

Einführung in die Astronomie

Über diese Vorlesung

Avalabilitäten: •) Vorlesung (2SWS) + Übung (2SWS) } 4LP
 •) Klausur am Ende

Literatur: •) Karttunen et.al.: Astronomie: Eine Einführung (Springer)
 •) Unsöld, Baschek: Der neue Kosmos (Springer)
 •) Weigert et.al.: Astronomie & Astrophysik (Wiley)

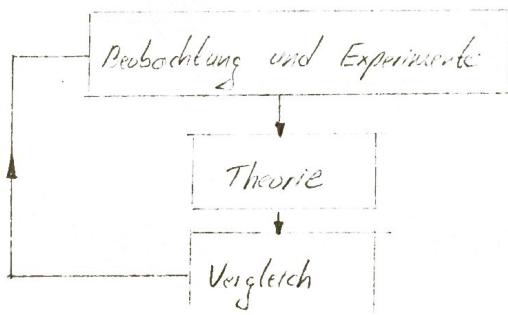
Website: astro.uni-jena.de → Lehre → ...

Astronomie als Wissenschaft

Objekte der Astronomie

-) Universum
-) Himmelskörper
-) Systeme
-) Medium (Staub, Atome, Moleküle, Elementarteilchen, Photonen)
-) Felder: (Gravitation, HF)

Methoden der Astronomie



Unterteilung der Astronomie

-) Nach Methoden: beobachtende, theoretische Astronomie, Laborastronomie
-) Nach Objekten: Sonnenphysik, Planetologie, Stellarphysik, Extragalaktik, Kosmologie, ...
-) Nach Eigenschaften: Astrometrie, Himmelsmechanik, Kosmologie
-) Nach Wellenlänge: optische Astronomie, Infrarotastronomie, Radioastronomie

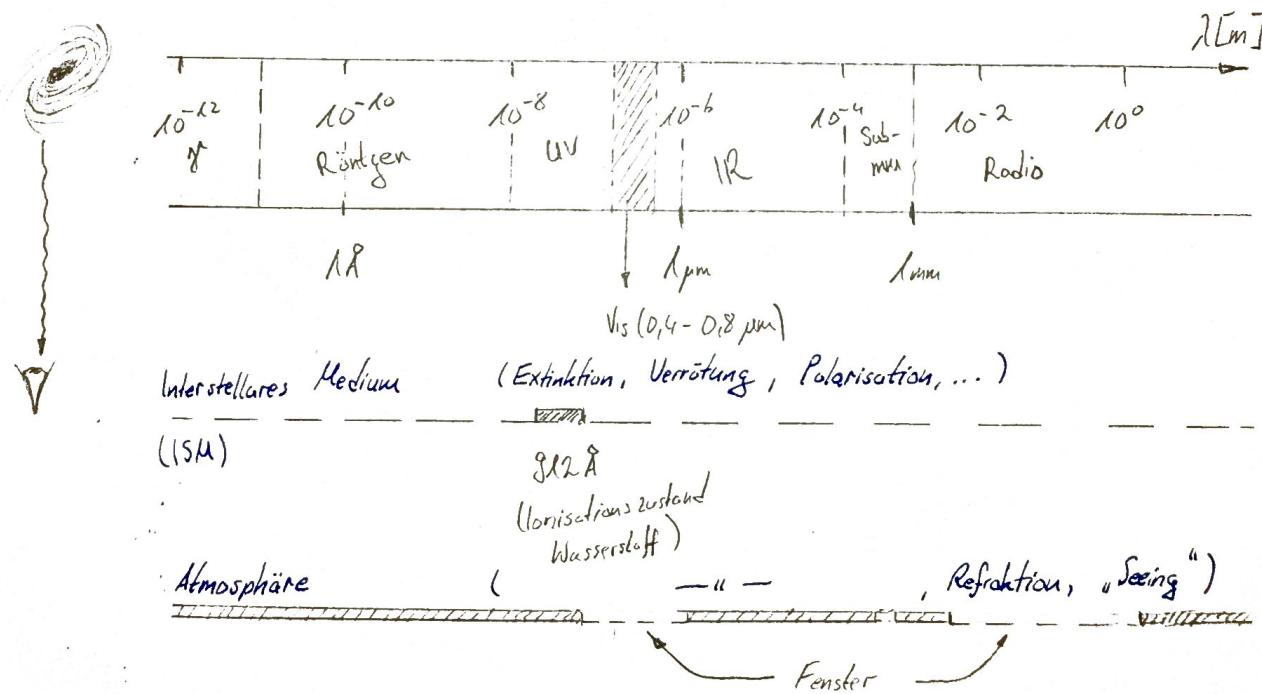
Astronomie und andere Wissenschaften

25.10.18

Astronomische Beobachtungen und Instrumente

Beobachtungen

-) meistens handelt es sich um elektromagnetische Strahlung
-) Menge der Strahlung → Photometrie
-) Richtung der Strahlung → Astrometrie
-) Spektrum der Strahlung → Spektrometrie
-) Polarisation der Strahlung → Polarimetrie

