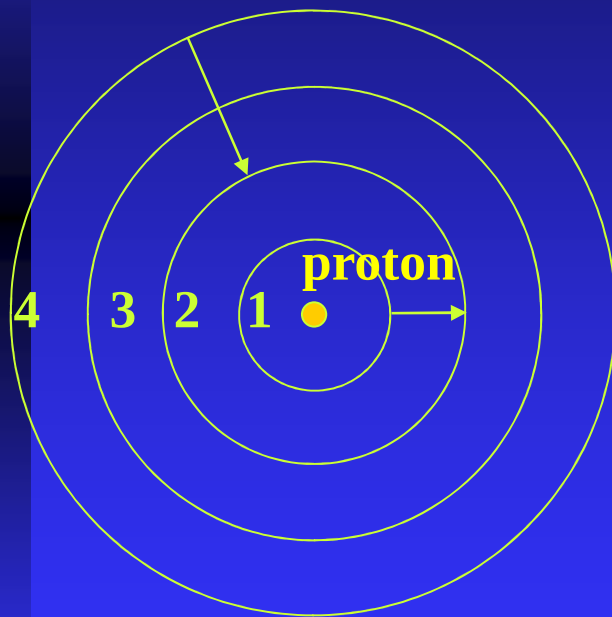
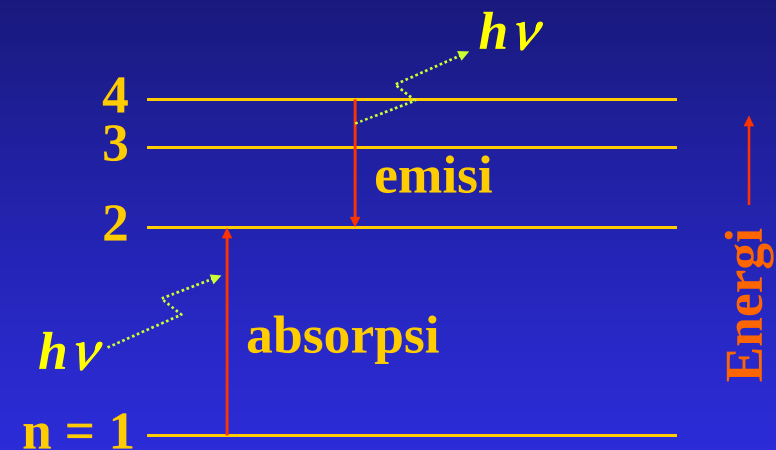


Diagram tingkat energi atom



Skema yang merepresentasikan tingkat energi orbit

Apabila elektron berpindah dari tingkat n ke tingkat m (m lebih tinggi daripada n), maka elektron akan kehilangan energi. Energi ini akan dipancarkan sebagai foton atau butiran cahaya dengan energi sebesar $h\nu$ (h adalah konstanta Planck dan ν adalah frekuensi foton)

$$h\nu = E_m - E_n = \frac{13,6}{m^2} - \frac{13,6}{n^2} = 13,6 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Oleh karena $\nu = c/\lambda$ ($c = 2,9979 \times 10^{10}$ cm/s = kecepatan cahaya), λ = panjang gelombang, maka

$$\frac{hc}{\lambda} = 13,6 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

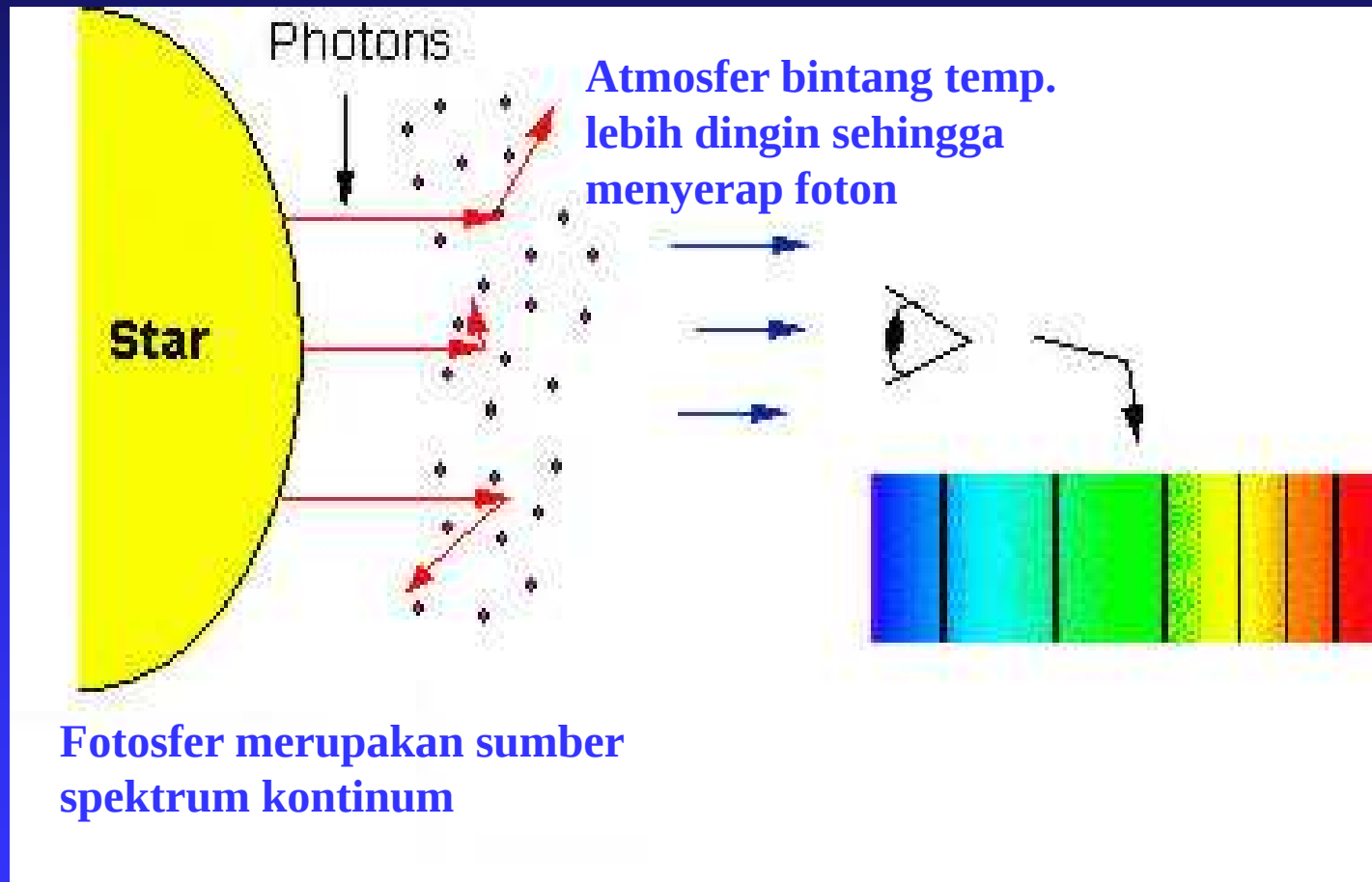
Apabila kita masukan harga c dan h maka akan diperoleh,

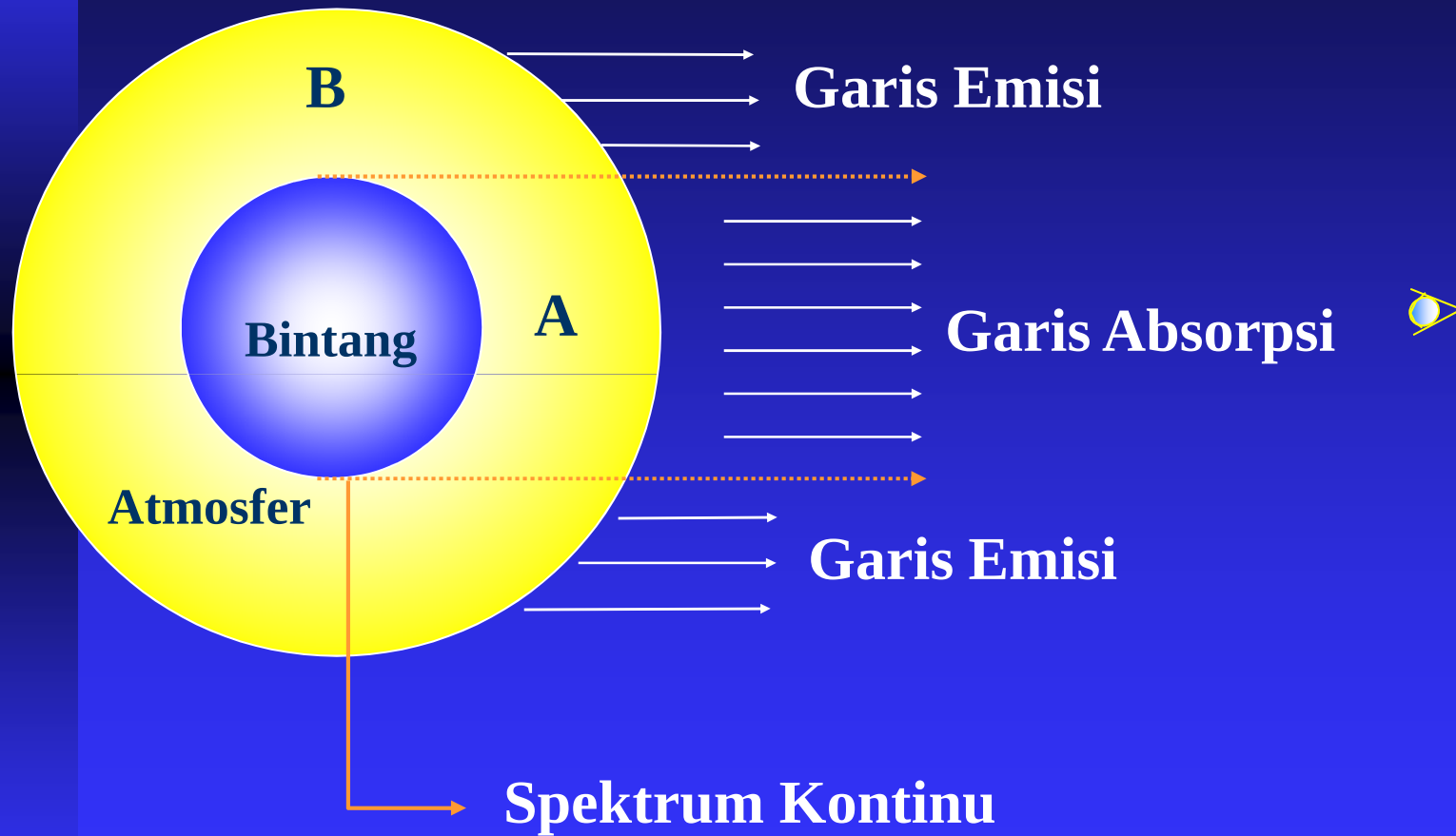
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{13,6}{h c} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = 109\,678 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

