

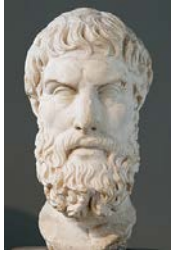
Miloslav Zejda

Exoplanety

**- planetární
světy jiných
sluncí**

Univerzita 3. věku, MU, 27. 1. 2016

Historický úvod



antika – 450 př.n.l. - starověcí myslitelé - existence cizích planet - proč ne?
300 př.n.l. - **Epikúros** – existuje nekonečně mnoho světů podobných jako je náš nebo odlišných. Musíme věřit, že tam všude jsou živé bytosti a planety a jiné věci, které vidíme v našem světě.

15. st. – **Mikuláš Kusánský** – Slunce ani Země nejsou ve vesmíru jedinečné



16./17. st. – **Giordano Bruno** – 1584: „Existují nespočetná slunce a nespočetné země obíhající kolem svých sluncí jako 7 planet v naší soustavě ...“;
† 1600

1695 – **Christian Huygens** – kniha Cosmotheros - o životě na cizích planetách



1713 – **Isaac Newton** – Principia (General Scholium)
– připouští, že jiné planetární systémy „fungují“ stejně jako ten náš

1. tvrzení o detekci exoplanet

u dvojhvězdy (70 Oph) - **nepotvrzeno**

1855 - **W. S. Jacob** nahlásil, že podle orbitálních anomálií je "vysoce pravděpodobné" že je v tomto systému "planetární těleso"

1890 – **T. J. J. See** prohlásil, že orbitální anomálie potvrdily existenci temného tělesa v systému 70 Ophiuchi s orbitální periodou 36 let, obíhajícího kolem jedné z hvězd

1952 - **Otto Struve** - obří planety mnohem blíže k mateřské hvězdě; navrhnul Dopplerovskou spektroskopii a metodu transitů k detekci super-Jupiterů na krátké orbitální dráze

50., 60. léta 20. st. - **Peter van de Kamp** několikrát ohlásil objev exoplanet, tentokrát obíhajících Barnardovu hvězdu - **všechna tato měření zřejmě chybná**

1988 – 1. publikovaný objev (následně potvrzený) - **Bruce Campbell, G. A. H. Walker a S. Yang** – planeta u γ Cep z měření radiálních rychlostí (další měření 1989, 1992, 2002 – uznáno – 2015 – jméno Tadmor)

1991 - **Andrew Lyne, M. Bailes a S. L. Shemar** - objev planety u pulsaru (PSR 1829-10) – staženo samotnými autory

1989 – HD114762b – **D. W. Latham, R. P. Stefanik, T. Mazeh, M. Mayor, G. Burki**, potvrzeno 1996

1. objevy exoplanet



1991/1992 **Aleksander Wolszczan** a **Dale Frail** - objev planet obíhajících pulsar PSR 1257+12, Arecibo, 2.8 a 3.4 M_z ; analýza dat objev potvrdila, ale nedůvěru vzbuzovala přítomnost planety u pulsaru
Ize považovat za první skutečný objev exoplanety

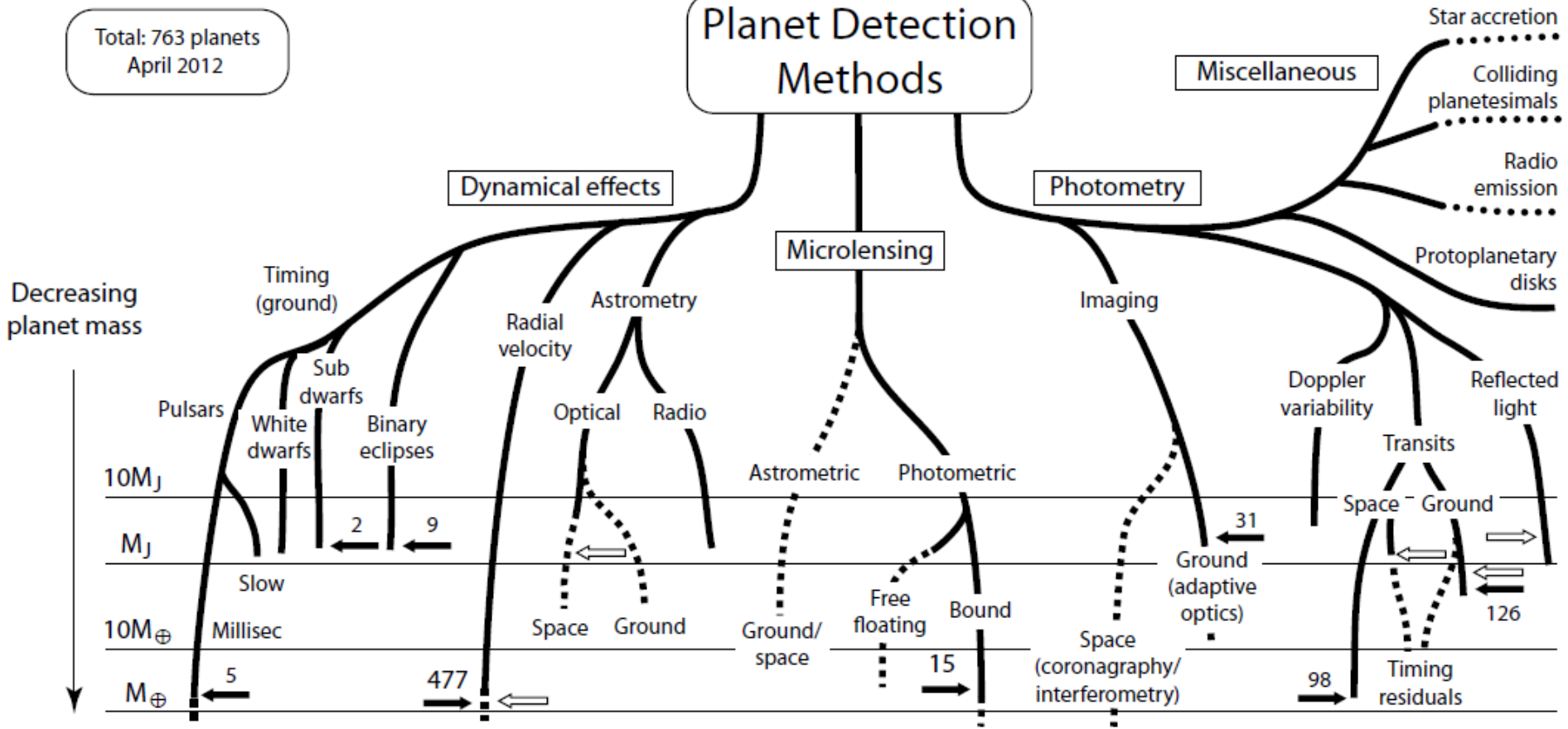
1995 - **Michael Mayor, Didier Queloz** – exoplaneta u 51 Pegasi
1. objev exoplanety u hvězdy slunečního typu



