სამყაროს ევოლუცია

ლექცია **5**

ვარსკვლავები,
სითბური გამოსხივების სპექტრი,
სპექტრული კლასიფიკაცია,
ჰერცშპრუნგ-რასელის დიაგრამა

წინა ლექციაში

– მზე
– მზის შინაგანი სტრუქტურა
– მზის მაგნიტური ველი
– მზის ქარი
– მზის ევოლუცია

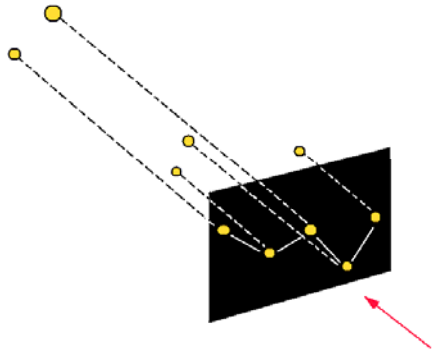
ვარსკვლავები

სხვადასხვა სიკაშკაშის და ფერის ობიექტები

ვარსკვლავები

ვარსკვლავის **ხილული ნათობა** დამოკიდებულია მის **აბსოლუტურ ნათობასა** და **მანძილზე**, რომლითაც იგი ჩვენგან არის დაშორებული

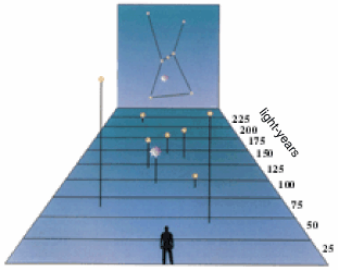
დედამიწიდან
ვაკვირდებით
ვარსკვლავების
გამოსახულებას
(პროექციას)
ცის თაღზე



ორიონის თანავარსკვლავედი

თანავარსკვლავედი: ერთმანეთს დაშორებული ვარსკვლავები, რომელებიც ახლოს არიან მხოლოდ ცის თაღზე ვიზუალურად.

ორიონის თანავარსკვლავედი



ვარსკვლავების დაკვირვებადი თვისებები

სიკაშკაშე
(აბსოლუტური ნათობა, მასა, რადიუსი)

ფერი
(ზედაპირული ტემპერატურა, სპექტრი, ქიმიური შემადგენლობა, ...)

მანძილი დედამიწამდე
(მდებარეობა, ხილული ნათობა)

ოპტიკური სისტემატიზაცია

აბსოლუტური ნათობა:
ვარსკვლავის ოპტიკური გამოსხივება;

ხილული ნათობა:
დედამიწამდე მოსული სინათლე;

დედამიწიდან დაკვირვებები:
მანძილი დედამიწამდე + ატმოსფერული შთანთქმა

ჰიპარქოს სისტემა: 6 სიდიდის ვარსკვლავები;

თანამედროვე სისტემა: ვარსკვლავიერი სიდიდე

ვარსკვლავიერი სიდიდე

$$m = -2.5 \log (F/F_0)$$

m - ვარსკვლავიერი სიდიდე
F – ოპტიკური ნაკადი
$\mathbf{F_0}$ – ნორმირება საყრდენ ვარსკვლავზე

საყრდენი ვარსკვლავი: **ვეგა**

ლოგარითმული სკალა
$m_1 - m_2 = -5$, $F_1 / F_2 = 100$
$m_1 - m_2 = -10$, $F_1 / F_2 = 10000$

ზოგიერთი ვარსკვლავიერი სიდიდე

–26.73	მზე
–12.774	სავსე მთვარე ($L_{მზე}$ / 450 000)
–4.67	ვენერა (მაქს. ხილული სიდიდე)
–4	დღის განმავლობაში დანახვადი სიდიდე: დღის ცის (ცისფერი) ნათება
–2.94	იუპიტერი
–2.91	მარსი

