

# Exoplanety

Juro Tekel

juraj.tekel(at)gmail(dot)com

Poznamky k prednaske o tom, co su exoplanety, ako sa hladaju a preco su zaujimave a preco davaju ovela viac otazok ako odpovedi.

Jun 2009

---

na zaciatok **zopar slov o nasej planetarnej sustave**

- ako zistim ze cosi je planeta - pozeram na bodku na oblohe a ta sa okrem otacania s hviezdnyim pozadim vzhľadom na hviezdy hybe
- uz egyptania poznali planety, teoria bola taka, ze vsetko obieha okolo zeme (=stred vesmiru) to ale nesedelo s pozorovanim, preto sa pridavali epicykli (planety obiehaju po kruzniciach, ktorych stredy obiehaju po kruzniciach), aby vysvetlili merania, ale pri kazdom novom merani trebalo upravit teorii  
okrem epicyklov skusali rozne premenlive rychlosti obiehanie a podobne, ale stale to nebolo ono  
dobra teoria = teoria, ktoru netreba upravovat s kazdym novym meranim, preto epicykli zla teoria a treba cosi ine  
poznamka : vsimnime si, ze v tej dobe nikoho nezaujimalo, 'preco' to tak je, hladali sa iba predpovede pre pozorovania, nie principy
- Kopernik prisiel s heliocentrickym usporiadanim = slnko v strede, avsak nebol zdaleka prvý (odtiaľ aj slovo revolucia)  
stale to nebolo uplne to prave, bo bolo treba epicykly, ale menej a jednoduchsie
- Kepler z velmi presnych merani, ktore urobil de Brahe, prisiel na to, ze vsetko sa strasne zjednodusi, ak povieme, ze planety obiehaju po elipsach, istou premenlivou rychlostou a cim dalej tym pomalsie (=tri keplerove zakony)  
toto je neskutocne dolezity a neskutocne tazky krok  
a co je najdolezitejsie, paradane to sedi s novymi meraniami
- Newton odpovedal na otazku preco je to tak, preco elipsy a preco meniace sa rychlosti, a odpoved je

$$F = ma \quad F = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

a toto je zaciatok modernej vedy, tak ako ju pozname dnes - 1) vesmir je riadeny zakonmi, ktore su rovnake na zemi, na slnku, vsade 2) tieto zakony su matematicke [rovnice]

a teraz prichadza otazka dna : ak ma nase slnko planety, maju planety aj ine hviezdy?  
v prvom rade **ako prislo k planetarnemu systemu nase slnko**

- vieme ze : sustava ma 8 planet, vnutorne 4 planety su velike kusy skal, vonkajsie 4 planety su zvacsa plyn a lad (=rozny lahky material), okrem toho kopa mesiacov a veci, ktore poletuju dookola, cele to rotuje zhruba v jednej rovine a rovnakym smerom

- teória = slnečná sústava vznikla z rotujúceho oblaku, ktorý sa splasol na disk a v strede vznikla hviezda, zvyšok materiálu sa pomaly postupne zrážal a pritahoval, až kým nevznikli veľké kusy vecí - planety

toto vysvetľuje veľa vecí o našej sústave - prečo obieha všetko v jednom smere, prečo sú dráhy približne kruhové (=nekruhovitosti sa vyhubili), prečo sú vnútorné planety skaly a prečo vonkajšie ľadové (=pri slnku moc teplo), prečo sú vonkajšie planety oveľa väčšie (=ďalej od slnka zametajú väčšiu plochu) a prečo majú veľký plynný obal (=udržia si viac plynu bo sú väčšie)

na tomto nie je nič špeciálne pre slnko a očakávame podobné veci všade vo vesmíre

### Ako teda hľadáme exoplanety?

- problém je, že tieto planety nevidno ako svetielka na oblohe, lebo sú príliš blízko oveľa jasnejších svetielok = hviezd

treba hľadať nepriamo

- prvá metóda : hviezda sa hybe kôli svojim planetám, lebo všetko to obieha okolo spoločného ťažiska, ktoré nie je v strede hviezdy

čím ťažšia planeta a čím rýchlejšie obieha, tým väčší pohyb hviezdy bude spôsobovať

pre pohyb slnka spôsobený pohybom Zeme je to asi 10 *cm/s*, pre pohyb slnka spôsobený Jupiterom je to asi 15 *m/s*; prvé sa nedať namerať, druhé sa dá : poučenie - malé planety sú čo sa týka pohybu hviezdy úplne zanedbateľné

- ako vieme merať pohyb hviezd = Dopplerov posun, vlnová dĺžka prijatého svetla sa mení, ak sa zdroj a pozorovateľ nazvajú pohyb, takto vieme merať radiaľnu zložku rýchlosti

keď sa teda pozeráme na hviezdu a jej radiaľna rýchlosť sa mení v čase ako sinus, usúdime, že veľmi pravdepodobne má okolo seba obiehajúcu planetu

z toho vieme tiež určiť periódu tohto obehu a veľkosť tejto rýchlosti (presnejšie priemer rýchlosti do radiaľneho smeru, nakoľko obiehanie nemusí byť v rovine)

