

# Fjarreikistjörnur

Birgir Urbancic Ásgeirsson og Sævar Helgi Bragason

Raunvísindadeild Háskóla Íslands

Vefútgáfa: 29. desember 2010

**Ágrip** – Fjarreikistjörnur eru reikistjörnur utan okkar sólkerfis. Uppgötvun þeirra er eitt stærsta skref sem stigið hefur verið í stjörnufræði undanfarna tvo áratugi. Eiginleikar fjarreikistjarna gefa mikilvægar vísbendingar um þróun og myndun sólkerfa. Leit að fjarreikistjörnum er einnig samofin leit að lífi utan jarðar. Hér verður greint frá helstu leitaradferðum, stiklað á stóru um eiginleika þekktra fjarreikistjarna og greint frá nokkrum áhugaverðum sólkerfum. Að lokum verður fjallað um geimsjónauka sem notaðir eru við rannsóknir á fjarreikistjörnum.

## 1. Inngangur

Fjarreikistjarna er reikistjarna utan okkar sólkerfis. Í vetrarbraut okkar eru hundruð milljarðar sólstjarna og yfirgnæfandi líkur á að umhverfis fjölda þeirra sveimi reikistjörnur.

Menn hafa lengi velt því fyrir sér hvort reikistjörnur sé að finna utan okkar sólkerfis. Eftir að stjörnusjónaukinn kom til sögunnar hófu stjörnufræðingar leit að fjarreikistjörnum, en Hollendingurinn Christiaan Huygens framkvæmdi fyrstur slíkar mælingar á 17. öld [8]. Hann áttaði sig fljótt á að vonlaust væri að finna þær með tækjum sem hann notaði. Á 18. öld reyndi William Herschel hið sama. Hann taldi sig hafa greint óséðan fylgihnött sem hefði áhrif á staðsetningu stjörnnar 70 Ophiuchi í Naðurvalda en sú uppgötvun fékkst ekki staðfest [16]. Á 19. og 20. öld töldu fjölmargir stjörnufræðingar sig hafa fundið fjarreikistjörnur en þær fullyrðingar voru allar dregnar í efa. Það var ekki fyrr en í lok 20. aldar að leit-in bar loks árangur. Árið 1995 tilkynntu svissneskir stjörnufræðingar um uppgötvun gasrisa við stjörnu 51 Pegasi sem er svipuð eðlis og sólin okkar [13].<sup>1</sup>

Leit að fjarreikistjörnum hefur einkum beinst að stjörnum með svipaðan massa og ljósafl og sólin okkar. Þessar stjörnur eru taldar líklegastar til að búa yfir lífvænlegum reikistjörnum. Æviskeið massamikilla stjarna er of stutt til að líf geti þróast á reikistjörnum á braut um þær. Ef sólstjarna hefur  $M \geq 60 M_{\odot}$  (þar sem  $M_{\odot}$  er massi okkar sólar) endist stjarnan ekki lengur

en 3 milljónir ára. Óvíst er hversu langan tíma tekur fyrir líf að þróast en til að líftími stjörnu nái 3 milljörðum ára má massi hennar ekki vera meiri en  $1,5 M_{\odot}$ . Leitin beinist einnig að málmríkum svæðum innan vetrarbrautarinnar þar sem tilvist bergreikistjarna er sennilegri, enda úr þungum frumefnum [11].

Hingað til (í lok árs 2010) hafa rúmlega 500 fjarreikistjörnur fundist. Flestar eru þær gasrisar sem líkjast Júpíter en hafa ber í huga að auðveldara er að finna massamiklar reikistjörnur. Tækninni fleygir fram og reglulega finnast massaminni fjarreikistjörnur, sumar með svipaðan massa og jörðin.

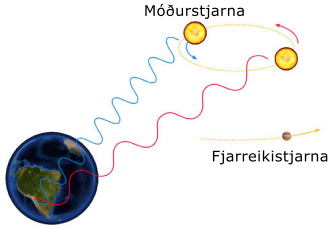
## 2. Leitaradferðir

Þar sem fjarreikistjörnur sjást hvorki með berum augum né með venjulegum sjónaukum getur reynst eitt að finna þær. Stjörnurnar eru órafjarri og birta reikistjarna svo dauf að hún hverfur í glýju frá móðurstjörnunni. Örfáar fjarreikistjörnur hafa verið ljósmyndaðar en tilvist langflestra hefur verið staðfest með óbeinum hætti en þá eru áhrif þeirra á birtu eða færslu móðurstjörnnar mæld. Hér verður fjallað um þær leitaradferðir sem aðallega hefur verið beitt.

### 2.1. Stjarnmælingar/Stjörnuvagg

Stjarnmælingar eru elsta aðferðin sem notuð er til að greina fjarreikistjörnur. Hún byggir á færslu sólstjörnnar vegna aðdráttarkrafts milli hennar og reikistjörnu. Þegar reikistjarna gengur um sólstjörnu snúast í raun báðir hnettir umhverfis sameiginlega massamiðju. Stjarnan er massameiri en reikistjarnan og massamiðjan því oftar en ekki innan radiuss stjörnnar. Mælingarnar krefjast nákvæmra mælitækja og

<sup>1</sup> Reyndar fundust reikistjörnur árið 1992 [19]. Þær eru umhverfis tífstjörnu PSR B1257+12 sem eru leifar sólstjörnu en um þær er fjallað í kafla 5.3 og um tífstjörnur í kafla 2.6.



