

Exoplaneten

Nobelpreis in Physik 2019

Jens Hügel

Proseminar Physik, 2023

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Definition
- 3 Geschichte
- 4 Detektion
- 5 Eigenschaften

Einleitung

- Frage nach anderen Welten wie unserer
- Im Gegensatz zu Sternen Beobachtung schwierig
- Inzwischen eines der am schnellsten wachsenden Felder der Astronomie

Definition eines Exoplaneten

Abbildung: Definition eines Exoplaneten laut der Internationalen Astronomischen Union (IAU) [1]

The current working definition of an exoplanet is as follows:

1. *Objects with true masses below the limiting mass for thermonuclear fusion of deuterium (currently calculated to be 13 Jupiter masses for objects of solar metallicity) that orbit stars, brown dwarfs or stellar remnants and that have a mass ratio with the central object below the L_4/L_5 instability ($M/M_{\text{central}} < 2 / (25 + \sqrt{621}) \approx 1/25$) are “planets” (no matter how they formed). The minimum mass/size required for an extrasolar object to be considered a planet should be the same as that used in our Solar System.*
2. *Substellar objects with true masses above the limiting mass for thermonuclear fusion of deuterium are “brown dwarfs”, no matter how they formed nor where they are located.*
3. *Free-floating objects in young star clusters with masses below the limiting mass for thermonuclear fusion of deuterium are not “planets”, but are “sub-brown dwarfs” (or whatever name is most appropriate).*

Erste Entdeckungen

- Erste Hinweise in den 80er Jahren
- Objekte mit Planetenmasse 1992 (Wolszczan/Frail)
- Gesicherte Detektion 1995 (Mayor/Queloz)

Entwicklungen bis heute

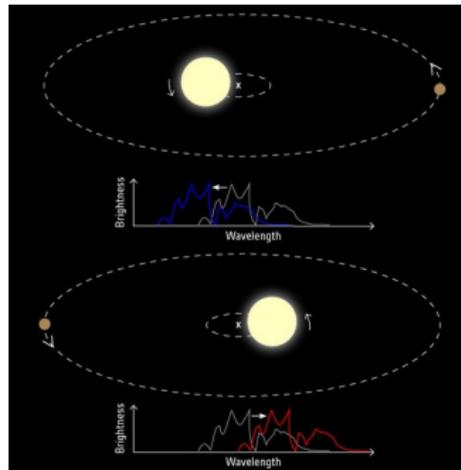
- Multiple Detektionsmethoden
- Raummissionen, wie z.B. Kepler, TESS, JWST, Gaia
- 5362 Planeten (Stand: 14.04.2023, exoplanet.eu)
- Immer mehr Informationen über Beschaffenheit, Voraussetzungen, etc.

Radialgeschwindigkeit I

- Jedes System besitzt einen gemeinsamen Schwerpunkt
- Keplersche Gesetze gelten
- Bewegung des Sterns führt zu Rot- und Blauverschiebung (\rightarrow Doppler-Effekt)
- Bestimmung der Radialgeschwindigkeit des Sterns lässt Schlüsse auf andere Objekte im System zu

Radialgeschwindigkeit II

Abbildung: Messung per Radialgeschwindigkeit (ESA) [2]



Astrometrie

- Ähnlich der Radialgeschwindigkeit
- Relative Position des Sterns im Vergleich zu anderen Objekten
- Gravitativer Einfluss von Planeten ist sichtbar

Lichtlaufzeit

- Beruht auf periodischen Signalen des Sterns
- nur bestimmte Sterne haben diese Eigenschaften, z.B. Pulsare
- Periode des Signals ändert sich je nach Position
- Zeitmessung birgt Herausforderungen