2016 (27.1.) – 5633 objevů, potvrzených 2052 exoplanet!, 1300 pl. soustav (např. HD 10180, Kepler 90, HD 219134 - 9 planet)

Total: 763 planets
April 2012

Planet Detection Methods



Discovered:	16 planets	477 planets		15 planets	31 planets	224 planets
Detected:	16 planets (11 systems, 4 multiple)	701 planets (559 systems, 94 multiple)	4 planets	15 planets (14 systems, 1 multiple)	31 planets (27 systems, 2 multiple)	230 planets (196 systems, 29 multiple transit)

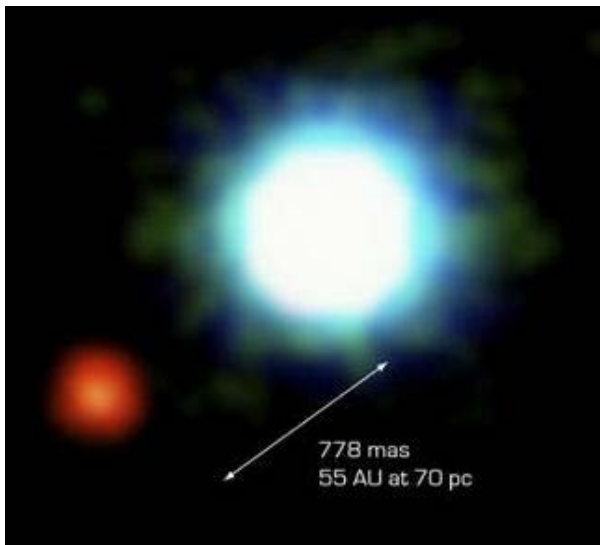
existing capability
 projected (10-20 yr)
 n = planets known
 discoveries
 follow-up detections

Na stopě cizích planet

Přímé pozorování planet jiných hvězd není zatím možné.

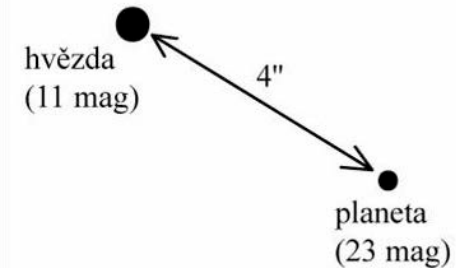
velký rozdíl jasností,
malá vzdálenost.

od 2004 už NEPLATÍ – Very Large Telescope
planeta u hnědého trpaslíka 2M1207
k 25. 1. 2016 – 64 exoplanet, 59 soustav



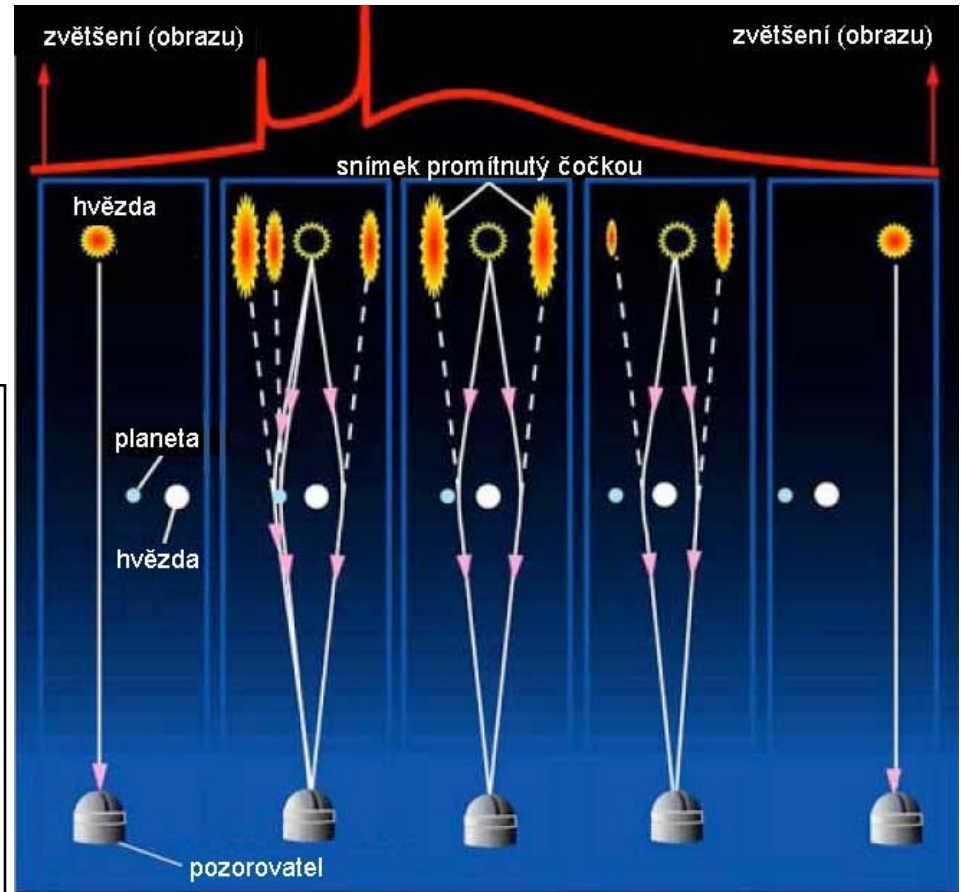
VLT – září 2006

Přímé pozorování:



