

სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 5

ვარსკვლავები, გამოსხივების სპექტრი  
სპექტრული კლასიფიკაცია,  
HR დიაგრამა, ნუკლეოსინთეზი

სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2011

ლექცია/გვერდი: 5/1


წინა ლექციაში

- მზე
- მზის ბირთვი და ატმოსფერო
- მზის მაგნიტური ველი
- მზის ქარი
- მზის ევოლუცია

სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2011

ლექცია/გვერდი: 5/2

ვარსკვლავები



სხვადასხვა სიკაშკაშის და ფერის ობიექტები

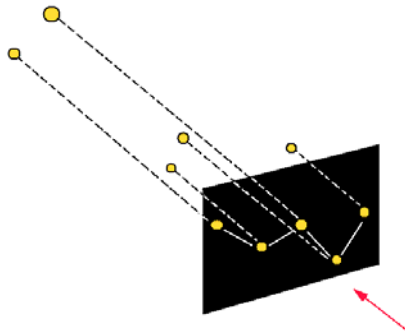
სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2011

ლექცია/გვერდი: 5/3

ვარსკვლავები

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

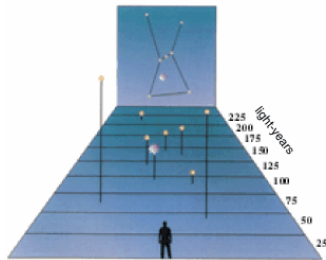
დედამიწიდან ვაკვირდებით ვარსკვლავების გამოსახულებას (პროექციას) ცის თაღზე



### ორიონის თანავარსკვლავედი

თანავარსკვლავედი: ერთმანეთს დაშორებული ვარსკვლავები, რომელებიც ახლოს არიან შესახედავად

ორიონის თანავარსკვლავედი



### ვარსკვლავები

#### სიკაშკაშე

(აბსოლუტური ნათობა, მასა, რადიუსი)

#### მანძილი დედამიწამდე

(მდებარეობა, ხილული ნათობა)

#### ფერი

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

### 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

**F<sub>0</sub>** - ნორმირება საყრდენ ვარსკვლავზე

საყრდენი ვარსკვლავი: ვეგა

ლოგარითმული სკალა

$$m_2 - m_1 = 5, \quad F_1 / F_2 = 100$$

$$m_2 - m_1 = 10, \quad F_1 / F_2 = 10000$$



### ზოგიერთი ვარსკვლავიერი სიდიდე

- 26.73 მზე
- 12.774 სავსე მთვარე (მზე / 449 000)
- 4.67 ვენერა (მაქს. ხილული სიდიდე)
- 4 დღის განმავლობაში დანახვადი სიდიდე: დღის ცის (ცისფერი) ნათება
- 2.94 იუპიტერი
- 2.91 მარსი

### ზოგიერთი ვარსკვლავიერი სიდიდე

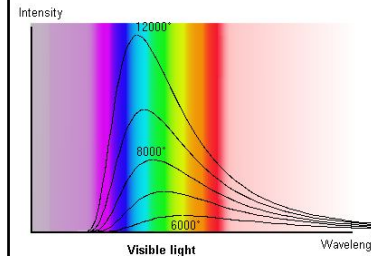
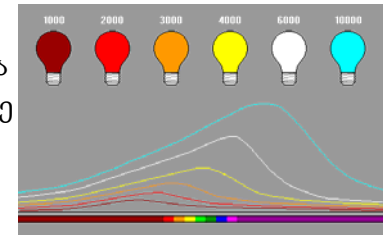
- 1.47 სირიუსი (მზის შემდეგ ყველაზე კაშკაშა ვარსკვლავი)
- 0 ვეგა (საყრდენი ხილული სიდიდე)
- 3...4 ქალაქიდან შეუიარაღებელი თვალით ხილვის ზღვარი
- 5.42 ურანი (პლანეტა, მაქს. ნათება)
- 6.5 ღამის ცაზე თვალით ხილვის ზღვარი

### ზოგიერთი ვარსკვლავიერი სიდიდე

- 7.78 ნებტუნი (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 გამოსხივება

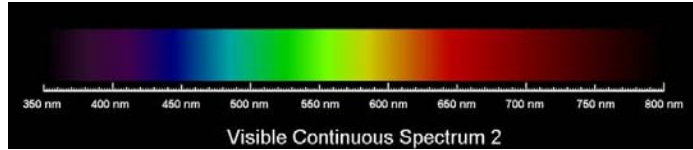
ვარსკვლავის ფერი:  
ეფექტური ტემპერატურა  
ვარსკვლავის ზედაპირზე