**Mynd 1.** Hreyfingu fjarlægjar stjörnu vegna þyngdaráhrifa frá reikistjörnu er hægt að mæla með litrófsgreiningu. Þegar stjarnan nálgast okkur verður ljósið fyrir blávíki en þegar hún fjarlægist er um rauðvík að ræða. Með þessari aðferð hafa margar fjarreikistjörnur fundist. Búið er að ýkja innbyrðis fjarlægðir og stærðir hnattanna. Mynd: ESO.

athugana þar sem færsla stjörnnar á himni er lítil. Þessi aðferð er næmest fyrir massamiklum reikistjörnum þar sem þyngdaráhrifin, og þar með færsla móðurstjörnnar, eru þá vel merkjanleg. Aðferðin er einnig heppileg til að finna reikistjörnur með stóran brautarráðius þar sem massamiðjan er þá fjarlægari móðurstjörnunni. Slíkar athuganir geta þó tekið mörg ár þar sem umferðartíminn er langur.

Hægt er að meta massa reikistjörnnar með stjarnmælingum. Þar sem hnettirnir ganga um sameiginlega massamiðju þá er hlutfall massa þeirra jafnt öfugu hlutfalli fjarlægðar þeirra frá massamiðjunni

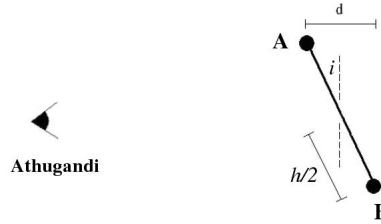
$$\frac{m_r}{m_s} = \frac{a_s}{a_r} \quad (1)$$

þar sem mælanlegar stærðir eru massi stjörnnar,  $m_s$ , og fjarlægð hennar frá massamiðjunni,  $a_s$ . Við viljum finna samsvarandi stærðir reikistjörnnar,  $m_r$  og  $a_r$ . Þriðja lögmál Keplers kemur því að góðum notum

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G(m_s + m_r)}{4\pi^2} \quad (2)$$

þar sem  $a = a_r + a_s$ ,  $P$  er umferðartími og  $G$  er þyngdarfasti. Þar sem umferðartíminn er mælanlegur er auðvelt að reikna  $m_r$  og  $a_r$  út frá jöfnum (1) og (2).

Mikilvægt er að hafa í huga að þar sem við sjáum ekki reikistjörnuna sjálfa er brautarhalli hennar óþekktur. Ef sýndarferli stjörnnar ber ekki heim og saman við þá sporöskjulaga braut sem hún ætti að hafa samkvæmt fyrsta lögmáli Keplers er hægt að meta brautarhalla með því að rannsaka frávikið. Þannig fæst raunmassi reikistjörnnar. Enn hefur engin reikistjarna fundist með stjarnmælingum en aðferðin hefur þó verið notuð til að reikna út massa þekkrar reikistjörnu. Menn binda þó miklar vonir við stjarnmælingar í framtíðinni.



**Mynd 2.** Dopplermælingar byggja á Dopplerhrifum. Stjarnan hreyfist, vegna áhrifa frá fjarreikistjörnu, frá A til B og svo aftur til A. Vegna brautarhalla er raunveruleg hliðrun stjörnnar,  $h$ , önnur en sýndarhliðrunin  $d$  sem mælist.

## 2.2. Dopplermælingar

Dopplermælingar styðjast við sömu grundvallaratriði og stjarnmælingar. Í hvoru tilvikinu fyrir sig eru greind þyngdaráhrif sem reikistjarna hefur á stjörnunni. En í stað hliðrunar er hraðabreyting stjörnnar metin með Doppler litrófsgreiningu. Stjarna sem nálgast athuganda gefur blávík á þekktar litrófslínur og tíðni rafsegulbylgjunnar hækkar. Fjarlægist hún er um rauðvík að ræða (mynd 1). Þegar Dopplermælingar eru notaðar þá er brautarhalli reikistjörnnar óþekktur. Mæld hliðrun,  $d$ , er háð raunverulegri hliðrun,  $h$ , með formúlunni  $h \sin(i) = d$  þar sem braut reikistjörnnar hallar um horn  $i$  miðað við plan himinsins (mynd 2). Fyrsta reikistjarnan sem fannst með þessari aðferð árið 1995 var 51 Pegasi b [13].<sup>2</sup>

Taka þarf tillit til afstöðu brautarflatar reikistjörnnar við sjónlínu athuganda. Ef  $i$  er skilgreint eins og áður er mældur sjónlínuhraði  $v' = v \sin i$ . Þar sem hraði hnattar er línulega tengdur fjarlægð  $a$  frá massamiðjunni samkvæmt

$$v = \frac{2\pi a}{P},$$

fæst frá jöfnu (1):

