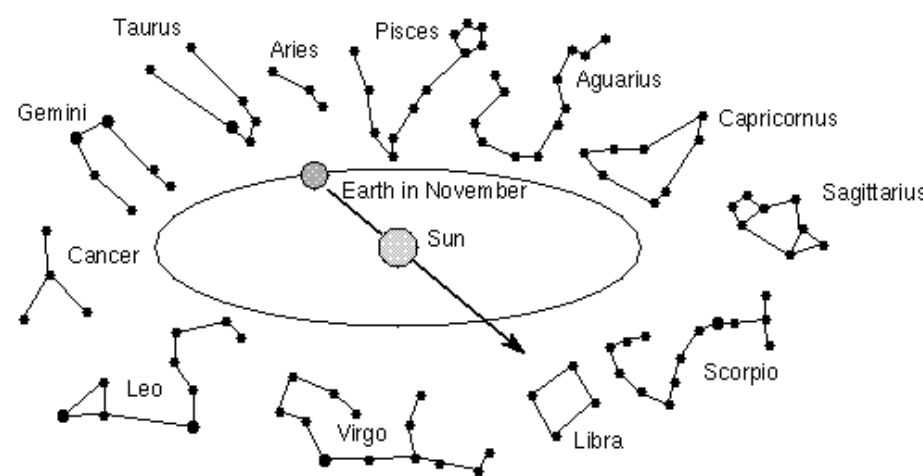
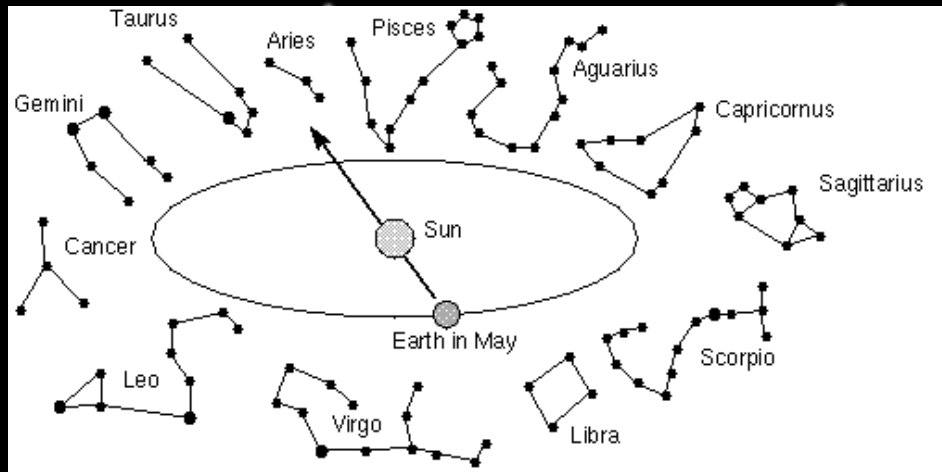


Vorlesung
Einführung in die Astronomie
Wintersemester 2009/10

Koordinatensysteme, Positions -
und Entfernungsbestimmungen.

Martin Miller

Die Ekliptik



As the Earth moves around the Sun, the Sun **appears** to drift among the zodiac constellations along the path called the **ecliptic**. The ecliptic is the projection of the Earth's orbit onto the sky.

Ekliptik
12 Sternbilder:
Tierkreiszeichen (Zodiak)

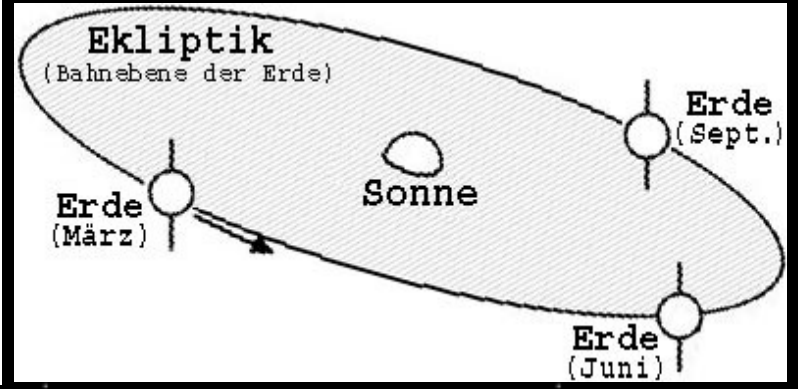
Die Rotationsachse der Erde steht nicht senkrecht zur Ekliptikebene, sondern in einem Winkel von 66 Grad.

Wechsel der Jahreszeiten

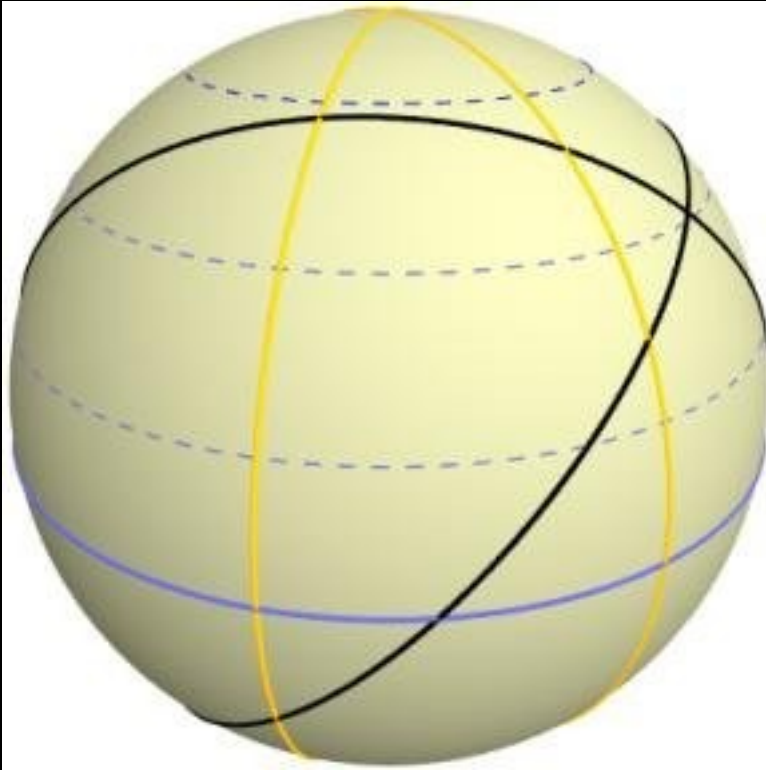
Elliptische Bahn (fast kreisförmig)

Perihel: 3. Januar (sonnennächster Punkt)

Aphel: 5. Juli (sonnenfernster Punkt)



Koordinaten auf der Erde



Verschiedene Großkreise (durchgezogene Linien)

1' = 1 Seemeile = 1.85 km

Meridiane=Längengrade (gelbe Linien)

Breitengrade (gestrichelt)

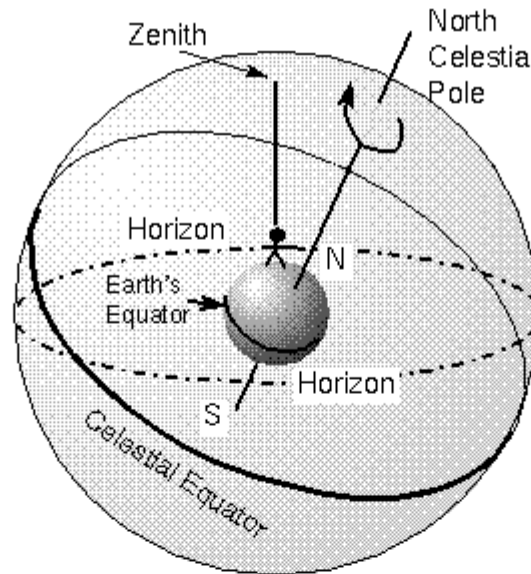
Koordinatensystem auf der Erde:

KOSMA-Observatorium liegt auf

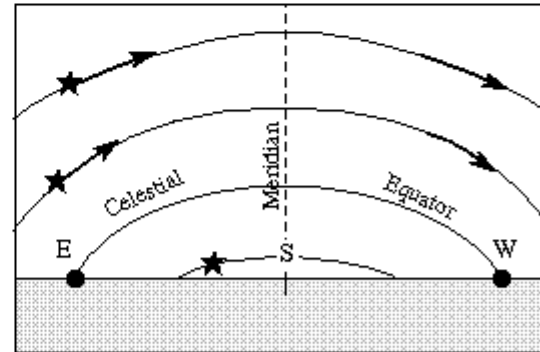
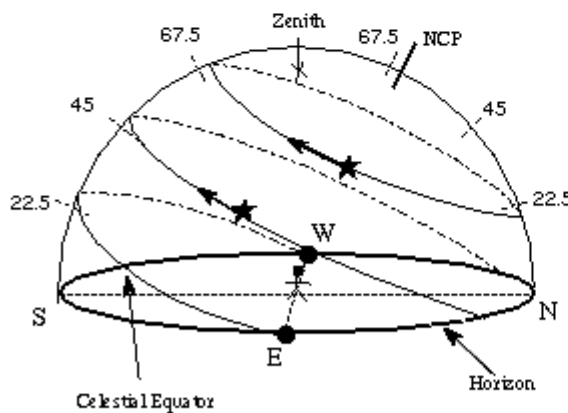
7 Grad 47.1 Minuten Geographische Länge und

45 Grad 59.1 Minuten Geographische Breite

Die Himmelsphäre



Höhe des Himmelnordpols = geogr. Breite des Beobachters
 Himmelsäquator schneidet den Äquator immer W & O
 Winkel zwischen HÄ und Horizont = $90 - \text{geogr. Breite}$
 Sterne bewegen sich parallel zum Himmelsäquator



Horizontsystem:

Sterne gehen im Osten auf und im Westen unter.