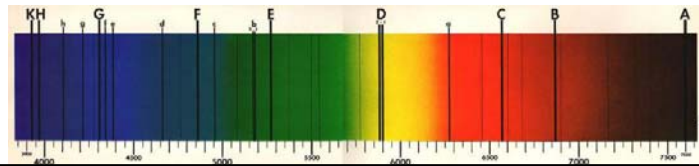
გამოსხივების სპექტრი:  
გამოსხივების სიმძლავრე  
სხვადასხვა ტალღის  
სიგრძეზე (სიხშირეზე)

### გამოსხივების სპექტრი

უწყვეტი სპექტრი (სითბური გამოსხივება)

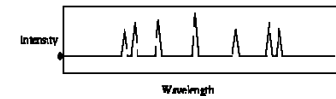
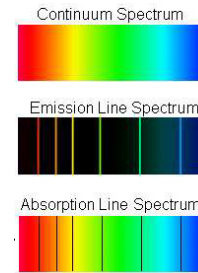
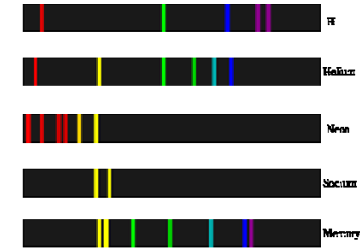


სპექტრული ხაზები (ქიმიური შემადგენლობა)



### სპექტრული ანალიზი

სპექტრული ხაზები:  
გამომსხივებელი გარემოს  
ქიმიური შემადგენლობა



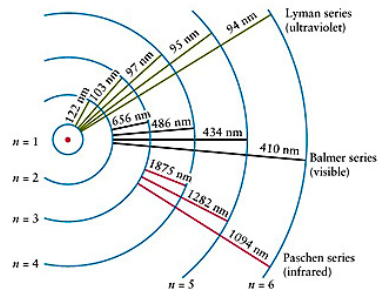
გამოსხივების და  
შთანთქმის ხაზები

### სპექტრული ხაზების სერიები

სპექტრული ხაზი:  
ელექტრონის ერთი  
ორბიტიდან მეორეზე  
გადასვლა

ორბიტები და ხაზები:  
დისკრეტული  
სერიები:

ლაიმანის, ბალმერის, პაშენის.

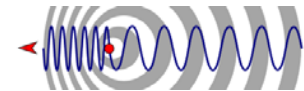


წყალბადის ატომის ბალმერის სერია

### დოპლერის ეფექტი

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

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



### დოპლერის ეფექტი

ტალღის სიგრძის ცვლილება დამოკიდებულია ტალღის სიჩქარესა და დამკვირვებლისა და წყაროს ერთმანეთის მიმართ მოძრაობის სიჩქარის

რაც მეტია სიჩქარე, მით მეტია **დოპლერის წანაცვლება**

**ბგერითი ტალღა:** სიხშირის ცვლილება: ბგერის ტონის მომატება ან დაკლება

**ელექტრომაგნიტური ტალღა:** სიხშირის ცვლილება სინათლის “ფერის” ცვლილება

**წითელი და ლურჯი წანაცვლება**

### სპექტრული ხაზები

წანაცვლება: (დოპლერის ეფექტი)

**ლურჯი წანაცვლება:** დაახლოება

**წითელი წანაცვლება:** დაშორება

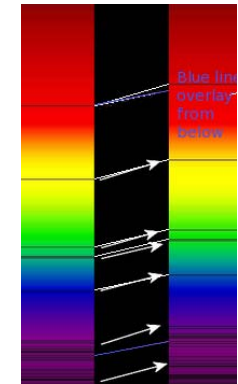
ხაზის გაფართოება:

ატომების ქაოსური მოძრაობები

სითბური; ტურბულენტური

ხაზის გახლეჩვა:

(ელექტრომაგნიტური ველი)

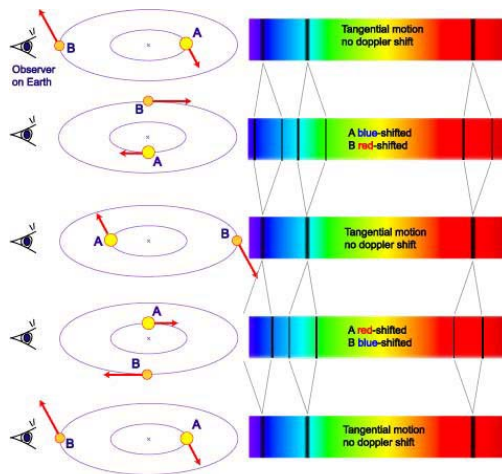


წითელი წანაცვლების მაგალითი

### ორმაგი სისტემის სპექტრი

ორი ვარსკვლავის ბრუნვა ერთმანეთის გარშემო

სპექტრული ხაზების მკაცრად პერიოდული გახლეჩვა



### იზოლირებული ვარსკვლავის სპექტრები

ფერი:

ვარსკვლავის

ეფექტური

ტემპერატურა

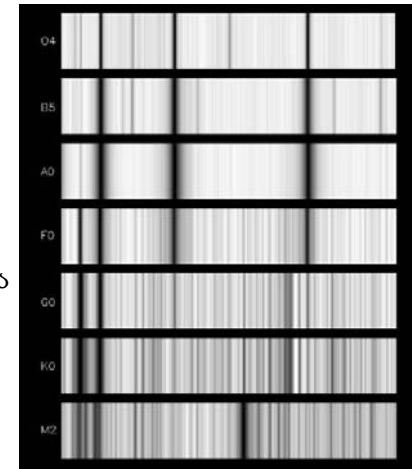
სპექტრი:

ქიმიური შემადგენლობა

წყალბადი;

მძიმე ელემენტები;

“მეტალურობა”



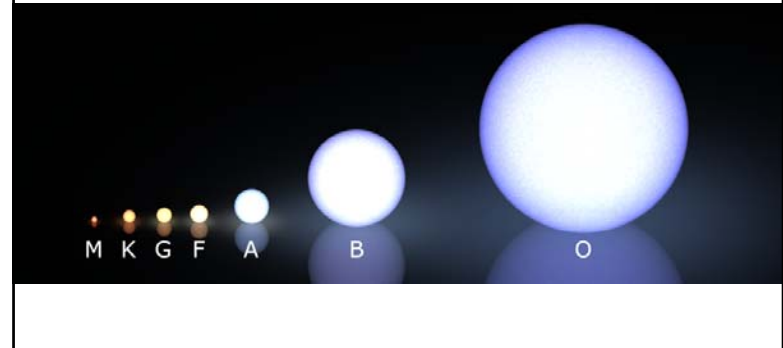


### სპექტრული კლასიფიკაცია

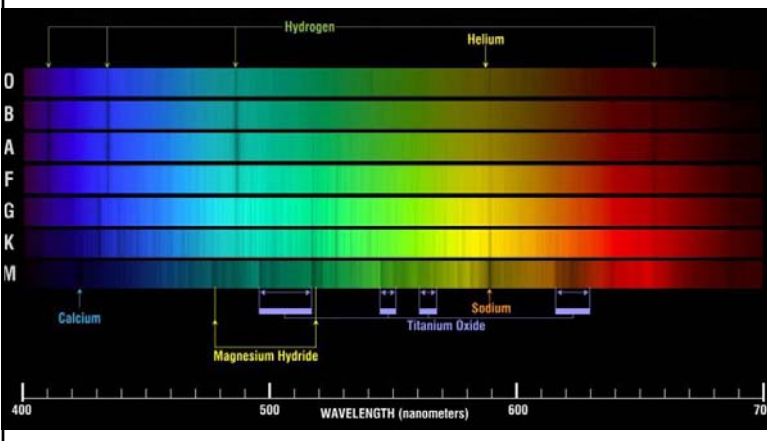
კლასი	ტემპერატ. შვრი	მასა	რაღ.					
Spectral Class	Effective Temperature (K)	Colour	H Balmer Features	Other Features	M/M <sub>sun</sub>	R/R <sub>sun</sub>	L/L <sub>sun</sub>	Main Sequence Lifespan
<b>O</b>	28,000 - 50,000	Blue	weak	ionised He <sup>+</sup> lines, strong UV continuum	20 - 60	9 - 15	90,000 - 800,000	1 - 10 Myr
<b>B</b>	10,000 - 28,000	Blue-white	medium	neutral He lines	3 - 18	3.0 - 8.4	95 - 52,000	11 - 400 Myr
<b>A</b>	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
<b>F</b>	6,000 - 7,500	White-yellow	medium	weak ionised Ca <sup>+</sup>	1.1 - 1.6	1.2 - 1.6	2.0 - 6.5	3 - 7 Gyr
<b>G</b>	4,900 - 6,000	Yellow	weak	ionised Ca <sup>+</sup> , metal lines	0.85 - 1.1	0.85 - 1.1	0.66 - 1.5	7 - 15 Gyr
<b>K</b>	3,500 - 4,900	Orange	very weak	Ca <sup>+</sup> , Fe, strong molecules, CH, CN	0.65 - 0.85	0.65 - 0.85	0.10 - 0.42	17 Gyr
<b>M</b>	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