ზოგიერთი ვარსკვლავიერი სიდიდე

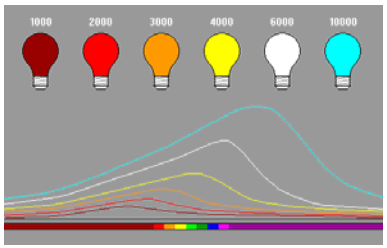
–1.47	**სირიუსი** (მზის შემდეგ ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი)
0	**ვეგა** (საყრდენი ხილული სიდიდე)
3...4	ქალაქიდან შეუიარაღებული თვალით ხილვის ზღვარი
5.42	**ურანი** (პლანეტა, მაქს. ნათება)
6.5	ღამის ცაზე თვალით ხილვის ზღვარი

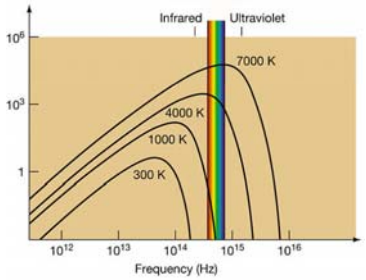
ზოგიერთი ვარსკვლავიერი სიდიდე

7.78	**ნეპტუნი** (პლანეტა, მაქს. ნათება)
13.67	**პლუტონი** (ჯუჯა პლანეტა, მაქს. ნათება)
27	8 მეტრიანი ოპტიკური ტელესკოპით დედამიწის ზედაპირიდან შეღწევადობის ზღვარი
31.5	ჰაბლის კოსმოსური ტელესკოპის შეღწევადობის ზღვარი

ვარსკვლავთა სითბური გამოსხივება

ვარსკვლავის ფერი:
ეფექტური ტემპერატურა ვარსკვლავის ზედაპირზე

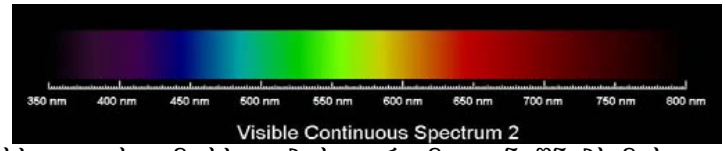




გამოსხივების სპექტრი:
გამოსხივების ინტენსივობა სხვადასხვა ტალღის სიგრძეზე (სიხშირეზე)

სითბური გამოსხივების სპექტრი

უწყვეტი სპექტრი (სითბური გამოსხივება)

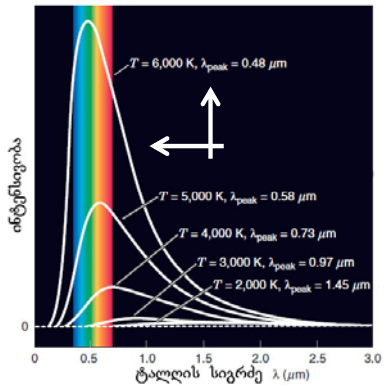


სხეულის გამოსხივების ფერი მიგვანიშნებს მის ტემპერატურაზე

სითბური გამოსხივების თვისებები

სხეულის გაცხელება იწვევს მისი სითბური გამოსხივების სპექტრის:

1. ინტენსივობის ზრდას;
2. ინტენსივობის პიკის წანაცვლებას მოკლე ტალღის სიგრძეებისაკენ (სპექტრის იისფერი კიდე) *„სპექტრის გალურჯება“*



სითბური გამოსხივების თვისებები

სტეფან-ბოლცმანის (Stefan-Boltzmann) კანონი:

$$F \sim T^4$$

ვინის (Wien) კანონი:

$$\lambda_{\text{პიკი}} \sim 1/T$$

F - გამოსხივების ინტენსივობა;

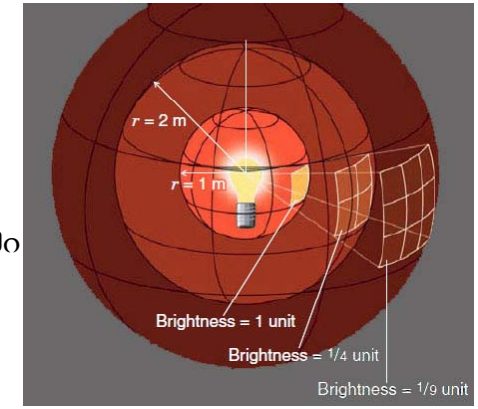
T - სხეულის ტემპერატურა;

$\lambda_{\text{პიკი}}$ - გამოსხივების პიკის ტალღის სიგრძე;

ვარსკვლავის ტემპერატურის 2-ჯერ მატება იწვევს გამოსხივების ინტენსივობის მატებას 16-ჯერ

ვარსკვლავის ფერის ფორმირება

ვარსკვლავის ფერი განისაზღვრება მისი ზედაპირის ტემპერატურით.

