



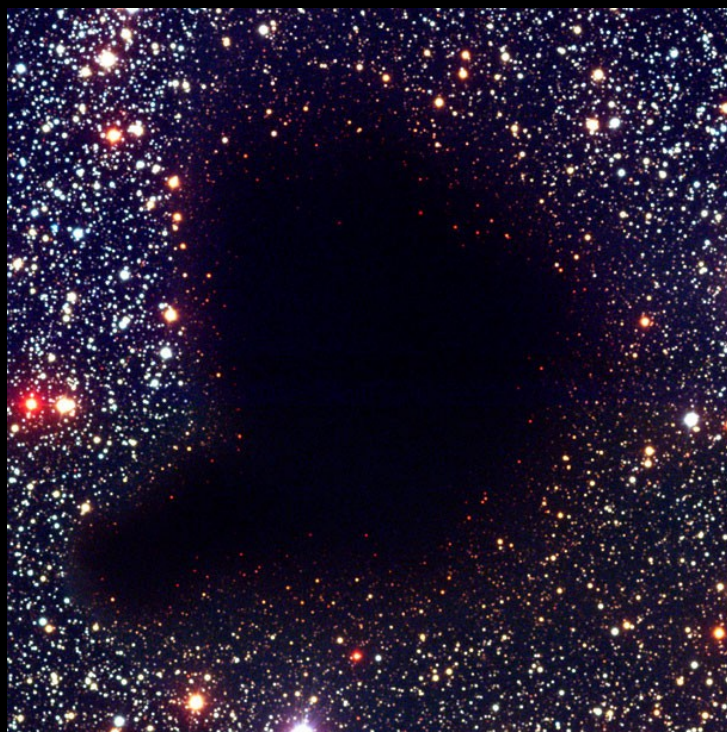
MEDNARODNO  
LETO SVETLOBE  
2015

SVETLOBA

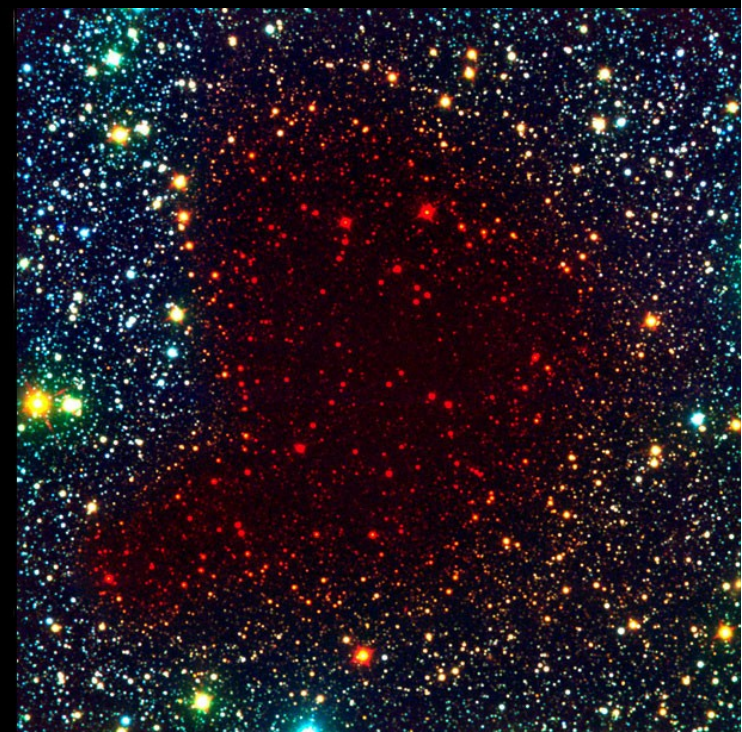


IZ VESOLJA

Tomaž Zwitter  
Fakulteta za matematiko in  
fiziko Univerze v Ljubljani



B, V, I



B, I, K

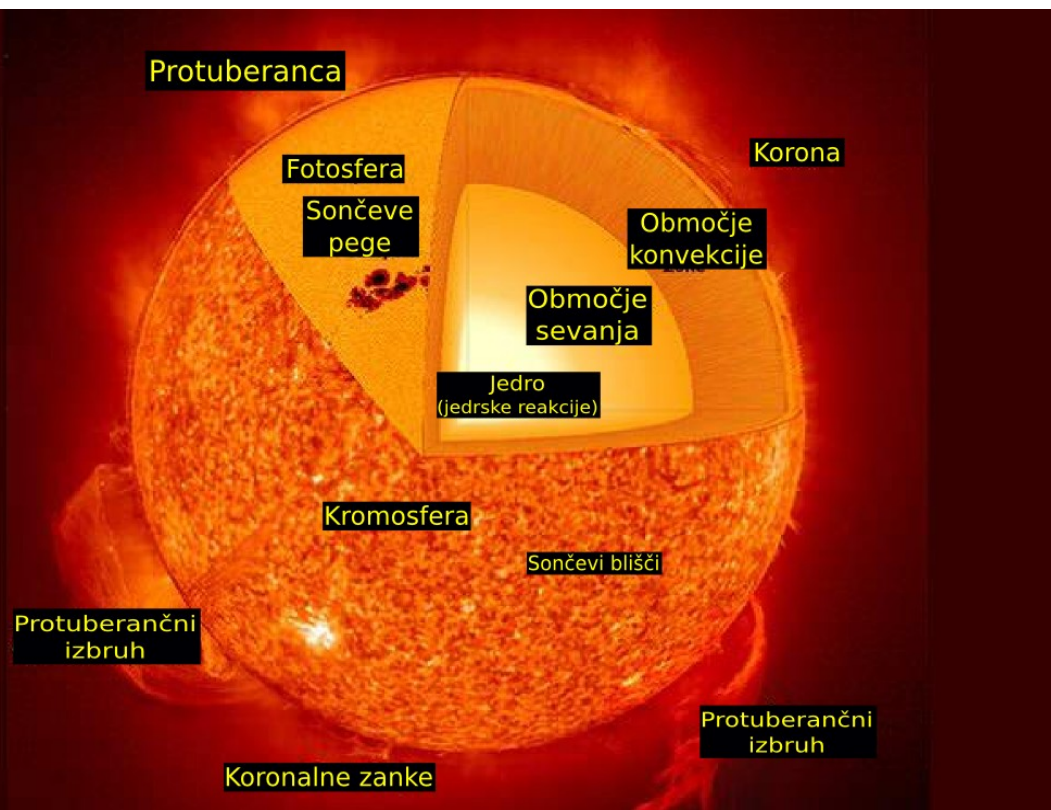
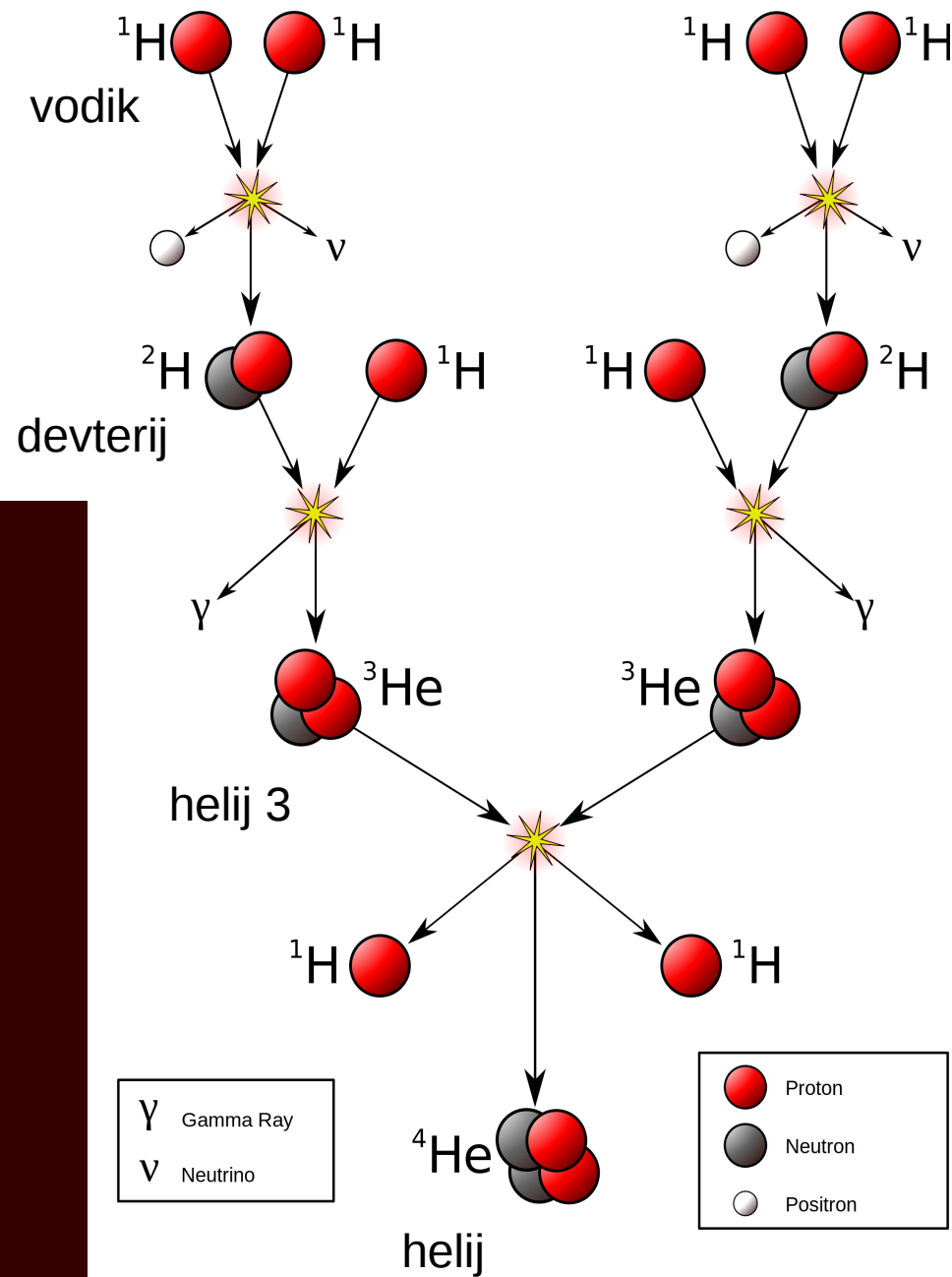


# Sproščanje energije z jedrskimi reakcijami v sredicah zvezd

- Zakaj se sprosti energija?
- Zakaj v sredicah zvezd?
- Zakaj jedrske reakcije?
- Direktna potrditev?



