



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	05 ОКТ 2007
ОРГАНИЗ.ЈЕД	БРОЈ
0603	911239

VANSOLARNE PLANETE

-DIPLOMSKI RAD-

Mentor:
prof. dr Svetlana Lukić

Kandidat:
Tanja Damjanović

Novi Sad, oktobar 2007

Prilikom izbora teme za diplomski rad i određivanja njegove koncepcije imala sam veliku pomoć svog mentora prof. dr Svetlane Lukić.

Zahvaljujem mentoru na predloženoj temi i korisnim sugestijama prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Takođe se zahvaljujem i članovima komisije prof. dr Dragoslavu Petroviću i prof. dr Božidaru Vujičiću.

Hvala Smilji Krajinović na korisnim sugestijama, pomoći prilikom tehničke realizacije ovog rada i svemu što me je tom prilikom naučila.

Veliku zahvalnost dugujem svom suprugu na strpljenju, podršci i razumevanju.

Moju devojčicu Isidoru, mog najvatrenijeg navijača, molim da mi oprosti sve zajedničke trenutke koje sam joj uskratila u prethodnih godinu dana.

Izvinjavam se svojim roditeljima što su ovoliko dugo čekali ovaj trenutak.

Na kraju, hvala svim mojim prijateljima što su me podržavali i verovali u mene i onda kada ja sama više nisam.

Tanja Damjanović, oktobar 2007



Sadržaj

1. Uvod	4
2. Galaksija Mlečni put	5
3. Odlike Sunčevog sistema.....	5
4. Vansolarne (ekstrasolarne) planete	6
4.1. Istorijat potrage	6
4.2. Nomenklatura.....	8
5. Metode detekcije vansolarnih planeta.....	9
5.1. Učestalost (frekvencija) emisije pulsara.....	9
5.2. Merenje radijalne brzine	9
5.3. Gravitaciono „uveličanje“ ili mikrofokusiranje	10
5.4. Metoda tranzita (fotometrija).....	11
5.5. Astrometrija	12
5.6. Protoplanetarni diskovi.....	12
5.7. Direktno posmatranje	12
6. Buduće misije	13
7. Opšte osobine otkrivenih vansolarnih planeta.....	14
8. Habitualna zona (ekosfera).....	17
8.1. Podesni zvezdani sistemi	18
8.1.1. Spektralne klase.....	18
8.1.2. Stelarne varijacije	18
8.1.3. „Metalnost“ zvezda.....	19
8.1.4. Osobine Sunca.....	19
8.1.5. Osobine nekoliko najbližih zvezda.....	20
8.2. Planetarna habitualnost.....	23
8.2.1. Karakteristike planeta	23
9. Značajne vansolarne planete	25
10. Tipovi vansolarnih planeta	33
11. Tipovi planeta po Sudarskom	35
12. Vansolarni multi-planetarni sistemi	37
12.1. Značajni vansolarni multi-planetarni sistemi.....	37
13. Vansolarni sateliti	47
14. Zaključak	48
15. Literatura	49
16. Prilozi	50
Spektralna klasifikacija zvezda.....	50
Hercsprung-Raselov (H-R) dijagram	52
Poznati vansolarni planetarni sistemi.....	53
17. Kratka biografija kandidata	65

1. Uvod

„ Jesmo li sami u svemiru?“ Pitanje koje je oduvek zanimalo ljude. Da li je ova naša planeta zaista jedinstvena ili ima mnogo sličnih planeta na kojima postoje ovakve ili još možda naprednije civilizacije. Ideja o postojanju vanzemaljskih civilizacija datira još iz antičkog vremena. Na osnovu pisanih dokumenata poznato nam je kako su grčki atomisti razmišljali o postojanju drugih civilizacija.

Leucipije (480-420 pr.n.e)-,,Svetovi nastaju na sledeći način: mnoštvo tela svih vrsta i oblika kreću se iz beskonačnosti ka praznini, dolaze u kontakt jedna s drugim praveći kovitlac, u kojem, sudarajući se međusobno, i razvijajući se, na sve moguće načine, počinju da se razdvajaju na nešto slično.“^[1]

Demokrit (460-380 pr.n.e.)-,,U nekim svetovima nema Sunca i Meseca, a u drugima su oni veći od naših, a u nekima ih ima mnogo više. U nekim delovima svemira ima više svetova, u drugima manje, u nekima su u razvoju, a u nekima propadaju. Ima svetova koji oskudevaju živim bićima, biljkama ili vlagom.“^[1]

Epikur (341-270 pr.n.e.)-,,Ima bezbroj svetova i sličnih našem i različitim od našeg. Kao što su atomi bezbrojni, nema nikakve prepreke da postoji i bezbroj svetova.“^[1]

Aristotel (384-322 pr.n.e.)-,,Ne može biti više svetova od jednog.“^[1]

Aristotelovo stanovište preovladalo je narednih 2000 godina. Za vreme renesanse razmatranje postojanja drugih svetova je iz religijskih razloga bilo nepopularno. U XVI veku sa Heliocentričnim sistemom Nikole Kopernika došlo je do ponovnog oživljavanja ove ideje.

Đordano Bruno (1548.-1600.)-,,Postoji bezbroj Sunaca i bezbroj Zemalja koje obilaze oko njih na isti način kao što čini sedam planeta našeg sistema. Mi vidimo samo Sunca zato što su veća tela i sjajnija, dok njihove planete ostaju nevidljive zbog njihove male veličine i slabog sjaja. Bezbrojni svetovi u svemiru nisu ništa lošiji i slabije nastanjeni nego naša Zemlja.“
(napisao u svom delu „De l'infinito universo e mondi“ objavljenom 1584. godine)

Galileo Galilej (1564.-1642.) je otkrio da se Mlečni put sastoji od mnoštva zvezda koje se ne vide golim okom.^[1]

Kristijan Hajgens (1629.-1695.) je pokušao prvu dokumentovanu potragu za vansolarnim planetama.^[1]

2. Galaksija Mlečni Put

Mlečni put spada u spiralne ili spiralne prečkaste galaksije što još nije precizno utvrđeno. Po Hablovoj klasifikaciji spada u Sb ili Sc, a u slučaju da ima prečku u SBb ili SBc galaksije. Prečnik galaktičke ravni koja prolazi kroz galaktički ekvator iznosi oko 100.000 svetlosnih godina (30 kps), dok prečnik galaktičkog središta u kome je smešten najveći broj zvezda, iznosi oko 10.000 svetlosnih godina. Starost Mlečnog puta se procenjuje na oko 10 do 15 milijardi godina.

Naša Galaksija sadrži oko 100 milijardi zvezda. U centru Mlečnog Puta se nalazi najveća koncentracija zvezda i to starih, crvenih džinova čiji su prečnici 100 puta veći od Sunčevog, ali su im i životi mnogo puta kraći.

Udaljavajući se od galaktičkog centra, nailazimo na mlade, plave, tople zvezde koje bi bile mnogo bolji domaćini nekoj planeti na kojoj bi eventualno mogao da se razvije život. Sem pojedinačnih zvezda Mlečni Put obiluje i zvezdanim jatima, maglinama i višestrukim zvezdanim sistemima. Procenjuje se da ima oko 200 zbijenih zvezdanih jata.

U središtu Mlečnog Puta nalaze se crvene i narandžaste masivne zvezde. To su crveni džinovi, stare zvezde, stotinama puta bliže jedna drugoj nego Sunce svojim susednim zvezdama. Pretpostavlja se da u samom centru Mlečnog Puta postoji ogromna, masivna crna rupa, okružena velikim slojem kosmičke praštine. Do sada nije napravljen snimak centra naše Galaksije zbog ogromne količine gasa i međuzvezdane praštine.

Oko galaktičkog centra nalaze se četiri spiralne grane. U tim kracima su smeštene uglavnom mlade plave i bele zvezde. Sunčev sistem je smešten u jednoj od spiralnih grana na udaljenosti od oko 30.000 svetlosnih godina od centra Galaksije. Centar Galaksije leži u sazvežđu Strelca.

Galaktički objekti se veoma razlikuju po svom hemijskom sastavu, prostornom rasporedu, dinamičkim karakteristikama i starosti pa je u zavisnosti od pomenutih osobina izvršena podela na dva tipa galaktičkih populacija:

Populacija I-se nalazi u disku Galaktike i sadrži zvezde veoma različite po masi i starosti.

Populacija II-nalazi se u galaktičkom halou, sfernoj komponenti Galaktike.

Procena je da u svemiru postoji oko hiljadu milijardi galaksija koje su poput naše.^[2] ^[3]

3. Odlike Sunčevog sistema

Sunčev sistem čine sva tela i čestice koje su pod uticajem gravitacije Sunca. Prema jednoj od hipoteza sistem je nastao pre oko 5 milijardi godina od rotirajućeg oblaka gasa i praštine. Koncentracijom ovih elemenata nastalo je prvo Sunce a onda i ostali članovi sistema.

Sunčev sistem pored Sunca čine i 8 planeta, oko 100 satelita, veliki broj asteroida, kometa i meteoroida.

Osam planeta Sunčevog sistema se po svom položaju dele na unutrašnje i spoljašnje, a kao granica se uzima glavni asteroidni pojas između Marsa i Jupitera. Unutrašnje planete su: Merkur, Venera, Zemlja i Mars, a spoljašnje su: Jupiter, Saturn, Uran i Neptun.

Prema strukturi planete se dele na terestričke i jovijanske.Terestričke planete imaju čvrstu, stenovitu površinu, relativno su velike gustine, sporo rotiraju, nemaju prsten i imaju mali broj satelita ili ih uopšte nemaju. Unutrašnje planete su terestričkog tipa ili se zovu još i planete Zemljinog tipa.

Jovijanske planete su Jupiterovog tipa. To su gasoviti giganti sastavljeni uglavnom od vodonika i helijuma, ogromnih dimenzija, male gustine, imaju brzu rotaciju, prstenove, puno satelita i verovatno malo čvrsto jezgro. Ovde spadaju: Jupiter, Saturn, Uran i Neptun.

Orbite planeta Sunčevog sistema su eliptične sa Suncem u jednom fokusu, ali pošto je ekscentritet orbita mali, može se smatrati da su one gotovo kružnice. Zahvaljujući činjenici da je Sunce izolovana zvezda, orbite planeta Sunčevog sistema su vrlo stabilne i leže skoro u istoj ravni. Ovako uređen i stabilan sistem, sa relativno velikim brojem planeta još nije otkriven u drugim planetarnim sistemima.^[1]

4. Vansolarne (ekstrasolarne) planete

Vansolarne planete su planete koje kruže oko neke druge zvezde u našoj Galaksiji, a ne oko Sunca pa prema tome, ne pripadaju Sunčevom već nekom drugom sistemu. Postojanje vansolarnih planeta je odavno pretpostavljeno, ali je prvo potvrđeno otkriće bilo devedesetih godina XX veka. U julu 2007. godine broj poznatih vansolarnih planeta je 247 (prema profesoru Džonatanu Tenisonu). Velika većina je detektovana različim indirektnim metodama, mnogo ređe direktnim fotografisanjem. Većina ovih planeta su gasoviti giganti, slični Jupiteru u našem sistemu. Mnogo manji broj detektovanih vansolarnih planeta je Zemljinog tipa, iako je procena da planeta Zemljinog tipa u našoj Galaksiji ima bar isto toliko koliko i planeta Jupiterovog tipa, samo što su metode koje su do sada korištene mnogo pogodnije za detekciju gigantskih planeta.

Poznate planete su članovi planetarnih sistema koji orbitiraju oko zvezde. Takođe postoje nepotvrđeni izveštaji o postojanje objekata mase planeta koji se kreću slobodno, tj. ne orbitiraju oko zvezda (ponekad se nazivaju planetama „lupežima“ ili „vucibatinama“ (engl.- rogue)). Međutim ovakvi objekti ne zadovoljavaju definiciju pojma „planete“ prihvaćenu od strane Međunarodne Astronomске Unije.

Ekstrasolarne planete su postale predmet naučnih istraživanja polovinom XIX veka. Astronomi su pretpostavljali da one postoje, ali kako izgledaju i koliko su slične planetama Sunčevog sistema je bila zagonetka. Prva potvrđena otkrića su usledila nakon 1990. godine, a od 2002. otkriva se više od 20 godišnje. Procenjuje se da najmanje 10% zvezda sličnih Suncu imaju planete i da prava srazmera može da bude i veća. Postojanje vansolarnih planeta otvara pitanje i postojanja života na njima.^[4]

4.1. Istorijat potrage

Najraniji izveštaji o detekciji ekstrasolarnih planeta datiraju od polovine XIX veka. 1855. godine kapetan V. S Džekob (Capt. V. S. Jacob) iz opservatorije Madras pri Istočnoj Indijskoj Kompaniji izveštava da su orbitalne anomalije binarne zvezde 70 Ophiuchi vrlo verovatno uzrok postojanja „planetarnih tela“ u ovom sistemu. 1890. godine Tomas Dž. Dž. Si (Thomas J. J. See) sa Univerziteta Čikago i Vojne Pomorske Opservatorije Sjedinjenih Država tvrdio je da orbitalne anomalije dokazuju postojanje tamnog tela u ovom sistemu sa orbitalnim periodom od 36 godina.^[4]

Međutim, Forest Rej Molton (Forest Ray Moulton) je ubrzano objavio dokument u kojem iznosi dokaze da bi sistem tri tela sa ovakvim orbitalnim parametrima bio veoma nestabilan.^[4]

1916. godine E. E. Bernard (E. E. Barnard) je otkrio jednu sasvim uobičajenu zvezdu. Pripadala je klasi crvenih patuljaka, najbrojnijoj klasi zvezda u našoj Galaksiji i bila nam je u astronomskom smislu blizu (udaljena je svega 5,95 s.g.). Jedina neobična osobina ove zvezde je što se ona kretala velikom brzinom za jednu prosečnu zvezdu. Ove osobine su učinile zvezdu pogodnom za dalja posmatranja i određivanje njenih fizičkih parametara.

Piter Van de Kemp (Peter Van de Kamp) sa Svortmor koledža je u periodu od 1938. do 1962. godine napravio preko 2000 snimaka Bernardove zvezde. Na tim snimcima su se videle perturbacije u kretanju ove zvezde (anomalije u kretanju nebeskih tela koje mogu da nastanu gravitacionim uticajem nekog drugog nebeskog tela). Van de Kemp je zaključio da oko ove zvezde orbitira neko nebesko telo i da je ono uzrok ovih perturbacija. Po njegovim proračunima to telo je bila planeta čija je masa 1,6 puta veća od mase Jupitera, a revolucija joj je trajala 24 godine. Van de Kemp je nastavio da snima Bernardovu zvezdu i menjao je parametre njenog pratioca. 1969. godine je objavio da Bernardova zvezda nema jednog već dva pratioca. Ukupno 40 godina je Piter Van de Kemp posvetio Bernardovoj zvezdi, ali ni do danas postojanje ovih planeta nije precizno utvrđeno.^[4]

Prvi put je otkriće jedne vansolarne planete objavljeno 1988. od strane kanadskih astronoma Brusa Kempebla (Bruce Campbell), G. A. H. Vokera (G. A. H. Walker) i S. Janga (S. Yang), kada su varijacije radijalnih brzina zvezde HD 114762 (poznatije kao Gamma Cephei) objašnjene kao posledica blizine masivnih objekata, manjih od srednjih patuljaka, verovatno džinovskih planeta. 1992. godine je demantovano postojanje ovih planeta, ali najzad 2003. godine pomoću savremenih tehnika je potvrđeno njihovo postojanje.

1991. godine Endrju Lin (Andrew Lyne), M. Bejlz (M. Bailes) i S. L. Šemar (S. L. Shemar) izveštavaju da su otkrili planetu oko pulsara PSR 1829-10 koristeći metodu merenja frekvencije emisije pulsara, ali su ubrzno povukli svoj izveštaj.

Početkom 1992. godine poljski astronom Aleksander Wolszczan i kanadski astronom Dejl Frejl (Dale Frail) su objavili da su pronašli vansolarne planete oko drugog pulsara 1257+12. To otkriće je ubrzno potvrđeno i danas se ovo zvanično smatra prvim otkrićem jedne vansolarne planete. Verovalo se da su se ove planete oko pulsara formirale od neobičnih ostataka supernove kojom je nastao pulsar, ili da su ostaci stenovitih jezgara gasovitih giganata koji su preživeli supernovu i potom skrenuli u svoje sadašnje orbite. Prve otkrivene vansolarne planete su se obrtale oko neutronske zvezde (pulsara).

6. oktobra 1995. godine Mišel Major (Michel Mayor) i Didije Keloz (Didier Queloz) sa Ženevskog univerziteta su objavili prvu detekciju jedne vansolarne planete koja orbitira oko zvezde glavnog niza H-R dijagrama,^[*] 51 Pegasi. Ova planeta spada u tzv. „vrele Jupitere“. Tehnološke inovacije, među kojima je najznačajnija spektroskopija visoke rezolucije, dovela je do učestalog otkrivanja novih ekstrasolarnih planeta. Te inovacije su omogućile astronomima da indirektno otkrivaju vansolarne planete merenjem uticaja njihove gravitacije na kretanje njihovih matičnih zvezda.

Dosad je otkriveno 247 ekstrasolarnih planeta uključujući i nekoliko onih čije je postojanje potvrđeno nakon kontroverznih izveštaja iz 80-tih godina prošlog veka. Do mnogih od tih otkrića došlo je zaslugom tima predvodenog Džerfijem Mersijem (Geoffrey Marcy) i R. Polom Batlerom (R. Paul Butler) sa Opservatorijom Lik (Lick) i Kek (Keck) pri Univerzitetu Kalifornija. Prvi otkriveni sistem koji ima više od jedne planete je Upsilon Andromeda. Dvadeset pet ovakvih multiplanetarnih sistema je za sada poznato. Među poznatim ekstrasolarnim planetama su četiri planete koje orbitiraju oko dva odvojena pulsara. Infracrvena posmatranja diskova međuzvezdane prašine takođe sugeriraju postojanje miliona kometa u nekoliko ekstrasolarnih sistema.^[4]

* [*] H-R dijagram je dat u prilogu na 52. strani.

4.2. Nomenklatura

Do ovog momenta Međunarodna Astronomска Unija nije donela odluku o dodeli naziva vansonarnim planetama, niti planetarnim sistemima. Jedino se naglašava upotreba malih slova:

- malo slovo se stavlja iza imena zvezde, počevši od slova „b“ za prvu planetu koja je otkrivena u sistemu (npr. 51 Pegasi b). Sledeća planeta se obeležava slovom „c“ (npr. 51 Pegasi c), naredna sa „d“ (npr 51 Pegasi d) itd. [*]
- mala slova se dodeljuju planetama redosledom kojim su otkrivene, a ne po njihovom položaju u sistemu (npr. sistem Gliese 876. Poslednja otkrivena planeta je označena sa Gliese 876 d, bez obzira na činjenicu da je ona bliža matičnoj zvezdi od Gliese 876 b i Gliese 876 c).
- pre otkrića planete 51 Pegasi b 1995. godine vansonarne planete su se označavale drugačije. Prva otkrivena vansonarna planeta je orbitirala oko pulsara 1257+12 pa je označena velikim slovima PSR 1257+12 B. Naredna otkrivena planeta u ovom sistemu je označena sa PSR 1257+12 C. Poslednja otkrivena planeta iz ovog sistema je bila bliža pulsaru pa je označena sa PSR 1257+12 A, a ne sa PSR 1257+12 D.
- za nekoliko vansonarnih planeta se takođe koriste i nezvanični nazivi. Tako npr. HD 209458 b se nezvanično naziva „Oziris“, planeta PSR B 1620-26 c „Metuzalem“ a 51 Pegasi b „Belerofon“. [4]

[*] The suffix "a" was intended to refer specifically to the primary, as opposed to the system as a whole, but this did not catch on.[4]

5. Metode detekcije vansolarnih planeta

Planete su mnogo slabiji izvori svetlosti u odnosu na njihove matične zvezde. Planeta veličine Jupitera u vidljivom spektru ima milijardu puta manji sjaj od zvezde kao što je Sunce.

Zbog ovog razloga, sadašnji teleskopi mogu direktno slikati ekstrasolarne planete pod nekim izuzetnim okolnostima: ako je planeta izuzetno velika (veličine Jupitera ili još veća), dosta udaljena od svoje matične zvezde i mlađa (što znači da je vrela i emituje intenzivno infracrveno zračenje).

Ogromna većina poznatih vansolarnih planeta je otkrivena pomoću indirektnih metoda.

Trenutno postoji nekoliko metoda detekcije ekstrasolarnih planeta:

- učestalost (frekvencija) emisije pulsara
- merenje radijalne brzine
- gravitaciono „uvećanje“ ili mikrofokusiranje
- astrometrija
- metoda tranzita (fotometrija)
- protoplanetarni diskovi
- direktno posmatranje

Sva navedene metode su bile primenjivane na podacima koji su prikupljeni u zemaljskim opservatorijama. To je ograničavajući faktor kada se radi o vrlo preciznim merenjima. Kada bi se merenja vršila izvan Zemljine atmosfere efekat bi se umnogome povećao.

5.1. Učestalost (frekvencija) emisije pulsara

Zvezde čija je masa znatno veća od mase Sunca, pred kraj svog života, eksplodiraju kao supernove. Kad eksplodiraju odbace deo mase, a ostatak se sabije na vrlo malu zapreminu i tako nastaje neutronska zvezda. Pulsari su poseban tip neutronskih zvezda kojima su magnetni polovi pomereni u odnosu na osu rotacije. Brzina obrtanja pulsara je jako velika.

Zbog brze rotacije i jakog magnetnog polja, pulsari emituju radiotalase koji dopiru sve do Zemlje. Period tih signala je vrlo pravilan (greće oko 1s za 10 miliona godina). Zbog takve preciznosti, i najmanje odstupanje može pokazati da oko pulsara kruži planeta.

Prepostavlja se da su planete oko pulsara nastale posle supernove jer bi, ako su i postojale ranije, bile raznesene ovom eksplozijom.

Ovom metodom je otkriveno svega nekoliko planeta, pa se prepostavlja da su planete oko pulsara retkost.

Prva ikada otkrivena vansolarna planeta, (oko pulsara PSR 1257+12) otkrivena je upravo ovom metodom 1992. godine. Ovaj planetarni sistem ima čak tri planete.^[5]

5.2. Merenje radijalne brzine

Planeta koja orbitira oko svoje matične zvezde sopstvenom gravitacijom utiče da se zvezda polako pomiče tj. „koleba“. Kada planeta prolazi „ispred“ i „iza“ zvezde (glezano sa Zemlje), tada se zvezda lagano pomiče prema nama, odnosno od nas. To kolebanje uzrokuje pomake u spektru zvezde, poznate kao Doplerov efekat. Kada se izvor svetlosti udaljava od posmatrača, talasna dužina svetlosti

se pomera ka crvenom delu spektra, i obrnuto, kada se izvor približava posmatraču talasna dužina se pomera ka plavom delu spektra. Iz tog razloga se ovaj metod zove i Doplerova spektroskopija.