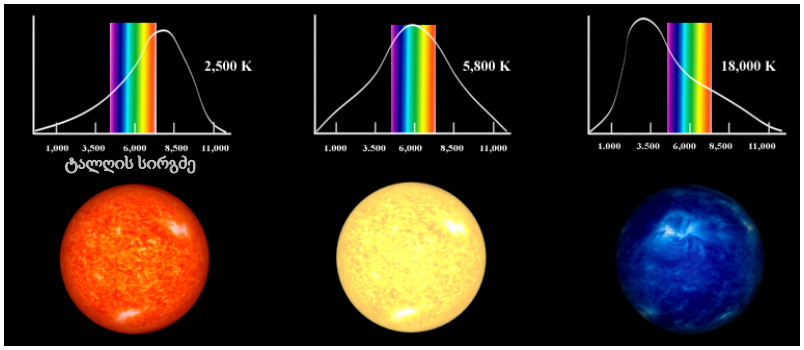


ვარსკვლავის ცენტრში ფიქსირებული ტემპერატურის პირობებში ზედაპირის ტემპერატურა კლებულობს ვარსკვლავის რადიუსის ზრდასთან ერთად *(მაგ. წითელი გიგანტები)*

ვარსკვლავის ფერის ფორმირება

ვარსკვლავის ფერს განსაზღვრავს თუკი მისი გამოსხივების რა ნაწილი თავსდება სპექტრის ოპტიკურ (ხილულ) უბანში.

ფერები გაზვიადებულია

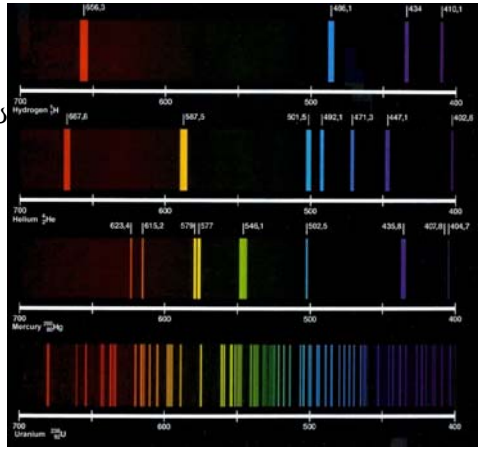


გამოსხივების სპექტრი

სპექტრული ხაზები (ქიმიური შემადგენლობა)

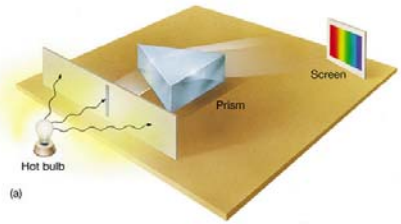
ყოველ ქიმიურ ელემენტს ახასიათებს ხაზების უნიკალური თანმიმდევრობა

სპექტრული ხაზები სხვადასხვა სიხშირეებზე

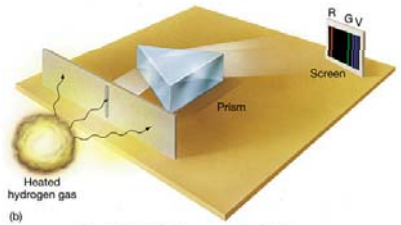


სპექტრული ანალიზი

გავარვარებული ნათურის გამოსხივება: უწყვეტი სპექტრი



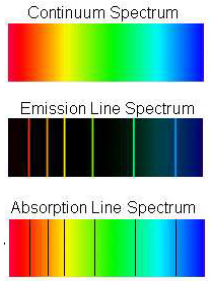
ცხელი წყალბადის აირის გამოსხივება: სპექტრული ხაზები

