

# *Die Jagd nach Exo-Planeten*



Pierre Kelsen

AAL

16 Dezember 2000

# *Was ist ein Exo-Planet?*

- Exo-Planet = Planet in einem anderen Sonnensystem
  - English: exo-planet, extrasolar planet

# Was ist ein Planet?

- Umkreist eine Sonne
- Masse zu gering, um Fusionsprozesse zu zünden



## *Was ist ein Planet? (2)*

- Leuchten im reflektierten Licht des Muttergestirns
- Planet und Muttergestirn kreisen um gemeinsamen Schwerpunkt

# *Wieso suchen wir Exo-Planeten?*



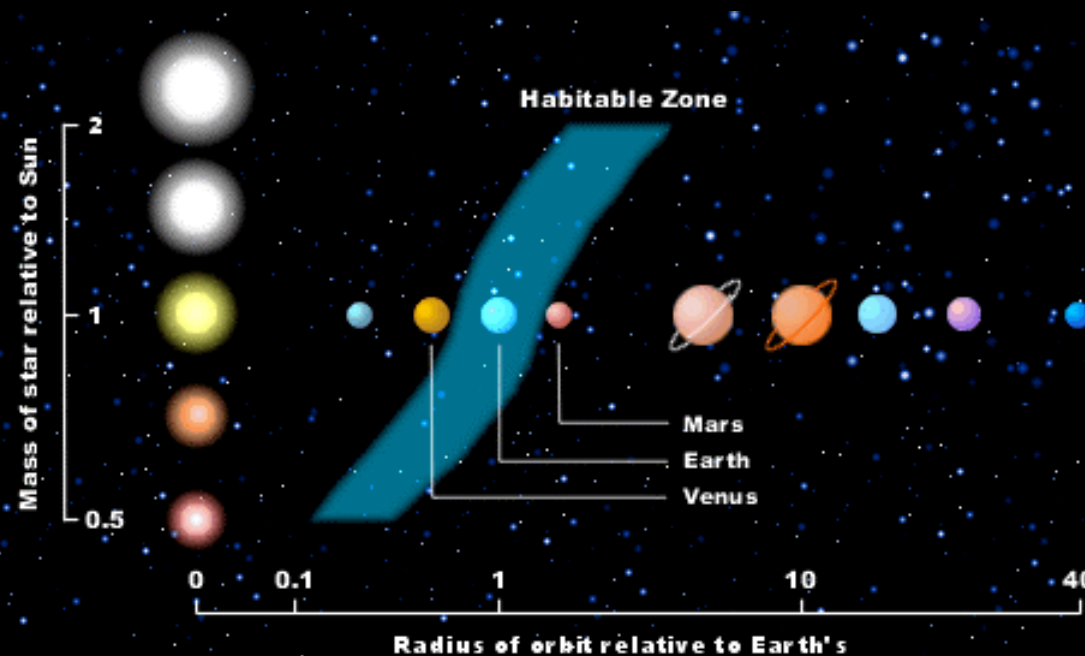
- Geben uns tiefere Einblicke in die Entstehung unseres eigenen Sonnensystems
- Suche nach ausserirdischer Intelligenz

# *Ausflug in die Exo-Biologie*

- Wie definiert man Leben?
  - Keine allgemein anerkannte Definition
- Grundvoraussetzung
  - Wasser in flüssiger Form
  - ⇒ Planet in der “habitable Zone” (Oekosphäre)

# *Ausflug in die Exo-Biologie (2)*

- Habitable Zone



# *Ausflug in die Exo-Biologie (3)*

- Stern soll etwa Sonnengrösse haben
  - Viel kleiner:
    - wegen kleinem Bahnradius:
      - tidal locking (siehe Mond)
      - Helligkeitsschwankungen (0.1%)
  - Viel grösser:
    - Wesentlich heisser als die Sonne
    - Brennen schnell aus