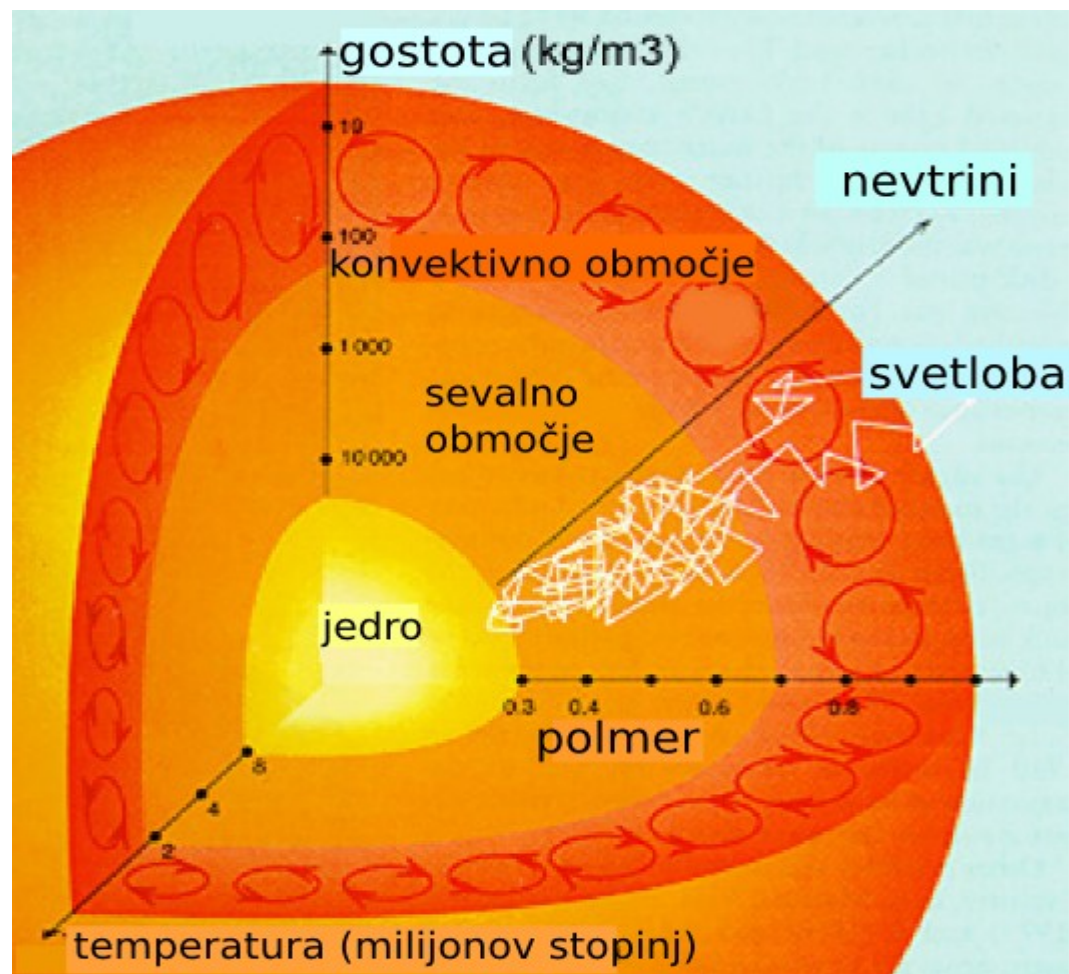
S. Makarovič  
T. Lavrič



# Pot svetlobe proti površju



- Neprozorno kot mleko.
- Dolga zveržena pot svetlobe.
- Pri potovanju naravnost razdalja od središča raste sorazmerno s časom.
- Pri zverženi poti pa le sorazmerno s kvadratnim korenem iz časa.
- Čas je zato sorazmeren s kvadratom razdalje od središča in pot torej traja  $\frac{1\text{cm}}{300000\text{ km/s}}$  (700000 km /1 cm)<sup>2</sup> to je tisočletja (pot vsakega fotona) ali desetine milijonov let (energija).



# Pot nevtrinov proti površju



- Zanje Sonce prozorno.
- Letijo naravnost. Iz Sonca so v 2 sekundah, do Zemlje potrebujejo 500 sekund.
- Vsako sekundo v Soncu nastane  $1.8 \cdot 10^{38}$  nevtrinov.
- To ustreza  $6 \cdot 10^{14}$  nevtrinov na kvadratni meter v tej predavalnici.
- Torej vas vsako sekundo prebode več sto tisoč milijard nevtrinov.



**Don't just stand there.**

**Let those neutrinos through.**

Not that you have a choice. Trillions of these particles from the Sun pass through you every second at nearly the speed of light.

[www.CoolCosmos.net](http://www.CoolCosmos.net)

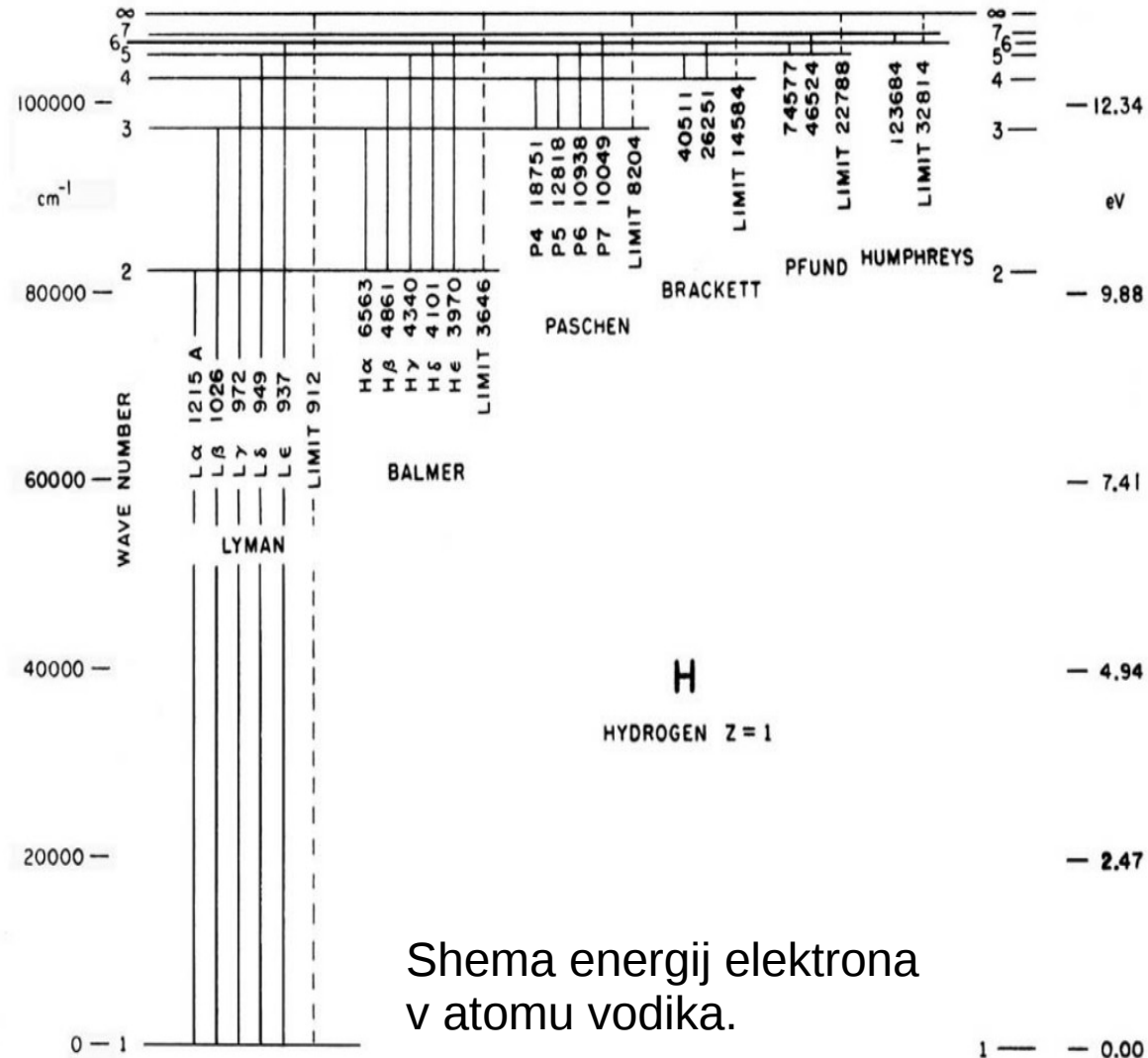
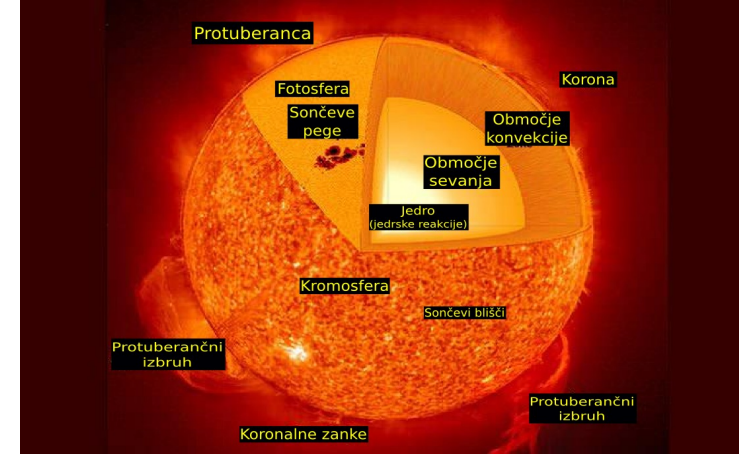




# Blizu površja zvezde

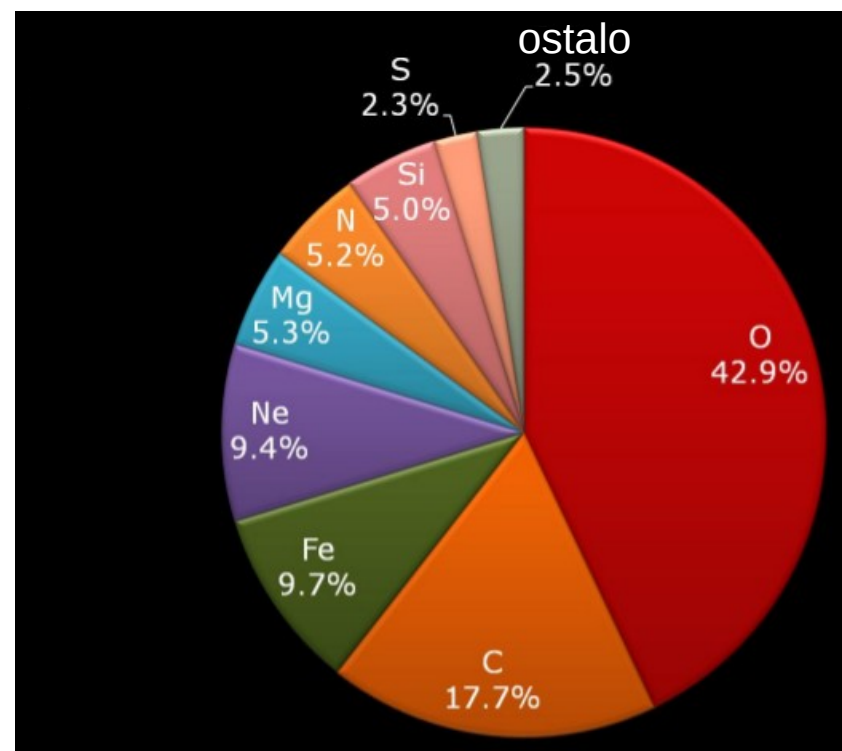
- V fotosferi snov postaja prozorna.
- Energija fotona  $E$  je odvisna od njegove valovne dolžine  $\lambda$ :  

$$E = h c / \lambda.$$
- Če ta energija lahko dvigne kak elektron določenega kemičnega elementa v višje stanje, za take fotone snov manj prozorna.
- Valovne dolžine s primankljaji fotonov izdajajo prisotnost določenih kemičnih elementov, temperaturne pogoje, turbulentna in termična gibanja, gostoto, in gibanje zvezde proč ali proti nam.



# Meritev kemične sestave na daljavo: Sonce

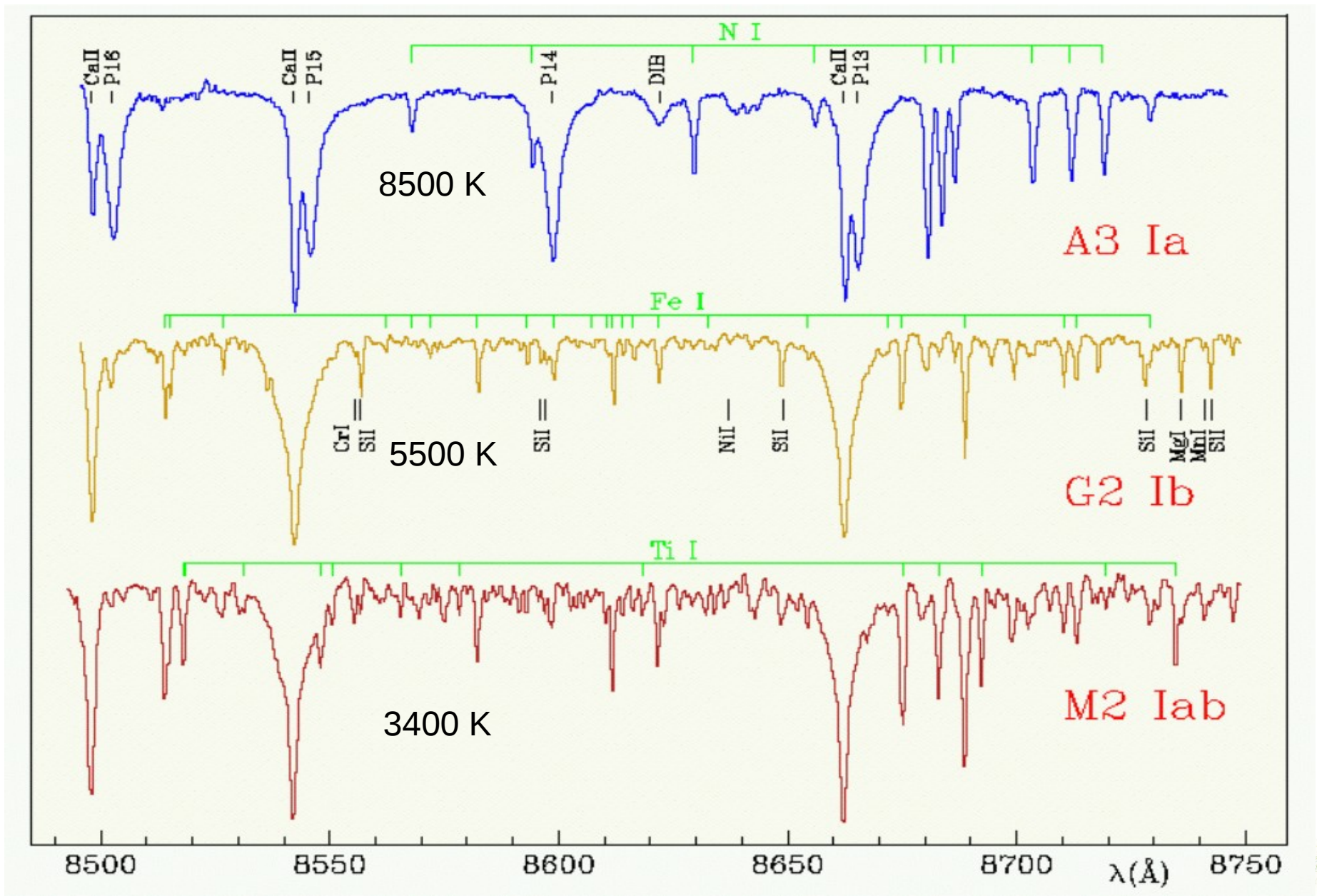
- Vodika je 91,3% (po številu atomov) in 73,81% (po masi).
- Helija je 8,5% (po številu atomov) in 24,85% (po masi).
- Vseh težjih elementov je 0,15% (po številu atomov) in 1,34% (po masi).