Spektralne ili Fraunhoferove linije su tamne pruge u spektru zvezde, tačno određene njenim hemijskim sastavom, odnosno za svaki hemijski element pojavljuju se na tačno određenoj frekvenciji (tj. talasnoj dužini). Svaki tip zvezde ima svoje karakteristične spektralne linije. Ukoliko te linije menjaju svoj položaj u spektru posmatrane zvezde, to znači da zvezda menja brzinu i/ili pravac u odnosu na Zemlju.

Ukoliko spektralne linije pravilno osciluju oko položaja gde bi trebalo da budu s obzirom na tip zvezde, znači da u okolini zvezde postoji još neko telo koje se ne vidi (planeta). Iz spektralnih linija se može izračunati masa i srednja udaljenost planete. Vreme potrebno da se linije vrate u početni položaj odgovara trajanju revolucije.

Ova metoda je najpogodnija za otkrivanje masivnih planeta koje se nalaze u blizini svojih zvezda (tzv. „vreli Jupiteri“).

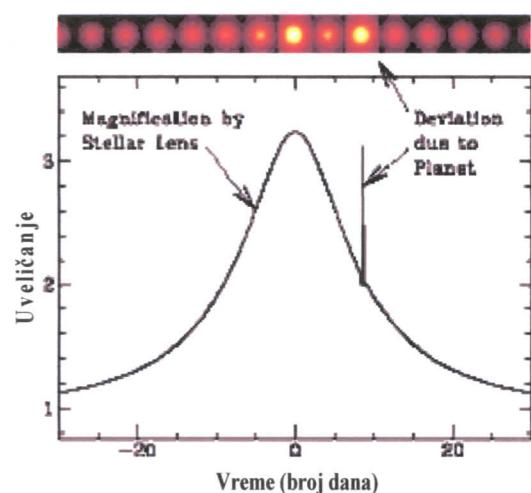
Metoda se za sada pokazala kao najefikasnija jer je najveći broj vansolarnih planeta otkriven upravo ovom metodom. (Slika 5.2.)

Prva vansolarna planeta oko „živuće“ zvezde 51 Pegasi (koja se nalazi na glavnoj grani HR dijagrama) je otkrivena upravo ovom metodom 1995. godine. Planeta ima masu oko 47% mase Jupitera, sa orbitalnim periodom od 4,23 zemaljska dana.^{[1][4][5]}

5.3. Gravitaciono „uveličanje“ ili mikrofokusiranje

Mikrofokusiranje je efekat koji je baziran na Ajnštajnovoj teoriji relativnosti po kojoj gravitacija nekog tela „savija“ prostor. Prema tome, svetlost koja prolazi pored masivnog objekta mora promeniti smer prateći „savijenost“ prostora, pa se masivno telo ponaša kao sočivo.

Ukoliko se masivno telo nađe između Zemlje i udaljene zvezde, do nas dolazi i deo svetlosti zvezde koji bi nas inače mimošao. Ukoliko bi masivni objekat bio tačno ispred zvezde koju posmatramo, i kada bismo imali odgovarajuće teleskope, mogli bismo videti tzv. Ajnštajnov prsten. Ako položaj objekta malo odstupa od ovog pravca dobili bismo dve slike.



Slika 5.1. Krivulja svetlosti zvezde dobijena metodom gravitacionog „uveličanja“

Krivulja svetlosti zvezde kada je na mestu sočiva kompaktan objekat je pravilna, međutim ukoliko objekat koji služi kao sočivo nije kompaktan (već ima uz sebe planetu), tada krivulja nije više pravilna.

Planeta se zbog svoje gravitacije takođe ponaša kao sočivo samo manje, pa se na krivulji pojavljuje poremećaj u obliku manje krivulje istog tipa. (Slika 5.1.)

Vremenski pomak poremećaja je srazmeran udaljenosti planete od zvezde, a jačina poremećaja zavisi od mase zvezda.

Planeta koje se otkrije pomoću ove metode po pravilu je predaleko da bi se mogla izvršiti bilo kakva dodatna merenja.

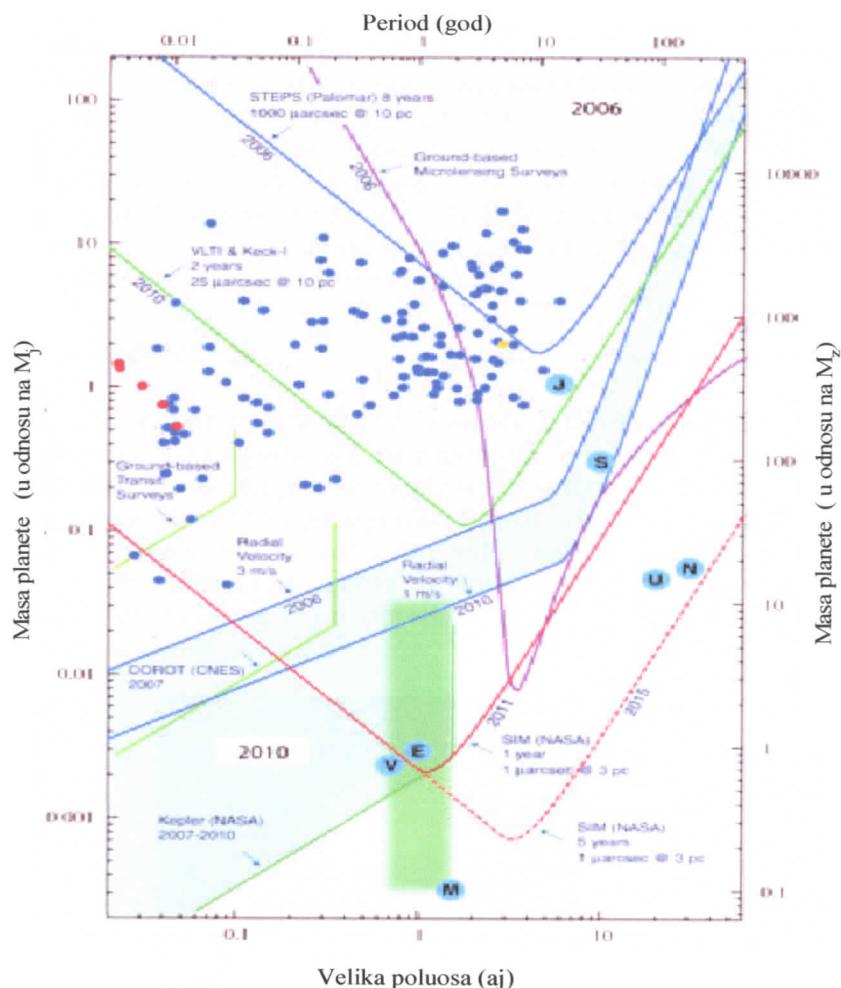
Prednost metode je u tome što omogućuje detekciju planeta Zemljine mase postojećom tehnologijom.^{[1][4][6]}

5.4. Metoda tranzita (fotometrija)

Ako je vansolarni sistem (zvezda-planeta) u ravni sa Zemljom, onda jednom u toku svog obilaska oko matične zvezde vansolarna planeta dođe u položaj između zvezde i Zemlje, prouzrokujući tzv. „tranzit“, tj. prividan prelaz preko diska zvezde. Pomoću jakih teleskopa se mogu izmeriti ovakve male promene sjaja zvezde.

Ovom metodom je otkriveno tek nekoliko planeta. Uzrok tome je što se mnogo parametara mora poklopiti. Planeta mora biti dovoljno velika da promena sjaja bude uočljiva, mora orbitirati u ravni našeg pogleda i mora biti snimljena tačno u trenutku tranzita koji traje vrlo kratko u odnosu na puno vreme revolucije.

I ova metoda je pogodna za otkrivanje divova poput Jupitera. Svoju veću primenu ova metoda bi trebalo da dobije lansiranjem orbitalnog teleskopa Kepler Space Mission (predviđeno za novembar 2008.) koji je dizajniran da traži planete slične Zemlji metodom tranzita. (Slika 5.2.)^{[1][4][6]}



5.5. Astrometrija

Astrometrija se bazira na vrlo preciznom merenju položaja zvezda. Tokom okretanja planete oko zvezde, planeta svojom masom utiče na zvezdu, tako da oba tela orbitiraju oko zajedničkog centra mase. Masa zvezde je puno veća od mase planete, pa se centar mase najčešće nalazi unutar same zvezde i sam pomak zvezde je vrlo mali.(Slika 5.3.)

Ako je ravan rotacije u liniji sa Zemljom, a planeta dovoljno velika, ovo malo kretanje zvezde oko centra mase se može izmeriti astrometrijskom metodom.

Iako je ovo najstarija metoda za otkrivanje vansomarnih planeta nijedana još planeta nije otkrivena ovom metodom, ali je ona poslužila za otkrivanje Sirijusovog pratioca, belog patuljka Sirijusa B.^{[1][4][6]}

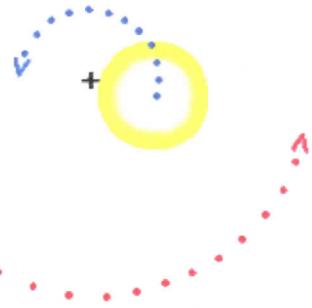


Figure by D. Kolinski, STARE Project

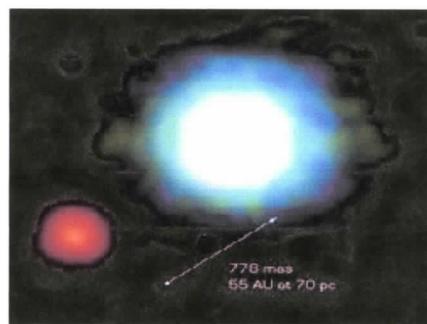
Slika 5.3. Zvezda i planeta orbitiraju oko zajedničkog centra mase

5.6. Protoplanetarni diskovi

Još noviji pristup u detekciji vansomarnih planeta uključuje proučavanje oblaka praštine oko zvezda, za koje se sumnja da se u njima odvija aktivan proces nastanka planeta. Ti se oblaci praštine oblikuju kao diskovi oko zvezda, upijaju njihovu svetlost i nakon toga je zrače u vidu toplove (infracrvenog zračenja). Pretpostavlja se da se u tim ranim fazama već počinju formirati planete, pa se proučavanjem i objašnjavanjem gustine i anomalija tih diskova pokušava pokazati indirektno postojanje planeta u disku. Mana ove metode leži u činjenici da se može koristiti jedino uz pomoć teleskopa koji se nalaze izvan naše atmosfere, jer i sama atmosfera upija mnogo infracrvenog zračenja, pa posmatranja sa površine postaju nemoguća.^[5]

5.7. Direktno posmatranje

Posmatrati planetu pored sjajnog objekta kao što je zvezda je teško izvodljivo. Međutim, ako je u pitanju sistem koji je tek u nastajanju, gde su planete vruće od sudaranja sa manjim telima u akrecionom disku zvezde, zvezda koja je tek započela termonuklearne reakcije i još nije dostigla svoj pravi sjaj, šanse za direktno posmatranje postaju veće. Zvezda najviše zrači u vidljivom delu spektra, puno više nego u infracrvenom. Planeta zrači isto u vidljivom i infracrvenom delu spektra. Prema tome, snimanjem u infracrvenom delu spektra uz korišćenje vrhunske tehnologije do sada su napravljeni direktni snimci tri planete, a najmanja od njih ima masu od oko 5 masa Jupitera i orbitira oko zvezde braon patuljka 2M1207.(Slika 5.4.)



Slika 5.4. Zvezda 2M1207 (plavo) i planeta 2M1207 b (crveno).

Ova metoda je za sada usko ograničena na sisteme u nastajanju sa planetama koje su prilično udaljene od svojih zvezda i još nisu u potpunosti formirane, i na divovske planete.^{[4][5]}

6. Buduće misije

U budućnosti je planirano nekoliko misija za otkrivanje vansomarnih planeta. Astronomski merenja iz svemira moraju biti mnogo preciznija nego merenja sa Zemlje jer neće biti uticaja Zemljine atmosfere. Cilj ovih misija je otkrivanje vansomarnih planeta Zemljinog tipa.

Sateliti COROT (lansiran 27. decembra 2006.) Evropske svemirske agencije (ESA) i Kepler (NASA) (lansiranje predviđeno za novembar 2008.) koriste metod tranzita. COROT je dovoljno osetljiv da otkrije planete samo malo veće od Zemlje, dok bi Kepler mogao da detektuje čak i planete manje od Zemlje.

Svemirska interferometrijska misija (Space Interferometry Mission) (NASA) predviđena za lansiranje 2014. godine, koristiće metodu astrometrije. Dizajnirana je za otkrivanje planeta sličnih Zemlji koje orbitiraju oko više najbližih zvezda.

TPF (Terrestrial Planet Finder- NASA) i Darwin (ESA) su misije koje će u potpunosti biti posvećene potrazi za ekstrasolarnim planetama. Njihovo lansiranje će biti najranije 2015. godine.

Ne samo da će se baviti otkrivanjem i snimanjem planeta već će pokušati što tačnije da odredi njihov hemijski sastav i karakteristike.

TPF će se sastojati od dva dela: TPF Coronagraph (TPF-C) i TPF Interferometer (TPF-I).

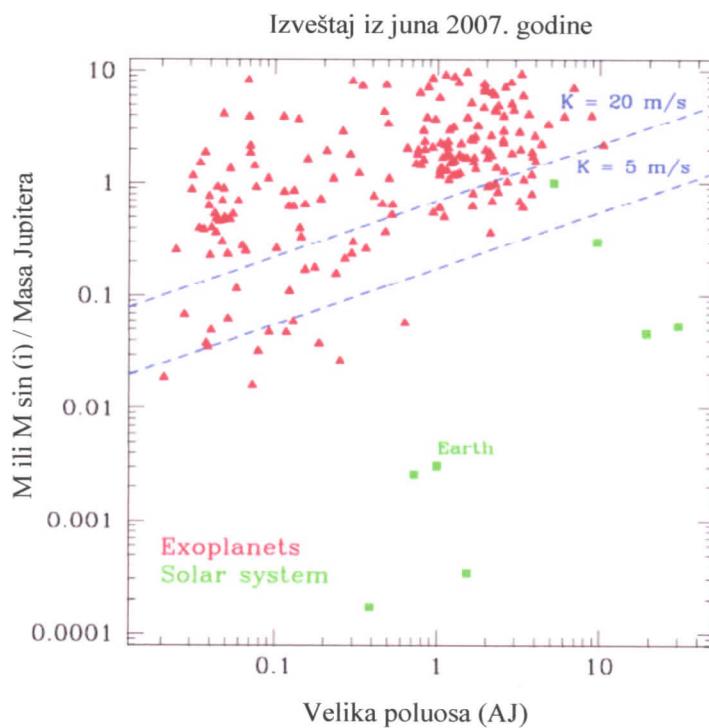
TPF-C će imati jedan teleskop (4x6 m) opremljen malim diskom koji će služiti za zaklanjanje svetlosti zvezde, i na taj način će pokušati da uhvati bledu svetlost planeta.

TPF-I će biti sistem od najverovatnije tri teleskopa za infracrveno područje, veličine 3-4 m.

Darwin je praktično ista misija kao i TPF-I. Sastojaće se od tri slobodno-leteće svemirske letelice. Darwin će pregledati oko 1000 najbližih zvezda tražeći male stenovite planete i analiziraće njihove atmosfere i hemijske znakove života. Nulling interferometrijom će se pokušati poništiti svetlost zvezde.^{[4][6]}

7. Opšte osobine otkrivenih vansolarnih planeta

Ogromna većina do sada otkrivenih vansolarnih planeta su gigantske planete čija je masa i deset puta veća od mase Zemlje. Mnoge od njih su pak znatno masivnije i od Jupitera, najveće planete Sunčevog sistema (Slika 7.1.). Međutim, ovo je posledica činjenice da su dosadašnje metode potrage mnogo osetljivije na gigantske planete nego na planete veličine Zemlje. Statistički gledano planete malih masa bi trebalo da su zastupljene u bar podjednakom broju kao gigantske planete. Sama činjenica da je u poslednje vreme otkriveno nekoliko planeta čija je masa svega nekoliko puta veća od mase Zemlje ukazuje na činjenicu da ovakve planete sasvim sigurno postoje, ali da postoje teškoće u njihovom otkrivanju.



Slika 7.1. Mase vansolarnih planeta (crveno) i planeta Sunčevog sistema (zeleno)

Za sada se veruje da su među vansolarnim planetama zastupljenije gasovite planete poput gasovitih giganata u našem Sunčevom sistemu. To je, međutim, potvrđeno samo za planete koje su detektovane metodom tranzita. Za nekoliko najmanjih otkrivenih planeta se sumnja da su stenovite poput Zemlje i drugih unutrašnjih planeta našeg sistema.

Veličine (gasovite) planete se formiraju ubrzano nakon formiranja matične zvezde. Gasovitim gigantima poput Saturna i Jupitera je potrebno između 3 i 30 miliona godina da bi postao planeta u pravom smislu te reči, za razliku od malih planeta tipa Zemlje kojima su potrebne stotine miliona godina.

Planetarna magnetosfera obezbeđuje zaštitu od zvezdanog vetra. Po pravilu, planete koje imaju magnetosferu imaju jezgro sačinjeno od tečnog metala i rotiraju. Planete koje nemaju magnetosferu konstantno gube svoju atmosferu usled zvezdanog vetra. Kod manjih planeta poput Marsa tečno jezgro brzo očvrsne, dok velike planete zadržavaju tečno jezgro duže vremena.

Sateliti mogu biti zaštićeni od zvezdanog vetra magnetosferom planete oko koje rotiraju. Posmatranja pomoću HST (Hubble Space Telescope) su pokazala da gasovita gigantska planeta koja

orbitira oko zvezde HD 179949 vrlo verovatno ima magnetno polje. Za sada se smatra da većina gasovitih gigantskih planeta ima magnetno polje.

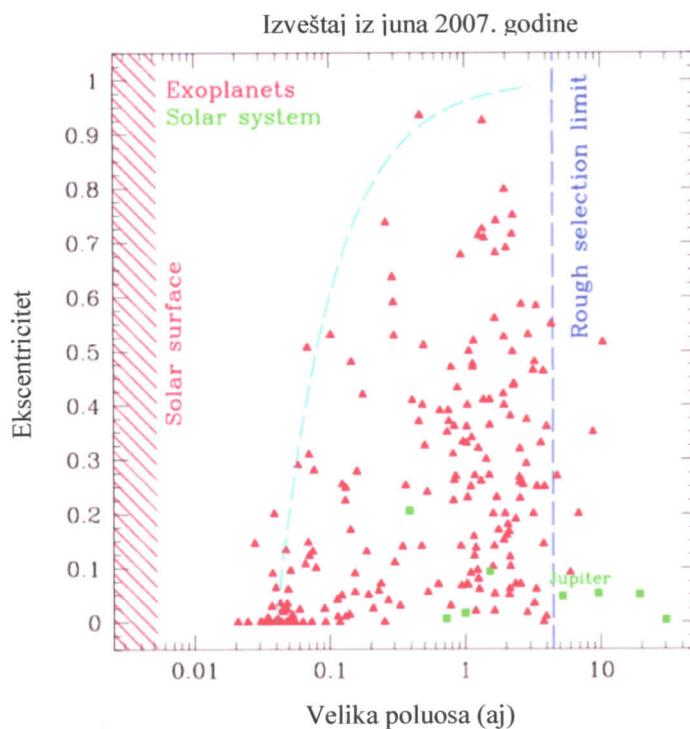
Mnoge dosad otkrivenе vansolarne planete orbitiraju mnogo bliže svojim matičnim zvezdama nego bilo koja planeta u Sunčevom sistemu. Međutim, i to je efekat opservacione selekcije. Najveći broj planeta dosad je otkriven metodom merenja radikalnih brzina a ova metoda je pogodna za otkrivanje vansolarnih planeta sa malim orbitama.

Najveće iznenadenje za astronome je predstavljalo otkriće tzv. „vrelih Jupitera“, gigantskih gasovitih planeta koje orbitiraju vrlo blizu svojih matičnih zvezda. 2006. godine, nastala je nova klasa planeta tzv. „vrlo vrelih Jupitera“, takođe gigantskih gasovitih planeta. Orbitalni period „vrelih Jupitera“ je veći od 3 dana, a kod „vrlo vrelih Jupitera“ je manji od 2 dana. Ove planete nisu mogle nastati u ovim uslovima. Jedno od mogućih objašnjenja je da su one nastale na mnogo većim rastojanjima od svojih zvezda, ali da su kasnije migrirale. Da se Jupiter u našem planetarnom sistemu tako ponašao, vrlo verovatno bi na svom putu progutao Zemlju, i Zemlje danas ne bi bilo. Međutim orbite svih planeta u našem planetarnom sistemu su na sreću vrlo stabilne. Za sada se ne zna da li je ta stabilnost orbita osobina svih planetarnih sistema ili je naš sistem i ovde jedinstven.

Neki naučnici su skloni verovanju da su ovakvi planetarni sistemi možda formirani na način koji je različit od načina formiranja našeg sistema, jer u Sunčevom sistemu sve gasovite planete se nalaze na velikim udaljenostima od Sunca.

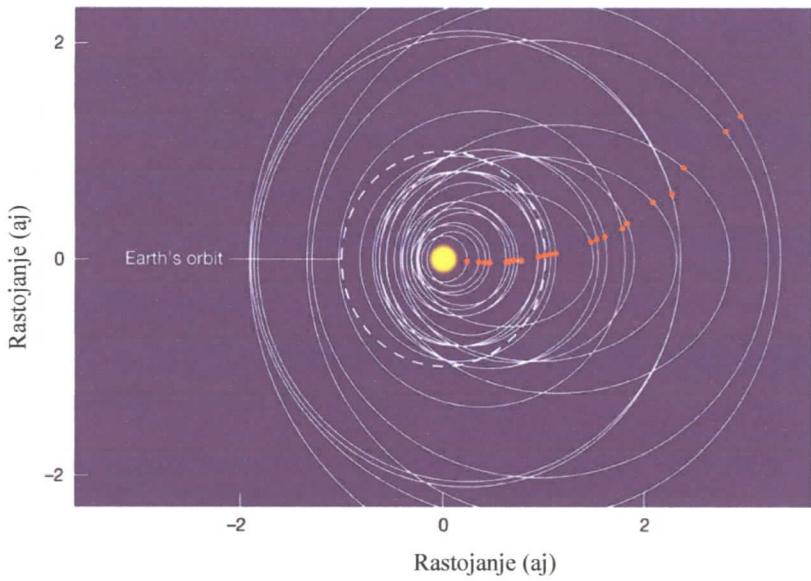
Naravno, sada je jasno da postoje i gigantske planete koje imaju i mnogo duže orbite. Mnogi vansolarni planetarni sistemi imaju i po jednu ili dve planete tipa Jupitera koje orbitiraju na putanjama sličnim Jupiterovoj ili Saturnovoj u Sunčevom sistemu.

Većina ekstrasolarnih planeta ima veoma ekscentrične orbite, te ova činjenica predstavlja jednu od velikih zagonetki s obzirom da sve teorije o formiranju planeta predviđaju da bi planete trebalo da imaju kružne (cirkularne) orbite. (Slika 7.2.i 7.3.)



