



# Jak měřit a vážit nové Země?

Modernizovaný dalekohled na observatoři La Silla bude již brzy pátrat po kandidátech na druhou Zemi, a tudíž i výskyt života. Možné přínosy zmíněného projektu PLATOSpec, ale také nové milníky v hledání exoplanet nám přiblížil jeho vedoucí Petr Kabáth z Astronomického ústavu Akademie věd Ptala se Jana Žďárská

**J**ako exoplanety označují astronomové planety obíhající kolem jiných hvězd než Slunce. Na jejich vyhledávání se podílí řada pozemních i vesmírných dalekohledů a první takové těleso se podařilo objevit v roce 1995. Vědci předpokládají, že se v kosmu vyskytuje mnoho hvězdných systémů hostících exoplanety. „Pokud by v očekávaném množství nebyly nalezeny, museli bychom zřejmě náš pohled na vesmír revidovat,“ podotýká Petr Kabáth.

## Život jinde ve vesmíru

Při pohledu z vesmíru se Země jeví jako malá modrá tečka, kterou od nepřátelského okolního prostředí odděluje tenoučká, ale životně důležitá slupka v podobě atmosféry. A v ní bují život. Lidé se přitom již od nepaměti ptají, jestli někde existuje další taková planeta?

Od chvíle, kdy člověk zvedl oči k obloze a spatřil hvězdy, se začal takto ptát. O planety nejen ve Sluneční soustavě se zajímali už řečtí badatelé. Když pozorovali nebe, všimli si, že některé objekty zdánlivě stojí na místě a jiné se pohybují. Prvním tedy začali říkat stálice a ony pohybující se tuláky pak nazvali planetami, i když netušili, co zmíněné objekty ve skutečnosti představují.

**Také astronomové se trpělivě snaží zjistit, zda je naše Země výjimečná. A ptají se, jestli je i život tak ojedinělý, nebo se ve vesmíru vyskytuje běžně. Proč nás uvedené téma tolik přitahuje?**

To proto, abychom se dozvěděli, zda jsme ve vesmíru sami, nebo existují nějaké jiné planety, kde by se mohl život nacházet. Chceme se dozvědět, kolik takových exoplanet je a jaké mají statistické rozložení. Jestli jich

existuje málo, nebo moc a jestli je hodně těch malých, či naopak velkých. A zda vznikají v podobném disku jako ve Sluneční soustavě, nebo je všechno úplně jinak. A samozřejmě chceme vědět, jestli existuje planeta podobná Zemi, tedy s oběžnou dobou okolo 365 dní kolem hvězdy podobné Slunci a s povrchovou teplotou umožňující udržení kapalně vody. Asi nejdůležitější otázka pak zní, zda je ve vesmíru život podobný tomu, jaký známe – čili na bázi uhlíku.

**Mohl by život vypadat i docela jinak, třeba tak, jak si ho představoval astronom Carl Sagan?**

Pokud by se na popsáných exoplanetách mohl život vyskytovat, pak předpokládáme, že by se podobal tomu našemu. Že by závisel především na vodě, což znamená, že by daná planeta musela kroužit v takzvané obyvatelné

# Kdo je...

## Petr Kabáth (\*1980)

Vystudoval fyziku na Freie Universität Berlin a pokračoval doktorským studiem v astrofyzikálním oboru výzkumu exoplanet na Technische Universität Berlin a Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum. Poté nastoupil jako postdoktorand a později coby astronom do **Evropské jižní observatoře** v Chile, kde strávil pět a půl roku podporou přístrojů na **observatoři Cerro Paranal**. V roce 2015 se vrátil do Česka jako **Purkyně Fellow** na Astronomický ústav Akademie věd do Ondřejova, kde založil **Skupinu výzkumu exoplanet**. Nyní je vedoucím projektu nového spektrografu **PLATOSpec** a české účasti ve vesmírné misi **PLATO**.



zóně u své mateřské hvězdy – neboli přesně v takové vzdálenosti, která umožňuje udržení kapalné vody. Pokud bychom si to měli přiblížit, tak třeba Venuše ani Mars se v uvedené zóně nepohybují: Zmíněnou výsadu má ve Sluneční soustavě pouze Země.