M. Asplund, N. Grevesse, A.J. Sauval, P. Scott,  
(2009), Annual Rev. Astron. Astrophys. 47, 481



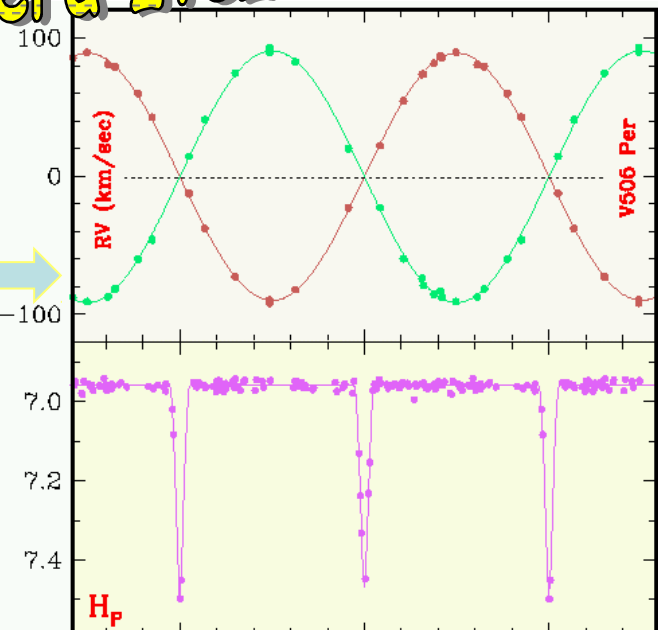
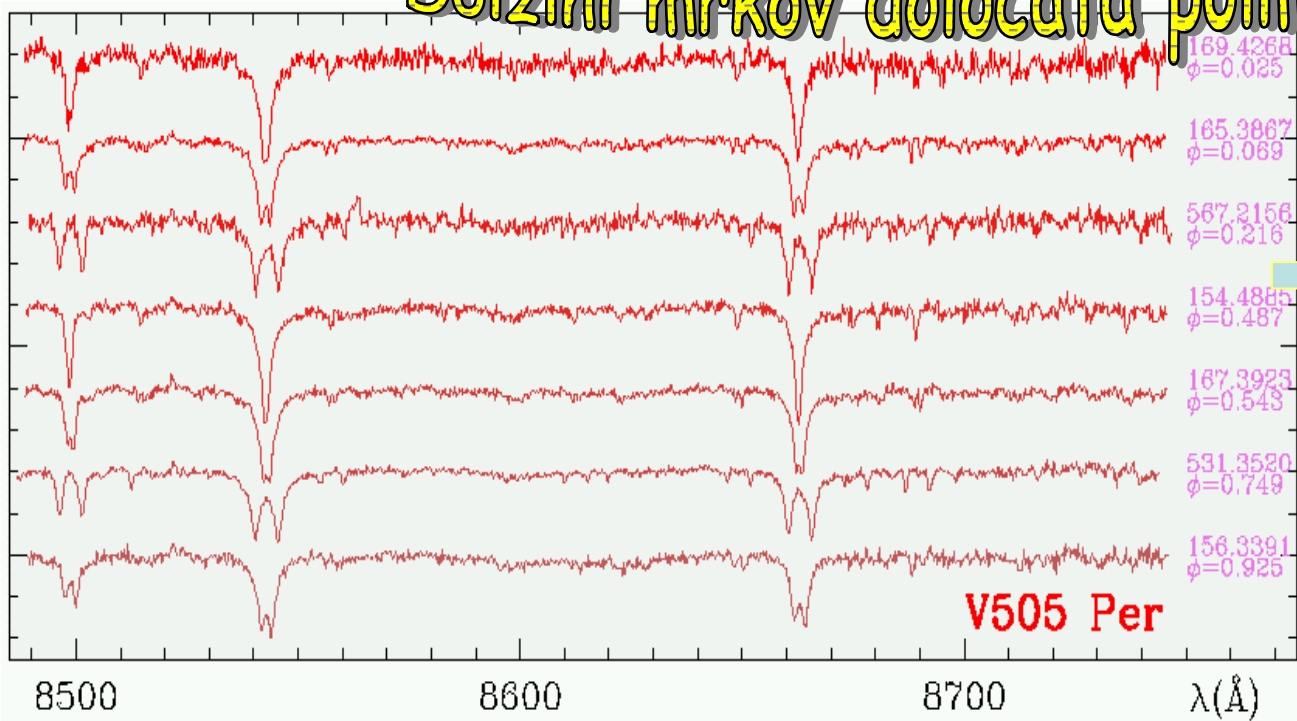
# Svetloba z zvezd z različno temperaturo



# Dopplerjev premik in prekrivalne dvojne zvezde



Dolžini mrkov določata polmera zvezd



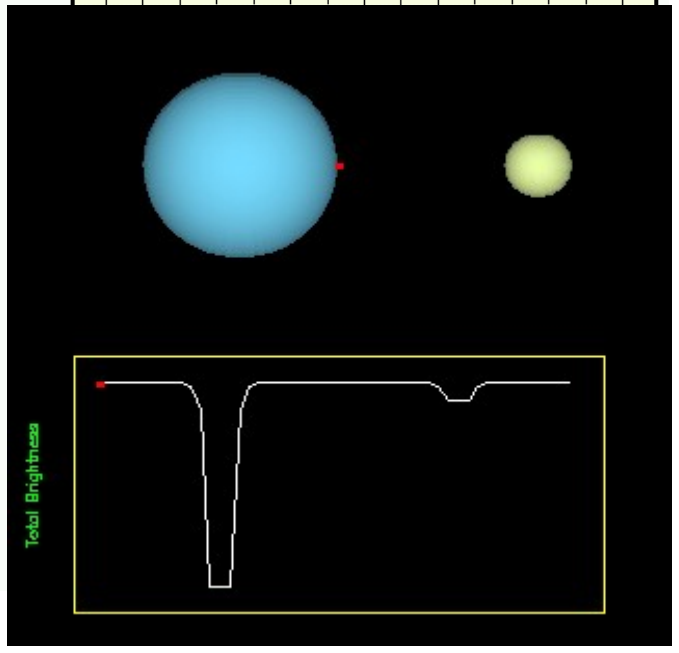
$a = 15.06 \pm 0.08 R_{\odot}$

$M_1 = 1.30 \pm 0.02 M_{\odot}$   
 $M_2 = 1.28 \pm 0.02 M_{\odot}$

$R_1 = 1.40 \pm 0.02 R_{\odot}$   
 $R_2 = 1.14 \pm 0.03 R_{\odot}$

$T_1 = 6460 \pm 50 \text{ K}$   
 $T_2 = 6415 \pm 50 \text{ K}$

razdalja: 60  $\pm$  3 pc Asiago/GAIA  
 66  $\pm$  4 pc Hipparcos





# Gravitacijski rdeči premik v dvojnih zvezdah

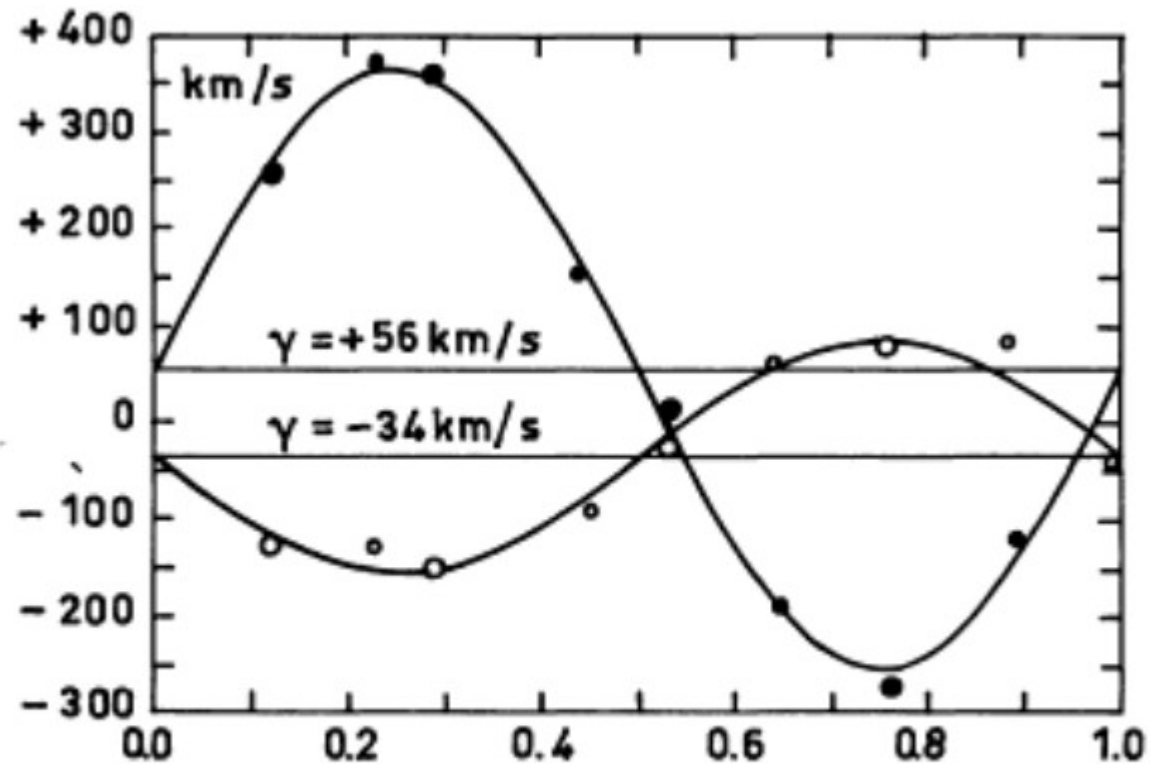
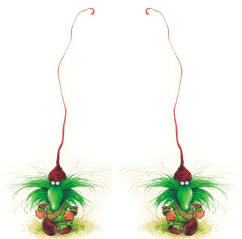
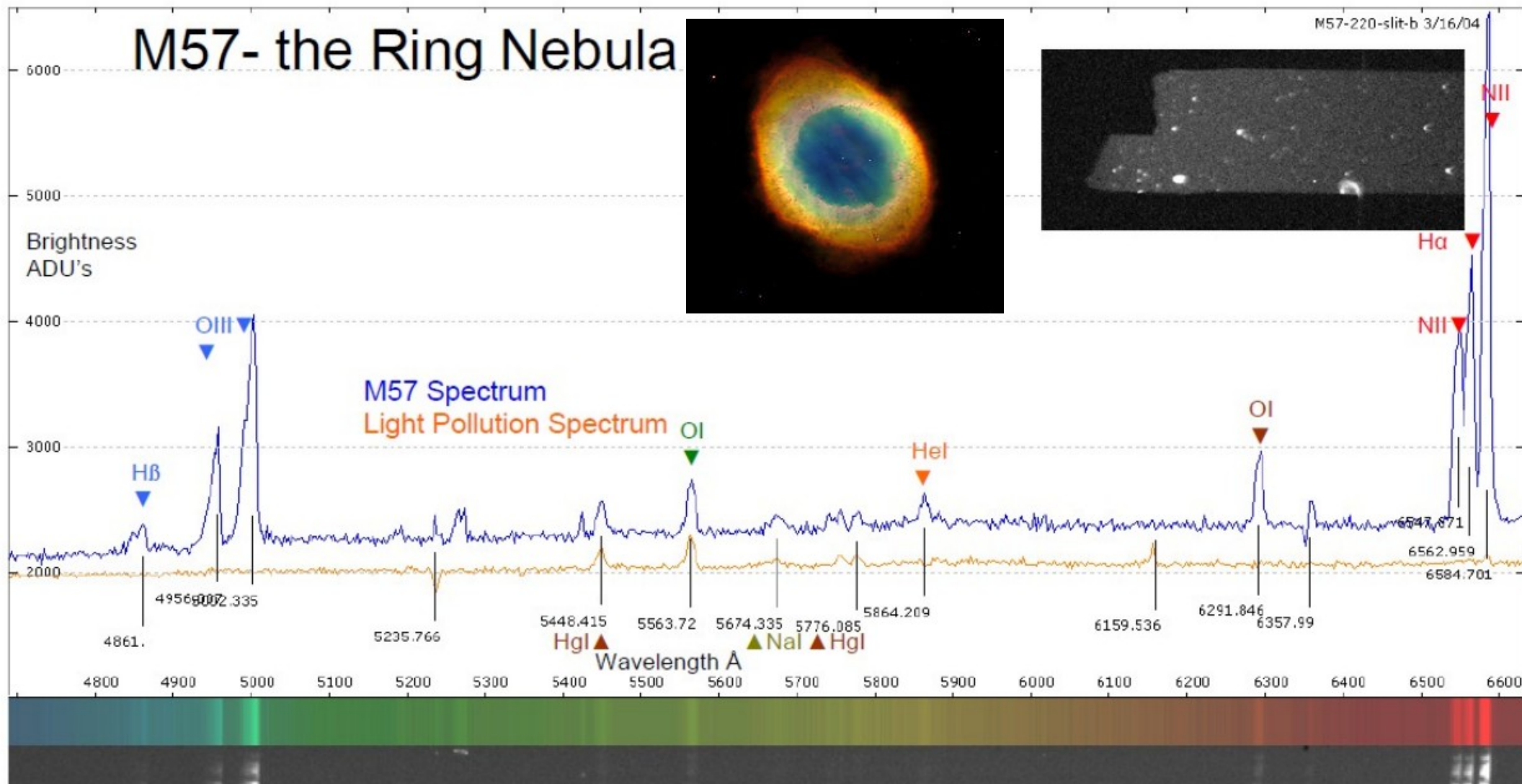


