

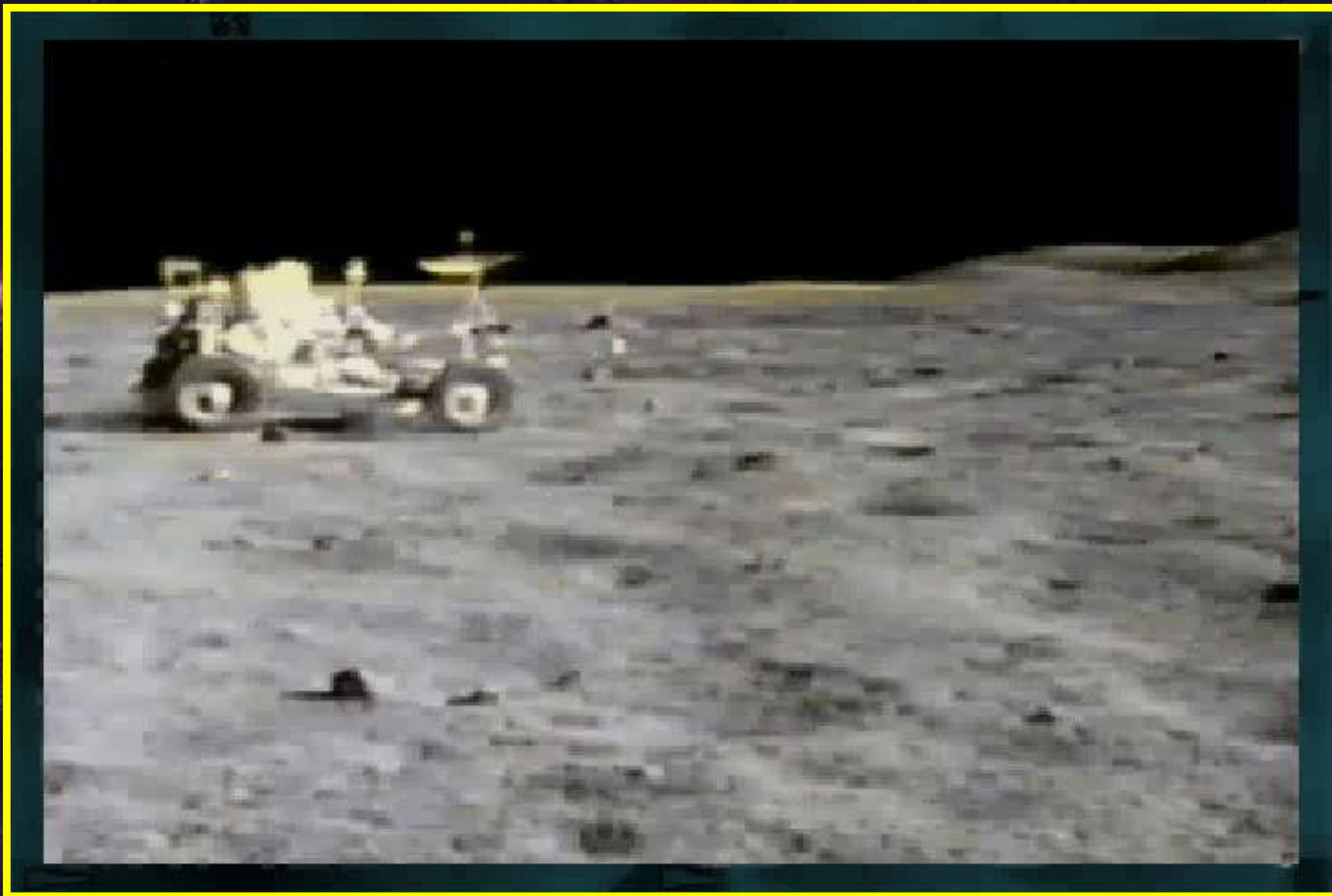
Prof.dr Dragan Gajić

Uvod u astronomiju

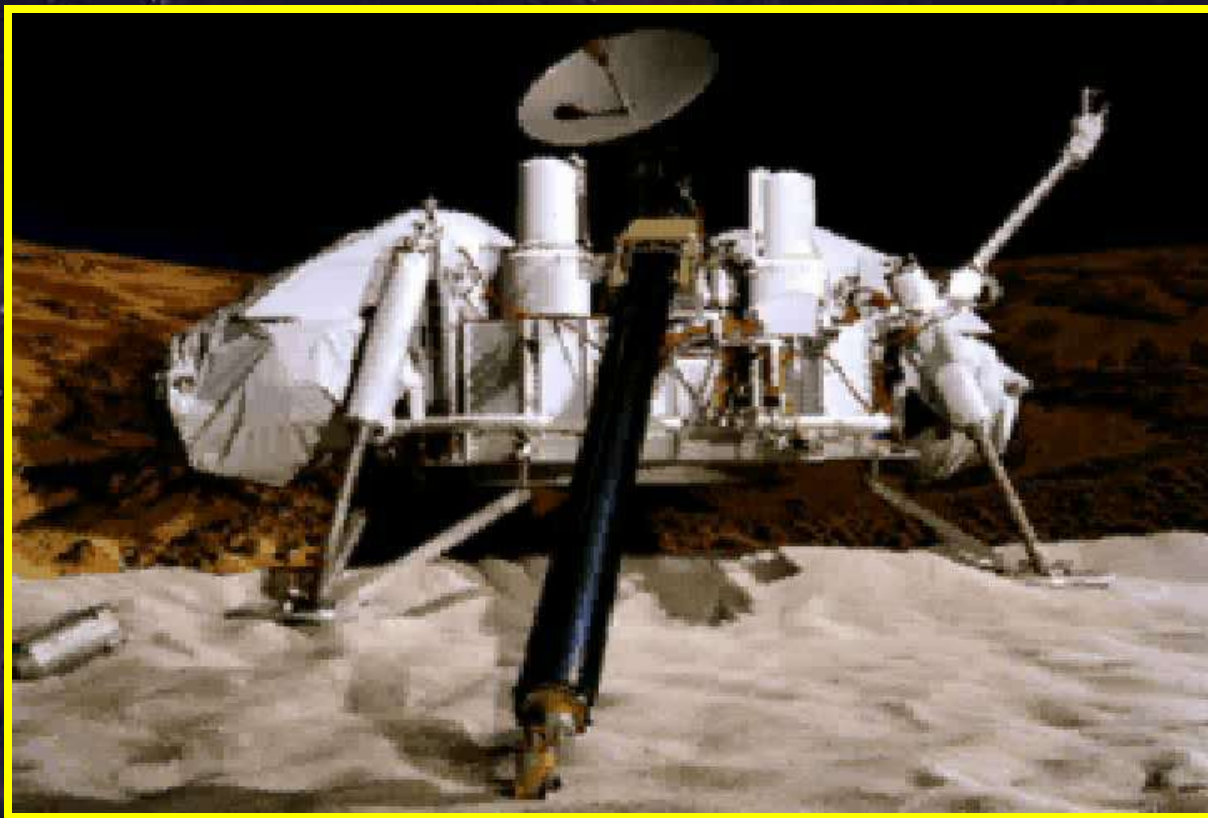




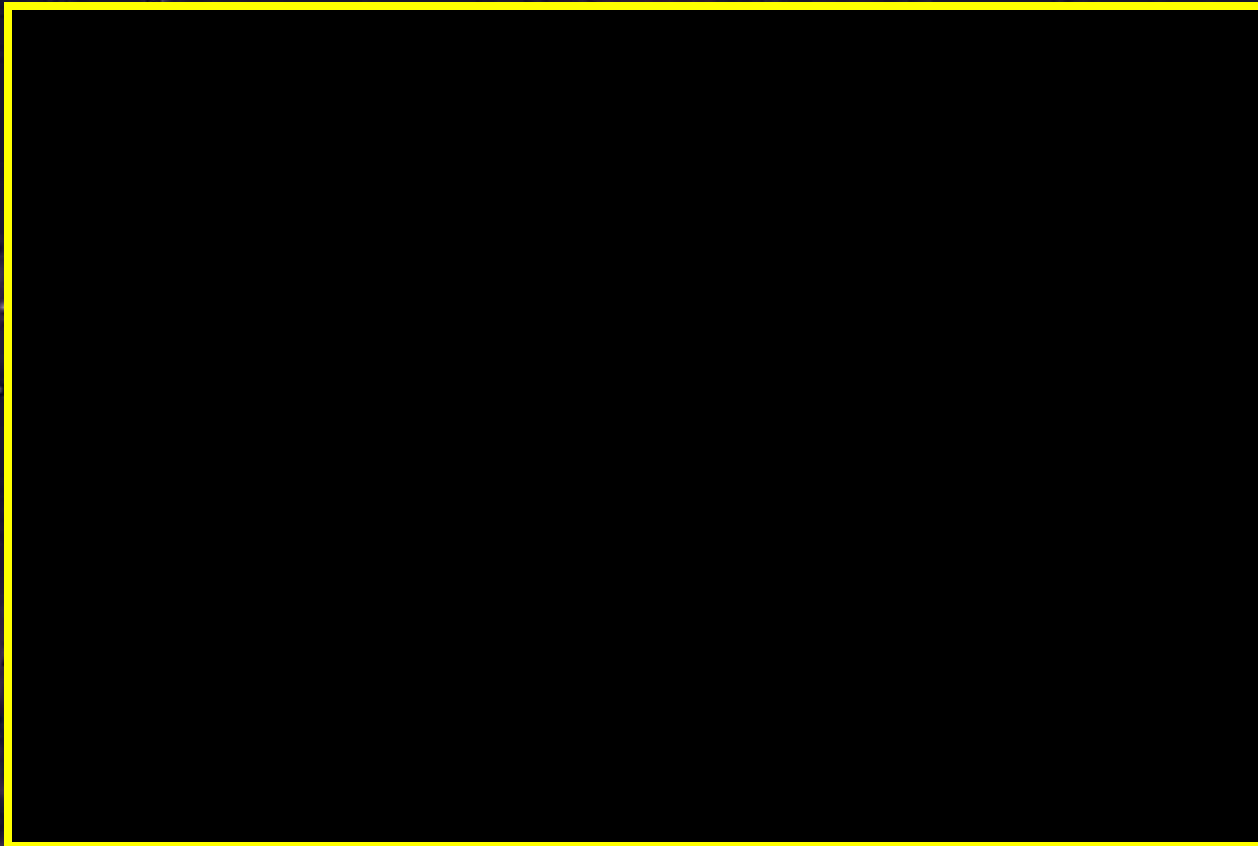
Zračenje nebeskih tela.



Informacije o nebeskim telima mogu se dobiti direktno, spuštanjem ljudske posade na njih...



ili slanjem sonde koje oko njih orbitiraju, prikupljajući neophodne podatke, ili, pak, spuštanjem rovera ili lendarera koji “na licu mesta” analiziraju uzorke tla, atmosfere, itd. Osim hemijskih analiza, pomoću njih se vrše i merenja temperature, elektromagnetnog polja, masene gustine, brzine vetrova, itd.



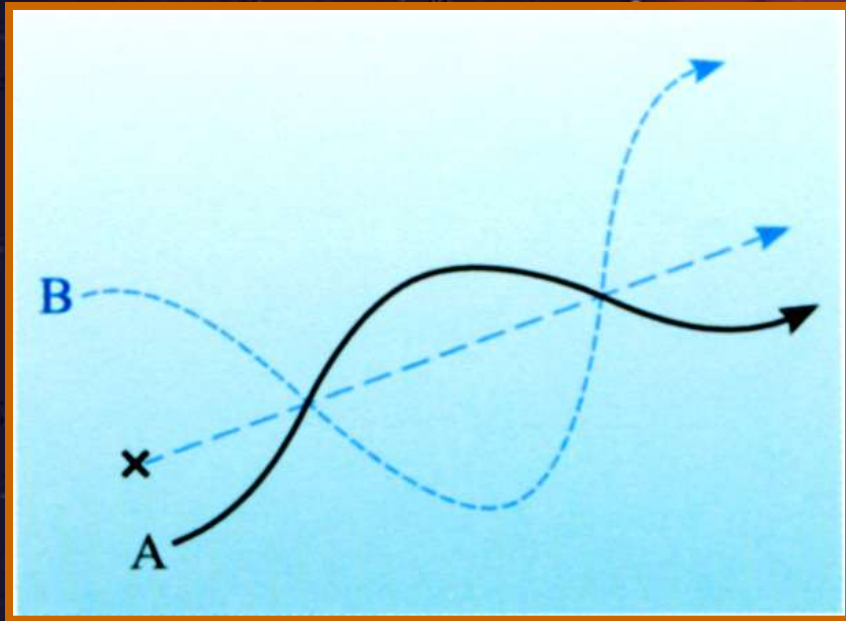
Podaci se dobijaju i analizom “nebeskog kamenja” – meteorita koji na Zemlju dospevaju iz kosmičkog prostora. Dnevno na Zemlju padne oko 300 tona mikrometeoritskog materijala.

Podaci o nebeskim telima (mase, elementi orbita i kretanja), pogotovu, kod dvojnih i višestrukih zvezdanih sistema ili planeta i njihovih satelita, uz primenu Keplerovih zakona, mogu se odrediti na osnovu poremećaja u njihovom kretanju. Tako je npr. otkriven Sirijus B, pratilac najsjajnije zvezde našeg neba (posle Sunca, naravno).



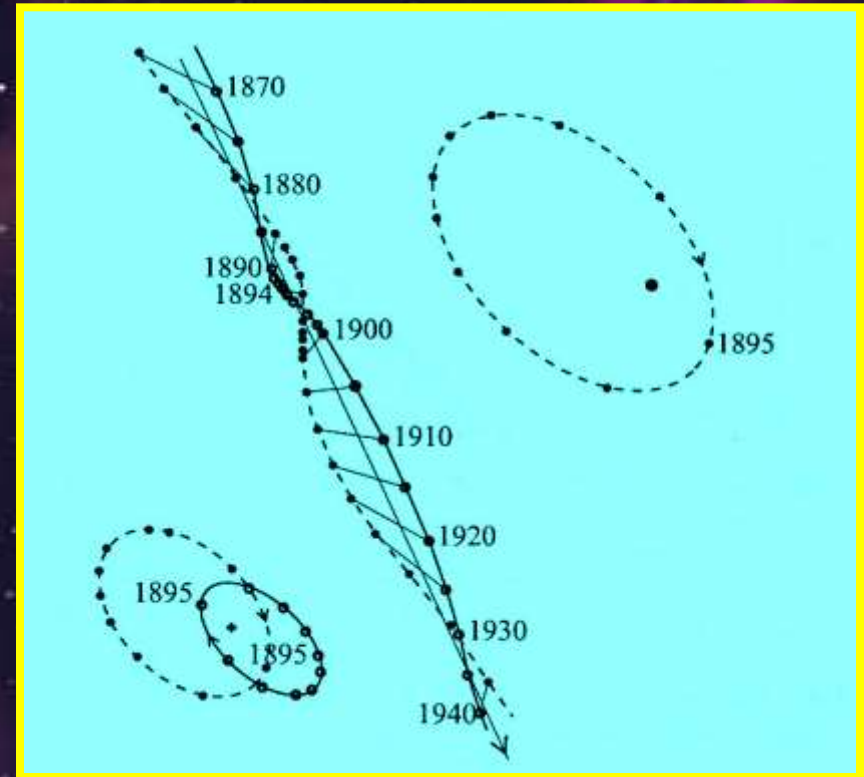
Inače, Sirijus je najsjajnija zvezda u sazvežđu Veliki Pas (α CMa). Udaljena je od nas oko 8.8 sg i oko 1.8 puta je veća od Sunca. Od nas se udaljava brzinom oko 8 km/s.

Posle višegodišnjeg praćenja F.W. Besel je 1844. g. objavio da Sirijus menja svoj položaj, kao da se kreće po blago zatalasanoj putanji. Pretpostavio da je to zbog gravitacionog delovanja nekog, do tada, nepoznatog Sirijusovog pratioca. Proračunao je da ovo telo obiđe oko Sirijusa jednom u 50 godina.