Meridian (Zenith, Nadir, Südpunkt)

Himmelsäquator

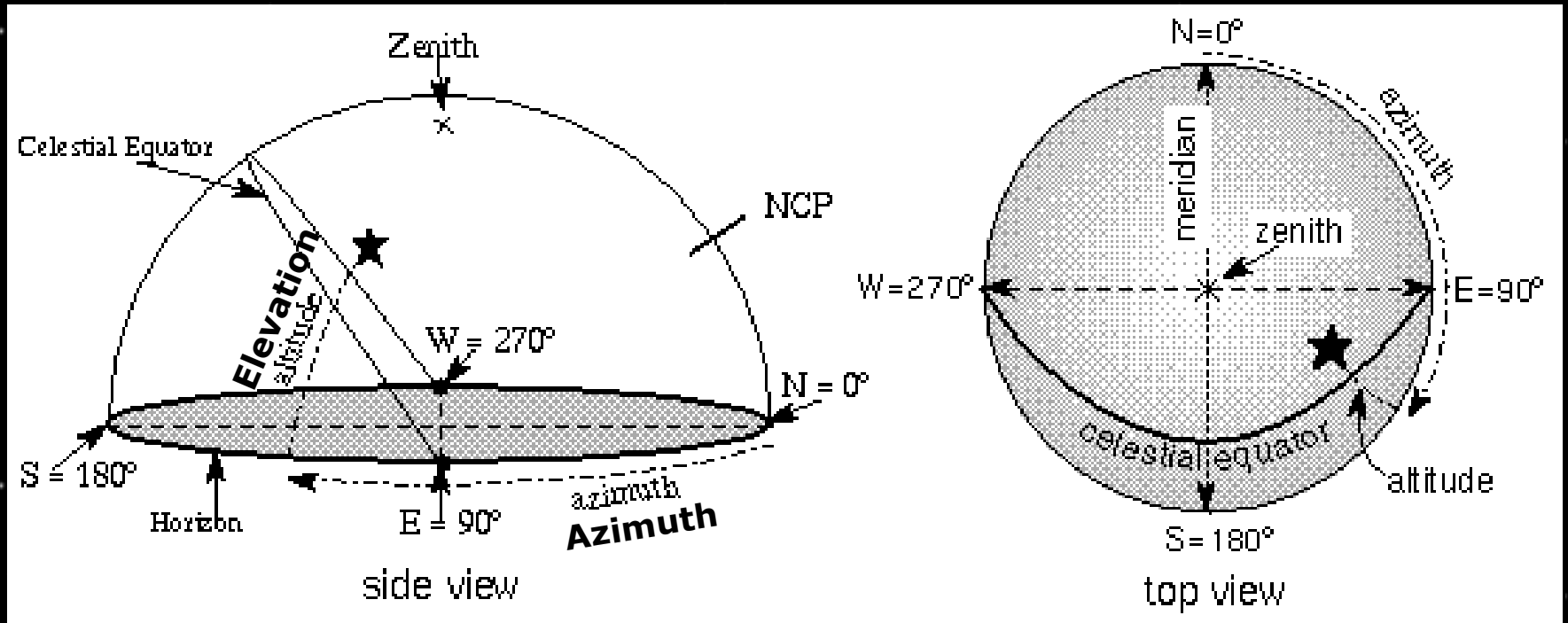
Sterne wandern auf Parallelkreisen relativ zum Himmelsäquator. Winkelabstand heißt Deklination.

Sternkoordinaten abhängig von Beobachtungsort & -zeit!

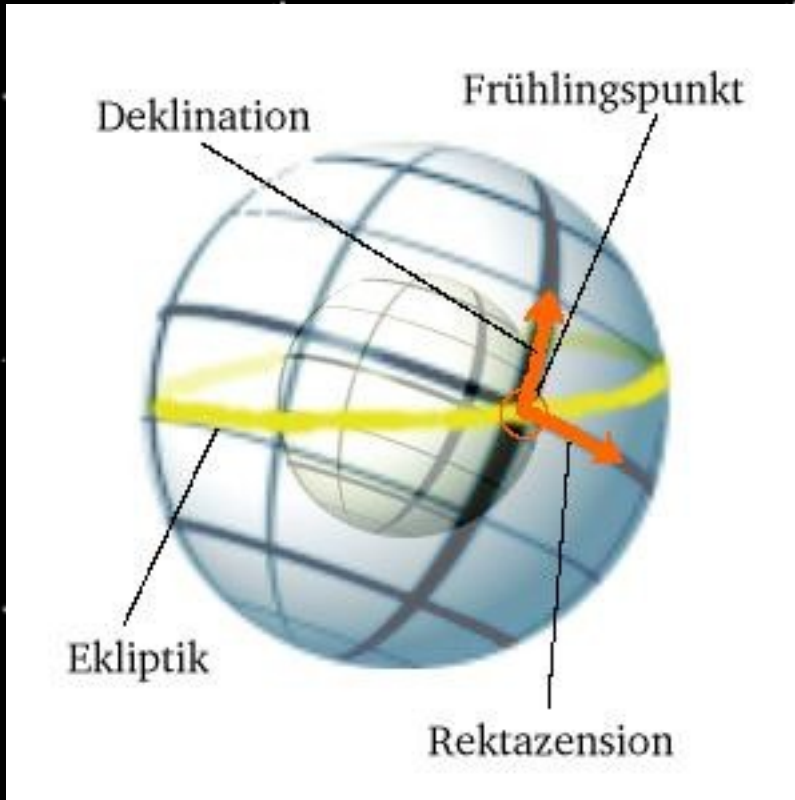
Im Folgenden noch besser erklärt.

Koordinatensysteme

Das Horizontsystem Azimuth und Elevation



Äquator und Ekliptik



Äquatoriales System:
Himmelsäquator
(definiert durch die
Äquatorebene der Erde)

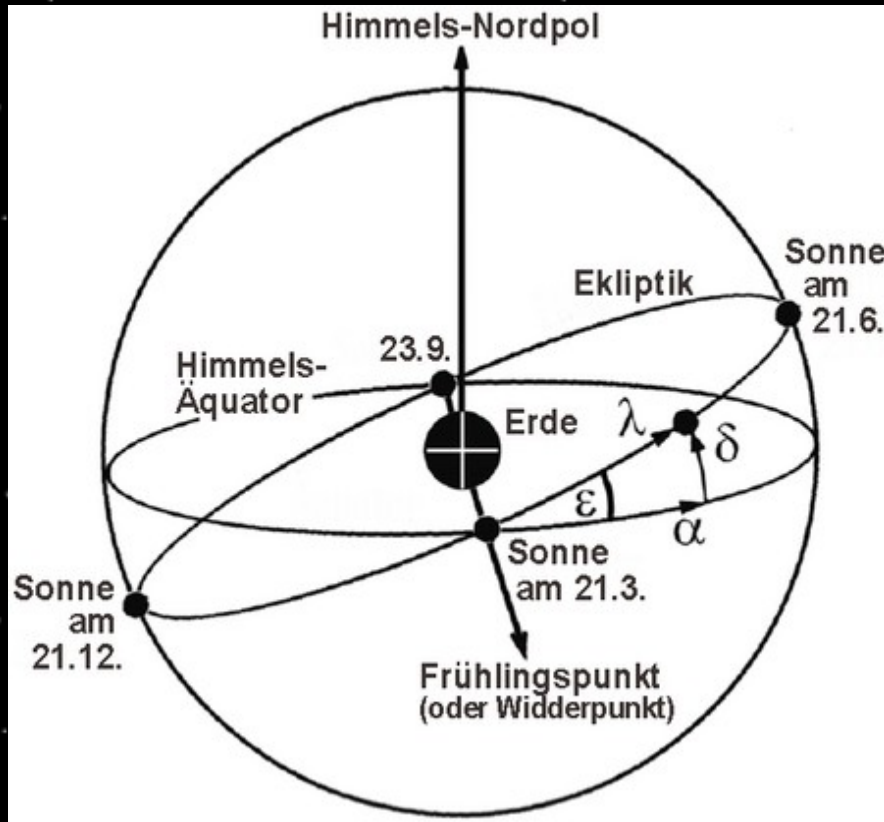
Ekliptik

Himmelspol

Frühlingspunkt

Rektazension entspricht geograph. Länge
Deklination entspricht geograph. Breite

Äquator und Ekliptik



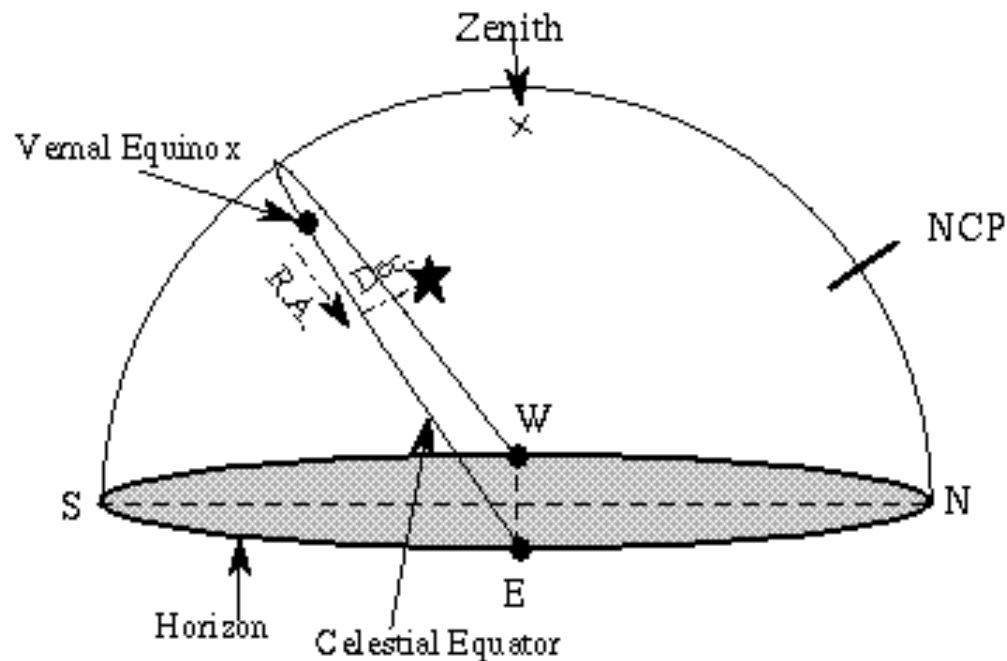
Äquatorialesystem:
Himmelsäquator
(definiert durch die
Äquatorebene der Erde)