**Život by však mohl fungovat i na jině bázi, než je voda. Sagan uvažoval například o jeho možném výskytu v plynné atmosféře Jupitera...**

V roce 1975 Carl Sagan v časopise *Astrophysical Journal* skutečně publikoval článek, v němž popisoval, jak by mohl život na Jupiteru vypadat. On totiž vše důkladně propočítal a navrhnul i mechanismus, jak by mohl takový život v tamní atmosféře na bázi vodíku a helia fungovat. Podle jeho predikcí by se v ní vznášeli „plavci“ a kolem by se pohybovali „lovci“, kteří by je lovili. Proto je třeba počítat s tím, že se případně jiné živé formy mohou od těch pozemských i zásadně odlišovat.

## Kolik je obydlených světů?

**Působíte na Astronomickém ústavu v Ondřejově. V jeho areálu se mimo jiné nachází socha záby, která se prostřednictvím Nerudových Písní kosmických s hlavou zvednutou k nebi ptá, „jsou-li tam záby taky“.** Jsou?

Jelikož máme v současné době potvrzeno již přes pět tisíc exoplanet, mohl by tam být. Musíme však uvážit, že dobře prozkoumaných je jich pouze několik stovek. A navíc nám chybějí především ty malé – tedy velikostí podobné Zemi – u nichž víme, že mají atmosféru a tak dále. A právě tam bychom mohli život očekávat.

**Americký astronom Frank Drake zformuloval v šedesátých letech rovnici, podle níž by se dal určit počet planet s vyspělou civilizací. K jakému číslu dospěl?**

Frank Drake se o život ve vesmíru velmi zajímal. Se svou slavnou rovnicí přišel v roce 1961, coby teprve budoucí předseda správní rady institutu SETI neboli známého

**Dobře prozkoumaných je jen několik stovek planet. Navíc nám chybějí hlavně ty malé, velikostí podobné Zemi**

projektu zaměřeného na hledání mimozemských civilizací. Zmíněná rovnice obsahuje několik členů, a tudíž i veličin, které do ní ovšem v současné době nedokážeme dosadit, jelikož je neznáme. Proto se astronomové ve svých výsledcích poměrně značně rozcházejí. Sám Drake dospěl k deseti tisícům možných vyspělých civilizací, ale například právě Sagan byl se svým optimistickým názorem úplně někde jinde a odhadoval jejich počet na deset milionů.

**V současné době pátrá po exoplanetách několik misí. Očekávají vědci jiné výsledky?**

Tak kupříkladu mise PLATO bude hledat především dvojče Země čili exoplanetu, která obíhá okolo hvězdy podobné Slunci tak jako

ta naše zhruba za 365 dní. Předpokládáme, že by měla zmíněná mise objevit několik desítek podobných těles. V opačném případě se budeme muset ptát, zda jsme jako lidé skutečně tak jedineční a proč. A budeme muset přehodnotit náš fyzikální pohled na vesmír, jak ho známe.

## V obyvatelné zóně

**Jak vznikl pojem „exoplaneta“ a jak se jednotlivé exoplanety označují?**

Exoplaneta je planeta, která tak jako Země krouží kolem mateřské hvězdy, a pokud by se pohybovala v obyvatelné zóně, mohl by se na ní vyskytovat i život. Podle pravidel Mezinárodní astronomické unie se exoplanety obíhající jednu hvězdu obvykle označují jménem, nebo častěji označením hvězdy a přidáním malého písmene. První planeta objevená v daném systému nese v názvu písmeno b, přičemž mateřská hvězda má označení A, a dalším objeveným planetám se poté přiděluje vždy následující písmeno v abecedě.