Jupiter u hvězdy Proxima Centauri
obíhající ve vzdálenosti 780 milionů
kilometrů

Gravitační mikročočky



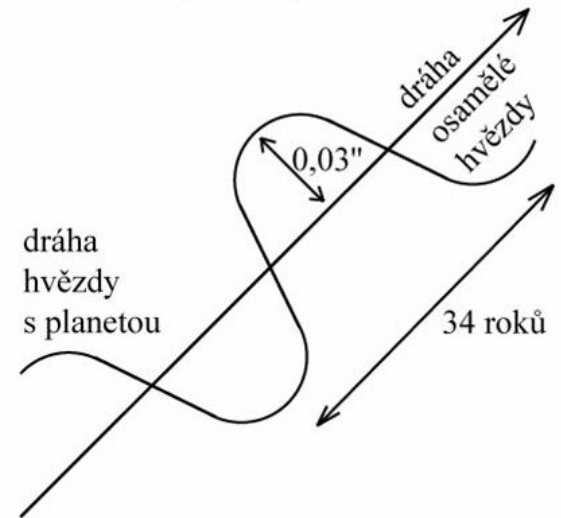
43 exoplanet, 41 soustav
(k 25. 1. 2016)



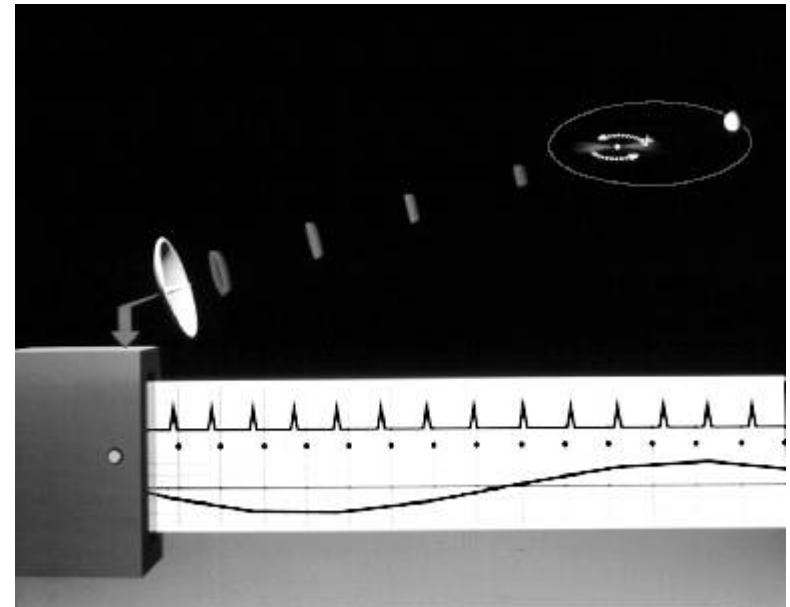
Astrometrie - sledování pohybu vytypované hvězdy na hvězdné obloze 2 planety (25. 1. 2016) – 1 pomocí HST

Jupiter u hvězdy Proxima Centauri obíhající ve vzdálenosti 780 milionů kilometrů

Změna polohy hvězdy:

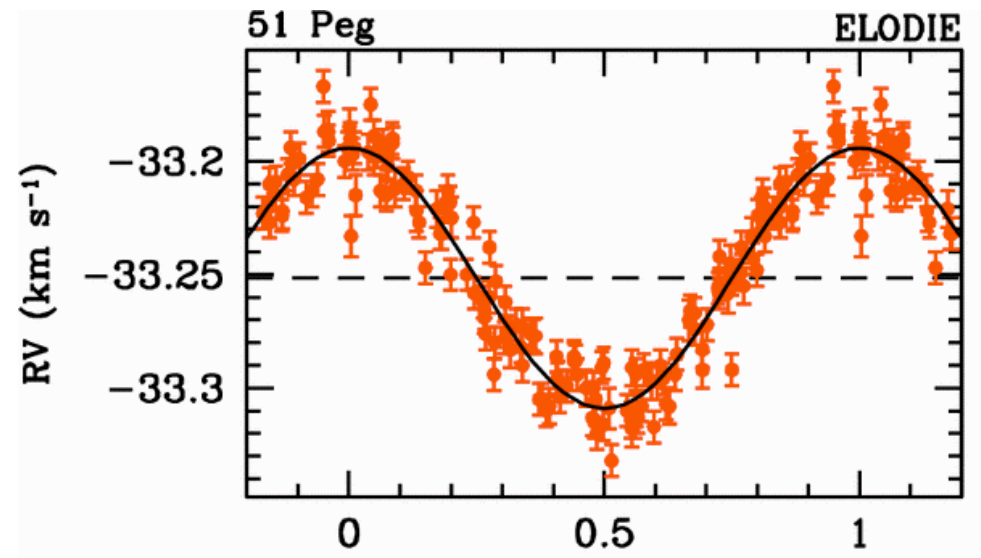
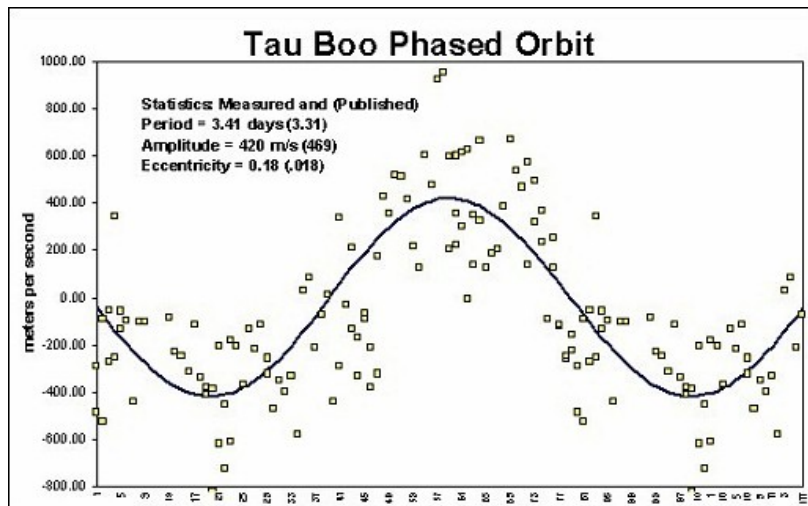