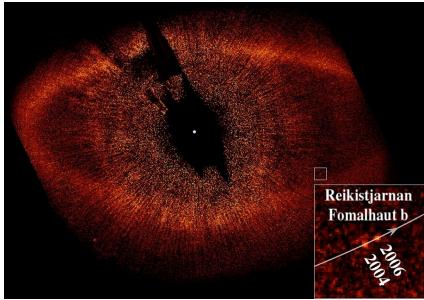
$$\frac{m_r}{m_s} = \frac{a_s}{a_r} = \frac{v_s}{v_r} = \frac{v'_s}{v'_r}. \quad (3)$$

Með svipuðum hætti og í stjarnmælingum er 3. lögmál Keplers notað, (jafna 2), með  $a = a_r + a_s = \frac{P}{2\pi} (v_r + v_s)$ . Þá fæst

$$m_r + m_s = \frac{P}{2\pi G} \frac{(v'_r + v'_s)^3}{\sin^3 i}. \quad (4)$$

<sup>2</sup> Fjarreikistjörnur eru nefndar með þeim hætti að reikistjarna fær lágstaf í enda nafns sólstjörnnar sem hún er á braut um. Fyrsta reikistjarnan sem finnst í sólkerfinu heitir b, næsta c o.s.frv. Bókstafnum a er vísvitandi sleppt til að forðast rugling við stjörnunna sjálfa. Ekki stendur til að taka upp almenn nöfn á fjarreikistjörnum eins og á reikistjörnum í okkar sólkerfi.





**Mynd 5.** Í rykhring umhverfis stjörnuna Fomalhaut fannst reikistjarna í um 115 stjarnfræðieininga fjarlægð. Færsla reikistjörnunnar yfir tveggja ára tímabil sést í innskoti niðri hægra megin. Massi hennar er um þrír Júpítersmassar. Stjarnan sjálf er hulin með kórónusjá. Myndin var tekin með Hubblessjónaukanum árin 2004 og 2006. Mynd: NASA/ESA og P. Kolas.

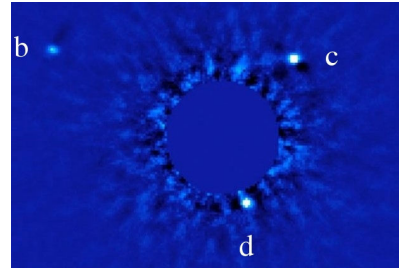
að skoða skautun ljóssins eftir að það speglast af loft-hjúpi reikistjörnunnar og fá þannig vísbendingar um efnasamsetninguna [2].

Ólíklegt er að reikistjörnur sem eru langt frá sól-stjörnu sinni gangi fyrir sjónlínu til jarðar, því með aukinni fjarlægð fyllir sólskífan minna af braut reiki-stjörnunnar. Sem dæmi eru 0,5% líkur á að reiki-stjarna af stærð jarðar og á svipaðri braut sjáist ganga fyrir stjörnu en fyrir Satúrnus eru líkurnar 0,05% [3]. Reikistjarna eins og jörðin í öðru sólkerfi dregur úr birtu stjörnu sinnar um 0,01% þegar hún gengur fyrir stjörnuna. Því er erfitt að mæla þvergöngur lít-illa reikistjarna enda hafa þær síður fundist. Margar reikistjörnur hafa fundist með þvergöngumælingum og líklega fjölgar þeim mikið á næstu árum þegar at-huganir með Keplerssjónaukanum verða kunngerðar.

## 2.4. Ljósmyndun

Reikistjörnur eru mjög daufar og það litla ljós sem þær endurvarpa glatast í birtunni frá móðurstjörnunni. Þess vegna er mjög erfitt að ljósmynda þær, sér í lagi þær sem eru smáar og nálægt móðurstjörnunni. Til þess að ljósmynda reikistjörnu verður að draga úr birtu stjörnunnar. Ein leið er að hylja stjörnuna með skífu, svonefndri kórónusjá, svo daufr hnettir um-hverfis stjörnuna sjáist betur (mynd 5). Oft eru ljós-myndir teknar á innrauða sviðinu því þar er munur á útgeislun reikistjörnunnar og sólstjörnunnar minni en á sýnilega sviðinu. Þetta er sérstaklega heppilegt þeg-ar reikistjarnan er ung og nýmynduð því þá er innrauð útgeislun mikil.

Þrátt fyrir þessa erfiðleika hefur mönnum tekist að ná ljósmyndum af fjarreikistjörnum. Allar eru þær stórar og frekar langt frá sinni sólstjörnu. Með nýrri



**Mynd 6.** Þrjár reikistjörnur um HR 8799. Þær eru fimm-til þrettánfalt massameiri en Júpíter. Stjarnan sjálf er hulin. Mynd: Gemini Observatory/NRC/AURA/Christian Marois.

