

Entfernungsbestimmung

- umgangssprachlich: astronomische Beträge
- mit den Messmethoden änderte sich auch sehr das Bild vom Universum
- nächster Stern:
Proxima Centauri,
 $1,31 \text{ pc} = 4,27 \text{ ly}$
von der Sonne entfernt



Historische Methoden

- Aristarch von Samos: 320v Chr., Sonnenabstand = 19 Mondabstände (0,038 AE)
- Hipparchus (190 - 120 v. Chr.) und Ptolemäus (85 - 165) leiten aus Beobachtungen von Mondfinsternissen einen Sonnenabstand von 1210 Erdradien (0,051 AE)
- Nikolaus Kopernikus (1473 - 1543) und Tycho Brahe (1546 - 1601) gaben die mittlere Sonnenentfernung mit 1142 Erdradien an
- Edmond Halley (1656–1742) ersann eine Methode aus einem Planetendurchgang vor der Sonne die Sonnenentfernung zu bestimmen



Historische Methodier II

- Sonnenabstand zwischen 155 und 125 Millionen Kilometer aus Messung des Venus-Transit von 1761 (1 AE)
- Daraus per Kepler-Gesetze Entfernungen der Planeten in den richtigen Größenordnungen bis Saturn (10 AE)
- Entdeckung des Uranus 1781 (20AE)
- 1838 erste Sternparallaxen gemessen (10 pc)
- Entdeckung Neptun 1845



Quelle:
[http://www.pignatelli.de/
neptun/neptun.htm](http://www.pignatelli.de/neptun/neptun.htm)

Voyager 2 passiert
Uranus

Quelle:
<http://www.planetary.org/voyager25/voyager-story.html>

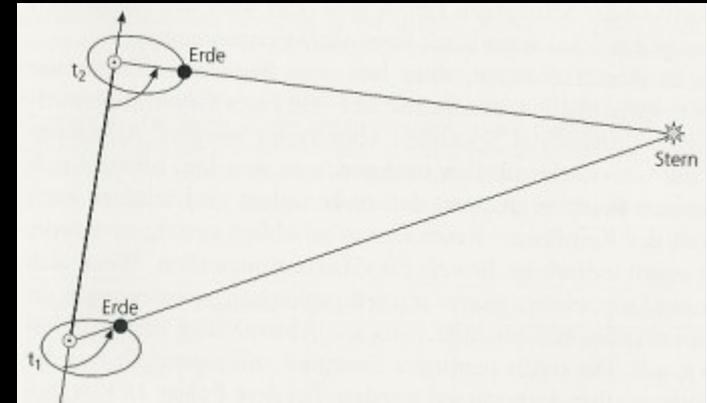


Trigonometrische Methoden

- Trigonometrie: Messung von Dreiecken
- Messung von Längen und Winkeln
- Rechnung mit Hilfe der Winkelfunktionen

Trigonometrische Parallaxe

- Anvisieren eines Objektes von zwei (möglichst weit) auseinander gelegenen Punkten aus der Geodäsie abgeschaut
- Parallaxenmessung bedient sich dieser Methode
- Bis 100 pc verwendbar
- Vergrößerung der Bezugslänge?
- Ausnützung der Pekuliarbewegung der Sonne (10 Jahre ~ 42 AE)
- Anderes Objekt kann sich auch bewegt haben, daher ...