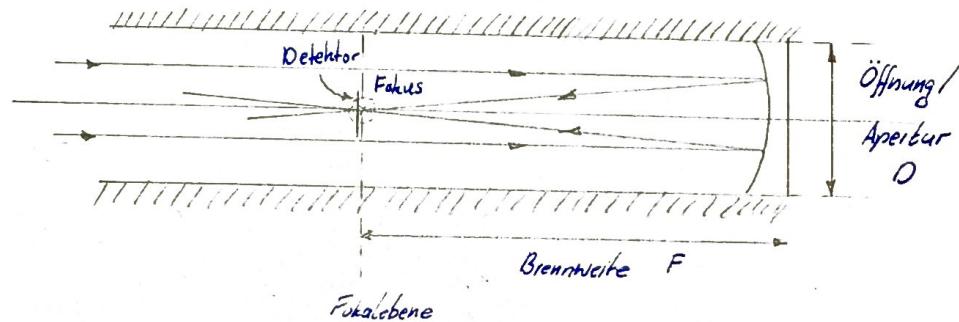


Herkömmliche Teleskope

- 1) 2 Aufgaben: mehr Licht, besseres Auflösungsvermögen
- 2) 3 Bestandteile: optisches System (Objektiv, ggf. Okular, ...)
 Detektor (speichern und messen der Daten)
 Montierung (elektromechanische Konstruktion für Zusammenhalt und Nachführung)

optische Systeme:

-) Refraktoren (Objektive = Linsen, Galileo 1609)
-) Reflektoren (Objektive = Spiegel, Newton 1671)
-) gemischtes optisches System (B. Schmidt 1930)



Varianten: Primärfokus, Newtonfokus, Cassegrainfokus, ...

(optische) Aberrationen: chromatische, sphärische, Astigmatismus, ...

Bemerkung: Sowohl in physikalischer als auch praktischer Hinsicht sind Reflektoren besser geeignet als Refraktoren (Größe, Masse, Reinheit, Anzahl Oberflächen, Aberrationen, ...)

Leistungsvermögen der Teleskope

Lichtsammelvermögen: Punktquelle: $I \propto D^2$

Flächenquelle: $I \propto (D/F)^2$

Bemerkung:

Wird eigentlich in Größenklassen (Magnitude) gemessen.

Auflösung: theoretisch: $\beta_0 = 1,22 \frac{\lambda}{D} \approx \frac{\lambda}{D}$

$$\beta_0 = 1 \text{ rad}$$

praktisch: "Seeing" verschlechtert

das theoretische Auflösungsvermögen.



Beugungsscheibchen eines idealen Punktes (in Theorie)

Bsp.: Auge ($D \sim 1 \text{ cm}$)

$$\beta_0 \sim \lambda/D \sim 5 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \sim 10''$$

$$\beta \sim 1'$$

Abbildung mit systematischen und zufälligen Fehlern durch "Seeing"



In Atmosphäre: $\beta \approx \lambda''$

Kleinstteleskop: ($D \sim 10\text{cm}$) $\Rightarrow \beta_0 \sim 1'' \sim 1\beta$

Großteleskop: ($D \sim 10\text{m}$) $\Rightarrow \beta_0 \sim 0,001'' = 1\text{mas} \ll \beta \sim 1''$
 \Rightarrow Atmosphäre stellt großes Problem dar!

spezielle Techniken: z.B. adaptive Optik (AO)

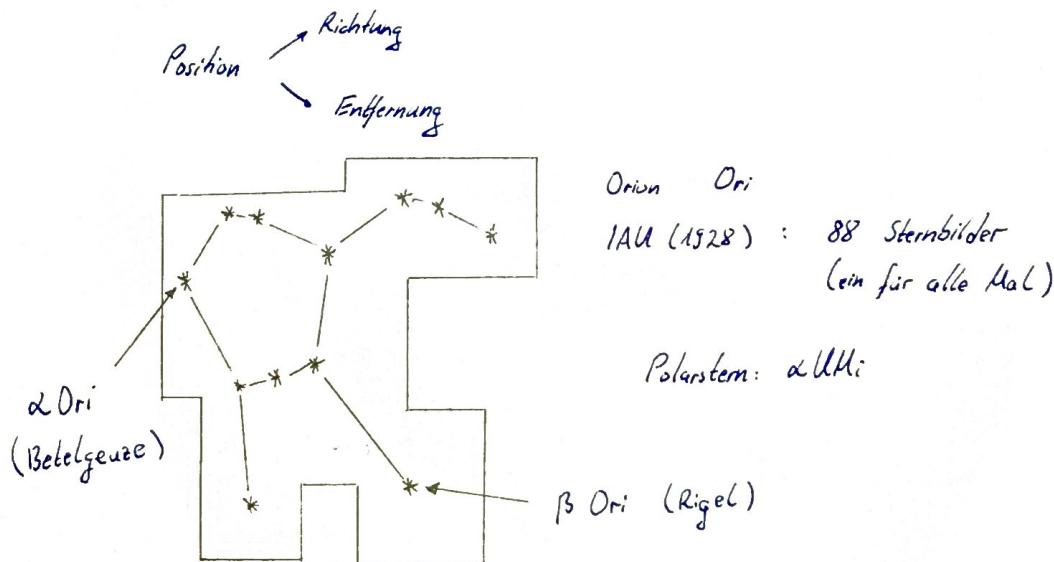
Großteleskope: Boden: $D \sim 10\text{m}$ z.B. VLT ($D \sim 8\text{m}$)