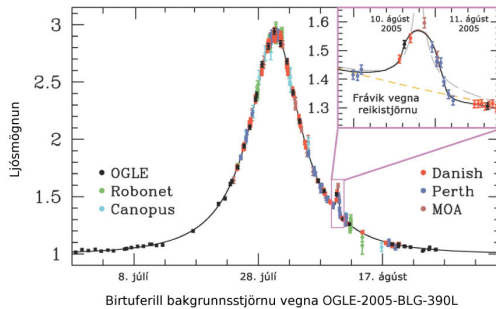
tækni skilar þessi aðferð sífellt betri árangri. Með henni getum við litrófsgreint ljós fjarlægjar reiki-stjörnu og aflað þannig upplýsinga um eðliseiginleika hennar eins og efnasamsetningu og hitastig lofthjúps. Í febrúar 2010 náðist í fyrsta sinn litróf af reikistjörnu með VLT sjónauka ESO [9]. Það er reikistjarnan HR 8799 c (sjá mynd 6). Menn binda vonir við að fleiri litróf fjarreikistjarna náist í framtíðinni enda gefa þau miklar upplýsingar um eiginleika hnattanna.

## 2.5. Örlinsuhrif

Þegar massamikið fyrirbæri eins og vetrarbraut gengur fyrir ljós frá fjarlægri uppsprettu sveigir ljósið hjá massanum, vegna sveigju tímarúmsins eins og almenna afstæðirkenningin segir til um. Myndin af uppsprettunni er bjöguð eins og um linsu væri að ræða. Þetta fyrirbæri kallast þyngdarlinsa.

Í þeim tilvikum að fyrirbærið sem myndar linsuna er ekki massamikið, t.d. sólstjarna, greinist bjögunin frá ljósuppsprettunni varla en hins vegar mælist birtuaukning. Þá er talað um örlinsuhrif. Fjarlægja uppsprettan verður tímabundið hjartari og getur breytingin staðið yfir í nokkrar sekúndur upp í nokkur ár. Með mælingum á breytingu ljósstyrksins með tíma er hægt að segja til um hve stór massinn er sem gengur fyrir ljósið.

Örlinsuhrif nýtast við leit að fjarreikistjörnum. Ef reikistjarna gengur um stjörnuna sem myndar linsuna þá geta smávægileg frávik orðið á ljósstyrksbreytingunni. Mynd 7 sýnir ljósstyrk fjarlægjar uppsprettu þegar ljós hennar sveigði fram hjá stjörnunni OGLE-2005-BLG-390L [1]. Heildarferlið stóð yfir í um 40 daga og þegar ljósstyrkurinn minnkaði aftur kom fram frávik vegna óséðrar reikistjörnu. Sólkerfið er í rúmlega 20.000 ljósára fjarlægð í átt að miðju vetrarbrautarinnar. Massi reikistjörnunnar er ríflega fimmfaldur massi jarðar og fjarlægð hennar frá sólstjörnunni er um 2,6 SE (stjarnfræðieining sem er meðalfjarlægð



**Mynd 7.** Mæld ljósmögnun fjarlægjar Ljósuppsprettu vegna stjörnu OGLE-2005-BLG-390L þar sem hún virkar sem linsa. Frávikið sem kemur fram í birtuferlinum (innskot uppi hægra megin) er vegna reikistjörnu. Gögnin eru frá sex mismunandi rannsóknahópum. Mynd: OGLE.

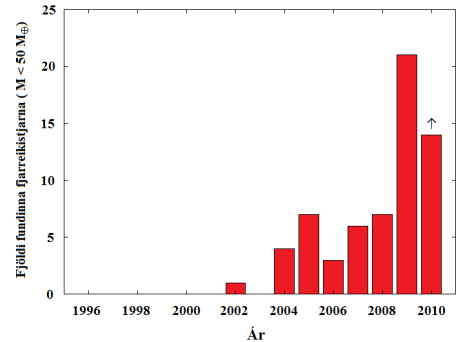
jarðar frá sólu). Uppgötvun hennar þótti merkileg þar sem hún er massalítil og langt frá sólstjörnunni.

Örlinsuhrif eru sjaldgæf þar sem uppröðun stjarna þarf að vera nákvæm. En breytingar á birtustigi geta einnig verið af öðrum ástæðum, til dæmis að daufrari stjarna fer fyrir bjartari stjörnu. Helsti kostur örlinsuhrifa er að hægt er að greina massalítlar reikistjörnur. Sömuleiðis má beita þessari aðferð á stjörnur í mun meiri fjarlægð en aðrar aðferðir bjóða upp á því þvergönguáðferðin, ljósmyndun og þær sem byggja á stjarn- og Dopplermælingum eru árangursríkastar fyrir nálægari sólkerfi. Galli við örlinsuhrif er að atburður sem þessi er einstakur. Ómögulegt er að endurtaka mælingar eftir að atburðurinn hefur átt sér stað.

## 2.6. Tífstjörnur

Tífstjörnur eru nifteindastjörnur, litlar og ofurþéttar leifar stjarna sem enduðu líf sitt sem sprengistjörnur. Þær hafa sterkt segulsvið, snúast hratt um sjálfa sig og geisla útvarpsbylgjum eftir segulás sínum. Beinist segulásinn í átt til jarðar greinum við tif á útvarpsviðinu. Lota tifsins getur verið frá millísekúndu upp í nokkrar sekúndur. Reikistjarna er á braut um tífstjörnuna veldur reglubundnum Doppler-hrífum í tífínu með þyngdarhrífum. Breytingarnar eru smáar en auðmælanlegar því regla í lotu tífstjarna er mikil.