→ Persamaan ini sama dengan yang ditemukan oleh Balmer secara empiris

→ Konstanta Rydberg (R), apabila λ dinyatakan dalam cm

Pembentukan spektrum bintang





Spektrum Bintang

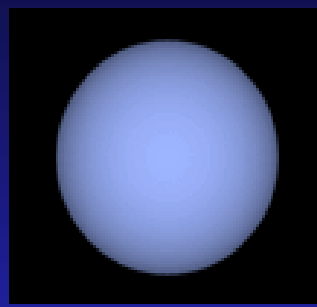
- Pola spektrum bintang umumnya berbeda-beda, pada tahun 1863 seorang astrono bernama Angelo Secchi mengelompokan spektrum bintang dalam 4 golongan berdasarkan kemiripan susunan garis spektrumnya.
- Miss A. Maury dari Harvard Observatory menemukan bahwa klasifikasi Secchi dapat diurutkan secara kesinambungan 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. Hingga sekarang klasifikasi Miss Cannon ini digunakan

Perjalanan klasifikasi spektrum bintang

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

O_h **B**_e **A** **F**ine **G**irl **K**iss **M**_e

Klasifikasi Spektrum Bintang



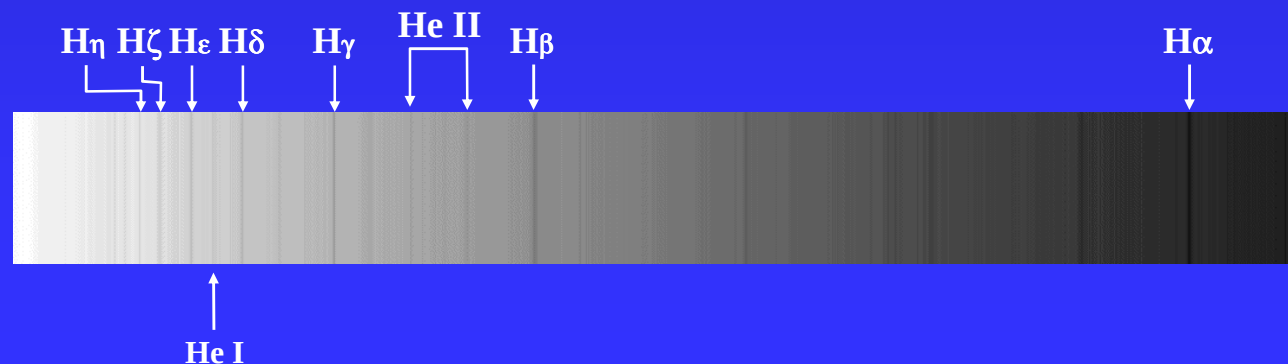
Kls. Spek. : O

Warna : Biru

Temperatur : $> 30\,000\text{ }^{\circ}\text{K}$

Ciri Utama : Garis absorpsi yang tampak sangat sedikit. Garis helium terionisasi, garis nitrogen terionisasi dua kali, garis silikon terionisasi tiga kali dan garis-garis lain dari atom yang terionisasi beberapa kali tampak tapi lemah. Garis hidrogen juga tampak sangat lemah

Contoh : Bintang 10 Lacerta

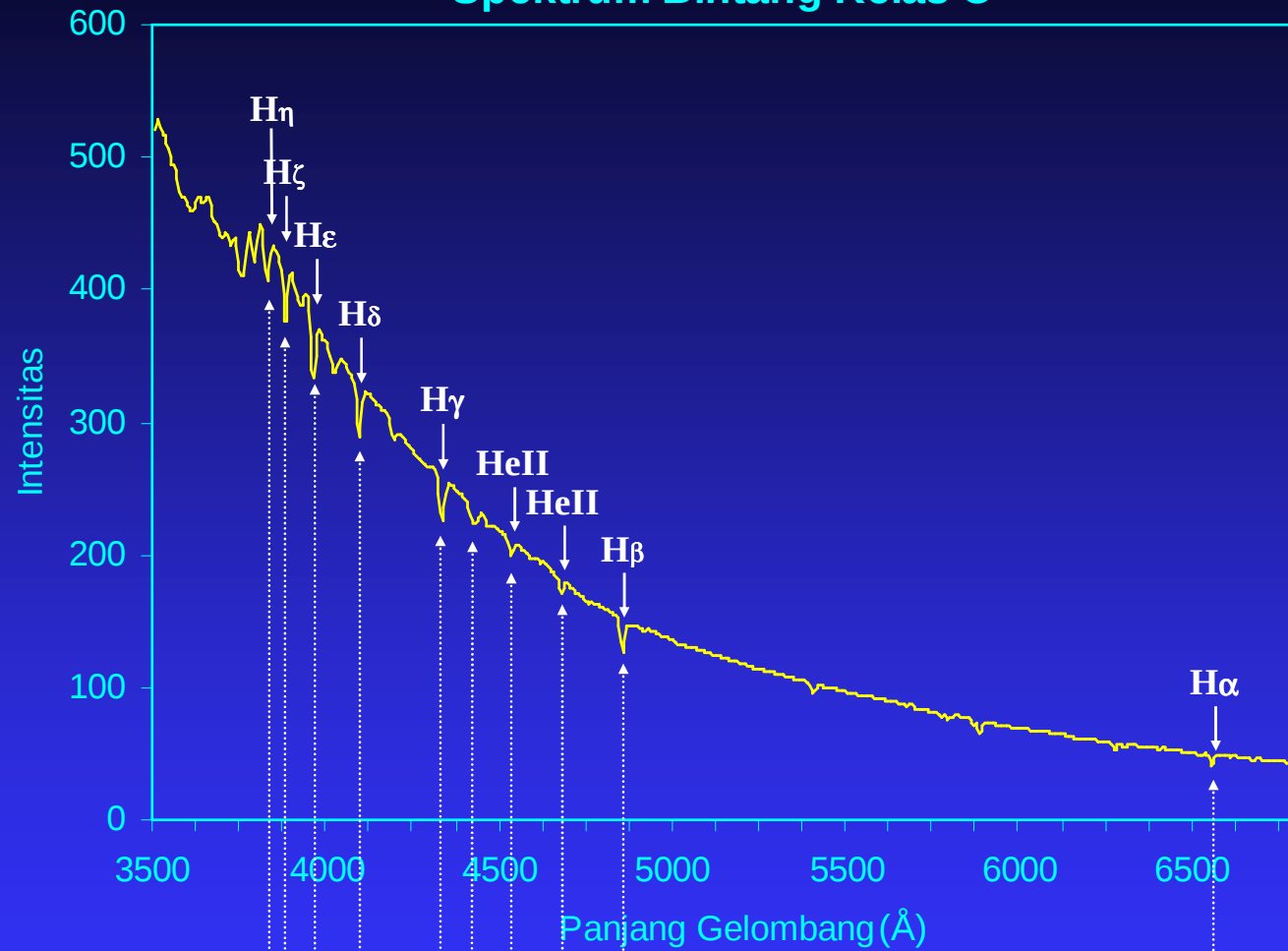


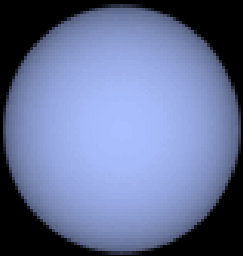
O

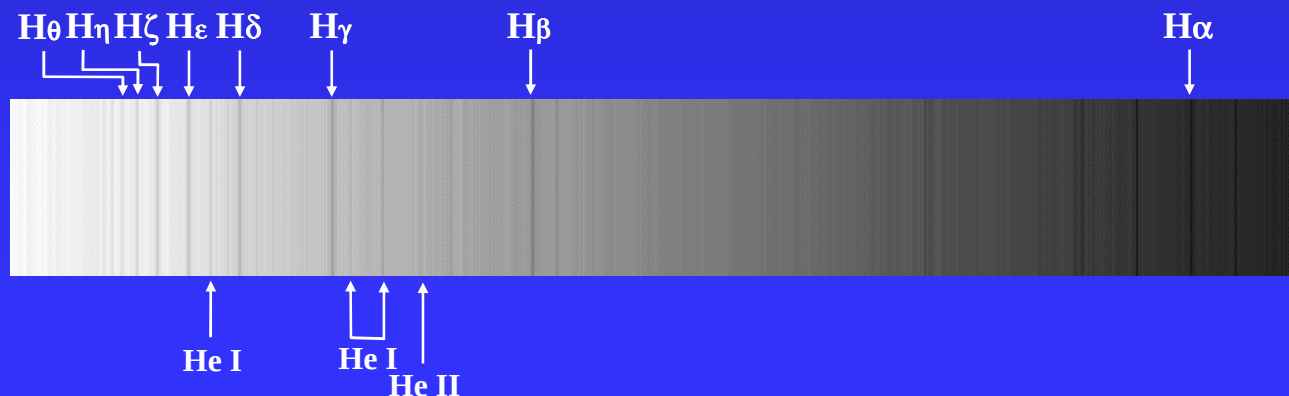
-

1

Spektrum Bintang Kelas O



	Kls. Spek. : B
	Warna : Biru
	Temperatur : 11 000 - 30 000 °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, Spica	