Weltraum: $D \sim 3\text{m}$ z.B. Herschel ($D \sim 3,5\text{m}$)

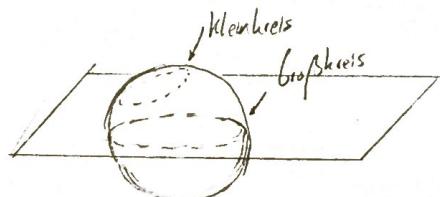
01.11.18

Sphärische Astronomie

Himmelskugel, Sternbilder



Sphärische Trigonometrie



$$\text{Sinussatz: } \frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c}$$

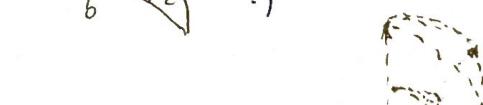
$$\text{Kosinussatz: } \cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

$$\text{Sinus-Kosinus-Satz: } \sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A$$

$$\sin[(1-\cos\varphi_1 + \cos\varphi_2)] \cos[(\alpha - 1)\varphi_1 + (\varphi_2)]$$

:

- sphärisches Dreieck:
-> Selten liegen auf Großkreisen
->



$$(\vartheta, \varphi) \rightarrow \begin{pmatrix} \sin \vartheta \cos \varphi \\ \sin \vartheta \sin \varphi \\ \cos \vartheta \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} &\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \\ &+ \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \\ &- \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \end{aligned}$$

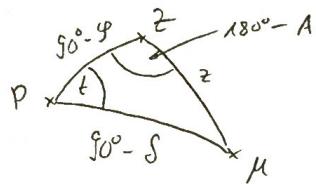
Definitionen

Koordinatensysteme

Koordinatensystem	BezugsEbene	Achse	Pole	BezugsPunkt	Koordinate I	Koordinate II
Horizontalsystem	Horizont	Lotricht.	z, z'	S	Höhe $h \in [-90^\circ, 90^\circ]$ oder Zenitabstand $z := 90^\circ - h$	Azimut $\alpha \in [0^\circ, 360^\circ]$ in Himmels- bewegungsrichtung
Äquatorsystem I	Äquator	pp'	P,P'	Oberster Punkt des Äquators	Deklination $\delta \in [-90^\circ, 90^\circ]$	stundenwinkel $t \in [0^h, 24^h]$ in Himmels- bewegungsrichtung
Äquatorsystem II	Äquator	pp'	P,P'	Frühlingspunkt	Deklination $\delta \in [-90^\circ, 90^\circ]$	Rektaszension $\alpha \in [0^h, 24^h]$ gegen Himmels- bewegungsrichtung
Ekliptik - System	Ekliptik					

Koordinatentransformationen

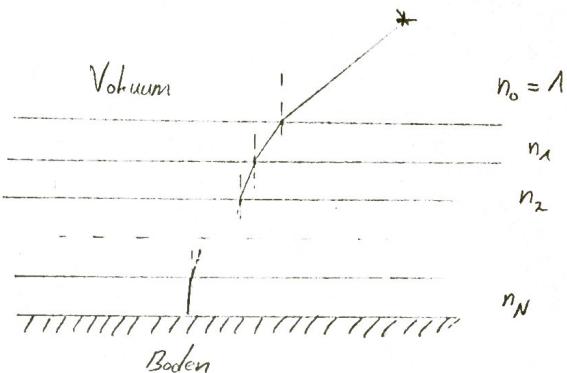
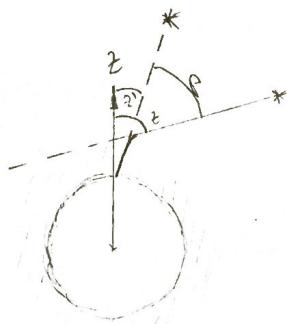
z.B. Äquatorssystem II \rightarrow Horizontsystem $(\delta, t) \rightarrow (z, A)$



$$\Rightarrow \sin z \sin A = \cos \delta \sin t$$

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

$$\sin z \cos A = -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t$$

AstometrieRefraktion z ... wahrer Zenitabstand z' ... scheinbarer Zenitabstand $s = z - z'$... Refraktion

$$\frac{\sin z_{k-1}}{\sin z_k} = \frac{n_k}{n_{k-1}}$$

$$\Rightarrow \frac{\sin z_0}{\sin z_N} = \frac{n_N}{n_0} \Rightarrow \frac{\sin z}{\sin z'} = n_N$$