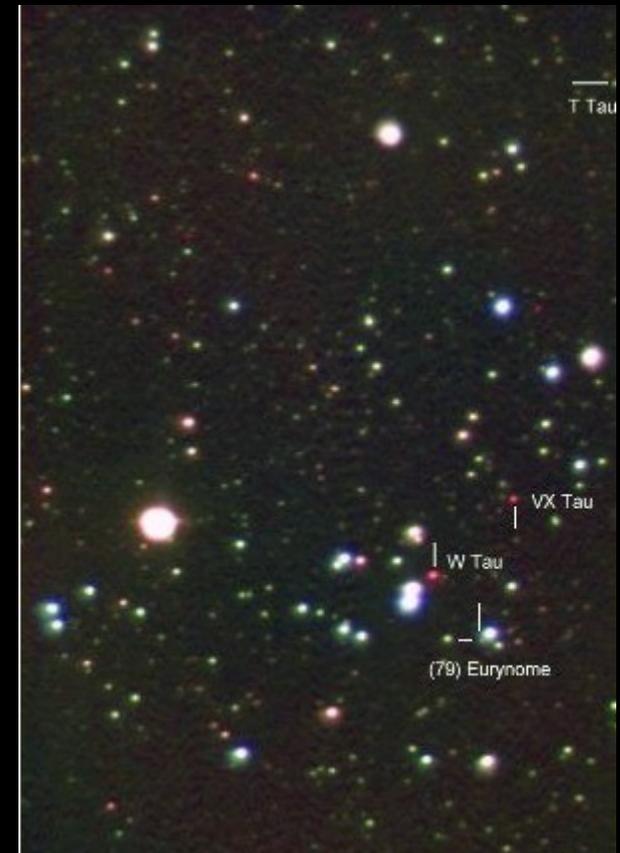
Bildquelle:Kühn/Das Milchstraßensystem

Sternstromparallaxen

- wird hauptsächlich zu statistischen Zwecken eingesetzt
- Sternstromparallaxe
- Beispiel: Die Hyaden bewegen sich in Richtung Beteigeuze
- Methode bis 1 kpc verwendbar

Links:

- Bauen eines Hyadenwürfels:
<http://www.physics.drexel.edu/~steve>
- Film: Ceres in den Hyaden:
<http://www.mpia-hd.mpg.de/suw/suw/SuW/1999/030-99/S258-Abb>



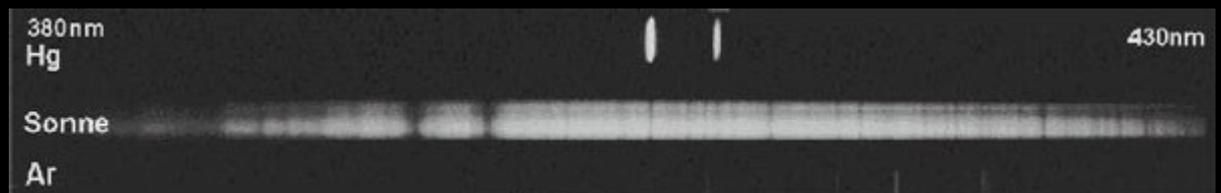
Quelle:<http://www.bela1996.de/astronomy/ccd.html>

Optische Methoden

- Ab einer gewissen Entfernung werden trigonometrischen Methoden unbrauchbar
- Zusammenhang zwischen Helligkeit und Entfernung
- Bestimmung der absoluten Helligkeit ohne die Entfernung zu kennen
- Verwendung der Sternspektren

Teil des Sonnenspektrums

Quelle: <http://www.astronomie.de/fachbereiche/spektroskopie/einfuehrung/5-1-sonne.htm>



Bestimmung über veränderliche Sterne

v.a. veränderliche Sterne gut geeignet: delta-Cephei- und RR-Lyrae-Sterne

- Eichung mit trigonometrischen Methoden
- Sterne im gleichen Sternhaufen / i.d. gleichen Galaxie sind so bestimmbar
- bis in den Mpc-Bereich verwendbar

Link: Veränderliche Sterne: http://cfa-www.harvard.edu/~jhartman/M3_movies.html

Messung mittels Dopplereffekt

Der Dopplereffekt ist aus der Akustik wohlbekannt. Bei Annäherung der Schallquelle erhöht sich die Frequenz des Tones. Bei Entfernung erniedrigt sie sich.

Link: Tonbeispiel: <http://www.stefan-haslinger.at/uploads/BildDerMilchstrasseBeamer/doppler.mp3>