„Pulsar timing“ - anomálie v pulzech pulzarů – 23 exoplanet (25. 1. 2016)



Radiální rychlosti

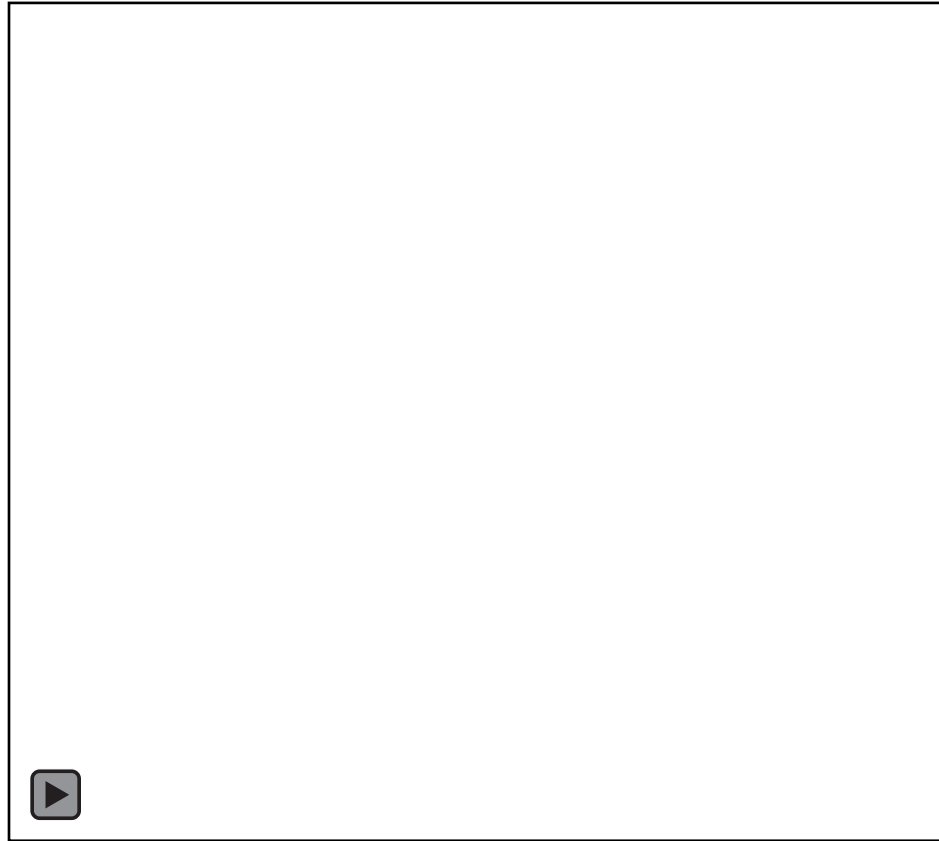
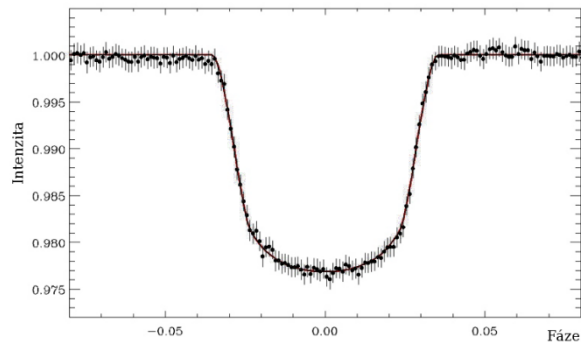
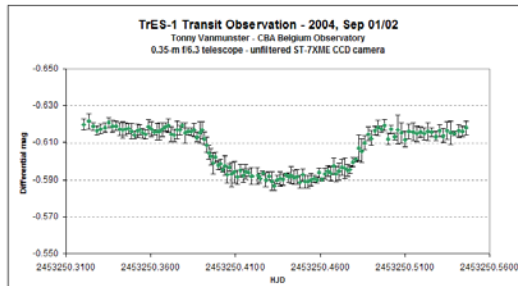
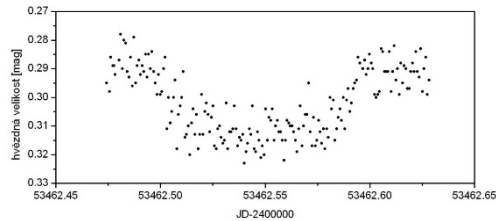
- založeno na Dopplerově principu – využívá se posunu čar ve spektru mateřské hvězdy,
- od 80./90. let 20. století – několik týmů, běžně 15 m/s, zlepšeno až na přesnost cm/s! (Jupiter – 12,5 m/s, Země 0,1 m/s)
- dříve nejúspěšnější metoda (25. 1. 2016) – 632 planet, 472 planetárních soustav

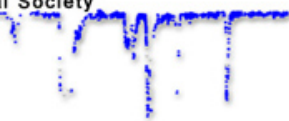
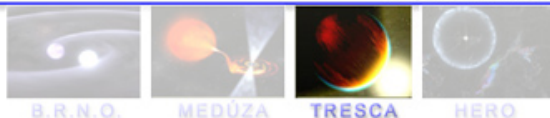


amatérský projekt, 40cm dalekohled

Transity

- pozorování přechodu exoplanety před mateřskou hvězdou;
- nyní nejúspěšnější metoda - 1281 exoplanet, 726 soustav (25. 1. 2016)
- program se zapojením amatérů a menších dalekohledů
- pozemní projekty HAT, TrES, WASP, XO
- družice KEPLER, COROT





ETD ... complete ... worldwide ... continuously growing ...