# *Ausflug in die Exo-Biologie (4)*

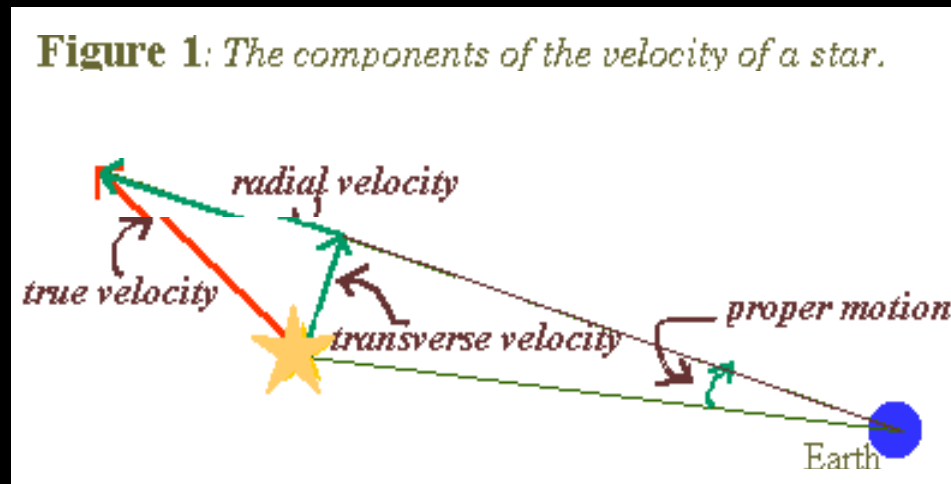
- Planet soll etwa Erdgrösse haben
  - Wesentlich kleiner:
    - Kann keine Atmosphäre halten
  - Wesentlich grösser:
    - Gasriese mit hohem atmosphärischem Druck und keiner festen Oberfläche

# *Gibt es Exo-Planeten?*

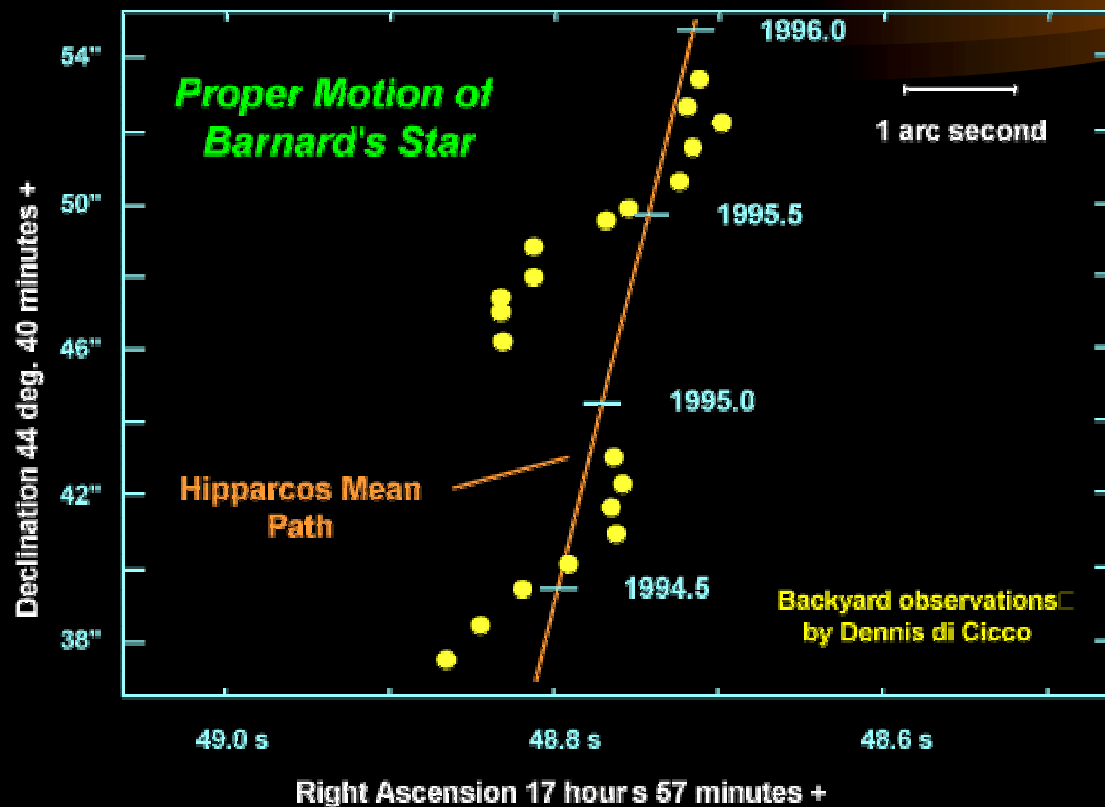
- Grobe Schätzung:
  - $\sim 10^9$  Galaxien sichtbar mit HST
  - $\sim 10^{11}$  Sterne in der Milchstrasse
  - Also:  $\sim 10^{20}$  Sterne im Universum
  - Alter des Universums:  $\sim 10^{10}$
  - Bei gleichmässiger zeitlicher Verteilung:
    - **1 Million Sonnensysteme entstehen pro Stunde**