Microlensing

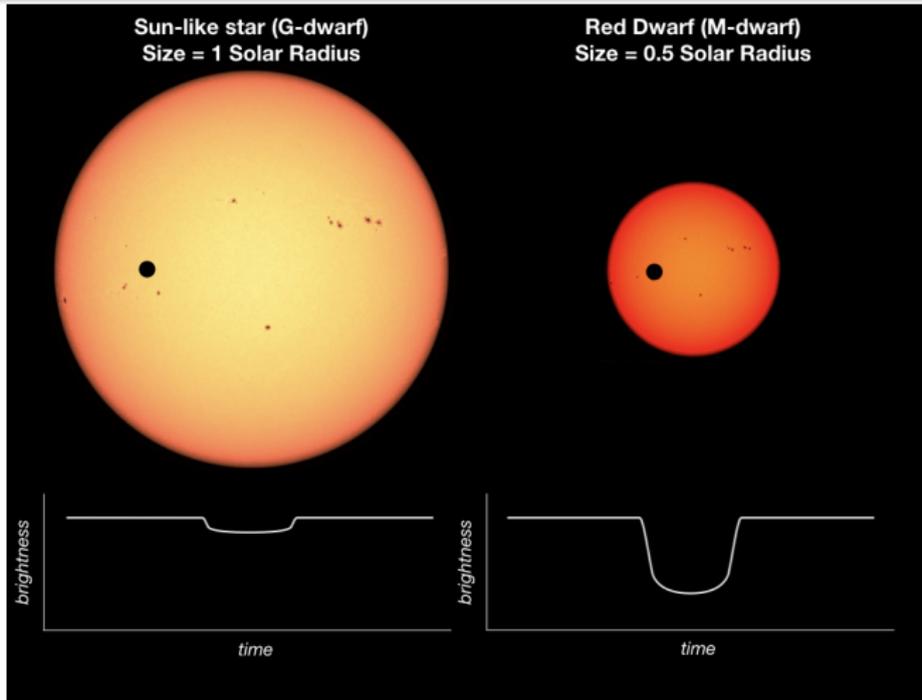
- Von der ART beschriebener Effekt
- Anwesenheit von Materie verzerrt die Raumzeit, sodass u.a. elektromagnetische Signale abgelenkt werden
- Planeten beeinflussen die Vergrößerung
- Spezifische Konstellation von Beobachtungsobjekt und Linse ist vonnöten

Transit I

- Verdunklung von Sternen durch Planeten
- Je nach Sterntyp unterschiedlicher Einfluss auf Helligkeit
- Großflächige Beobachtung von Himmelsabschnitten
- Ermöglicht Schätzung des Radius'

Abbildung: Transit eines Exoplaneten bei Sternen verschiedener Leuchtkraft (Andrew Vanderburg) [3]

Transit II

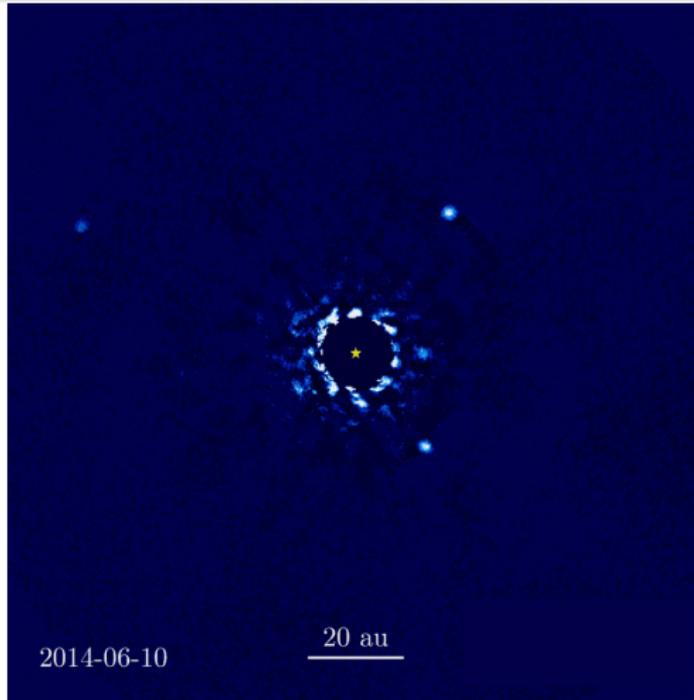


Direkte Beobachtung I

- Detektion von Planeten als "Lichtquelle"
- große technische Herausforderung aufgrund Nähe zum Stern und Helligkeit im Vergleich
- sehr nützlich für Planeten mit großem Orbit

Abbildung: Stern HR 8799 mit drei Exoplaneten (Wikimedia) [4]

Direkte Beobachtung II



Vor- und Nachteile I

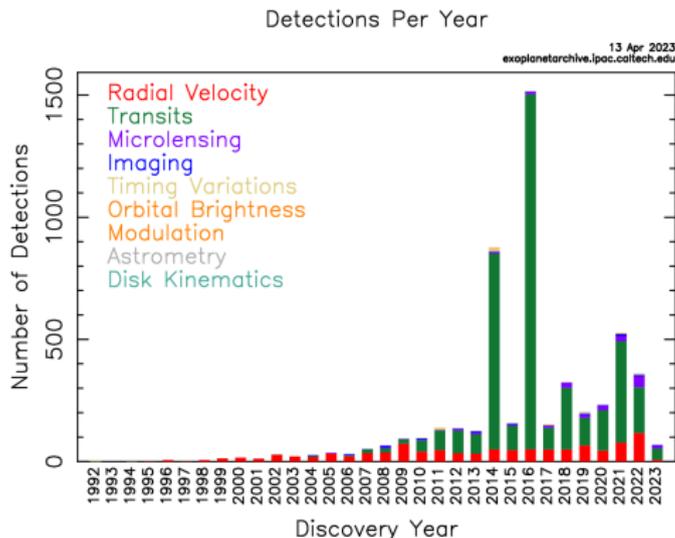
Tabelle: Verschiedene Detektionsmethoden im Vergleich