Exoplanet Transit Database

<http://var.astro.cz/ETD>

Known transitters:

- 55 Cnc e
- CoRoT-1 b
- CoRoT-10 b
- CoRoT-11 b
- CoRoT-12 b
- CoRoT-13 b
- CoRoT-17 b
- CoRoT-18 b
- CoRoT-19 b
- CoRoT-2 b
- CoRoT-20 b
- CoRoT-3 b
- CoRoT-4 b
- CoRoT-5 b
- CoRoT-6 b
- CoRoT-7 b
- CoRoT-8 b
- CoRoT-9 b
- GJ1214 b
- GJ3470 b
- GJ436 b
- HAT-P-1 b
- HAT-P-10/WASP-11 b
- HAT-P-11 b
- HAT-P-12 b
- HAT-P-13 b
- HAT-P-14 b
- HAT-P-15 b
- HAT-P-16 b
- HAT-P-17 b
- HAT-P-18 b
- HAT-P-19 b
- HAT-P-2 b

ETD - Exoplanet Transit Database

[Observers community](#) | [How to contribute to ETD](#) | [Model-fit your data](#) | [Transit predictions](#) | [KEPLER Transit predictions](#) | [KEPLER Candidates](#) | [CoRoT Transit predictions](#) | [CoRoT Candidates](#)

ETD is here to supply quickly and easily the **list of all ever observed transits of transiting exoplanets** to observers and researchers.

Our database administrators are periodically checking for new transits - both in literature and in on-line internet sources. Each transit is stored with complete citations, link to the paper / on-line source URL.

For each exoplanet, there is available graphical output of relations:

- transit **TIMINGS** vs. EPOCH
- transit **DURATION** vs. EPOCH
- transit **DEPTH** vs. EPOCH and
- **list of available transits.**

Data quality is rated for each observation and the DQ index is taken into account while plotting graphs.

Tools for observers :

- Observers can plot their own observations in diagrams.
- Model-fitting of transit observation and finding out parameters HJDmid, Depth, Duration.
- Global transit predictions.

	OBJECT	CONST	# OF DATA	TIME SPAN FROM - TILL		LAST CHANGES (DAYS) <i>Red if less than 1 week ago</i>
1	55 Cnc e	Cnc	1	2011-02	2011-02	04. May 2011 (586)
2	CoRoT-1 b	Mon	60	2007-02	2012-03	05. Mar 2012 (280)
3	CoRoT-10 b	Aql	1	2007-06	2007-06	16. Jun 2010 (908)
4	CoRoT-11 b	Ser	4	2008-05	2012-06	28. Jun 2012 (165)
5	CoRoT-12 b	Mon	2	2007-10	2012-01	26. Jan 2012 (319)
6	CoRoT-13 b	Mon	1	2008-11	2008-11	16. Jun 2010 (908)
7	CoRoT-17 b	Sct	1	2009-04	2009-04	29. Jun 2011 (531)

What's new: [Archive](#)

2012-11-16 : nová tranzitující exoplaneta nedávno publikovaná byla přidána do ETD: WASP-71b

2012-11-12 : 5 tranzitujících exoplanet nedávno publikovaných bylo přidáno do ETD: WASP-52b, WASP-58b, WASP-59b, WASP-60b a KELT-3b

Přihlásit se

Chcete-li používat pluginy pro sociální síť, musíte se přihlásit

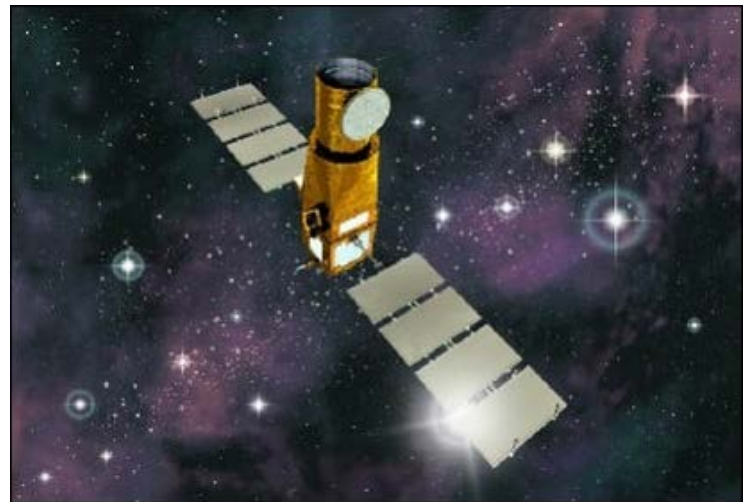
k Facebooku.



ETD - Exoplanet Transit Database

[To se mi líbí](#)

Družicový výzkum



Rich exoplanet harvest for CoRoT

The seven present discoveries

In blue, the preceding ones



2006-2013 - COROT (Convection, Rotation and planetary Transits) na oběžné dráze družice,

2009-2014 - družice Kepler – 4696 kandidátů

Obě prováděly nezávisle přesnou fotometrii vybraných hvězd a hledaly exoplanety pomocí jejich tranzitů přes disk mateřské hvězdy. Očekávalo se, že u 100 000 pozorovaných hvězd bude nalezeno 500 až 1 000 „exozemí“.

Další projekty: New Worlds Mission, Darwin, Space Interferometry Mission, Terrestrial Planet Finder, PEGASE, PLATO

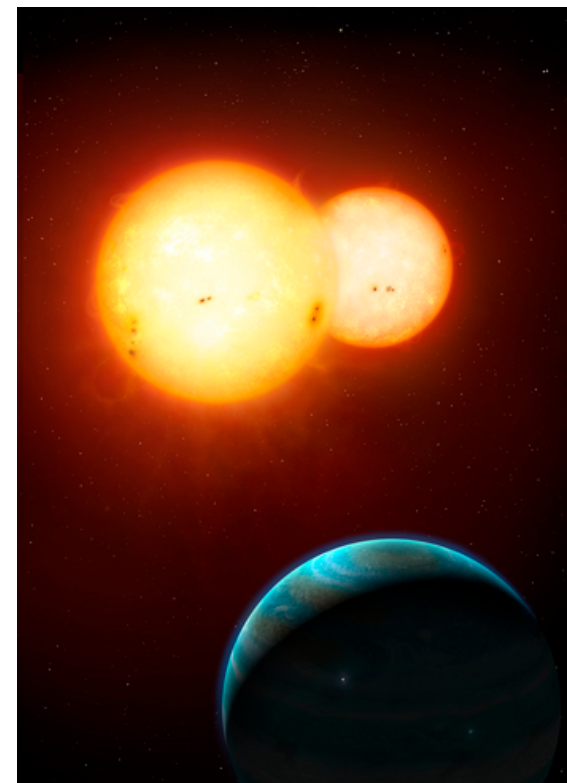
Výsledky družice KEPLER

2011 objev kolem hvězdy KOI-730 dvě planety v jedné trajektorii!