**Vědí astronomové, u kterých hvězd mohou exoplanety hledat?**

Pokud se mateřská hvězda podobá Slunci, lze předpokládat, že by alespoň na některé z exo-

planet v jejím potenciálním systému mohly panovat příznivé podmínky pro život. Pokud by se však v centru planetárního systému nacházel pulzar, můžeme si být takřka jisti, že by jeho vyzařování výskyt živých forem na tamních exoplanetách znemožnilo.

**Jak náročnou disciplínu hledání exoplanet představuje?**

Exoplanety pozorujeme především prostřednictvím jejich radiálních rychlostí a také zákrytovou metodou. V případě zákrytu je velmi těžké odhalit malou planetu u velké hvězdy. Mnohem snazší je objevit velké těleso u malé hvězdy díky hlubšímu zákrytu, který můžeme v její světelné křivce pozorovat. A možná i v tom tkví důvod, proč jsme ještě nenarazili na svět podobný Zemi.



## » fakta

## POČASÍ NA CIZÍCH SVĚTECH

Co všechno můžeme při vyhledávání exoplanet sledovat? Například pomocí zákrytové metody u nich dokážeme pozorovat fáze, podobně jako u Venuše. A dokonce bychom mohli zachytit, pokud by se na nich tvořily mraky. S trochou nadsázky se tudíž dá říct, že bychom eventuálně zvládli na cizích světech předpovídat počasí.

## První objev

**První potvrzená exoplaneta, 51 Pegasi b, přinesla svým objevitelům v roce 2019 Nobelovu cenu za fyziku. O jaké těleso se jednalo?**

První exoplanetu objevil v roce 1995 tým švýcarských astronomů Michela Mayora a Didiera Quelozze pomocí ešletového spektrografu ELODIE, schopného měřit radiální rychlosti s velkou přesností. „Échelle“ znamená „schody“ a jde asi o jediné francouzské slovo, které znám. Exoplaneta 51 Pegasi b se svými rozměry a hmotností podobá Jupiteru, ale mateřskou hvězdu podobnou Slunci obkrouží zhruba jednou za tři dny. Nachází se k ní tedy mnohem blíže než Merkur ke Slunci.



## Od zákrytů po přechody

**Dá se pomocí již zmíněných radiálních rychlostí exoplanet zjistit i jejich hmotnost, a tudíž také případná podobnost se Zemí?**

Mayor s Quelozem pozorovali spektrální čáry hvězdy 51 Pegasi a zaměřovali se na jejich relativní pohyb vůči vybranému vztažnému snímku. Pokud by totiž hvězdu obíhala planeta, leželo by těžiště soustavy

**Představa planety podobné Zemi, na níž by mohly existovat určité formy života**

s předchozí fotometrickou metodou zákrytů se dá hmotnost určit přesně.

**Jaké další metody detekce exoplanet existují a jaké parametry zmíněných těles dokážou potvrdit?**

Další metodu představuje také již zmíněná detekce pomocí zákrytu disku hvězdy planetou. Zákryty se pozorují ve fotometrických datech, tedy při pozorování běžnou CCD kamerou umístěnou na dalekohledu, který monitoruje velký počet hvězd a hlídá, jak se v čase mění jejich jasnost. Pokud planeta prochází před hvězdou, zakryje část jejího disku a způsobí pokles její jasnosti. Ten je možné zaznamenat, přičemž je úměrný podílu ploch planety a hvězdy. Plynný obr jako 51 Pegasi b by způsobil pokles jasnosti kolem několika procent.