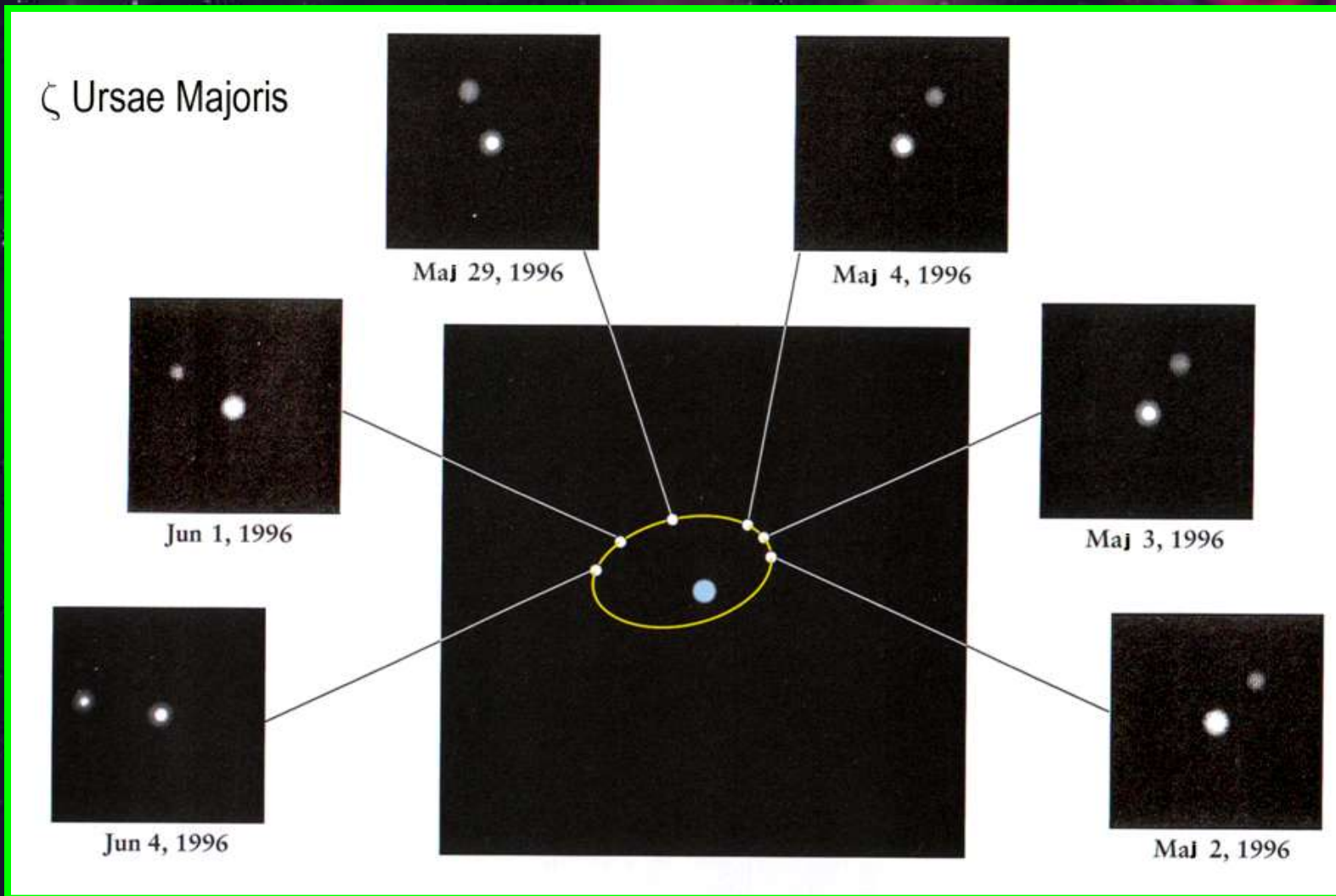


Januara 1862. g. E. Klark je, na oko $10''$ od Sirijusa, uočio slabu zvezdicu. Danas znamo da je to patuljasta zvezda Sirijus B, čiji je prečnik oko 2.5 puta veći od Zemljinog, i koja je gasovita i pored enormne gustine.

Merenja su pokazala da se centar masa (baricentar) ovog sistema kreće po pravoj liniji, dok komponente običu oko njega sa periodom od 49.7 godina.



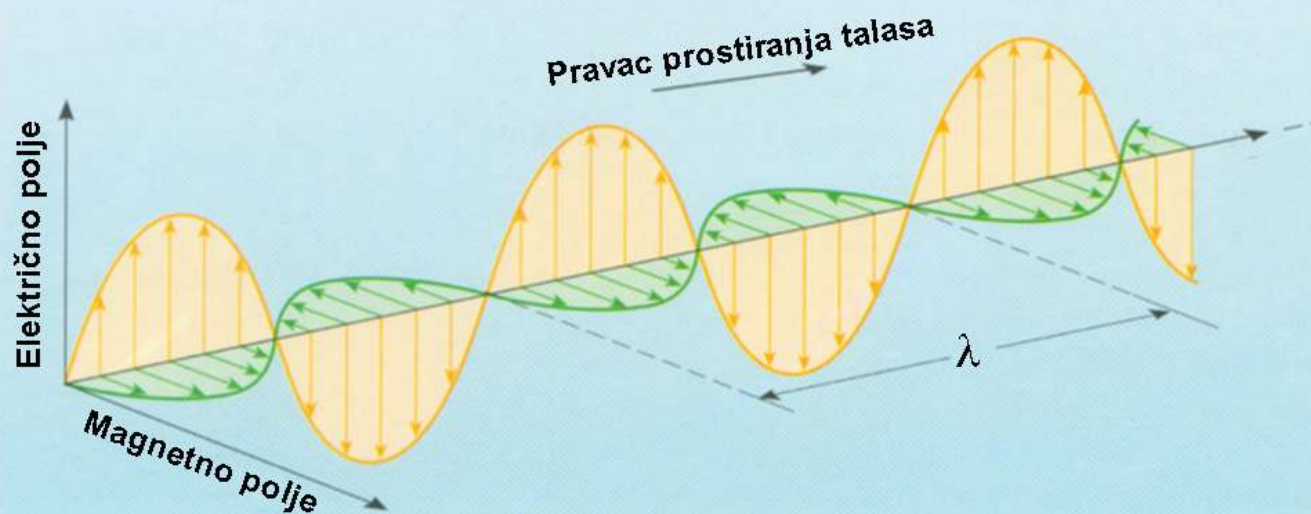
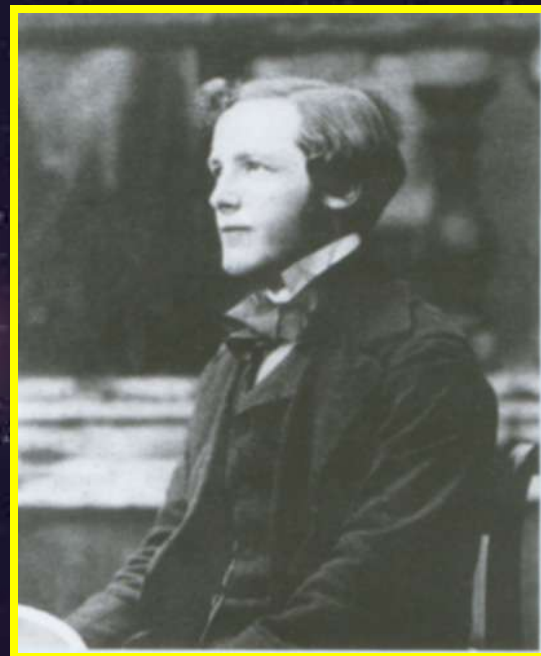
Slično ponašanje snimljeno je i kod zvezde Zeta Ursae Majoris.



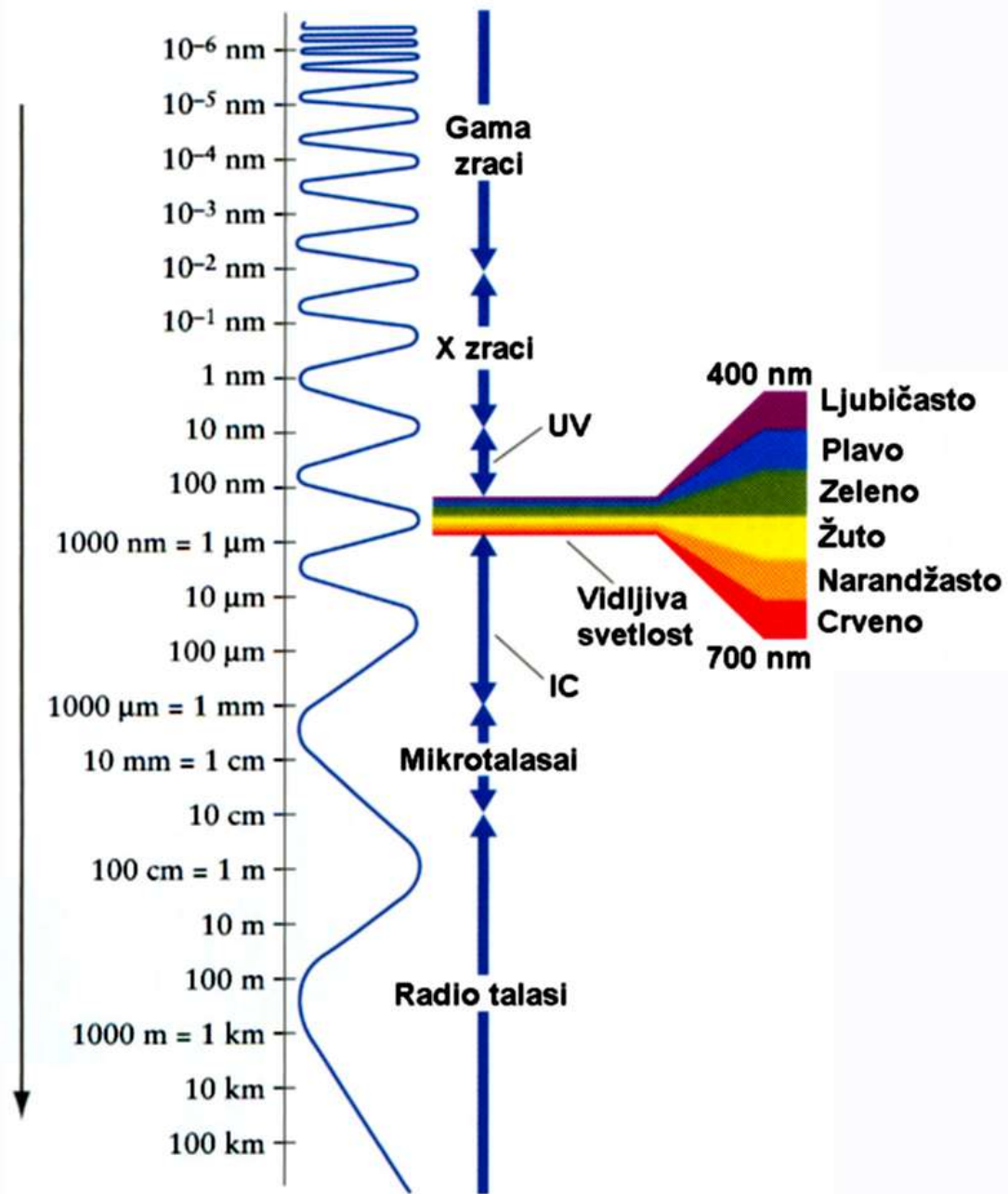
Osnovni izvor informacija o objektima izvan Sunčevog sistema predstavlja svetlost koja sa njih dospeva do nas.



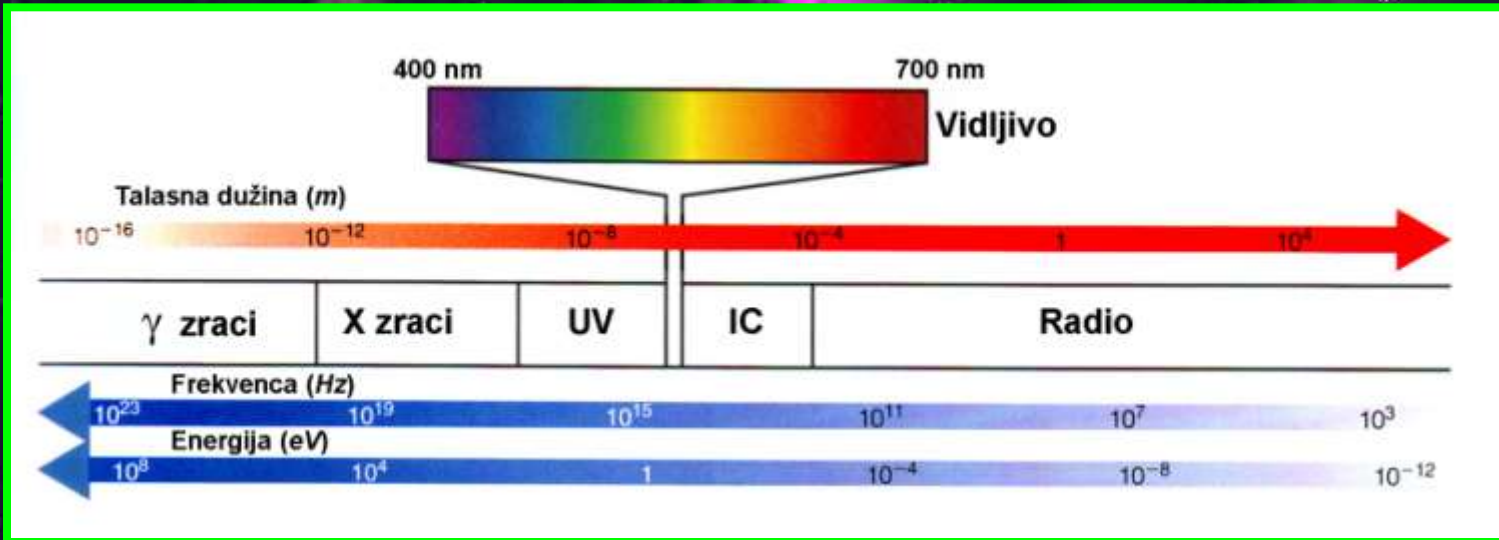
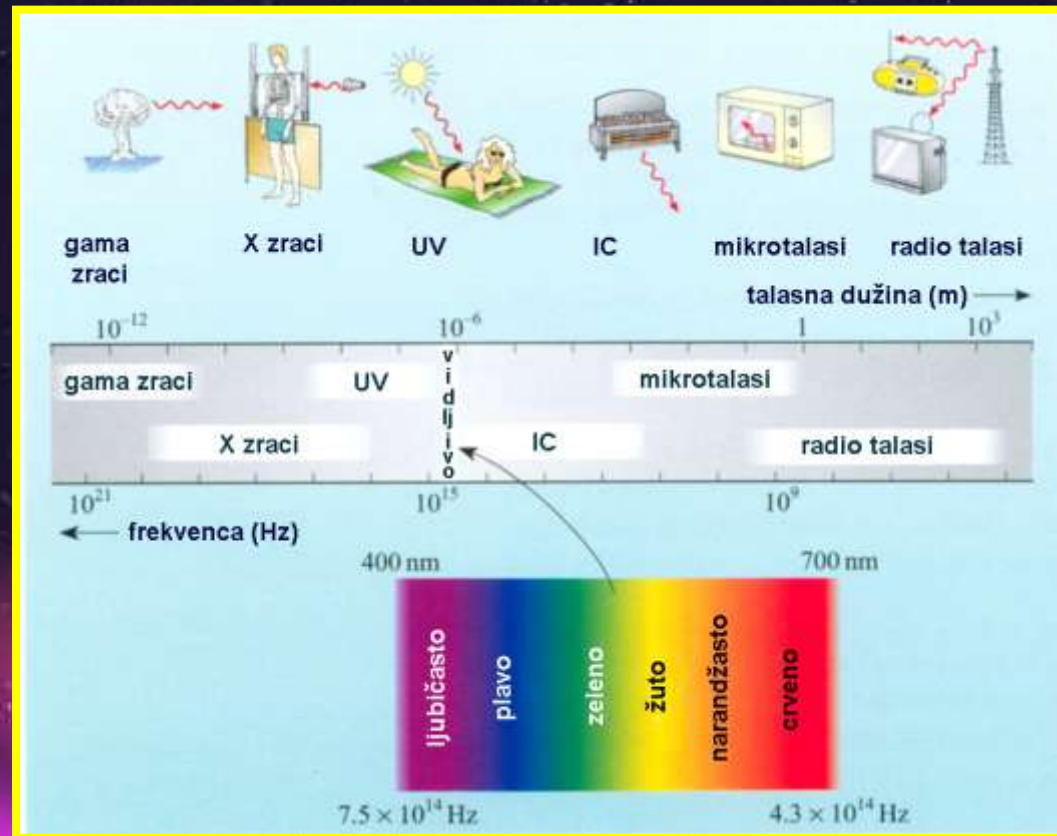
Još je Dž. Meksvel ustanovio da svetlost predstavlja elektromagnetne talase. Na osnovu e.m. zračenja koje se emituje sa nebeskih tela ili se od njih reflektuje mogu se dobiti podaci o položajima i kretanjima nebeskih tela, njihovom hemijskom sastavu, temperaturi, pritisku, strukturi, jačinama prisutnih polja, itd.