2011 – první planety velikosti Země

2011/2012 nová třída exoplanet jako Tatooine obíhají kolem dvojhvězdy – 19 případů

listopad 2013 – 40 mld. exozemí kolem sluncí v zónách života v Galaxii!





Rozmanité exoplanety

„**horcí jupiteři**“ - exoplaneta u hvězdy 51 Pegasi – velmi malá vzdálenost od hvězdy -> povrch (nejspíš plynná atmosféra) až 1000 °C;
exoplaneta nebo hnědý trpaslík?
horní mez hmotnosti - $13 M_{\text{Jup}}$, resp. $20 M_{\text{Jup}}$ (pokud má hvězda ještě jiného planetárního průvodce)
problém: zatím není plně v souladu s teorií vzniku planet

excentriční exojupiteři - tělesa s velice protáhlou dráhou, připomíná trajektorie krátkoperiodických komet;
problém: tak velké excentricity se nečekaly; není jasné, jak je objasnit.

exozemě – nejmenší dosud objevené exoplanety

- v sousedství pulsaru PSR1257+12
- u Gliese 581 – kamenná, asi $1,5 R_{\text{Z}}$, COROT-7b – cca $2 R_{\text{Z}}$, KOI 500 – $1,3 R_{\text{Z}}$
- Kepler 20e, Kepler 42b,d.. – menší než Země!

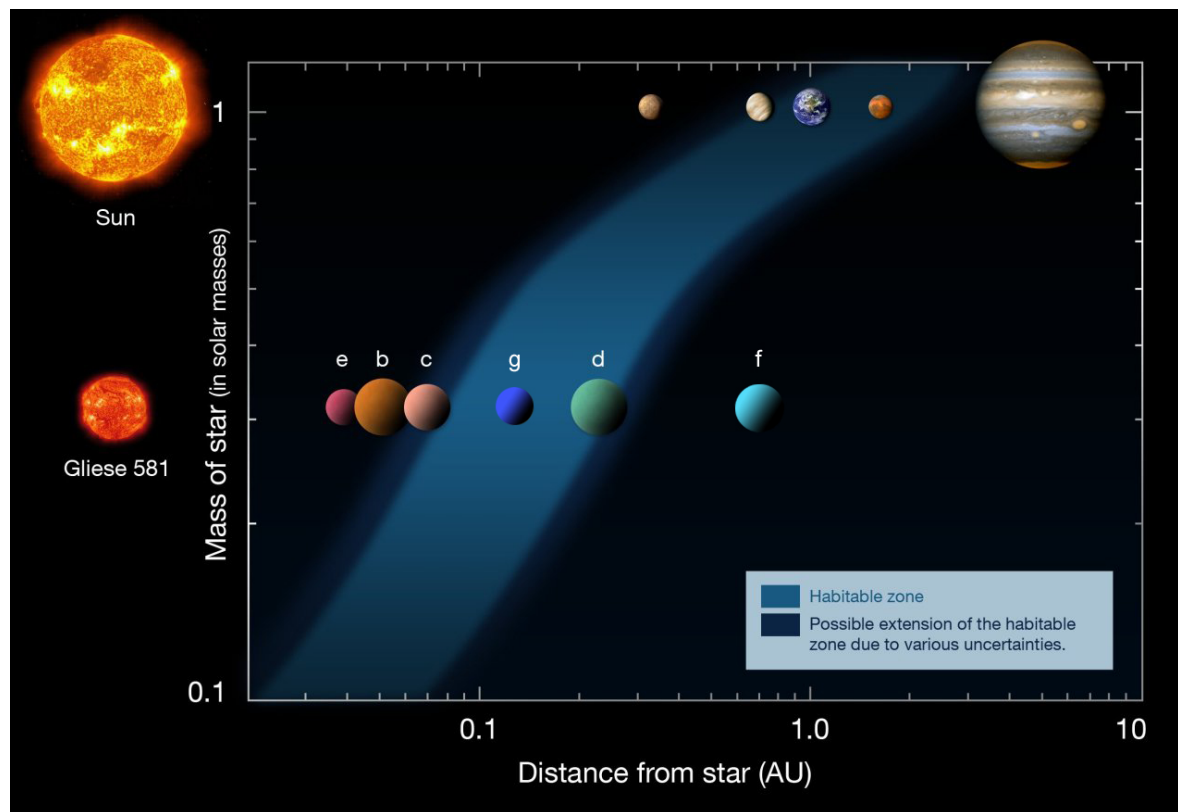
superzemě – planeta velikosti Země, maximálně do desetinásobku průměru

megazemě – planeta velikosti Země ($2.3 R_{\text{Z}}$), ale hmotnost $17 M_{\text{Z}}$ – Kepler 10c
problém: předpokládalo se, že všechny planety, které jsou desetkrát hmotnější než Země, patří mezi plynné obry jako je Jupiter a Saturn

bludné planety – 3 potvrzené, 5 kandidátů (25.1.2016) – nejbližší 7 ly
(*rogue planet, interstellar planet, nomad planet, free-floating planet, orphan planet*)