Ekliptik und Himmelsäquator

Himmelspol

Frühlingspunkt = Nullmeridian

Das Horizontsystem und Äquatorialsystem RA & DEC



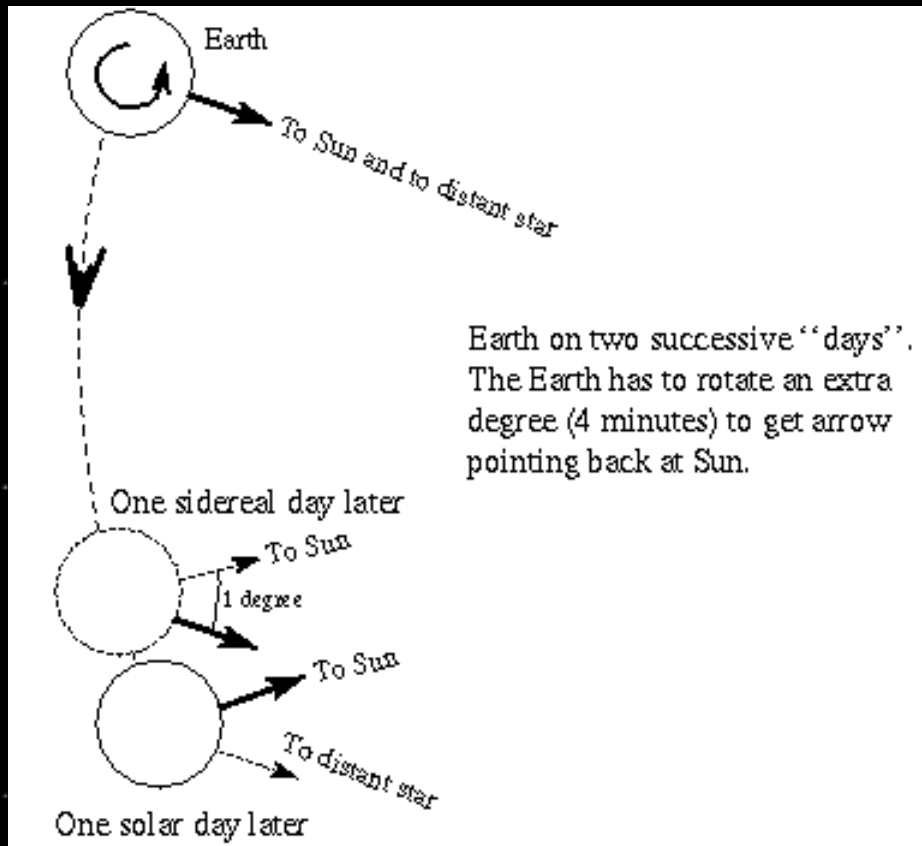
Längengrade werden zu Rektaszension: Stunden, Minuten, Sekunden

Breitengrade zu Deklination: Grad, Bogenminuten, Bogensekunden

Max. Höhe eines Sterns = $90 - (\text{Beobachters Breitengrad}) + \text{Deklination}$

(KOSMA-Observatorium: $90 - 45 + 0 = 45$ Grad für Orion mit ~ 0 Grad Deklination)

Zeitmessung, die wahre und mittlere Ortszeit, Sternzeit



Zeitbestimmung immer anhand periodischer Vorgänge

Traditionell anhand astronomischer Messungen

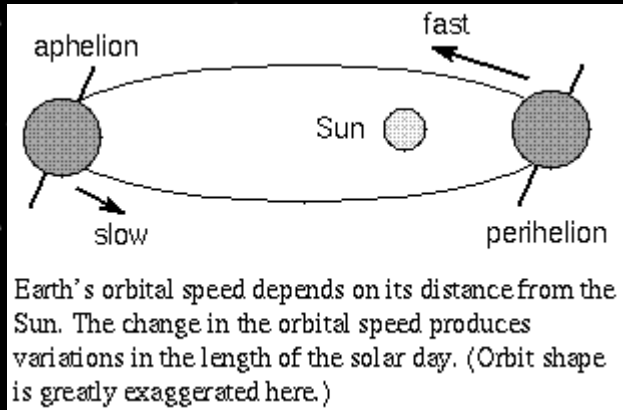
Erst seit wenigen Jahren anhand von Labor-messungen (Atomuhr)

Siderischer Sterntag + 4 Minuten = Sonnentag

365 Sonnentage = 366 Sterntage

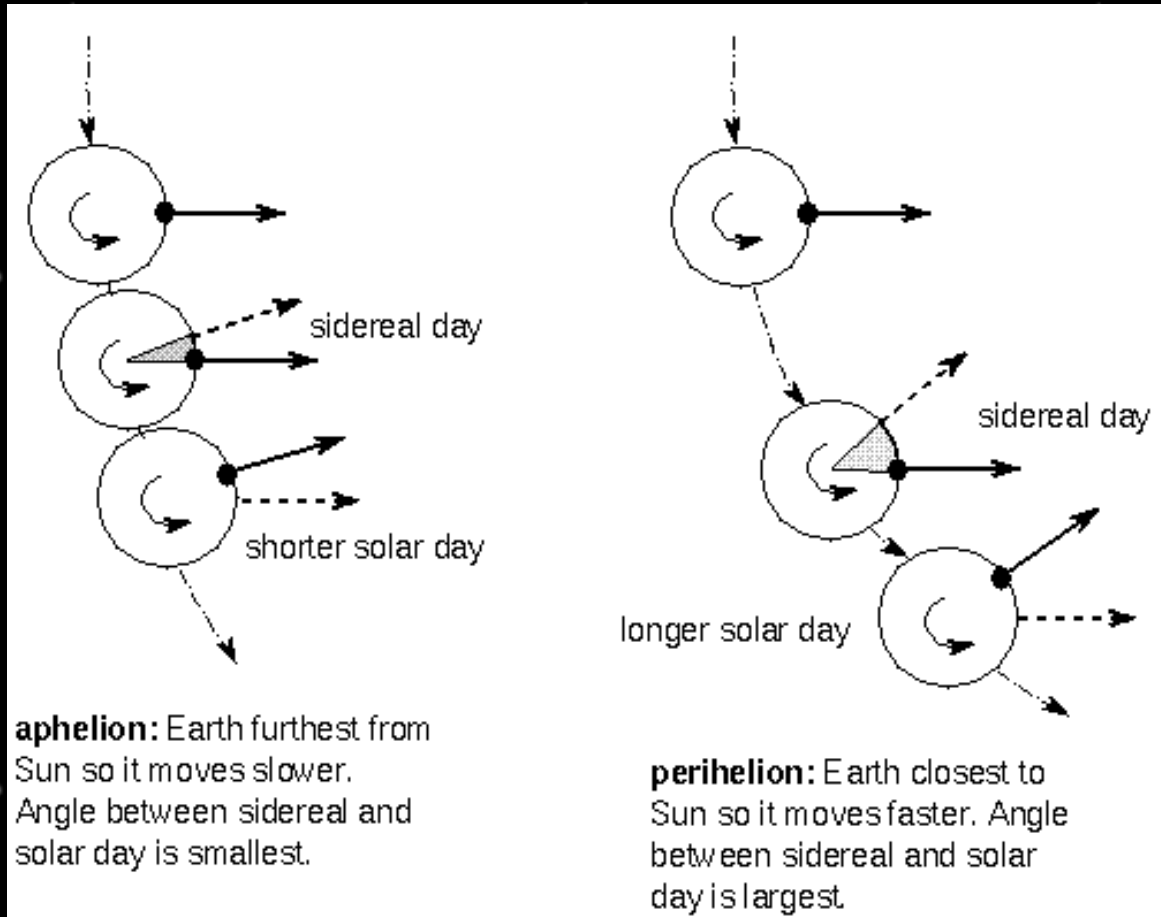
Die Elliptizität der Erdbahn

als Folge bewegt ist der Lauf der Sonne nicht gleichförmig



Aphel und Perihel
(Sommer und Winter
auf der Nordhalbkugel)

Tageslänge: abhängig von
Jahreszeiten



Die Zeitgleichung

= Wahre Zeit - Mittlere Zeit

Wahre Sonnenzeit (wahre Ortszeit):

Sonne erreicht höchsten Punkt um 12 Uhr Ortszeit

Anzeige von älteren Sonnenuhren

(Im Vergleich zu Atomuhr geht diese Sonnenuhr je nach Jahreszeit 16 Minuten vor oder nach.

Mittlere Ortszeit:

Jahreszeitlich gemittelte Zeit, d.h. Zeit für eine kreisförmige Erdbahn und ohne Neigung der Erdachse relativ zur Ekliptik.

Differenz = Zeitgleichung

Die Zeitgleichung

= Wahre Zeit - Mittlere Zeit

Wahre Sonnenzeit (wahre Ortszeit):

Sonne erreicht höchsten Punkt um 12 Uhr Ortszeit

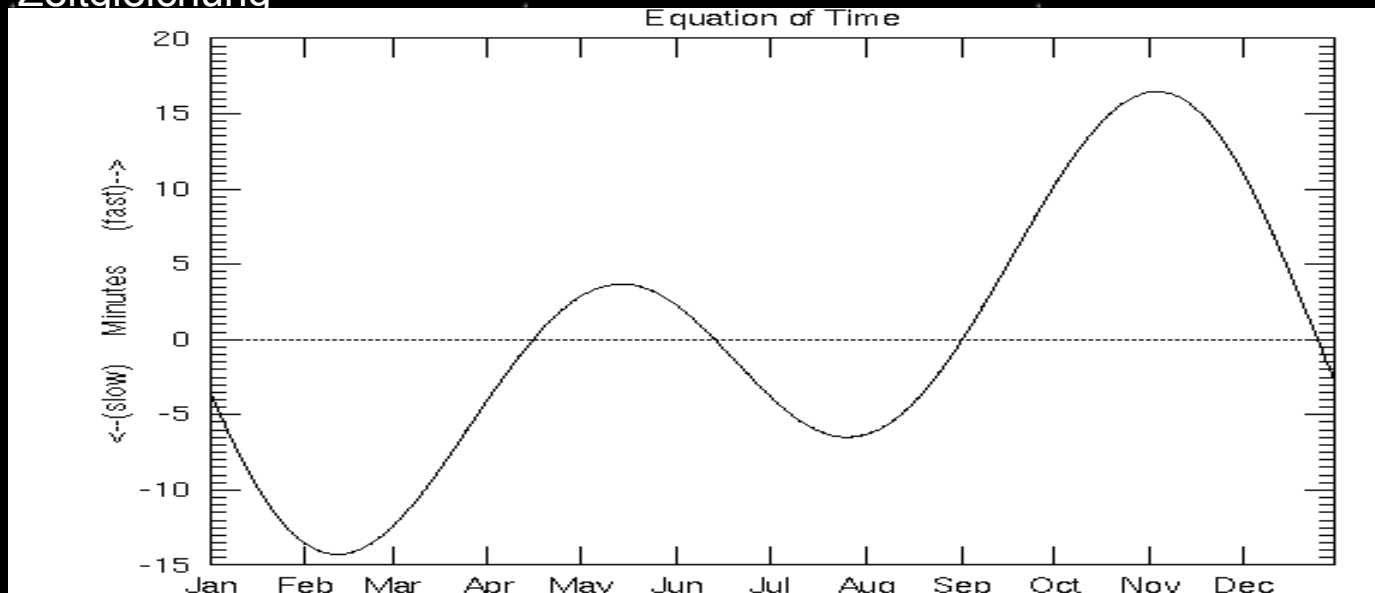
Anzeige von älteren Sonnenuhren

(Im Vergleich zu Atomuhr geht diese Sonnenuhr je nach Jahreszeit 16 Minuten vor oder nach.