### Nejaké merania

- prvé exoplanety boli objavené v roku 1992

veľmi dôležitá je hviezda 51 Pegasi, lebo je veľmi podobná slnku (vo všetkom) a meranie jej rýchlosti ukázalo, že má okolo seba planetu (1995)

avšak - obežná doba planety je veľmi malá a rýchlosť hviezdy prívelká, planeta má hmotnosť asi 1/3 hmotnosti Jupitera (dolná hranica) a obieha bližšie ako Merkur

to úplne protirečí modelu o vzniku planét, a okrem toho veľmi skoro sa našlo veľa ďalších podobných planét, ktoré dostali meno 'horúci Jupiter', nakoľko sú veľmi blízko pri hviezde horúci a sú veľmi veľké (nemôže byť skala bo toľko skal nie je v celej našej sústave)

možné vysvetlenie = takéto planety je ľahké najst a tak ich nenachádzame; pravda, ale aj tak nemáme nič, čo by existenciu takejto planety vysvetľilo

- takže vysvetlenia pre 'horúce Jupitery'

1) nie planeta ale dvojhviezda, na ktorú sa pozeráme kolmo, takže má veľmi malé priemery rýchlosti; nemôže byť, lebo očakávame nejaké svetlo z druhej hviezdy a lebo nevidíme žiadne takéto dvojhviezdy, ktoré by neboli [skoro] kolmo

2) vobec ziadne planety, ale pulzujuca hviezda - ked hviezda pulzuje, raz ide ku nam, raz od nas → menenia radialnej rychlosti; problemy - neocakavame take vyrazne pulzovanie u hviezd ako 51 Pegasi, nie sinusova zmena rychlosti

pulzujuca hviezda predpoveda rozmazane spektrálne čiary, obiehajúca planeta len posunute ... pozoruju sa nerozmazane

- v súčasnosti - máme veľa planet s väčšími periodami (niekoľko rokov), veľmi eliptické dráhy (nie sinusové, ale oveľa osjšejšie maxima)

**Planetarne prechody** - ľudia sa snažili nejak vysvetliť tieto merania inak, ako prítomnosťou planety, ale nakoniec to čosi celé zaklincovalo

- HD209458 - hviezda s 'horúcim jupiterom', ktorý bol objavený predchádzajúcou metódou pri meraní jasnosti hviezdy našli periodicky (7 dní) sa opakujúce malé poklesy (asi o 2%), trvajúce asi dve hodiny; a dolezite - perioda obehu planety (podľa predchádzajúcich meraní) je 3,5 dňa !!! takže to bola planeta, ktorá zablokovala časť svetla, dokonca aj tvar krivky jasnosti hviezdy sedí s prechodom disku, tiež keď porovnáme grafy rýchlosti a jasnosti, poklesy sedia s miestami nulovej radialnej rýchlosti

okrem toho dostávame ďalšiu informáciu o veľkosti planety z toho, koľko svetla bolo zablokované a tiež dostávame informáciu o natočení systému a teda presnejšie vieme hmotnosť planety, takto zistíme hustotu planety, ktorá potvrdzuje že je to niečo ako Jupiter

avšak na toto treba mať šťastie, aby planeta obiehala v rovine so Zemou

- takéto merania sa robia oveľa ľahšie ako spektroskopická, takže to dáva ďalší návod, ako hľadať exoplanety, problém ale že musí byť špeciálne natočená

pozorujeme veľa hviezd naraz - od fotenie hviezdokopy, 47 Tuc; 30000 hviezd - z toho čakali 30 planet, objavili nula ! celkom depresívne, bo moc dráhy experiment

dovod - hviezdokopy = kopy hviezd blízko pri sebe a často sa zrazia a tak a teda žiadna planeta sa neudrží; planety majú druho generácie hviezdy, ktoré majú vysokú metalicitu (podiel týchto prvkov ako helium) a v tejto kope take vobec neboli

- tak sa pozreli na miesto s menšou hustotou hviezd a väčšou metalicitou a našli kopy (=odhadované množstvo) planet, ktoré predtým nepoznali

### **Ako ale vznikajú horúce jupitery?**

- ako je teda možné, že sa táto planeta nevyparí? súčasne vysvetlenie je migrácia

planeta vznikne opísaným spôsobom ďaleko od hviezdy a potom sa priblíži k hviezde, keďže má veľký pomer objemu/plocha, bude jej trvať veľmi veľmi dlho kým sa vyparí aj v tak horúcom prostredí

toto vysvetľuje prečo nevidíme žiadne zemi-podobné planety, pri migrovani ich tieto veľké planety lebo odkopli alebo spalili

- mechanizmus migrácie nie je veľmi dobre pochopený, jedna z možností je, že po vzniku planety zostane ešte dost prachu, ktorý planetu postupne brzdi
- okrem toho niekedy sa to nestane, ako napríklad v našej sústave, kde je Jupiter tam, kde je

## **Astromtria na zaver**

- este jedna metoda na hladanie exoplanet

skuma sa realny pohyb hviezd sposobeny pohybom planety - ten isty efekt ako pri merani rychlosti a doplerovho posunu

je fajn, lebo nim sa lahko nachadzaju planety, ktore maju velku obeznu drahu, nemusia mat velku rychlost, ale zato hviezda musi byt blizko

meria sa pohyb stredu oblacika, ktory na oblohe hviezda vytvara

- napríklad pohyb slnka koli jupiteru je pozorovatelny (nasou technikou) z alfa centaury, pohyb zeme pozorovatelny nie je

takto vieme, za alfa centary nema okolo seba planetu ako jupiter

posledna poznámka - v blizkej dobe sa chystaju pristroje s presnosotou, ktora je dost na objavenie planety ako zem tymito metodami (tranzity a astrometria)