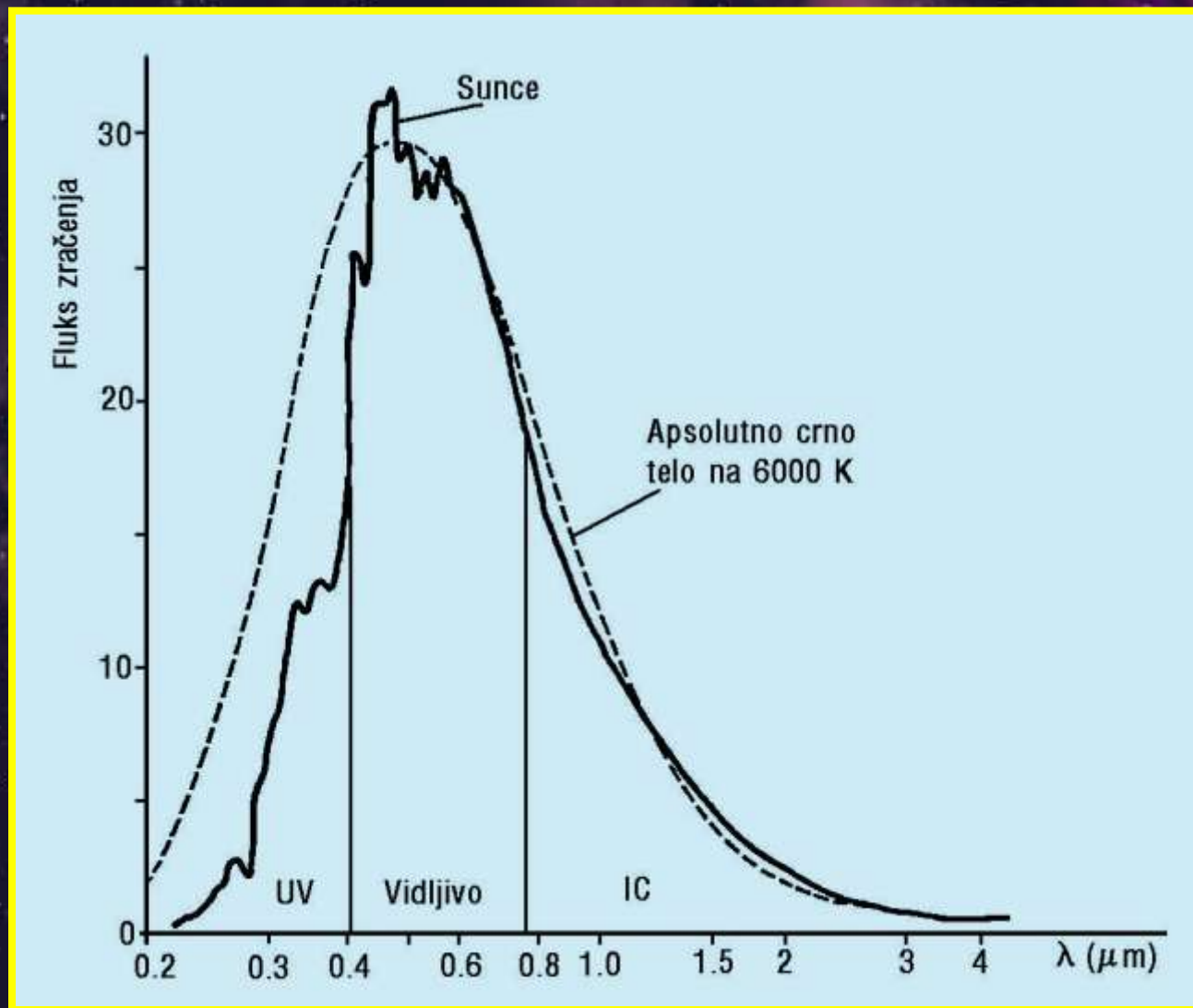
Na slici su prikazane vrste e.m. zračenja s obzirom na njihovu talasnu dužinu. Daleko gama zračenje je sa najmanjim talasnim dužinama, dok su talasne dužine najveće kod dugih radio talasa.



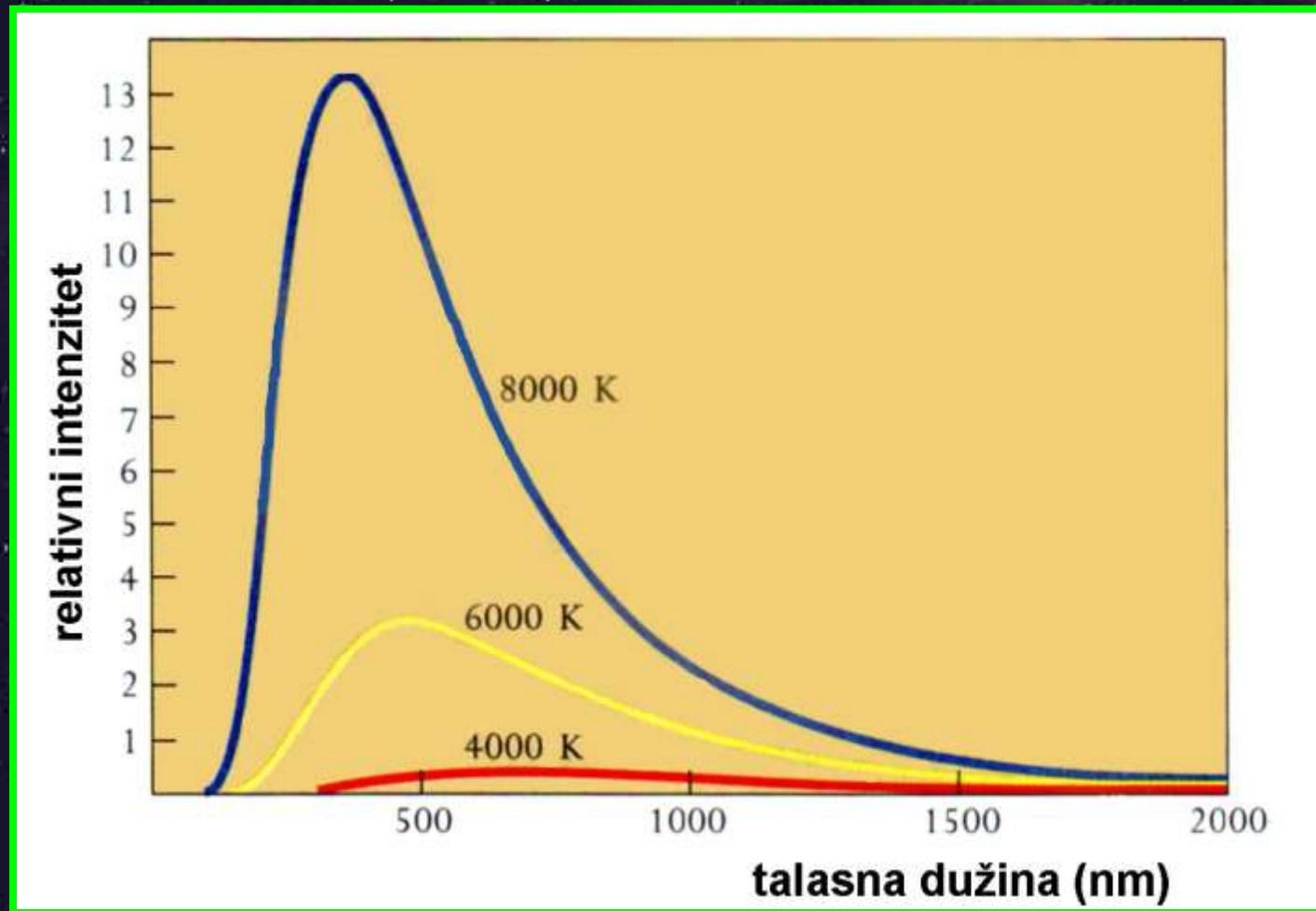
Većim talasnim dužinama odgovaraju manje frekvence i manje energije ($E=h\nu$). Vidljivi deo spektra e.m. zračenja leži u uzanom opsegu talasnih dužina od 400 do 700 nm.



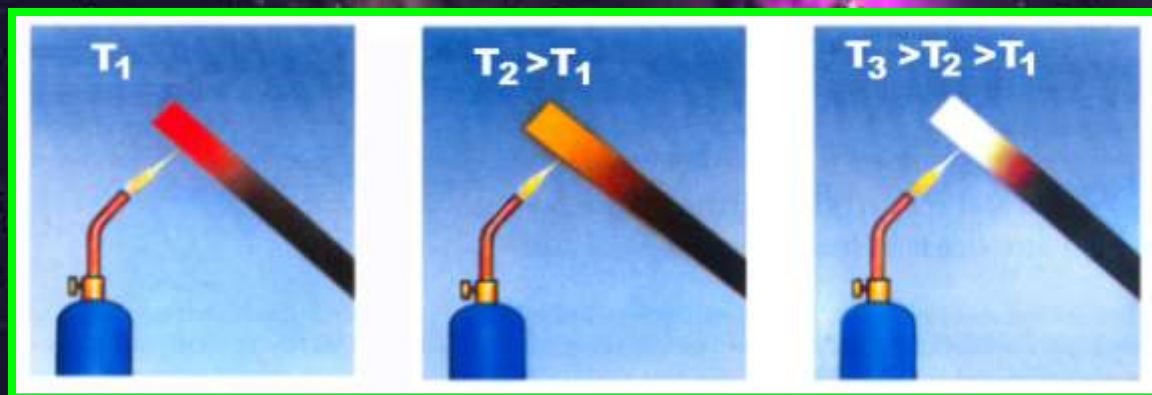
Sunce emituje zračenje čiji je intenzitet najveći upravo u vidljivom delu, pa nije ni čudo što su organi vida organizama na Zemlji najosetljiviji u ovom delu spektra.



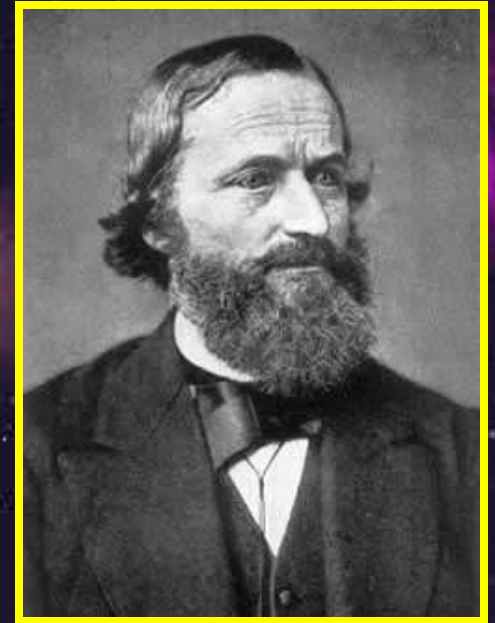
Raspodela energije zračenja po talasnim dužinama u spektrima zvezda u skladu je sa Vinovim zakonom pomeranja: $\lambda_{max}T=b$, $b=2.89 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$, gde je λ_{max} talasna dužina koja odgovara maksimalnom intenzitetu zračenja a T je temperatura crnog tela (zvezde) koje zrači.



Oblast talasnih dužina oko λ_{max} određuje boju zvezde, a to je definisano površinskom temperaturom. Zvezde čija je površinska temperatura između 4300 i 7700 K imaju maksimum u vidljivoj oblasti spektra. Efektivna temperatura Sunca je oko 5800 K, tako da je maksimum intenziteta njegovog zračenja u žutom delu vidljivog dela e.m. spektra. Sunce spada u žute (G2) zvezde. Zvezde čije su površine hladnije od 4300 K imaju maksimum zračenja u infracrvenoj, a one toplije od 7700 K u ultraljubičastoj oblasti.



Određivanje osnovnih karakteristika nebeskih tela na osnovu e.m. zračenja omogućeno je otkrićem spektralne analize, čiji su rodonačelnici Kirhof i Bunzen (1859. g.). U njenoj osnovi je princip identičnosti: jedna supstanca emituje ili apsorbuje, zrači ili upija elektromagnetno zračenje uvek sa istim spektralnim linijama.



Spektri nebeskih tela mogu biti:

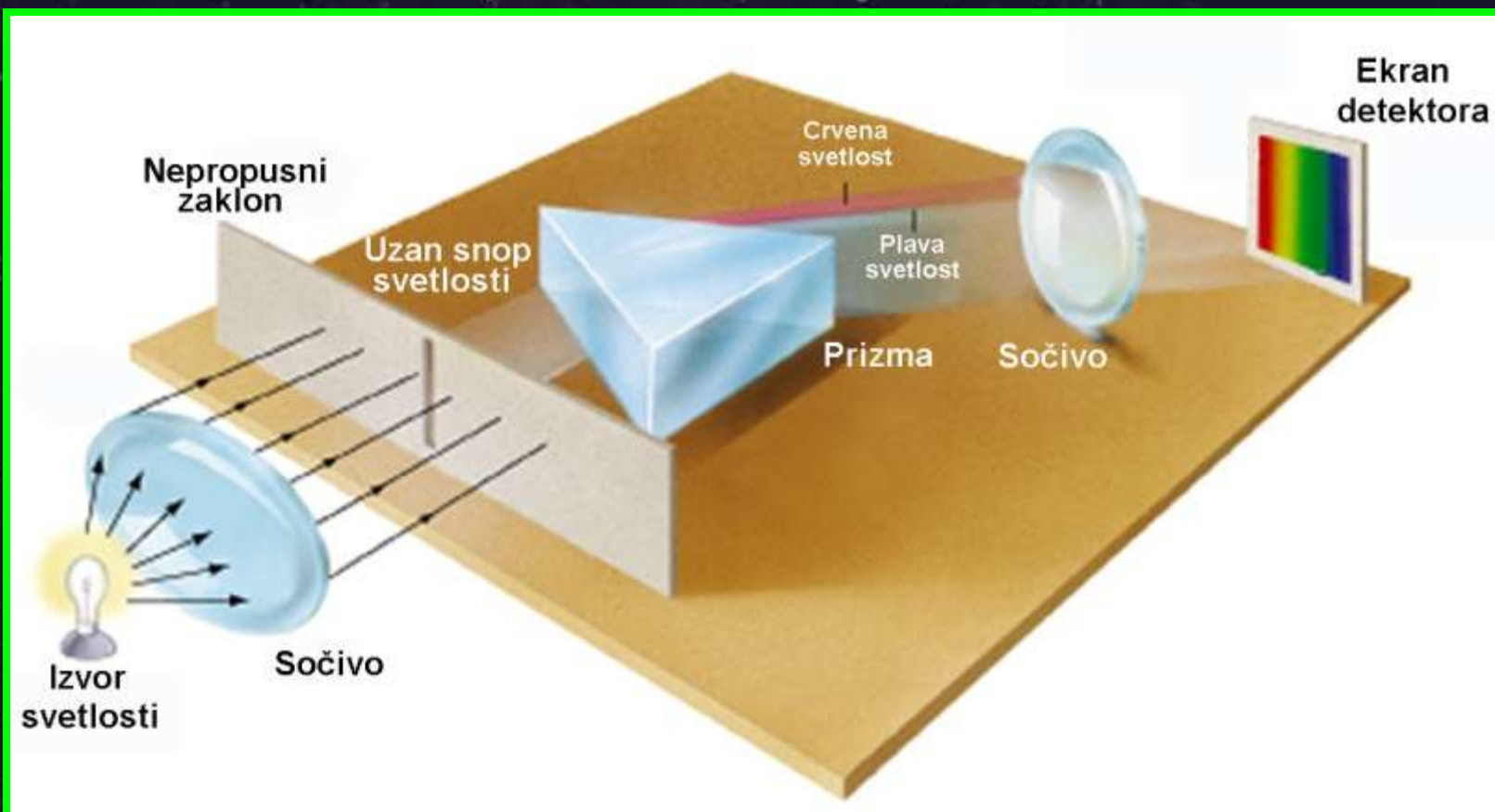
1. Kontinuirani (neprekidni)

2. Linijski a) apsorpcioni b) emisijski

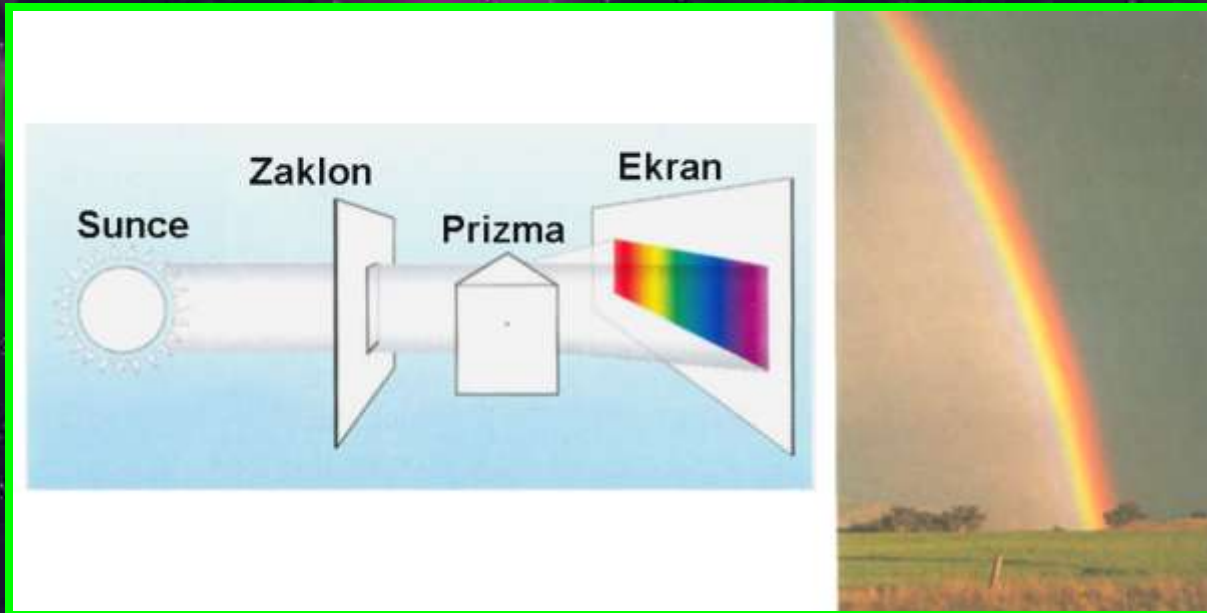
Neprekidan spektar sastoji se od zračenja svih talasnih dužina. Emituju ga usijana čvrsta tela ili usijani gasovi velike gustine i zapremine (zvezde). Njutn je utvrdio da se ova "bela" svetlost može pomoću optičke prizme razložiti na niz boja.