První exoplaneta pozorovaná uvedenou metodou, HD209458b, také obíhá svoji hvězdu velice blízko s periodou v řádu několika dnů. Kombinací zákrytu a spektroskopie lze potom získat přesný poloměr a hmotnost hvězdy. Obě zkombinované metody nám tudíž umožní doslova změřit a zvážit a poté přesně určit například hustotu planety a odvodit její složení. Metodu zákrytu využívají vesmírné mise jako CoRoT, Kepler, nyní TESS a v budoucnu PLATO, které pozorují nebo pozorovaly miliony hvězd a hledaly u nich poklesy jasnosti způsobené přechodem planet před jejich diskem. Kepler přitom dokázal nalézt několik tisíc exoplanet.

## Můžeme si být takřka jistí, že vyzařování pulzaru by výskyt života na tamních exoplanetách znemožnilo

**Objev 51 Pegasi b umožnil stejný dalekohled, jako je náš Perkův dvoumetrový teleskop. Jde tedy o dobrý přístroj pro hledání exoplanet?**

Spousta objevů exoplanet se odehrála na observatořích ESO, ale o případ zmíněné první exoplanety nešlo. Tu se podařilo objevit na observatoři v Provence, a to dalekohledem s podobně velkým zrcadlem, jako má právě náš Perk. Jeho modernizace v roce 2020 bezprecedentně zvýšila světelný zisk pro oba spektrografy, což zajišťuje vstup většího množství fotonů, a proto lze nyní pozorovat méně jasné objekty: V testovacím provozu se ukázalo, že je možné opravdu sledovat například exoplanetární systémy až kolem dvanácté magnitudy.

mimo střed hmotnosti hvězdy. Obě by pak kroužily okolo společného těžiště, a tudíž by se i hvězda pohybovala vůči pozorovatelům nenulovou rychlostí. Právě uvedená rychlost se nazývá radiální, přičemž čím hmotnější planeta, tím rychlejší pohyb hvězdy kolem společného těžiště – a ten se pak promítne do posuvu spektrálních čar. Při srovnání spekter v různých bodech dráhy hvězdy vidíme, že se spektrální čáry pohybují zleva doprava a zpět. U hvězdy 51 Pegasi zaznamenali Mayor s Quelozem změny radiálních rychlostí zhruba od minus padesáti do plus padesáti metrů za sekundu. Drobná nevýhoda metody spočívá v tom, že musíme znát sklon oběžné dráhy planety, což ze samotné spektroskopie zjistit nelze. Nicméně její kombinací



**Družici TESS alias Transiting Exoplanet Survey Satellite vypustila NASA v roce 2018. Letos v dubnu se sice zařízení potýkalo s problémy, ale podařilo se je vyřešit**

### Dalekohledy současné i budoucí

**Zmínil jste teleskop TESS zaměřený na tranzity exoplanet. Jaké nové poznatky daná mise přinesla?**

Předchozí průzkumy pomocí pozemních dalekohledů objevily především obří exoplanety. TESS dosud našel několik stovek planet různých velikostí, od plynných obrů po malá kamenná tělesa.

**Které vesmírné mise či pozemní teleskopy se na vyhledávání exoplanet zaměřují nejvíc?**

Mimo teleskopy Kepler a TESS jde především o budoucí misi PLATO, která by měla hledat sluneční soustavy podobné té naší – a naše výzkumná skupina se do

uvedeného projektu významně zapojila. V budoucnu po startu mise PLATO, která bude monitorovat zhruba milion jasných hvězd, očekáváme velké množství systémů s kandidáty na planety. Ty pak bude nutné dále sledovat ze Země a potvrdit či vyvrátit, že se opravdu jedná o exoplanety. Popsaných adeptů budou tisíce a vyžádají si tisíce hodin pozorovacího času. Planety bude možné sledovat i pomocí dalekohledů, jako je náš

instalace moderního ešeletového spektrografu na dalekohled se zrcadlem o průměru 1,52 metru, který se nachází na observatoři La Silla v Chile. PLATOSpec bude od letošního října pomocí měření radiálních rychlostí spektroskopickou metodou odhalovat nové planety z jižní polokoule. Hlavní úkol spočívá v charakterizování plynných, ale rovněž menších exoplanet a v měření jejich poloměrů i hmotností v kombinaci s daty z vesmírných misí TESS a později PLATO. Umožní nám to pochopit vývoj a stavbu plynných obrů, ale také vybrat slibné kandidáty na druhou Zemi, na něž se dále zaměří větší dalekohledy jako observatoř ESO Paranal v Chile.