# Der Anfang: Barnards Pfeilstern

- 1916 entdeckte E.E. Barnard einen Stern mit einer sehr grossen Eigenbewegung (10.3"/Jahr)



# Barnards Stern: Eigenbewegung



# *Astrometrie*

- Präsenz eines Planet beeinflusst die Eigenbewegung eines Planeten => “wobble”
  - Analogie: Hammerwerfer
- Analyse der Eigenbewegung als Funktion der Zeit => **Astrometrie**

# *Peter van Kamp*

- Peter van Kamp versuchte nachzuweisen, dass Barnards Stern Planeten besitzt
  - Astrometrische Methode: basiert auf über 2000 Aufnahmen, zwischen 1938 und 1962
- Anfang 60er Jahre: 1 Planet mit 1.6 Jupitermassen und Umlaufzeit von 24 Jahren, ovale Umlaufbahn
- März 1969: 1.7 JM und UZ=25 Jahre

## *Peter van Kamp(2)*

- August 1969:
  - 2 Planeten !
  - Kreisförmige Umlaufbahnen
  - UZ: 26 und 12 Jahre
  - Massen: 1.1 und 0.8 JM

## *Peter van Kamp(3)*



- 1975:
  - Astrometrische Daten von 1950-1974
  - Massen: 0.4 und 1.0  $M_{\odot}$
  - UZ: 22 und 11.5 Jahre



## *Peter van Kamp(4)*

- 1982:
  - Astrometrische Daten von 1938-81
  - Massen: 0.7 und 0.5  $M_{\odot}$
  - UZ: 12 und 20 Jahre

## *Peter van Kamp (5)*

- 1973 Gatewood und Eichhorn versuchen die Theorie von van Kamp zu bestätigen mit astrometrischen Methoden – ohne Erfolg
- 1973: John Hershey untersucht die gleichen Foto-Platten wie van Kamp
  - Bezieht 12 Sterne in seine Studie ein
  - Alle 12 zeigen wobble in Eigenbewegung!

## *Peter van Kamp (6)*

- Zwei Möglichkeiten
  - Alle 12 Sterne besitzen Planeten
  - Probleme mit dem Teleskop des Sproul Observatory
- Bis heute konnte die Theorie von van Kamp nicht nachgewiesen werden !!

# *Methoden zum Planetennachweis*

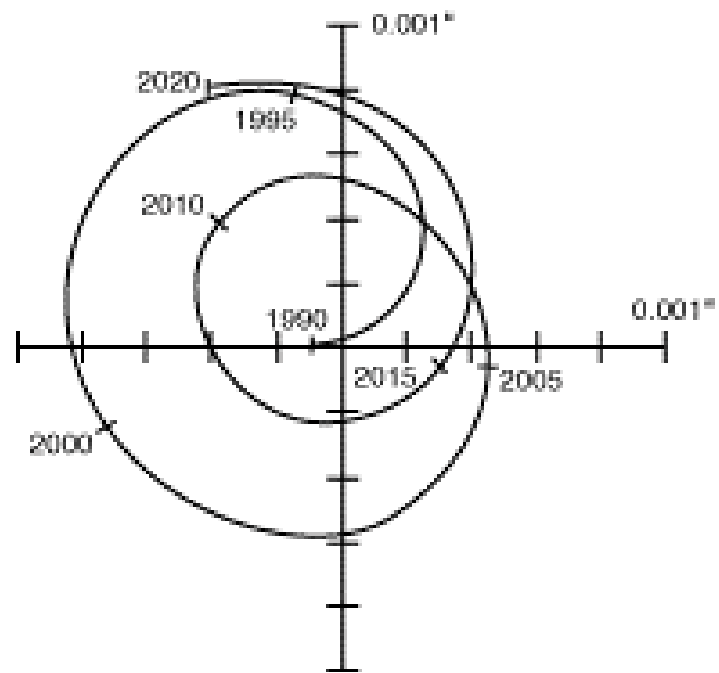


- Astrometrie
- Radialgeschwindigkeit
- Helligkeitsveränderung durch Planetendurchgang (*transit*)
- Gravitationslinse (*microlensing*)
- Direkte Detektion (*direct imaging*)

# *Astrometrie*

- Einfluss des Planeten auf Eigenbewegung des Muttergestirns sehr gering
- Beobachtungsfehler verursachen ähnliche Schwankungen
- Noch keine eindeutigen Funde

# *Astrometrie - Beispiel*



Astrometric displacement of the Sun due to Jupiter as seen from 10 parsecs.