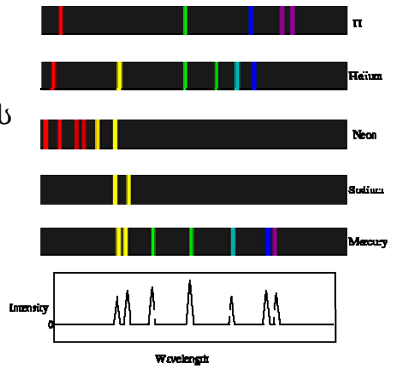


Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

სპექტრული ანალიზი

სპექტრული ხაზები: გამომსხივებელი გარემოს ქიმიური შემადგენლობა

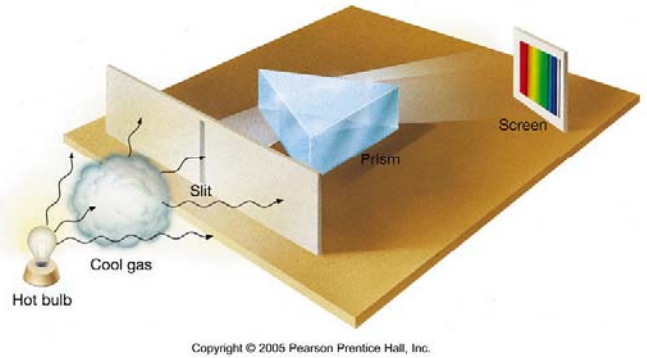




გამოსხივების და შთანთქმის ხაზები

გამოსხივების და შთანთქმის ხაზები

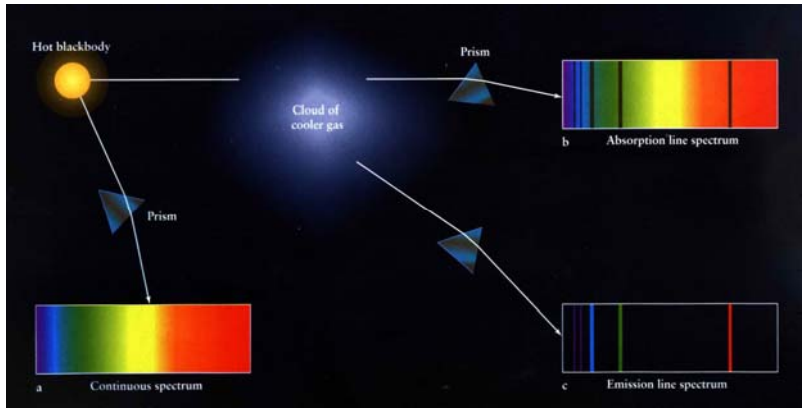
უწყვეტი სპექტრის სინათლის გავლა ცივი წყალბადის აირში: უწყვეტი სპექტრი და წყალბადის შთანთქმის ხაზები



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

ციური სხეულების სპექტრი

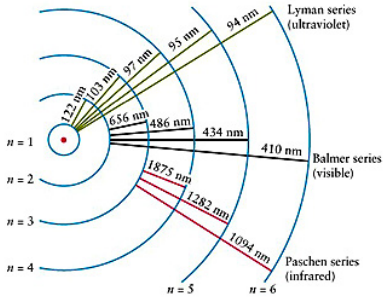
სპექტრი იძლევა ინფორმაციას როგორც ცხელი, ასევე ცივი გარემოს შესახებ

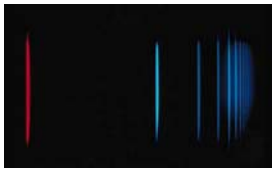


სპექტრული ხაზების სერიები

სპექტრული ხაზი: ელექტრონის ერთი ორბიტიდან მეორეზე გადასვლა

ორბიტები და ხაზები: დისკრეტული სერიები: ლაიმანის, ბალმერის, პაშენის.