**Hvězdná spektra se prostřednictvím popsáno modernizovaného dalekohledu pořizují automaticky. Ovládá se tedy z Evropy na dálku?**

## S trochou nadsázky se dá říct, že bychom na exoplanetách dokonce dokázali předpovídat počasí

dvoumetrový Perak nebo rovněž dvoumetrový teleskop Alfreda Jenschke na observatoři v německém Tautenburgu. Po roce 2029 by pak měla startovat mise ARIEL a zaměřit se přímo na pátrání po exoplanetárních atmosférách.

**Mezi zajímavé projekty pro studium exoplanet patří i PLATOSpec. Jaké má základní cíle?**

Projekt PLATOSpec slouží k hledání a charakterizaci exoplanet, ale také ke spektroskopickým pozorováním hvězdných pulzací nebo horkých hvězd i dalším astrofyzikálními tématům. A jeho vedoucím pracovištěm se stal Astronomický ústav české Akademie věd. Zásadní cíl představovala

Přesně tak. Dalekohled se nyní ovládá na dálku a je vybavený prozatímním spektrografem, který bude sloužit do nástupu PLATOSpecu letos v říjnu. PLATOSpec tedy tvoří jedinečný projekt, poskytující českým astronomům obrovské množství pozorovacího času pod tmavou chilskou oblohou. Výsledky budou přínosné pro obor exoplanet, ale také pro spoustu dalších astrofyzikálních oborů, které se stanou nosnými tématy pro misi PLATO v režii Evropské kosmické agentury. Je skvělé, že i menší dalekohledy mohou dělat velkou vědu.

**Do projektu PLATOSpec se zapojí rovněž Perkův teleskop. Jaké informace nám může zprostředkovat?**

Perkův i Jenschův dalekohled se na „lovu exoplanet“ podílejí pomocí spektrografů, které mohou měřit radiální rychlosti s přesností až na několik metrů za sekundu. Oba

**Spektrograf se používá pro detekci změn radiálních rychlostí exoplanet**





## rozhovor exoplanety

tedy dokážou objevovat planety podobné Jupiteru nebo o něco menší, ale přispívají také k jejich charakterizaci. Perkův dalekohled bude doplňovat pozorování ze severní polokoule, kam PLATOSpec nevidí.

### Česko v akci

**Dalo by se nějak specifikovat, co může projekt PLATOSpec spolu s objevy exoplanet přinést běžným lidem?**

Především se jedná o mezinárodní projekt, ve kterém má Česká republika velmi dobré jméno. A na to může být skutečně hrdý každý z nás. Dále zmíněný projekt zaručuje důležitou spolupráci s průmyslem, a tudíž i součinnost při vývoji různých přístrojů

a technologií, jako jsou infračervené detektory, ešeletová mřížka, broušení zrcadel a jejich pokovování. V souvislosti s tím bych rád zmínil i CCD kamery a jejich praktické uplatnění v technologiích mobilních telefonů – což si mnoho uživatelů třeba ani neuvědomuje. Jde také o zásadní příležitost pro mladé astronomy, kteří se tak dostanou k opravdu dobrému přístroji a budou moct získat skvělé zkušenosti. Dá se říct, že budeme mít vynikající přístroj a k dispozici zhruba tři sta dvacet pozorovacích nocí. Důležitou roli hraje i fakt, že projekt vedeme.