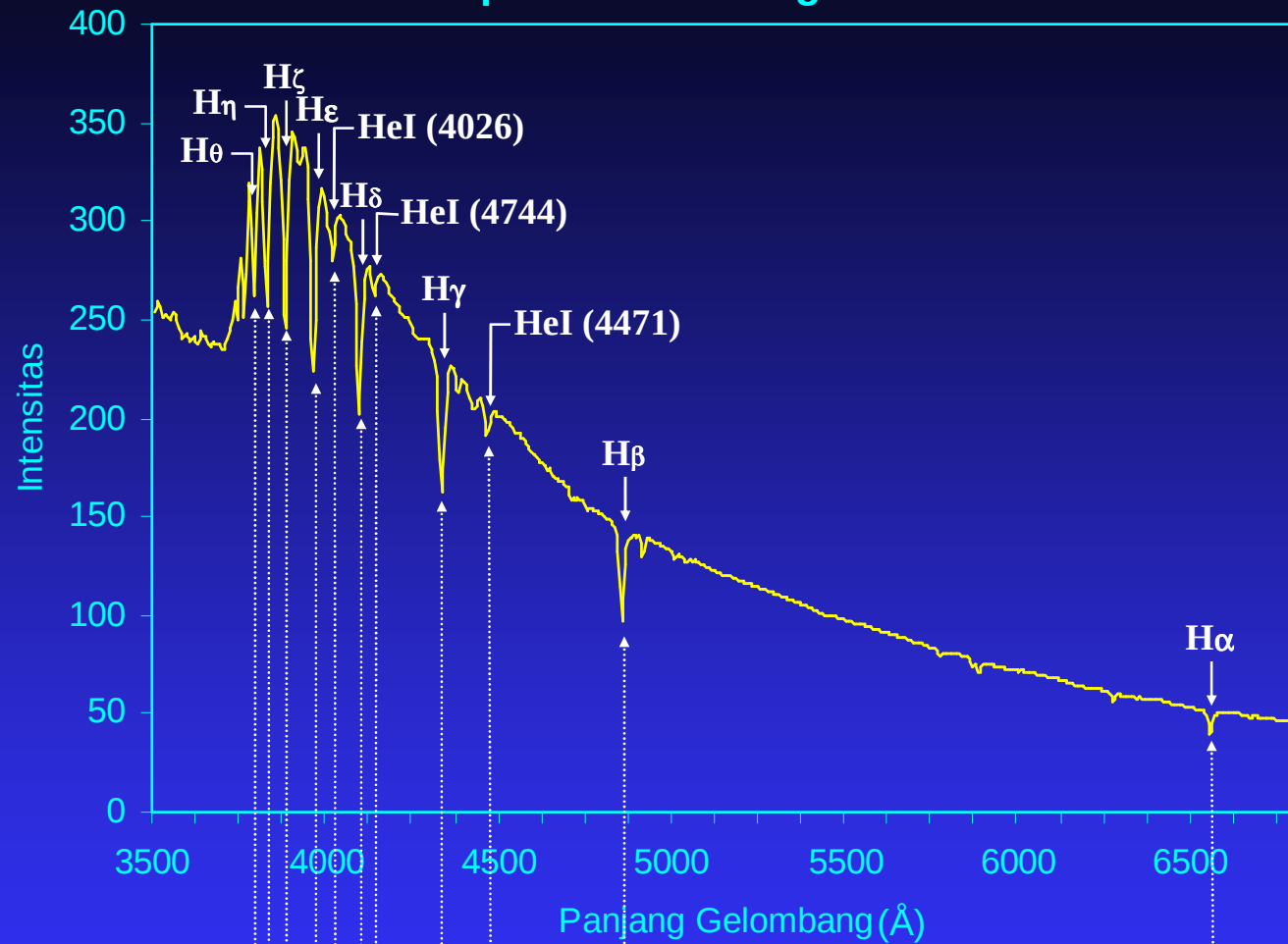


B

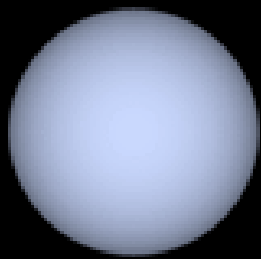
-

1

Spektrum Bintang Kelas B

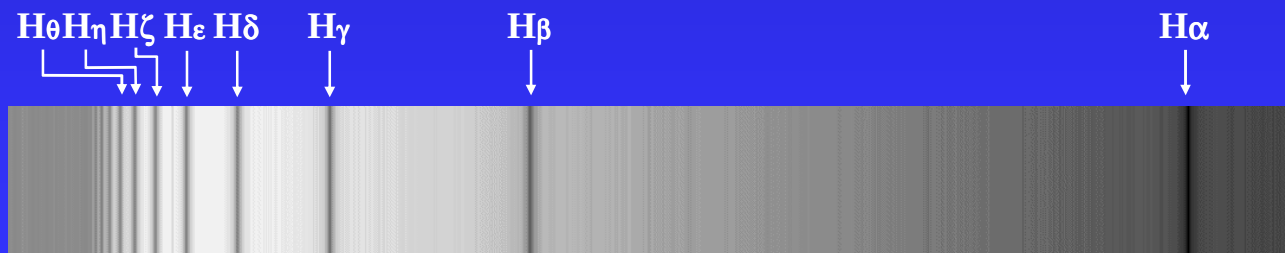


A

**Kls. Spek. : A****Warna : Biru****Temperatur : 7 500 - 11 000 °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, Vega