### სპექტრული კლასები

სხვადასხვა სპექტრული კლასის ვარსკვლავების მასის, ფერის და ზომის პირობითი ვიზუალიზაცია



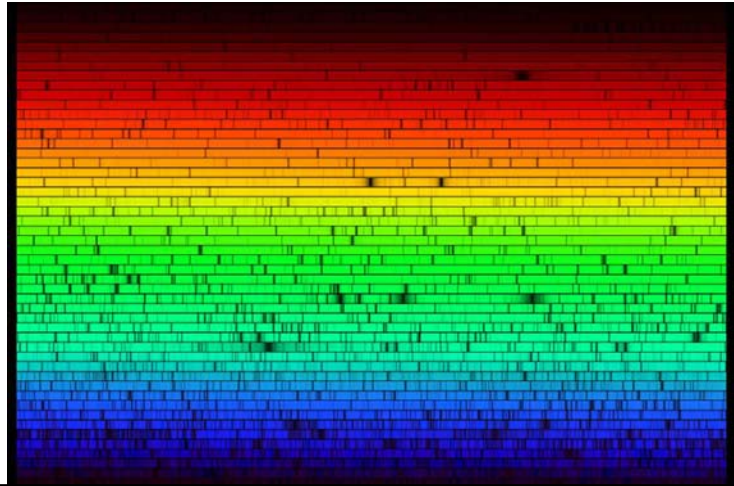
### ტიპური სპექტრები



### ვარსკვლავების ნათობის კლასები

- O** ექსტრემალური გიგანტები
- Ia** კამკაშა სუპერგიგანტები
- Ib** სუპერგიგანტები
- II** კამკაშა გიგანტები
- III** გიგანტები
- IV** სუბ-გიგანტები (ქვეგიგანტები)
- V** ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავი
- SD** სუპერ ჯუჯა
- D** ჯუჯა