Mittlere Ortszeit:

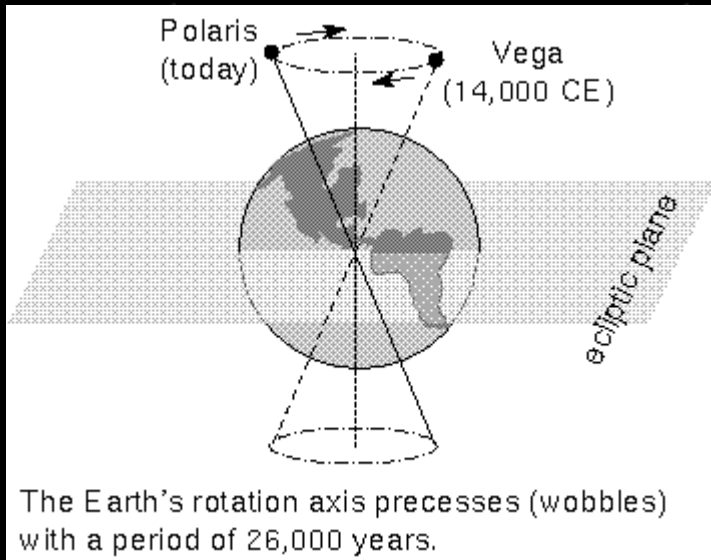
Jahreszeitlich gemittelte Zeit, d.h. Zeit für eine kreisförmige Erdbahn und ohne Neigung der Erdachse relativ zur Ekliptik.

Differenz = Zeitgleichung



Abweichungen in der Positionsbestimmung

- Präzession: 50.4" pro Jahr



Sonne & Mond versuchen: den Äquatorwulst in die Ekliptik zu kippen. Als Folge führt die Erdachse eine Präzessionsbewegung auf einem Kegel um den Pol der Ekliptik aus.

Die Erdachse präzidiert mit einer Periode von 26.000 Jahren

- Nutation:

der Mondbahn ist um 5 Grad relativ zur Ekliptik geneigt. Sonnenanziehung wirkt auf Mond, daher präzessiert. Das wiederum beeinflusst die Erde)

~9"

- Aberration:

(jährliche, tägliche, säkulare): Konstante = 21"

(Anschaulich: Regen bei Windstille aus fahrendem Zug)

- Refraktion:

in der Atmosphäre: bis zu 35' am Horizont (wellenlängenabhängig)

Entfernungsbestimmung

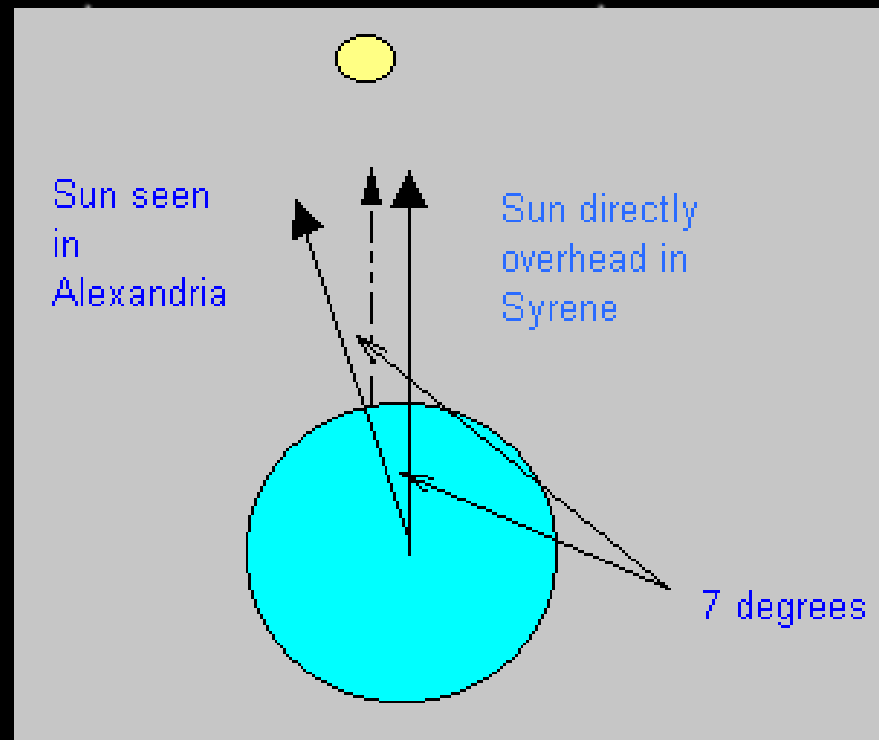
Wie misst man Entfernungen?

- Licht ist die (fast) einzige Informationsquelle
 - Wir blicken immer zurück in die Vergangenheit!
 - In einigen Fällen sehen detektieren wir Photonen, die vor einigen Milliarden Jahren ausgesandt worden sind.!!
- „Standardkerzen“ spielen eine wichtige Rolle
 - Quelle bekannter Leuchtkraft, wie z.B. die Sonne
 - Gelingt es einen Stern wie die Sonne in großen Entfernungen wiederzuerkennen und seine scheinbare Helligkeit zu messen, dann kann die Entfernung bestimmt werden.

Entfernungsbestimmung

- I. Erde ist eine Sphäre: Erdschatten auf Mond während einer Mondfinsternis
- II. Bestimmung des Erddurchmessers 300 Jahre v.Chr. :

Eratosthenes
~290 v.Chr.



Annahme:
Sonne in weiter
Ent-
fernung

Unterschiedlicher
Schattenwurf:
Erde kann keine
Scheibe sein!

7 Grad = $7/360$ oder $\sim 1/50$ eines kompletten Kreises

1/50 des Erdumfangs = 5000 Stadien \Rightarrow Erdradius = 40 000 Stadien
4000 km vs. 6380 km

Die Entfernung zum Mond

Aristarchos: Erd- zu Monddurchmesser ~ 3 durch Vergleich von Erdschatten auf Mond während einer Mondfinsternis und Mondkrümmung

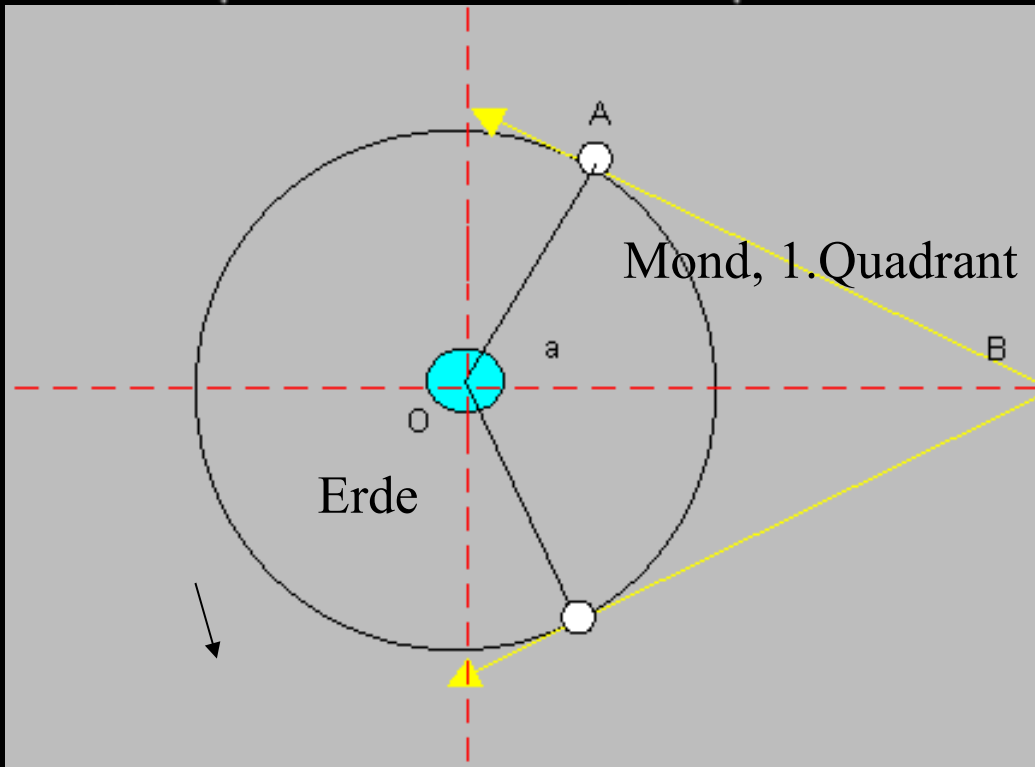


Monddurchmesser / Entfernung Erde-Mond = $\tan(30')$.