Með þessari aðferð er hægt að finna massalítlar reikistjörnur, sumar jafnvel massaminni en jörðin. Ókostur aðferðarinnar er hve sjaldgæfar tífstjörnur eru. Umhverfis tífstjörnur er mikil háorkugeislun svo líf á því formi sem við þekkjum getur varla þrífist á reikistjörnum um þær. Viljum við leita að lífi gera tímamælingar á tífstjörnum því minna gagn en hinar aðferðirnar fimm.



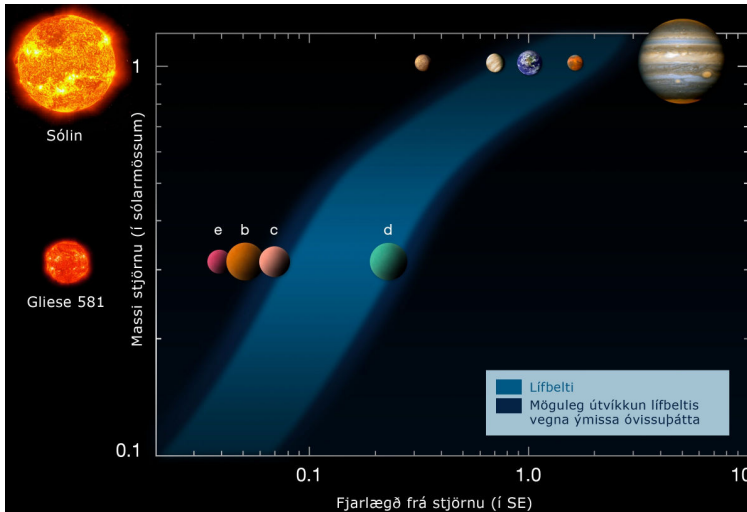
**Mynd 8.** Fjöldi massalítlar reikistjarna  $M < 50 M_{\oplus}$  (þar sem  $M_{\oplus}$  er massi jarðarinnar) sem fundist hafa fram í desember 2010. Á hvert bætast fleiri reikistjörnur í þennan flokk.

## 3. Eiginleikar

Mikill meirihluti þekktra fjarreikistjarna eru massamiklar sem má rekja til takmarkana leitaráðferðanna eins og áður hefur komið fram. Með betri tækni finnst þó æ massaminni reikistjörnur (mynd 8). Ýmislegt bendir til að massalítlar reikistjörnur séu algengari en massamiklar [17]. Reynist það rétt aukast möguleikarnir á uppgötvun lífvænlegra hnatta í framtíðinni. Komið hefur í ljós að málmríkar stjörnur eru líklegri til að hafa bergreikistjörnur [17]. Einnig hafa vísindamenn tekið eftir að þekktar fjarreikistjörnur hafa almennt mikla miðskekkju á braut sinni. Ástæðan er ekki ljós en ýmsar tillögur hafa komið fram eins og víxlverkun við gasskífuna þegar sólkerfið myndaðist [7] og þyngdaráhrif milli nokkurra stórra reikistjarna innan þess sólkerfis [15]. Stór hluti sólkerfa sem búa yfir fjarreikistjörnum hafa fleiri en eina [17]. Allir þessir eiginleikar, sem hægt er að rannsaka með sívaxandi safni af þekktum fjarreikistjörnum, gefa vísindamönnum mikilvægar upplýsingar til að meta og bæta núverandi líkön um myndun sólkerfa og reikistjarna.

## 4. Lífvænlegar reikistjörnur ?

Stjörnufræðinga dreymir um að finna lífvænlega hnetti, þ.e. þær reikistjörnur sem gætu haft fljótandi vatn og viðhaldið lífi. Til að svo megi vera má reikistjarna hvorki vera of nálægt né of langt frá sólstjörnu sinni. Þetta svæði í sólkerfi nefnist lífbelti. Í sólkerfinu okkar er lífbeltið milli Venusar og Mars (mynd 9). Lífbeltið er umdeilt meðal vísindamanna því líf gæti þrífist á hnöttum utan þess. Vatn getur hæglega verið fljótandi þar sem nægur jarðvarmi er til staðar eins og hugsanlegt er á tunglinu Evrópu á braut um Júpiter. Undir þykkri ísskorpu Evrópu er líklega haf þar sem líf gæti ef til vill hafa kviknað.



**Mynd 9.** Lífbelti okkar sólkerfis samanborið við lífbelti Gliese 581. Þar sem sólin okkar er stærri er lífbeltið utar. Vísindamenn hafa velt fyrir sér hvort Gliese 581 d sé mögulegur staður fyrir vatn á vökvaformi og þar með líf. Mynd: ESO/Stjörnufræðivefurinn.