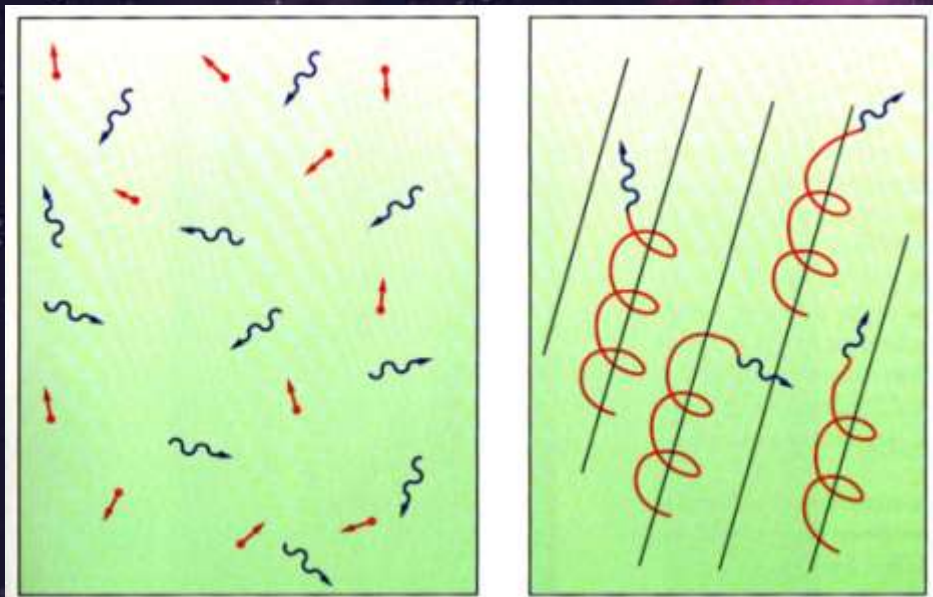
Ovakvo razlaganje (dispertzija) bele svetlosti je posledica činjenice da se zračenja različitih talasnih dužina u istoj sredini prelamaju pod različitim uglovima.



Neprekidan spektar zvezda uglavnom je nastao kao posledica termalnih kretanja (toplotno zračenje) čestica usijanog zvezdanog gasa (plazme). Na ovo zračenje mogu se primeniti zakoni zračenja apsolutno crnog tela, premda se zvezde samo uslovno mogu tretirati kao tela u termodinamičkoj ravnoteži. Maksimalan intenzitet neprekidnog spektra toplotnog zračenja zavisi od temperature “površine” (fotosfere) zvezde sa koje se zračenje emituje. Zračenje sa maksimalnim intenzitetom određuje boju zvezde.



Osim toplotnog mehanizma, neprekidni spektar zvezda nastaje i kao rezultat **zakočnog zračenja. Ono nastaje prilikom ubrzanog kretanja naelektrisane čestice u polju druge naelektrisane čestice (istoimenog ili raznoimenog naelektrisanja). Prema Maksvelovoj teoriji, pri ubrzanom kretanju naelektrisane čestice emituju elektromagnetno zračenje. Tom prilikom gubitak kinetičke energije čestice jednak je energiji emitovanog fotona.**



Neprekidan spektar može nastati i **mehanizmom ciklotronske rotacije.**

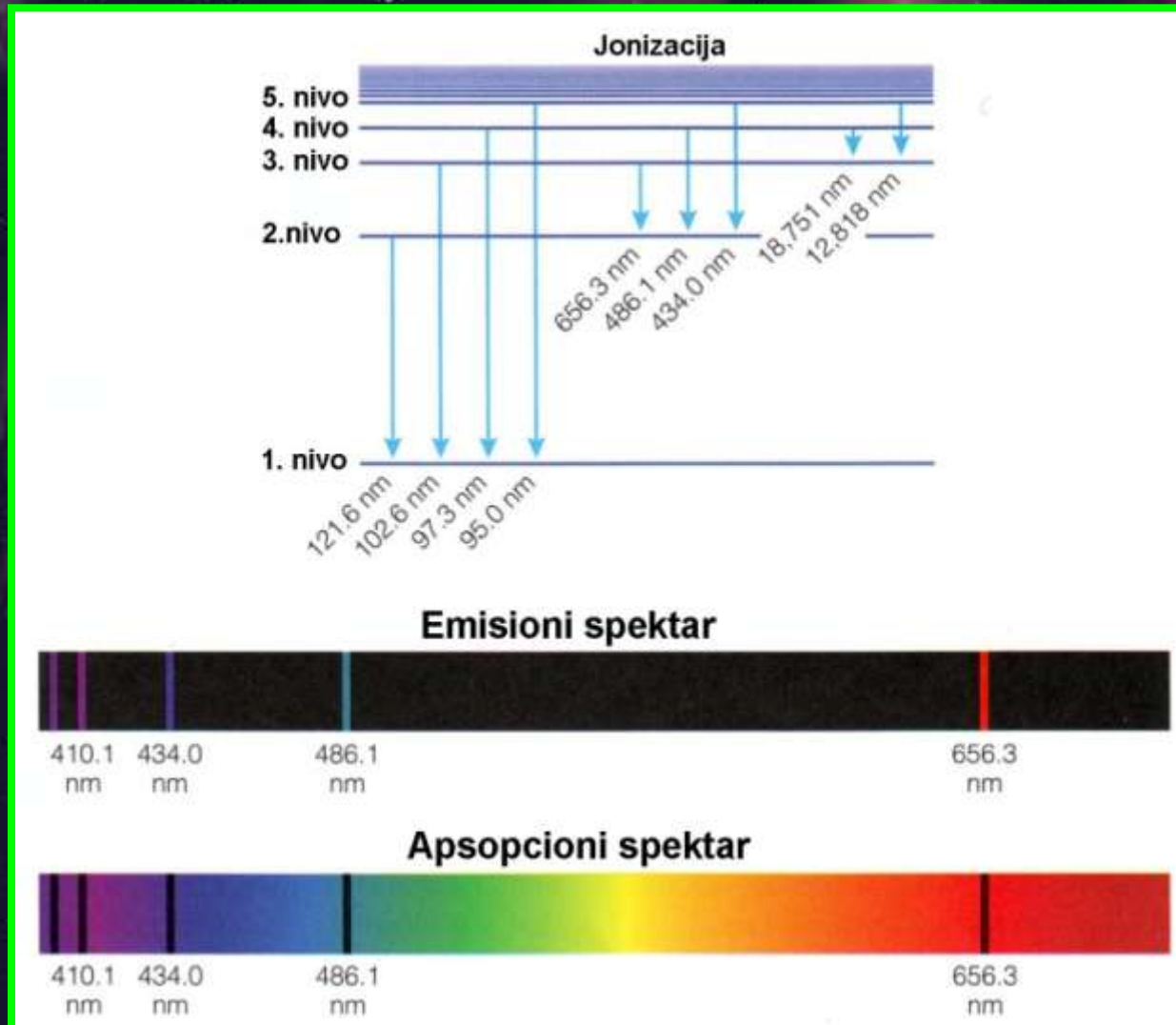
Naelektrisane čestice se, zbog delovanja Lorencove sile, u magnetnom polju kreću po kružnim ili spiralnim putanjama normalno na linije magnetnog polja.



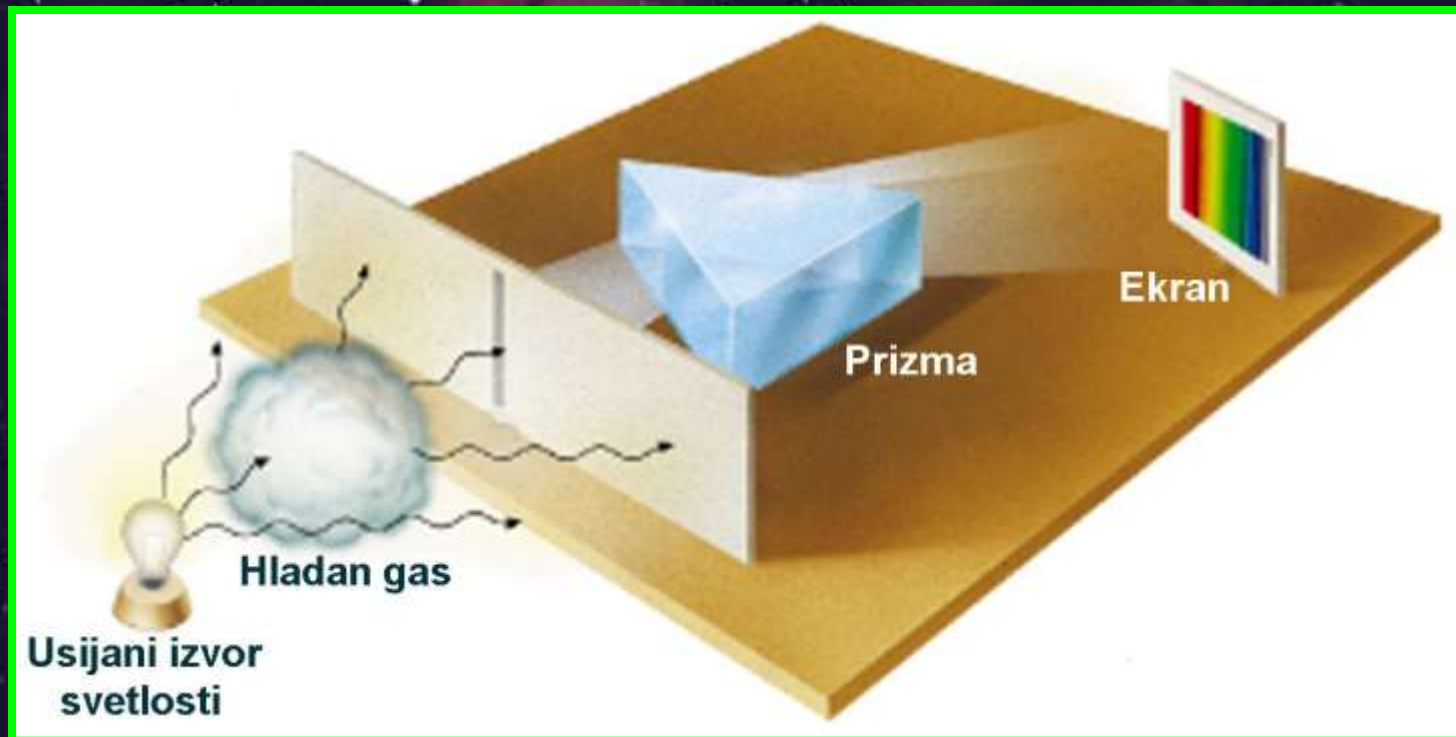
Prilikom ovog ubrzanog kretanja čestice emituju *sinhrotronsko zračenje*. Njegov intenzitet zavisi od energije čestice i od jačine magnetnog polja. Pošto su kod kosmičkih objekata plazmene čestice različitih energija to je i spektar ovog zračenja kontinuiran.

Analizom ciklotronskog zračenja mogu se dobiti informacije o karakteru i jačini magnetnog polja zvezda, planeta ili interstelarnih oblaka gasa i prašine.

Linijski spektar nastaje kod razređenih gasova sastavljenih od atoma čiji elektroni emituju ili apsorbiraju fotone sa uzanim intervalom talasnih dužina (prirodna širina linije).



Apsorpcioni linijski spektar stvara se kod razređenih hladnih gasova sastavljenih od atoma. Nastaje kada elektron u atomu apsorbira foton određene talasne dužine. Tom prilikom dolazi do ekscitacije ili jonizacije atoma, a na kontinuiranom fonu spektra nedostaje zračenje koje odgovara talasnoj dužini apsorbovanog fotona (tamne, apsorpcione linije).



Linijnski spektar predstavlja "ličnu kartu" svakog atoma. Intenziteti, položaji i međusobna rastojanja linija specifične su karakteristike svakog atoma. Jedan atom emituje ili apsorbuje fotone iste talasne dužine. Spektri atoma određenog elementa koji su nastali u Kosmosu podudaraju se sa laboratorijski dobijenim spektrima tih istih atoma. Spektroskopska analiza je beskontakna metoda koja omogućuje identifikaciju hemijskog sastava kosmičke supstance.

Emisione spektralne linije

Helijum



Natrijum



Neon



Litijum



Barijum



Emisione spektralne linije

He ϵ 397 nm H δ 410 nm H γ 434 nm H β 486 nm H α 656 nm

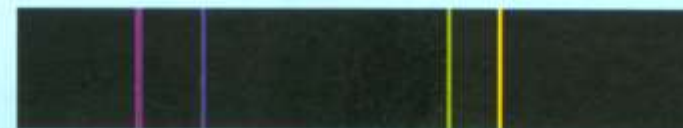
Vodonik
H



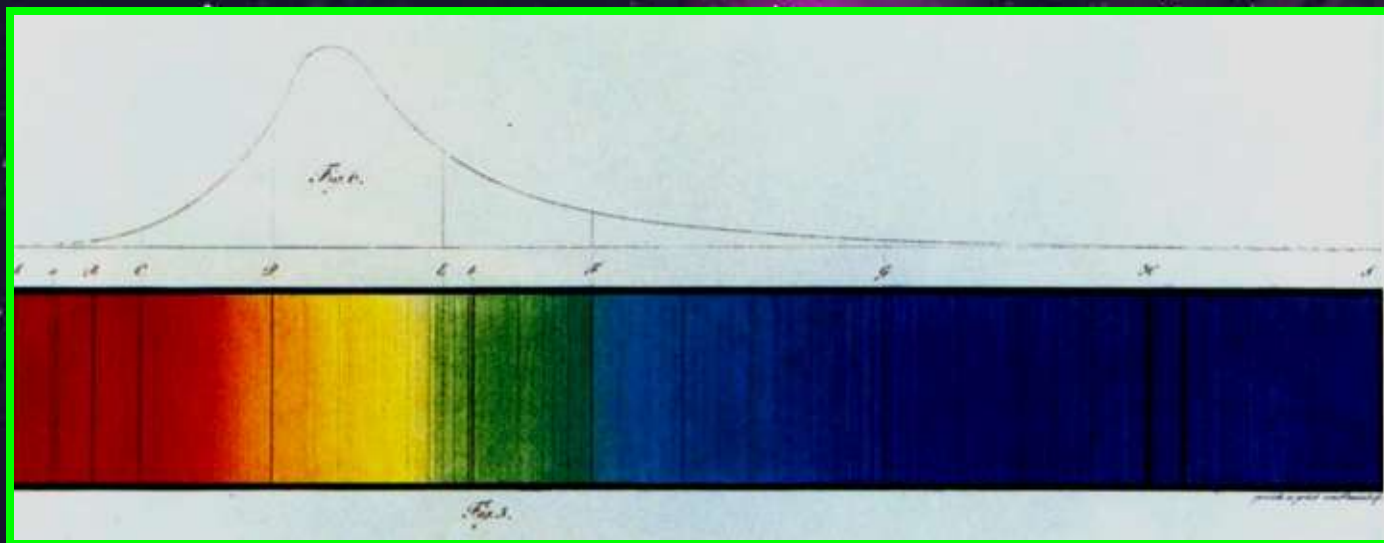
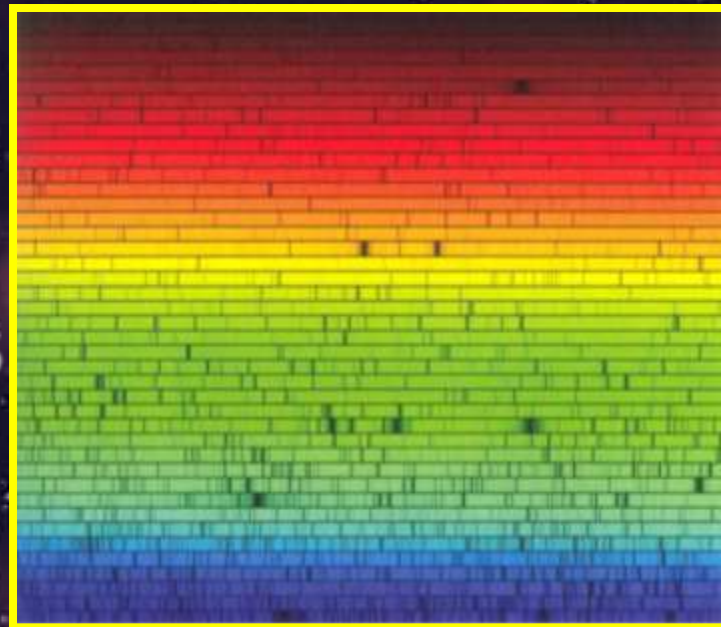
Helijum
He