Fig. 1. Velocity curves for HD 193576 (Wilson, 1940 a). The curve with  $\gamma = +56 \text{ km/s}$  is obtained from the emission line He II 4686; the other from the absorption lines of the companion



# Svetloba iz optično prozorne snovi

- Aktivne atmosfere zvezd, meglice, ...

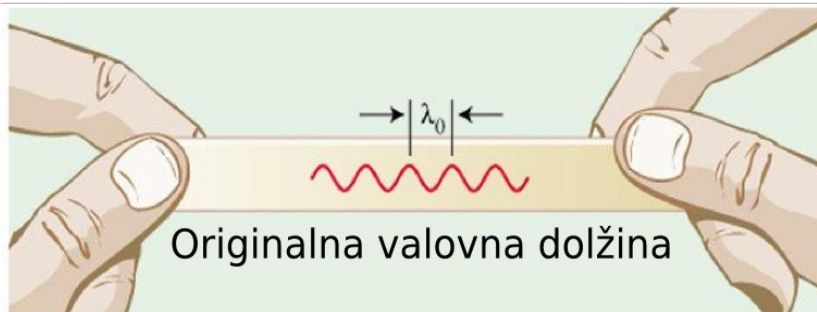




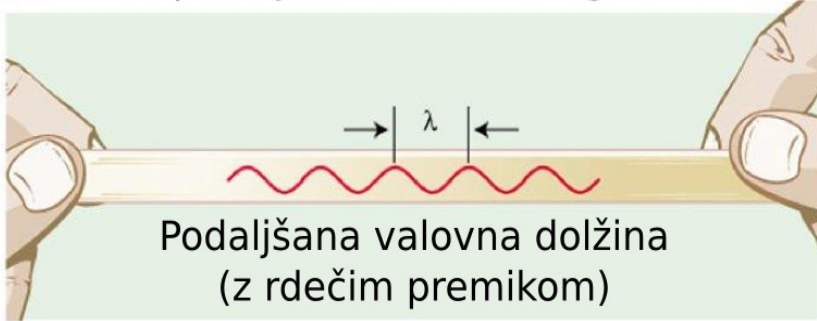
# Kozmološki rdeči premik



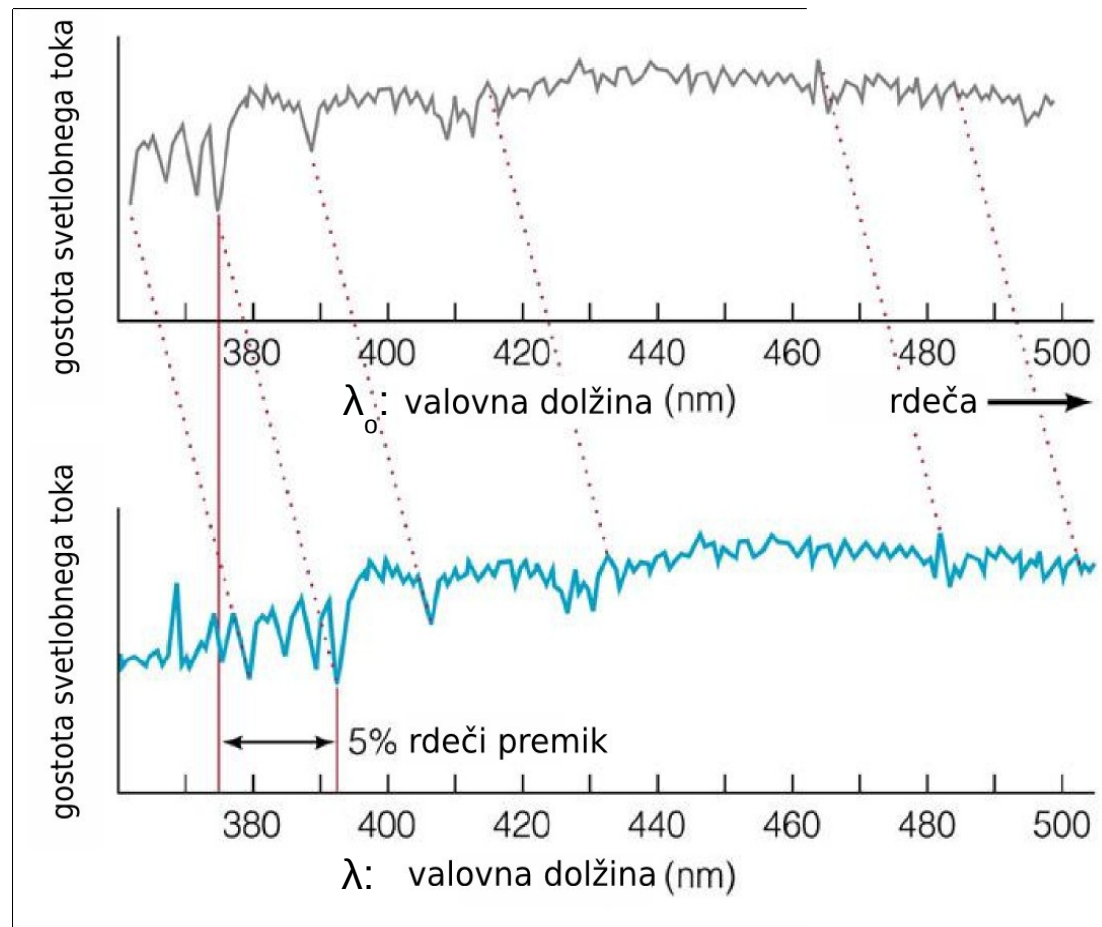
(a) Val narisan na gumastem traku



(b) ... se podaljša, ko trak nategnemo.

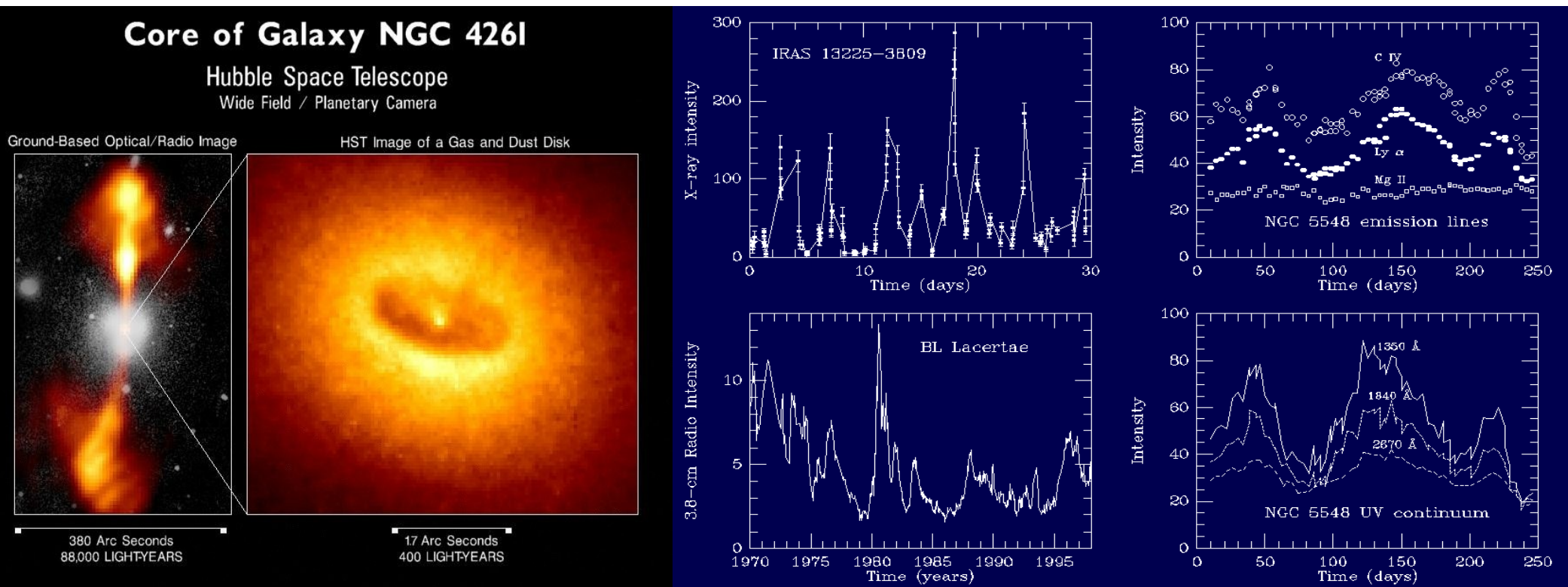


- Rdeči premik ( $z$ ) je definiran kot  $1 + z = \lambda / \lambda_0$



# Jedra aktivnih galaksij

- Zelo svetla območja okoli središča, ki so izjemno majhne velikosti in kjer je zelo veliko snovi.
- Edina smiselna razlaga je črna luknja, svetloba pa nastaja ob gretju pri približevanju snovi tej črni luknji.