Hipparchos (190 - 125 v.Chr.):

Entfernung und Radius von Sonne und Mond durch Finsternisbeobachtungen

Die Entfernung zur Sonne



$$OA/OB = \cos(a) \Rightarrow OB = OA / \cos 87 = OA / 0.0523 = 19.1 OA$$

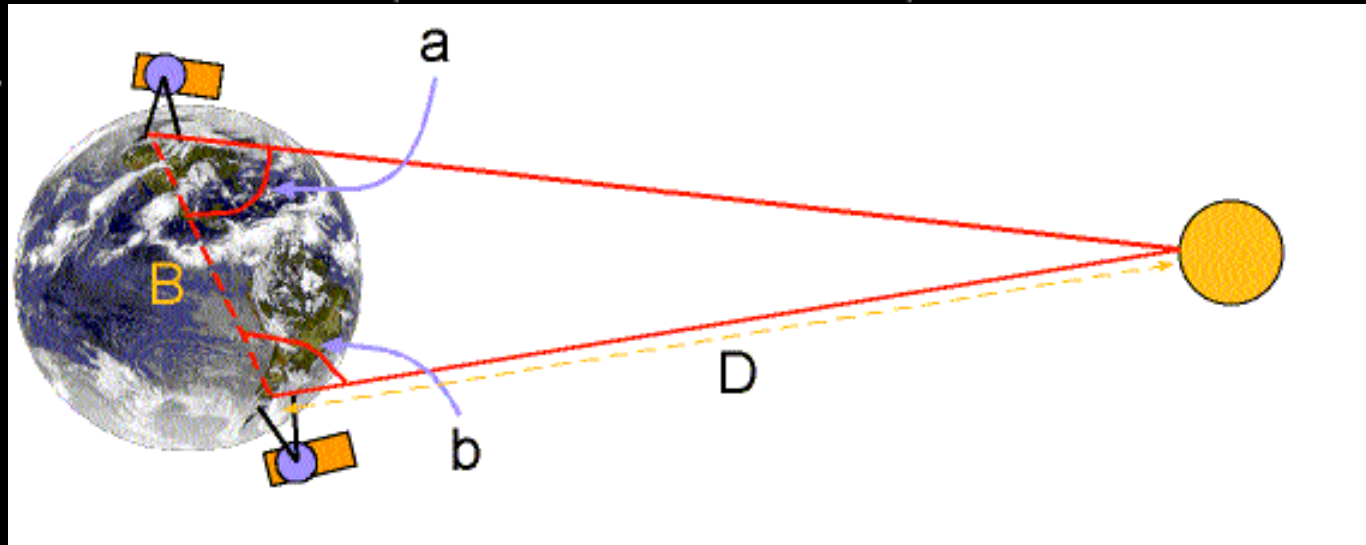
6.2 Millionen km vs. 150 Millionen km (1 AE)

Moderne Messungen nutzen Radarreflektionen: Die Sonne ist 390 mal weiter entfernt als der Mond.

Sonnenfinsternisse zeigen, dass Sonne und Mond fast gleiche Winkeldurchmesser haben. Daraus folgt, dass die Sonne 390 mal größer ist als der Mond.

Moderne Entfernungsbestimmung

- Tägliche **Parallaxe** für Objekte im Sonnensystem



besser: Radar- und Lasermessungen

Radar im Sonnensystem

Sonne: 16 min (1 AE)

Pluto: ca. 9 h (40 AE)

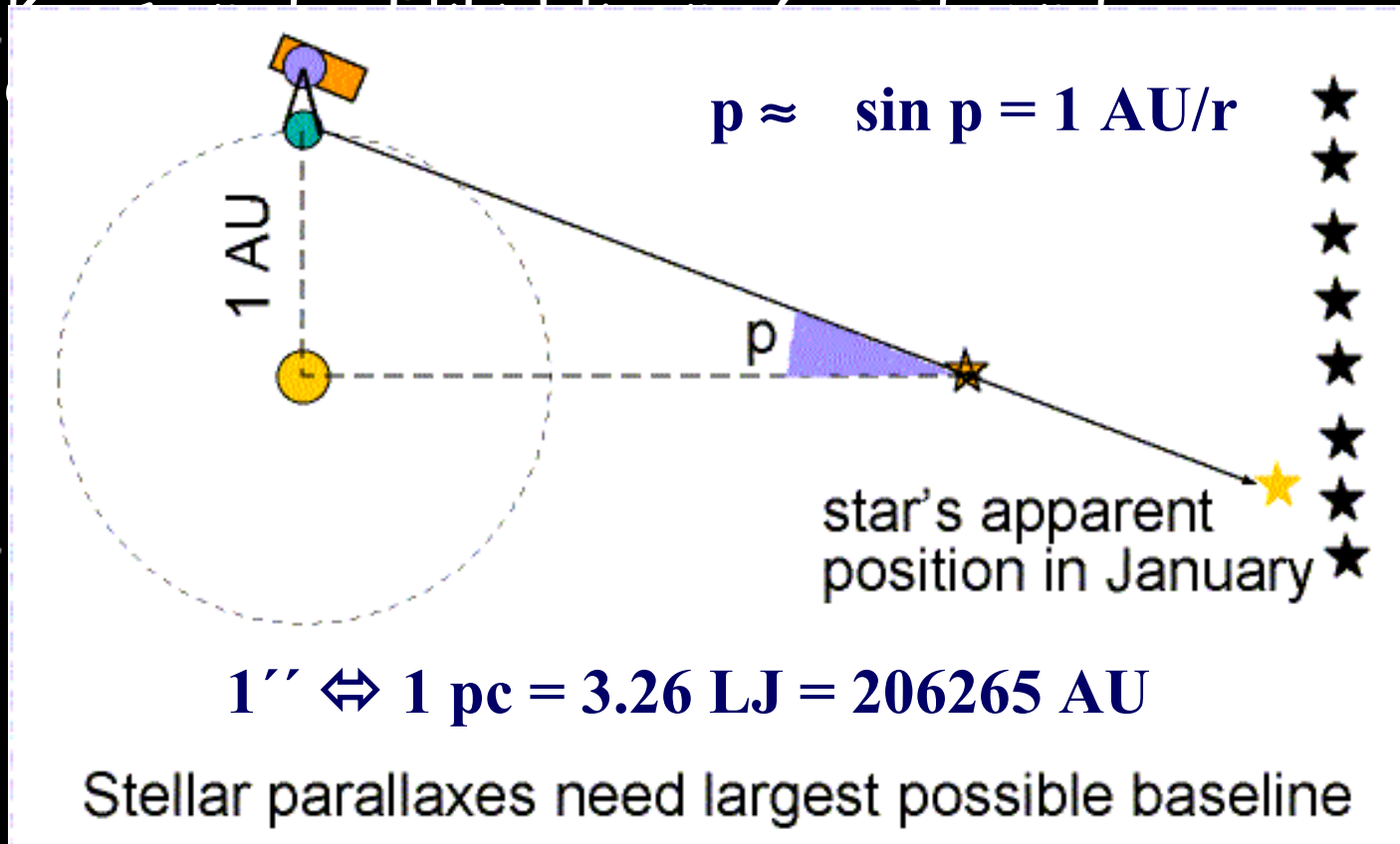


Kleinplanet 1980PA (3908) Komposit aus 2x9 Bildern, obere Reihe: 150/1200mm Zeiss APQ, Veyras, untere Reihe: 8" EDF Höchstberg
1. 11 1996, 21^h00^m-21^h40^m UT, 9 Parallelaufnahmen mit 15^s bzw. 10^s Bel.-zeit mit 5^m Zeitabstand, F. Zuber, Veyras, M. Miller, Höchstberg

Moderne Entfernungsbestimmung

- Trigonometrische Parallaxe

Ein naher Stern beschreibt jährlich am Himmel relativ zu den weit entfernten Hintergrundsternen am Pol der Ekliptik einen Kreis in der Ebene der Ekliptik. Ein Beobachter auf der Erde sieht den Stern von zwei verschiedenen Positionen aus, die durch die Erdbahn getrennt sind. Die scheinbare Verschiebung des Sterns ist die Parallaxe p .



Bessel (1838) in Königsberg: Stern 61Cyg $p=0.313''$

Entfernungen / Astrometriesatelliten

150 Mio km = 1 AU Sonne-Erde

40 AU Sonne-Pluto

1.3 pc = 268 000 AU Sonne – proxCentauri

2.6 pc Sonne – Sirius

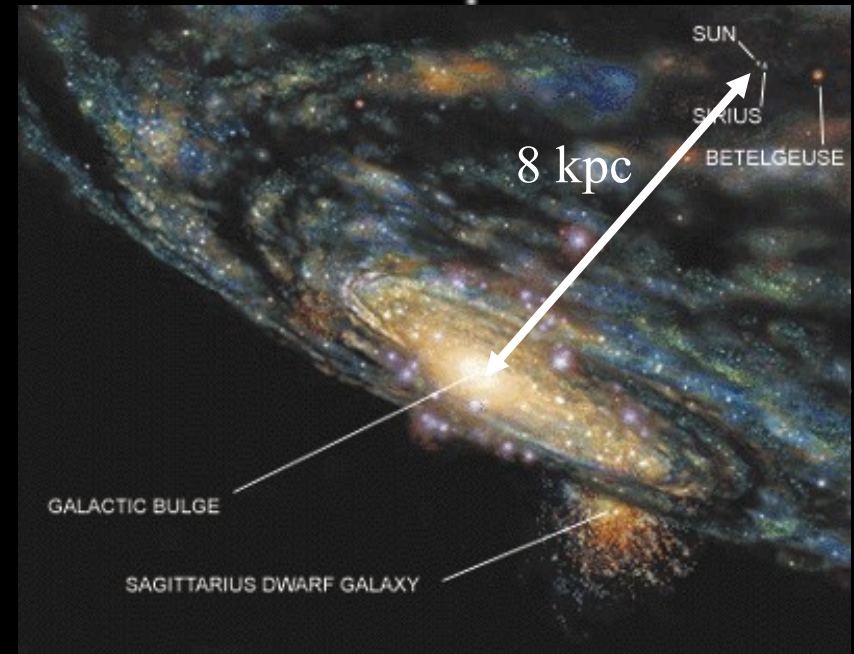
65 pc Sonne – nächste Molekülwolke

500 pc Sonne – Orion-Wolke

8 kpc Sonne – galaktisches Zentrum

0.66 Mpc Sonne – Andromeda Galaxie M31

20 Mpc Sonne – Virgo Cluster



1'' entspricht 1 pc = 3.26 LJ = 206265 AU

1pc = typischer Abstand zwischen Sternen in Sonnenumgebung

Schlesinger (1903) erreichte photographische Genauigkeit von 0.01"

Hipparcos-Astrometriesatellit gestartet 1989 (High Precision Parallax Collecting

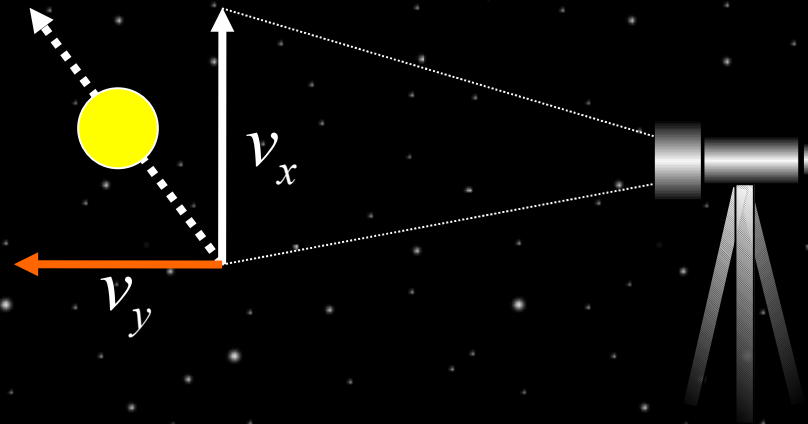
Satellite): 120000 Sterne bei 0.001'' <-> 1kpc

(0.001" entspricht dem Winkeldurchmesser eines Golfballs auf der anderen Seite des Atlantiks!)