Slika 7.2.Ekscentritet orbita vansolarnih planeta (crveno) i planeta Sunčevog sistema (zeleno)





Slika 7.3. Orbite vansolarnih planeta u poređenju sa Zemljinom orbitom

Jedno od mogućih objašnjenja može biti i to da u takvim planetarnim sistemima postoje neki skriveni objekti (kao što su npr. braon patuljci) koji mogu biti uzročnici ovakvog poremećaja orbite.

Postoji još mnogo pitanja vezanih za ekstrasolarnе planete na koja ne znamo odgovor kao što je njihov sastav i mogućnost posedovanja satelita. Najnovija istraživanja su otkrila vansolarnе planete koje verovatno imaju vodu. Pitanje koje ljude možda najviše okupira je da li među vansonarnim planetama postoje takve koje bi mogle da podrže oblik života kakav postoji na Zemlji.

Većina ekstrasolarnih planeta imaju „Goldilokov problem“ što znači da su ili predaleko od svoje zvezde (previše hladne) ili preblizu (previše vrele) ili gasovite i prema tome potpuno nepodobne za razvoj oblika života kakav postoji na Zemlji.

Mada, među vansonarnim planetama su otkrivene i takve, koje orbitiraju oko svojih matičnih zvezda u habitalnoj zoni.^{[1][4]}

8. Habitualna zona (ekosfera)

Oblik života kakav postoji na Zemlji može da nastane samo u vrlo ograničenim uslovima. Pre svega planeta mora da orbitira u habitualnoj zoni oko zvezde koja se nalazi na glavnoj grani H-R dijagrama. Zatim, planeta mora biti stenovita poput Zemlje, mora posedovati izvore energije, a takođe mora posedovati tečnu vodu i atmosferu dovoljne gustine kako razlika temperatura između dana i noći ne bi bila prevelika itd.

Prostor oko zvezde u kojem je moguć nastanak, razvitak i opstanak života tokom milijardi godina naziva se habitualna zona ili ekosfera. U potrazi za planetom na kojoj bi postojali uslovi za razvitak oblika života poput ovog na Zemlji pre svega treba tražiti planete koje orbitiraju oko zvezde koja pripada glavnom nizu H-R dijagrama jer takva zvezda ima pred sobom još dovoljno dug život pre nego što prede u fazu crvenog džina.

U habitualnoj ili nastanjivoj zoni jedan od najvažnijih uslova je temperatura. Najpogodniji je temperaturni interval između tačke mržnjenja (0°C) i ključanja vode (100°C).

Ako uzmemo za primer planetu koja kruži oko zvezde kao što je Sunce, spektralne klase G2,^[*] da jedan deo svetlosti reflektuje, a drugi apsorbuje pa ponovo emituje, da rotira brzinom kojom Zemlja rotira onda je nastanjiva zona prostor oko zvezde na udaljenosti od 0,63 (0,95) aj do 1,15 (1,37) aj.

Ako je u pitanju toplija zvezda nastanjiva zona je šira i na većoj udaljenosti od zvezde i obrnuto, ali bez obzira na tu činjenicu najsajnije zvezde nisu uopšte poželjni kandidati.

Najnovija istraživanja ukazuju na to da zvezde spektralne klase O, koje su mnogo sjajnije i masivnije od našeg Sunca imaju tzv. „efekat fotoevaporacije“, koji onemogućava stvaranje planeta.

Potraga je pre svega usmerena na zvezde spektralne klase F, G ili K čija je masa od 0,5 do 1,4 solarne mase jer takve zvezde imaju mnogo duži život. Procenjuje se da je oko 3 milijarde godina nepromenljivog sjaja zvezde potrebno inteligentnom životu da se razvije.

Zvezde od 1,4 Sunčeve mase ujednačeno sijaju 3,6 milijardi godina, dok masivnije zvezde žive znatno kraće.

Habitualna zona za zvezde mase manje od 0,5 Sunčeve mase je na rastojanju od 0,23 do 0,38 aj što dovodi do „zakucavanja“ rotacije planete (pojave da je planeta uvek istom stranom okrenuta zvezdi).

Više od 65% zvezda koje odgovaraju ovom opsegu masa pripadaju tzv. binarnim sistemima. To je nepogodan faktor s obzirom da blizina druge zvezde u većini slučajeva narušava stabilnost putanja planeta.

Udaljenost između jedne i druge zvezde binarnog sistema može biti manja od 1 aj, ili nekoliko stotina aj. U drugom slučaju efekti gravitacije ne bi se značajnije odrazili na planetu koja orbitira oko zvezde, ukoliko joj ekscentritet orbite nije veliki. Međutim, gde je udaljenost znatno manja, planeta ne može imati stabilnu orbitu.

Prvobitno nije bilo poznato ni da li binarni zvezdani sistemi mogu imati planete jer gravitacione sile zvezda utiču na stvaranje planeta, međutim teorijski rad Alana Bosa je pokazao da gasoviti giganti mogu da se formiraju kako oko pojedinačnih zvezda, tako i oko binarnih zvezda.

Potraga za habitualnim planetama prvobitno je bila usmerena na usamljene zvezde kao što je naše Sunce, međutim, jedna studija o Alpha Centauri je pokazala da binarne zvezde ne bi trebalo isključiti iz ove potrage. Rastojanje između Alpha Centauri A i Alpha Centauri B je oko 11aj.^{[1][4]}

[] Spektralna klasifikacija zvezda je data u prilogu na 50. strani.

8.1. Podesni zvezdani sistemi

Priča o planetarnoj habitalnosti počinje sa zvezdama. Dok nebeskih tela koja su uopšteno slična Zemlji može da bude u izobilju, važno je samo da njihovi veći sistemi budu podesni za život. Pod pokroviteljstvom SETI projekta „Feniks“ naučnice Margaret Ternbal i Džil Tarter su 2002. godine razvile „HabCat“ (Katalog habitualnih zvezdanih sistema). Katalog je sastavljan na osnovu uvida u gotovo 120.000 zvezda većeg, Hiparhovog Kataloga i predstavlja veće jezgro od 17.000 „hab-zvezda“ te su kriterijumi selekcije koja je pri tom napravljena obezbedili dobru polaznu tačku za shvatanje koji su astrofizički faktori neophodni da bi planete bile habitualne.^[4]

8.1.1. Spektralne klase zvezda

Podesnim spektralnim opsegom za „hab-zvezde“ trenutno se smatra „rani F“ ili G“ do srednjeg „K.“ To odgovara temperaturnom intervalu od nešto više od 4000K do nešto iznad 7000K. Sunce koje je negde u sredini ovih graničnih vrednosti, klasifikованo je kao zvezda spektralne klase G2. Zvezde „srednje klase“ imaju brojne karakteristike koje se smatraju važnim za planetarnu habitualnost:^[4]

- žive najmanje nekoliko milijardi godina, ostavljajući dovoljno vremena da se na njima razvije život. Luminoznije zvezde glavnog niza spektralne klase O, B ili A obično žive manje od milijardu godina, a u izuzetnim slučajevima i manje od 10 miliona godina.
- one emituju dovoljno visokofrekventnog ultraljubičastog zračenja da pokrenu važnu atmosfersku dinamiku kao što je stvaranje ozona, ali ne u tolikoj meri da ionizacija razori početni život
- moguće je da postoji tečna voda na površini planeta koje orbitiraju oko njih na rastojanju koje ne dovodi do „zakucavanja“ planete.
- ove zvezde niti su previše vruće niti previše hladne i žive dovoljno dugo da bi na njima mogao da se razvije život. Ovaj spektralni domet se odnosi na 5 do 10% zvezda u Mlečnom Putu. Da li su zvezde crveni patuljci takođe dobri domaćini habitualnim planetama, ostaje otvoreno pitanje, jer je otkriveno da „super-Zemlja“ Gliese 581 c orbitira u habitualnoj zoni oko ovakve zvezde i moguće je da ima tečnu vodu.^{[4][7]}

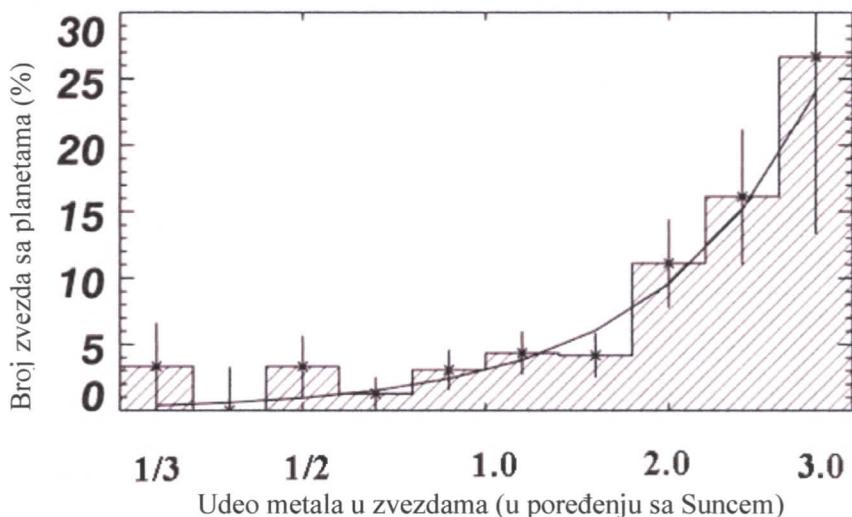
8.1.2. Stelarne varijacije

Promene luminoznosti odnosno sjajnosti su uobičajena pojava kod svih zvezda, ali postoji različitost u njihovom kolebanju. Većina zvezda su relativno stabilne, ali značajna manjina varijabilnih zvezda često doživljava iznenadno i intenzivno povećanje luminoznosti i samim tim i povećanje količine energije koju zrači prema objektima u svojoj orbiti. One se smatraju lošim domaćinima za potencijalno nastanjive planete, jer živa bića naviknuta na određeni temperaturni opseg ne bi bila sposobna da prežive velika temperaturna kolebanja. Porast luminoznosti je propraćen velikim dozama γ i X zračenja što bi moglo biti smrtonosno. Atmosfere ublažavaju ovakve efekte, ali ne bi došlo do zadržavanja atmosfere na planetama koje orbitiraju oko ovakvih zvezda.^[4]

[] Tabela širine habitualnih zona za zvezde različitih spektralnih klasa je data u prilogu na 51. strani.

8.1.3. „Metalnost“ zvezda

Zvezde su sačinjene uglavnom od lakih elemenata H i He. One sadrže i male količine težih elemenata kao što je Fe, i sadržaj ovih elemenata određuje „metalnost“ zvezda. Zvezde veće „metalnosti“ mnogo češće imaju planete, i te su planete obično mnogo masivnije od planeta koje orbitiraju oko zvezda manje „metalnosti“. (Slika 8.1.) Svaka planeta koja bi se formirala oko zvezde siromašne teškim elementima bi imala malu masu i kao takva ne bi bila podesna za razvoj života na njoj.^[1]



Slika 8.1. Procenat zvezda koje imaju planete u zavisnosti od udela metala u njima (u poređenju sa Suncem)

8.1.4. Osobine Sunca

Da bi podržala kompleksan život, zvezda kandidat mora da bude tačno određene boje, sjaja i starosti. Ne sme imati suviše brzu rotaciju, niti velika variranja u emitovanju svetlosti.

U najbližem susedstvu, unutar oblasti od 12,5 s.g. od Sunca ima 33 zvezde.^[1] Za sada se čini se da je Sunce jedinstvena zvezda u ovom delu svemira.

Sunce se nalazi na glavnoj grani H-R dijagrama, pripada spektralnoj klasi G2 sa površinskom temperaturom od oko 6000K. Predstavlja zvezdu druge generacije i spada u žute patuljke. Njegova starost se procenjuje na oko 5 milijardi godina i nalazi se na polovini svoje stabilne životne faze.

Sunce je usamljena zvezda, ono nema zvezdanog pratioca, što omogućuje planetama stabilne orbite. Kao drugo, spada u 10% zvezda iz svog okruženja koje su dovoljno masivne da bi bile dovoljno svetle i tople, ali koje će sijati dovoljno dugo za razvitak i dalji opstanak života. Takođe, izgleda da se u Suncu nalazi 50% više teških elemenata nego u drugim zvezdama njegovog tipa i starosti, što je dobro jer su teški elementi neophodni za nastanak stenovitih planeta. Sunce ima manje promenljiv sjaj od njemu sličnih zvezda što je značajno jer nema velikih izliva štetnog zračenja.

Sunce ima neobičnu putanju oko galaktičkog centra. Putanja mu je manje ekscentrična u poređenju sa drugim zvezdama njegovog tipa i starosti i zahvaljujući tome Sunce ne zalazi dublje u Galaksiju gde su česte supernove. Takođe putanja jedva da je malo nagnuta u odnosu na galaktičku ravan što ide u prilog tome da nema iznenadnih poremećaja Ortovog oblaka zbog čega bi komete često bombardovale Zemlju.^{[1][7]}

8.1.5. Osobine nekoliko najbližih zvezda

	Sirius	Procyon	Eps Eridani	Tau Ceti	UV Ceti
tip zvezde	bela	belo-žuti patuljak	narandžasti patuljak	žuti patuljak	crveni patuljak
Spektralna klasa	A1V	F5V	K2V	G8V	M6V
Udaljenost	8.6 sg	8.6 sg	10.8 sg	11.9 sg	8.4 sg
Luminoznost	24L	7.7L	0.3L	0.45L	0.00004L
Masa [masa Sunca]	2.2	1.5	0.7	0.8	0.15
Površinska temperatura	10000K	7 300K	5 200K	5 500	2 800K
Život na glavnom nizu	10^6 god	6×10^9 god	15×10^9 god	12×10^9 god	10^{12} god
Nastanjiva zona [AJ]	2 – 5 (4.6 – 6.8)	1.2 - 2.5	0.4 – 0.6	0.6 – 0.9	0.04 – 0.07
Zona stabilnih planetarnih putanja oko zvezde	do 10 AJ	max 3 AJ	nije ograničena	nije ograničena	do 1.2 AJ
Otkriveni pratioci	beli patuljak (Sirius B)	beli patuljak (Procyon B)	nijedan	nijedan	crveni patuljak (Luyten 726-8A)
udaljenost pratioca	20 AJ	14 AJ	-	-	6 AJ
orbitalni period pratioca	49.9 god	41 god	-	-	25 god

Tabela 8.1. Osobine nekoliko najbližih zvezda

• **Alpha Canis Majoris A (Sirius)**- je mlada zvezda čija se starost procenjuje na svega 300 miliona godina. Taj period je dovoljan da se oko nje razvije planetarni sistem. Sirius je sjajna zvezda pa je nastanjiva zona široka. Teorijski u ovakvoj zoni bi moglo da se nađu 3 do 4 planete Zemljinog tipa. Spada u bele zvezde spektralne klase A. Takve zvezde su nekoliko puta sjajnije od Sunca ali i kraći im je život. Ova zvezda će glavni niz napustiti za „samo“ 700 miliona godina, i prelaskom u fazu crvenog džina bi uništila sve planete oko sebe, ukoliko postoje.(Tabela 8.1.)

Prema tome i ako postoje planete koje orbitiraju oko ovakvih zvezda one su mlade, prekrivene toplim i plitkim okeanima. Kada bi ove planete imale kontinente, oni bi bili male vulkanski aktivne površine. Atmosfera bi bila debela i vlažna. Ozonski omotač ne bi postojao te planeta ne bi imala zaštitu od štetnog zračenja zvezde. Zbog toga bi se samo na dnu okeana, daleko od domaćaja UV zračenja mogao razviti nekakav primitivan oblik života, kao što su primitivne jednoćelijske bakterije.

Pre svega zbog kratkog životnog veka matične zvezde, ne bi bilo vremena za razvoj složenijih oblika života, ali i zbog drugih razloga, planete oko ovakvih zvezda domaćina su isključene iz potrage. Još jedna nepovoljna činjenica je i što zvezda Sirius A ima svog pratioca belog patuljka zvezdu Sirius B, koja se nalazi na rastojanju jednakom rastojanju Sunce-Uran.^[1]

• **Alpha Canis Minor- (Procyon)**- je zvezda na pragu umirućeg procesa jer je sagorela sav He. Ovo je zvezda spektralne klase F5 što znači da je masivnija i toplija od Sunca. Nastanjiva zona je šira i udaljenija od matične zvezde, ali životni vek ovakve zvezde ne bi bio dovoljan za razvoj složenijih oblika života. (Tabela 8.1.)

Potencijalno nastanjiva planeta oko ovakve zvezde bi imala klimu topliju od Zemljine i bila bi bez zaštite od štetnog UV zračenja.

I ova zvezda ima pratioca belog patuljka Procyon B.^[1]

• **Epsilon Eridani**- je zvezda koja pripada glavnoj grani H-R dijagrama. Pripada spektralnoj klasi K što znači da je nešto manja i hladnija od Sunca, pa bi nastanjiva zona oko ovakve zvezde bila uža i bliže zvezdi. (Tabela 8.1.)

Ovakve zvezde imaju dug životni vek i druge su po zastupljenosti u Galaksiji.

Zvezde ovakvog tipa su idealni domaćini planeti na kojoj bi se razvio oblik života kakav mi tražimo. S obzirom da je slična Suncu pretpostavlja se da bi oko nje mogle orbitirati planete slične Zemlji. Takođe kao i Sunce, ne pripada binarnom sistemu. Oko nje je detektovan prašnjavi disk prečnika 60aj.^[1]

• **Tau Ceti**- pripada spektralnoj klasi G. S obzirom da i Sunce pripada ovoj spektralnoj klasi, zvezde ovog tipa su najčešće na meti proučavanja. Na glavnoj grani H-R dijagrama će provesti još oko 10 milijardi godina što je sasvim dovoljan period za razvoj najsloženijih oblika života. (Tabela 8.1.)

Ova zvezde ima oko dva puta manju luminoznost od Sunca, tako da je njena nastanjiva zona svega 1/3 aj, što je dovoljno za razvitak planete tipa Zemlje. Međutim, ukoliko bi se desilo da se u nastanjuvoj zoni nađe džinovska gasovita planeta, onda ne bi bilo mesta za još jednu planetu tipa Zemlje.

Jedina mogućnost bi bila da se život razvije na nekom satelitu te planete, koji bi bio poput Zemlje. Klima na ovom satelitu bi sigurno bila različita od naše, ali u zavisnosti od udaljenosti orbite ni jedan poznati oblik života ne bi bio isključen.^[1]

• **UV Ceti**- pripada spektralnoj klasi M što znači da je male mase (1/10 mase Sunca) i slabog sjaja. Ove zvezde su najzastupljenije u Galaksiji jer sačinjavaju oko 70% zvezdane populacije. (Tabela 8.1.)

Zbog slabog sjaja nastanjiva zona crvenih patuljaka je uska (širine od 0,04 do 0,2 aj) i na malom rastojanju od zvezde. Zbog ovog razloga vrlo brzo bi došlo do „zakucavanja“ planete tj. ona bi vremenom prestala da rotira, što znači da bi na jednoj strani planete bila večna noć a na drugoj večni dan. U početku su ovakve zvezde bile isključene iz potrage za naseljivim planetama jer su naučnici smatrali da klima ne bi bila zadovoljavajuća.

Međutim, studije Roberta Haberlea (Robert Haberle) i Manoja Jošija (Manoj Joshi) iz Ames istraživačkog centra pri NASA u Kaliforniji su pokazala da atmosfera planete (pod pretpostavkom da sadrži gasove poput CO₂) treba da bude samo 10% Zemljine atmosfere, da bi dnevna strana efektom staklene bašte zarobljavala dovoljno toplosti, koja bi se vetrovima prenosila na tamnu stranu planete, tako da razlika temperatura između dnevne i noćne strane ne bi bila velika.^[4]

Bitna karakteristika crvenih patuljaka su zvezdane erupcije. To su nagla povećanja sjaja koja traju nekoliko minuta i mogu da budu veoma štetna za živi svet.

Nepovoljna okolnost je i ta što crveni patuljci većinu svoje energije emituju u infracrvenom delu spektra, tako da bi zračenja potrebnog za fotosintezu ovde bilo jako malo i zelene biljke u ovakvim uslovima ne bi mogle da opstanu.

Istraživanje koje je sprovedla NASA implicira da boja biljaka na nekoj vansolarnoj planeti može da se predvidi. Istraživači tvrde da bi biljke na ekstrasolarnim planetama mogле да буду zelene, žute ili crvene, te da bi njihova boja verovatno zavisila od dominantne boje fotosinteze na toj planeti. Oni veruju da bi dominantna boja fotosinteze zavisila od svetlosti koju reflektuje vansolarna planeta i od spektra zvezdane svetlosti koju apsorbuje atmosfera.

Pošto bi planeta orbitirala vrlo blizu svoje zvezde, sila gravitacije zvezde bi izazivala jake plimske talase, stvarajući planeti aktivnu unutrašnjost. Pošto nema efektivne fotosinteze, živi organizmi bi preživljavali koristeću geotermalnu energiju, što znači da bi mogli opstati i na tamnoj strani planete.

Crveni patuljci nisu isključeni iz potrage za vansonarnim planetama. Mada bi tamo život bio sasvim sigurno drugačiji od našeg, i potencijalni stanovnici ovih planeta ne bi uopšte ličili na Zemljane, ali crveni patuljci su najdugovečnije zvezde i oni će sigurno poslednji umreti u Univerzumu, pa su zbog toga možda i najbolji domaćini nekoj naprednoj civilizaciji.^{[1][4]}

8.2. Planetarna habitualnost

Planetarna habitualnost je mera potencijala nekog astronomskog tela (planeta ili prirodnih satelita) da razvije i podrži život. Najvažniji uslov da bi planeta mogla da podrži život je da ima izvor energije, ali pojam planetarne habitualnosti takođe podrazumeva da moraju da budu ispunjeni geofizički, geochemijski i astrofizički uslovi za život.

S obzirom na to da je trenutno neizvesno postojanje života izvan Zemlje, planetarna habitualnost je u velikoj meri ekstrapolacija uslova na Zemlji i karakteristika Sunca i Sunčevog sistema koje izgledaju pogodne za razvoj života, naročito faktori koji bi podržali složene, višećelijske organizme, a ne samo prosta jednoćelijska stvorenja.

Ideja o postojanju života izvan Zemlje nije nova, iako su tek krajem XX veka otkrićem vansolarnih planeta, obezbedene dodatne informacije za istraživanja o mogućem ekstraterestralnom životu. Što je najvažnije potvrđeno je da Sunce nije jedina zvezda oko koje se okreću planete i što su se proširile mogućnosti za istraživanje habitualnosti izvan Sunčevog sistema.^[4]

8.2.1. Karakteristike planeta

Glavna prepostavka o habitualnim planetama je da su one terestričkog tipa. Takve planete reda veličine Zemljine mase su uglavnom sastavljene od silikatnih stena. Gasoviti giganti su isključeni jer nemaju čvrstu površinu, ali njihovi prirodni sateliti bi mogli da budu savršeni kandidati za domaćine nekakvom obliku života.