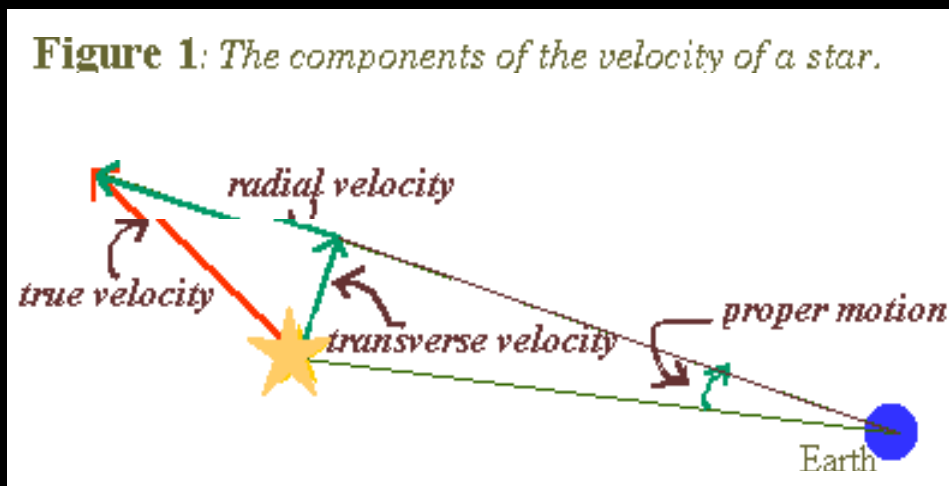
# *Astrometrie - Kandidaten*



- Barnard's Pfeilstern (6 LJ)
- Lalande 21185 (8 LJ)
- Proxima Centauris (4 LJ)

# Radialgeschwindigkeit

- Radialgeschwindigkeit = Geschwindigkeit, mit der ein Objekt sich auf uns zu- oder wegbewegt