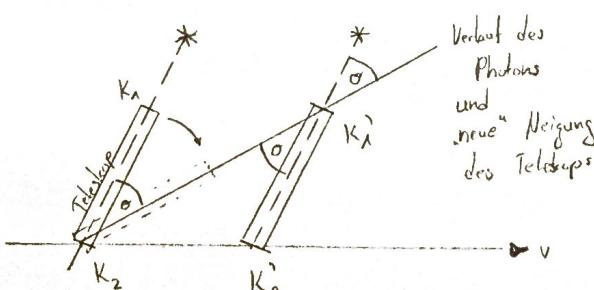
$$\Rightarrow \frac{\sin(z' + s)}{\sin z'} = n_N = \frac{\sin z' \cos s + \cos z' \sin s}{\sin z'}$$

$$\Rightarrow s \approx (n_N - 1) \tan z'$$

$$s = 1' \tan z'$$

Bemerkung: 1.) Für z' nahe 90° gilt diese Formel nicht mehr.

z'	0	45°	90°
s	0	$1'$	$45^\circ 35'$

2.) Bessere Modelle: $s(T, p, \text{Feucht.}, \dots)$ Aberration K_1 ... Objektiv K_2 ... Okular

o - Aberration:

 K_1' ... Objektiv nach Zeit K_2' ... Okular nach Zeit

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'} = \frac{v}{c} \Rightarrow \alpha' = \frac{v}{c} \sin \alpha [\text{rad}]$$

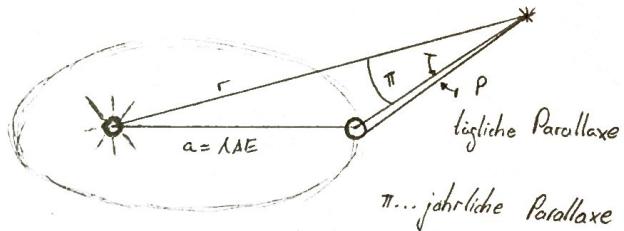
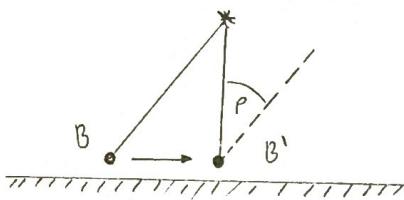
$$\alpha'' = 206265'' \frac{v}{c} \sin \alpha$$

Bemerkung: 1.) Herleitung muss eigentlich relativistisch erfolgen. Einfache führt aber zuflig zum gleichen Ergebnis.

$$\vec{v}_{B*} = \vec{v}_{B\oplus} + \vec{v}_{\oplus O} + \vec{v}_{O*}$$

↓ ↓ ↓
 tägliche jährliche säkulare
 Aberration Aberration Aberration
 $\leq 0,5''$ $\leq 20,5''$ (häufig unwichtig, da auf betrachteten Zeitskalen
 James Bradley (1728) Sterne sich zueinander mit konstanter Geschwindigkeit -
 bewegen)

Parallaxe



Mond: $p_M = 57''$

Sonne: $p_S = 8,8''$

Sterne: $p_* \approx 0,00004''$

1838: Bessel, Henderson, Struve

61 Cyg α Cen α Lyr (Wega)

↑

$\pi = 0,75''$

$r = 1,3 \text{ pc} \approx 4,3 \text{ ly}$

$$\Rightarrow \sin \pi = \frac{a}{r} \Rightarrow \pi = \frac{a}{r} [\text{rad}]$$

$$\boxed{\pi = 206265'' \frac{a}{r}}$$

Einheit: 1 parsec = 1 pc

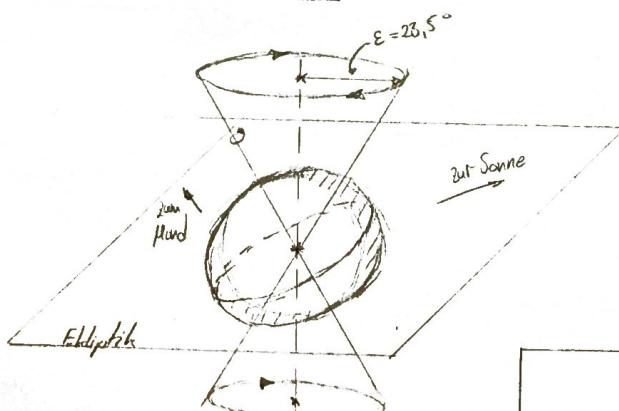
Entfernung zu einem Stern, dessen jährliche Parallaxe $\pi = 1''$ beträgt.