Analizirajući koje bi okruženje verovatno podržalo život, često se pravi razlika između prostih, jednoćelijskih oblika života (bakterije), i složenih višećelijskih organizama. Jednoćelijski oblici života neizbežno su preteča višećelijskih, ali ne postoji garancija da bi na mestu gde se pojave jednoćelijski to dovelo i do stvaranja višećelijskih. Osobine planeta kao što su masa, rotacija, orbita itd. smatraju se ključnim za nastanak života uopšte, ali bi u svakom slučaju smetnje za habitualnost trebalo da se smatraju većim za višećelijske organizme.^[4]

• Masa planete

Planete male mase iz dva razloga nisu dobri kandidati. Prvo, njihova mala gravitacija otežava opstajanje atmosfere. Planete bez guste atmosfere imaju slabu izolaciju i slabi su provodnici topote kroz svoje površine (npr. Mars je sa svojom tankom atmosferom hladniji, nego što bi bila Zemlja da je na njegovom mestu) a takođe imaju i manju zaštitu od visokofrekventnog zračenja i meteoroida. Dalje, tamo gde je atmosfera manja od 0,006 Zemljinih atmosfera, voda ne može da postoji u tečnom stanju jer nema neophodnog atmosferskog pritiska od 4,56mmHg (608 Pa).^[4]

Dруго, manje planete imaju manji prečnik. Ovakva tela imaju tendenciju da preostalu energiju izgube odmah po nastanku i postaju geološki mrtve jer im nedostaju vulkani, zemljotresi i tektonska aktivnost, koja bi njihovu površinu snabdevala materijama neophodnim za život, a njihovu atmosferu regulatorom temperature kao što je ugljen-dioksid.^[4]

„Mala masa“ je delimično relativna definicija, jer i Zemlja ima malu masu ako se poredi sa gasovitim gigantima Sunčevog sistema, ali je najveća po dijametru i masi i najgušća od svih

terestričkih planeta našeg sistema. Dovoljno je velika da gravitacijom zadrži atmosferu i da njen jezgro ostane u tečnom stanju kako bi pokretalo razne geološke procese na njenoj površini.

Uostalom, verovatnije je da veća planeta ima i veće gvozdeno jezgro. To magnetnom polju omogućava da planetu zaštiti od solarnog vетра, koji u suprotnom preti da razvuče planetarnu atmosferu i da živa bića bombarduje ionizovanim česticama. Masa nije jedini kriterijum stvaranja magnetnog polja, već planeta mora da rotira dovoljno brzo da bi u svom jezgru proizvela dinamo-efekat.^[4]

• Orbita i rotacija

Ekscentritet orbite je razlika između najbližeg i najdaljeg položaja planete u njenom orbitu oko matične zvezde. Što je veći ekscentritet, veća su i kolebanja temperature na površini planete, koja su naročito nepovoljna ako prelaze tačku mržnjenja i tačku ključanja vode.

Zemljina orbita je gotovo potpuno kružna sa ekscentritetom manjim od 0,02; ekscentriteti svih planeta Sunčevog sistema sa izuzetkom Merkura su takođe vrlo blagi.

Ekscentritet orbita 90% otkrivenih vansonarnih planeta je veći od ovih u Sunčevom sistemu, što može biti potencijalna prepreka za nastanjivost, ali nije sasvim jasno koliki bi orbitalni ekscentritet prouzrokovao kritičan problem.^[4]

Kretanje planete oko svoje ose takođe mora ispuniti određene kriterijume da bi na njoj bilo prilike za razvoj života. Pre svega planeta mora imati godišnja doba. Ako je nagib ose u odnosu na ravan ekliptike jako mali, ili ga uopšte nema neće biti godišnjih doba. Isto tako, ako je planeta pod velikim nagibom, godišnja doba će biti ekstremna.

Planeta treba da rotira relativno brzo, kako ne bi ciklus dan-noć bio previše dug. Ako dan traje previše dugo razlika temperatura između dnevne i noćne strane bi bila izrazita.^[4]

• Geohemija

Da bi se život uopšte razvije potrebno je da u sastav planeta uđu elementi neophodni za razvoj života. Pre svega to su : C, N, O i H. Ova četiri elementa zajedno čine 96% Zemljine biomase.^[4] To znači da oblak od koga su sačinjene planete mora biti bogat ovim elementima. U našoj Galaksiji ove zvezde pripadaju Populaciji I i leže u galaktičkom disku.^[1]

9. Značajne vansolarne planete

Od prvog potvrđenog otkrića jedne vansolarne planete 1992. godine do danas je otkriveno 247 planete izvan Sunčevog sistema (prema profesoru Džonatanu Tenisonu). Otkrivene su planete koje kruže oko super-gustih neutronskih zvezda i koje su nekako preživele supernovu ili su se kasnije ponovo formirale. Izmerena je i brzina vetrova na jednoj vansolarnoj planeti veličine Jupitera koji duvaju brzinom od 10 000 km/h što je 30 puta jače od najveće izmerene brzine veta na Zemlji. Pronađene su i stenovite planete sa atmosferom koje bi mogle podržati život i koje predstavljaju glavnu metu ovih istraživanja.

1992. PSR 1257+12 B

Prva vansolarna planeta čije je otkriće verifikovano.^[4]

1995. 51 Pegasi b

Prva vansolarna planeta otkrivena oko jedne zvezde glavnog niza H-R dijagrama. Otkrivena je metodom merenja radijalnih brzina. Spada u tzv. „vrele Jupitere“, što znači da je to gasovita džinovska planeta na orbiti vrlo bliskoj zvezdi 51 Pegasi.^{[4][8]}

1998. Gliese 876 b

Prva otkrivena vansolarna planeta koja orbitira oko zvezde crvenog patuljka Gliese 876. Njena orbita je mnogo bliža zvezdi nego Merkurova u Sunčevom sistemu.^[4]

1999. Iota Hor b

Prva otkrivena vansolarna planeta čija je orbita vrlo slična Zemljinoj. Planeta je 145 miliona kilometara udaljena od žute zvezde spektralne klase G, Iota Horologii. Orbitalni period joj je 320 dana. Udaljena je od Zemlje 56 s.g. Ova planeta je verovatno gasoviti gigant čija je masa najmanje 2,26 puta veća od Jupiterove tj. 720 puta veća od Zemljine i prema tome nepogodna za razvoj složenijih oblika života.^{[7][8]}

2000. HD 16141 b i HD 46375 b

Prve otkrivene vansolarse planete čija je masa bila manja od mase Saturna u Sunčevom sistemu. Sve prethodno otkrivene vansolarse planete su imale masu uporedivu sa Jupiterovom ili čak i nekoliko puta veću, a Jupiter ima oko tri puta veću masu od Saturna.

Otkriće ovih planeta je potvrdilo pretpostavku da postoje vansolarse planete koje su i mnogo manje od Jupitera, i da bi one trebalo da su zastupljenije od gigantskih.

Planeta oko zvezde HD 16141 (poznata i kao 71 Ceti) ima masu približno jednaku 70% mase Saturna, orbitira po eliptičnoj orbiti, na udaljenosti od 52 miliona kilometara od svoje matične zvezde, koju obide za 75 dana. Nalazi se na udaljenosti od 117 s.g. od Zemlje. Planeta oko zvezde HD 46375 ima masu od najmanje 80% mase Saturna, orbitira na udaljenosti od 6 miliona kilometara od svoje zvezde, koju obide za 3,02 dana i udaljena je od nas 109 s.g.

Ove planete orbitiraju veoma blizu svojih matičnih zvezda tako da im je temperatura ekstremno visoka. Temperatura na planeti oko zvezde 71 Ceti se procenjuje na 830°C, a na planeti oko zvezde HD 46375 na oko 1130°C i pretpostavlja se da su ovo gasoviti giganti sastavljeni prvenstveno od H i He.^[8]

2001. HD 209458 b

Planeta čija je masa oko 70% mase Jupitera, a radijus joj je 30% veći od Jupiterovog i rotira oko zvezde HD 209458 na rastojanju devet puta manjem nego Merkur u Sunčevom sistemu. Poznata i pod nazivom „Oziris“ i udaljena od Zemlje 150 s.g. Prva vansolarna planeta otkrivena metodom

tranzita, prva za koju je utvrđeno da ima atmosferu, prva na kojoj je uočen vodonik koji isparava i prva u čijoj je atmosferi otkriven kiseonik i ugljen-dioksid koji isparavaju u tako ogromnim količinama da naučnici smatraju da treba da se ustanovi jedna nova vrsta planeta koja se zove „Chthonian Planets“ što bi u direktnom prevodu značilo „gasoviti džin od koga je ostalo samo jezgro“. Astronomi su, koristeći HST, objavili da su otkrili kiseonik i ugljen-dioksid koji okružuju planetu u njenoj izduženoj atmosferi elipsoidnog oblika, sličnoj ragbi lopti, kojom je planeta obavijena. Kiseonik je jedan od mogućih pokazatelja života za kojim tragaju svi naučnici u svojim istraživanjima kada je u pitanju potraga za životom van naše planete. Ovakvo otkriće je zanimljivo, ali nije neko veliko iznenadenje, pošto je kiseonik prisutan i na džinovskim planetama našeg Sunčevog sistema, poput Jupitera i Saturna. Naučnike je iznenadila činjenica da su pronašli atome kiseonika i ugljen-dioksida koji okružuju planetu u jednom produženom omotaču. Ta činjenica da se oni nalaze u gornjim slojevima atmosfere potvrđuju pretpostavku da se na ovoj planeti upravo događa stvaranje atmosfere tj. „eksplozija atmosfere“.

Oziris se nalazi na udaljenosti od samo 7 miliona kilometara od svoje matične zvezde, i njegova atmosfera se zagreva i do temperature od 1000°C , a obide svoju zvezdu za 3,5 dana.

Vodonik je najlakši element, kiseonik i ugljen-dioksid su mnogo teži u poređenju s njim, pa je ovo navelo naučnike da zaključe da je fenomen ovako snažnog „kuljanja“ vazduha mnogo delotvorniji od običnog isparavanja. Gas u ovom slučaju kulja brzinom većom od 35000 km/h.^{[1][7][8]}

2001. HD 28185 b

Prva vansomarna planeta otkrivena u habitalnoj zoni, koja bi mogla da poseduje tečnu vodu i da podrži život. HD 28185 b orbitira oko zvezde vrlo slične Suncu. Zvezda HD 28185 je spektralne klase G5 (što znači da je nešto hladnija od Sunca) i pripada glavnom nizu H-R dijagrama. Planeta je od svoje zvezde udaljena 150,6 miliona kilometara, što je za samo 1 milion kilometara veće od rastojanja Zemlja-Sunce, i ima skoro cirkularnu orbitu. Orbite slične Zemljinoj omogućavaju planeti relativno konstantne temperature tokom godine, što povećava šanse da voda na takvoj planeti (ako je imala) ostane u tečnom stanju. Ali, planeta HD 28185 b je verovatno gasoviti gigant mase minimalno 3,5 puta veće od Jupiterove, odnosno oko 1000 puta veće od Zemljine. Na gasovitim gigantskim planetama nema uslova za razvoj višečelijskih oblika života. Oko ove planete bi mogli da orbitiraju vansomarni sateliti koji bi mogli obezbediti ambijent pogodan za život.^{[4][7][8]}

2001. Iota Draconis b

Prva vansomarna planeta otkrivena oko jedne zvezde giganta – narandžastog giganta. Ova zvezda je 13 puta veća od Sunca i udaljena je od njega oko 100 s.g. Time je obezbeđen dokaz o preživljavanju planetarnih sistema oko zvezda giganata. Zvezde giganti imaju pulsacije koje mogu da oponašaju prisustvo planete. Planeta je gasoviti gigant, i najmanje je 8,7 puta masivnija od Jupitera a orbita joj je prilično ekscentrična. Oko svoje matične zvezde orbitira na prosečnom rastojanju 27,5% većem nego Zemlja oko Sunca i orbitalni period joj je 1,5 godina.^[4]

2002. Gamma Cephei b

Planeta 1,76 puta masivnija od Jupitera je otkrivena u binarnom zvezdanom sistemu, Gamma Cephei System, u kome su zvezde bliže jedna drugoj nego bilo koji par otkriven do tada. Planeta orbitira oko prve zvezde (koja je 1,6 puta masivnija od Sunca) iz zvezdanog sistema Gamma Cephei, na rastojanju koje je nešto veće od rastojanja Marsa od Sunca, a druga manja zvezda, je udaljena od prve kao Uran od Sunca. Otkriće je zanimljivo jer se smatralo da ovako zbijeni par zvezda ne može imati planete. Planeta obide (veću) zvezdu za oko 2,5 godine.^[8]

2003. PSR B1620-26 c

Koristeći informacije dobijene Hablovim svemirskim teleskopom, tim naučnika predvođen Stejnom Sigurdstonom (Steinn Sigurðsson) je potvrdio postojanje najstarije dosad otkrivene vansomarne planete. Planeta se nalazi u globularnom zvezdanom jatu M4 oko 7200s.g. udaljenom od Zemlje u

sazvežđu Škorpiona. U globularnim jatima nema težih elemenata potrebnih za formiranje ovakvih planeta, pa se veruje da je ova planeta nastala u nekom drugačijem kosmosu. Ova 12,7 milijardi godina stara planeta se okreće oko para zvezda –jednog belog patuljka i jednog pulsara B 1620-26 na udaljenosti jednakoj udaljenosti Urana od Sunca. Beli patuljak je star svega 480 miliona godina i ima masu od 0,35 Sunčevih masa. Masa planete je oko 2,5 puta veća od Jupiterove. Planeta je tipa gasovitog džina, bez tvrde površine slične Zemljinoj. Obzirom da je formirana u ranim stadijumima kosmosa, verovatno nema značajne količine elemenata kao što su ugljenik i kiseonik. Zbog toga je vrlo negostoljubiva za bilo kakve forme života. Nezvaničano ime ove planete je „Metuzalem“. Ovo otkriće ukazuje da su planete počele da se formiraju vrlo brzo nakon Velikog Praska.^{[1][4]}

2003. HD 70642 b

Planeta slična Jupiteru koja orbitira po kružnoj orbiti (za razliku od većine gigantskih vansomarnih planeta koje imaju vrlo ekscentrične orbite) na udaljenosti od 3,3 aj od matične zvezde. Zanimljivo je da ova planeta orbitira oko svoje zvezde po putanji koja je vrlo slična Jupiterovoj u našem sistemu. Ovo je prva dotad otkrivena planeta Jupiterovog tipa udaljena od svoje zvezde slično kao i Jupiter od Sunca., samo što joj je brzina mnogo veća, tako da obide zvezdu za 6 godina. Ovaj sistem je 90 s.g. udaljen od Zemlje. Masa planete je dvostruko veća od mase Jupitera i mogla bi da ima satelite tipa Evrope sa okeanima ispod površine koji bi mogli da podrže život pod vodom.^[8]

2003. HD 47536 b

Divovska planeta otkrivena kako orbitira oko ogromne umiruće zvezde koja je udaljena od Zemlje oko 400 s.g. Za nekih 10 miliona godina planeta će biti potpuno spržena i njeno kretanje oko ove zvezde je nazvano „samrtni ples“ .Zvezda HD 47536 ima prečnik 23 puta veći od Sunca, i najveća je dotad otkrivena zvezda u čijem je okruženju pronađena planeta. Planeta je 5 do 10 puta masivnija od Jupitera, i orbitira oko svoje zvezde na rastojanju od 300 miliona kilometara. Obide svoju zvezdu za 712 dana. Iako ova zvezda i njena planeta nimalo ne liče na Zemlju i Sunce, destruktivni proces koji je ovde započeo je sličan onome koji će se desiti našem sistemu za nekoliko milijardi godina.^[8]

2004. 2M1207 b

Prva planeta otkrivena oko smedeg patuljka i ujedno prva (i za sada jedina potvrđena) direktno fotografisana pomoću infracrvenih talasa. Nalazi se na rastojanju od 225 s.g. od Zemlje. Ima masu pet puta veću od Jupiterove i prečnik veći 1,5 put , mada neke procene pokazuju da je možda i manja. Orbitira na udaljenosti od 55 aj od smedeg patuljka. Masa smedeg patuljka iznosi samo 25 masa Jupitera. Planeta je gasoviti gigant veoma visoke temperature oko 1250 K, uglavnom zahvaljujući gravitacionim kontrakcijama.

Krajem 2005. godine parametri su se promenili tako da je poluprečnik orbite 41aj ,a masa 3,3 mase Jupitera, što je rezultat činjenice da je zvezda bliže Zemlji nego što se prvobitno očekivalo. 2006. godine pronađen je disk zvezdane prašine oko 2M1207 .^[4]

2004. 55 Cancri e i Gliese 436 b

Objavljeno otkriće dve planete veličine Neptuna koje orbitiraju oko zvezda 55 Cancri i Gliese 436. Njihove mase su 10 do 20 masa Zemlje i to su najmanje planete detektovane do 2004. godine. Novootkrivena planeta oko zvezde 55 Cancri, zajedno sa još tri druge, čini prvi otkriveni multiplanetarni sistem koji se sastoji od četiri planete. Obe planete (Gliese 436 b i 55 Cancri e) orbitiraju vrlo blizu svojim matičnim zvezdama. Prva planeta orbitira oko male zvezde Gliese 436, na rastojanju od 4,1 milion kilometara i obide oko zvezde za 2,5 dana. Zvezda Gliese 436 je M (crveni) patuljak i udaljena je od nas oko 30 s.g. Druga planeta orbitira oko zvezde 55 Cancri, na rastojanju od 5,6 miliona kilometara i obide oko zvezde za nešto manje od 3 (2,81) dana. Tri veće planete ovog planetarnog sistema okrenu se oko zvezde za 15; 44 i 4,52 dana. Najudaljenija od njih je otkrivena 2002. godine, i predstavlja vansomarnu planetu tipa Jupitera koja orbitira oko svoje zvezde na rastojanju jednakom rastojanju Jupitera od Sunca u našem sistemu. Zvezda 55 Cancri je udaljena 41

s.g. od Zemlje. S obzirom da su planete 55 Cancri e i Gliese 436 b manje od Jupitera prepostavlja se da su stenovite. Obe su otkrivene metodom merenja radijalnih brzina.^[7]

2005. Gliese 876 d

Ovo je treća planeta koja orbitira oko zvezde crvenog patuljka – Gliese 876. U sastavu ove zvezde se nalaze i dve divovske gasovite planete koje oko zvezde obiđu za 30 odnosno 61 dan. Zvezda Gliese 876 ima masu koja je jednaka 1/3 mase našeg Sunca, i od njega je udaljena oko 15 s.g. Procenjeno je da je masa planete oko 0,0185 mase Jupitera. Ovo je trenutno druga najsjajnija poznata vansolarna planeta koja orbitira oko zvezde glavnog niza. Gotovo je sigurno da je stenovitog sastava i da ima gustu atmosferu. Ovakva vrsta planeta se naziva „super Zemlja“. Orbitira na udaljenosti od 0,021aj od matične zvezde koju obiđe za 1,94 dana, pa je potpuno jasno da je temperatura na njoj relativno visoka i kreće se između 200°C i 400°C.^{[4][5][8]}

2005. HD 149026 b

Ovo je planeta sa najvećim jezgrom od svih do sada otkrivenih ekstrasolarnih planeta. Planeta je veličine Saturna i orbitira oko zvezde HD 149026 udaljene 256 s.g. u sazvežđu Herkula. Masa njenog jezgra se procenjuje na 70 Zemljinih masa, računato na osnovu 2/3 mase planete, što znači da bi morala sadržavati više teških elemenata nego što ih ima na svim planetama Sunčevog sistema, ali zaključujući na osnovu odnosa njene mase i gustine, planeta ne može biti sastavljena samo od teških elemenata već dobar deo njenog sastava moraju činiti H i He.

Pomoću Svetarskog teleskopa Spitzer grupa astronoma (prof. Joseph Harrington i njegov tim) je proučavala infracrveno zračenje ove planete i zaključili su da se ona greje na više od 2000°C, što je toplije od bilo čega do sada izmerenog na planetarnoj skali. Šta više, planeta skoro ne reflektuje nikakvo svetlo u svemir, što znači da izgleda kao džinovska žeravica iako se radi o gasovitom gigantu.^{[4][5]}

2005. HD 188753 Ab

Astronom Maciej Konacki je otkrio planetu mase slične Jupiteru u relativno uskom sistemu tri zvezde. Zvezdani trio je oko 149 s.g. udaljen od Zemlje. Planeta pripada klasi „vrelih Jupitera“ sa orbitalnim periodom od 3,3 dana. Smatra se da više od polovine zvezda pripada nekom višezvezdanom sistemu, tako da su oni vrlo rasprostranjeni u Vasioni. Veruje se da će ovo otkriće podstići teorije o stvaranju planeta, pošto bi prisustvo tolikog broja zvezda blizu jednih drugima verovatno poremetilo protoplanetarni disk za koji se prepostavlja da se u njemu rađa gigantska planeta.^{[4][7][8]}

2006. OGLE- 2005-BLG-390Lb

Najudaljenija i verovatno najhladnija dosad otkrivena vansolarna planeta. Površinska temperatura joj je procenjena na -220°C. Prepostavlja se da orbitira oko crvenog patuljka, na rastojanju od 21500 s.g. od Zemlje, blizu centra naše Galaksije. Orbitalni period joj je oko 10 godina. Otkrivena je metodom gravitacionog „uveličanja“ što se smatra najpogodnjom metodom za otkrivanje malih hladnih planeta veličina uporedivih sa veličinom Zemlje, i procenjuje se da joj je masa 5,5 puta veća od Zemljine, zbog čega je najmanja ekstrasolarna planeta koja orbitira oko jedne zvezde glavnog niza. Pre ovog otkrića mali broj poznatih vansolarnih planeta sa malom masom, bile su otkrivene u orbitama veoma blizu svojih matičnih zvezda, ali se procenjuje da ova planeta ima poluprečnik orbite od 2,6 aj, što je oko tri puta veće od poluprečnika Zemljine orbite. Prepostavlja se da je u pitanju stenovita planeta.^{[4][5][8]}

2006. HAT-P-1b

Koristeći mrežu malih automatizovanih teleskopa poznatih kao HAT, astronomi Smitsonovog instituta otkrili su planetu označenu kao HAT-P-1b, koja orbitira oko jednog člana para zvezda

udaljenih oko 450 s.g. od Zemlje, na rastojanju 20 puta manjem od rastojanja Jupitera od Sunca. Period revolucije joj je 4,5 dana. Planeta ima radijus 1,38 puta (neki procenjuju 2,5 puta) veći od Jupitera, a masa joj je dva puta manja od Jupiterove i ovo je ekstrasolarna planeta sa najmanjom gustinom od dosad otkrivenih (ima 2 puta manju gustinu od Jupitera). Prema postojećim modelima evolucije planeta tako velika i tako lagana planeta ne bi mogla da postoji. Naučnici smatraju da nije problem u nastanku tako velike planete ali nije jasno kako je opstala dosad. Postoji verovanje da bi ovaj objekat zajedno sa HD 209458 b (takođe gigantska planeta vrlo male gustine) konačno mogle da pruže uvid u to kako su planete nastale.^{[4][5]}

2006. SWEEPS-10

Kandidat za planetu (SWEEPS-skraćenica za Sagittarius Window Eclipsing Extrasolar Planet Search) sa najkraćim dosad nađenim orbitalnim periodom. Napravi jedan pun obrtaj oko svoje zvezde za samo 10 sati. Udaljena svega 1,2 miliona kilometara od svoje matične zvezde ova planeta je jedna od najtopljih ikad otkrivenih, procenjuje se da njena temperatura iznosi oko 1650°C. Pretpostavlja se da planeta mora da ima najmanje 1,6 masa Jupitera jer bi je u suprotnom raznela gravitaciona sila zvezde. Ovakve planete ultrakratkog perioda izgleda da se stvaraju samo oko zvezda patuljaka. Relativno niska temperatura malih zvezda omogućava opstajanje planete.^{[4][8]}

2007. Gliese 581 c

Prva vansomorna planeta koja se poput Zemlje našla na idealnoj udaljenosti od svoje zvezde. Orbitira oko zvezde crvenog patuljka - Gliese 581 c, i 14 puta je bliža svojoj zvezdi nego Zemlja Sunču. Orbitalni period joj je 13 dana i udaljena je od nas oko 20s.g. Planeta je po svojim temperaturnim prilikama vrlo slična Zemlji. Temperaturni interval je od 0°C do 40°C što bi omogućilo vodi (ako je imao) da ostane u tečnom stanju. Masa planete je 5 puta, a površinska gravitacija 1,6 puta veća od Zemljine. Radijus planete je 1,5 put veći od Zemljinog što bi moglo da ukazuje na njen kamenit sastav ili na površinu prekrivenu okeanima.