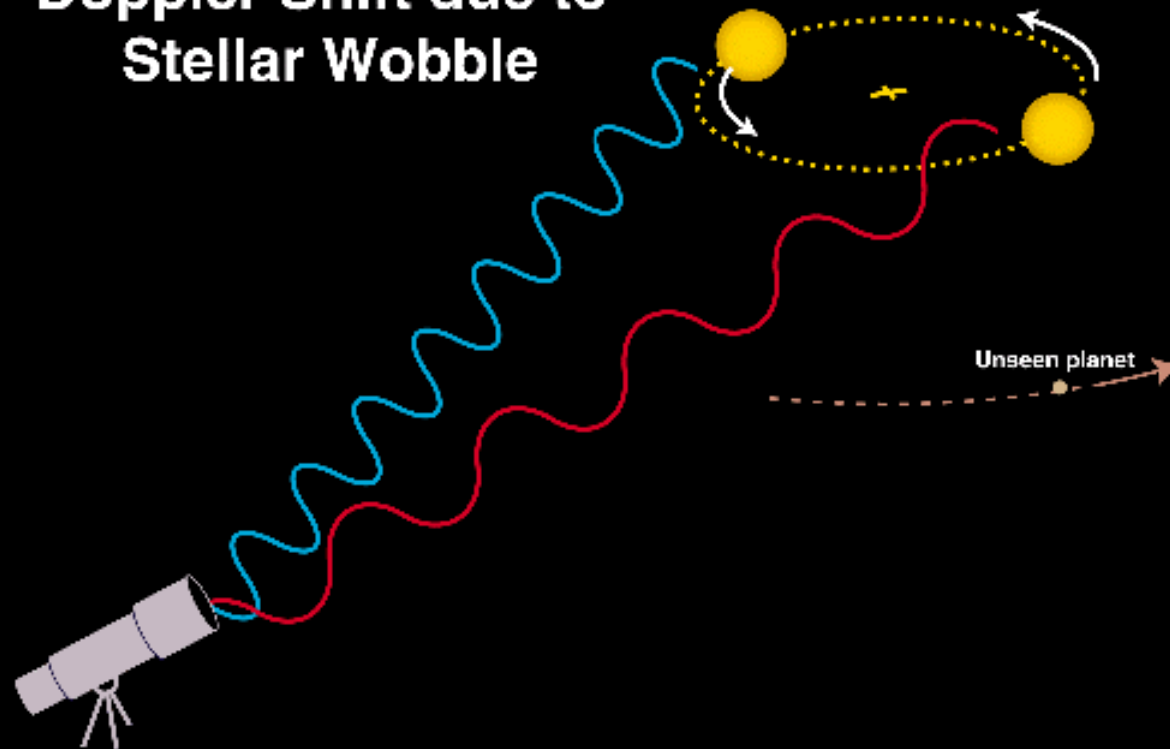


## *Radialgeschwindigkeit (2)*

- Sonne und Planet kreisen um ein gemeinsames Massezentrum
- Radialgeschwindigkeit unterliegt periodischen Schwankungen (Periode = Umlaufzeit des Planeten)
- Messung mit Hilfe des Dopplershifts

# Dopplershift

**Doppler Shift due to  
Stellar Wobble**



## *Radialgeschwindigkeit (3)*

- Erfolgreichste Methode: fast alle Exo-Planeten mit dieser Methode entdeckt
- Erlaubt Bestimmung der Lage, Umlaufzeit, und Masse des Planeten
- Besonders geeignet für Jupiter-ähnliche Planeten mit enger Umlaufbahn

## *Radialgeschwindigkeit (4)*

- Aktuelle Messgenauigkeit: 3m/s
  - Beispiel: Jupiter bewegt die Sonne mit 13m/s
- Nicht geeignet für die Detektion erdähnlicher Planeten
  - Beispiel: die Erde bewegt die Sonne mit 9cm/s

# *Einige Entdeckungen*

- 51 Pegasi (Mayor, Queloz, 1995)
  - Stern: Helligkeit: 5.5, Distanz: 42LJ, zwischen alpha und beta Pegasi
  - erste allgemein anerkannte Entdeckung
  - $D = 42\text{LJ}$ ;  $M = 0,5 M_J$ ;  $UZ = 4,23$