$$\boxed{\pi = \frac{1''}{r [\text{pc}]}}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ pc} = 206265 \text{ AE}$$

$$= 3,26 \text{ ly}$$

Präzession und Nutation



Durch Sonne und Mond wirken in der Ekliptik Drehmomente auf die Erde, die ein abgeflachter Ellipsoid ist. Diese Drehmomente stellen die Drehachse auf. Aufgrund der Eigendrehung präzidiert die Achse.

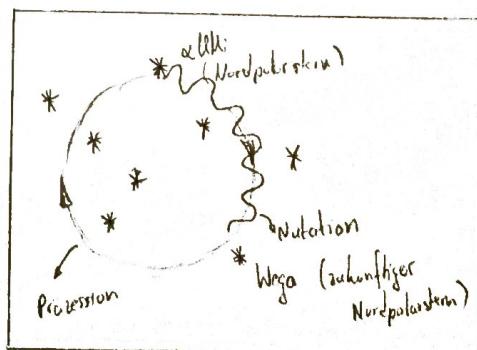


Bild in Richtung der Senkrechte zur Ekliptik

Eigenbewegung -



$$v \sim 10 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$\mu = \frac{v}{r} \quad \rightarrow \quad \mu = \sqrt{(\mu_\alpha \cos \delta)^2 + \mu_\delta^2}$$

Barnard - Stern: $\mu \sim 10''/\text{yr}$

Halley (1718), Bradley (1742)

22.11.18

Himmelsmechanik

Das N-Körper-Problem



Wir wählen $N=2$.

\Rightarrow Näherung für diverse Systeme:

-) Erde - Mond
-) Sonne - Planet
-) Doppelstern

Bewegungsgleichung:

$$F_1 = GM_1M_2 \frac{\vec{F}}{r^3} = M_1\ddot{r}_1$$

$$\Rightarrow \ddot{r}_1 = \frac{GM_2}{r^3} \vec{F}, \quad \ddot{r}_2 = -\frac{GM_1}{r^3} \vec{F}$$

$$\rightarrow \ddot{r} = -\frac{\mu \vec{F}}{r^3}, \quad \mu := G(M_1+M_2)$$

Drehimpulsintegral

$$\underbrace{\vec{r} \times \ddot{\vec{r}}}_{\frac{d}{dt}(\vec{r} \times \dot{\vec{r}})} = -\mu \frac{\vec{r} \times \vec{F}}{r^3} = 0 \quad \rightarrow \quad \boxed{\vec{r} \times \dot{\vec{r}} = \vec{c}, \quad \vec{c} = \text{const}}$$

$\rightarrow \vec{c} \perp \vec{F}, \vec{r} \Rightarrow$ Bewegung findet in 2D statt

Energieintegral

$$\dot{\vec{r}} \cdot \ddot{\vec{r}} = -\mu \frac{\vec{r} \cdot \dot{\vec{r}}}{r^3}$$

$$\dot{\vec{r}} \cdot \ddot{\vec{r}} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\dot{\vec{r}} \cdot \dot{\vec{r}}}{2} \right) = \frac{d}{dt} \frac{v^2}{2} \quad \text{mit } \frac{\dot{\vec{r}}}{|\dot{\vec{r}}|} =: \vec{v}$$

$$-\mu \frac{\vec{r} \cdot \dot{\vec{r}}}{r^3} = -\mu \frac{r \dot{r}}{r^3} = -\mu \frac{\dot{r}}{r^2} = \frac{d}{dt} \frac{\mu}{r}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} \frac{v^2}{2} = \frac{d}{dt} \frac{\mu}{r} \quad \Rightarrow \boxed{\frac{v^2}{2} = \frac{\mu}{r} + \frac{h}{2}}, \quad h = \text{const}$$

Laplace integral

$$\vec{c} \times \ddot{\vec{r}} = -\frac{\mu}{r^3} (\vec{c} \times \vec{r}) \quad , \quad \vec{c} \times \ddot{\vec{r}} = \frac{d}{dt} (\vec{c} \times \dot{\vec{r}})$$