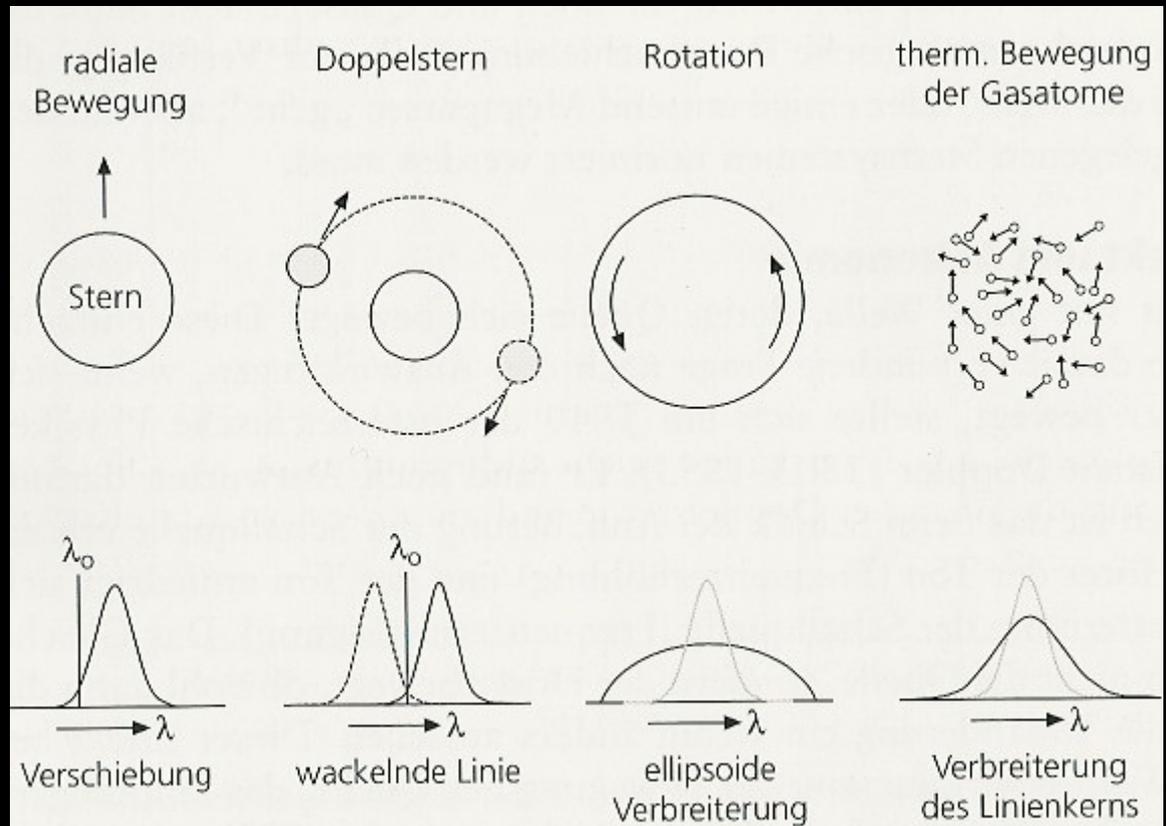
Quelle: <http://dansdepot.railfan.net/soundmp3.html>

Link: Grafische Darstellung: <http://www.walter-fendt.de/ph14d/doppler.htm>

- Analoges gilt für Licht, wenn auch die Änderungen um andere Beträge erfolgen
- Licht hat kein Trägermedium
- Es erfolgt keine Änderung der Geschwindigkeit der Wellen, sondern nur der wahrgenommenen Frequenz
- Bei Entfernung von Quelle zum Sender (oder umgekehrt) Frequenzerniedrigung (Rotverschiebung)
- Bei Annäherung Frequenzerhöhung (Blauverschiebung)

Doppler-Fizeau Effekt

- Armand Fizeau schlug 1848 vor, die Verschiebung der Spektrallinien zu messen → Bezeichnung Doppler-Fizeau Effekt
- aus den Spektrallinien lässt sich sogar noch wesentlich mehr ablesen



Quelle:Kühn/Das Milchstraßensystem

Link: Film zu Doppelsternbedeckungen <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2001/pr-22-01.html>

Weitere Methoden

- Ebenfalls eine optische Methode ist die Lasermessung
- für nahe Objekte (Satelliten, Mond) verwendbar
- Radarmessung

Kugelsternhaufen

- Aus unterschiedlichen Sternspektren Entfernung abgeleitet
- Unterschiedliche Populationen von Kugelsternhaufen mit Sternen unterschiedlicher Metallizität