Međutim, spisak onoga što o ovoj planeti ne znamo je dugačak. Ne znamo njen sastav, da li ima atmosferu čak ni kako izgleda tj. da li je njena površina prekrivena ledom, snegom ili gasom. Ova planeta se u početku okretala oko svoje ose, ali se tokom stotina miliona godina „zakucala“, jer su se brzina okretanja oko svoje ose i zvezde usaglasile, tako da je na jednoj polovini planete večiti dan, a na drugoj večita noć.^{[4][5]}

2007. HAT-P-2b

Najmasivnija dosad detektovana vansomorna planeta. Ovo je gasoviti gigant čija je masa oko 8,2 puta veća od Jupiterove. Planeta ima mnogo veću gustinu nego Jupiter (sličnu Zemljinoj) iako se smatra da se sastoji uglavnom od vodonika. Ovakvi objekti su na samoj granici između zvezda i planeta. Da je 50% masivnija u njenom jezgru bi moglo da se zapale termonuklearne reakcije.^[7] Orbita joj je ekstremno eliptična ($e=0,5$), tako da se približava na 5 miliona kilometara svojoj matičnoj zvezdi pre nego što se zanjiše tri puta dalje od nje na razdaljinu od 15,6 miliona kilometara. Kod planeta sa kratkom orbitom gravitaciona sila između zvezde i planete cirkularizuju orbitu, tako da je ovo jedina poznata planeta sa tako eliptičnom orbitom koja orbitira vrlo blizu svoje zvezde. Orbitalni period joj je 5,63 dana.^[4]

2007. Corot-exo-1 b

Ovo je prva tranzitirajuća planeta otkrivena od strane svemirske misije COROT. Ova planeta orbitira oko zvezde Corot-exo-1. Zvezda domaćin je slična Suncu i udaljena je od njega 1500 s.g. Planeta orbitira vrlo blizu svoje zvezde, a orbitalni period joj je svega 1,5 dan. Kada je zvezda domaćin tipa Sunca, a planeta tako malo udaljena od nje, ta planeta mora biti veoma vrela- preko 1500K. Ova planeta ima masu od 1,3 mase Jupitera i radijus od 1,78 radijusa Jupitera, pa joj je gustina 5231,8 kg/m³. Površinska gravitacija planete je 2,5 puta veća od Zemljine; skoro ista kao Jupiterova.^[4]

Naziv	Planeta	Zvezda	Napomene
Najstarija	PSR B1620-26c	PSR B1620-26	stara 12,7 milijardi godina
Najmlađa	2M1207 b	2M1207	stara 8 miliona godina; prva egzoplaneta otkrivena metodom direktnog posmatranja; prvi smedji patuljak oko kojeg orbitira
Najmasivnija	HD 136118 b	HD 136118	11,9Mj <i>Napomena: Poznata je samo minimalna masa</i>
Najmanje masivna	PSR B1257+12 A	PSR B1257+12	0,02 Zemljine mase <i>Napomena: Sistem PSR 1257+12 obuhvata i moguce asteroidne objekte, ali nije dovoljno masivan da bi se mogao nazvati planetom</i>
Najveća	Corot-exo-1b	Corot-exo-1	Ima radijus od 1,78 radijusa Jupitera <i>Napomena: Poznati su radijusi samo tranzitnih planeta</i>
Najmanja	Gliese 581 c	Gliese 581	Ima radijus od 1,5 radijusa Zemlje. <i>Napomena: Poznati su radijusi samo nekih planeta</i>
Najudaljenija	OGLE-2005-BLG-390Lb	OGLE-2005-BLG-390L	21,500 ± 3,300 svetlosnih godina
Najbliža	Epsilon Eridani b	Epsilon Eridani	10,4 svetlosnih godina
Najveće gustine	Pi Mensae b	Pi Mensae	13,683 g/cm ³ <i>Napomena: Poznati su samo masa i radius</i>
Najmanje gustine	HAT-P-1b	ADS 16402 B	0,29 g/cm ³ <i>Napomena: Poznati su samo masa i radius</i>
Najduži period	2M1207b	2M1207	2450+ godina
Najkraci period	OGLE-TR-56b	OGLE-TR-56	1,2 dana <i>Napomena: SWEEPS-10 (čeka da se potvrdi)ima orbitalni period od 0,424 dana (10,2 sata)</i>
Orbita najvećeg ekscentriteta	HD 80606 b	HD 80606	Ekscentritet od 0,927

Orbita najmanjeg ekscentriteta	PSR B1257+12 A	PSR B1257+12	Ekscentritet od 0,0
Orbita s najvećom inklinacijom	HAT-P-2b	HD 147506	Inklinacija 90°
Orbita s najmanjom inklinacijom	Tau Boötis Ab	Tau Boötis	Inklinacija 29° <i>Napomena: Inklinacija većine planeta nije izmerena</i>
Najveća orbita	2M1207b	2M1207	55+ astronomskih jedinica (aj)/
Najmanja orbita	Gliese 876 d	Gliese 876	0,021 AU <i>Napomena: SWEEPS-10 (čeka na potvrđivanje) ima orbitalno rastojanje od 0,008 AU (1,2 miliona km)</i>

Tabela 9.1. Osobine nekoliko značajnih planeta

Prvootkrivene planete

Naziv	Planeta	Zvezda	God.	Napomena
Prva otkrivena planeta	PSR B1257+12 B, C	PSR B1257+12	1992	Prva otkrivena ekstrasolarna planeta <i>Napomena 1: Na postojanje planete oko Gamma Cephei sumnjalo se još 1988. Napomena 2: HD 114762 b otkrivena je 1989. ali kao planeta nije bila potvrđena pre 1996.</i>
				Prva poznata planeta koja orbitira oko pulsara
				Prva planeta otkrivena metodom učestalosti (frekvencije) emisije pulsara
	51 Pegasi b	51 Pegasi	1995	Prva poznata planeta koja orbitira oko zvezde slične Suncu Prva planeta otkrivena metodom radikalne brzine
	Gliese 876 b	Gliese 876	1998	Prva poznata planeta koja orbitira oko jednog crvenog patuljka
	HD 209458 b	HD 209458	1999	Prva tranzitirajuća planeta <i>Napomena: OGLE-TR-56 b je prva planeta otkrivena metodom tranzita</i>

	<u>Iota Draconis b</u>	<u>Iota Draconis</u>	2002	Prva poznata planeta koja orbitira oko jedne zvezde giganta
	<u>OGLE-2003-BLG-235Lb</u>	<u>OGLE-2003-BLG-235L</u>	2004	Prva planeta otkrivena metodom gravitacionog sočiva
	<u>PSR B1620-26c</u>	<u>PSR B1620-26</u>	1993	Prva poznata planeta koja orbitira oko jednog belog patuljka (potvrđena 2003)
	<u>2M1207b</u>	<u>2M1207</u>	2004	Prva poznata planeta koja orbitira oko jednog smeđeg patuljka
				Prva direktno slikana planeta
	<u>OGLE-2005-BLG-390Lb</u>	<u>OGLE-2005-BLG-390L</u>	2006	Prva hladna, verovatno stenovita/ledena planeta oko zvezde glavnog niza
Prva slobodno lebdeća otkrivena planeta	<u>S Ori 70</u>	<i>nema podatka</i>	2004	Ima masu tri Jupitera, potrebno da se potvrdi <i>Napomena: Slobodno lebdeći objekti obično se ne smatraju planetama</i>
Prva planeta otkrivena u sistemu od više zvezda	<u>55 Cancri b</u>	<u>55 Cancri</u>	1996	55 Cnc ima udaljenog pratioca crvenog patuljka <i>Napomena: Gamma Cephei je prva binarna zvezda relativno blizu planete</i>
Prva planeta koja orbitira oko više zvezda	<u>PSR B1620-26c</u>	PSR B1620-26	1993	Orbitira oko pulsara - para belih patuljaka
Prvi otkriveni sistem više planeta	PSR 1257+12 A, B, C	PSR 1257+12	1992	Planetarni sistem koji orbitira oko pulsara
Prva planeta u zvezdanom jatu	PSR B1620-26c	PSR B1620-26	1993	Lokalizovana u globularnom zvezdanom jatu M4

Tabela 9.2. Prvootkrivene planete

Planete najsličnije Zemlji

Naziv	Planeta	Zvezda	Napomena
Planeta najbliža 1 masi Zemlje	<u>PSR 1257+12 C</u>	<u>PSR 1257+12</u>	$3,9 M_{\text{Zemlje}}$
Planeta najbliža 1 aj	<u>HD 142 b</u>	<u>HD 142</u>	0,980 aj
	<u>HD 28185 b</u>	<u>HD 28185</u>	1,031 aj

	HD 128311 b	HD 128311	1,02 aj
Planeta najbliža 365-dnevnoj orbiti	HD 142 b	HD 142	337
	HD 92788 b	HD 92788	378
Najbliža T od 300 K	Mu Arae e	Mu Arae	308
	Gliese 581 c	Gliese 581	290; Prva zemljolika planeta u habitabilnoj zoni, s verovatnim postojanjem tečne vode

Tabela 9.3. Planete najsličnije Zemlji

10. Tipovi vansolarnih planeta

„Super-Zemlja“

„Super Zemlja“ je planetarni objekat koji orbitira oko zvezde, sa masom između 2-5 do 10 Zemljinih masa, i prema tome one se nalaze između Neptunove klase planeta (ali obično tople, nisu ledene) i planeta Zemljine veličine.

Nekoliko ovakvih planeta je otkriveno nakon 2005. godine, kada je otkrivena prva oko zvezde Gliese 876. Sunčev sistem ne sadrži ovakav tip planeta. Najveća terestrička planeta u našem sistemu je Zemlja i sve veće planete imaju masu najmanje 14 puta veću od Zemlje.^[4]

Usled veće mase „super-Zemlje“ njene fizičke karakteristike su različite od Zemljinih. Studija rađena na planeti Gliese 876 d je otkrila da bi bilo moguće zaključiti iz radiusa planete merenog na osnovu metoda tranzita i mase relevantne planete kakav je strukturni sastav date super-Zemlje. Za Gliese 876 d proračuni se kreću od 9200km (1/4 radiusa Zemlje) za stenovitu planetu sa veoma velikim gvozdenim jezgrom, do 12500km (2 radiusa Zemlje) za vodenu i ledenu planetu. U okviru ovog raspona radiusa planeta Gliese 876 d bi mogla da ima površinsku gravitaciju između 1,9g i 3,3g. Velika površinska gravitacija (generalno viša od Neptunove i Saturnove klase planeta i u određenim uslovima veća od one koju imaju planete klase Jupitera) je jedna od najvažnijih poznatih karakteristika „super-Zemlje“.^[4]

„Vreli“ Jupiteri

„Vreli“ Jupiteri su klasa vansolarnih planeta čija masa približna ili prevazilazi masu Jupitera, ali za razliku od našeg Sunčevog sistema gde Jupiter orbitira na udaljenosti od 5 aј od Sunca, planete koje spadaju u „vrele“ Jupitere orbitiraju na oko 0,05aј od njihovih matičnih zvezda, što je jednako 1/8 rastojanja Merkurove orbite od Sunca. To je razlog što planeta sinhronizuje svoju rotaciju i orbitalni period, tako da je uvek okrenuta zvezdi jednom stranom tj. planeta postaje „zaključana, zakucana“ za zvezdu. S obzirom na visoke nivoe insolacije oni imaju manju gustinu nego što bi je inače imali. Smatra se da su oni svi migrirali do svojih sadašnjih položaja, jer u blizini zvezde ne bi bilo dovoljno materijala za formiranje ovakvih gigantskih planeta.

„Vreli“ Jupiteri imaju nizak ekscentritet orbita, zato što se njihove orbite cirkularizuju pod uticajem jake gravitacione sile između planete i zvezde.^[4]

„Ekscentrični“ Jupiteri

„Ekscentrični“ Jupiteri su jovijanske planete koje orbitiraju oko svojih zvezda po vrlo ekscentričnim orbitama, vrlo slično kometama. Objekti veličine Jupitera koji orbitiraju previše blizu svojih habitalnih zona ali se ne nalaze u njima, ili imaju ekstremno eliptičnu orbitu koja se ukršta sa habitalnom zonom veoma otežavaju postojanje planete slične Zemlji u sistemu.

Oko 7 % od ukupnog broja zvezda imaju planetu tipa „ekscentričnog“ Jupitera.^[4]

„Dobri“ Jupiteri

„Dobri“ Jupiteri su planete gasoviti giganti kao što je Jupiter u našem sistemu, koji orbitiraju oko svojih zvezda u kružnim orbitama dovoljno daleko od nastanjive zone da je ne bi remetile, ali dovoljno blizu da bi „zaštitile“ terestričke planete u bližoj orbiti, na dva načina.

Prvo, one pomažu da se orbite stabilizuju, a samim tim i klime unutrašnjih planeta.

Drugo, one obezbeđuju da unutrašnji sistem bude relativno zaštićen od kometa ili asteroida koji bi mogli svojim udarima da izazovu pustošenja. (Jupiterova „zaštitnička“ uloga dramatično je bila ilustrovana 1994. godine kada je kometa Shoemaker-Levy 9 udarila u njega; da Jupiterova gravitacija nije zahvatila kometu ona bi sigurno dospela u unutrašnjost Sunčevog sistema).

Jupiter kruži oko Sunca na udaljenosti pet puta većoj nego što je ona između Zemlje i Sunca. To je otprilike rastojanje koje bi trebalo očekivati kod bilo kojeg „dobrog“ Jupitera.^[4]

11. Tipovi planeta po Sudarskom

Izgled vansolarnih planeta je u velikoj meri nepoznat zbog teškoća koje iziskuje direktno posmatranje ovih planeta.

Sistem klasifikacije po Sudarskom je teoretski sistem predviđanja izgleda planeta gasovitih giganata, zasnovan na njihovoj temperaturi, a nacrt sistema objavili su Dejvid Sudarski i saradnici, u referatu „Albedo i refleksioni spektar ekstrasolarnih gigantskih planeta“.

Gasovite gigantske planete su podeljene u pet kategorija, obeleženih rimskim brojevima. Sistem polazi od pretpostavke da je opšti sastav atmosfere planete sličan atmosferi Jupitera. Hemijski sastav ekstrasolarnih planeta uglavnom je nepoznat, a da bi se sprovela potrebna istraživanja koja bi taj sastav utvrdila, neophodne su mnogo naprednije metode detekcije.

Može da bude značajnih razlika u izgledu unutar kategorija: npr. i Jupiter i Saturn bi po ovom sistemu mogli da se označe kao planete I kategorije, ali Jupiter ima mnogo više izražene pojaseve nego Saturn.

I kategorija: Amonijačni oblaci

Ova kategorija odgovara Jupiteru i Saturnu u našem Sunčevom sistemu, u čijem izgledu dominiraju amonijačni oblaci. Ove planete su otkrivene u rubnim oblastima planetarnog sistema. Današnje metode detekcije su osetljivije na unutrašnje planete, tako da verovatno vrlo mali broj trenutno poznatih vansolarnih planeta spada u ovu kategoriju. One postoje na temperaturama nižim od 150K. Procjenjeni albedo planeta I kategorije oko zvezda kao što je Sunce je 0,57 u poređenju sa vrednošću od 0,343 kod Jupitera i 0,342 kod Saturna. Neslaganje može delimično da se objasni ako se uzmu u obzir kondenzati koji ne doprinose ravnoteži, kao što su (tolin) ili fosfor, koji su odgovorni za obojenost oblaka u Jupiterovoj atmosferi.^[4]

II kategorija: Vodeni oblaci

Planete II kategorije su suviše tople da bi mogle da stvaraju amonijačne oblake; umesto toga njihovi oblaci su sastavljeni od vodene pare. Procenjuje se da planete II kategorije imaju temperature od oko 150K do 350K. Vodeni oblaci imaju veću refleksivnu moć nego oblaci od amonijaka, a procjenjeni albedo planeta II kategorije oko zvezda kao što je Sunce je 0,81. Čak i kad bi oblaci na takvoj planeti bili slični oblacima na Zemlji, atmosfera bi se i dalje sastojala uglavnom od vodonika i molekula bogatih vodonikom kao što je metan. Planete u sredini ove oblasti moguće da imaju satelite poput Meseca, ali najtoplijе i najhladnije planete II kategorije imaju temperaturne uslove kao Venera i Mars. Planeta II kategorije nema u našem Sunčevom sistemu, tako da je njihov mogući izgled samo teoretski. Moguće planete II kategorije navedene u spisu Sudarskog su 47 Ursae Majoris b i Upsilon Andromedae d.^[4]

III kategorija: Čisti / jasni

Planete toplije od 350K na stvaraju globalne oblake. Ove planete zbog Rejljevog raspršivanja deluju kao nezanimljive plave kugle. Usled nedostatka refleksionog sloja oblaka, albedo je mali, oko 0,12 za planetu III kategorije koja orbitira oko zvezde slične Suncu. One postoje u unutrašnjim oblastima

planetarnog sistema, koje otprilike odgovaraju lokaciji Merkura. U našem Sunčevom sistemu nema planeta III kategorije. Ekstrasolarne planete navedene u referatu Sudarskog kao moguće planete III kategorije su 55 Cancri b i 70 Virginis b. Na njima bi moglo da bude malo kondenzata kao što su Na_2S , ZnS ili njihove soli, ali bi oni mogli da formiraju samo tanke cirusne (paperjaste) oblake.^[4]

IV kategorija: Apsorpcija alkalnih metala

Na temperaturi od preko 900K povećava se izbalansirana količina alkalnih metala, a natrijum i kalijum na visokim temperaturama omogućavaju jaku apsorpciju, što kao rezultat daje tamno plav izgled. Albedo planete IV kategorije koja orbitira oko zvezde slične Suncu, procenjuje se na 0,03. Planete IV i V kategorije se opisuju kao „vrući Jupiteri“. U našem Sunčevom sistemu nema „vrućih Jupitera“. Kao moguće planete IV kategorije po referatu Sudarskog su navedene Upsilon Andromedae b i 51 Pegasi b.^[4]

V kategorija: Silikatni oblaci

Na najvrelijim gasovitim gigantima, iznad 1500K ili hladnijim planetama sa gravitacijom nižom od Jupiterove, oblaci od silikonskih materija prostiru se više iznad nego ispod natrijumove pare, kao kod hladnijih planeta. Procjenjeni albedo planete V kategorije koja orbitira oko zvezde slične Suncu je 0,55. Planeta bi vidno sijala od sopstvene vreline.

Sistemom Sudarski ne može da se predvidi izgled planeta koje nisu gasoviti giganti, na primer terestričke planete kakva je Zemlja, ili ledeni giganti kakav je Neptun.^[4]

12. Vansolarni multi-planetarni sistemi

Planetarni sistemi se sastoje od različitih objekata kao što su planete, sateliti, asteroidi, meteoroidi, komete i kosmička prašina koji orbitiraju oko neke zvezde. Veruje se da se planetarni sistem oko zvezde slične Suncu formira kao deo istog procesa u kome se formira i zvezda. Po teorijama koje su danas prihvocene planetarni sistemi nastaju od solarne magline.

Neki planetarni sistemi su vrlo različiti od našeg. Na primer, to su planetarni sistemi oko pulsara koji se mogu detektovati pomoću malih varijacija u periodu pulseva EM zračenja.

Pulsari nastaju u silovitim eksplozijama supernove i normalan planetarni sistem ne bi mogao preživeti takav udarni talas. Planete bi ili isparile, ili bi usled naglog gubitka većine mase centralne zvezde, nestale usled oslabljene gravitacione sile zvezde. Zato se smatra da su planete oko pulsara ili stenovita jezgra nekadašnjih gasovitih giganata, ili da su se one formirale nakon eksplozije od neobičnih ostataka supernove. Ako su one ostaci planeta koje su orbitirale oko zvezde pre supernove, one su teoretski bile gasoviti giganti sa velikim stenovitim jezgrom, čija je atmosfera bila „oljuštena“ usled supernove.^[4]

12.1. Značajni vansolarni multi-planetarni sistemi

PSR B1257+12

PSR B1257+12 (ponekad se koristi skraćena oznaka PSR 1257+12)

Pulsar udaljen 980 s.g. od Sunca. Planetarni sistem koji orbitira oko ovog pulsara je prvi ikada detektovani vansolarni planetarni sistem, a takođe i prvi detektovani vansolarni multi-planetarni sistem.

Do 2007. godine su tri planete otkrivene u orbitama oko ovog pulsara. Prve dve su prve ikad detektovane vansolarse planete.

1992. godine A Wolszczan i Dejl Frejl su otkrili da oko pulsara orbitiraju dve planete. Kao planete oko pulsara su veoma iznenadile astronomi koji su očekivali da će nalaziti planete samo oko zvezda glavnog niza H-R dijagrama. Kasnije je otkrivena i treća planeta, a moguće je da ovaj sistem pored tri planete sadrži i asteroidni pojas ili Kajperov pojas.

Planete oko pulsara PSR B1257+12 su označene velikim slovima od A do D (redosledom koji odgovara udaljenosti planete od pulsara) za razliku od planeta koje orbitiraju oko zvezda glavnog niza kod kojih prva otkrivena dobija oznaku „b“, naredna „c“ itd. bez obzira na njihovu udaljenost od matične zvezde^[4]

PSR B1257+12 A

Ova planeta je najbliža pulsaru i orbitira oko njega na udaljenosti od oko 0,19aj, sa orbitalnim periodom od oko 25 dana.