$$\begin{aligned} -\frac{\mu}{r^3} (\vec{c} \times \vec{r}) &= \frac{\mu}{r^3} (\vec{r} \times \vec{c}) = \frac{\mu}{r^3} \vec{r} \times (\vec{r} \times \dot{\vec{r}}) = \frac{\mu}{r^3} \left[\vec{r}(\vec{r} \cdot \dot{\vec{r}}) - \dot{\vec{r}} \cdot \vec{r}^2 \right] \\ &= \frac{\mu}{r^3} [\vec{r} r \dot{r} - \dot{\vec{r}} \cdot \vec{r}^2] = \frac{\mu \vec{r} \dot{r}}{r^2} - \frac{\mu \dot{\vec{r}}}{r} = \frac{d}{dt} \left(-\frac{\mu \vec{r}}{r} \right) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{c} \times \dot{\vec{r}} + \frac{\mu \vec{r}}{r} = -\mu \vec{e}} \quad \text{mit } \vec{e} = \text{const}$$

dabei gilt (ohne Ableitung):

$$\vec{c} \cdot \vec{e} = 0$$

$$\mu^2 (e^2 - 1) = h c^2$$

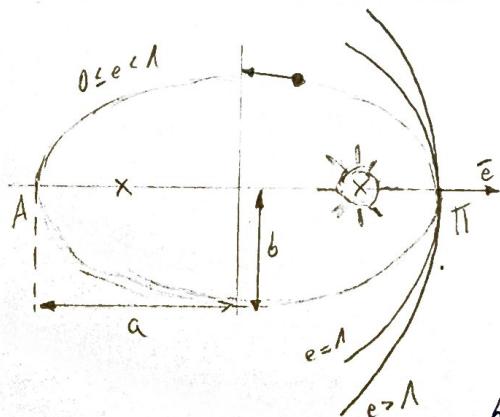
Geometrie der Bahnen

$$\vec{r} \cdot \vec{e} = r e \cos \vartheta$$

$$= \vec{r} \cdot \left[-\frac{\vec{c} \times \dot{\vec{r}}}{\mu} - \frac{\vec{r}}{r} \right] = \frac{\vec{r} \cdot (\vec{r} \times \vec{c})}{\mu} - r = \frac{(\vec{r} \times \dot{\vec{r}}) \cdot \vec{c}}{\mu} - r$$

$$= \frac{c^2}{\mu} - r$$

$$\Rightarrow \boxed{r = \frac{c^2/\mu}{1 + e \cos \vartheta}} \quad \text{Kegelschnitte}$$



$e \dots$ Exzentrizität,

$e \in [0, 1) \dots$ Ellipse

$P \dots$ Perihel /
Perizentrum

$e = 1 \dots$ Parabel

$e > 1 \dots$ Hyperbel

$A \dots$ Aphel /

Aphozentrum

$$c = \sqrt{\mu a (1-e^2)}$$

$a \dots$ große Halbachse

$$r_P = a(1-e)$$

$b \dots$ kleine Halbachse

$$r_A = a(1+e)$$

$$h = -\frac{\mu}{a}$$

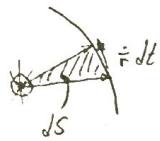
$$b = a \sqrt{1-e^2}$$

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1 + e \cos \vartheta} \quad v^2 = \mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

Keplersche Gesetze

(1) Planetenbahnen sind Ellipsen mit Sonne in einem der Foci.

(2)



$$dS = \frac{1}{2} |\vec{r} \times \dot{\vec{r}} dt| = \frac{1}{2} c dt$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{dS}{dt} = \frac{c}{2} = \text{const}}$$

(3) $S = \int dS = \frac{1}{2} \sqrt{\mu a (1 - e^2)} \int_0^P dt$

$$S = \pi ab = \pi a^2 (1 - e^2)^{1/2}$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{P^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)} \approx \frac{4\pi^2}{GM_1} = \text{const}}$$

13.12.18

Das Sonnensystem

Überblick

- Komponenten:
-) Sonne 99% der Gesamtmasse
 -) 8 Planeten 98% des Gesamtbetriebspulses
 -) Satelliten & Ringe
 -) Kleinkörper (Asteroiden, Kometen)
 -) Staub 100% des Gesamtquerschnitts

Planeten

Planet	a [AE]	e	I [$^{\circ}$]	P	$\mu [\mu_{\odot}]$	$s [g \cdot cm^{-3}]$	Prot	Oberfl.?	Satelliten, Ringe?
stöhnlich/ terrestrische Planeten	Merkur	0,4	0,2		88 d	0,8 4 - 5,5 1,0 0,11	58 d	+	0 -
	Venus	0,7			225 d		243 d	+	0 -
	Erde	1,0		1 a			1 d	+	1 -
	Mars	1,5	0,1				$\sim 1d$	+	2 -
jupiterähnliche Planeten/ Gasplaneten/ Riesenpl.	Jupiter	5,2			12 a	300	< 1 d	-	69 +
	Saturn	9,5				95		-	62 ++
	Uranus	19				15		-	27 +
	Neptun	30		160 a		17		-	14 +

Aufbau:

erdähnlich:

Atmosphäre
Kruste
Mantel
Fe, Ni - Kern

Jupiter / Saturn:

H, He

"flüssiger
metallischer Wasserstoff"
Kern

Uranus / Neptun:

Atmosphäre

Eis - Gestein - Gemisch

Chemische Zusammensetzung:

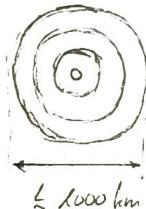
Jupiter / Saturn: H, He, ...

erdähnliche Pl.: Schwere Elemente (Erde: Fe 35%, O 30%, Si 15%, Mg 13%)

Neptun / Uranus: dazwischen

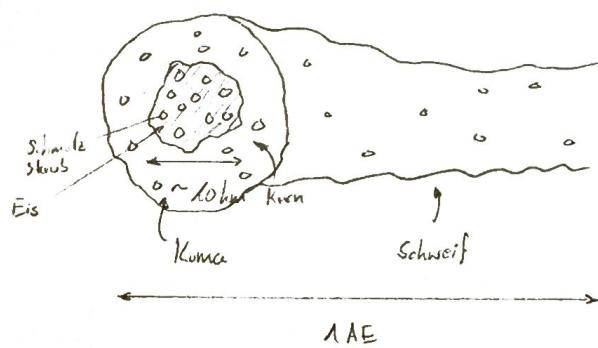
Kleinkörper

Asteroiden:



75%	C-Typ (Kohlenstoff)
17%	S-Typ (Silikate)
8%	M-Typ (Metalle)

Kometen: ("schmutzige Schneebälle")



Staub:

~ 1...100 μm

Meteoroid (bewegendes Objekt)

Meteor
(auch Steinschuppe:
vergleichender Meteoroid)

Meteorit
(fallender Meteoroid)

Die Sonne

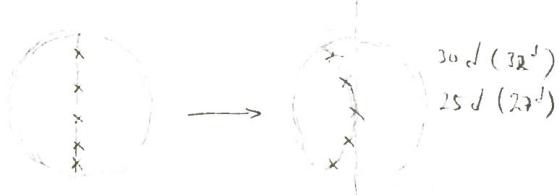
Eckdaten

Hauptparameter: Astronomie, Himmelsmechanik $\rightarrow M_\odot = 2 \cdot 10^{33} \text{ g}$
 $R_\odot = 7 \cdot 10^8 \text{ cm}$
 \rightarrow mittlere Dichte: $\bar{\rho}_\odot = 1,4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Leuchtkraft:

Solarkonstante: $Q := F_\odot|_{r=1 \text{ AE}} = 1,36 \cdot 10^6 \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$
 $\rightarrow L_\odot = Q \cdot 4\pi r_\odot^2 = 4 \cdot 10^{33} \frac{\text{erg}}{\text{s}}$

(Differential-)Rotation:



Die Sonne rotiert nicht wie ein starrer Körper.

Form:

Relativabspaltung: $f = \frac{R_{\text{äquator}} - R_{\text{pol}}}{R_{\text{äquator}}}$

zum Vergleich: $f_\oplus = 10^{-5}$, $f_{\text{Jupiter}} \sim 10^{-2}$, $f_\odot \sim 10^{-6}$

Spektrum

Chemische Zusammensetzung:

$\text{Ly}\alpha (1216 \text{\AA})$	$\left. \begin{array}{l} \sim 30 \text{ au} \\ \text{Fraunhofer-} \\ \text{linien} \\ > 70 \\ \text{Elemente} \end{array} \right\}$
$\text{CaII H \& K} (4000 \text{\AA})$	
$\text{Na D}_1 \text{ \& D}_2 (5500 \text{\AA})$	
$\text{H}_\alpha, \text{H}_\beta, \text{H}_\gamma, \dots$	
Fe, Ti, Mg, \dots	

Massenanteile:

$$\begin{array}{ll} \text{H} & X = 71\% \\ \text{He} & Y = 27\% \\ \text{"Metalle"} & Z = 2\% \end{array}$$

Temperatur

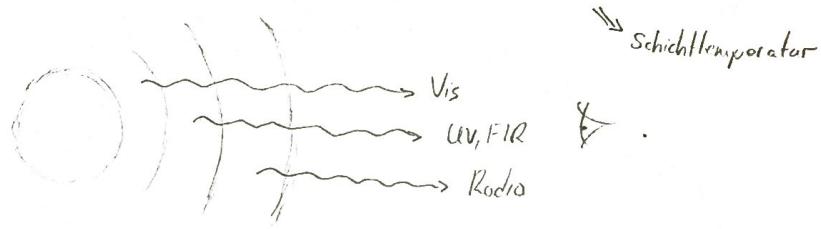
$$\text{Effektivtemperatur} : \pi \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda = \pi \int_0^{\infty} B_{\lambda} d\lambda$$