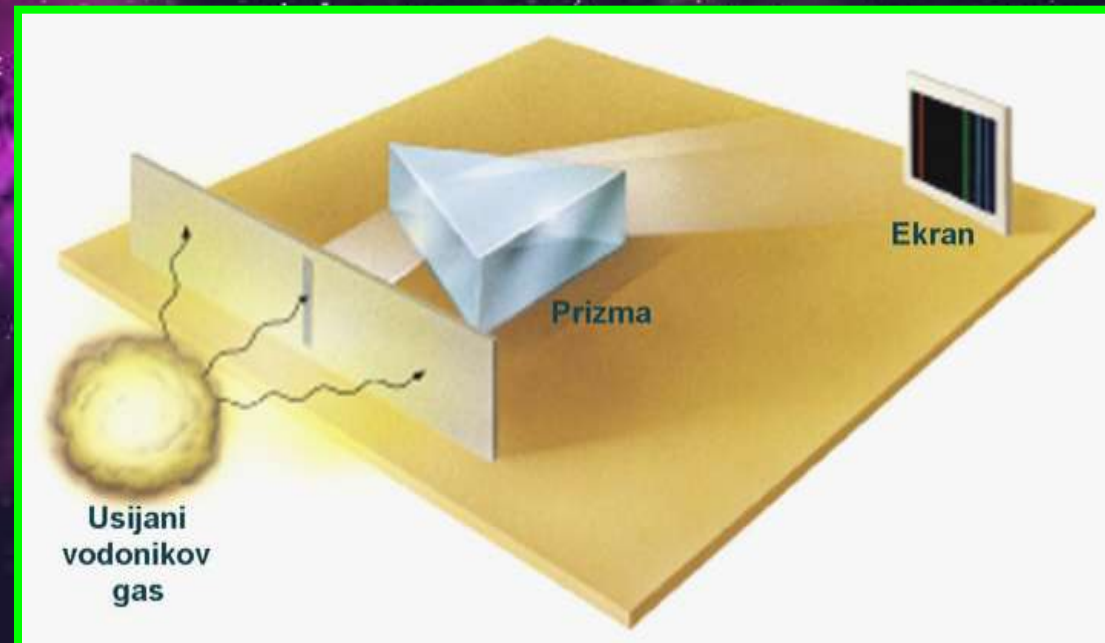
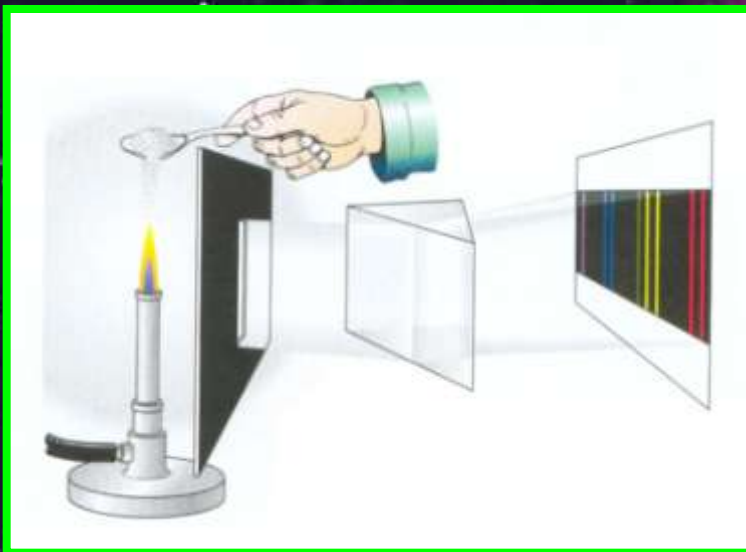
Živa
Hg



J.G. Fraunhofer je 1814. g. nakon usavršavanja spektroskopa u spektru Sunca snimio 576 tamnih linija (Fraunhoferove linije). Do danas je u spektru Sunca otkriveno 30 000 F. linija, koje odgovaraju laboratorijski dobijenim spektrima 72 elementa.



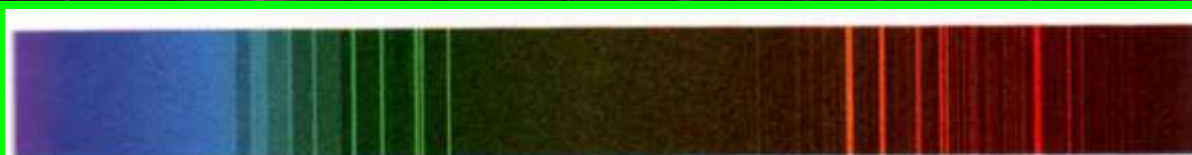
Emisioni linijski spektar nastaje kada prilikom deekscitacije kod usijanih gasova pobuđeni elektron emituje foton. Tom prilikom nastaju emisione, sjajne linije, koje odgovaraju atomima određene susstance. Linije superponiraju na kontinuirani fon već prisutnog zračenja.



Identifikacija hemijskog sastava kosmičkih objekata vrši se upoređivanjem njihovih linijskih spektara sa laboratorijski dobijenim spektrima poznatih elemenata. Dž. Lokjer je 1868. g. u spektru Sunca otkrio linije, do tada, nepoznatog elementa koji je nazvan helijum. Ovaj element je tek 1895. g. nađen i na Zemlji (Ramsej).

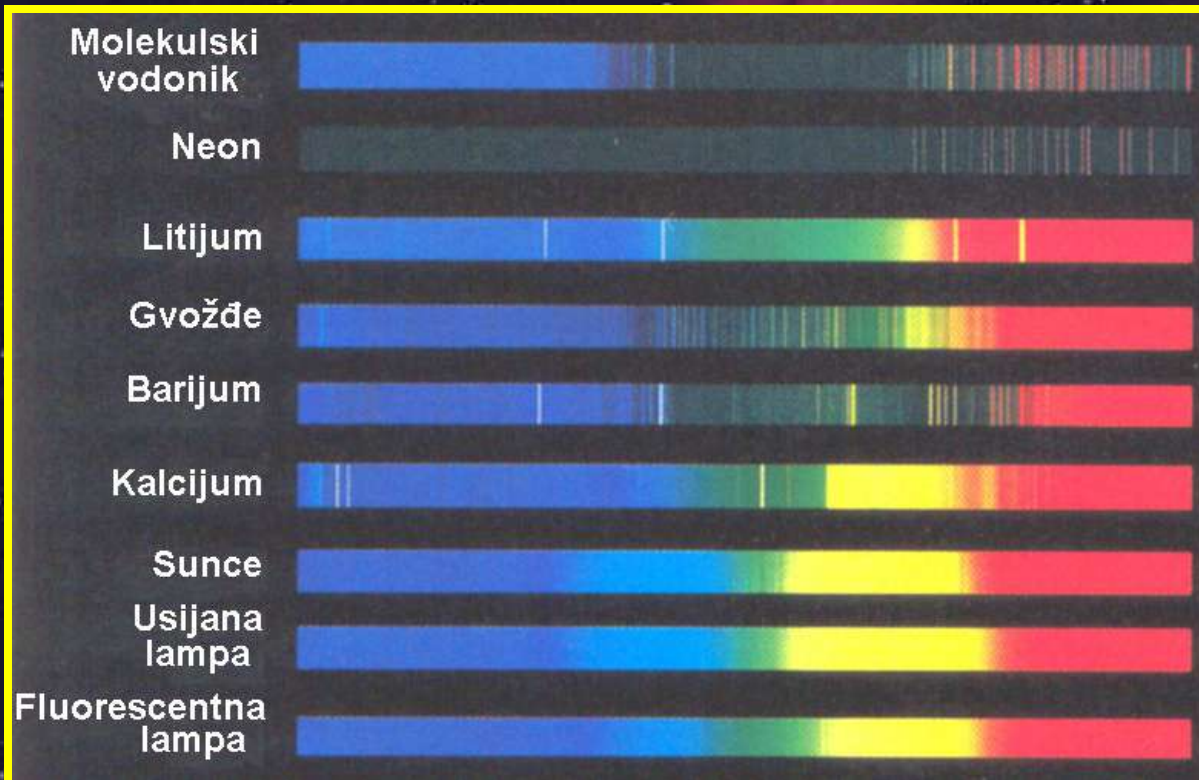


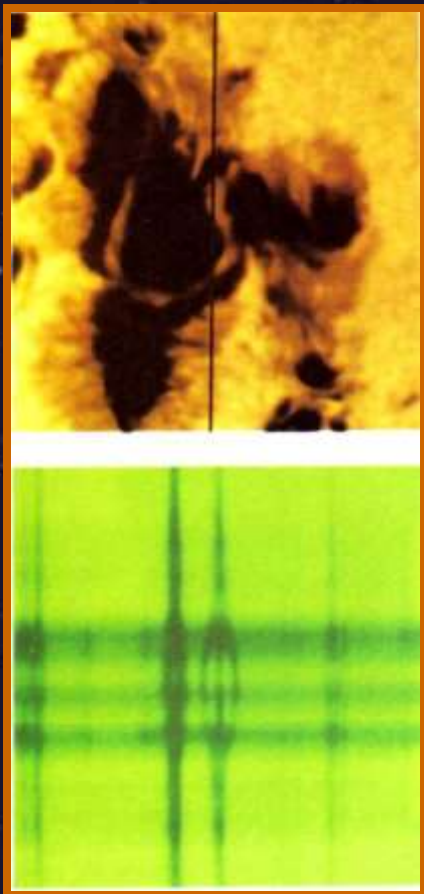
Spektralne linije nastaju u prelazu između diskretnih energetske nivoa atoma ili molekula. Molekuli emituju trakasti spektar, koji se sastoji od gusto složenih spektralnih linija. Osim rasporeda (čime se određuje



Spektar molekula vodonika (H_2) sa linijama koje su se "proširile" u trake (trakasti spektar)

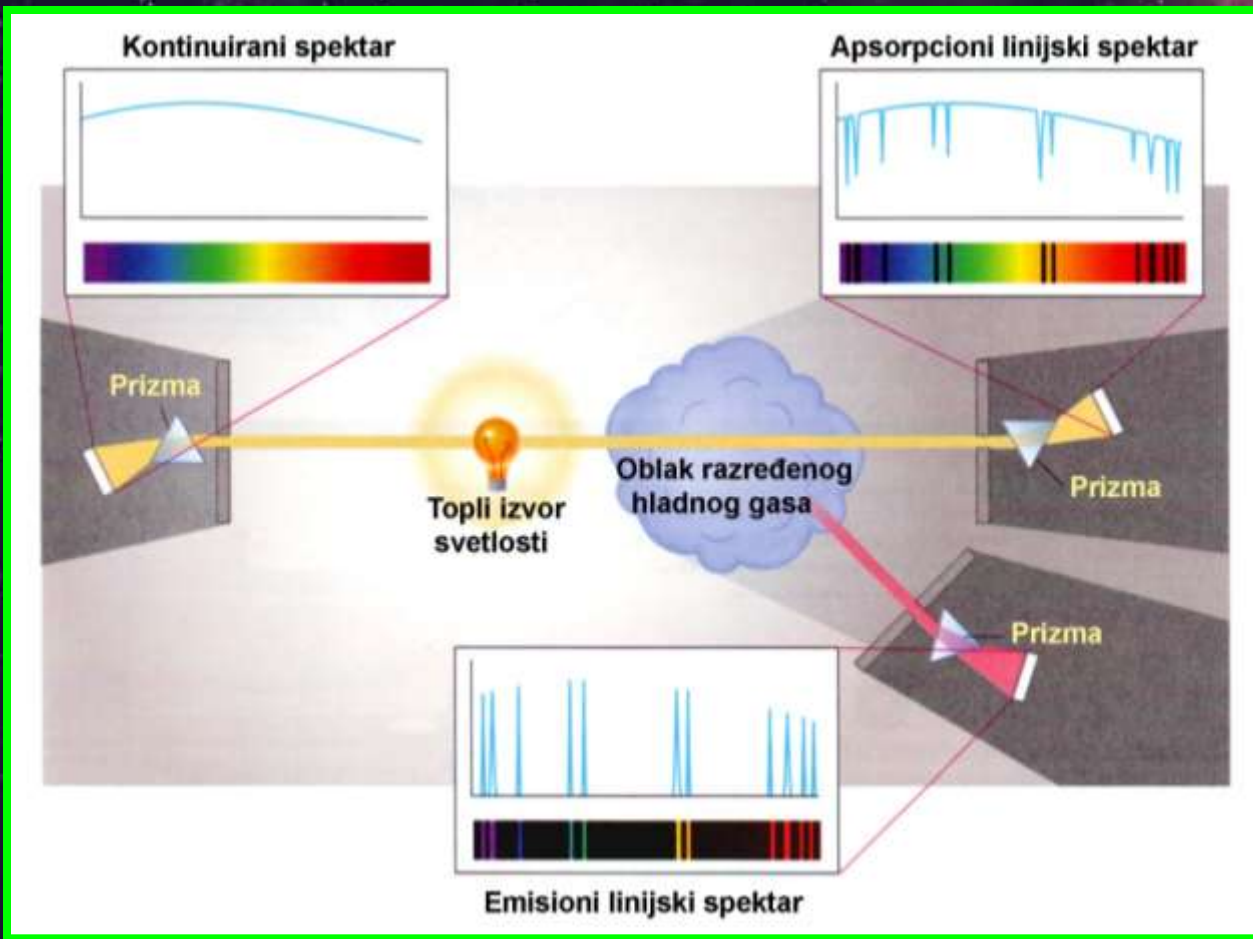
hemijski sastav) važne osobine sp. linija su intenzitet i profil (raspodela jačine zračenja unutar talasnog područja sp. linije.





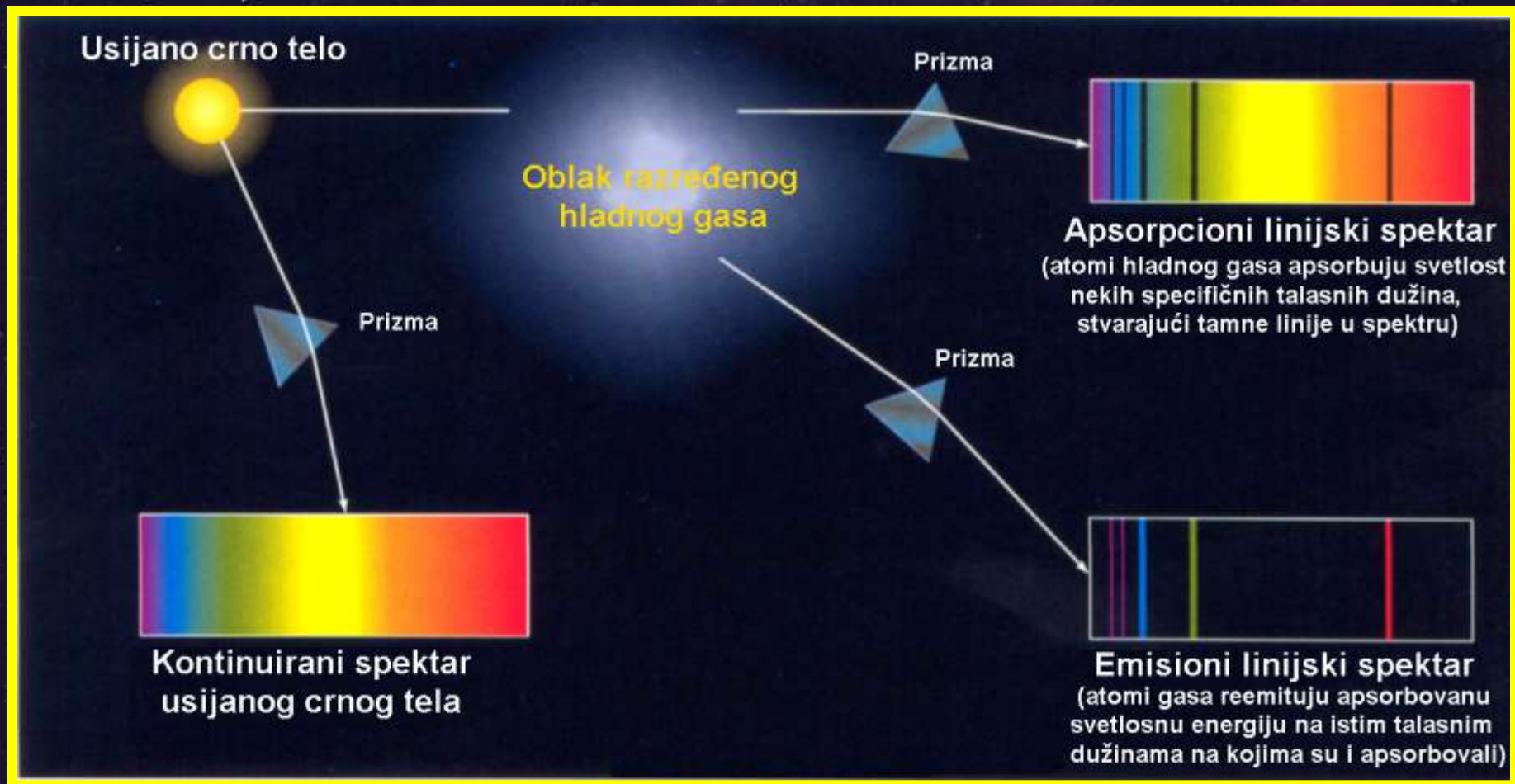
Intenzitet i profil sp. linije zavise od različitih faktora: temperature i koncentracije čestica (Doplerovo širenje sp. linije), jačine prisutnog magnetnog (Zemanov efekt cepanja sp. linija) i električnog polja (Štarkovo širenje), makroskopskih kretanja u objektu, itd. Analiza ovih karakteristika sp. linija omogućuje merenje pomenutih veličina.