# Ukrivljanje svetlobe ob Soncu in drugih masivnih telesih

- Prostor ob masivnih telesih je ukrivljen.
- Če ga imamo za ravnega, se nam zdi, da svetloba zavije proti telesu za kot

$$4 G M / (r c^2) = 1,75'' (M/M_{\odot}) (R_{\odot}/r).$$

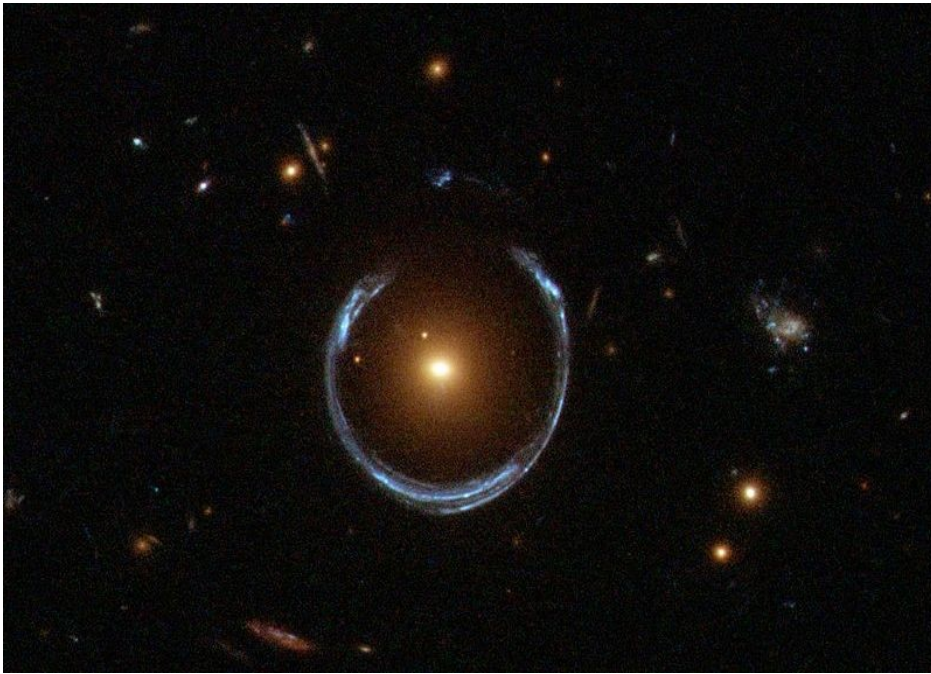
Pot mrka leta 1919 preko otočja Sao Tome in Principe in Brazijskega kraja Sobral.



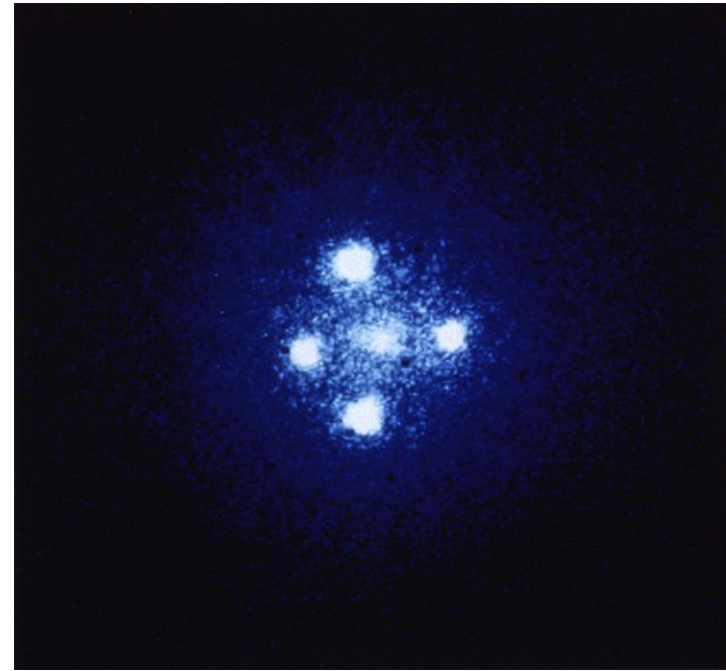
Položaji zvezd ob popolnem mrku, kot jih je posnel Arthur Eddington iz Sao Tome in Principe.



# Gravitacijsko lečenje



Einsteinov prstan LRG 3-757 (HST)

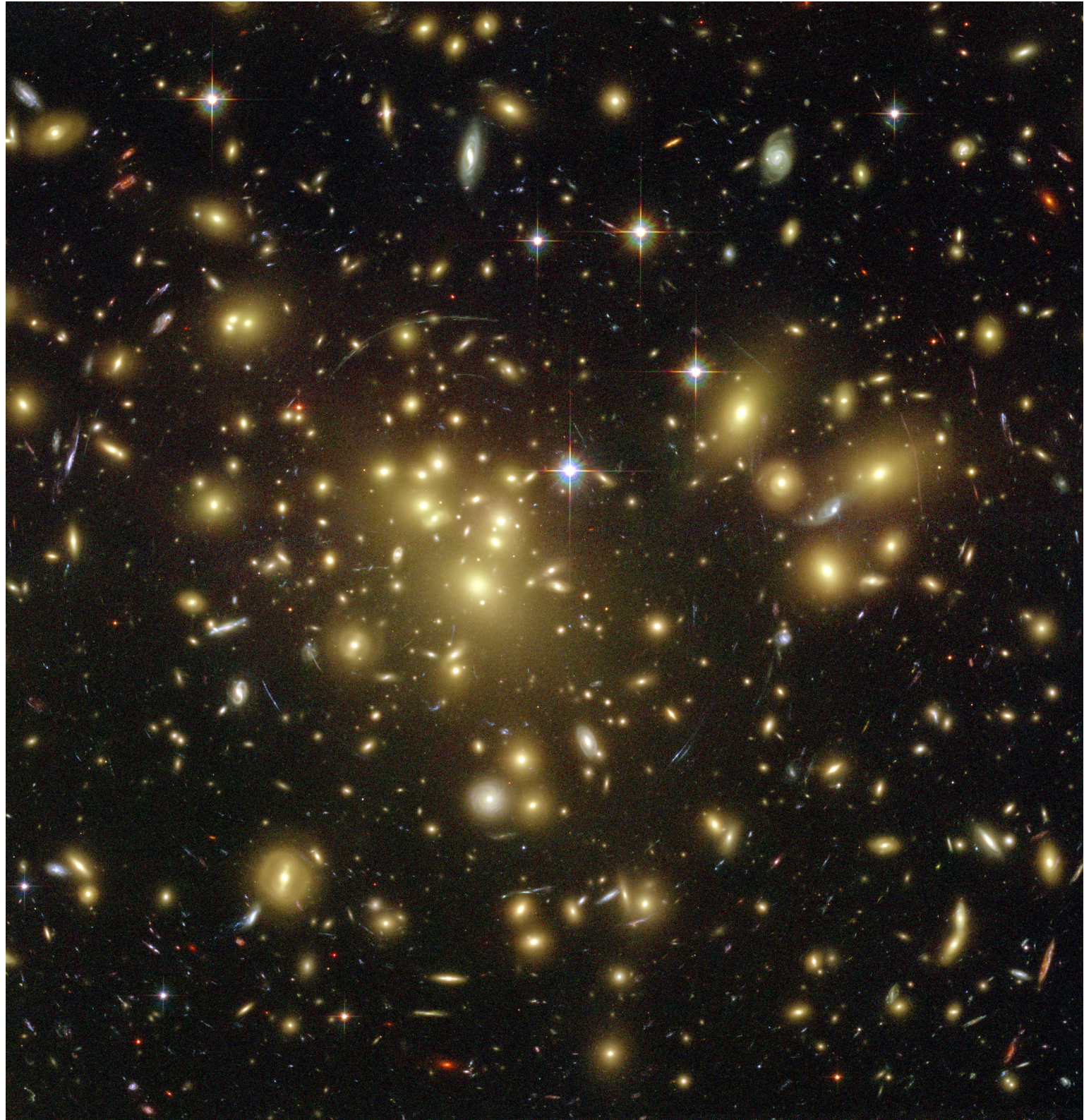


Einsteinov križ G2237 + 0305



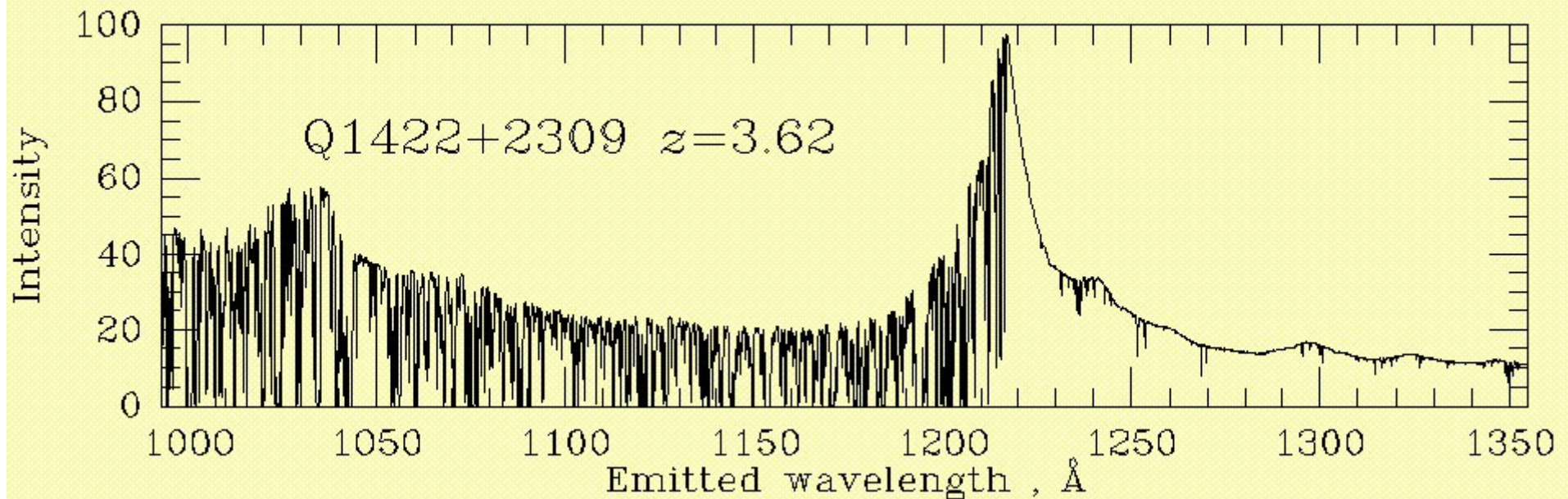
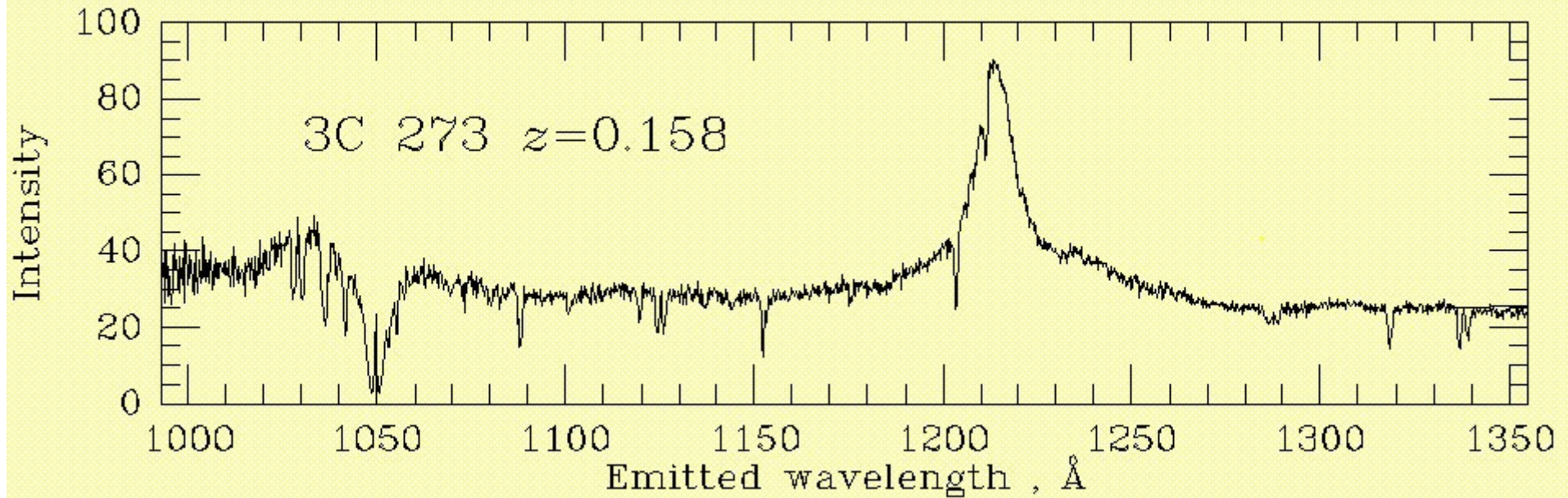
# Gravitacijsko lečenje