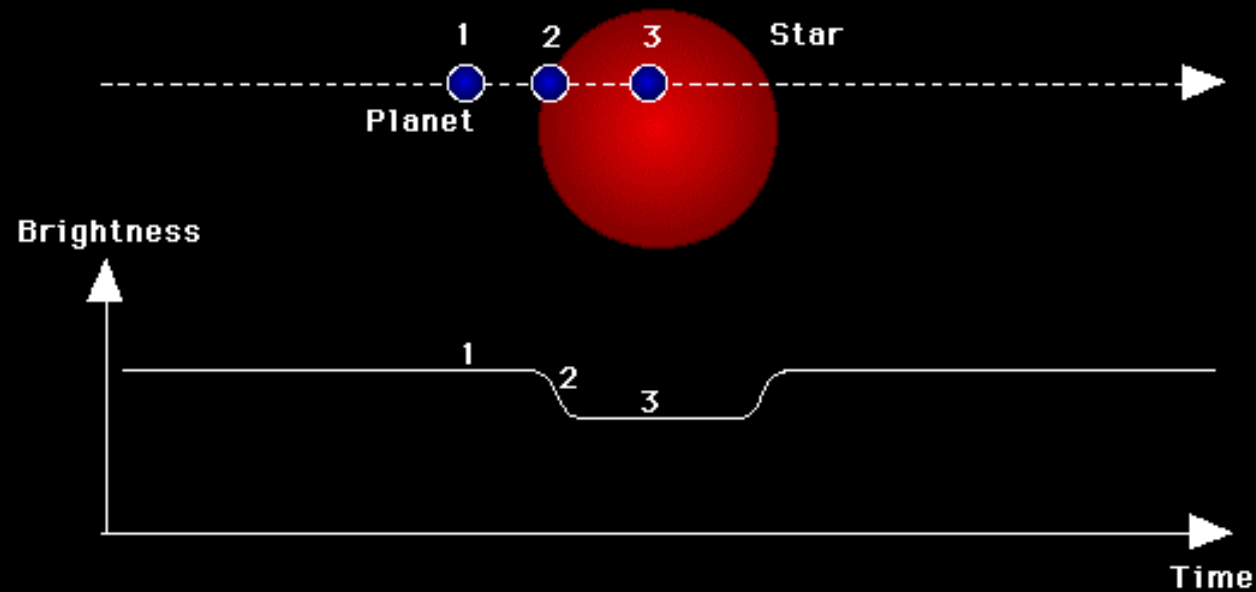
# Weitere Entdeckungen

<u>Stern</u>	<u>Magnitude</u>	<u>UB</u>	<u>D(pc)</u>
51 Pegasi	0.47 $M_{\text{jup}}$	0.05	15.4
tau Boo	3.87 $M_{\text{jup}}$	0.05	15.0
Ups And	0.68 $M_{\text{jup}}$	0.06	16.547
Ursae Maj	2.8 $M_{\text{jup}}$	~ 2	14.170
Virginis	6.4 $M_{\text{jup}}$	0.5	18.255
Cancri	0.8 $M_{\text{jup}}$	0.11	13.416
Cyg	1.5 $M_{\text{jup}}$	1.7	22

## *Transits (Photometrie)*

- In regelmässigen Abständen schieben sich sonnennahe Planeten vor die Sonne
- Ähnliches ist bei Exo-Planeten möglich
- Voraussetzung: Umlaufebene muss Sichtlinie enthalten
  - ⇒ viele Sterne müssen während längerem Zeitraum beobachtet werden

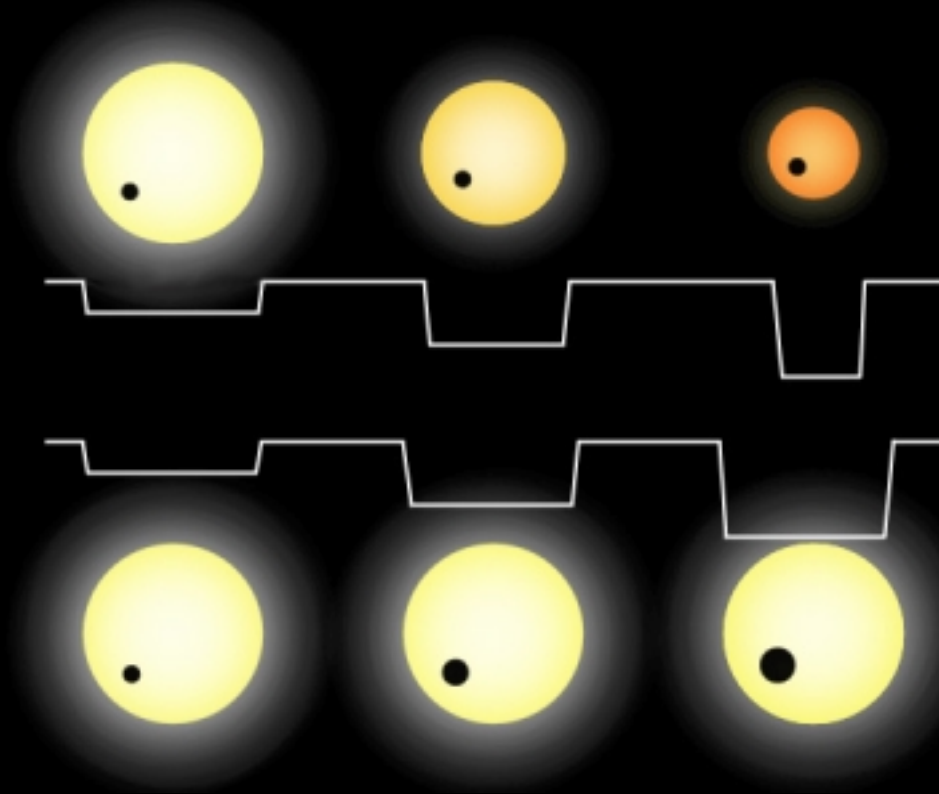
# Veranschaulichung





## *Transit (2)*

- Helligkeitsverlust hängt von relativer Grösse ab



## *Transit(3)*



- Oft in Verbindung mit der Radialgeschwindigkeitsmethode benutzt
- Beispiel: HD 209458 (Pegasus),  $D=153\text{LJ}$ 
  - RGM:  $UZ=3.5$  Tage; 10% Wahrscheinlichkeit, dass Umlaufbahn auf Sichtlinie liegt
  - Transit: 3 Stunden; 1,7% weniger Helligkeit