Na svom putu od toplog izvora svetlosti (npr. zvezde) do posmatrača, kontinuirano zračenje može proći kroz oblak razređenog hladnog gasa. U tom slučaju će se pomoću spektroskopa postavljenog u pravcu izvora

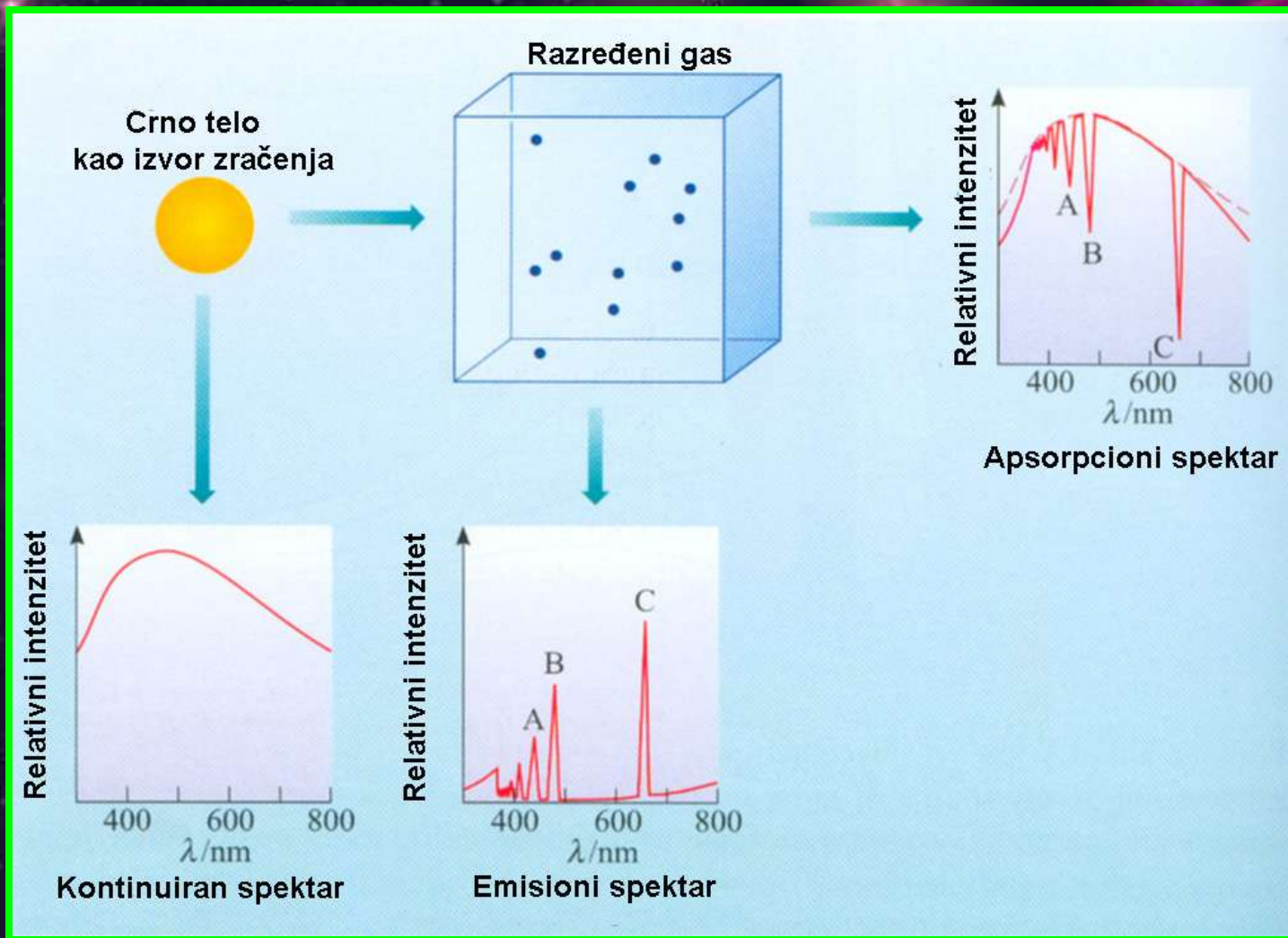


na zaklonu detektovati tamne linije na fonu neprekidnog spektra. One su nastale zbog apsorpcije određenih fotona od strane prisutnih atoma.

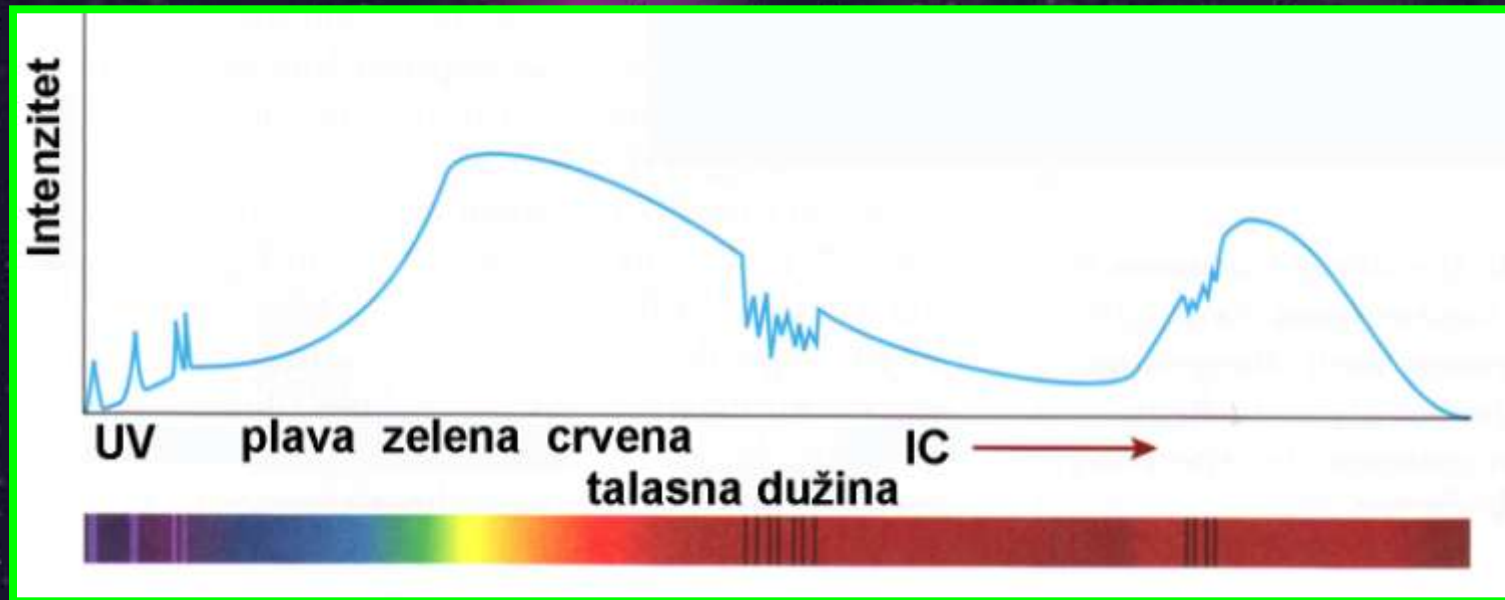
U isto vreme, kada se analizira spektar zračenja oblaka, ali za svetlost čiji se pravac prostiranja ne poklapa sa pravcem zračenja koje dolazi od usijanog izvora, na zaklonu se detektuju emisione linije.



Emisione linije iz oblaka gasa nastaju kada se pobuđeni atomi gasa "vraćaju" u osnovno stanje, reemitujući apsorbovanu svetlost na istim talasnim dužinama na kojima su i apsorbovali.

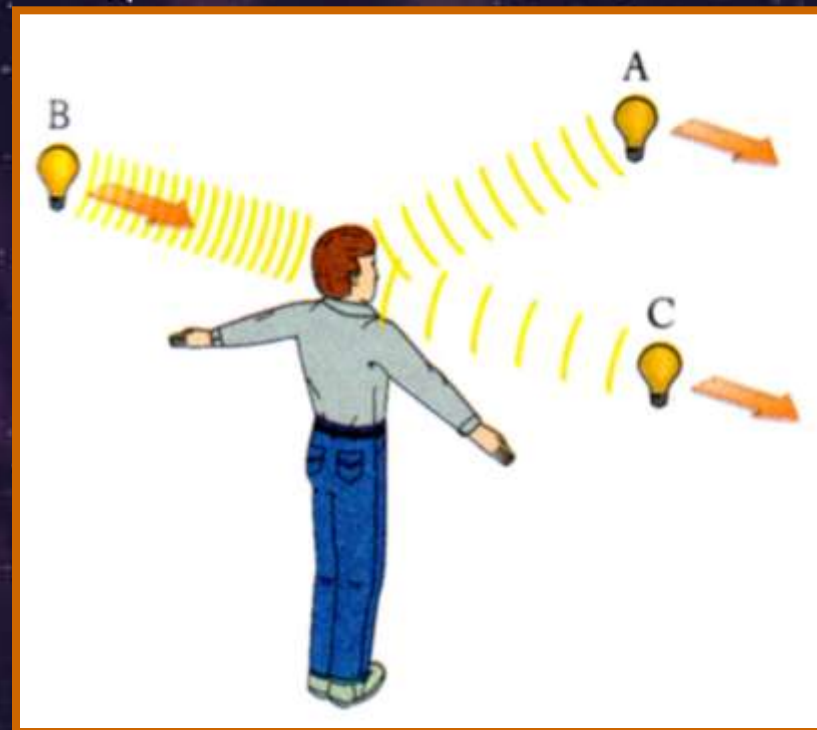
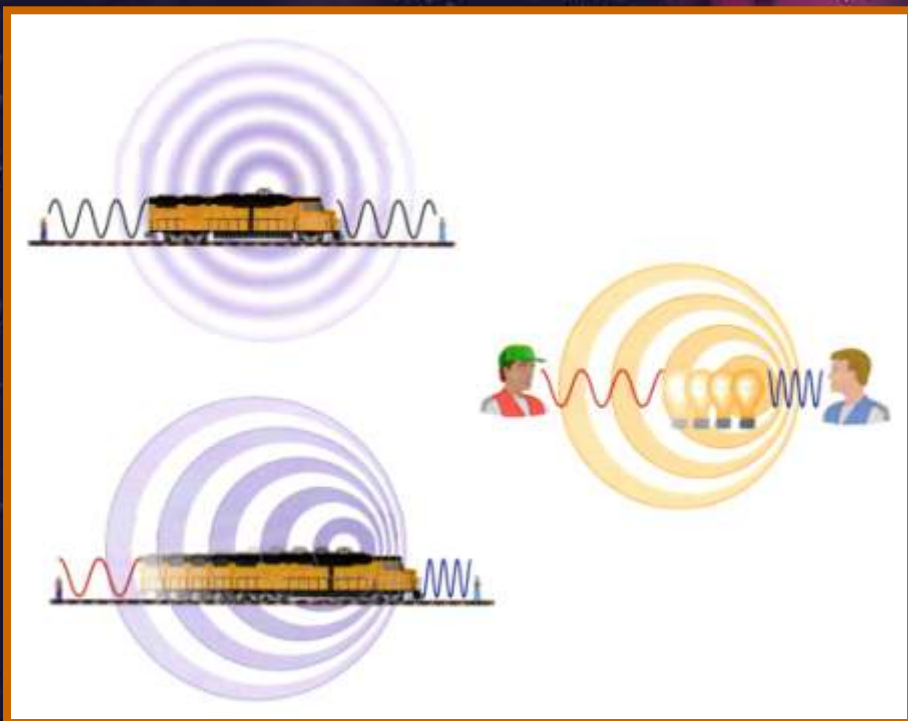


Kod zvezda (npr. Sunca) kontinuiran spektar emituje se sa fotosfere ("površine" zvezde). Apsorpcioni spektar nastaje u hladnijim slojevima atmosfere zvezde ili u hladnim oblacima interstelarnog gasa ili u atmosferi planete. Međutim, na kontinuiranom spektru fotosfere mogu da se u određenim slučajevima uoče i sjajne emisione linije. Takva situacija nastupa kada kontinuirano zračenje prolazi kroz slojeve atmosfere koji su topliji od fotosfere (kod Sunca je takav slučaj sa koronom koja je poslednji sloj u njegovoj atmosferi).