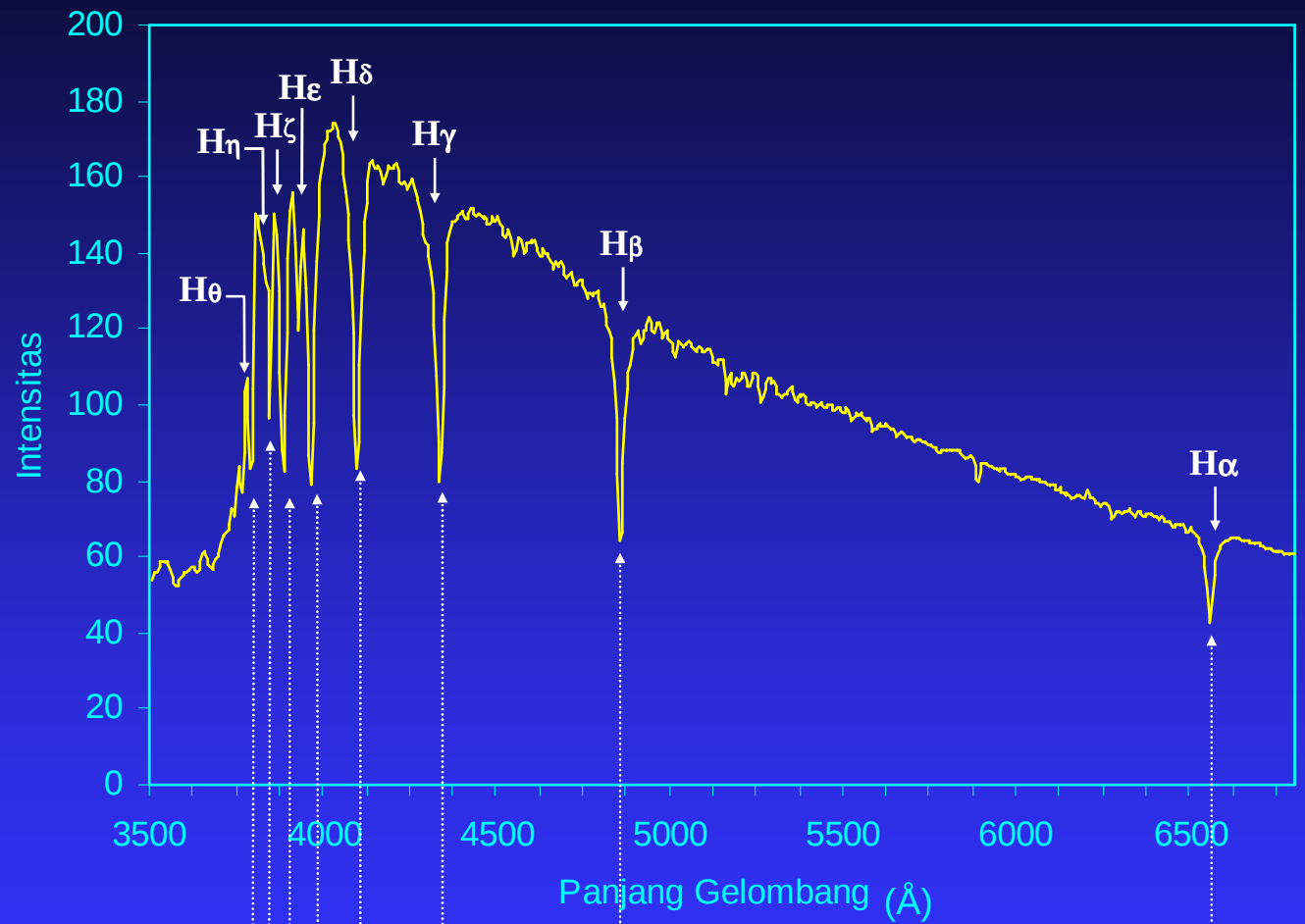


A

-

1

Spektrum Bintang Kelas A





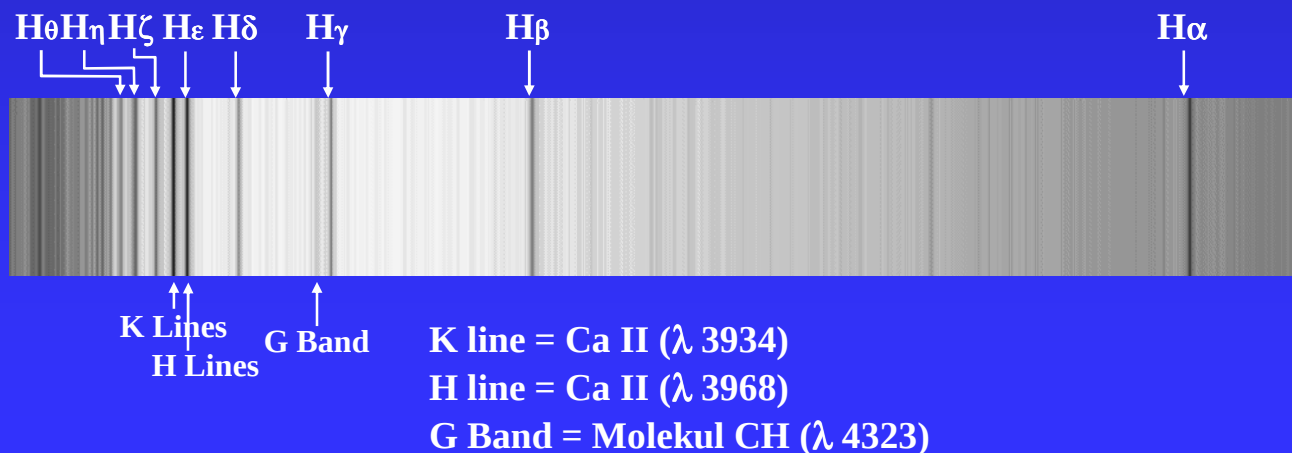
Kls. Spek. : F

Warna : Biru keputih-putihan

Temperatur : 6 000 - 11 000 °K

Ciri Utama : Garis hidrogen tampak sangat lebih lemah dari kelas A tapi masih jelas. Garis-garis calsium, besi dan chromium terionisasi satu kali dan juga garis besi dan chromium netral terlihat. Juga garis logam netral lainnya terlihat.