Abell 1689



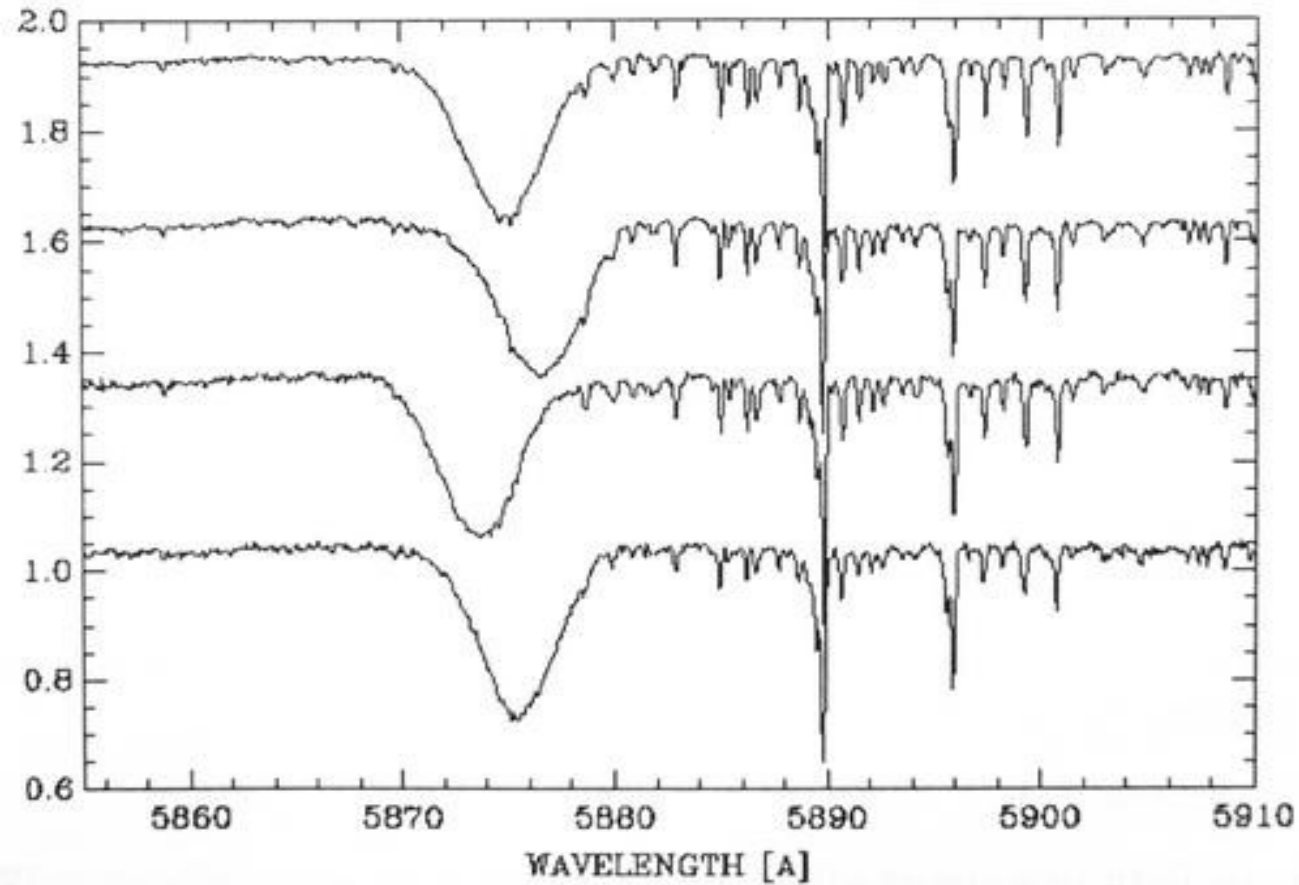


# Pot svetlobe z oddaljenih galaksij: absorpcija v medgalaktičnem plinu



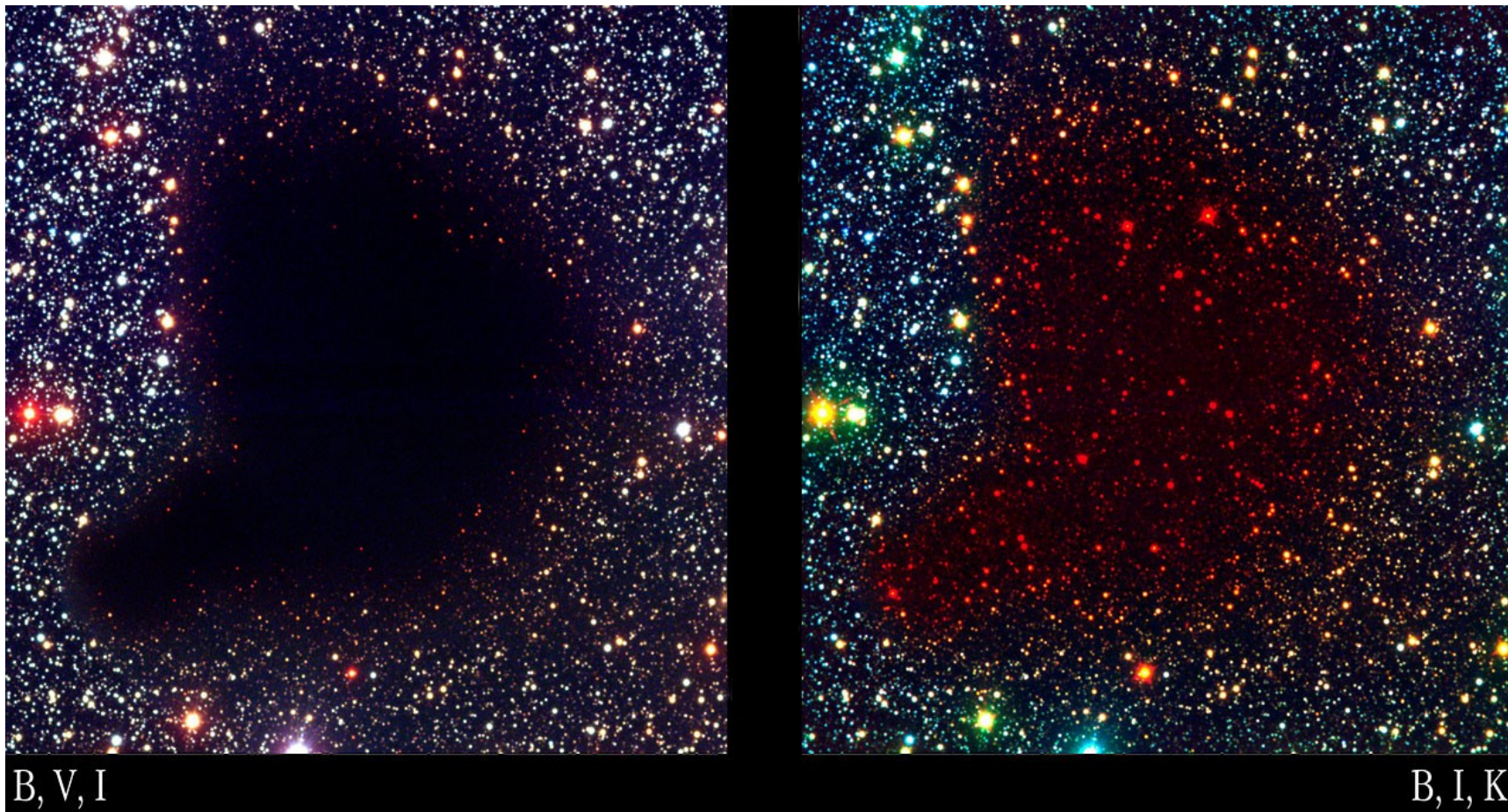


# Pot svetlobe skozi Galaksijo: absorpcija v medzvezdnem plinu



- Absorpcijske črte z dvojne zvezde Delta Oriona imajo spremenljivo valovno dolžino, medzvezdne absorpcije in tiste v Zemljini atmosferi pa ne.
- Tako je Johannes Hartmann leta 1902 odkril prisotnost medzvezdnega plina.

# Pot svetlobe skozi Galaksijo: absorpcija v medzvezdnem prahu



Temna meglica Barnard 68 v vidni svetlobi (levo) in v infrardeči svetlobi (desno).



# Pot svetlobe skozi Galaksijo: nastajanje zvezd v prašnih medzvezdnih oblakih

M16 ■ Eagle Nebula



Visible

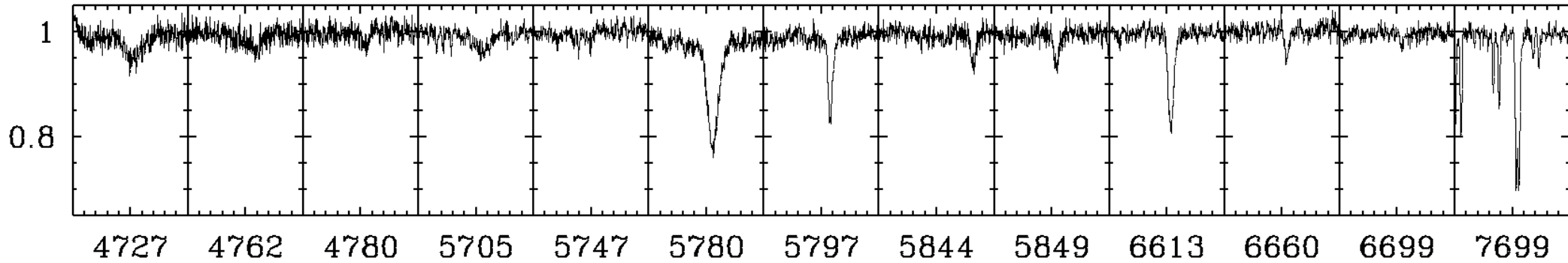
Hubble Space Telescope ■ WFC3/UVIS/IR



Infrared



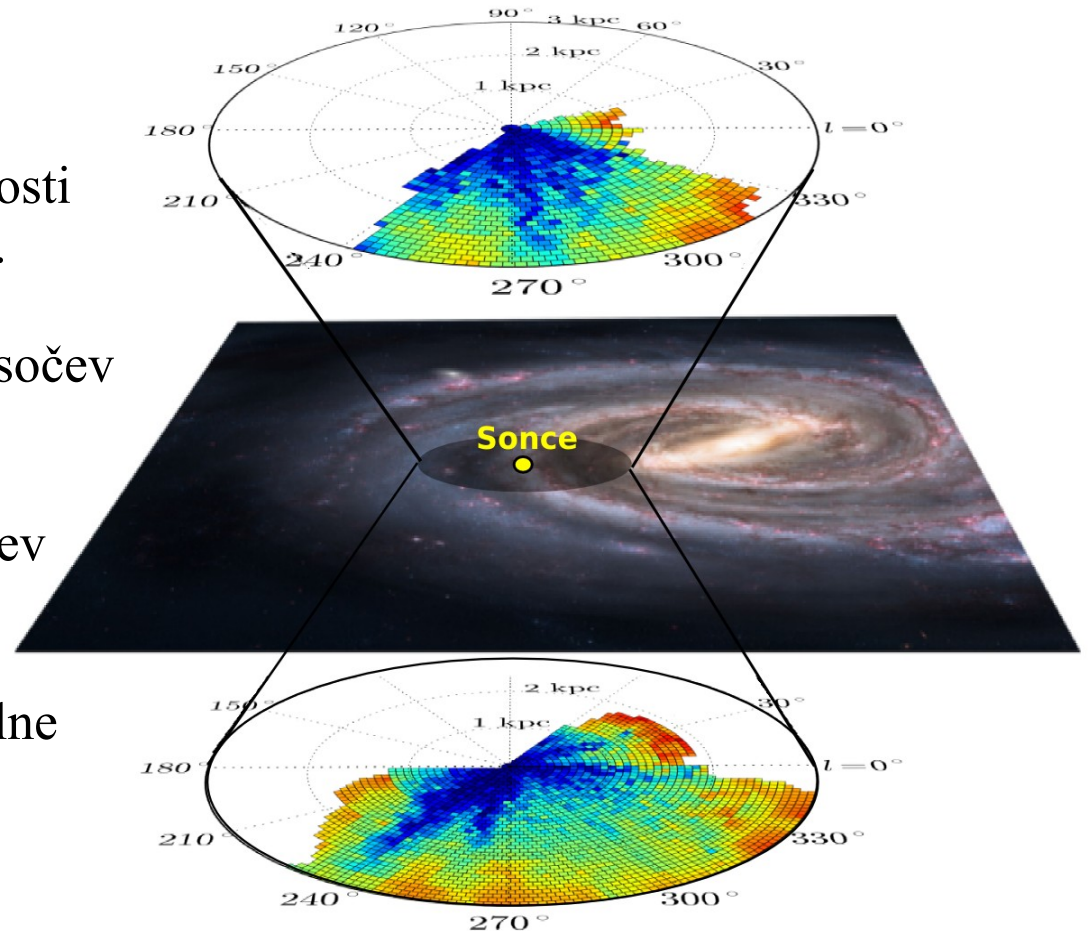
# Pot svetlobe skozi Galaksijo: absorpcija v medzvezdnih absorpcijskih pasovih