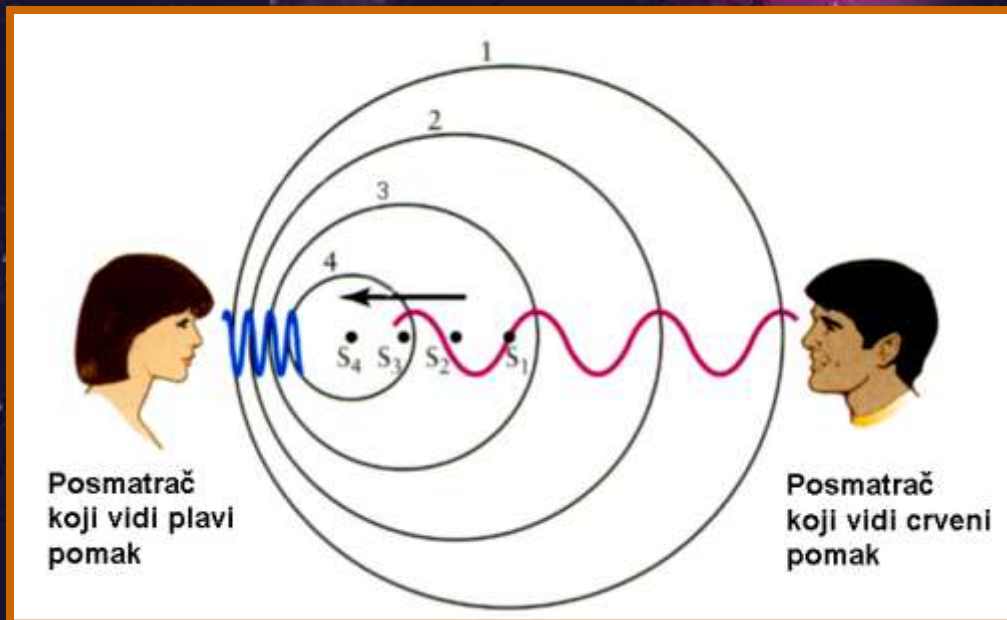


Doplerov efekt i zračenje nebeskih tela

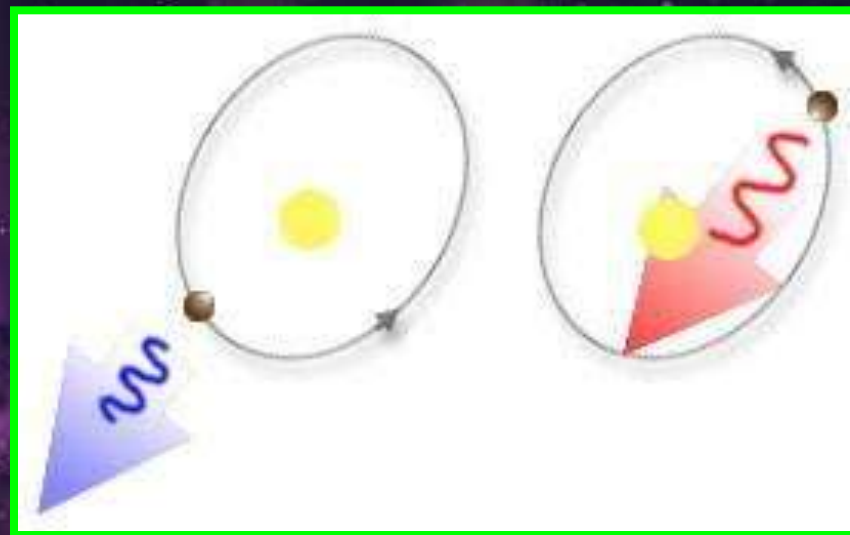
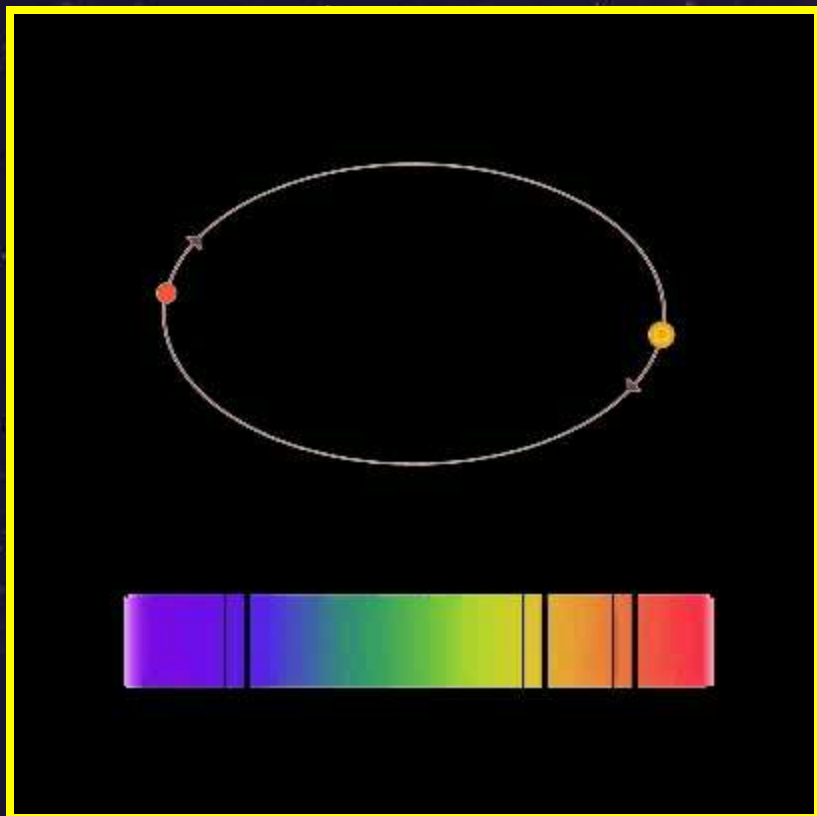
Nebeska tela se u prostoru kreću udaljavajući se ili približavajući u odnosu na posmatrača. Doplerov efekt predstavlja promenu talasne dužine zvuka ili svetlosti kada se izvor talasa i posmatrač međusobno kreću. Sa približavanjem posmatrač detektuje povećanje frekvence, a sa udaljavanjem smanjenje.



Kod svetlosti, kada se izvor udaljava od posmatrača, dolazi do pomeranja spektra prema crvenom delu, a kod približavanja prema plavom. U slučaju zvezda koje se od nas udaljavaju ne dolazi do promene boje zbog D. efekta (Bajs–Balot, 1845): tada crvene linije prelaze u infracrvene, ali na drugom kraju spektra linije iz UV dela prelaze u ljubičasti i plavi deo, tako da nema promene boje zvezde.



Kod dvojnih zvezda dolazi do naizmeničnog plavog i crvenog pomaka. na osnovu veličine pomaka mogu se odrediti parametri kretanja takvog dvojnog sistema.



Veličine pomaka zavise od relativnih brzina udaljavanja (približavanja) izvora i posmatrača: većim brzinama odgovaraju veći pomaci. Pomoću Doplerovog pomeranja linija u odnosu na laboratorijski spektar može se odrediti radijalna brzina v_r kretanja izvora u odnosu na posmatrača. Za nerelativističke brzine je

Laboratorijski spektar



Objekt 1
Crveni pomak; objekt se udaljava od posmatrača



Objekt 2
Veliki crveni pomak; objekt se udaljava brže od objekta 1



Objekt 3
Plavi pomak; objekt se približava posmatraču



Objekt 4
Veliki plavi pomak; objekt se približava brže od objekta 3



$$v_r = \Delta\lambda c / \lambda$$

gde je c brzina svetlosti, λ je talasna dužina koju emituje izvor, a $\Delta\lambda$ je njena promena.

U slučaju relativističkih brzina (kada je $z = \Delta\lambda/\lambda > 0.3$) primenjuje se formula za relativistički Doplerov efekt:

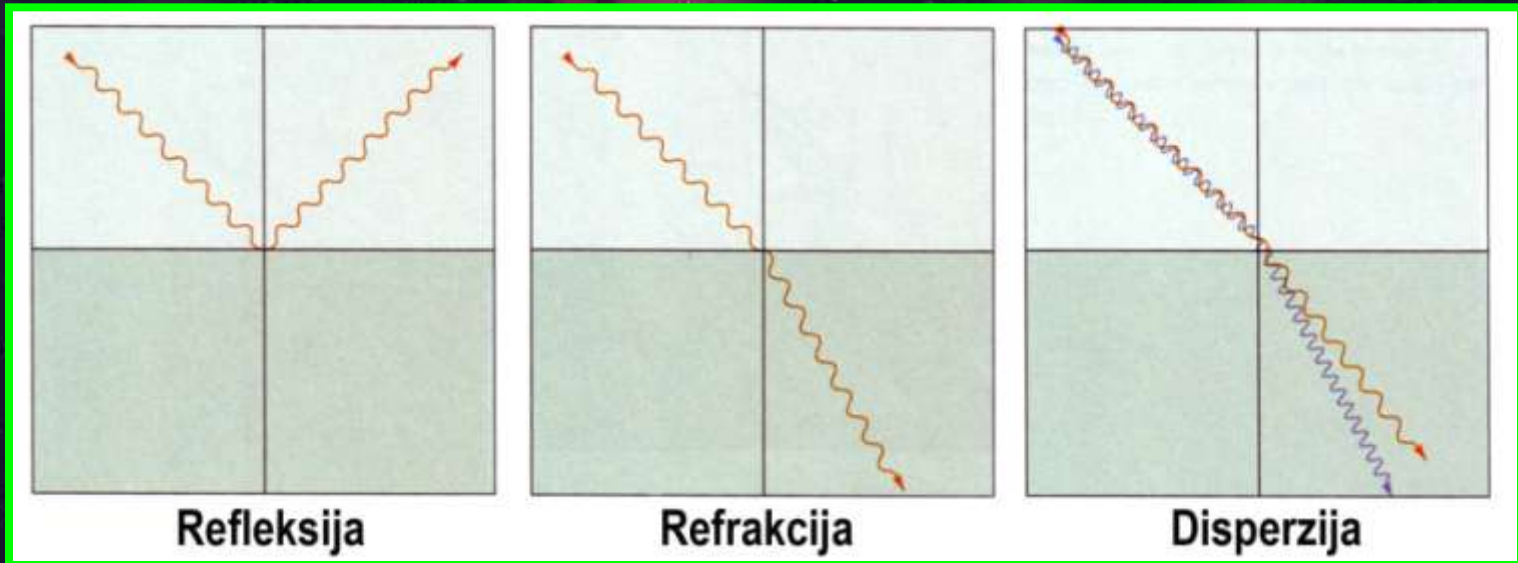
$$v_r = ((1+z)^2 - 1)c / ((1+z)^2 + 1)$$

Kod udaljenih galaksija uočava se tzv. kosmološki crveni pomak, do kojeg dolazi zbog širenja Vasiona, što je posledica Velikog praska.

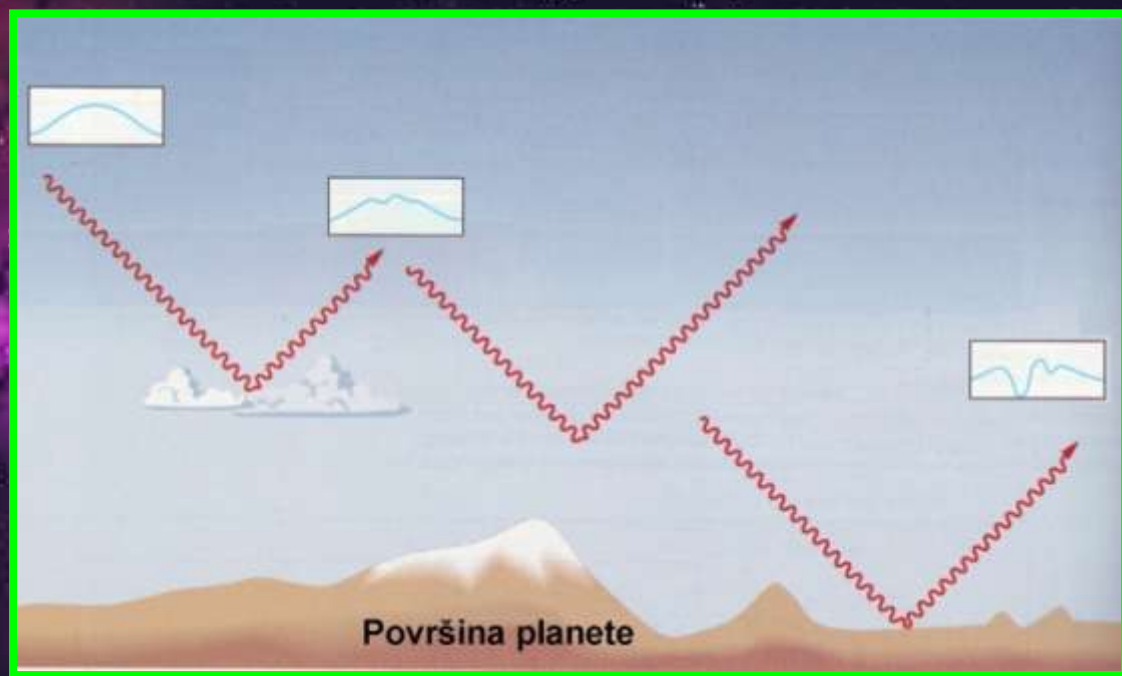
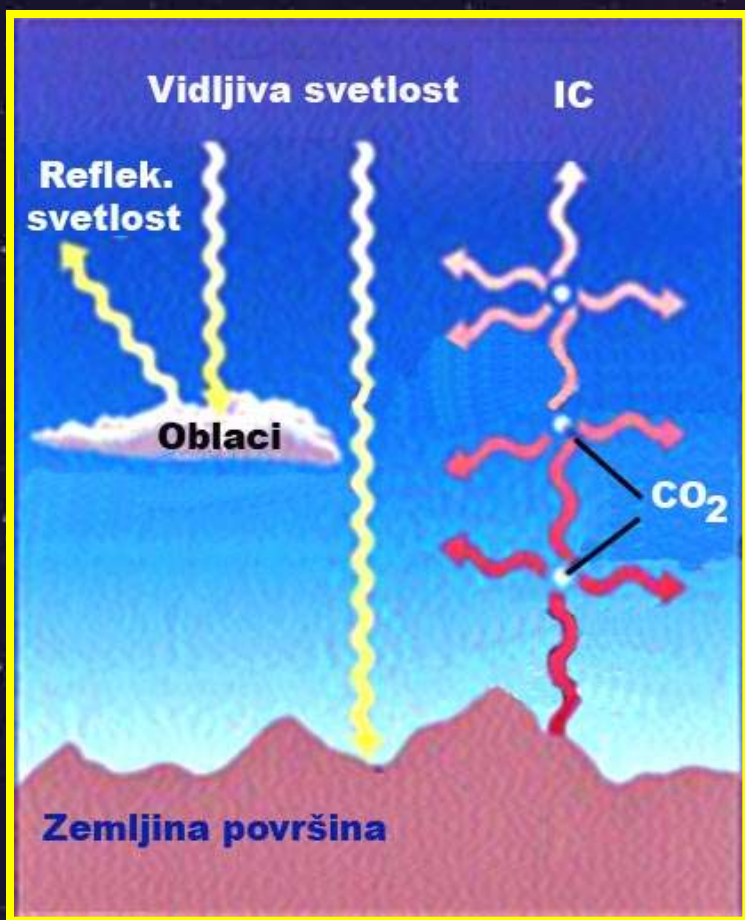
Ovaj pomak ne treba mešati sa gravitacionim crvenim pomakom do kojeg dolazi kada svetlost "napušta" jako masivne izvore. U tom slučaju fotoni gube svoju energiju (smanjuje im se frekvencija, odn. povećava talasna dužina), jer "savladavaju" jak gravitacioni uticaj izvora.

Uticaj Zemljine atmosfere na prijem zračenja

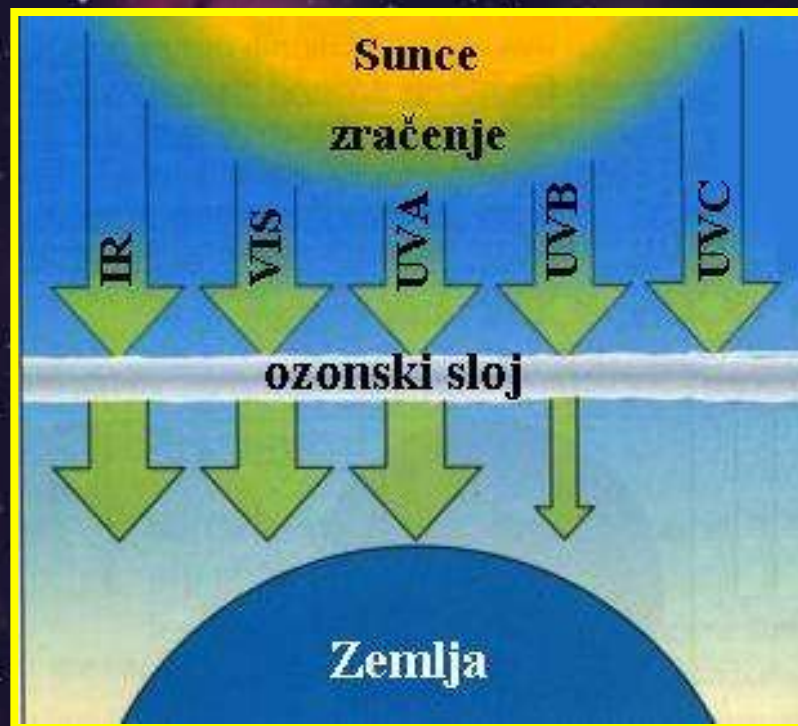
Prilikom prolaska zračenja kroz Zemljinu atmosferu dolazi do njegove apsorpcije, rasejanja (refleksije, refrakcije i disperzije). To znatno otežava posmatranja nebeskih tela. Zato se primenjuju metode vanatmosferske astronomije.