Contoh : Bintang Canopus dan Procyon

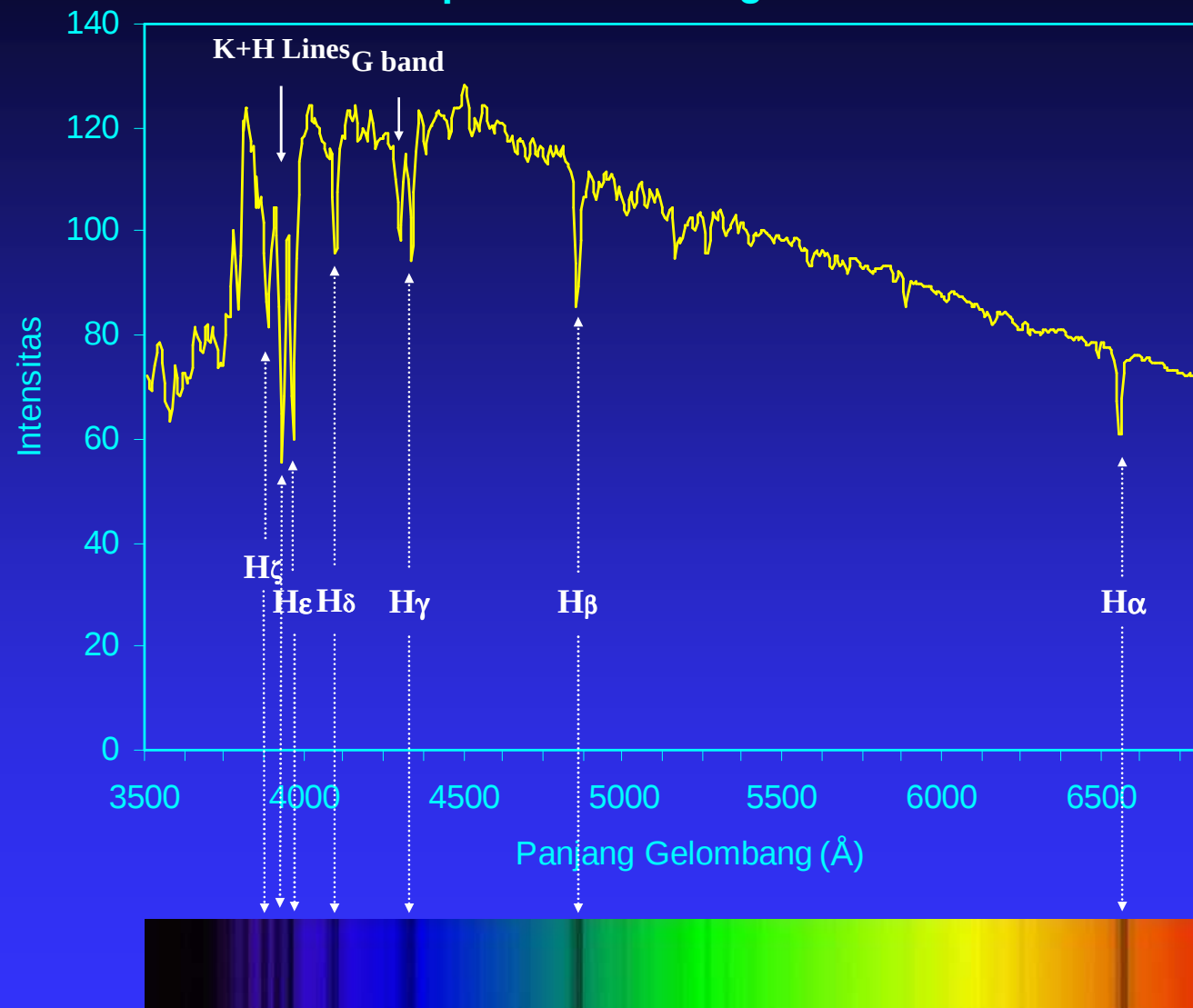


F

-

1

Spektrum Bintang Kelas F





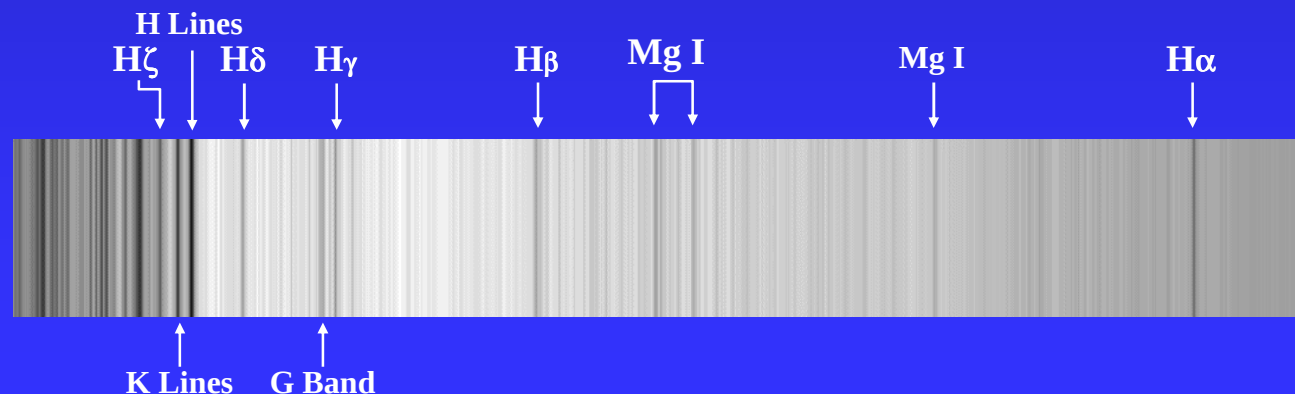
Kls. Spek. : G

Warna : Putih kekuning-kuningan

Temperatur : 5000 - 6 000 °K

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

Contoh : Matahari dan Bintang Capella

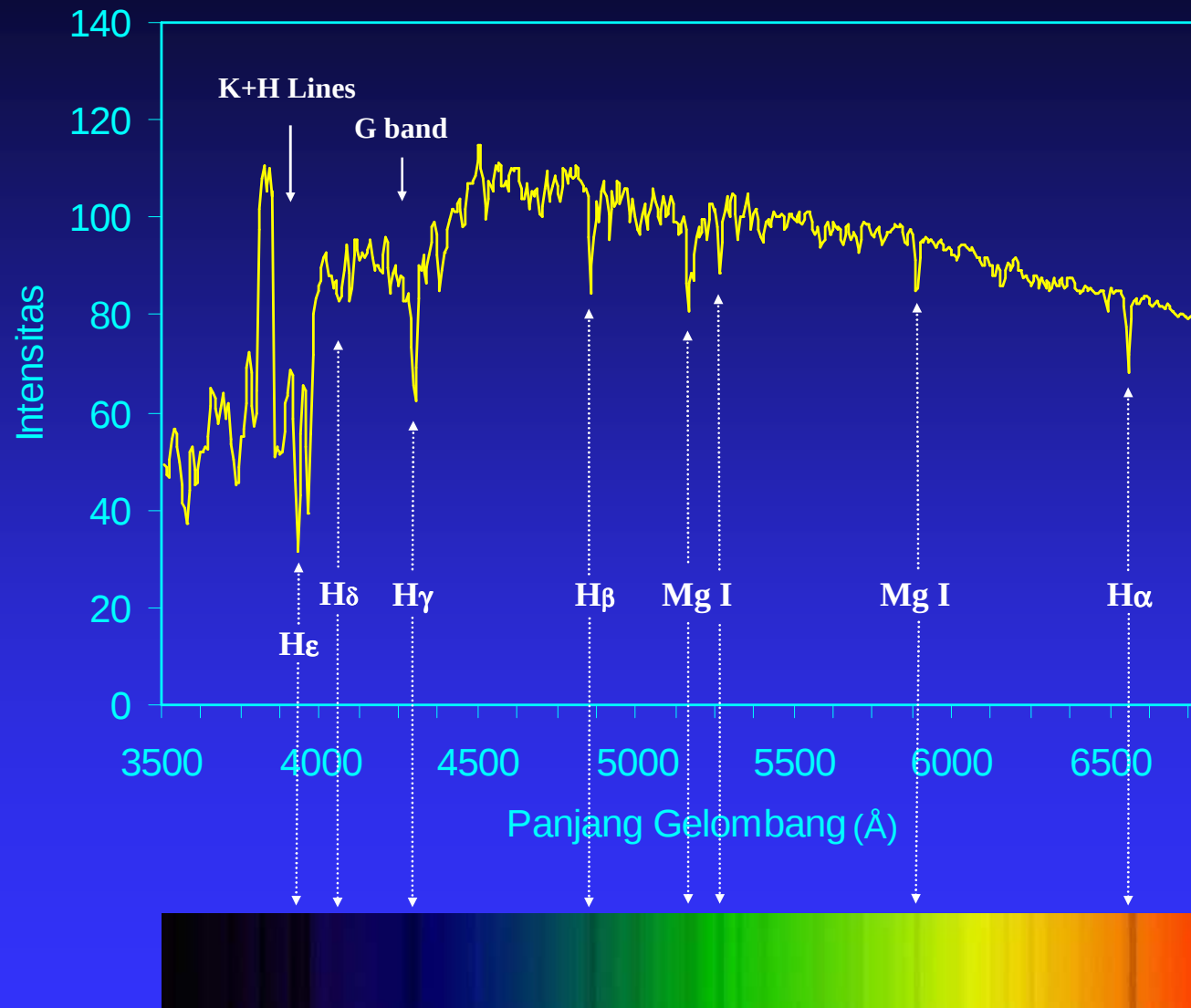


G

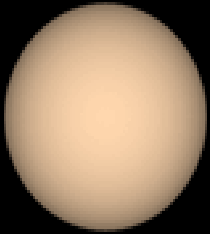
-

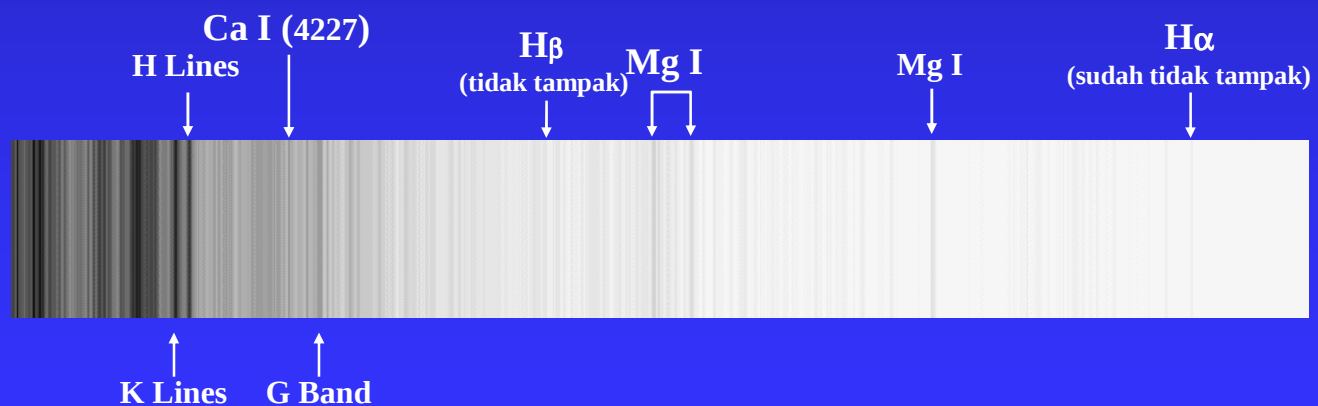
1

Spektrum Bintang Kelas G



K

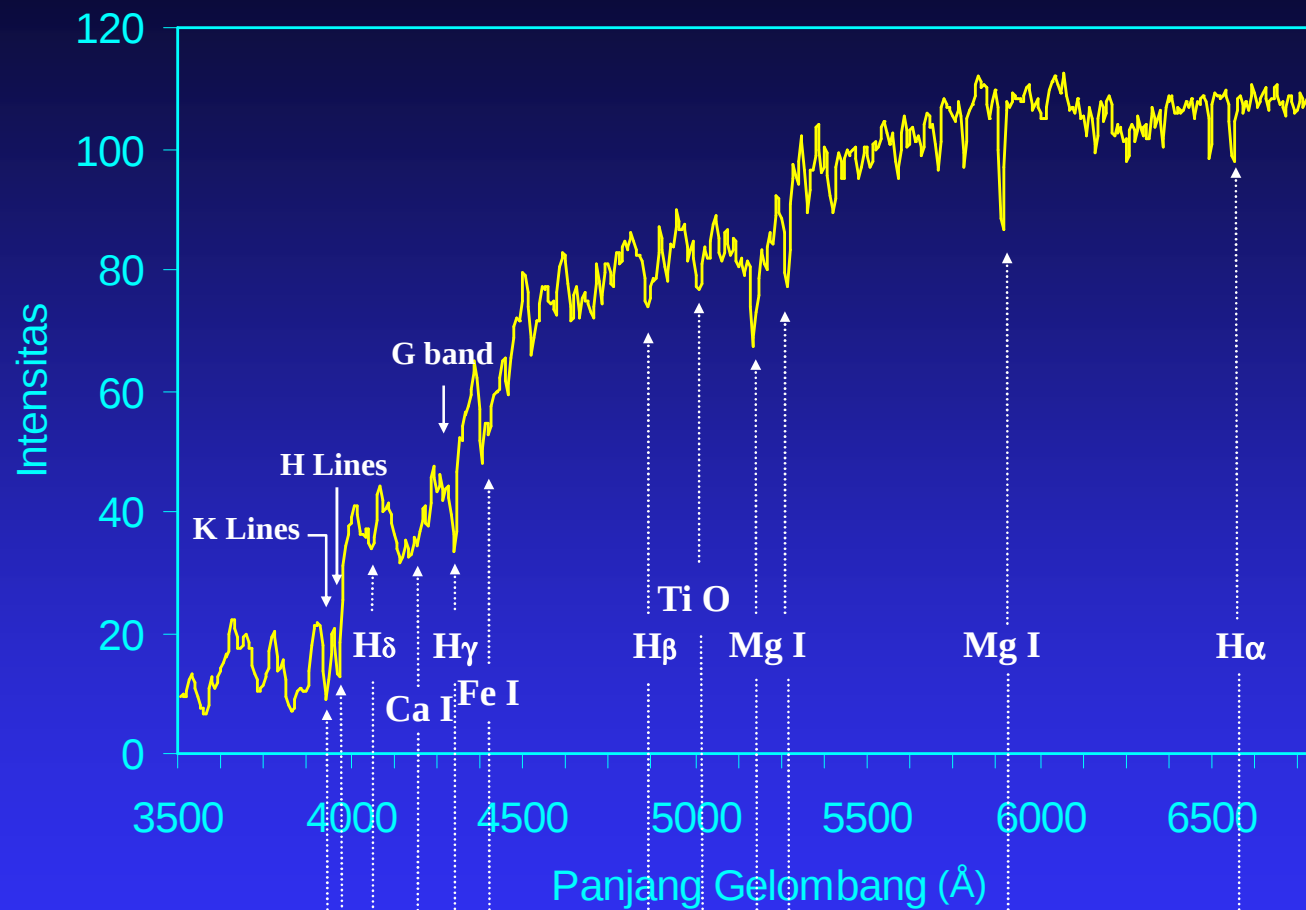
	Kls. Spek. : K
	Warna : Jingga kemerah-merahan
	Temperatur : 3500 – 5 000 °K
Ciri Utama : Garis logam netral tampak mendominasi. Garis hidrogen lemah sekali. Pita molekul Tio mulai tampak	
Contoh : Bintang Arcturus dan Aldebaran	