წყალბადის ატომის ბალმერის სერია

დოპლერის ეფექტი

ტალღის სიგრძის (სიხშირის) ცვლილება წყაროს და დამკვირვებლის ერთმანეთის მიმართ მოძრაობის დროს

ტალღის სიგრძე მცირდება თუ დამკვირვებელი და წყარო ერთმანეთს უახლოვდებიან და იზრდება თუ შორდებიან

დოპლერის ეფექტი

ტალღის სიგრძის ცვლილება დამოკიდებულია ტალღის სიჩქარესა და წყარო-დამკვირვებლის ერთმანეთის მიმართ მოძრაობის სიჩქარეზე

რაც მეტია მოძრაობის სიჩქარე, მით მეტია

დოპლერის წანაცვლება

ბგერითი ტალღა: სიხშირის ცვლილება:
ბგერის ტონის მომატება ან დაკლება

ელექტრომანგნიტური ტალღა: სიხშირის ცვლილება
სინათლის "ფერის" ცვლილება

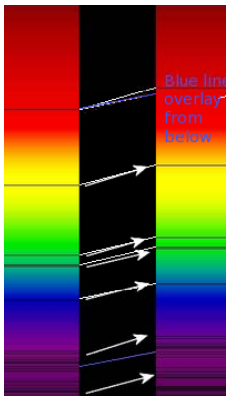
წითელი და ლურჯი წანაცვლება

სპექტრული ხაზები

წანაცვლება: (დოპლერის ეფექტი)
ლურჯი წანაცვლება: *დაახლოება*
წითელი წანაცვლება: *დაშორება*

ხაზის გაფართოება:
ატომების ქაოსური მოძრაობები
სითბური; ტურბულენტური

ხაზის გახლეჩვა:
(ელექტრომაგნიტური ველი)

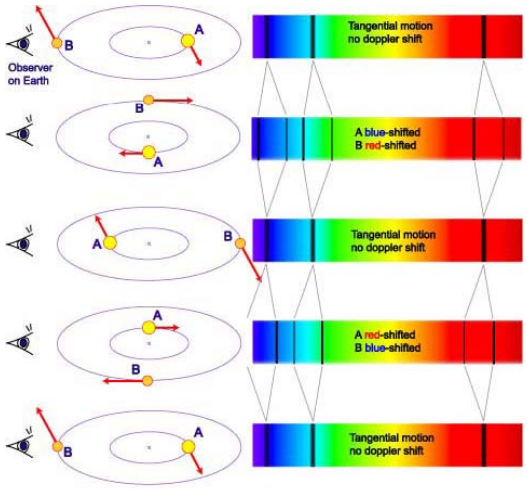


წითელი წანაცვლების მაგალითი

ორმაგი სისტემის სპექტრი

ორი ვარსკვლავის ბრუნვა ერთმანეთის გარშემო

სპექტრული ხაზების მკაცრად პერიოდული გახლეჩვა

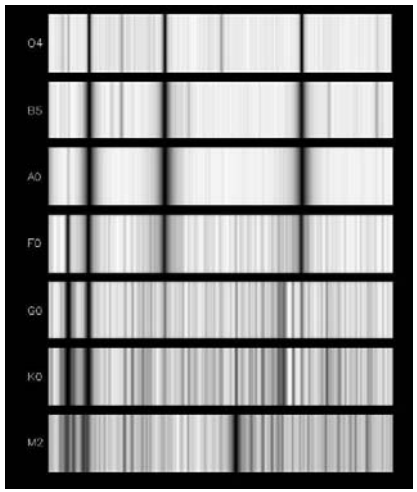


იზოლირებული ვარსკვლავის სპექტრები

ფერი:
ვარსკვლავის ეფექტური ტემპერატურა

სპექტრი:
ქიმიური შემადგენლობა

წყალბადი;
მძიმე ელემენტები;
"მეტალურობა"



სპექტრული კლასიფიკაცია

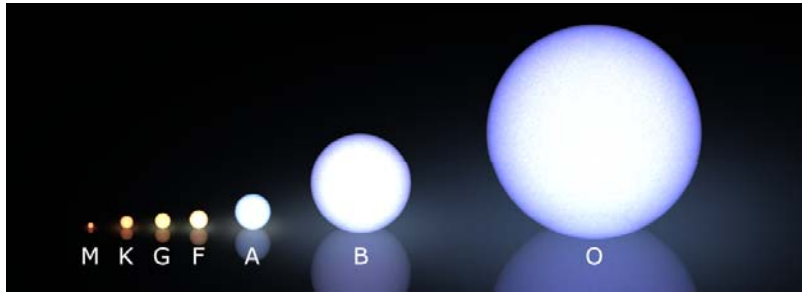
კლასი ტემპერატ. ფერი მასა რად.