## *Transit (4)*



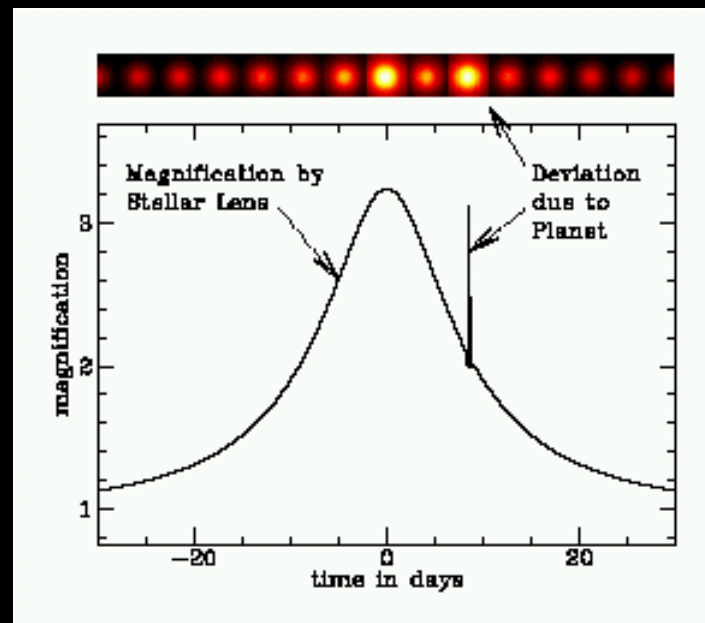
- Vorteil der Methode:
  - Bestimmung von
    - Grösse
    - Masse
    - Dichte
  - Erdähnliche Exo-Planeten
    - weltraumbasiertes Programm (2004)

# *Gravitationslinse (microlensing)*



- Lichtstrahl = Bahn eines Teilchens
- Abgelenkt vom Schwerefeld eines Himmelskörpers
- Abhängig von Geschwindigkeit aber unabhängig von der Masse des Teilchen
- Resultiert in Lichtbündelung => Lichtquelle erscheint heller

# Gravitationslinse (2)



## *Gravitationslinse (3)*



- Einzige Methode, die von der Erde erdähnliche Planeten nachweisen kann
- Passiert sehr selten und nur für kurze Zeit
- Bis jetzt noch keine definitiven Funde

# *Direkte Detektion*

- Problem: Sonne viel heller als Planet
- Unterschied 1000x geringer im Infrarotbereich; immer noch  $10^7$ x schwächer
- Eventuell: weltraumbasiertes Interferometer

# *Blick in die Zukunft*



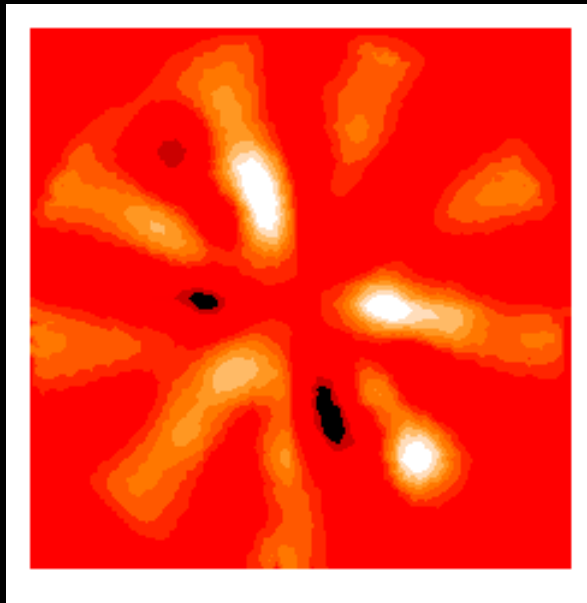
- Direkte Detektion
  - NASA NGST (Next Generation Space Telescope) (2007) (4m Teleskop)
  - ESA DARWIN (2015)
- Transits
  - COROT (France) (2003)=>transits
- Astrometrie
  - GAIA (ESA)



# *Darwin*



# *Darwin (2)*



nulling interferometer