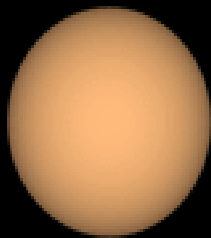


K

-
1

Spektrum Bintang Kelas K





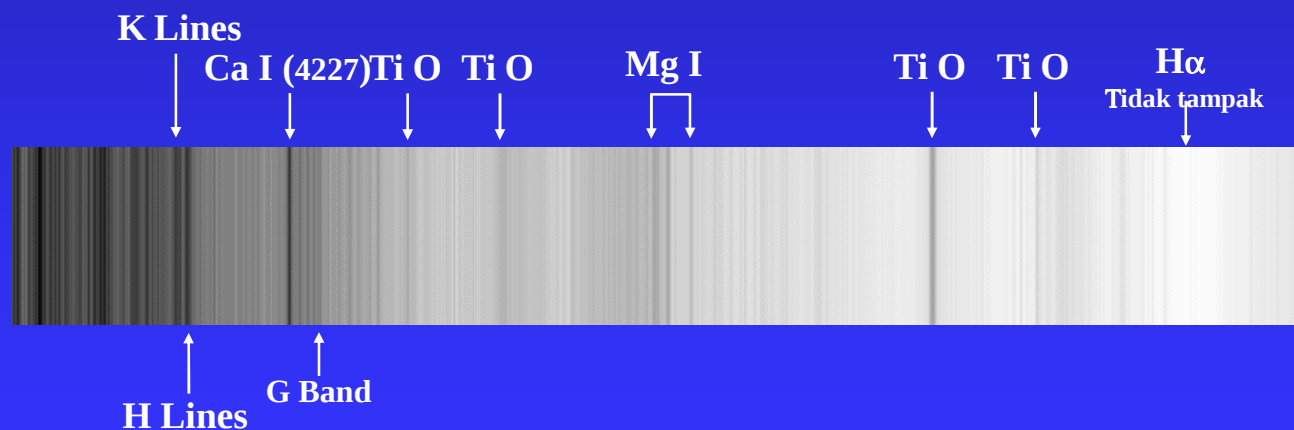
Kls. Spek. : M

Warna : Merah

Temperatur : 2500 – 3 500 °K

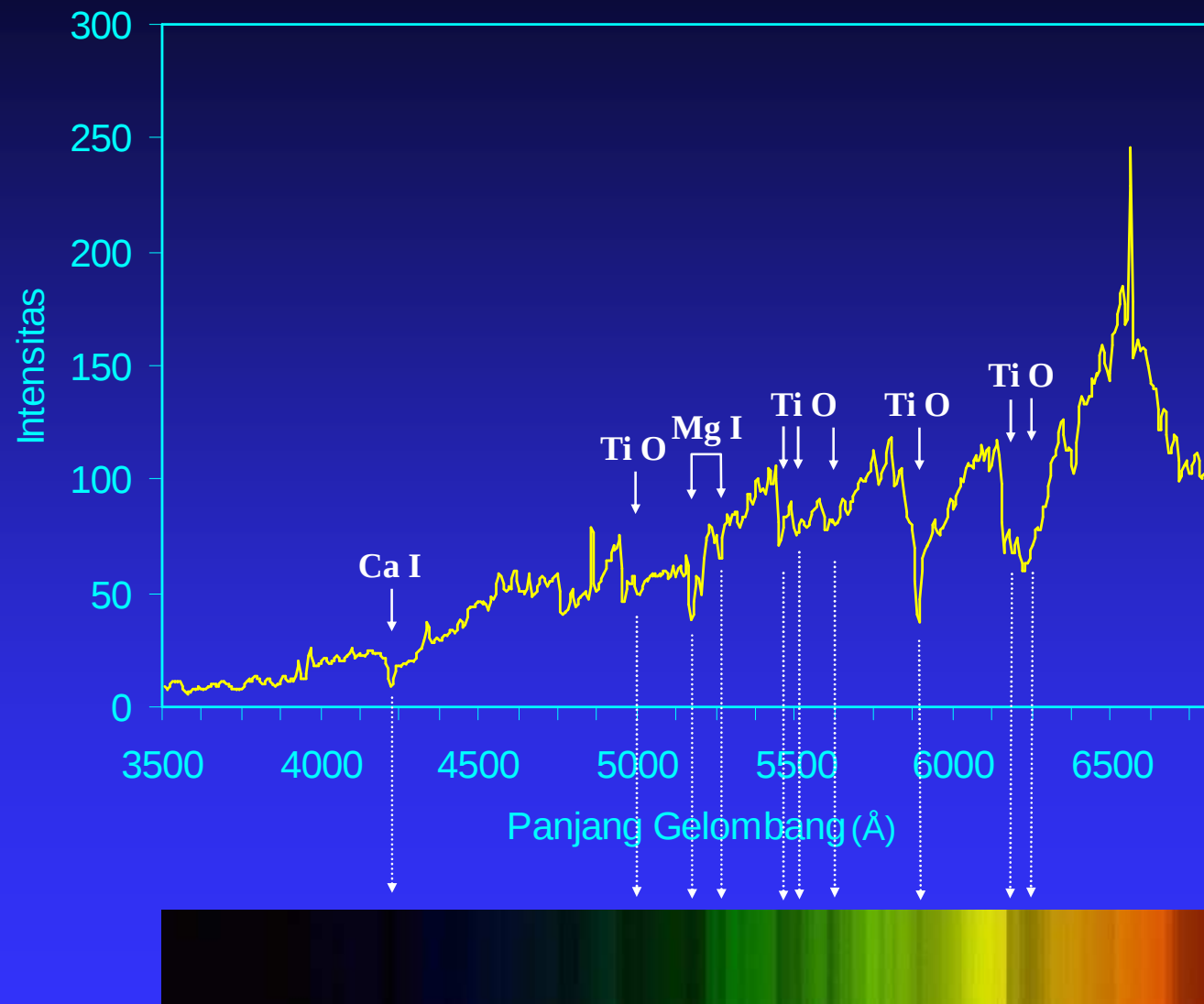
Ciri Utama : Pita molekul TiO (titanium oksida) terlihat sangat mendominasi, garis logam netral juga tampak dengan jelas

Contoh : Bintang Betelgeus dan Antares

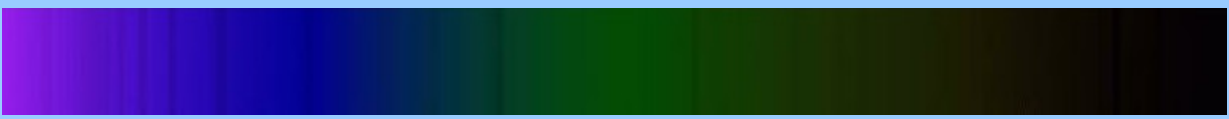
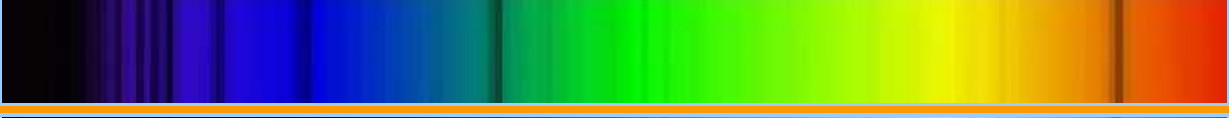