Spectral Class	Effective Temperature (K)	Colour	H Balmer Features	Other Features	M/M_{sun}	R/R_{sun}	L/L_{sun}	Main Sequence Lifespan
O	28,000 - 50,000	Blue	weak	ionised He^+ lines, strong UV continuum	20 - 60	9 - 15	90,000 - 800,000	1 - 10 Myr
B	10,000 - 28,000	Blue-white	medium	neutral He lines	3 - 18	3.0 - 8.4	95 - 52,000	11 - 400 Myr
A	7,500 - 10,000	White	strong	strong H lines, ionised metal lines	2.0 - 3.0	1.7 - 2.7	8 -55	400 Myr - 3 Gyr
F	6,000 - 7,500	White-yellow	medium	weak ionised Ca^+	1.1 - 1.6	1.2 - 1.6	2.0 - 6.5	3 - 7 Gyr
G	4,900 - 6,000	Yellow	weak	ionised Ca^+, metal lines	0.85 - 1.1	0.85 - 1.1	0.66 - 1.5	7 - 15 Gyr
K	3,500 - 4,900	Orange	very weak	Ca^+, Fe, strong molecules, CH, CN	0.65 - 0.85	0.65 - 0.85	0.10 - 0.42	17 Gyr
M	2,000 - 3,500	Red	very weak	molecular lines, eg TiO, neutral metals	0.08 - 0.05	0.17 - 0.63	0.001 - 0.08	56 Gyr

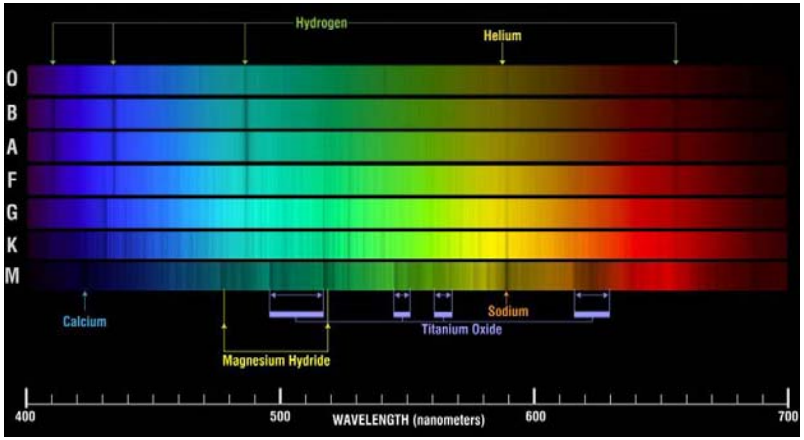
O
B
A
F
G
K
M

სპექტრული კლასები

სხვადასხვა სპექტრული კლასის ვარსკვლავების მასის, ფერის და ზომის პირობითი ვიზუალიზაცია