Planeta je oko dva puta masivnija od Meseca. Ekscentritet orbite je 0.^[4]

PSR B1257+12 B

Druga planeta koja orbitira oko pulsara PSR B1257+12, udaljena je od njega oko 0,36aj, sa orbitalnim periodom od oko 66 dana. Ova planeta je preko četiri puta masivnija od Zemlje. Ekscentritet orbite je 0,0186.

S obzirom da planete B i C orbitiraju vrlo blizu jedna drugoj, one su uzrok merljivih perturbacija koje stvaraju u orbitama jedna drugoj. Perturbacije koje su bile detektovane su potvrda da su planete stvarne.^[4]

PSR B1257+12 C

Treća planeta koja orbitira oko pulsara PSR B1257+12, na prosečnom rastojanju od 0,46aj, sa orbitalnim periodom od oko 98 dana. Masa joj je približno četiri puta veća od Zemljine, a ekscentritet 0,0252.^[4]

PSR B1257+12 D

Postoji sumnja da jedan asteroid ili kometa orbitiraju oko pulsara PSR B1257+12, na prosečnom rastojanju od 2,6 aj, sa orbitalnim periodom od oko 3,5 godine. Objekat je toliko mali da se nikad ne bi mogao smatrati planetom, ali bi mogao da bude prvi poznati ekstrasolarni asteroid ili kometa srođan objektima u Kajperovom pojusu u našem sistemu. Takođe je moguće da je ovaj objekat najveći član pojasa malih objekata oko pulsara. Gornja granica njegove mase je oko 0,2 mase Plutona, a maksimalan prečnik mu je oko 1000km.

Međutim, postojanje ovog objekta još uvek nije potvrđeno.^[4]

Opozrgnuti gasoviti gigant

1996. godine je objavljeno da je gasoviti gigant verovatno tipa Saturna (oko 100 Zemljinih masa), uočen oko pulsara na rastojanju od oko 40aj. Kao četvrta planeta u sistemu označena je sa PSR B1257+12 D. Međutim, otkriće je kasnije opozrgnuto. Smatra se da je signal možda došao od nekog asteroidnog ili kometolikog tela.^[4]

Upsilon Andromedae

Ovo je prvi vansomarni multi-planetarni sistem otkriven oko zvezde glavnog niza, a takođe i prvi vansomarni multi-planetarni sistem otkriven u jednom viševezdanom sistemu.

Upsilon Andromedae je binarna zvezda, nešto mlađa od Sunca, i udaljena oko 44 s.g. od njega.

Sistem se sastoji od žuto-beleg patuljka (Upsilon Andromedae A), sličnog Suncu i crvenog patuljka (Upsilon Andromedae B). Zvezde su na rastojanju koje je oko 750 puta veće od rastojanja Zemlja-Sunce.

Do 1999. godine su otkrivene tri planete koje orbitiraju oko zvezde Upsilon Andromedae A, sve tri su masa uporedivih sa masom Jupitera u našem sistemu.

Upsilon Andromedae A se nalazi na 21. mestu liste od 100 zvezda koje su meta Nasine misije Terrestrial Planet Finder.^[4]

Upsilon Andromedae A

Spada u zvezde žuto-bele patuljke spektralne klase F8V, slične našem Suncu samo nešto mlađe, masivnije i luminoznije. Njegova starost se procenjuje na oko 3,3 milijarde godina, i ima sličan odnos Fe i H kao i naše Sunce. Sa masom od 1,3 solarne mase, imaće kraći život od Sunca.^[4]

Upsilon Andromedae B

Zvezda crveni patuljak, spektralne klase M4,5V, i udaljen je oko 750 aj od primarne zvezde Upsilon Andromedae A. Ima manju masu i daleko manju luminoznost od Sunca.^[4]

Upsilon Andromedae b

Ova planeta otkrivena 1996. godine, čije je otkriće objavljeno u januaru 1997., je najbliža zvezdi Upsilon Andromedae A u ovom planetarnom sistemu.

Planeta kao prvo otkrivena u sistemu je označena sa Upsilon Andromedae b, i otkrivena je metodom merenja radikalnih brzina. Zbog njene blizine matičnoj zvezdi ona prouzrokuje velika kolebanja zvezde koja se lako detektuju.

Masa ove planete je oko 0,687 masa Jupitera, orbitalni perioda 4,617 dana, udaljena je od matične zvezde 0,0595 aj a ekscentritet je 0,023.^[4]

Merenjem razlike temperature dnevne i noćne strane planete Upsilon Andromedae b, je ustanovljeno da je ona oko 1000°C. Iako se prepostavlja da su ovakve planete koje kruže vrlo blizu svojih zvezda okrenute uvek istom stranom zvezdi, astronomi su očekivali da će svetla i tamna strana planete biti podjednako vrele. To je zbog toga što se prepostavlja da će atmosferske mlazne struje distribuirati toplotu sa dnevne na noćnu stranu planete, ali posmatranja svemirskim teleskopom Spitzer su pokazala nešto drugo.

Najverovatnije objašnjenje leži u činjenici da se većina energije zvezde skuplja u gornjim slojevima atmosfere, odakle se izrači u svemir pre nego što vetrovi imaju priliku da je raznesu na tamnu stranu planete.^[5]

Čak i kada je uticaj ove planete uzet u obzir, značajna kolebanja ove zvezde su i dalje bila uočljiva, i ta činjenica je ukazivala da u sistemu mora postojati još jedna planeta. 1999. je otkriveno da se ovaj sistem u stvari sastoji od tri planete. Dve „spoljašnje“ planete su nazvane Upsilon Andromedae c i Upsilon Andromedae d, po udaljenosti od matične zvezde. Obe planete imaju mnogo ekscentričnije orbite od bilo koje planete našeg sistema (uključujući i Pluton)^{[4][5][7]}

Upsilon Andromedae c

Planeta gasoviti gigant sa masom od 1,97 Jupiterovih i orbitalnim periodom od 241,23 dana. Orbitira na udaljenosti od 0,830 aj od svoje matične zvezde, a ekscentritet orbite je 0,262.^[4]

Upsilon Andromedae d

Najudaljenija planeta u ovom sistemu. Oko matične zvezde orbitira na udaljenosti od 2,54 aj, orbitalni period joj je 1290 dana a ekscentritet 0,258. Masa planete je jednaka 3,93 masa Jupitera i takođe je gasovita planeta. Upsilon Andromedae d se nalazi u habitalnoj zoni.^[4]

55 Cancri

Prvi otkriveni vansolarni planetarni sistem sa četiri planete.

55 Cancri

Binarna zvezda udaljena oko 40 s.g. od Sunca. Sistem se sastoji od zvezde žutog patuljka (55 Cancri A), slične našem Suncu i crvenog patuljka (55 Cancri B). Zvezde se nalaze na rastojanju od oko 1065 aj.

Oko zvezde 55 Cancri A orbitiraju četiri planete. Tri planete su po masama uporedive sa Jupiterom, a četvrta, najbliža zvezdi mase uporedive sa masom Neptuna.

Zvezda 55 Cancri A se nalazi na 63. mestu liste od 100 zvezda koje su meta Nasine misije Terrestrial Planet Finder.^[4]

55 Cancri A

Zvezda žuti patuljak spektralne klase G8V. U prečniku je veća, ali nešto malo manje masivna od Sunca. Ovaj tip zvezda takođe ima manju luminoznost i hladnije su od Sunca. 55 Cancri je nešto bogatija od Sunca elementima težim od He i spada u klasu zvezda „super bogatih metalima“. Ovo bogatstvo metalima otežava procenu njene starosti i mase. Procenjuje se da ima oko 5,5 milijardi godina.^[4]

55 Cancri B

Zvezda crveni patuljak udaljena približno 1065aj. od primarne zvezde. Masa i luminoznost su joj mnogo manje od Sunčevih.^[4]

55 Cancri b

Otkriće ove planete je objavljeno 1997. godine. Kao prva otkrivena planeta u ovom sistemu označena je kao 55 Cancri b, mada da bi se razlikovala od zvezde 55 Cancri B ponekad se obeležava i kao 55 Cancri Ab. Planeta je otkrivena metodom merenja radikalnih brzina, koja je pokazala orbitalni period od oko 14,7 dana koji bi odgovarao planeti mase od najmanje 78 % mase Jupitera. Udaljena je od zvezde 0,115aj, a ekscentritet je 0,0197.^[4]

55 Cancri c

Masa ove planete je 0,217 masa Jupitera. Oko matične zvezde orbitira na udaljenosti od 0,24aj, orbitalni period joj je oko 44 dana a ekscentritet 0,44.^[4]

55 Cancri d

2002. godine je objavljeno otkriće ove planete. Masa planete je 3,92 mase Jupitera. Orbitira na udaljenosti od 5,257aj, od svoje zvezde a orbitalni period joj je oko 4517 dana. U vreme kad je otkrivena mislilo se da joj je orbita blago ekscentrična, ali su kasnija merenja pokazala veći ekscentritet (oko 0,327).^[4]

55 Cancri e

2004. godine je objavljeno otkriće ove planete čija je masa uporediva sa masom Neptuna, a orbitalni period joj je procenjen na 2,8 dana. Udaljena je od zvezde 0,038aj, a ekscentritet je 0,174. Planeta može biti manji gasoviti gigant ili veća terestrička planeta. 2005. godine postojanje ove planete je dovedeno u pitanje. Neke nepotvrđene analize su ukazivale da u ovom sistemu umesto planete koja ima orbitalni period od 2,8 dana, postoji planeta mase Neptuna čiji je orbitalni period 261 dan. Bez uzimanja u račun ove nepotvrđene analize, simulacija pokazuje da tamo postoji široko, stabilno područje između orbita planeta „c“ i „d“ u kome bi mogle da postoje još neke planete. Model predviđa da bi jedna ili više terestričkih planeta mogle da se formiraju u ovom prostoru, što je jako zanimljivo za astrobiologe jer je ovaj prostor u habitalnoj zoni.^[4]

Prividni Kajperov pojas

1998. godine je bilo objavljeno otkriće mogućeg diska prašine oko zvezde 55 Cancri A. Prema proračunima radijus ovog diska je bio najmanje 40 aj. Međutim, ovo otkriće nije moglo biti verifikованo i kasnije je pobijено.^[4]

Gliese 876

Od 2006. je poznato da ovaj planetarni sistem ima tri planete, uključujući i onu sa masom manjom od 1/2 Neptunove.

Ovo je prvi vansolarni planetarni sistem otkriven oko zvezde crvenog patuljka, i prvi pronađeni sistem u orbitalnoj rezonanci.

Gliese 876

Zvezda crveni patuljak, masa joj je mnogo manja od mase Sunca (procenjuje se da ima samo oko 32% mase Sunca), i udaljena je od njega oko 15 s.g. Gliese 876 ima manji radijus od Sunca a takođe i površinsku temperaturu. Luminoznost ove zvezde je jednaka samo 1,24% luminoznosti Sunca i to najvećim delom u infracrvenoj oblasti.

Procena starosti i „metalnosti“ ovih hladnih zvezda je teška usled formiranja dvoatomskih molekula u njihovoj atmosferi, koji mogu da učine da spektar bude ekstremno složen. Međutim, procene pokazuju da zvezda Gliese 876 ima neznatno niži sadržaj teških elemenata u poređenju sa Suncem (oko 75% Sunčevog sadržaja Fe). U zavisnosti od korišćenih teorijskih modela starost zvezde je procenjena između 6,52 i 9,9 milijardi godina.^[4]

Gliese 876 b

Otkriće ove planete je objavljeno 1998. godine. Otkrivena je metodom merenja radijalnih brzina. Planeta mase skoro dvostruko veće od Jupitera, okrene se oko svoje zvezde za približno 61 dan na rastojanju od samo 0,208aj, koje je manje od rastojanja Merkur-Sunce. Ekscentritet orbite je 0,0249.^[4]

Gliese 876 c

Planeta je detektovana 2001. godine, kao druga u ovom sistemu, i njena orbita se nalazi unutar orbite prvoootkrivene planete. Ima 0,62 Jupiterove mase, sa orbitalnom rezonancom od 1:2 u odnosu na spoljašnju planetu, i potrebno joj je 30,340 dana da obiđe oko zvezde. Ovakav odnos između orbitalnih perioda u početku je prikrivao radikalnu brzinu planete, predstavljajući je kao rastući orbitalni ekscentritet spoljašnje planete. Obe planete trpe snažnu gravitacionu interakciju prilikom svog orbitiranja oko zvezde, koja je uzrok brze promene orbitalnih elemenata. Gliese 876 c je udaljena od zvezde 0,1303aj a ekscentritet je 0,2243.^[4]

Gliese 876 d

2005. godine je objavljeno otkriće treće planete u ovom sistemu i označena je sa Gliese 876 d. Ona orbitira oko matične zvezde na udaljenosti od 0,0208aj, orbitalni period joj je 1,938 dana a ekscentritet 0. Masa planete je samo 5,5 puta veća od Zemljine, i ovo bi mogla biti terestrička planeta.^[4]

Dve planete tipa Jupitera leže u habitalnoj zoni, koja se prostire u intervalu od 0,116aj do 0,227aj od zvezde Gliese 876. Ovo ostavlja malo mesta za jednu dodatnu planetu tipa Zemlje u ovom delu sistema. Sa druge strane veliki sateliti ovih gasovitih giganata, ukoliko postoje bi takođe mogli da podrže život. Osim toga, habitalna zona za planete čija je rotacija sinhronizovana sa orbitalnim kretanjem, mogla bi da bude šira nego što se misli, što bi bilo dovoljno za opstanak potencijalno nastanjivih planeta drugde u sistemu.^[4]

HD 69830

Prvi otkriveni vansolarni planetarni sistem oko jedne zvezde bliske Suncu, i prvi otkriveni vansolarni sistem koji ne sadrži planete tipa Jupitera. Sastoji se od tri planete mase Neptuna i asteroidnog pojasa smeštenih unutar rastojanja od 1aj od zvezde. Planete bi mogle biti sastavljene od stena.

HD 69830

Zvezda narandžasti patuljak koja je udaljena od Sunca približno 41 s.g. Ima masu, radijus i luminoznost manju od Sunca, a planeta tipa Zemlje bi mogla da orbitira na udaljenosti od ove zvezde od oko 0,75aj.

Zvezdi HD 69830 je najbliži crveni patuljak L 675-81. Njihova međusobna udaljenost je 8,5 s.g.^[4]

HD 69830 b

Planeta čija je masa oko 10 puta veća od Zemljine. Orbitalni period je 8,67 dana, orbitira na udaljenosti od 0,0785aj od zvezde HD 69830 a ekscentritet orbite je 0,1.^[4]

HD 69830 c

Planeta mase 14 puta veće od Zemljine, sa orbitalnim periodom od oko 31,6 dana, udaljena od matične zvezde 0,186aj. Ekscentritet orbite je 0,13.^[4]

HD 60830 d

Najudaljenija planeta ovog sistema, čini se da je u oblasti u kojoj postoje uslovi za život i mogući pojas asteroida. Masa joj je 18 puta veća od Zemljine, velika poluosa orbite je oko 0,63aj, orbitalni period oko 197 dana a ekscentritet orbite 0,07.^[4]

Asteroidni pojas:

2005. godine u okolini ove zvezde je otkriven asteroidni pojas koji je dvadeset puta masivniji od onog u Sunčevom sistemu.

Prvobitno se mislilo da je pojas smešten unutar orbite koja je jednaka orbiti Venere u našem sistemu, odnosno između orbita druge i treće planete u sistemu.

Međutim mnogo je verovatnije da se pojas nalazi izvan orbite najudaljenije planete, na oko 1aj od zvezde.^[4]

Gliese 581

U aprilu 2007. godine, ovaj sistem je privukao pažnju, jer je u njemu otkrivena prva vansonarna planeta male mase koja orbitira u habitualnoj zoni.

Gliese 581

Zvezda crveni patuljak, spektralne klase M2,5V, udaljena 20,4 s.g. od Zemlje. Ima 1/3 mase Sunca i luminoznost od svega 1,3 % Sunčeve. Da bi planeta koja orbitira oko ove zvezde primala količinu energije koja je uporediva sa Zemljinom, njena orbita mora biti smeštena mnogo bliže zvezdi, jer je kod ove vrste zvezda habitualna zona mnogo uža i bliža zvezdi nego u slučaju zvezda kao što je Sunce.^[4]

Veruje se da najmanje tri planete orbitiraju oko ove zvezde.

Gliese 581 b

Ova planeta veličine Neptuna je otkrivena 2005. godine i predstavlja petu planetu otkrivenu oko zvezde crvenog patuljka. Planeta je 16 puta masivnija od Zemlje, udaljena je od matične zvezde 0,041aj, orbitalni period joj je 5,4 dana a ekscentritet 0,02.^[4]

Gliese 581 c

Veruje se da bi ovo mogla da bude stenovita planeta, sa radijusom koji je samo 1,5 put veći od Zemljinog. Sa minimalnom masom od oko 5 Zemljinih (1/3 mase Neptuna), i radijusom orbite od

0,073aj, planeta Gliese 581 c orbitira u okviru habitalne zone. Površinske temperature tamnog tela su procenjene u intervalu od -3°C (uz albedo poput Venerinog) i 40°C (uz albedo poput Zemljinog), mada, bi temperature mogle da budu i mnogo veće (oko 500°C). Neki veruju da je sistem prošao kroz proces planetarne migracije, i da je planeta mogla biti formirana iza „ledene“ linije, sa sastavom sličnim ledenim objektima kao Ganimed. Orbitalni period planete Gliese 581 c je oko 12,9 dana a ekscentritet 0,16.^[4]

Gliese 581 d

Ova planeta je oko 8 puta masivnija od Zemlje. Orbitalni period joj je 84 dana, a orbitira oko zvezde Gliese 581 na udaljenosti od oko 0,25aj (orbitira po spoljašnjoj ivici habitalne zone). Ekscentritet je orbite 0,2.^[4]

Mu Arae

Vansolarni planetarni sistem koji se sastoji od četiri poznate planete. Tri od njih imaju mase uporedive sa Jupiterovom, i predstavljaju gasovite gigante, a četvrta (najbliža zvezdi) je prvi poznati „vreli Neptun“, i mogla bi da bude mala gasovita ili velika terestrička planeta.

Mu Arae a

Zvezda spektralne klase G3IV-V žuto-oranž patuljak vrlo slična Suncu, udaljena od njega oko 50 s.g. Masa joj je 1,1 put veća od Sunčeve. Oko dva puta je bogatija teškim elementima od Sunca i spada u zvezde bogate metalima. Površinska temperatura joj je oko 5800K, radijus 31,5% veći a luminoznost oko 75% veća od Sunčeve. Moguće je da je zvezda ušla u stadijum subdžina, koji nastaje kada se potroši sav vodonik u jezgru zvezde. To se odrazilo na njenu neobičnu spektralnu klasu između IV (subdžinovi) – V (zvezde glavnog niza H-R dijagrama).^[4]

Mu Arae b

Planeta otkrivena 2001. godine, za koju se prvobitno mislilo da ima vrlo ekscentričnu orbitu i orbitalni period od 743 dana. Masa planete je 1,676 mase Jupitera, a orbitalni period oko 643 dana. Od matične zvezde je udaljena 1,497 aj, a ekscentritet orbite je 0.128. Ova planeta gasoviti gigant se nalazi u habitalnoj zoni oko zvezde Mu Arae, što sprečava planete tipa Zemlje da se formiraju u ovoj oblasti, ali bi nekakav prirodni satelit ove planete mogao biti podesan za razvoj života.^[4]

Mu Arae c

Otkriće ove planete gasovitog giganta je objavljeno 2004. godine. U to vreme se mislilo da je orbita planete vrlo ekscentrična, a orbitalni period joj je procenjen na 8,2 godine (oko 2997 dana). Masa planete je 1,814 mase Jupitera, orbitalni period 4205,8 dana. Od matične zvezde je udaljena 5.235 aj. Ekscentritet orbite je 0,0985.^[4]

Mu Arae d

Kasnije 2004. godine otkrivena je mala planeta ovog sistema, najbliža zvezdi sa masom uporedivom sa Uranovom i orbitalnim periodom od oko 9 dana. Ovo je bila prva otkrivena planeta iz klase „vrelih Neptuna“. Velika poluosa orbite joj je 0,09 aj, a ekscentritet 0,172. Ovo bi mogla da bude „chthonian“ planeta (jezgro nekadašnjeg gasovitog giganta) ili stenovita planeta tipa „super-Zemlje“.^[4]

Mu Arae e

2006. godine objavljeno je otkriće četvrte planete ovog sistema, tako da je to drugi vansomarni planetarni sistem sa četiri planete posle 55 Cancri. Masa planete je 0,5219 masa Jupitera a orbitalni period oko 311 dana. Velika poluosa orbite je 0,921 aj, a ekscentritet 0,0666. Planeta verovatno predstavlja gasovitog giganta.

Planete „e“ i „b“ se nalaze na bliskim orbitama, sa orbitalnom rezonancem 2:1, zbog čega trpe jaku interakciju.^[4]

HD 37124

Vansomarni planetarni sistem sa tri planete.

HD 37124

Zvezda spektralne klase G4IV-V, spada u žute patuljke i udaljena je 108 s.g. od Sunca.^[4]

HD 37124 b

Vansomarna planeta otkrivena 2000-te godine, čija je orbita unutar ivice habitalne zone (unutrašnje ivice), i prima količinu insolacije poput Venere. Masa planete je 0,61 mase Jupitera, a velika poluosa 0,53aj. Orbitalni period je oko 154 dana a ekscentritet 0,055. Sudeći po masi ova planeta je verovatno gasoviti gigant.^[4]

HD 37124 c

Planeta otkrivena 2002. godine, čija je orbita malo iza spoljašnje ivice habitalne zone, i prima količinu insolacije poput Marsa u našem sistemu. Masa planete je 0,6 mase Jupitera, velika poluosa 1,64aj, orbitalni period 843,6 dana a ekscentritet orbite 0,14. Planeta je verovatno gasoviti gigant.^[4]

HD 37124 d

Planeta, gasoviti gigant, otkrivena 2005. godine sa masom od 0,66 mase Jupitera. Orbitalni period joj je 2295 dana, velika poluosa 3,19aj, a ekscentritet orbite 0,2.^[4]

HD 12661

Planetarni sistem koji se sastoji od dve planete .

HD 12661

Žuta zvezda spektralne klase G6, za 1/2 je veća od našeg Sunca.^[4]

HD 12661 b

Vansomarna planeta mase 2,34 puta veće od Jupitera, sa orbitalnim periodom od oko 262 dana. Od matične zvezde je udaljena 0,834aj, a ekscentritet orbite je 0,361.^[4]

HD 12661 c

Masa planete je 1,83 mase Jupitera, orbitalni period 1679 dana, velika poluosa orbite 2,86aj, a ekscentritet 0,017.^[4]

HD 73526

Sistem se sastoji od dve vansolarne planete.