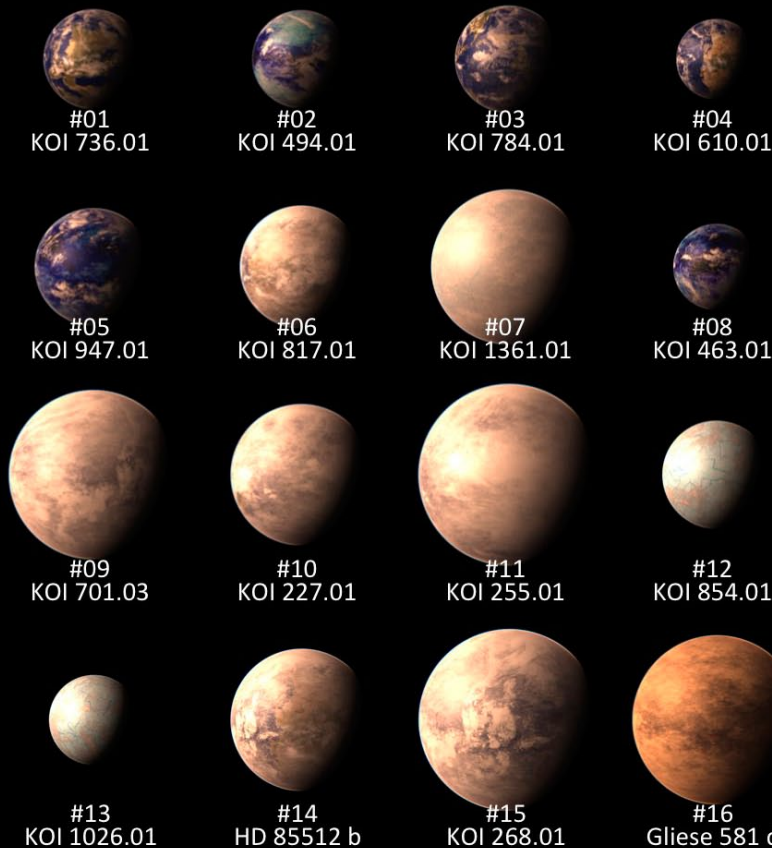
**A mohl by nám pomoci rovněž s odpovědí na otázku, zda jsme v kosmu sami?**

Vědecký výzkum nám jistě pomůže s dalším pochopením náležitostí vesmíru. Pokud zjistíme, jak fungují vzdálené planetární systémy, může nás to zpětně přivést ke zjištění, proč Sluneční soustava vypadá právě takto a co to může ve vesmírných měřítkách znamenat – tedy potažmo i k tomu, jak je to s inteligentním životem v kosmu obecně. Možná si někdo řekne, jak ho ovlivní fakt, že se miliardy kilometrů daleko vyskytuje planeta podobná Zemi. Ale dovlím si tvrdit, že mě to obohátí a mohu si vážit sám sebe, že se o takové věci zajímám, a mohu o nich i někomu dalšímu říct. Že se zajímám o něco, co v mém přesvědčení dává hluboký smysl a co svým způsobem obohacuje celé lidstvo. ✨

## Mise PLATO se zaměří zhruba na milion jasných hvězd. Očekává se od ní tedy množství systémů s kandidáty na planety

*Mgr. Jana Žďárská pracuje ve Fyzikálním ústavu AV ČR, v rámci popularizace vědy publikuje v Československém časopise pro fyziku a dalších periodikách. Je držitelkou ceny Littera Astronomica a členkou České astronomické společnosti (ČAS), Kosmologické sekce ČAS (dříve místopředsedkyní), Astronautické sekce ČAS, porotkyní Československé astrofotografie měsíce (ČAM) a členkou Jednoty českých matematiků a fyziků*

## Potenciálně obyvatelné exoplanety



Scientists are starting to identify potential habitable exoplanets in over 2,000 exoplanets that have been detected so far. Here is the current working list of 16 potential habitable exoplanets candidates ranked by similarity to Earth, from best to worst. All are to scale and can be compared to Earth, Venus, Mars, and Mercury below.

### Solar System Terrestrial Planets