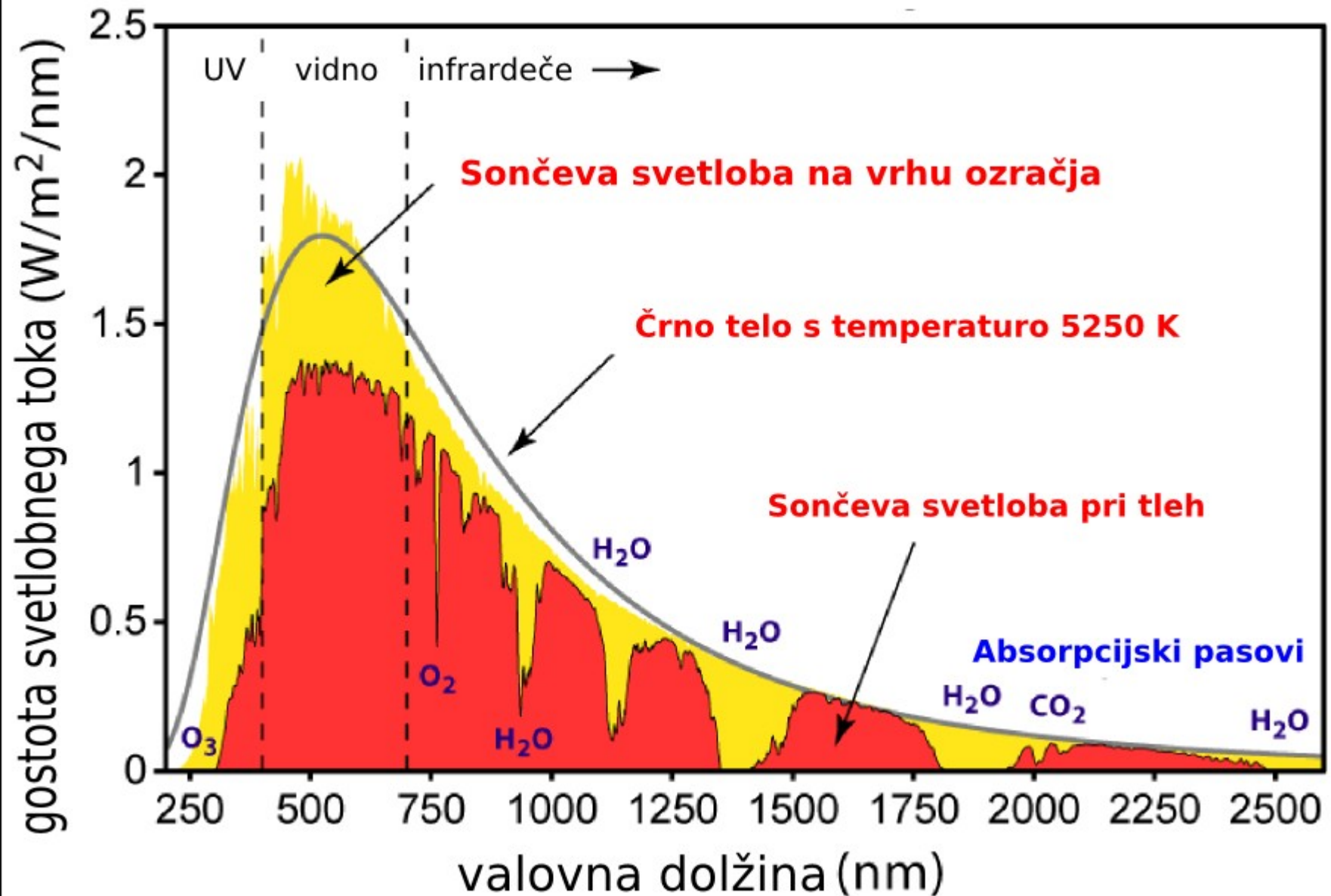
V medzvezdnem prostoru tudi sledi prisotnosti velikih makromolekul še neznane strukture.

Z natančnim pregledovanjem svetlobe stotisočev zvezd, ki jo te makromolekule vzdolž poti svetlobe do Zemlje nekoliko absorbirajo, ugotovimo, kakšna je prostorska razporeditev teh molekul.

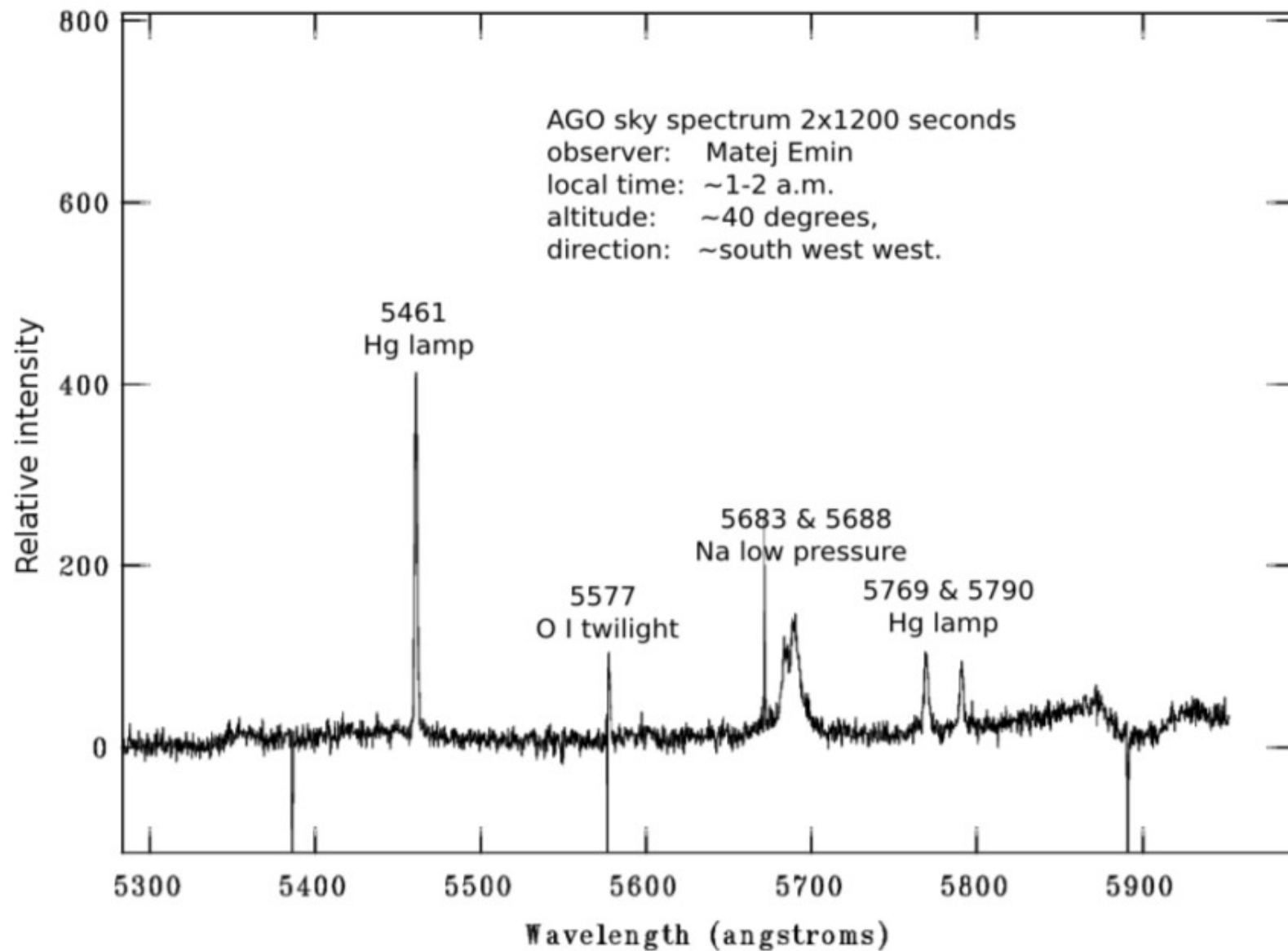
Posredno lahko sklepamo na njihove fizikalne lastnosti.