HD 73526

Zvezda žuti patuljak spektralne klase G6V, udaljena 323 s.g. Imala veću luminoznost od Sunca.^[4]

HD 73526 b

Vansolarna planeta otkrivena 2002. godine, koja orbitira na udaljenosti od 0,66aj od matične zvezde. Planeta je gasoviti gigant, 2,07 puta masivnija od Jupitera, orbitalni period joj je 187,5 dana, a ekscentritet 0,39. Na osnovu orbite planete i luminoznosti zvezde, planeta prima količinu insolacije poput Merkura u našem sistemu.^[4]

HD 73526 c

Planeta, verovatno gasoviti gigant, orbitira na udaljenosti od 1,05aj od matične zvezde. S obzirom na udaljenost planete od zvezde i luminoznosti zvezde, planeta prima količinu insolacije poput Venere. Planete HD 73526 b i HD 73526 c imaju orbitalnu rezonancu 2:1. Dok planeta HD 73526 b obide dva puta oko zvezde, planeta HD 73526 c to učini jednom.^[4]

47 Ursae Majoris

Planetarni sistem od dve planete.

47 Ursae Majoris

Zvezda, žuti patuljak spektralne klase G1V, mase slične Suncu, udaljena od njega oko 46s.g. Poput Sunca pripada glavnoj grani H-R dijagrama. Nešto malo je bogatija teškim metalima od Sunca, i nešto toplija od njega. Luminoznost joj je za oko 60% veća od Sunčeve.^[4]

Ova zvezda je na 72. mestu liste od 100 zvezda koje su meta Nasine misije Terrestrial Planet Finder.

47 Ursae Majoris b

Otkriće ove planete je objavljeno 1996. godine, i bila je prva otkrivena dugoperiodična vansolarna planeta. Za razliku od drugih dugoperiodičnih vansolarnih planeta njena orbita ima mali ekscentritet (0,049). Planeta je najmanje 2,63 puta masivnija od Jupitera, sa orbitalnim periodom od oko 1083 dana i od matične zvezde je udaljena 2,11aj.^[4]

47 Ursae Majoris c

Otkriće ove planete je objavljeno 2002. godine. Masa planete je 1,34 masa Jupitera, orbitalni period je oko 7586 dana, i nalazi se na rastojanju od 7,73 aj od zvezde. Ekscentritet orbite je 0,049. Međutim, parametri ove planete su još uvek nepouzdani.^[4]

Epsilon Eridani

Planetarni sistem koga čine dve planete od kojih je jedna potvrđena, a druga još uvek nije. 1998. godine, oko zvezde je otkriven prašnjavi disk, na rastojanju sličnom Kajperovom pojasu u Sunčevom sistemu

Epsilon Eridani

Zvezda glavnog niza, spektralne klase K2. Ovo je treća najbliža zvezda Suncu, udaljena od njega 10,522 s.g., vidljiva i bez teleskopa. Masa joj je oko 85% Sunčeve mase, približne je veličine, ali joj je luminoznost samo 28 % luminoznosti Sunca. Ima nizak sadržaj teških metala, naročito Fe. Najneobičnija karakteristika ove zvezde je ekstremno promenljiv spektar, sa mnogo emisionih linija. Magnetno polje zvezde Epsilon Eridani je vrlo jako i rotira se jednom u dvanaest dana.^[4]

Epsilon Eridani b

Planeta mase od oko 1,55 Jupiterove, orbitira na udaljenosti od 3,39aj od matične zvezde sa orbitalnim periodom od oko 2502 dana. Ekscentritet orbite je 0,7, što je svrstava u kategoriju ekstrasolarnih planeta sa vrlo ekscentričnom orbitom.^[4]

Epsilon Eridani c

Masa ove planete je oko 0,1 Jupiterove, udaljena je od matične zvezde 40aj, a orbitalni period joj je 102200 dana. Ekscentritet orbite je 0,3.^[4]

14 Herculis

Ekstrasolarni planetarni sistem sa dve planete.

14 Herculis

Zvezda narandžasti patuljak spektralne klase K0V, udaljena približno 59 s.g. od Sunca. Takođe je poznata i kao Gliese 614.^[4]

14 Herculis b

Otkriće ove planete je objavljeno 1998. godine. Planeta ima ekscentričnu orbitu (ekscentritet 0,369) i orbitalni period od oko 4,8 godina. Orbitira na oko 2,77aj od matične zvezde. Masa planete je približno 4,64 Jupiterovih.^[4]

14 Herculis c

2006. godine je prepostavljeno postojanje ove planete. Masa planete je oko 2,1 Jupiterove, orbitalni period skoro 19 godina, udaljenost od matične zvezde 6,9 aj, a ekscentritet 0. Njeni parametri su nepouzdani, ali nedavne analize su pokazale da unutrašnja i spoljašnja planeta ovog sistema imaju orbitalnu rezonancu od 4:1.^[4]

13. Vansolarni sateliti

Termin vansolarni sateliti se odnosi na manje, prirodne satelite koji orbitiraju oko vansolarnih planeta ili drugih vansolarnih tela, većih od njih samih.

Za sada nema poznatih vansolarnih satelita, ali teorijske pretpostavke su da oni postoje oko mnogih vansolarnih planeta. Svemirski teleskopi kao što su Kepler, Darwin i New Worlds Imager će tražiti prirodne satelite vansolarnih planeta.^[4]

Karakteristike

Postoje mnoge karakteristike vansolarnih satelita koje mogu biti slične karakteristikama satelita u našem sistemu. Vansolarni sateliti mogu biti stenoviti, ledeni, vodeni ili gasoviti. Ekstrasolani sateliti mogu biti mali poput asteroida ili veliki kao Neptun. Neki sateliti mogu imati atmosferu kao Titan, neki mogu biti vulkanski kao Io, neki mogu imati podzemne okeane kao Europa a neki mogu imati kretare poput Meseca, koji je bez atmosfere.

Takođe vansolarni sateliti mogu imati i neke karakteristike koje nemaju sateliti u našem sistemu. Neki mogu biti poput Zemlje, sposobni da podrže kompleksne oblike života, ili poput Marsa sa ogoljenom površinom i tankom atmosferom.^[4]

Nomenklatura

Nomenklatura ekstrasolarnih satelita još uvek nije donešena od strane Međunarodne Astronomске Unije. Verovatno će se koristiti rimski brojevi iza naziva planeta. Rimski brojevi u nazivima će se povećavati po redosledu otkrivanja ili po udaljenosti od matične planete.^[4]

14. Zaključak

Od 247 dosad otkrivenih vansolarnih planeta 241 orbitira oko zvezda glavnog niza, od toga 59 u 25 multiplanetarnih sistema (18 sa dve planete, 5 sa tri i 2 sa četiri) i 182 kao zasad jedine planete u sistemu. 4 orbitiraju oko pulsara, 1 oko braon patuljka i 1 se slobodno kreće (ne orbitira oko zvezde).

Novootkriveni planetarni sistemi nemaju mnogo toga zajedničkog sa Sunčevim sistemom. Pre svega, uglavnom imaju po jednu detektovanu planetu koja orbitira oko zvezde, ponekad i više, ali još uvek nije detektovano 8 planeta u jednom sistemu, kao što je to slučaj u našem. Mnoge detektovane vansolarne planete su dosta masivnije od Jupitera, na putanjama blizu zvezde, i često ekscentričnim dok su putanje planeta u Sunčevom sistemu u gotovo istoj ravni i skoro kružnice. Takođe gasovite planete poput Jupitera su smeštene u spoljašnjem delu Sunčevog sistema, na većim rastojanjima od Sunca.

Pretpostavka je da „zemljolikih“ planeta u našoj Galaksiji ima bar približno isti broj kao i planeta Jupiterovog tipa. Ako se u „zemljolike“ planete ubrajaju i planete koje liče na Merkur, Veneru ili Mars, onda bi ovakvih planeta bilo možda i više nego planeta tipa Jupitera.

Šanse da druga Zemlja ne postoji su veoma male, čak neverovatne. Međutim, takav pronađazak još nije ostvaren, pre svega zbog nedovoljno dobro razvijene tehnologije, kao i nedovoljno dugog traganja.

15. Literatura

- [1] <http://www.astronomija.co.yu/>
- [2] Astrofizika sa astronomijom – B. Vujičić; S. Đurović; PMF Novi Sad; 1995.
- [3] <http://www.ad-loznica.org.yu/>
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/>
- [5] <http://www.croeos.net/>
- [6] <http://www.csa.hr/index.php?>
- [7] <http://www.nasa.gov/>
- [8] <http://www.space.com/>

16. Prilozi

Spektralna klasifikacija zvezda

Današnji sistem klasifikacije zvezda nosi naziv MKK po njegovim tvorcima Morganu, Kinenu i Kelmanu. Ovaj sistem donosi dve oznake spektralne klasifikacije. Prva je oznaka spektralne klase dok je druga oznaka klase emisivnosti koja je merilo stvarne sjajnosti zvezde.

• Spektralne klase zvezda

Osnovni empirijski podaci vezani za fizičke osobine zvezda dobijaju se na osnovu merenja i analize zračenja koje one emituju. Izučavanje spektralnih karakteristika zvezda daje nam možda najznačajnije informacije o zvezdama. Prema tipu i karakteristikama njihovog spektra zvezde su podeljene na spektralne tipove (klase). Osnovni kriterijum klasifikacije je intenzitet i vrsta spektralnih linija (emisionih i apsorpcionih) i pojava različitih molekulskih traka u spektrima svake od njih. Kako je hemijski sastav površinskih slojeva zvezda praktično istovetan jasno je da je temperatura ta koja određuje stepen pobuđenja atoma i molekula a to znači i spektralni tip.

Sve zvezde se mogu svrstati u jednu od sedam spektralnih klasa i tri bočne klase koje su označene kao:



Pošto je ovaj sistem klasifikacije dovoljno precizan svaka od ovih osnovnih klasa je podeljena u deset podklasa sa precizno razdvojenim karakteristikama. Tako su u okviru klase A razdvojene podklase A₀, A₁,A₉, gde bi klasa A₅ bila tačno između A₀ i F₀ klase.

Osnovne karakteristike svake klase su sledeće:

O - Plave zvezde	(Prisutne linije jonizovanog He)
B - Plavo - bele zvezde	(Prisutne linije neutralnog He)
A - Bele zvezde	(Prisutne linije H)
F - Žuto – bele zvezde	(Prisutne linije H i metala)
G - Žute zvezde	(Prisutne linije metala)
K - Narandžaste zvezde	(Pojačane linije metala)
M - Crvene zvezde	(Linije molekula, posebno TiO)

Kao dopuna ovim osnovnim klasama, kasnije su pridodate klase R, N i S. Tipovi R i N po spektru su vrlo slični G₅ - K₅ osim što su dodatno prisutne trake C₂ i CN. Tip S se od tipa K razlikuje samo po prisustvu traka CiO.

Tip	Tipična zvezda	Temperatura	Relativna masa	Dužina života (10^9 god.)	Min, (aj)	Max, (aj)	Širina hab. zone (rel.)
O	rare	30,000+ K	20	<0.001	N/A	N/A	N/A
B	Rigel	20,000 K	10	0.002	N/A	N/A	N/A
A	Sirius A	10,000 K	2.3	1			
F	Procyon	8,000 K	1.2	7	2.8.	6.4	2.0
G	Sun	6,000 K	1	10	0.85.	2.0 (1.1?)	1.0
K	61 Cygni	4,000 K	0.2	100+			~0.05
M	Proxima Centaurus	3,000 K	0.02.	1000	0.06.	.0032	0.001

Tabela 1. Tabela širine habitualnih zona za različite spektralne tipove zvezda

• Klase emisivnosti zvezda

Među zvezdama iste spektralne klase mogu postojati značajne razlike u emisivnosti odnosno količini energije koju one izrače [*]. Tako je na osnovu ovog kriterijuma izvršena podela zvezda na sedam klasa emisivnosti, a oznaka klase je rimski broj koji стоји одmah pored oznake spektralne klase.

- I klasa – superdžinovi
- II klasa – svetli džinovi
- III klasa – džinovi
- IV klasa – poddžinovi
- V klasa – obični patuljci
- VI klasa – podpatuljci
- VII klasa – beli patuljci

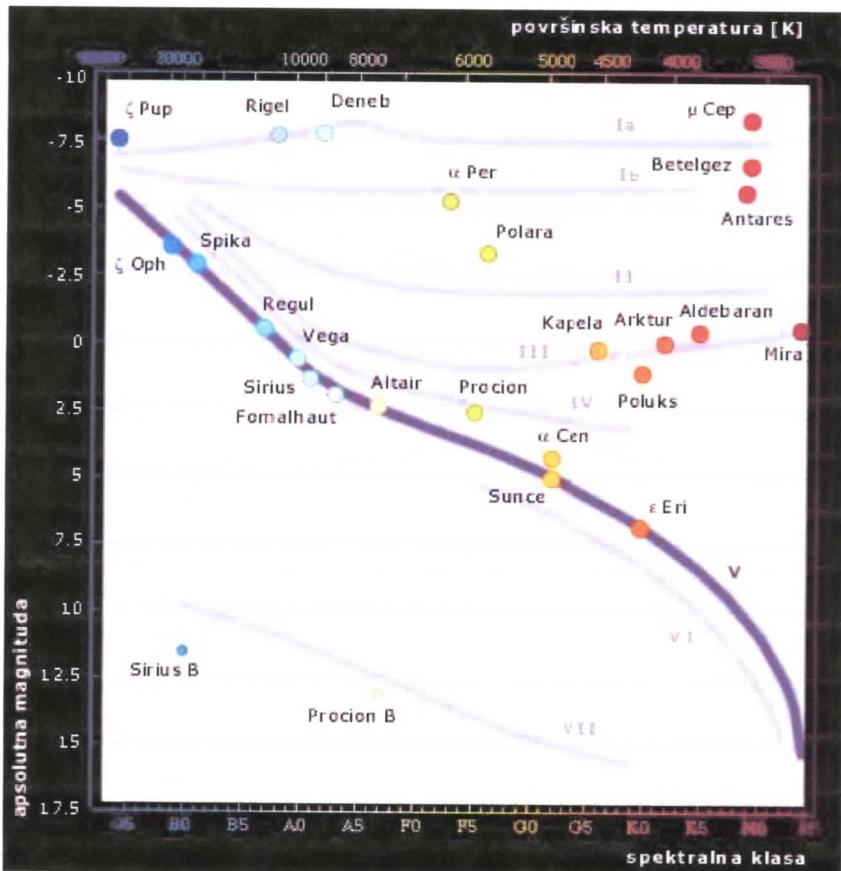
Oznaka III – IV znači da je zvezda između te dve klase emisivnosti.

Klase po potrebi mogu biti podeljene na potklase koje se obeležavaju sa a, ab ili b.

Takođe se mogu koristiti i oznake za neke nestandardne karakteristike pojedinih zvezdanih spektara: e – emisione linije ; m – linije metala ; p – neobični spektri ; v – promenljivi spektri itd.

* Emisivnost L predstavlja ukupnu energiju koju izrači zvezda u jedinici vremena u svim pravcima u određenom spektralnom intervalu, ili po celom spektru (bolometrijska emisivnost).[2]

Hercšprung-Raselov (H-R) dijagram



Slika 1. Hercšprung – Raselov dijagram

Na slici 1. je prikazan Hercšprung – Raselov dijagram zvezda poznatih apsolutnih zvezdanih veličina i spektralnih klasa. Najveći broj zvezda na H-R dijagramu raspoređen je duž relativno uskog pojasa koji se proteže po dijagonali od levog gornjeg ugla (vreli superdžinovi) do desnog donjeg ugla dijagrama (hladni crveni patuljci). Ovaj pojaz se naziva glavni niz (grana) H-R dijagrama i sem brojnosti odlikuje se i malim rasejanjem tačaka koje, za datu spektralnu klasu, ne prelazi 1^m . Sledеća po brojnosti je grupa zvezda spektralnih klasa od G – M sa apsolutnim veličinama oko 0^m koje se nazivaju džinovi (crveni džinovi). Njihove emisivnosti i radijusi za nekoliko redova veličine prevazilaze ove rednosti kod zvezda glavnog niza istih spektralnih klasa. Između glavnog niza i oblasti džinova nalazi se manje brojna grupa subdžinova, dok se iznad džinova na dijagramu nalazi malobrojna grupa superdžinova, apsolutnih veličina od -3^m do -5^m , pa čak i do -8^m . Pokazalo se da je naseljenost zvezda u ovim grupama takva da na jednog superdžinu dolazi oko 10^3 džinova i oko 10^7 zvezda glavnog niza. Grupa zvezda spektralnih klasa B-A, apsolutnih zvezdanih veličina 10^m do 12^m čiji su radijusi i emisivnosti oko 10^2 puta manji od Sunca, nazivaju se beli patuljci. Paralelno glavnom nizu, ali nešto niže na H-R dijagramu, nalazi se grupa subpatuljaka. Na apscisi se umesto spektralne klase može predstaviti efektivna temperatura T_{ef} , a na ordinati, umesto apsolutne zvezdane veličine M , emisivnost zvezde L . Iz ovoga sledi da položaj zvezde na H-R dijagramu određuje odnos između dva najvažnija posmatračka parametra – emisivnosti i temperature zvezda.

Poznati vansolarni planetarni sistemi

Primary (Follow links for planetary system details)	Geocentric Coordinates (2000)			Spectral Type and Luminosity Class	Number of Known Planets	Initial Discovery	
	R.A.	Dec.	Radial Distance (ly)			Discoverer Name	Announcement Date
Sol (Sun)	-	-	0	G2 V	8 (and 3 dwarf planets)	-	-
51 Pegasi (HD217014)	22h 57m 27s	+20° 46' 5"	50	G2 V	1	M. Mayor & D. Queloz	1995 Oct 6
70 Virginis (HD117176, HR5072)	13h 28m 27s	+13° 47' 12"	59	G4 V	1	G. Marcy & R.P. Butler	1996 Jan 17
47 Ursae Majoris (HD95128, HR4277)	10h 59m 29s	+40° 25' 46"	46	G1 V	2	G. Marcy & R.P. Butler	1996 Jan 17
55 rho¹ Cancri A (HD75732, HR3522)	08h 52m 38s	+28° 20' 03"	45	G8 V	4	G. Marcy & R.P. Butler	1996 Apr 12
HD114762	13h 12m 20s	+17° 31' 0"	94	F9 V	1	D. Latham ¹	1989 ¹
tau Bootes A (HD120136, HR5185)	13h 47m 16s	+17° 27' 24"	50	F7 V	1	G. Marcy & R.P. Butler	1996 Jun 14
upsilon Andromedae (HR458, HD9826)	1h 36m 48s	+41° 24' 20"	54	F8 V	3	G. Marcy & R. P. Butler	1996 Jun 23
16 Cygni B (HD186427, HR7504)	19h 41m 52s	+50° 31' 3"	85	G3 V	1	B. Cochran & A. Hatzes; G. Marcy & R. P. Butler ²	1996 Oct (22?)
rho Coronae Borealis (HD143761, HR5968)	16h 1m 3s	+33° 18' 52"	55	G0 V	1	R. Noyes, et al. (AFOE team)	1997 Apr 24
Gliese 876 (Hipparcos 113020)³	22h 53m 16.2s	-14° 15' 43.4"	15	M4 V	3	G. Marcy, et al	1998 June 22
14 Herculis (Gliese 614, HD145675)	16h 10m 24s	+43° 49' 4"	60	K0 V	1	M. Mayor, D. Queloz, et al.	1998 Jul 6

HD187123	19h 46m 58.0s	+34° 25' 11"	156	G3 V	1	R. P. Butler, et al	1998 Sep 9
HD210277	22h 9m 29.8s	-7° 32' 55"	68	G7 V	1	R. P. Butler, et al	1998 Sep 9
Gliese 86 (HD13445)	2h 10m 14.4s	-50° 50' 1"	35	K1 V	1	D. Queloz, et al	1998 Nov 24
HD168443	18h 20m 3.95s	-9° 35' 45"	108	G5 V	1 (and a brown dwarf)	G. Marcy, et al	1998 Dec 2
HD195019	20h 28m 17.3s	+18° 46' 12.7"	65	G3 V	1	G. Marcy, et al	1998 Oct 22
HD217107	22h 58m 15.5s	-2° 23' 42.4"	120	G7 V	1	G. Marcy, et al	1998 Oct 22
HD75289 (HR3497)	8h 47m 41s	-41° 44' 14"	94	G0 V	1	M. Mayor, et al.	1999 Feb 1
HD130322	14h 47m 33s	-0° 16' 53"	99	K0 V	1	S. Udry, et al	1999 Feb 1
iota Horologii (HD17051, HR810)	2h 42m 32s	-50° 48' 12"	51	G0 V	1	M. Kürster, et al	1999 Jul 29
HD192263	20h 13m 59.8s	-0° 52' 0.8"	64.9	K2 V	1	N. Santos, et al	1999 Sep 28
HD209458^{3,6}	22h 3m 10.7s	+18° 53' 3.5"	153	G0 V	1	G. Marcy, et al	1999 Nov 12
HD222582	23h 41m 52s	-5° 59' 9"	140	G3 V	1	G. Marcy, et al	1999 Nov 14
HD10697 (109 Piscium)	1h 44m 56s	+20° 4' 59"	98	G6 IV	1	G. Marcy, et al	1999 Nov 14
HD12661	2h 4m 34s	+25° 24' 52"	120	K0 V	2	G. Marcy, et al	1999 Nov 14
HD134987 (23 Libra)	15h 13m 29s	-25° 18' 34"	82	G5 V	1	G. Marcy, et al	1999 Nov 14
HD37124	5h	+20°	110	G4 V	2	G. Marcy, et	1999 Nov 14

	37m 2.5s	43' 50.8"				al	
HD177830	19h 5m 21s	+25° 55' 14"	190	K2 IV	1	G. Marcy, et al	1999 Nov 14
Gliese 3021 (HD1237)	0h 16m 13s	-79° 51' 4"	57.47	G6 V	1	D. Naef, et al.	2000 Jan 25
HD89744	10h 22m 11s	+41° 13' 46"	130	F7 V	1	R. Noyes, et al.	2000 Mar 3
HD46375	6h 33m 13s	+5° 27' 47"	109	K1 IV-V	1	G. Marcy, et al	2000 Mar 29
79 Ceti (HD16141)	2h 35m 20s	-3° 33' 38"	117	G5 IV	1	G. Marcy, et al	2000 Mar 29
HD52265	7h 0m 18s	-5° 22' 2"	90.7	G0 V	1	G. Marcy, et al	2000 Apr 22
BD-10 3166	10h 58m 29s	-10° 46' 13"		G4 V	1	G. Marcy, et al	2000 Apr 22
HD168746	18h 21m 50s	-11° 55' 22"	140.6	G5 V	1	M. Mayor, et al	2000 May 4
HD83443	9h 37m 12s	-43° 16' 20"	142.0	K0 V	1	M. Mayor, et al	2000 May 4
HD108147	12h 25m 46s	-64° 1' 20"	125.8	F8/G0 V	1	M. Mayor, et al	2000 May 4
HD82943	9h 34m 50.7s	-12° 7' 46.4"	89.56	G0 V	2	M. Mayor, et al	2000 May 4
HD169830	18h 27m 49s	-29° 49' 1"	118.5	F8 V	2	M. Mayor, et al	2000 May 4
HD202206	21h 14m 57.77s	-20° 47' 21.2"	151.1	G6 V	1 (and a brown dwarf)	M. Mayor, et al	2000 May 4
HD38529	5h 46m 35s	+1° 10' 6"	138.4	G4 V	2	D. Fischer, et al	2000 Jul 25
HD92788	10h 42m 49s	-2° 11' 2"	107	G5 V	1	D. Fischer, et al	2000 Jul 25