Geschwindigkeiten der Sterne

Radialgeschwindigkeit über Dopplereffekt $v_r = c \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0}$ (km/sec):

Eigenbewegung (proper motion): (arcsec/Jahr)



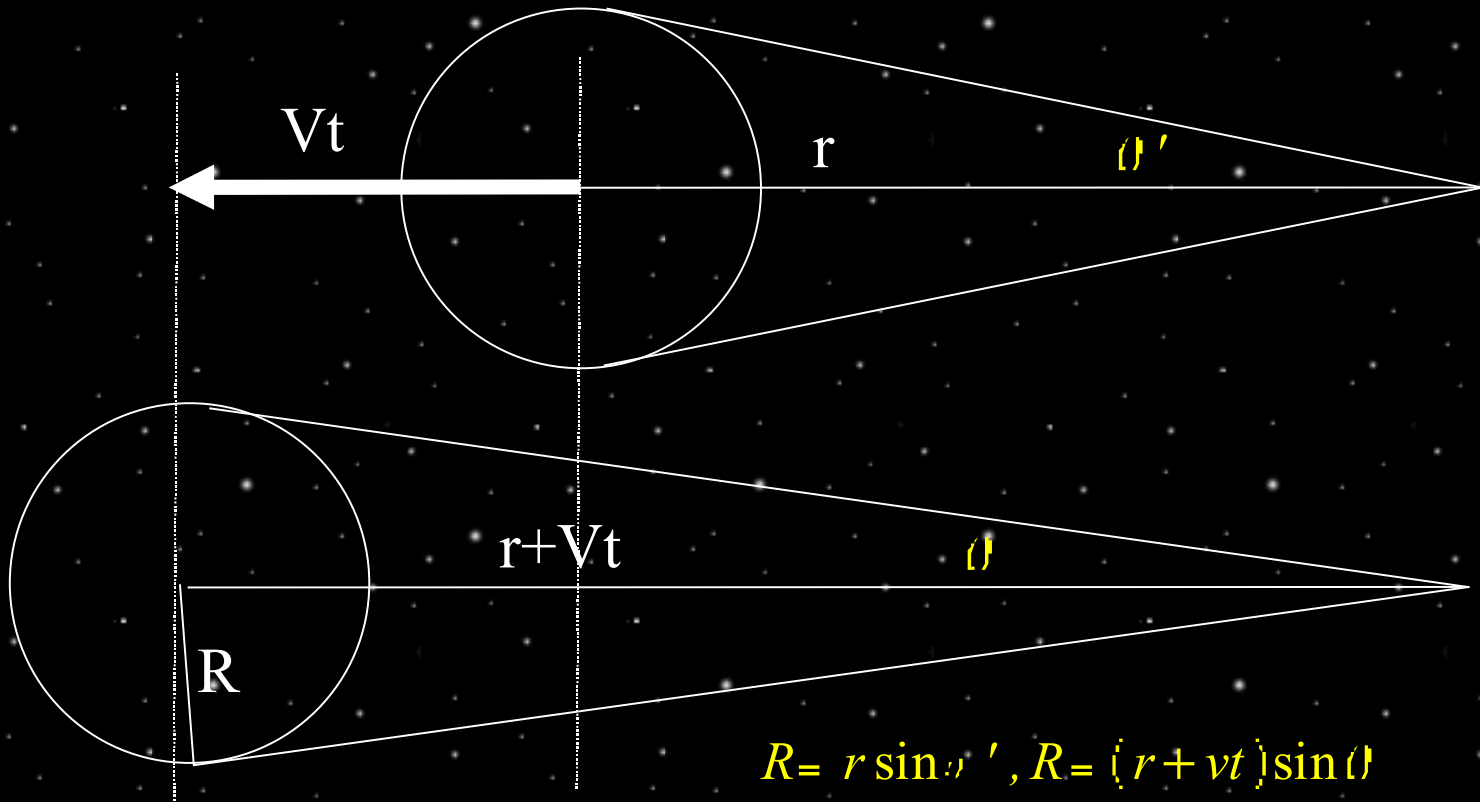
Ein offener Sternhaufen: M7 im Skorpion



- ca. 100 Sterne, ca. 200 Mio Jahre alt, ca. 10 pc Durchmesser

Sternstrom-Parallaxe (moving cluster method)

- Vergleich mit Entfernungsabschätzung im Straßenverkehr
- Der Cluster-Durchmesser bleibt konstant, aber die Entfernung vergrößert sich.
- Der Winkeldurchmesser verkleinert sich merklich mit der Zeit.
- Zur Bestimmung der Entfernung r müssen bekannt sein:
die Winkeländerung mit der Zeit, die Geschwindigkeit des Clusters.



$$\text{Entfernung } r = \frac{vt \sin \theta}{\sin \theta' - \sin \theta} = vt \theta / \Delta \theta$$

Die Hyaden am Himmel

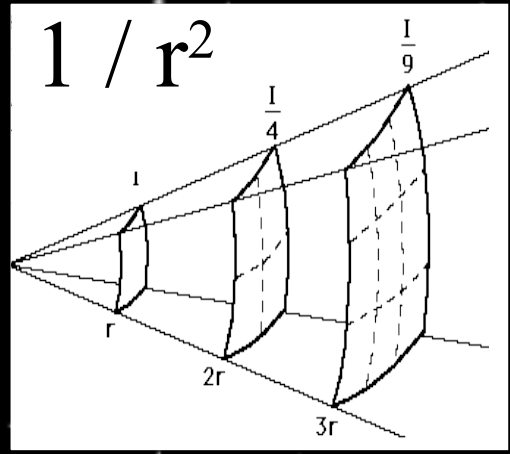
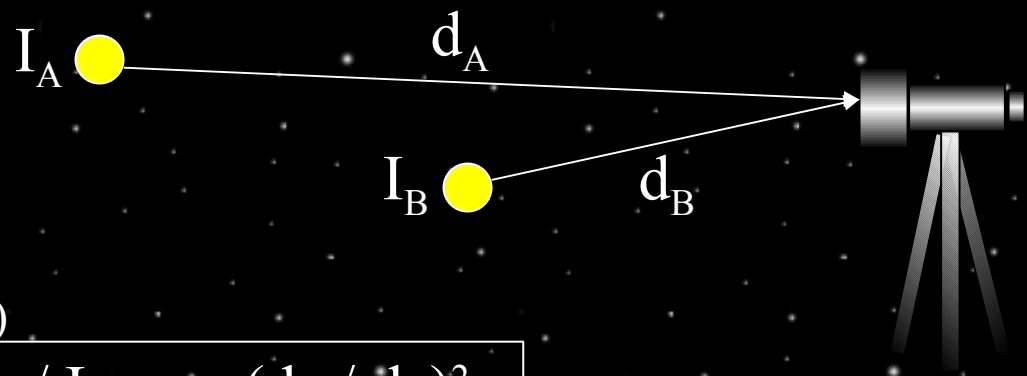
$\Rightarrow \sim 42 \text{ pc}$



- Reichweite und Genauigkeit dieser Methode ist ähnlich wie bei den trigonometrischen Parallaxen mit Hipparcos. (bis ca. 1Kpc)

Die scheinbare Helligkeit eines Sterns hängt ab von der Entfernung (absolute - und scheinbare Helligkeiten m)

m_{abs} & m_{app} bekannt, $m_{\text{app}} \downarrow$ wenn $d \uparrow$



(1)

$$I_A / I_B = (d_B / d_A)^2$$

Scheinbare Helligkeit m

Konzept der Größenklassen stammt aus der Antike:

Einteilung der Sterne in 6 Größenklassen nach Helligkeitseindruck, also logarithmisch.

Vorfaktor 2.5 wurde eingeführt, um exakte heutige Definition an historische Beschreibung anzupassen. (das erscheint vielleicht anachronistisch und verwirrend)

$$m_A - m_B = -2.5 \log_{10} (I_A / I_B)$$

Festlegung des Nullpunkts der Skala scheinbarer Helligkeiten: mit Aperatur, die gleiche spektrale Empfindlichkeit hat wie das Auge: visuelle Helligkeiten Polarstern $m = 2.12m$, dann folgt: Sonne: $m = -26.7m$, Sirius: $m = -1.4m$, schwächster Stern für das Auge: $m = 6m$, schwächster Stern für Teleskope $m = 24m$.

Größenklassenzählung wird im optischen Bereich verwendet.

Radioastronomen messen scheinbare Helligkeit in Jansky: $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$

Röntgen- oder Gammaastronomen rechnen in $\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ oder in Zahl der Quanten $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ keV}^{-1}$.

Absolute und scheinbare Helligkeit m

Definition der Helligkeitsskala:

Scheinbare Helligkeit m (Energie pro Zeit und Fläche bzw. Energiestrom)
gerechnet in Größenklassen: m = 1^m Stern 1. Größe

$$m_A - m_B = -2.5 \log_{10} (I_A / I_B)$$

(historisch motivierte Definition
der Größenklassen)

Scheinbar hellster Stern: Sonne

Schwächster noch messbarer Stern: 50^m Unterschied: entspricht $I_1/I_2=10^{20}$!!