# In potem še: Zemljina atmosfera

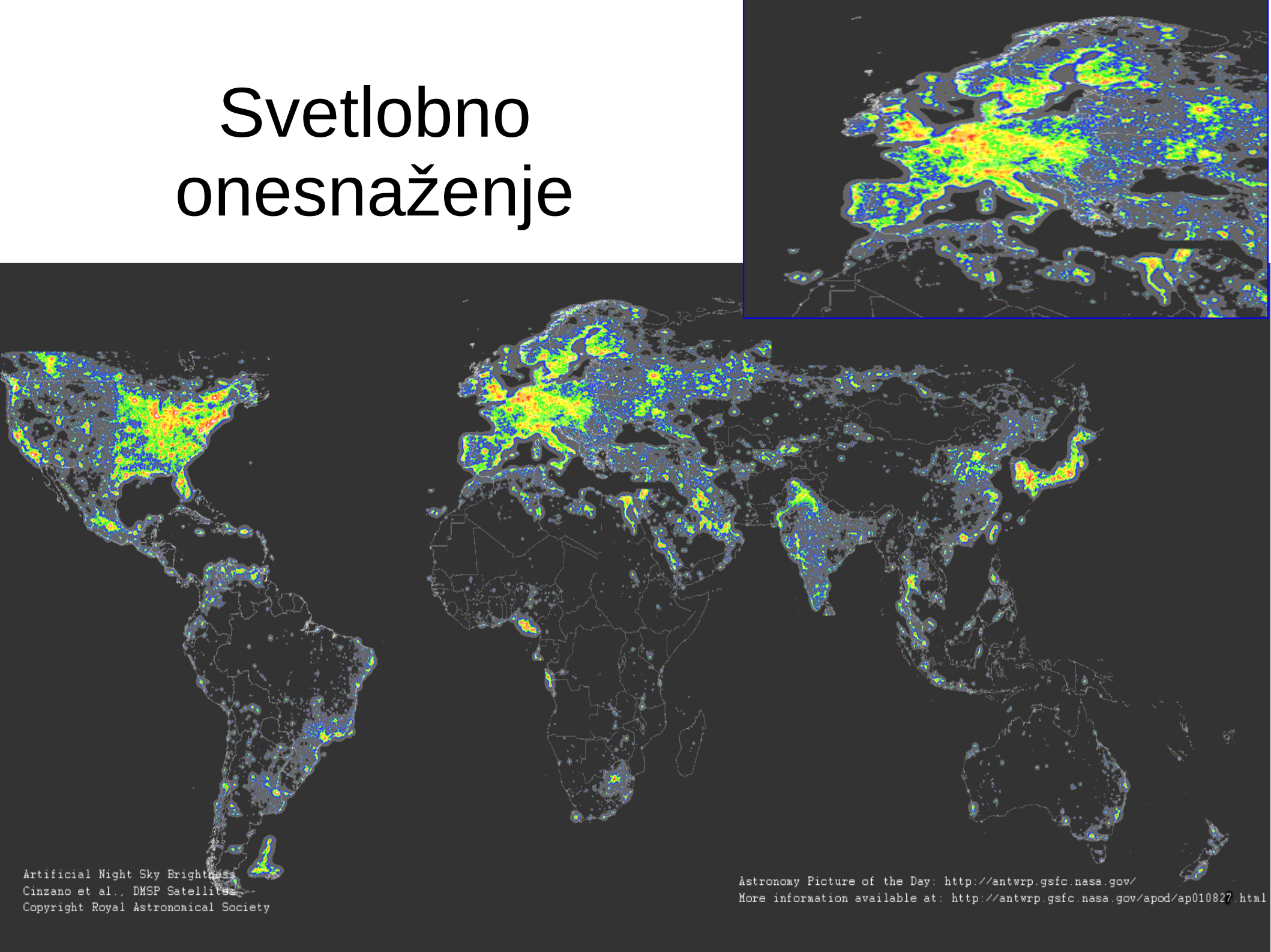


# In potem še: Zemljina atmosfera



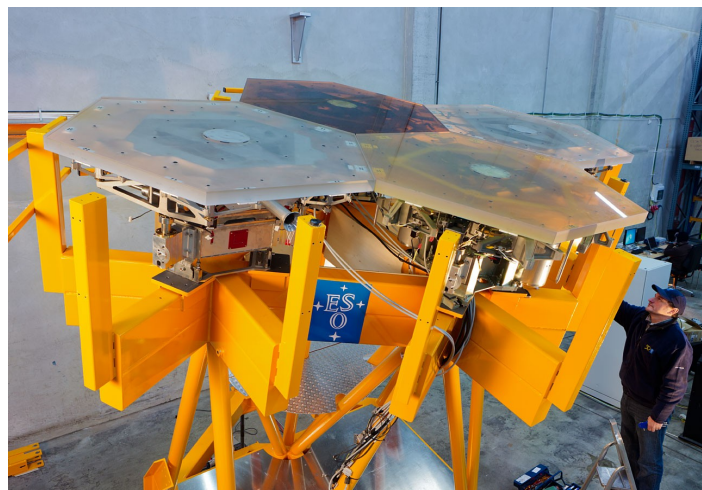


# Svetlobno onesnaženje



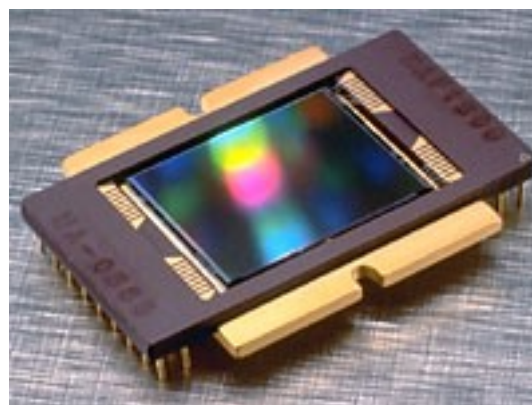
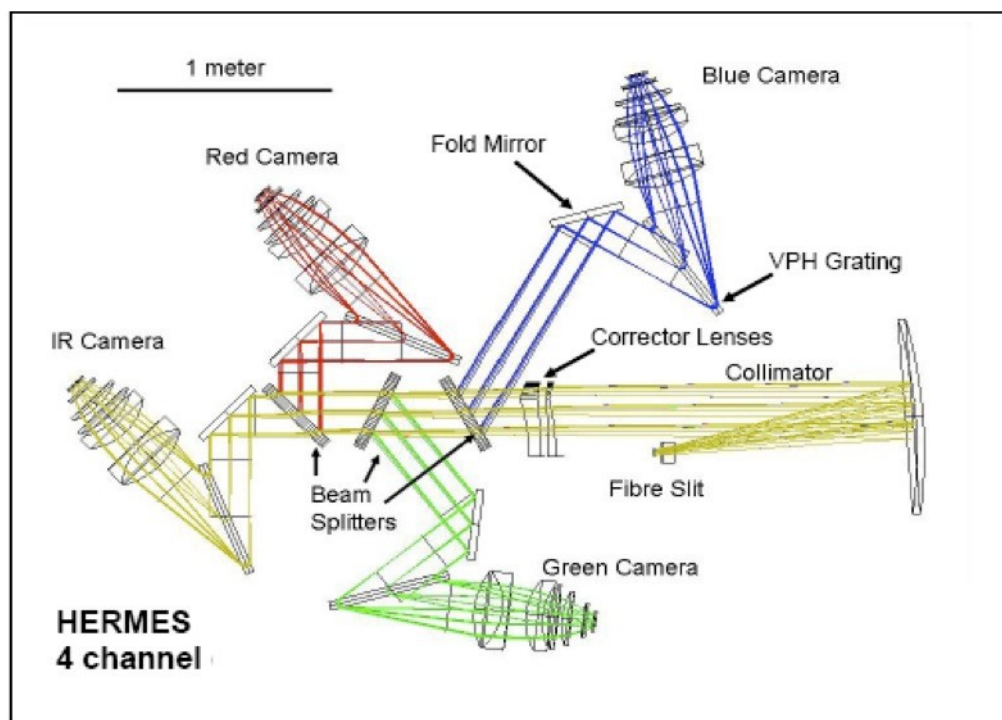
# Sodobni teleskopi

- VLT: 4 x 8 m, E-ELT (leta 2024): 39 m
- Zbiralna moč E-ELT taka kot tista vseh ljudi, ki imajo tedaj noč.



# Instrumenti in detektorji

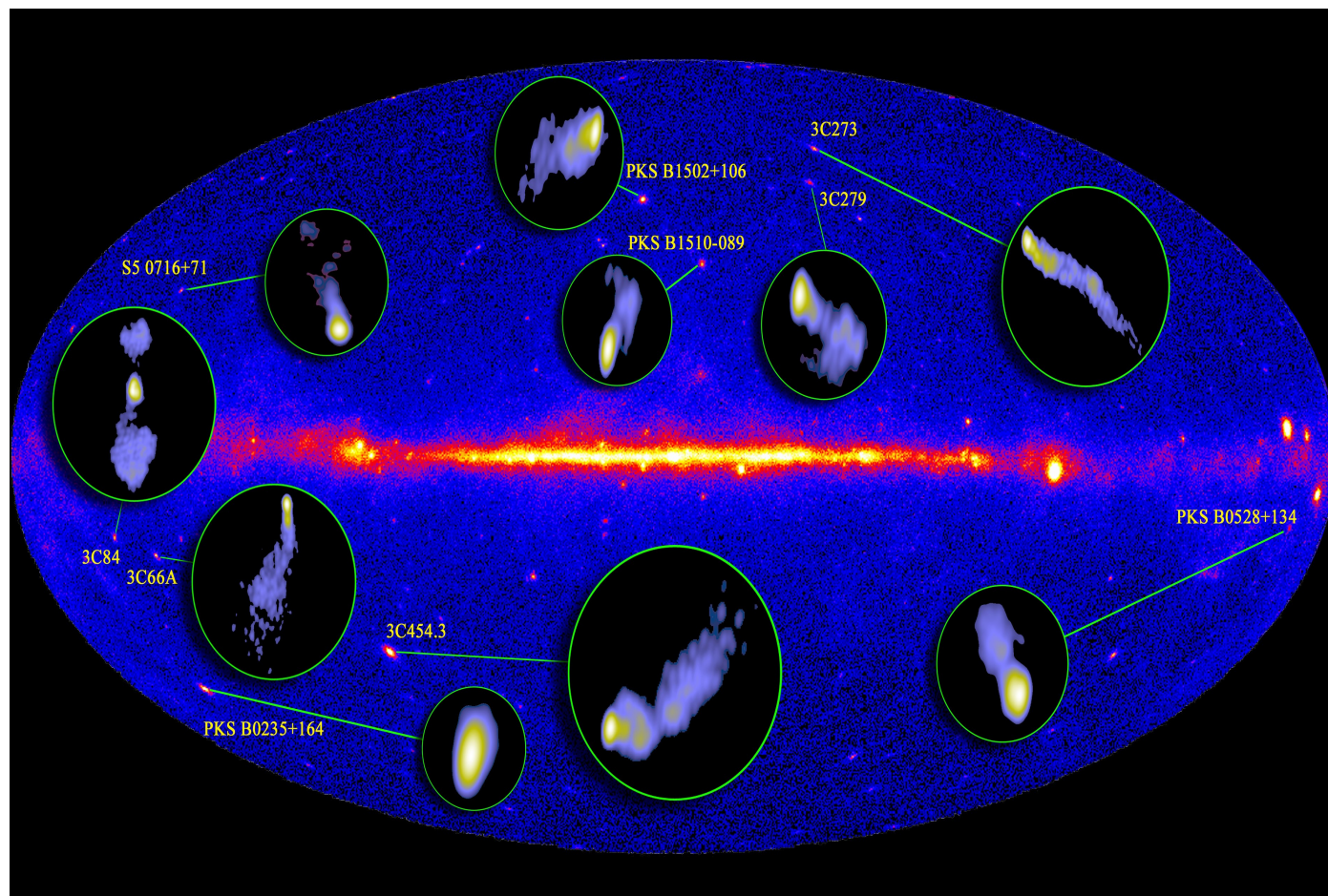
- Optična vlakna, fotometri, spektrografi, polarimetri, ...
- Detektorji CCD
- Računalniška analiza, pogosto celo z drugega kontinenta...

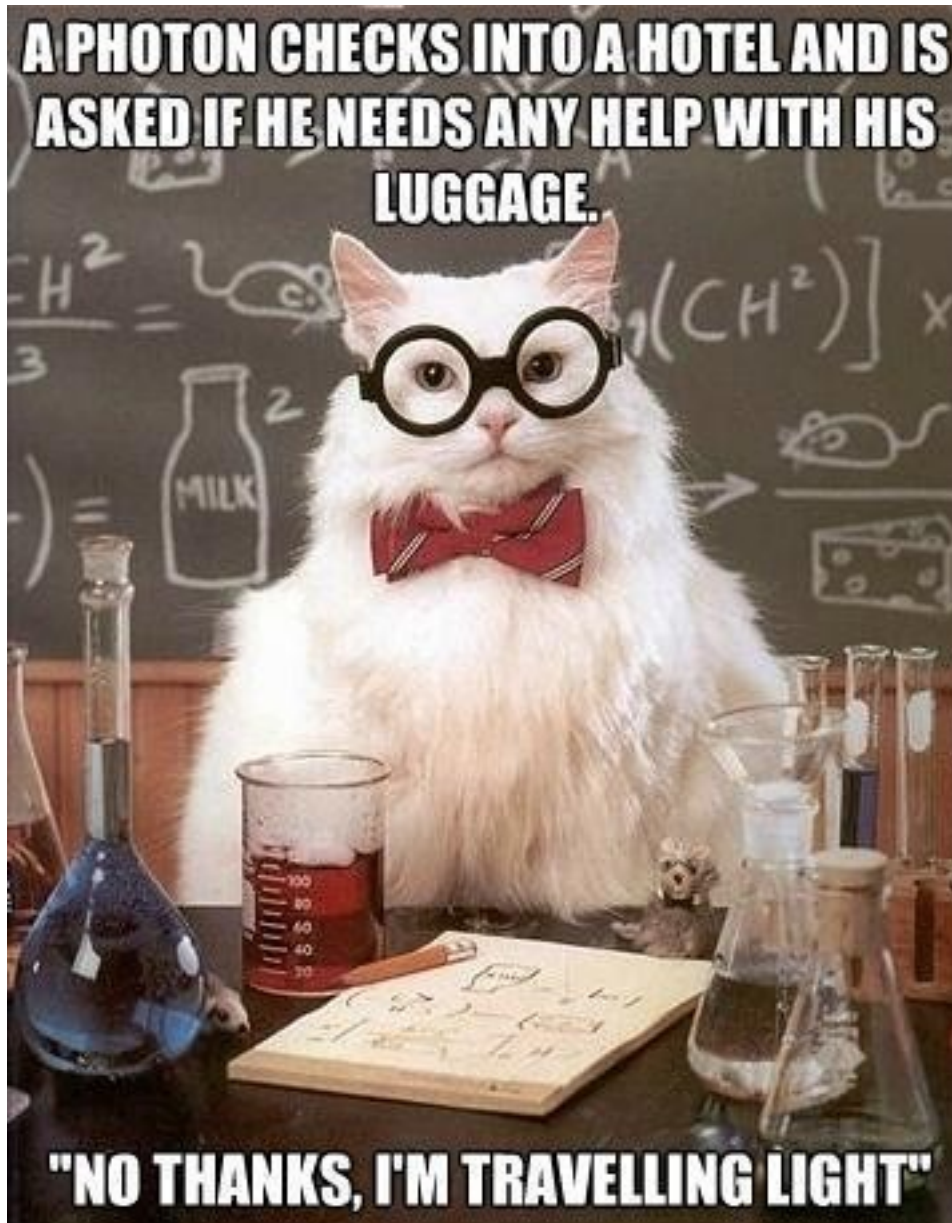




# Ob vidni, infrardeči,... svetlobi

- radijska svetloba, rentgenska svetloba, sevanje gama,...
- nevtrini,
- kozmični žarki,
- gravitacijski valovi,
- temna snov,
- temna energija.





Hvala za pozornost!