### მზის გამოსხივების სპექტრი (G2V)

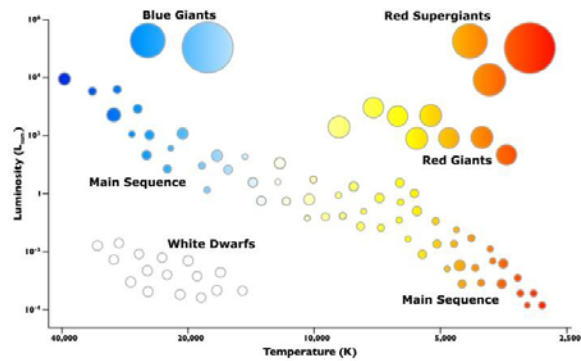


### ვარსკვლავების სპექტრები



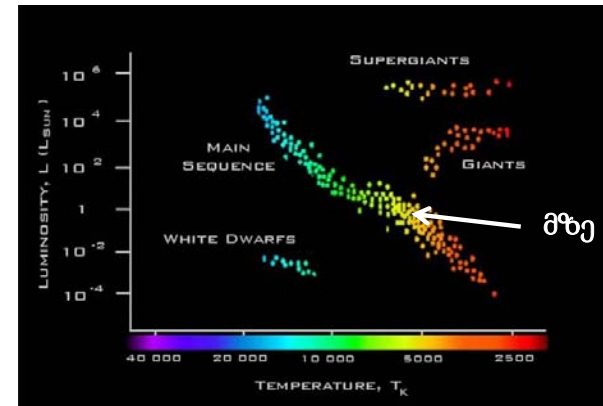
### ჰერცშპრუნგ-რასელის (HR) დიაგრამა

აბსოლუტური ნათობისა და სპექტრული კლასის (ტემპერატურის) დამოკიდებულება

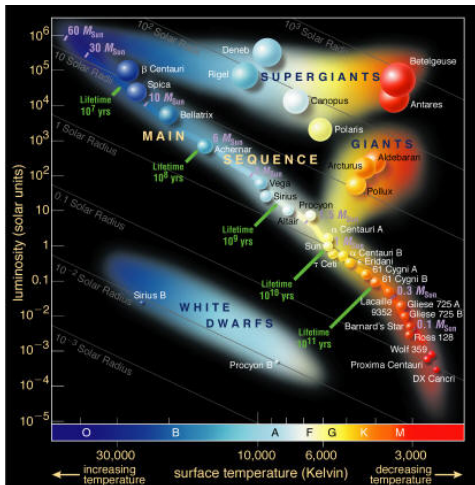


### HR დიაგრამა

ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავები, ჯუჯები და გიგანტები



HR ფიზიკური ვიზუალიზაცია

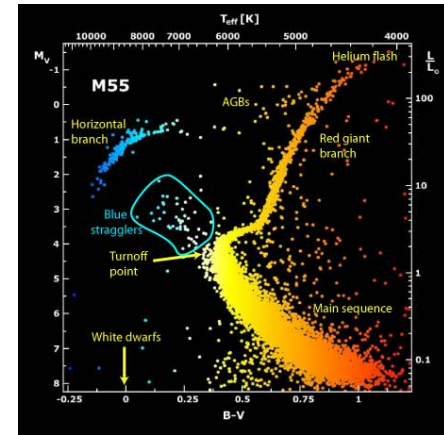


ვარსკვლავების გროვების დიაგრამები

წარმოშობის ისტორია და ფიზიკა

გალაქტიკა M55

მცირე ქვეკლასები



ვარსკვლავების ენერჯის წყაროები

უმრაობის ენერჯია:  $E_m = m C^2$

ბირთვული დაშლა (ურანი)  $\sim 0.1\% E_m$

თერმობირთვული სინთეზი (წყალბადი)  $\sim 0.5\% E_m$

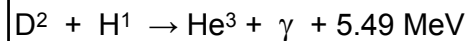
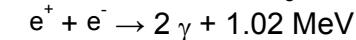
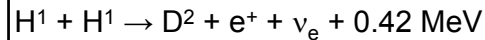
მსუბუქი ელემენტების ბირთვული შერწყმა და მძიმე ქიმიური ელემენტების სინთეზი ენერჯის გამოყოფით (ანალოგი: წყალბადის თერმობირთვული ბომბი)

ვარსკვლავური ნუკლეოსინთეზი

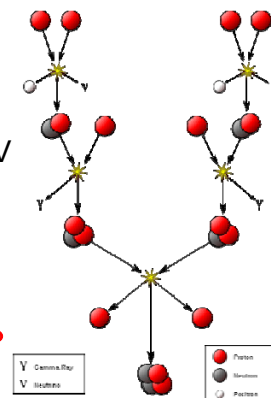
P-P ჯაჭვი ( $M_{\odot}$ )

ტემპერატურა ვარსკვლავის ცენტრში:  $5 - 15 \times 10^6 K$

პროტონ-პროტონული ჯაჭვი



წყალბადი  $\rightarrow$  ჰელიუმი + ენერჯია

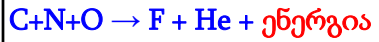
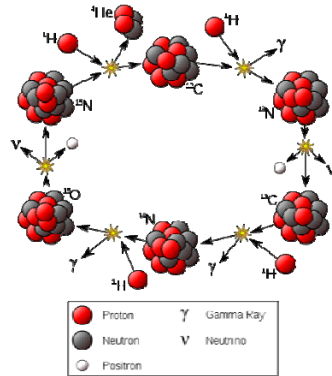




### CNO ჯაჭვი ( $M > 1.5 M_{\odot}$ )

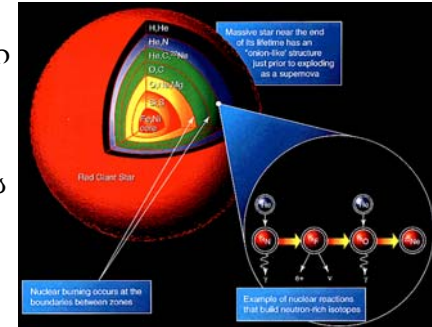
ტემპერატურა ვარსკვლავის ცენტრში:  $> 20 \times 10^6 \text{ K}$

- C - ნახშირბადი
- N - აზოტი
- O - ჟანგბადი

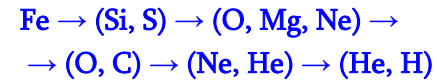


### სტრუქტურა

ვარსკვლავის ქიმიური შემადგენლობა თერმობირთვული საწვავის გამოლევისას



ბირთვიდან გარე ფენებისაკენ:



[www.tevza.org/home/course/universe2011](http://www.tevza.org/home/course/universe2011)

B. W. Carroll and D. A. Ostlie, "An introduction to modern astrophysics" (2007)

- ქვეთავები 8.1, გვ.202–205
- 8.2 გვ.219–224