Planety v zónách života

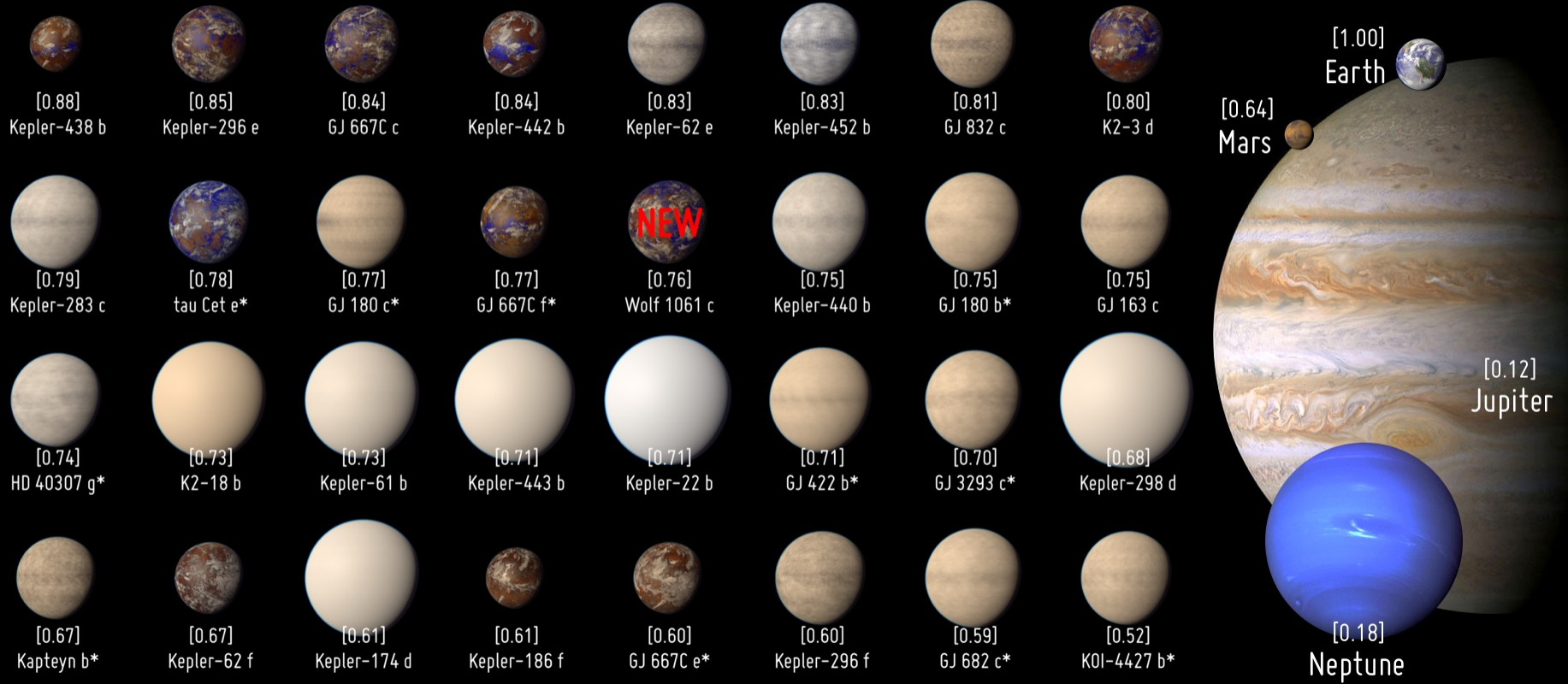
obyvatelná zóna – planeta dostává optimální množství energie od mateřské hvězdy, umožňuje existenci vody na povrchu



Ieden 2016 – 32 exoplanet v zónách života - *problém: jsou tam?*

Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by the Earth Similarity Index (ESI)



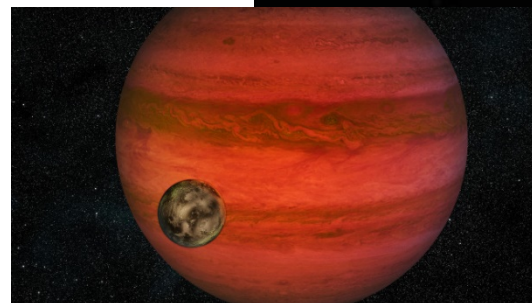
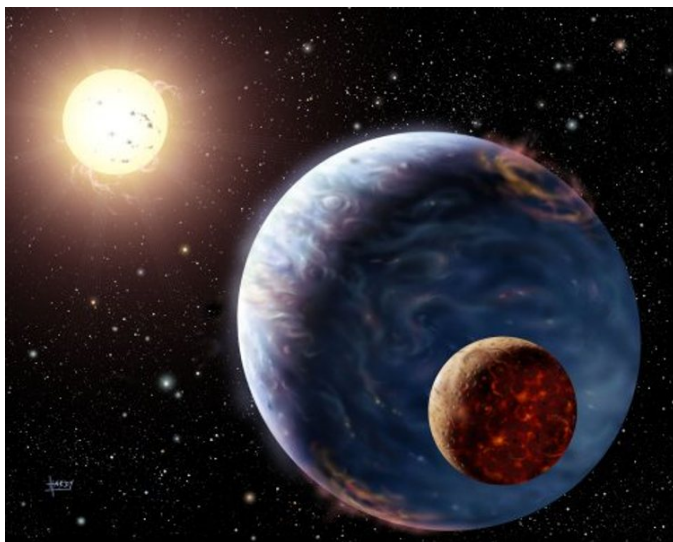
Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. ESI value is between brackets. Planet candidates indicated with asterisks.

CREDIT: PHL @ UPR Arcibo (phl.upr.edu) January 8, 2016

My máme Měsíc ...



hledání exoměsíců exoplanet – zatím (leden 2016) 5 kandidátů, několik desítek podezření