(logarithmische Definition ist sicher sinnvoll)

Absolute Helligkeit M:

(1) in (2)

$$m_B - m_A = 2.5 \log_{10} (d_B / d_A)^2$$

m(10pc) definiert als M:

$$d_A = 10 \text{ pc}, m_A = M_A$$

$$m - M = 5 \log_{10} (d / 10\text{pc})$$

(Entfernungsmodul)

$$d = 10^{0.2(m - M + 5)}$$

Das Entfernungsmodul

Entfernungsmodul: $m - M = 5 \log (d/10)$

	sch.v.Mag.	Entf.(pc)	abs.Mag.	Leuchtkraft $\sim T^4$
Sonne	-26.74	4.8×10^{-6}	4.83	1
Sirius	-1.44	2.6371	1.45	22.5
Arcturus	-0.05	11.25	-0.31	114
Vega	0.03	7.7561	0.58	50.1
Spica	0.98	80.39	-3.5	2250
Barnards Stern	9.54	1.8215	13.24	1/2310
Proxima Centauri	11.01	1.2948	15.45	1/17700

Leuchtkraft: Gesamtenergie, die der Stern pro Sekunde emittiert
Magnitude: Helligkeit des Sterns

Cepheiden-Methode I

(H. Leavitt, 1908)

Standardkerzen: Sterne, die die gleiche intrinsische Helligkeit (Leuchtkraft) haben, unabhängig von der Entfernung.

Pulsierende Sterne:

- Helligkeit variiert periodisch: **Cepheiden**

Riesensterne mit $L=1000$ bis $10000 L_{\text{sol}}$, He-Brennen im Innern, sehr heiß und hell!

Pulsationen: Zyklus:

- Helium ionisiert in äußeren Schichten,
- Lichtstreuung an Elektronen, optisch dick, der Stern bläht sich auf,
- durch die größere Oberfläche kann er sich effektiver abkühlen,
- er kontrahiert, Helium rekombiniert, optisch dünn,
- der Stern kontrahiert noch stärker

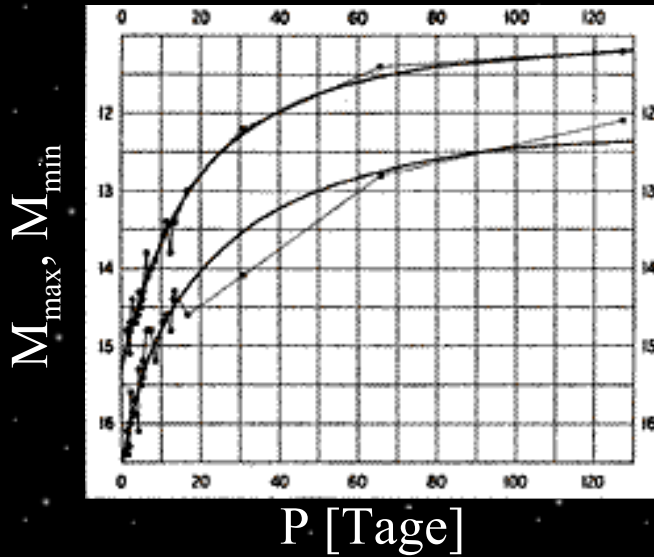
Absolute Leuchtkraft ist proportional zur Periodenlänge: L proportional P



Cepheiden-Methode II

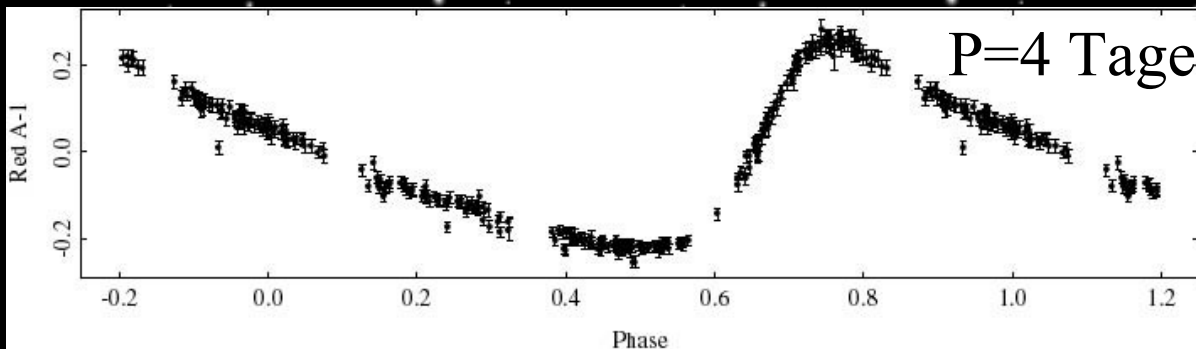
Cepheiden:

Perioden-Leuchtkraft-Beziehung: $M = - [2.76 (\log_{10}(P) - 1.0)] - 4.16$



- Typ I: klassische Cepheiden
P = 1-100 Tage
L = 400-20.000 L_{sun}
Galaktische Scheibe

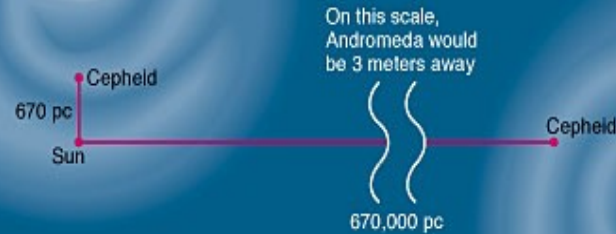
- Typ II: W Virginis
L = 100-5.000 L_{sun}
Sternhaufen



- Auch RR Lyrae (P < 1 Tag)
- Bis ca. 10 Mpc

Milky Way

Andromeda galaxy



a Assume a universal relation between period and luminosity for Cepheid variables.

b Find two Cepheids with equal periods, one near the Sun and one far away in Andromeda. The Cepheids have equal luminosity.

c Measure the apparent brightness of the two Cepheids. The Cepheid in Andromeda is 10^6 times (15 magnitudes) fainter.

d By the inverse square law of light propagation, the Andromeda Cepheid is 1000 times farther away than the Milky Way Cepheid.

e Therefore, Andromeda is 670,000 pc from the Milky Way.

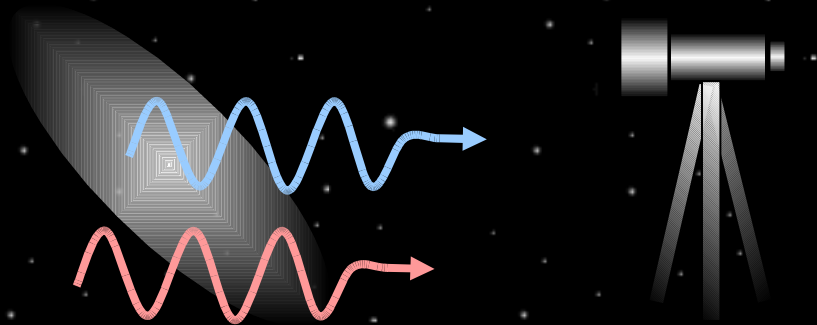
Tully-Fisher Relation

Die Leuchtkraft von Spiralgalaxien ist korreliert mit der Geschwindigkeitsdispersion der HI-Emission:

$$L \sim v_{\max}^4$$

$d \leftarrow L_{\text{abs}}$ und L_s über $1/r^2$ -Gesetz

$$\leftarrow \approx L_{\text{abs}} \leftarrow M_g \leftarrow v_{\text{rot}}$$



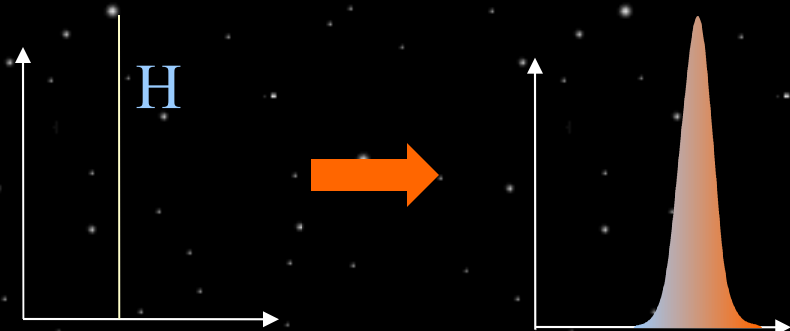
Warum funktioniert das?

1) Sterne & Gas drehen sich um galaktisches Zentrum $F_Z = F_G$

$$\frac{v^2}{r} - g \frac{M(r)}{r} = 0$$

1) Sterne & Gas drehen sich um galaktisches Zentrum: $F_Z = F_G$

2) Sterne ($M_{(r)}$) leuchten.



Supernovae

Sternexplosionen: gewaltige Energieabgabe in kurzer Zeit

Entstehung der schweren Elemente Fe, Mg, Si, ...

Alle 30-100 Jahre pro Galaxis



Sehr selten in der Milchstraße gesehen:

Krebsnebel 1054

Kepler 1604

Tycho Brahe 1572

1987A in the LMC

Supernovae vom Typ Ia haben alle gleiche absolute Maximalhelligkeit!!!

Supernovae als Entfernungskindikatoren

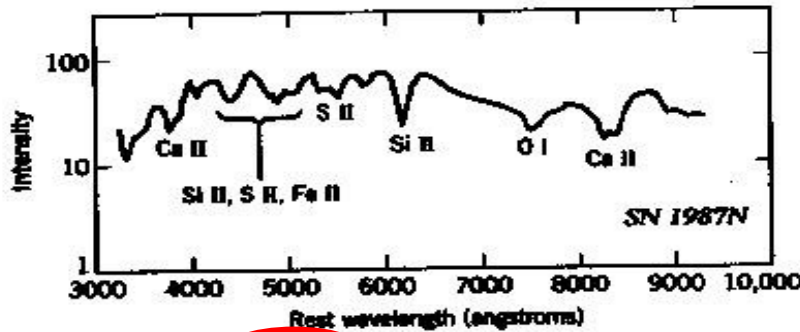


FIGURE 19-12. Type I supernova spectrum; note the lack of hydrogen lines.

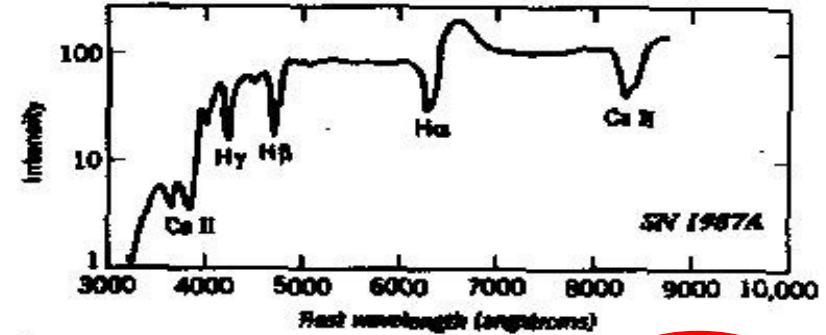


FIGURE 19-14. The spectrum of SN 1987A, a Type II supernova; note the presence of hydrogen lines.