HD6434	1h 4m 40s	-39° 29' 18"	131	G3 IV	1	M. Mayor, et al	2000 Aug 7
HD19994	3h 12m 46s	-1° 11' 46"	72.4	F8 V	1	M. Mayor, et al	2000 Aug 7
HD121504	13h 57m 17s	-56° 2' 24"	145	G2 V	1	M. Mayor, et al	2000 Aug 7
HD190228	20h 3m 1s	+28° 18' 25"	203	G5 IV	1	M. Mayor, et al	2000 Aug 7
epsilon Eridani (HD22049) ⁴	3h 32m 56s	-9° 27' 30"	10.5	K2 V	1	W. Cochran, et al	2000 Aug 7
HD179949	19h 15m 33s	-24° 10' 46"	88	F8 V	1	C. Tinney, et al	2000 Dec 16
epsilon Reticulum (HD27442)	4h 16m 29s	-59° 18' 8"	59.4	K2 IV	1	R.P. Butler, et al	2000 Dec 16
mu Ara (HD160691)	17h 44m 9s	-51° 50' 3"	49.9	G3 IV-V	4	R.P. Butler, et al	2000 Dec 16
HD28185	4h 26m 26.3s	-10° 33' 3.0"	128.5	G0 V	1	M. Mayor, et al	2001 Apr 4
HD141937	15h 52m 17.5s	-12° 7' 46.4"	109.1	G2/3 V	1	M. Mayor, et al	2001 Apr 4
HD213240	22h 31m 0.4s	-49° 25' 59.8"	132.9	G4 IV	1	M. Mayor, et al	2001 Apr 4
HD8574	1h 25m 12.5s	+28° 34' 0.1"	144.0	F8 V	1	M. Mayor, et al	2001 Apr 4
HD50554	6h 54m 42.8s	+24° 14' 44.0"	101.2	F8 V	1	M. Mayor, et al	2001 Apr 4
HD74156	8h 42m 25.1s	+4° 34' 41.1"	210.6	G0 V	2	M. Mayor, et al	2001 Apr 4
HD106252	12h 13m 29.5s	+10° 2' 29.9"	122.1	G0 V	1	M. Mayor, et al	2001 Apr 4
HD80606	9h 22m	+50° 36'	190.4	G5 V	1	M. Mayor, et al	2001 Apr 4

	37.6s	13.4"					
HD178911 B	19h 9m 3.1s	+34° 35' 59.5"	152.4	G5 V	1	M. Mayor, et al	2001 Apr 4
HD68988	8h 18m 22.2s	+61° 27' 39"	192	G2 V	1	R. P. Butler, et al	2001 Oct 15
HD142	0h 6m 19.2s	-49° 4' 31"	76	G1 IV	1	R. P. Butler, et al	2001 Oct 15
HD4203	0h 44m 41.2s	+20° 28' 56"	254	G5 V	1	R. P. Butler, et al	2001 Oct 15
HD114783	13h 12m 43.8s	-2° 15' 54"	66.5	K2 V	1	R. P. Butler, et al	2001 Oct 15
HD23079	3h 39m 43.1s	-52° 54' 57"	113	F8/G0 V	1	R. P. Butler, et al	2001 Oct 15
HD4208	0h 44m 26.7s	-26° 30' 56"	107	G5 V	1	R. P. Butler, et al	2001 Oct 15
HD33636	5h 11m 46.4s	+4° 24' 12.7"	93.6	G0 V	1	R. P. Butler, et al	2001 Oct 15
HD39091	5h 37m 9.9s	-80° 28' 9"	59	G1 V	1	R. P. Butler, et al	2001 Oct 15
<i>iota Draconis</i> (HD137759 , HIP75458)	15h 24m 55.8s	+58° 57' 58"	103	K2 III	1	S. Frink, et al	2002 Jan 8
HD136118	15h 18m 55.5s	-1° 35' 33"	171	K9 V	1	D. Fischer, et al	2002 Feb 7
HD196050	20h 37m 51.7s	-60° 38' 4"	153	G3 V	1	H. R. A. Jones, et al	2002 Jun 13
HD216437	22h 54m 39.5s	-70° 4' 25"	86.4	G4 IV-V	1	H. R. A. Jones, et al	2002 Jun 13
HD49674	6h 50m 37.3s	+16° 12' 30"	133	G5 V	1	R. P. Butler, et al	2002 Jun 13
HD108874	12h 30m 26.9s	+22° 52' 47"	223	G5 V	1	R. P. Butler, et al	2002 Jun 13
HD128311	14h	+9°	54.1	K0 V	1	R. P. Butler,	2002 Jun 13

	36m 0.6s	44' 47"				et al	
HD114729	13h 12m 44.3s	-31° 52' 24"	114	G3 V	1	R. P. Butler, et al	2002 Jun 13
HD72659	8h 34m 3.2s	-1° 34' 6"	168	G0 V	1	R. P. Butler, et al	2002 Jun 13
HD40979	6h 4m 29.9s	+44° 15' 38"	108	F8 V	1	D. Fischer, et al	2002 Jun 13
HD30177	4h 41m 54.4s	-58° 1' 15"	179	G8 V	1	C. Tinney, et al	2002 Jun 13
HD73526	8h 37m 16.5s	-41° 19' 9"	323	G6 V	2	C. Tinney, et al	2002 Jun 13
HD20367	3h 17m 40.0s	+31° 7' 37.4"	88	G0 V	1	C. Perrier, et al	2002 Jun 19
HD23596	3h 48m 0.4s	+40° 31' 50.3"	170	F8 V	1	C. Perrier, et al	2002 Jun 19
HD150706	16h 31m 17.6s	+79° 47' 23.2"	88.7	G0 V	1	C. Perrier, et al	2002 Jun 19
HD190360A (Gliese 777A)	20h 3m 37.4s	+29° 53' 48.5"	51.9	G6 IV+	1	C. Perrier, et al	2002 Jun 19
HD114386	13h 10m 39.8s	-35° 3' 17.2"	91.3	K3 V	1	C. Perrier, et al	2002 Jun 19
HD147513	16h 24m 1.3s	-39° 11' 34.7"	42.1	G3/5 V	1	C. Perrier, et al	2002 Jun 19
HD2039	0h 24m 20.3s	-56° 39' 0.2"	293	G2/3 IV/V	1	C. Tinney, et al	2002 Jul 5
HD76700	8h 53m 55.5s	-66° 48' 3.6"	195	G6 V	1	C. Tinney, et al	2002 Jul 5
HD222404 (Gamma Cephei)	23h 39m 20.85s	+77° 37' 56.2"	38.5	KII V	1	W. Cochran, et al	2002 Sep 13
HD216435 (Tau¹ Gruis)	22h 53m	-48° 35'	109	G0 V	1	H. R. A. Jones, et al	2002 Sep 17

	37.9s	53.8"					
HD3651	0h 39m 21.8s	+21° 15' 1.7"	36	K0 V	1	D. Fischer, et al	2003 Jan 3
OGLE-TR-56	17h 56m 35.5s	-29° 32' 21.2"	~4900	G	1	M. Konocki, et al	2003 Jan 4
HD47536	6h 37m 47.62s	-32° 20' 23.0"	401	KO III	1	J. Setiawan, et al	2003 Jan 22
HD73256	8h 36m 23.0s	-30° 2' 15.5"	119	G8/K0 V	1	S. Udry, et al	2003 Apr 14
HD104985	12h 5m 15.1s	+76° 54' 20.6"	333	G9 III	1	B. Sato, et al	2003 Jun 26
HD41004 A	5h 59m 49.6s	-48° 14' 22.9"	139	K1 V	1	S. Zucker, et al	2003 Jun 30
HD65216	7h 53m 41.3s	-63° 38' 50.4"	112	G5 V	1	M. Mayor, et al	2003 Jun 30
HD111232	12h 48m 51.8s	-68° 25' 30.5"	95	G8 V	1	M. Mayor, et al	2003 Jun 30
HD142415	15h 57m 40.8s	-60° 12' 0.9"	112	G1 V	1	M. Mayor, et al	2003 Jun 30
HD216770	22h 55m 53.7s	+26° 39' 31.5"	120	K1 V	1	M. Mayor, et al	2003 Jun 30
HD10647	1h 42m 29.3s	-53° 44' 27.0"	56.4	K9 V	1	M. Mayor, et al	2003 Jun 30
HD70642	8h 21m 28.1s	-39° 42' 19.5"	95	G5 IV-V	1	B. Carter, et al	2003 Jul 3
HD59686	7h 31m 48.4s	+17° 5' 9.8"	300	K2 III	1	D. Mitchell, et al	2004 Jan 5
HD219449	23h 15m 53.5s	-9° 5' 15.9"	150	K0 III	1	D. Mitchell, et al	2004 Jan 5
HD330075	15h 49m 37.7s	-49° 57' 48.7"	164	G5 V	1	M. Mayor, et al	2004 Feb 10

OGLE-TR-113	10h 52m 24.4s	-61° 26' 48.5"	~4900	K	1	F. Bouchy, et al	2004 April 14
OGLE-TR-132	10h 50m 34.7s	-61° 57' 25.9"	~4900	F	1	F. Bouchy, et al	2004 April 14
OGLE-235/MOA-53	18h 5m 16.35s	-28° 53' 42.0"	~17000		1	I. Bond, et al	2004 April 15
HD37605	5h 40m 1.7s	+6° 3' 38.1"	140	K0 V	1	W. Cochran, et al	2004 Jul 8
 GSC02652-01324 (TrES-1) ⁶	19h 4m 9.8s	+36° 37' 57"		K0 V	1	R. Alonso, et al	2004 Aug 25
OGLE-TR-111	10h 53m 17.9s	-61° 24' 20.3"	~4900	G or K	1	F. Pont, et al	2004 Aug 26
Gliese 436 (Hipparcos 57087)	11h 42m 11.09s	+26° 42' 23.7"	33.4	M2.5 V	1	R. P. Butler, et al	2004 Aug 31
HD88133	10h 10m 7.68s	+18° 11' 12.7"	243	G5 IV	1	D. Fischer, et al	2004 Sep 6
2M1207 (2MASS J12073346-3932539)⁷	12h 7m 33.4s	-39° 32' 54"	230	M8	1	G. Chauvin, et al	2004 Sep 10
HD154857	17h 11m 15.72s	-56° 40' 50.9"	223	GV V	1	C. McCarthy, et al	2004 Sep 16
HD117618	13h 32m 25.56s	-47° 16' 16.9"	120	G2 V	1	C. Tinney, et al	2004 Sep 16
HD102117	11h 44m 50.46s	-58° 42' 13.4"	130	G6 V	1	C. Tinney, et al	2004 Sep 16
HD208487	21h 57m 19.85s	-37° 45' 49.0"	150	G2 V	1	C. Tinney, et al	2004 Sep 16
OGLE-TR-10	17h 51m 28.25s	-29° 52' 34.9"	~4900	G or K	1	F. Bouchy, et al	2004 Oct 15
HD45350	6h 28m 45.71s	+38° 57' 46.7"	160	G5 IV	1	G. Marcy, et al	2005 Jan 25

HD99492	11h 26m 46.27s	+3° 0' 22.8"	59	K2 V	1	G. Marcy, et al	2005 Jan 25
HD117207	13h 29m 21.11s	-35° 34' 15.6"	110	G8 IV-V	1	G. Marcy, et al	2005 Jan 25
HD183263	19h 28m 24.57s	+8° 21' 29.0"	170	G2 IV	1	G. Marcy, et al	2005 Jan 25
HD188015	19h 52m 4.54s	+28° 6' 1.4"	172	G5 IV	1	G. Marcy, et al	2005 Jan 25
HD2638	0h 29m 59.87s	-5° 45' 50.4"	175.2	G5	1	C. Montou, et al	2005 Feb 15
HD27894	4h 20m 47.05s	-59° 24' 39.0"	138.2	K2 V	1	C. Montou, et al	2005 Feb 15
HD63454	7h 39m 21.85s	-78° 16' 44.3"	116.8	K4 V	1	C. Montou, et al	2005 Feb 15
HD93083	10h 44m 20.91s	-33° 34' 37.3"	94.26	K3 V	1	C. Lovis, et al	2005 Feb 15
HD101930	11h 43m 30.11s	-58° 0' 24.8"	99.44	K1 V	1	C. Lovis, et al	2005 Feb 15
HD142022 A	16h 10m 15.02s	-84° 13' 53.8"	117.0	K0 V	1	M. Mayor, et al	2005 Feb 15
GQ Lupi	15h 49m 12.14s	-35° 39' 3.9"	460	K7 V	1	R. Neuhäuser, et al	2005 Mar 31
HD13189	2h 9m 40.17s	+32° 18' 59.2"	603	K2 II	1	A. Hatzes, et al	2005 Apr 5
HD8673	1h 26m 8.78s	+34° 34' 46.9"	124.8	K7 V	1	A. Hatzes, et al	2005 Apr 9
HD11977	1h 54m 56.13s	-67° 38' 50.3"	217	G8.5 III	1	J. Setiawan, et al	2005 May 25
HD149026	16h 30m 29.62s	+38° 20' 50.3"	260	G0 IV	1	B. Sato, et al	2005 June 30
HD188753A	19h	+41°	150	K0	1	M. Konacki,	2005 July 14

	54m 58.37s	52' 17.5"				et al	
HD149143	16h 32m 51.05s	+2° 5' 5.4"	210	G0 IV	1	D. Fischer, et al	2005 August 22
HD109749	12h 37m 16.38s	-40° 48' 43.6"	190	G3 IV	1	D. Fischer, et al	2005 August 22
Gliese 581	15h 19m 26.83s	-7° 43' 20.2"	20.4	M III	3	X. Bonfils, et al	2005 August 22
HD118203	13h 34m 2.54s	+53° 43' 42.7"	289	K0	1	R. Da Silva, et al	2005 August 22
HD212301	22h 27m 30.92s	-77° 43' 4.5"	172	F8 V	1	G. Lo Curto, et al	2005 August 22
HD43081	0h 44m 39.27s	-65° 38' 58.3"	71.4	G5 V	1	S. Udry, et al	2005 August 22
HD33564	5h 22m 33.53s	+79° 13' 52.1"	68.4	F6 V	1	F. Galland, et al	2005 September 3
HD189733	20h 0m 43.71s	+22° 42' 39.1"	62.9	K1/2	1	F. Bouchy, et al	2005 October 5
HD81040	9h 23m 47.09s	+20° 21' 52.0"	110	G2/3 V	1	A. Sozzetti, et al	2005 November 23
HD102195	11h 45m 42.29s	+2° 49' 17.3"	98	K0 V	1	J. Ge, et al	2006 January 12
OGLE-05-390L	17h 54m 19s	-30° 22' 38"	~20000	M	1	J. Beaulieu, et al	2006 January 25
OGLE-05-169L	18h 6m 5.32s	-30° 43' 57.5"	~9100	M/K	1	A. Gould, et al	2006 March 10
HD187085	19h 49m 33.97s	-37° 46' 50.0"	150	G0 V	1	H. Jones, et al	2006 March 14
HD20782	3h 20m 3.58s	-28° 51' 14.7"	120	G2 V	1	H. Jones, et al	2006 March 14
HD33283	5h 8m 1.01s	-26° 47'	280	G3 V	1	J. Johnson, et al	2006 April 17

		50.9"					
HD86081	9h 56m 5.92s	-3° 48' 30.3"	300	G3 V	1	J. Johnson, et al	2006 April 17
HD224693	23h 59m 53.83s	-22° 25' 41.2"	300	G3 V	1	J. Johnson, et al	2006 April 17
GSC02041-01657 (XO-1)	16h 2m 11.85s	+28° 10' 10.5"	650	G1 V	1	P. McCullough, et al	2006 May 17
HD69830	8h 18m 23.95s	-12° 37' 55.8"	41.1	K0 V	3	C. Lovis, et al	2006 May 18
beta Geminorum (Pollux, HD62509, HIP37826, HR2990)	7h 45m 18.95s	+28° 1' 34.3"	34	K0 IIIb	1	A. Hatzes, et al	2006 June 16
HD164922	18h 2m 30.86s	+26° 18' 46.8"	71.5	K0 V	1	R. P. Butler, et al	2006 July 20
HD66428	8h 3m 28.67s	-1° 9' 45.8"	180	G5	1	R. P. Butler, et al	2006 July 20
HD99109	11h 24m 17.36s	-1° 31' 44.7"	200	K0	1	R. P. Butler, et al	2006 July 20
HD107148	12h 19m 13.49s	-3° 19' 11.2"	170	G5	1	R. P. Butler, et al	2006 July 20
HIP14810	3h 11m 14.23s	+21° 5' 50.5"	170	G5	1	R. P. Butler, et al	2006 July 20
GSC03549-02811 (TrES-2)	19h 7m 14.03s	+49° 18' 59.3"		G0 V	1	F. O'Donovan, et al	2006 August 21
SAO72884 (HAT-P-1)	22h 57m 46.83s	+38° 40' 29.8"	450	G0 V	1	G. Bakos, et al	2006 September 13
WASP-1	0h 20m 40s	+31° 59' 24"		F7 V	1	A. Cameron, et al	2006 September 25
WASP-2	20h 30m 54s	+6° 25' 46"		K1 V	1	A. Cameron, et al	2006 September 25
epsilon Tauri (HD28305, HIP20889)	4h 28m 37.00s	+19° 10' 49.6"	150	K0 III	1	B. Sato, et al	2007 February 7

HR1409							
HD23127 (HIP17054)	3h 39m 23.64s	-60° 4' 40.2"	291	G2 V	1	S. O'Toole, et al	2007 February 9
HD159868 (HIP86375)	17h 38m 59.53s	-43° 8' 43.9"	172	G5 V	1	S. O'Toole, et al	2007 February 18
HD219828 (HIP115100)	23h 18m 46.74s	+18° 38' 44.6"	260	G0 IV	1	C. Melo, et al	2007 February 18
HD100777 (HIP56572)	11h 35m 51.52s	-4° 45' 20.5"	172	K0	1	D. Naef, et al	2007 March 5
HD190647 (HIP99115)	20h 7m 19.67s	-35° 32' 19.1"	177	G5 V	1	D. Naef, et al	2007 March 5
HD221287 (HIP115100)	23h 31m 20.34s	-58° 12' 35.0"	173	F7 V	1	D. Naef, et al	2007 March 5
4 Ursae Majoris (HD73108, HIP42527, HR3403)	8h 40m 12.82s	+64° 19' 40.6"	200	K1 III	1	A. Hatzes, et al	2007 March 27
HD11506 (HIP8770)	1h 52m 50.53s	-19° 30' 25.1"	175.5	G0 V	1	D. Fischer, et al	2007 April 10
HD17156 (HIP13192)	2h 49m 44.49s	+71° 45' 11.6"	255.2	G5	1	D. Fischer, et al	2007 April 10
HD125612 (HIP70123)	14h 20m 53.51s	-17° 28' 53.5"	172.3	G3 V	1	D. Fischer, et al	2007 April 10
HD170469 (HIP90593)	18h 29m 10.98s	+11° 41' 43.8"	211.9	G5 IV	1	D. Fischer, et al	2007 April 10
HD231701 (HIP96078)	19h 32m 4.16s	+16° 28' 27.4"	353.5	F8 V	1	D. Fischer, et al	2007 April 10
HD147506 (HIP80076)	16h 20m 36.36s	+41° 2' 53.1"	440	F8 V	1	G. Bakos, et al	2007 May 2
XO-2 (GSC03413- 00005)	7h 48m 6.47s	+50° 13' 33.0"	486	K0 V	1	C. Burke, et al	2007 May 2
Corot-Exo-1			1500		1	Corot team	2007 May 3

17. Kratka biografija kandidata



Tanja (Jandrić) Damjanović je rođena 30. 11. 1972. godine u Žablju. Osnovnu školu završila u Žablju, a srednju školu „Mihajlo Pupin“ u Novom Sadu. Udata je i majka jednog deteta. Živi u Žablju.

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Tip zapisa:

TZ

Vrsta rada:

VR

Autor:

AU

Mentor:

MN

Naslov rada:

NR

Jezik publikacije:

JP

Jezik izvoda:

JL

Zemlja publikovanja:

ZP

Uže geografsko područje:

UGP

Godina:

GO

Izdavač:

IZ

Mesto i adresa:

MA

Fizički opis rada:

FO

Naučna oblast:

NO

Naučna disciplina:

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

UDK

Čuva se:

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

član:

član:

Monografska dokumentacija

Tekstualni štampani materijal

Diplomski rad

Damjanović Tanja

dr Svetlana Lukić, redovni profesor

Vansolarne planete

srpski (latinica)

srpski/engleski

Srbija

Vojvodina

2007

Autorski reprint

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

16/47/8/4/8

Fizika

Astronomija

vansolarne planete; planetarni sistemi; planetarna habitalnost;

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

nema

Prikazana je obrada teme „Vansolarne planete“. Rad se bavi metodama detekcije kao i osobinama dosad detektovanih vansolarnih planeta i planetarnih sistema. Takođe je obrađena habitalnost planeta (masa, orbita, položaj u planetarnom sistemu, karakteristike zvezda itd.) Napravljen je popis značajnih vansolarnih planeta i planetarnih sistema.

21.09. 2007.

Dr Dragoslav Petrović, redovni profesor

Dr Svetlana Lukić, redovni profesor

Dr Božidar Vujičić, redovni profesor

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS
KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Type of record:

TR

Content code:

CC

Author:

AU

Mentor/comentor:

MN

Title:

TI

Language of text:

LT

Language of abstract:

LA

Country of publication:

CP

Locality of publication:

LP

Publication year:

PY

Publisher:

PU

Publication place:

PP

Physical description:

PD

Scientific field:

SF

Scientific discipline:

SD

Subject/ Key words:

SKW

UC

Holding data:

HD

Note:

N

Abstract:

AB

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Thesis defend board:

DB

President:

Member:

Member:

Monograph publication

Textual printed material

Final paper

Damjanović Tanja

Ph. D. Svetlana Lukić, full prof.

Extrasolar planets

Serbian (Latin)

English

Serbia

Vojvodina

2007

Author's reprint

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Physical description:

Physics

Astronomy

extrasolar planets; planetary systems; planetary habitability;

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

none

The subject of extrasolar planets was illustrated. This paper deals with methods of detection, as well as with characteristics of extrasolar planets and planetary systems detected so far. Further more, habitability of planets was dealt with (mass, orbit, position in planetary system, features of the stars etc.) A list of significant extrasolar planets and planetary systems was made.

21. 09. 2007.

Ph. D. Dragoslav Petrović, full prof.

Ph. D. Svetlana Lukić, full prof.

Ph. D. Božidar Vujičić, full prof.