Aðrir þættir eins og stærð og massi reikistjörnu skipta líka máli. Reikistjörnur með innan við helming af massa jarðar hafa ekki nægilegan þyngdarkraft til að viðhalda lífvænlegum lofthjúpi sem veitir góða vörn gegn skaðlegum geimgeislum. Á hinn bóginn hafa reikistjörnur með tífalt meiri massa en jörðin svo mikinn þyngdarkraft að þær halda leikandi í léttustu og algengustu frumefnin, vetni og helín, og verða gasrisar eins og Júpíter. Segja má að leitin að öðrum jörðum sé leit að bergreikistjörnum með  $M = 0,5\text{--}10 M_{\oplus}$  og  $R = 0,8\text{--}2,2 R_{\oplus}$  í lífbelti sólstjörnu.

## 5. Nokkur áhugaverð sólkerfi

### 5.1. Fomalhaut og HR 8799

Upp úr 1980 uppgötvaðist rykskífa umhverfis stjörnu Fomalhaut í Suðurfisknum. Rúmum tuttugu árum síðar sýndu myndir Hubblestjónaukans greinilegt rykbelti í skífunni. Innri brún beltisins var óvenju skörp og vék auk þess frá massamiðju kerfisins. Stjörnufræðinga grunaði að brúnin héldist skörp vegna þyngdaráhrifa reikistjörnu innan beltisins. Tæpum tveimur árum síðar tók Hubble aðra ljósmynd af Fomalhaut og rykbeltinu sem sýndi reikistjörnuna. Var þetta í fyrsta sinn sem fjarreikistjarna var ljósmynduð með óyggjandi hætti. Mynd 5 sýnir færslu reikistjörnnar Fomalhaut b um móðurstjörnu. Hún er í um 115 SE fjarlægð frá móðurstjörnunni á sporöskjulaga braut. Umferðartími hennar er 872 ár og massinn líklega um þrír Júpítersmassar [5].

Sama dag og myndin af Fomalhaut b var birt tilkynnti annar hópur um ljósmyndun á þremur reikistjörnum umhverfis stjörnu HR 8799 (mynd 6). Í nóvember 2010 fannst svo fjórða reikistjarnan. Þær eru fimm- til þrettánfalt massameiri en Júpíter [12].

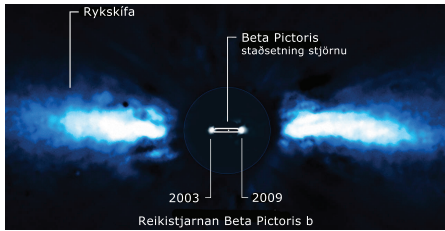
### 5.2. Gliese 581 d

Gliese 581 d er reikistjarna á braut um rauðan dverg í 20 ljósára fjarlægð frá jörðu. Massi hennar er  $7,6 M_{\oplus}$  og er hún í 0,25 SE fjarlægð frá sinni sólstjörnu. Gliese 581 d er á mörkum lífbeltis síns sólkerfis. Möguleg gróðurhúsaáhrif gætu þó hækkað yfirborðshitastig reikistjörnnar og því gæti þar fundist fljótandi vatn. Þetta er eina þekkta fjarreikistjarnan sem líf gæti þrífist á. Mynd 9 sýnir samanburð á lífbeltum sólkerfis Gliese 581 og okkar sólkerfis.<sup>3</sup>

### 5.3. PSR B1257+12

PSR B1257+12 er tistjarna með 6,22 msek snúnings tíma í 980 ljósára fjarlægð í Meyjunni. Árið 1990 tók pólski stjörnufræðingurinn Aleksander Wolszczan eftir fráviki í tifi hennar og leitaði skýringa. Tveimur árum síðar fundu Wolszczan og samstarfsmaður hans Dale Frail tvær reikistjörnur á braut um

<sup>3</sup> Í lok september 2010 tilkynnti hópur bandarískra stjarnvísindamanna um uppgötvun á reikistjörnunni Gliese 581 g í lífbelti stjörnnar. Annar hópur evrópskra stjarnvísindamanna gat í kjölfarið ekki staðfest tilvist þessarar reikistjörnu svo vafi leikur á hvort hún sé í raun og veru til.



**Mynd 10.** Rykskífa og reikistjarna umhverfis stjörnuna Beta Pictoris. Stjarnan sjálf er hulin. Mynd: ESO/A.-M. Lagrange.

tífstjörnnuna [19]. Uppgötvunin kom mörgum á óvart enda áttu stjörnufræðingar frekar von á að finna reikistjörnur um stjörnur sem svipar til sólarinnar. Árið 1994 fannst þriðja reikistjarnan í kerfinu [18].

Reikistjörnnurnar eru allar í innan við einnar SE fjarlægð frá tífstjörnnunni. Umferðartímar þeirra eru 25,3, 66,5 og 98,2 dagar. Tvær reikistjarnanna eru fjórfalt massameiri en jörðin og eru þær taldar bergkjarnar gasrisa sem áður voru í sólkerfinu [19]. Þriðja og massaminna reikistjarnan, sem jafnframt er næst tífstjörnnunni, er aðeins  $0,02 M_{\oplus}$ .