Počasí na jiných planetách

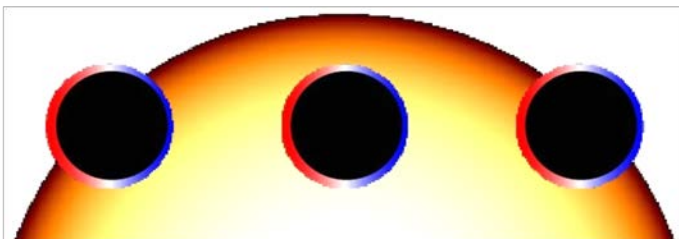
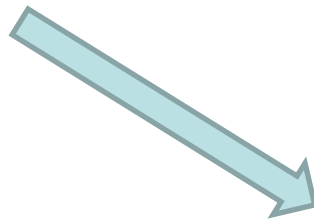
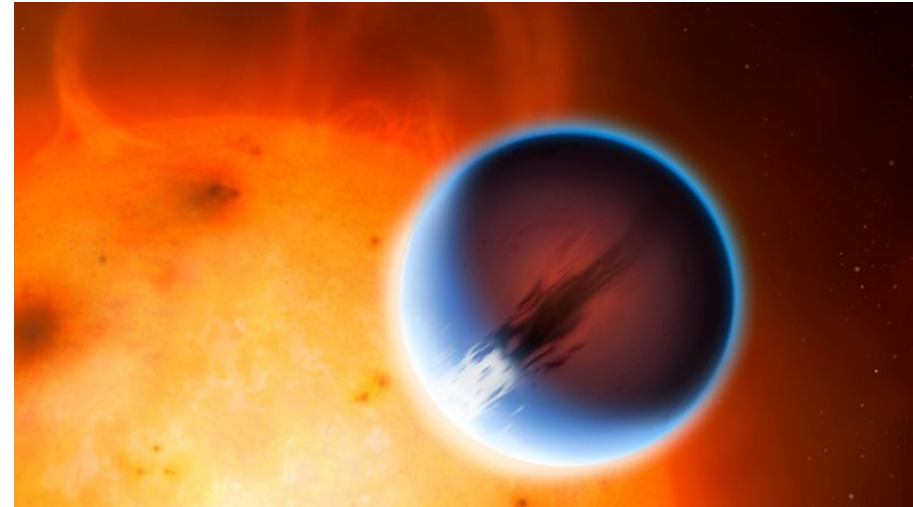
Sluneční soustava – zejména Mars, Venuše ale i ostatní – prozkoumáno pomocí sond, známe složení atmosféry, proudění ...

Lze zjistit atmosféru u exoplanety a její složení? **ANO!**

2007 – družice Spitzer – 1. detekce vody na exoplanetě

2015 - HD 189733b = horký Jupiter

- 1.13 M_J ,
- $P = 2.2$ d,
- teplota povrchu 1 200° C
- 63 ly od Země => jedna z nejbližších exoplanet



výsledky výzkumu:

- složení atmosféry (částice křemíku, CO_2),
- 1. teplotní mapa povrchu exoplanety,
- větry na rovníku 8 700 km/h!

Exoplanety v obyvatelných zónách a civilizace

Drakeova rovnice (1961) – pravděpodobnost výskytu civilizací podobných naší (v Galaxii)

obecně: pravděpodobnosti jevů, které nastávají v přírodě - číselně 0 (nikdy) -1 (vždy)
- výsledná pravděpodobnost = součin pravděpodobností jednotlivých nezávislých okolností

$$N = R_* f_p n_e f_l f_i f_c L$$

N – předpokládaný výsledek, počet vyspělých inteligentních civilizací schopných mezihvězdné komunikace

R_* – označení přírůstku počtu hvězd v Galaxii za určité období (6 – 40; 10 za rok)

f_p – podíl hvězd, které mají planetární systémy (0,1 – 0,5; 0,5)

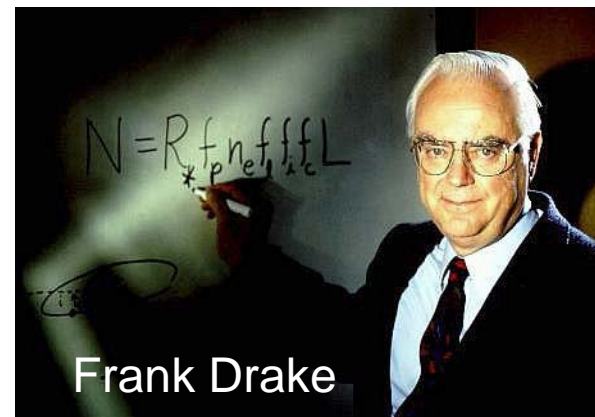
n_e – průměrná hodnota počtu planet v planetárním systému, na kterých panují vhodné podmínky pro život (0,5 – 2,5; 2)

f_l – podíl planet, na kterých se život skutečně vyvine (0,01 – 1; 1)

f_i – poměr z předchozího, kde se dospělo až k inteligentní formě života (10^{-7} – 1; 0,01)

f_c – podíl inteligentních forem života, které dosáhly schopnosti aktivní mezihvězdné komunikace (0,01 – 0,1; 0,01)

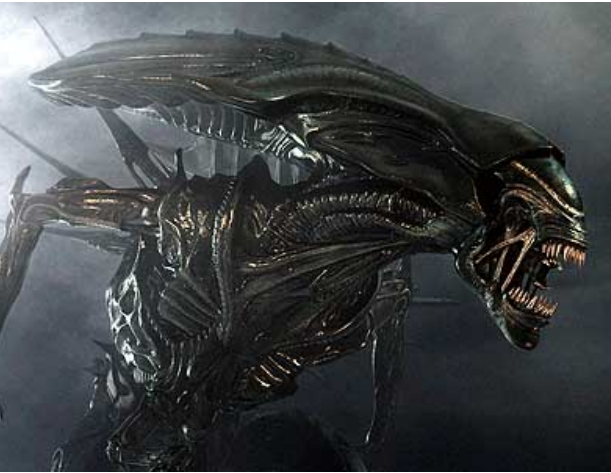
L – odhad délky existence inteligentní životní formy schopné mezihvězdné komunikace (100 – 10^9 ; 10000 let)



2013 KEPLER - 40 miliard exozemí kolem sluncí v zónách života v Galaxii



poprvé skutečný odhad počtu možných civilizací



o tom
zase
někdy
příště

Mimozemských civilizací
by mělo být hodně **tak kde jsou?**



**Děkuji za
pozornost!**



Další informace najdete například na:

<http://exoplanets.eu/>

<http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog>

<http://kepler.nasa.gov/>

https://corot.cnes.fr/en/COROT/GP_actualite.htm

<http://www.exoplanety.cz/>

<http://www.astro.cz/clanky/exoplanety.html>