M-1

Spektrum Bintang Kelas M



Urutan Kelas Spektrum Bintang

O		50 000 °K
B		20 000 °K
A		10 000 °K
F		7 500 °K
G		6 000 °K
K		4 000 °K
M		3 500 °K

Subkelas

**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

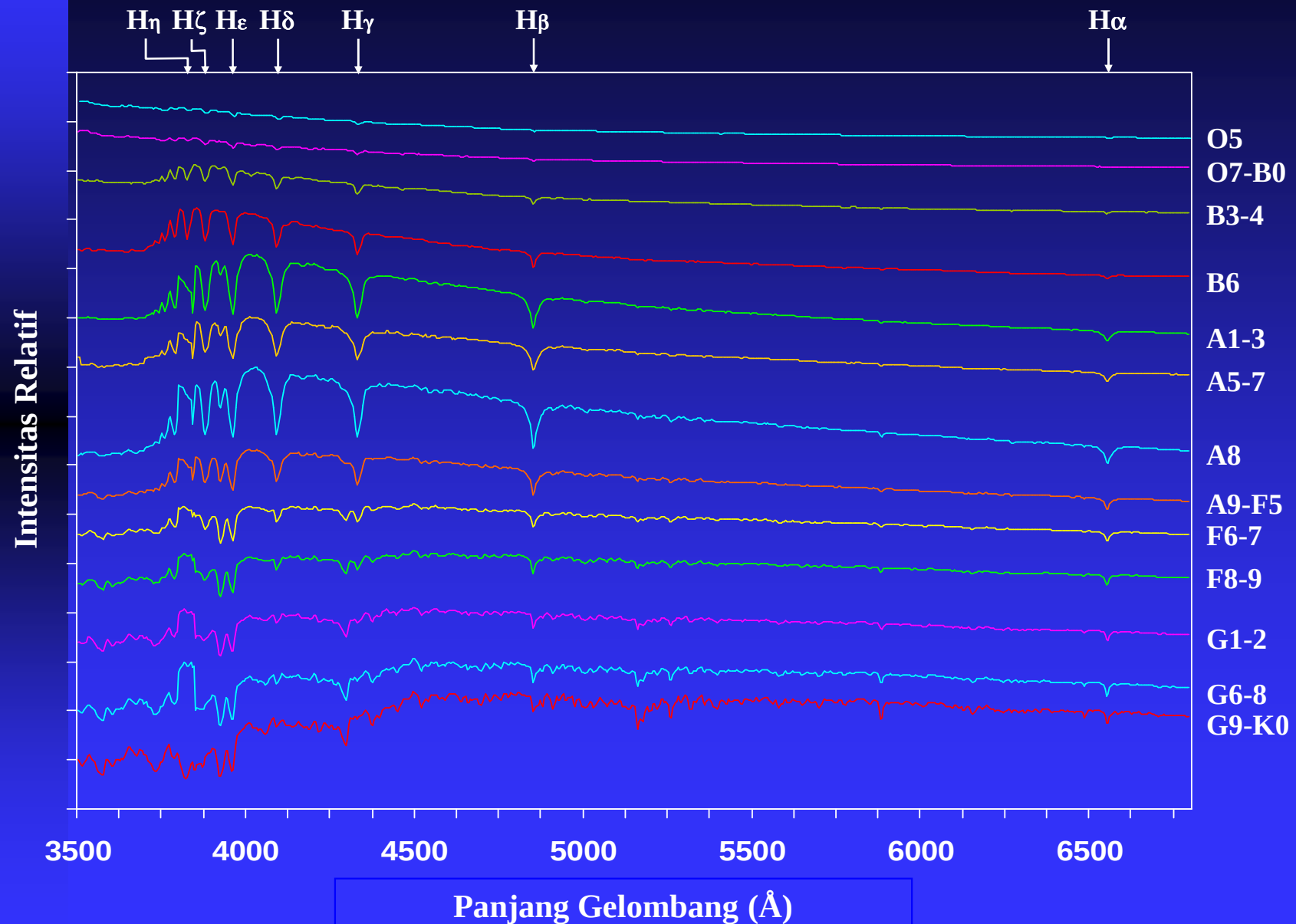
⋮

dst

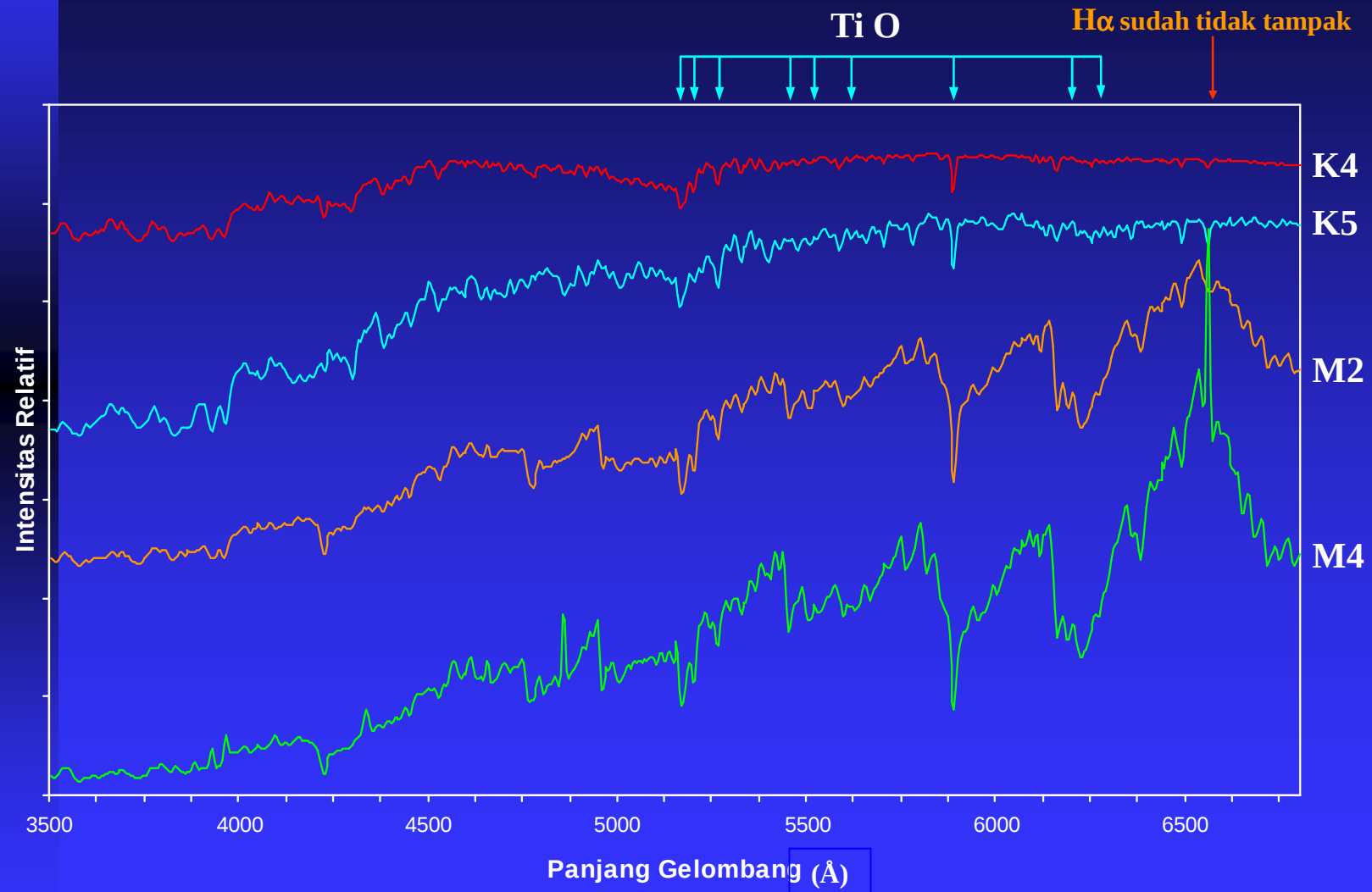
Spektrum Bintang Subkelas V

	H_{ζ} H_{ϵ} H_{δ} H_{γ} H_{β} H_{α}
O5 V	
B0 V	
B5 V	
A1 V	
A5 V	
F0 V	
F5 V	
G0 V	
G4 V	
K0 V	
K5 V	
M0 V	
M5 V	

Spektrum Bintang Deret Utama Kelas O-K



Spektrum Bintang Deret Utama Kelas K-M



M-K Kelas

- Bintang dalam kelas spektrum tertentu ternyata dapat mempunyai luminositas yang berbeda. Pada tahun 1913 Adam dan Kohlscutter 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 Luminositas Bintang (Kelas MK)