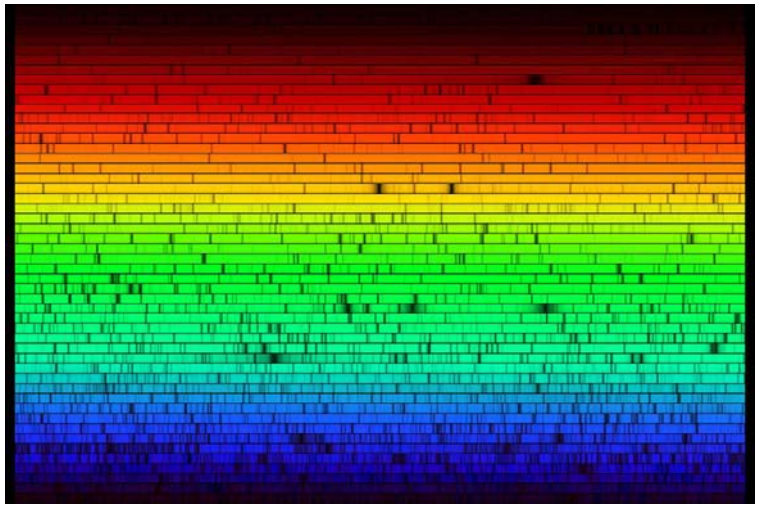
ტიპიური სპექტრები



ვარსკვლავების ნათობის კლასები

0	ექსტრემალური გიგანტები
Ia	კაშკაშა სუპერგიგანტები
Ib	სუპერგიგანტები
II	კაშკაშა გიგანტები
III	გიგანტები
IV	სუბ–გიგანტები (ქვეგიგანტები)
V	ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავი
SD	სუპერ ჯუჯა
D	ჯუჯა

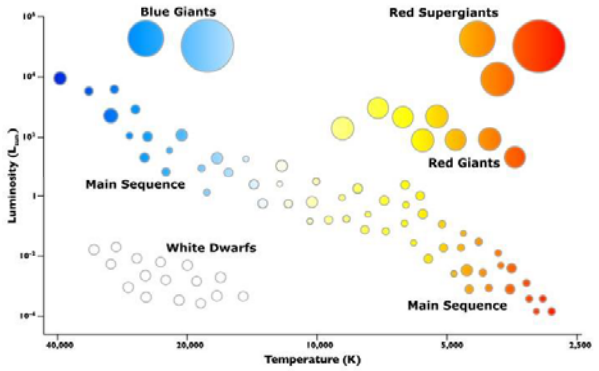
მზის გამოსხივების სპექტრი (G2V)