Kugelsternhaufen M 13

Quelle: <http://www.mit-prolife-gesund-ernaehren.de/sternsysteme.htm>



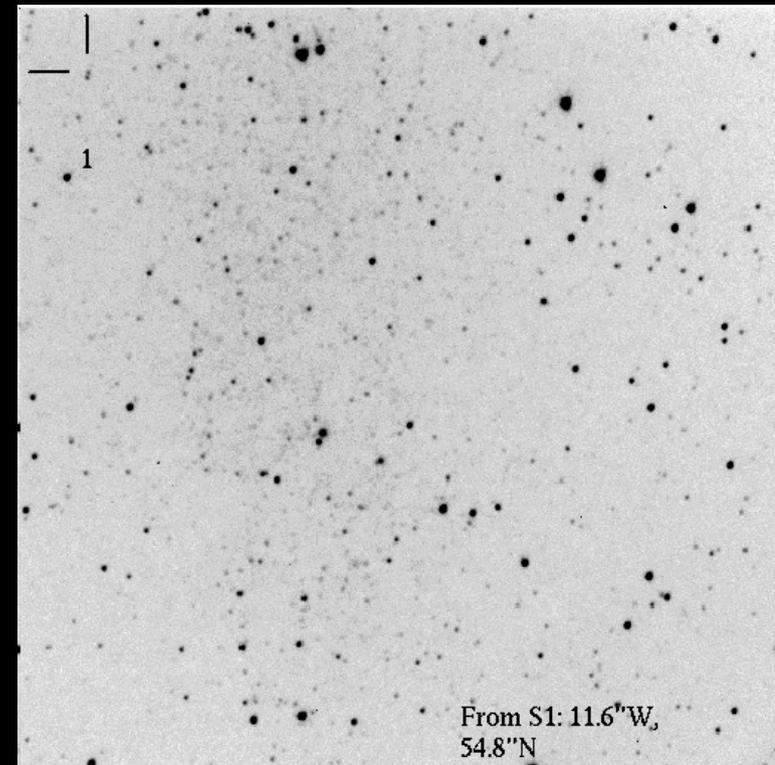
Novae

- Kataklysmischen Variable
- Doppelsternsystem eines weißen Zwerges, der von einem anderen Stern (meist roter Riese) Materie absaugt
- Wenn Druck und Temperatur an der Oberfläche gewisse Werte übersteigen, setzt Wasserstoffbrennen ein
- Helligkeit erhöht sich um 7–16 Größenordnungen
- Energieausstoß aus Verlauf der Lichtkurve errechnet
- daraus wahre Leuchtkraft abgeschätzt
- Vergleich mit scheinbarer Leuchtkraft ergibt Entfernung

Nova in NGC6822

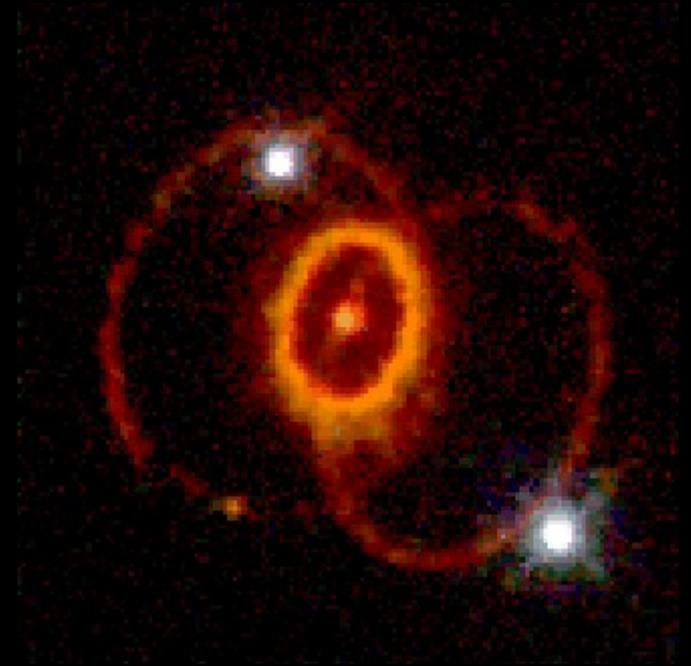
Quelle:

<http://astron.berkeley.edu/~bait/2003/nova-n6822.gif>



Supernovae

- Explosion eines massereichen Sterns
- Extreme Helligkeitserhöhungen
- 2 verschiedene Verlaufsmuster
- aus scheinbarer Helligkeit und Profil des Helligkeitsabfalls wird auf die Masse des ursprünglichen Sterns rückgerechnet
- daraus ergibt sich absolute Helligkeit
- aus der visuellen Helligkeit errechnet sich dann wieder die Entfernung



Supernovaüberrest SN 1987A

Quelle:

<http://csep10.phys.utk.edu/guidry/violence/sn87a-rings.html>

H II - Regionen

- Heiße ionisierte Wasserstoffgaswolken
- Leuchtkraft wird als relativ konstant angenommen
- Mittelung von verschiedenen Wolken im selben Gebiet (Statistik)

Link: Entfernungsmessung: <http://silvia-kowolik.de/astro/allg%20astronomie/entfernungsbestimmung/>