#### 5.4. 51 Pegasi b

51 Pegasi er sólstjarna í 50,9 ljósára fjarlægð frá jörðinni í stjörnuumerkinu Pegasus. Hún líkist sólinni okkar og er sýnileg með berum augum við kjöraðstæður. Stjarnan er um 6 til 8 milljarða ára gömul, nokkru eldri en sólin okkar, 4–6% massameiri, með meira málmamagn og er að klára vetnisforða sinn.

Umhverfis 51 Pegasi fannst reikistjarna sem er gasrisi með fjögurra daga umferðartíma. Var þetta fyrsta fjarreikistjarnan sem fannst á braut um venjulega sólstjörnu. Hlaut hún nafnið 51 Pegasi b. Reikistjarnan fannst með nákvæmum Dopplermælingum með ELODIE litrófssjánni í Observatoire de Haute-Provence [13]. Þessi uppgötvun markaði tímamót í stjarnvísindum því hún sýndi að hægt er að finna stórar reikistjörnur með stuttan umferðartíma.

#### 5.5. Beta Pictoris b

Í júní 2010 tilkynnti hópur evrópskra stjörnufræðinga að tekist hefði að fylgjast með færslu fjarreikistjörnu umhverfis stjörnnuna Beta Pictoris. Beta Pictoris er ung stjarna, líklega í kringum 12 milljón ára gömul og  $1,75 M_{\odot}$ . Hún er í 63 ljósára fjarlægð í Málaranum og er frægt dæmið um stjörnu sem er umlukin rykskífu.

Rannsóknir á skífunni með einum af 8,2 metra VLT sjónaukum ESO bentu til að óséður fylgiðhöttur hefði áhrif á lögun skífunnar með þyngd sinni. Árið

2003 sást daufur ljósdepill vinstra megin stjörnnunnar en á þeim tíma var ekki hægt að útiloka að um bakgrunnsstjörnu væri að ræða. Athuganir gerðar síðla árs 2008 og vorið 2009 sýndu að ljósdepillinn var horfinn en um haustið birtist depillinn aftur, þá hægra megin. Það staðfesti að ljósdepillinn var reikistjarna á braut um Beta Pictoris (mynd 10).

Reikistjarnan, sem nefnd er Beta Pictoris b, er gasrisi með nífalðan massa Júpíters. Hún er í 8–15 SE fjarlægð frá Beta Pictoris eða álíka og Satúrnus er frá sólu. Umferðartími hennar er talinn á bilinu 17–35 ár. Þessar rannsóknir sýna að reikistjörnur geta myndast í rykskífum stjarna á fáeinum milljónum ára.

#### 5.6. HD 10180

Í ágúst 2010 var tilkynnt um uppgötvun fimm reikistjarna á braut um stjörnnuna HD 10180 [10]. Að auki fundust vísbendingar um tvær aðrar reikistjörnur. Önnur þeirra væri sú massaminna sem fundist hefur hingað til ( $M \approx 1,4 M_{\oplus}$ ). Umferðartíminn væri aðeins um 1,2 jarðardagar. Hún væri því mjög nálægt sólstjörnu sinni og mjög heit. Stjarnan líkist sólinni okkar og er í 127 ljósára fjarlægð frá jörðu.

HARPS litrófsritinn var notaður til að fylgjast með stjörnnunni um sex ára skeið. HARPS hefur einstaka greinigtu og mikla mælinákvæmni sem skilað hefur bestum árangri allra mælitækja á jörðinni í leit að fjarreikistjörnum.

#### 6. Geimsjónaukar

Langstærstur hluti fjarreikistjarna hefur fundist með sjónaukum á jörðu niðri en með hjálp geimsjónauka er hægt að ná betri árangri. CoRoT og Kepler eru einu geimsjónaukarnir sem hannaðir eru sérstaklega til að leita að fjarreikistjörnum. Hubble geimsjónaukinn hefur þó verið notaður til að staðfesta tilvist reikistjarna. Á teikniborðinu eru spennandi geimsjónaukar eins og *Space Interferometry Mission* (SIM). Hér er fjallað um helstu geimsjónauka sem ætlaðir eru til að leita fjarreikistjarna.

#### 6.1. CoRoT

*Convection Rotation and planetary Transits* (CoRoT) er sérhannaður leiðangur til að leita að reikistjörnum með þvergönguáðferðinni. Hann er franskur en í samstarfi við Geimstofnun Evrópu (ESA). Hlutverk hans er annars vegar að finna reikistjörnur og hins vegar að mæla skjálfta í sólstjörnum með ljósstyrksmælingum. Sjónaukanum var skotið á braut um jörðina í desember 2006. Hann er 0,27 metra breiður og getur mælt ljósstyrk stjarna með sýndarbirtu niður í 15,5 stig.

Mælitækni CoRoT takmarkast við það að hann getur einungis fundið reikistjörnur með meiri massa en jörðin í innan við 0,3 SE fjarlægð frá sólstjörnu sinni. Massaminnsta reikistjarna sem hann hefur fundið er CoRoT-7 b. Hún er 5 sinnum massameiri en jörðin og í 0,017 SE fjarlægð frá sinni sólstjörnu [14]. CoRoT-7 er aðeins massaminni en sólín okkar og með minna ljósafl. Lífbeltið er því aðeins innar en í sólkerfinu, þó ekki nógu innarlega fyrir CoRoT-7 b.