ვარსკვლავების სპექტრები

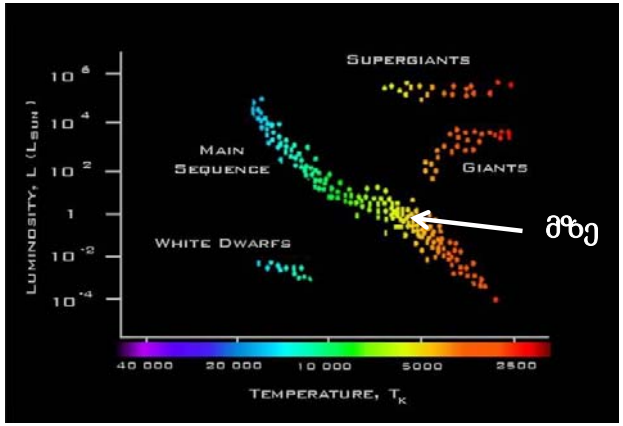
ჰერცშპრუნგ–რასელის (HR) დიაგრამა

აბსოლუტური ნათობისა და სპექტრული კლასის (ტემპერატურის) დამოკიდებულება

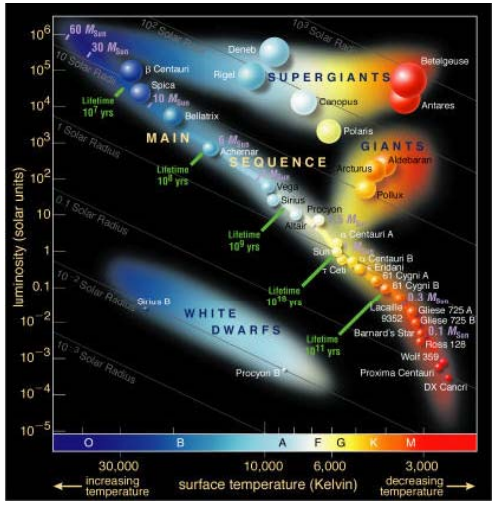


HR დიაგრამა

ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავები, ჯუჯები და გიგანტები



HR ფიზიკური ვიზუალიზაცია

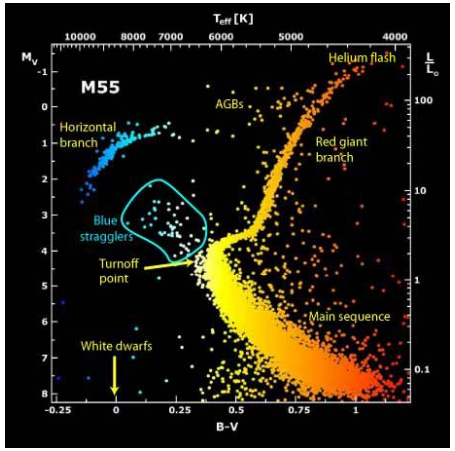


ვარსკვლავების გროვების დიაგრამები

წარმოშობის ისტორია და ფიზიკა

გალაქტიკა M55

მცირე ქვეკლასები



ვარსკვლავების ენერგიის წყაროები

უძრაობის ენერგია: $E_m = m C^2$

ბირთვული დაშლა (ურანი) **~0.1% E_m**
თერმობირთვული სინთეზი (წყალბადი) **~0.5% E_m**

მსუბუქი ელემენტების ბირთვული შერწყმა და მძიმე ქიმიური ელემენტების სინთეზი ენერგიის გამოყოფით
(ანალოგი: წყალბადის თერმობირთვული ბომბი)

ვარსკვლავური ნუკლეოსინთეზი

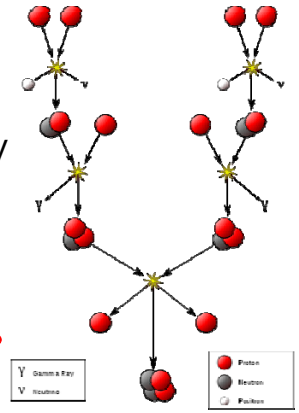
P-P ჯაჭვი ($M_{\odot}$)

ტემპერატურა ვარსკვლავის ცენტრში: 5 – 15 x 10^6 K

პროტონ–პროტონული ჯაჭვი

$H^1 + H^1 \rightarrow D^2 + e^+ + \nu_e + 0.42$ MeV
$e^+ + e^- \rightarrow 2\,\gamma + 1.02$ MeV
$D^2 + H^1 \rightarrow He^3 + \gamma + 5.49$ MeV

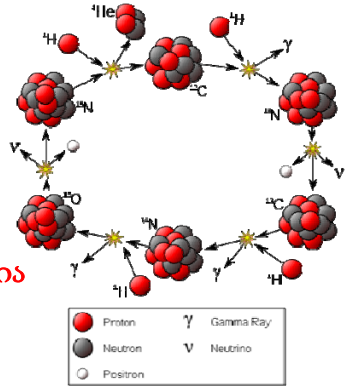
წყალბადი → ჰელიუმი + ენერგია



CNO ჯაჭვი ($M>1.5\ M_{\odot}$)

ტემპერატურა ვარსკვლავის ცენტრში: > 20 x 10^6 K

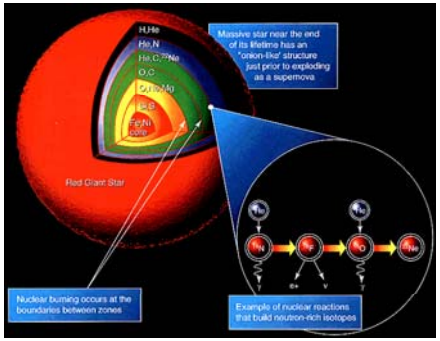
C - ნახშირბადი
N – აზოტი
O - ჟანგბადი



C + N + O → F + He + ენერგია

სტრუქტურა

ვარსკვლავის ქიმიური შემადგენლობა თერმობირთვული საწვავის გამოლევისას



ბირთვიდან გარე ფენებისაკენ:

Fe → (Si, S) → (O, Mg, Ne) →
→ (O, C) → (Ne, He) → (He, H)

www.tevza.org/home/course/universe2014

J. Hester, B. Smith, G. Blumenthal, L. Kay, H. Voss, *"21st Century Astronomy"* (2010)
ქვეთავები 4.2 – 4.6, 13.3, 13.4, 13.5

B. W. Carroll and D. A. Ostlie, *"An introduction to modern astrophysics"* (2007)
ქვეთავები 8.1, გვ.202–205
8.2 გვ.219–224