Messmethode	Vorteile	Nachteile
Radialgeschwindigkeit	unabhängig von Entfernung	andere Phänomene mit ähnlichem sichtbarem Effekt, Noise
Astrometrie	Vielzahl an Informationen über die Planeten	Messgenauigkeit noch sehr begrenzt
Lichtlaufzeit	eng verbunden mit anderen Disziplinen	sehr fehleranfällig aufgrund von Zeitmessung

Vor- und Nachteile II

Messmethode	Vorteile	Nachteile
Microlensing	Messung von weit entfernten und kleinen Objekten	Seltenheit der Konstellationen, Reproduzierbarkeit
Transit	Informationen über Eigenschaften, Möglichkeit randomer Suche	günstige geometrische Bedingungen vonnöten
Direkte Beobachtung	direkter Nachweis	nur große Objekte

Abbildung: Detektionen pro Jahr, aufgeschlüsselt nach Methode (NASA Exoplanet Archive) [5]



Muttersterne

- Unterschiedlichste Sterne besitzen Planeten
- Verschiedene Nachweismethoden begünstigen bestimmte Sternentypen
- Verständnis der Sterne beeinflusst Verständnis der Exoplaneten

Entstehung

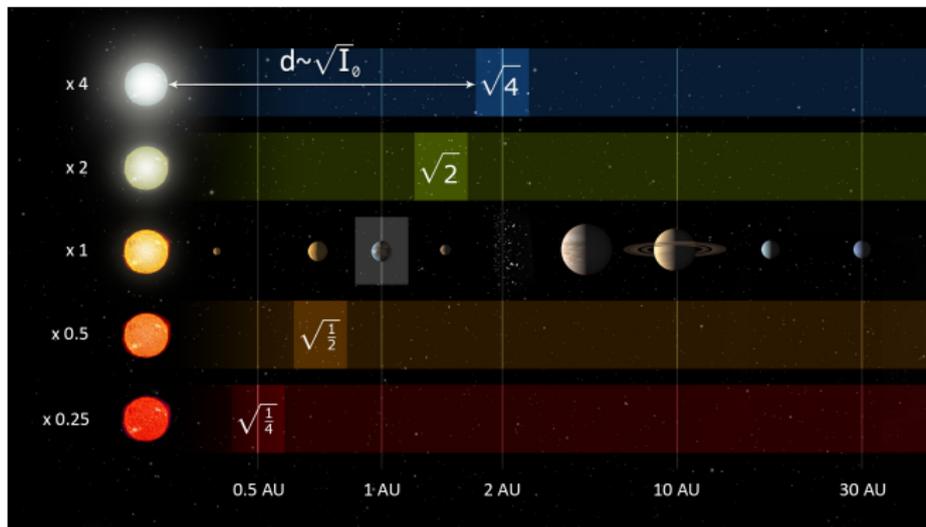
- Nebenprodukt der Sternbildung
- Akkumulation von Überbleibseln der Molekülwolke
- Zusammensetzung abhängig von der Distanz zum Stern
- (Proto-) Planeten interagieren, es bildet sich ein Gleichgewicht

Atmosphäre und Zusammensetzung

- Nur für große, heiße Planeten bekannt
- Meist Modelle basierend auf unserem Sonnensystem
- Äußerst wichtig auf der Suche nach Leben

Bewohnbarkeit

Abbildung: Abhängigkeit der habitablen Zone von der Leuchtkraft des Sterns (Wikimedia) [6]



Literatur und Weblinks



M. Perryman

The Exoplanet Handbook.

2. Auflage, Cambridge University Press, 2018.

- [1] https://www.iau.org/science/scientific_bodies/commissions/F2/info/documents/
zuletzt abgerufen am 15.04.23, 16:43 Uhr
- [2] https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/02/Detecting_exoplanets_with_radial_velocity
zuletzt abgerufen am 18.04.23, 17:30 Uhr
- [3] <https://avanderburg.github.io/tutorial/tutorial.html>
zuletzt abgerufen am 18.04.23, 17:31 Uhr
- [4] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HR_8799_Orbiting_Exoplanets.gif
zuletzt abgerufen am 18.04.23, 14:22 Uhr
- [5] <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/exoplanetplots/>
zuletzt abgerufen am 18.04.23, 17:39 Uhr
- [6] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solarsystemau_habit.jpg
zuletzt abgerufen am 18.04.23 17:41 Uhr