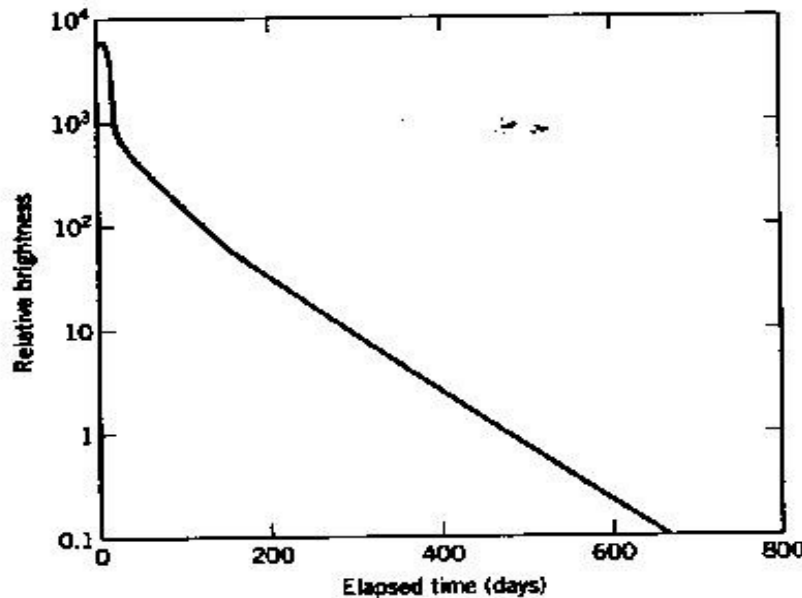


FIGURE 19-13. Type I supernova light curve.

Weißer Zwerge – Binärsysteme?

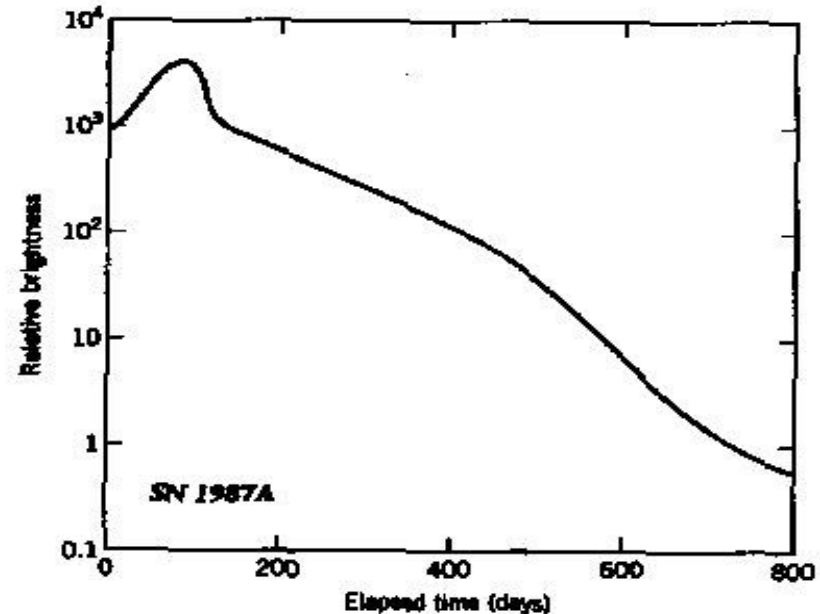


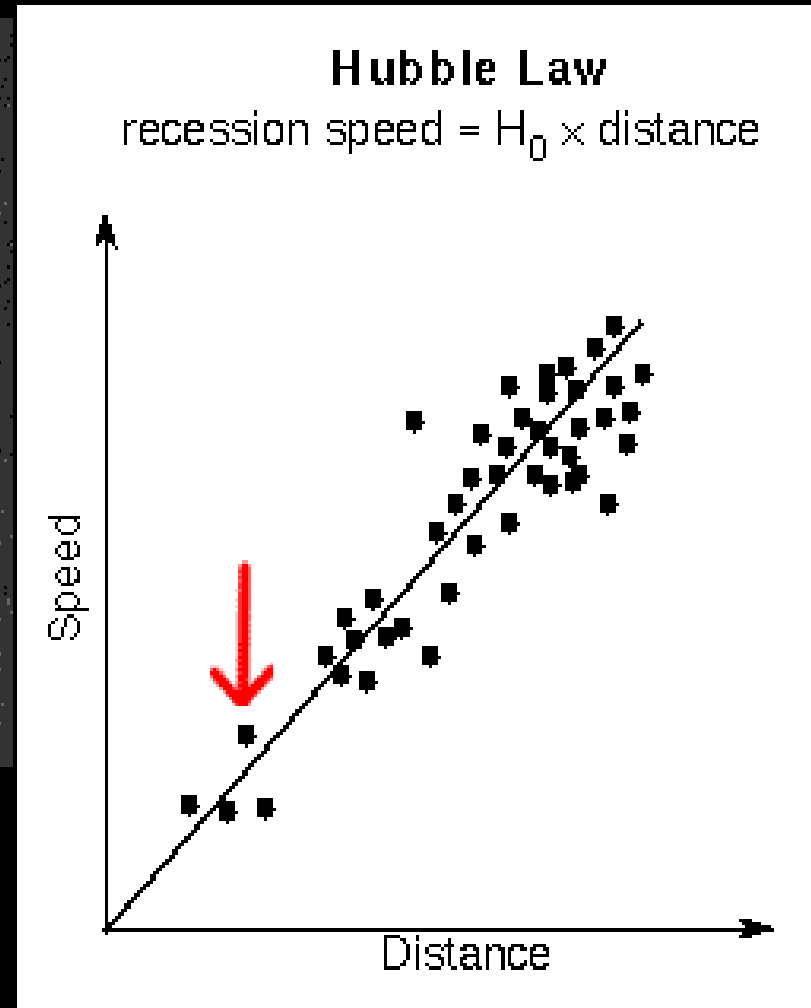
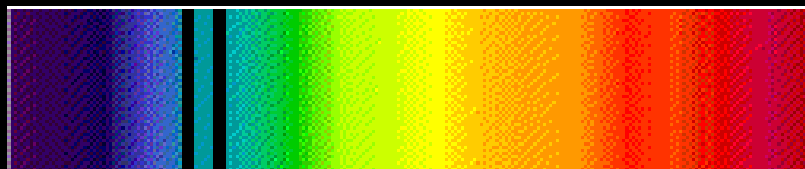
FIGURE 19-15. Type II supernova light curve.

Massereiche Sterne?

NGC891 and the result of supernovae



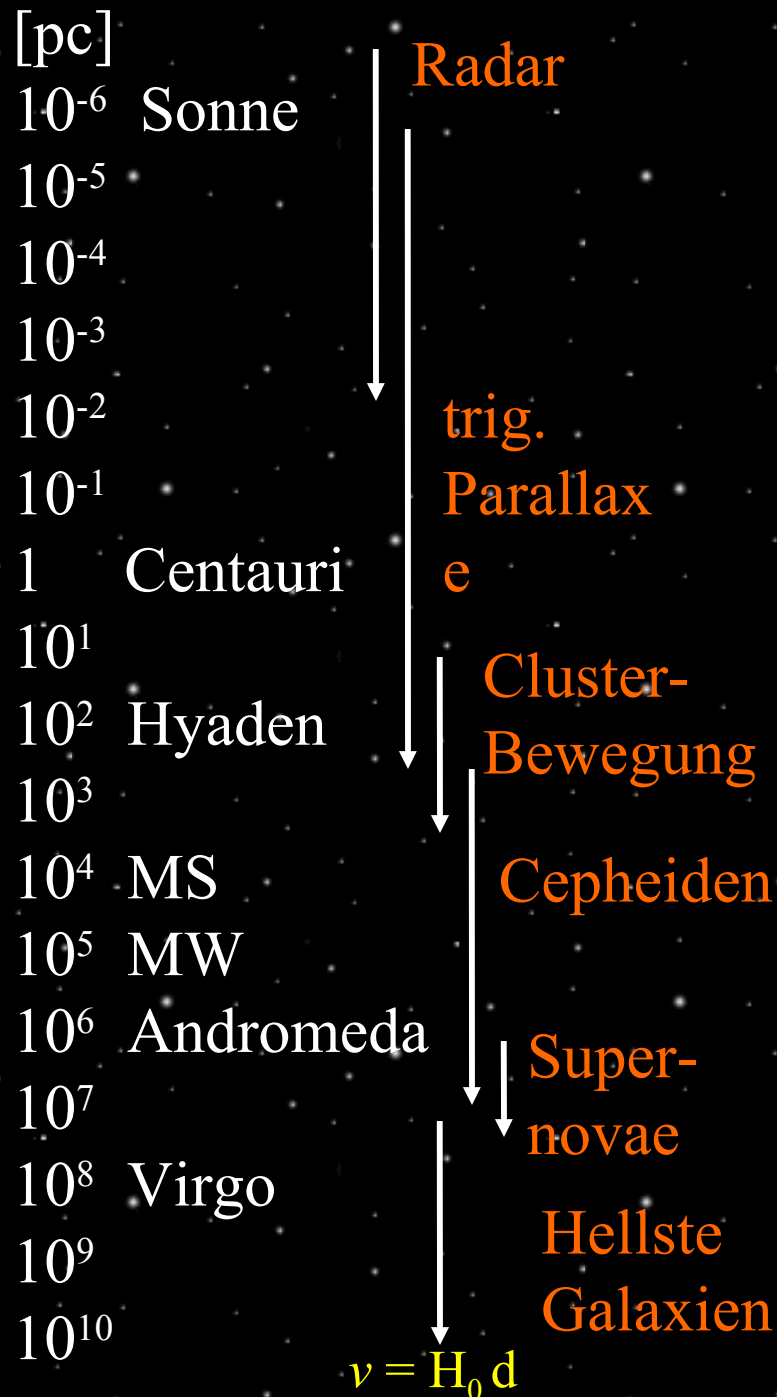
Die Hubble Beziehung



Calibrated for Galaxies upto 500 Mpc

$H_0 = 64-80 \text{ km/sec/Mpc}$

Entfernungsbestimmungen im Überblick



Ende