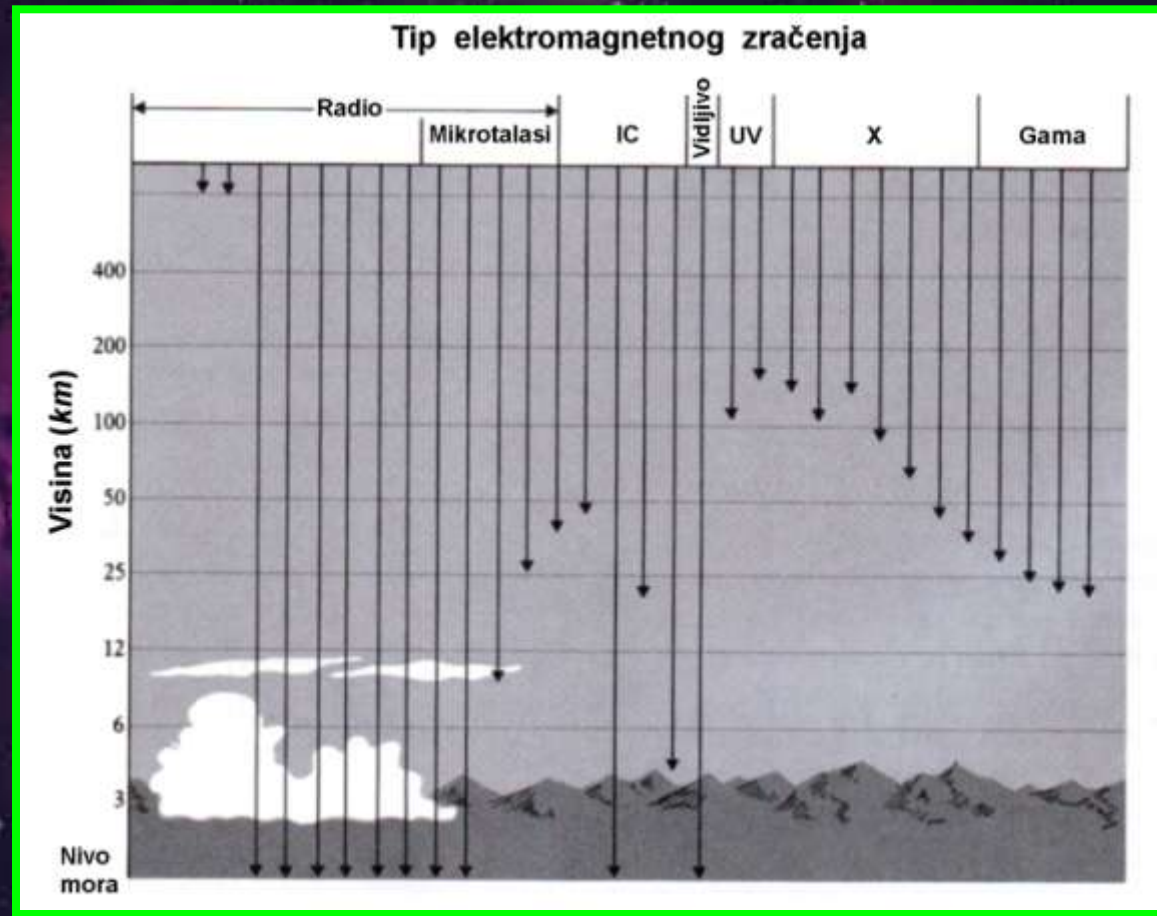
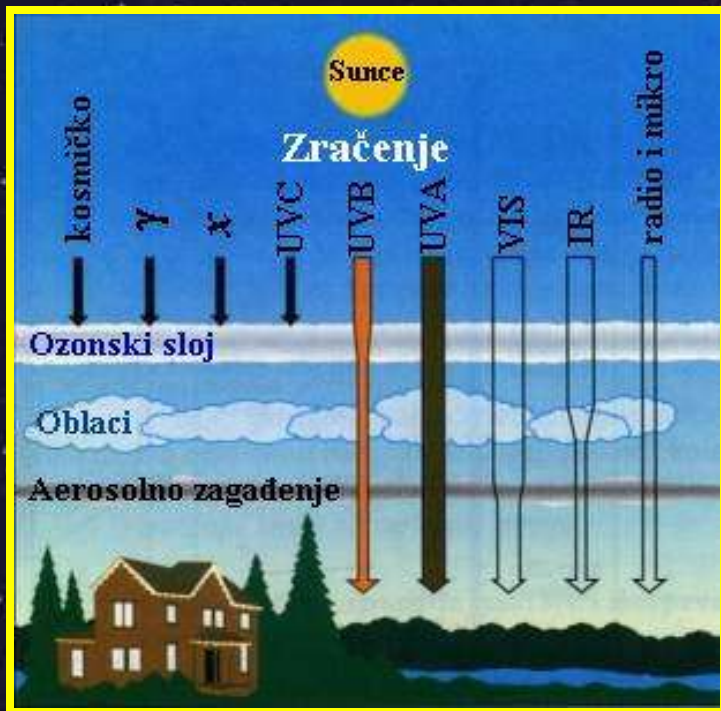
Tom prilikom dolazi i do izmene spektra svetlosti koja sa kosmičkog objekta dolazi do površine planete.

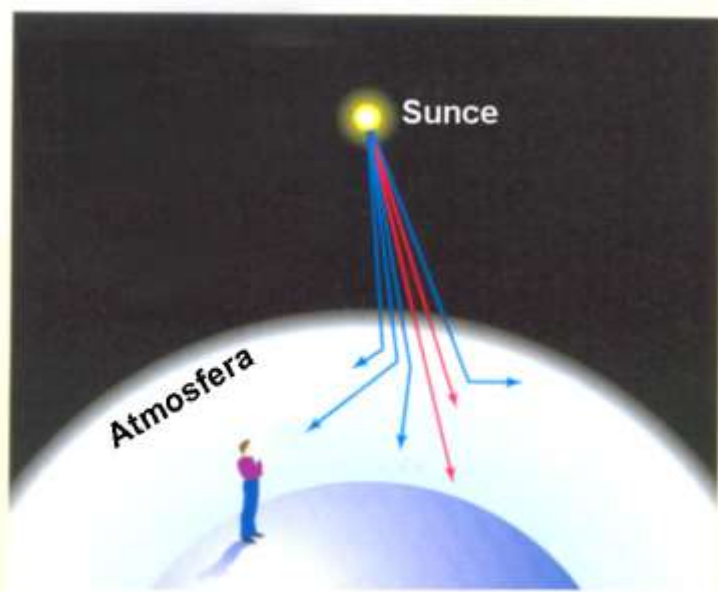


Najopasniji deo UV zračenja apsorbuje se učestvujući u prirodnom ciklusu izgradnje i razgradnje ozonskog sloja u atmosferi.

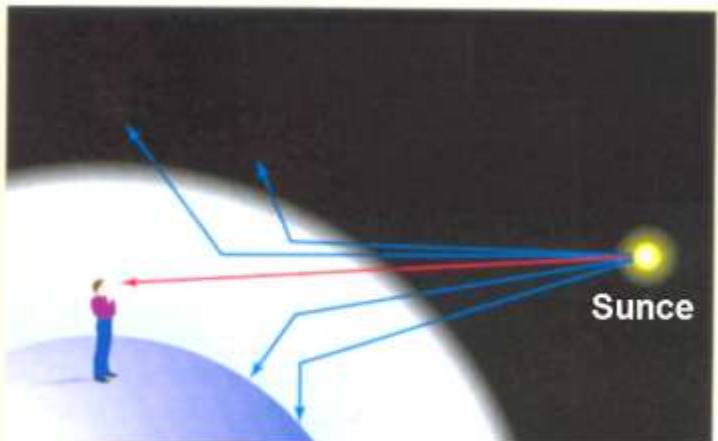


Veliki deo e.m. zračenja (gama, X, mikrotalasno) rasejva se na česticama atmosfere prema **Rejlijevom zakonu: $I \sim I_0/\lambda^4$, gde su I_0 i I intenziteti zračenja pre ulaska u atmosferu i nakon ulaska u detektor. Svetlost kraćih talasnih dužina više se rasejava.**





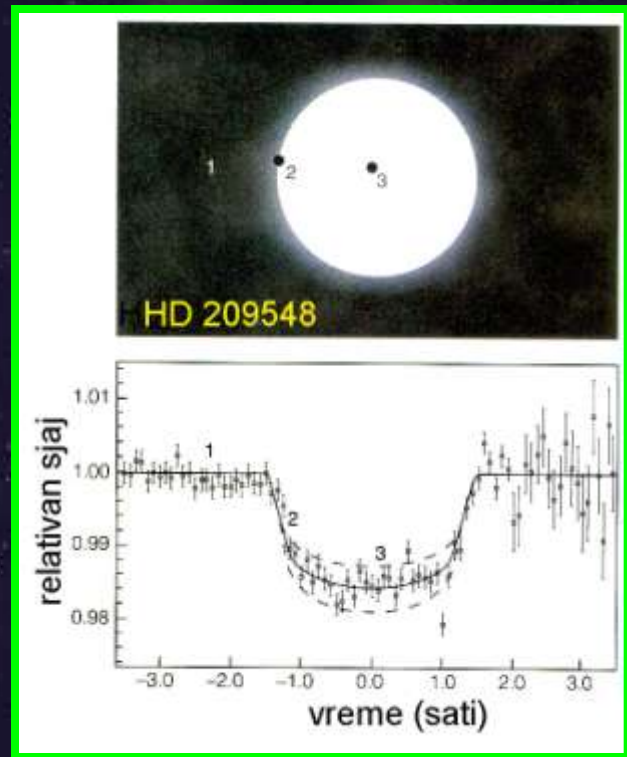
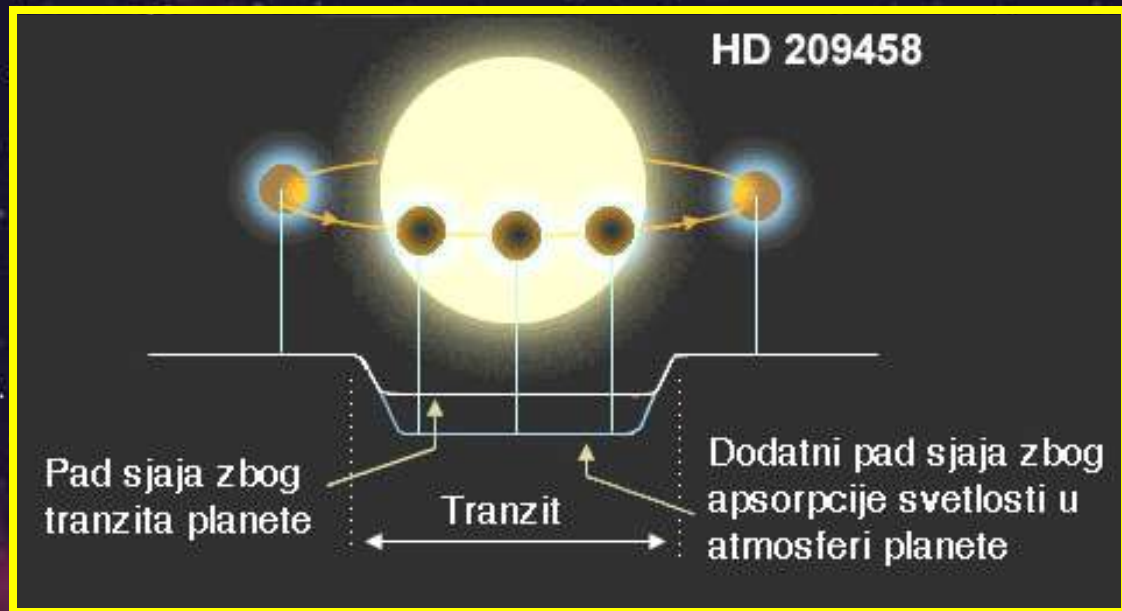
Zašto je nebo u podne plavo?



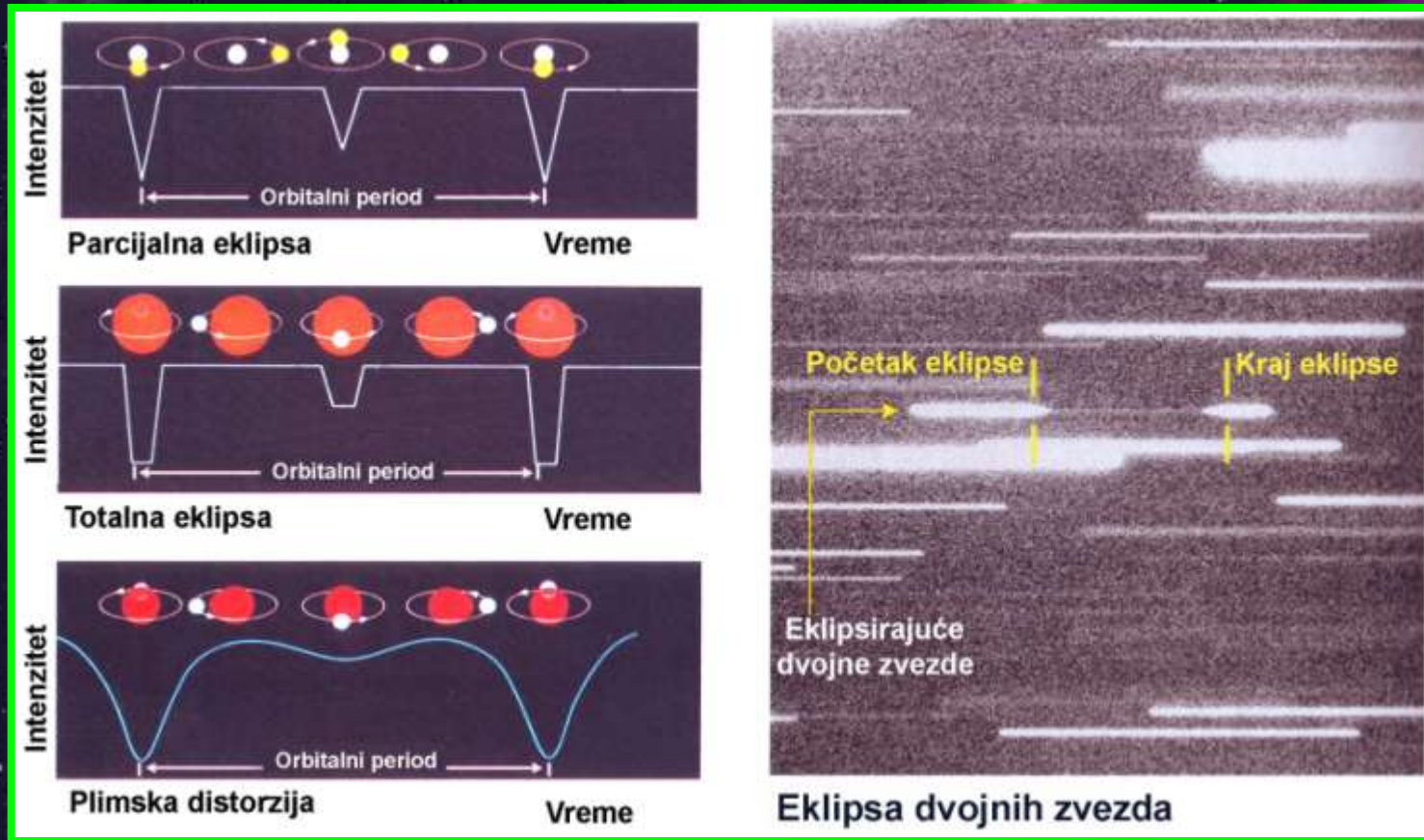
Zašto je nebo u parvcu Sunca u sumrak crveno?

U vedroj atmosferi nema krupnijih čestica prašine tako da se najviše rasejava plava svetlost pa je vedro nebo plavo. U tmurnoj atmosferi rasejavaju se svetlosti svih talasnih dužina pa je nebo beličasto-sivo. U sumrak se u vedroj atmosferi crvena svetlost najmanje rasejava pa nam nebo izgleda crvenije.

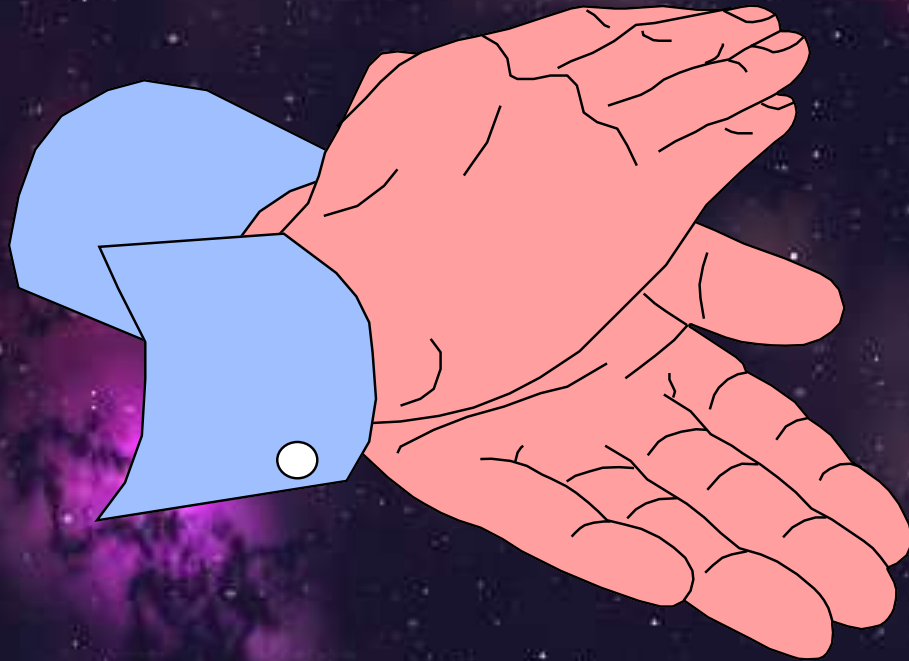
Jedna od metoda detekcije planeta oko drugih zvezda zasniva se na merenju intenziteta zračenja zvezde. Prilikom eklipse dolazi do smanjenja intenziteta zračenja sa zvezde. Na taj način je detektovana i atmosfera planete koja orbitira oko udaljene zvezde.



Ova metoda koristi se i kod eklipsirajućih dvojnih zvezda.



Hvala na pažnji!



To be continued...