## 6.2. Kepler

Árið 2009 sendi NASA Keplerssjónaukann út í geim. Sjónaukinn er 0,95 metra breiður ljósmælir með myndavél sem sér 100 fergráðu svæði á hvelvingunni. Hann leitar reikistjarna með þvergönguadferðinni. Kepler fylgist með um 150.000 stjörnum á svæðinu milli Hörpunnar og Svansins og mælir birtubreytingar þeirra með 30 mínútna millibili. Kepler er töluvert næmari en CoRoT og getur því bæði fundið minni hnetti og reikistjörnur með rétt rúmlega eins árs umferðartíma. Því getur Kepler fundið reikistjörnur á borð við jörðina í lífbeltum annarra sólkerfa en það er einn af meginkostum sjónaukans.

## 6.3. Gaia og SIM

Á teikniborði NASA er SIM sem ætlað er að mæla fjarlægðir og staðsetningar stjarna með nokkur hundruð sinnum meiri nákvæmni en áður (milljónasta hluta úr bogasekúndu) með víxlmælingum. Um borð verða tveir hálfir metra sjónaukar og með því að sameina ljósið frá þeim fást greinigæði sem svara til sex metra sjónauka. SIM mun beita stjarnmælingatækni í leit að fjarreikistjörnum. Sjónaukinn á að fylgjast með hliðrun sextíu nálægri stjarna í leit að bergreikistjörnum í lífbelti stjarnanna. Gert er ráð fyrir að SIM verði skotið á loft í kringum árið 2016.

Gaia er evrópsk hliðstæða SIM og arftaki Hipparkos gervitunglsins en ESA gerir ráð fyrir að senda hann út í geiminn árið 2012. Gaia mun kortleggja um það bil einn milljarð stjarna niður í 20. birtustig og mun eflaust finna fjölda fjarreikistjarna.

Ekki er svo ýkja langt síðan leit að reikistjörnum svipuðum jörðinni í öðrum sólkerfum var fjarlægur draumur stjörnufræðinga. Síðustu áratugi hafa orðið miklar framfarir í gerð sjóntækja og annarra mælitækja og því ljóst að enn fleiri munu finnast þegar nýir geimsjónaukar skila fyrstu niðurstöðum. Tímaspursmál er hvenær reikistjarna á borð við jörðina okkar finnst í lífbelti fjarlægrrar sólstjörnu.

Við þökkum ítarlegan yfirlestur og gagnlegar ábendingar frá Páli Jakobssyni og Gunnlaugi Björnssyni. Verkefni þetta er styrkt af Rannsóknasjóði Háskóla Íslands.

## Heimildir

- [1] Beaulieu, J.-P., et al. 2006, *Nature*, 439, 437.
- [2] Berdyugina, S. V., et al. 2008, *ApJL*, 673, L83.
- [3] Borucki, W. J., et al. 1996, *Ap&SS*, 241, 111
- [4] Charbonneau, D. 2005, *ApJ*, 626, 523.
- [5] Chiang, E., et al. 2008, *ApJ*, 693, 734.
- [6] Deming, D., et al. 2005, *Nature*, 434, 740.
- [7] Goldreich, P., et al. 2003, *ApJ*, 585, 1024.
- [8] Huygens, C. 1698, *Cosmotheoros*, Adriaan Moetjens, Haag.
- [9] Janson, M., et al. 2010, *ApJL*, 710, L35.
- [10] Lovis, C., et al. 2010, *A&A*, í ritrýningu.
- [11] Marcy, G., et al. 2005, *PThPS*, 158, 24.
- [12] Marois, C., et al. 2008, *Science*, 322, 1348.
- [13] Mayor, M., et al. 1995, *Nature*, 378, 355.
- [14] Queloz, D., et al. 2009, *A&A*, 506, 303.
- [15] Rasio F.A., et al. 1996, *Science*, 274, 954.
- [16] See, T. J. J. 1896, *AJ*, 16, 17.
- [17] Udry, S., et al. 2007, *ARA&A*, 45, 397.
- [18] Wolszczan, A. 1994, *Nature*, 264, 538.
- [19] Wolszczan, A., et al. 1992, *Nature*, 355, 145.

**Summary:** Extrasolar planets are planets in other solar systems. The properties of extrasolar planets can give scientists important information about the formation and development of solar systems. The search for extrasolar planets is intertwined with the search for life in the universe. This article gives a short overview of the methods used to search for extrasolar planets. Their properties are briefly examined and some interesting solar systems are discussed. Finally, future satellites and telescopes used in research in this field are presented.

**Um höfundana:** Birgir Urbancic Ásgeirsson er MS-nemi í eðlisfræði við Universitöt Heidelberg. Sævar Helgi Bragason er BS-nemi í jarðfræði við Háskóla Íslands.

Raunvísindadeild Háskóla Íslands  
Hjarðarhaga 2–6, 107 Reykjavík  
birgirasgeirsson@gmail.com  
saevar@stjornuskodun.is

*Móttekin: 9. desember 2010*