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	Deret utama

**Kelas Luminositas Bintang dari Morgan-Keenan (MK)
digambarkan dalam diagram Hertzsprung-Russell
(diagram H-R)**

Kelas Luminositas Dalam Diagram HR

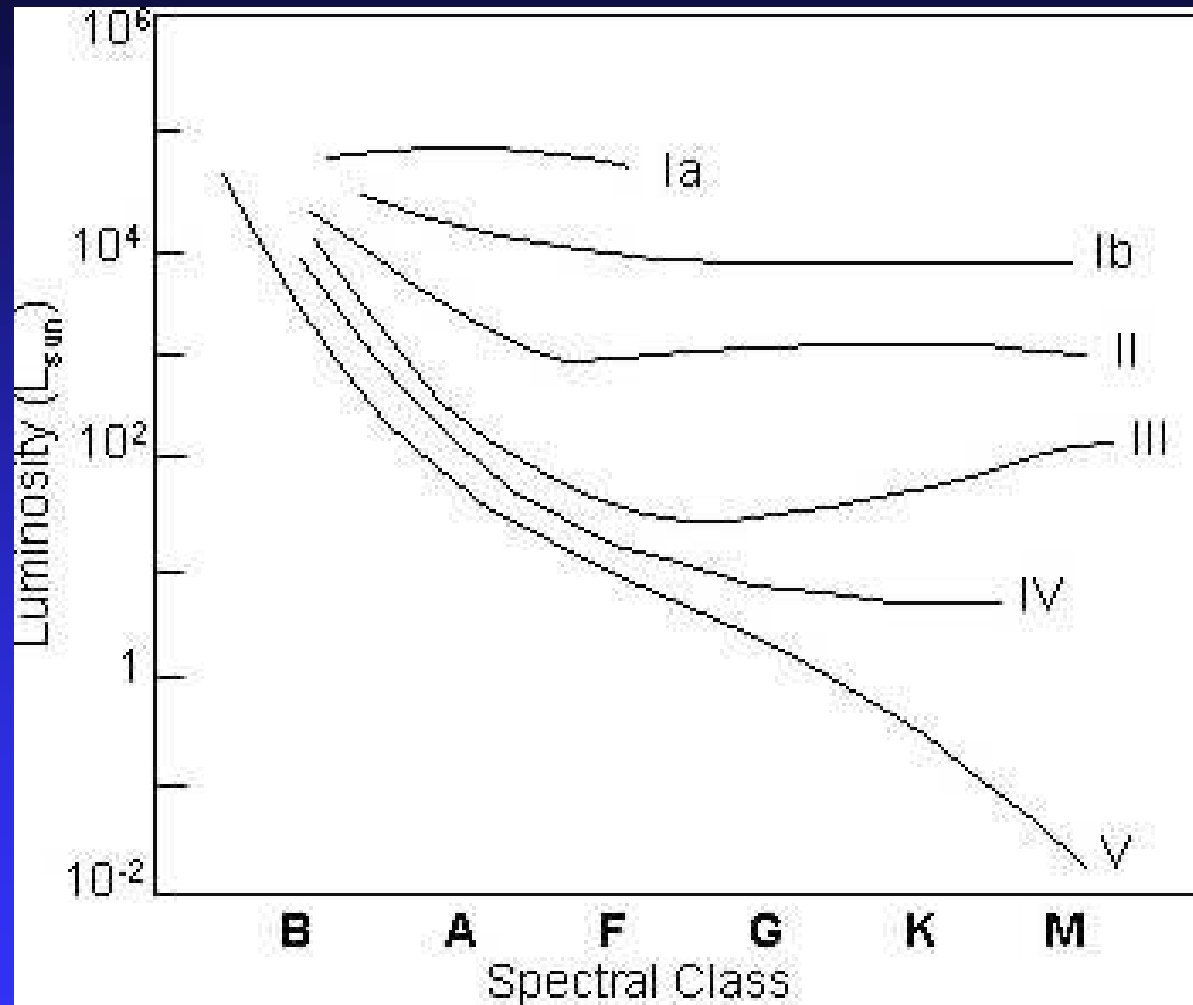


Diagram HR

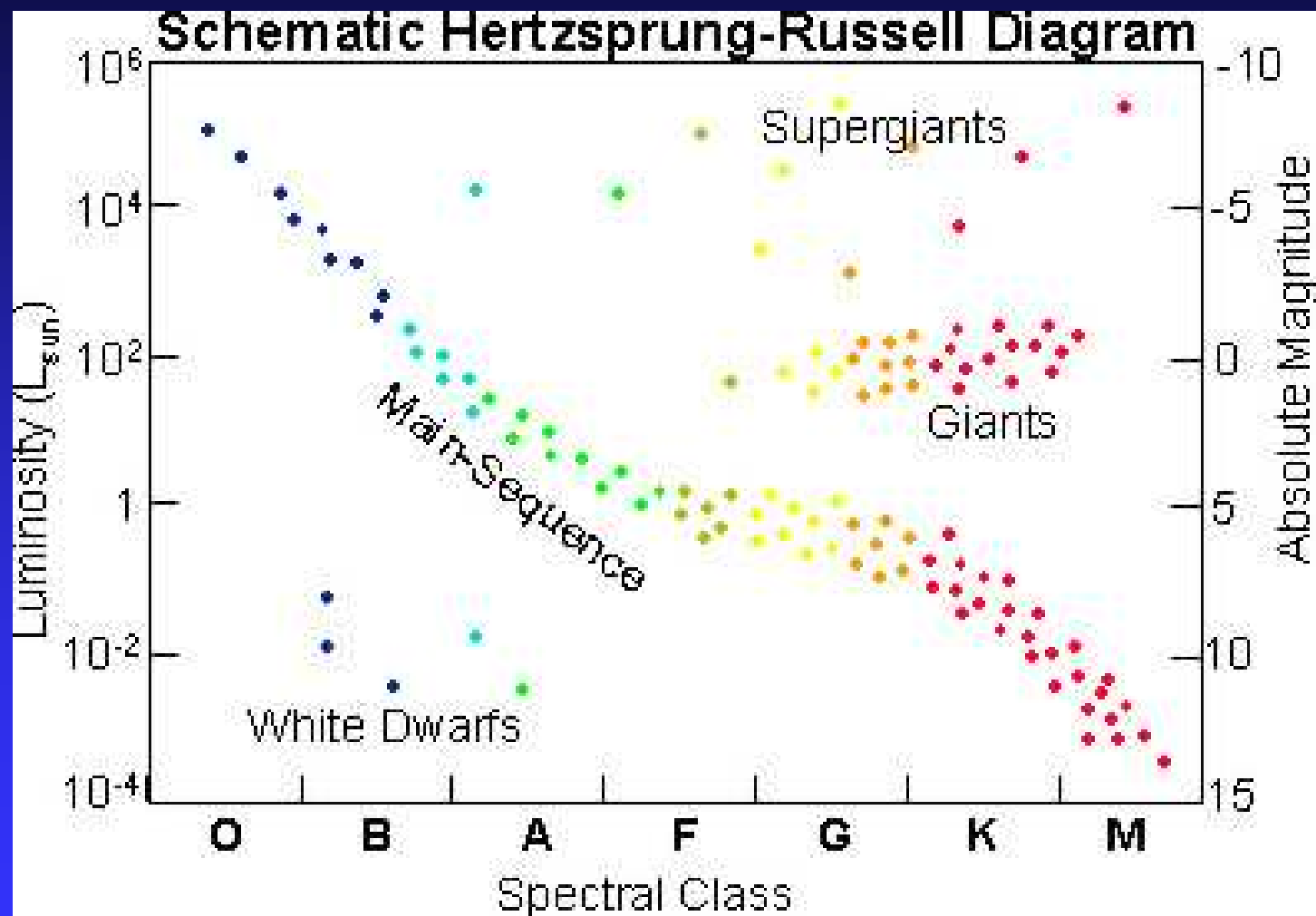
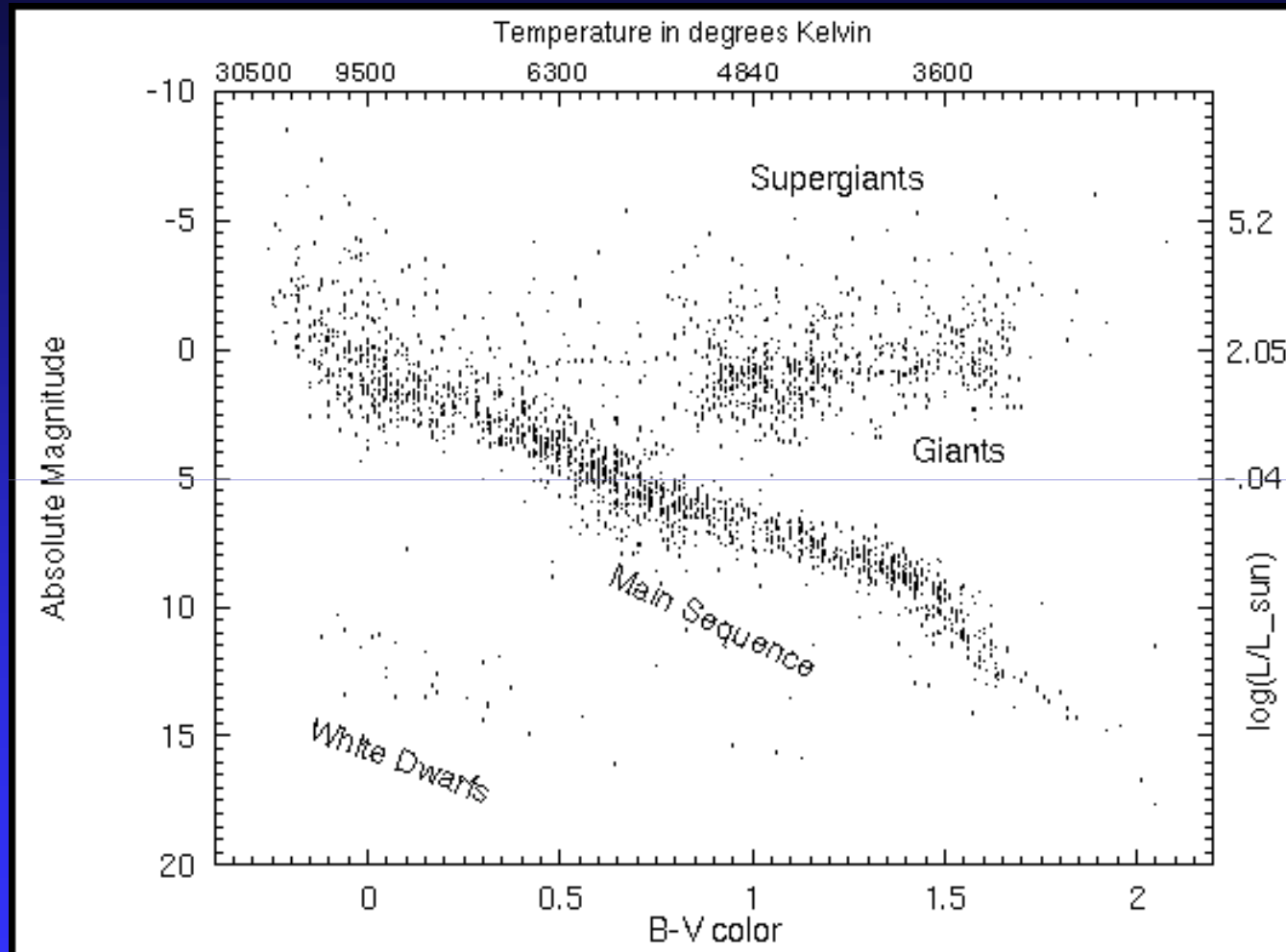


Diagram H-R



Kelas Spektrum/Temperatur

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