$$\Rightarrow T_{\text{eff}} = 5800 \text{ K}$$

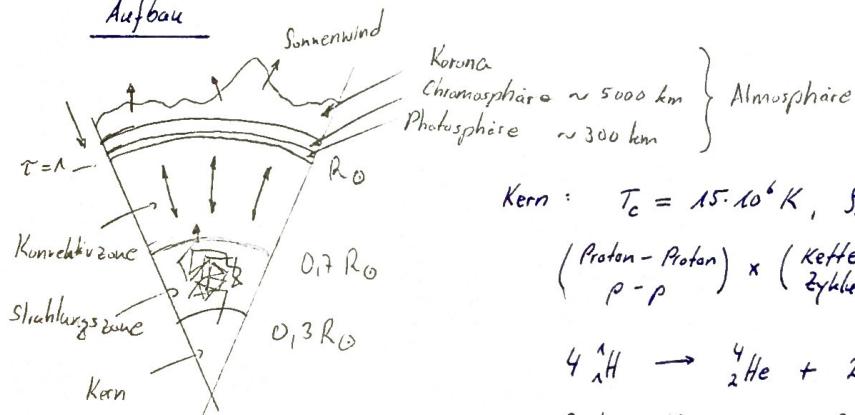
$$\text{Strahlungstemperatur}(\lambda_p) : I_{\lambda}(\lambda_p) = B_{\lambda}(\lambda_p) \Rightarrow T_{\text{str}}(\lambda_p)$$

$$T_{\text{str}}(\text{Vis}) \sim 6000 \text{ K}, T_{\text{str}}(\text{UV, FIR}) \sim 4500 \text{ K}$$

$$T_{\text{str}}(\text{X, Radio}) \sim 1 \dots 2 \cdot 10^6 \text{ K}$$

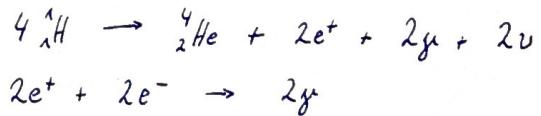


Aufbau



$$\text{Kern} : T_c = 15 \cdot 10^6 \text{ K}, \rho_c = 150 \text{ g cm}^{-3}, p_c = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ bar}$$

$$(\text{Proton-Proton}) \times (\text{Kette Zykles})$$



Strahlungszone:

(1) Hauptenergiequelle

FF-Übergänge: $\gamma \rightarrow X \rightarrow \text{UV} \rightarrow \text{Vis}$

(2) He: $\text{H} \rightarrow \text{He}$

Konvektionszone: Hauptsächlich Konvektion.

Photosphäre: Granulation, Flecken

Chromosphäre: Flares,

Korona: Protuberanzen, CME

SterneAllgemeines

Was ist ein Stern?

-) räumlich isolierte
 -) gravitativ gebundene
 -) undurchsichtige
- } Ansammlung von Materie
 $H \rightarrow He$

Warum sind Sterne wichtig?

-) „Lager“ (meiste Materie) → gilt teilweise (verdeckte Materie)
-) „Kraftwerke“ (meiste Strahlung/Energie) → gilt teilweise (kosmische Hintergrundstr.)
-) „chemische Fabriken“ (alle Elemente außer H, He)

Warum sind Sterne für uns wichtig?

-) Elemente C, O für das Leben
-) Anthropisches Prinzip

Hauptparameter

Parameter	Methoden	Ergebnisse
Masse M	Direkt: 3.16 für Doppelsterne	$0,08 \leq \frac{M}{M_\odot} \leq 50$
Leuchtkraft L (oder absolute Helligkeit M)	Direkt: $m - M = 5 \log r_{pc} - 5$	$10^{-4} \leq \frac{L}{L_\odot} \leq 10^6$
Radius R	Direkt: Interferometrie (sehr hohes Auflösungsvermögen)	$0,1 \leq \frac{R}{R_\odot} \leq 10^3$
Effektivtemperatur T_{eff}	Direkt: aus dem Spektrum Indirekt: $L = 4\pi R^2 \sigma T_{eff}^4$	$2,5 \leq \frac{T_{eff}}{10^3 K} \leq 50$
chemische Zusammensetzung $\{X, Y, Z\}$ (in der Sternatmosphäre)	Direkt: aus dem Spektrum	$X \sim \frac{3}{4}, Y \sim \frac{1}{4}$ zwei Klassen für Z : I: $Z \sim 0,01 \dots 0,03$ II: $Z \ll 0,01$

Spektralklassifikation

Harrard - Klassifikation: Cannon u.a. (1818 - 24)

225 000 Sterne → Henry - Draper - Katalog

Klasse	Linien	Farbe	Teff [10 ³ K]	Bsp.
O	He II, C III, N III, O III	blau	30...50	-
frühe	B He I	blau - weiß	10...30	Spica (α Vir) Rigel (β Ori)
	A HI	weiß	7...10	Sirius (α CMa) Wega (α Lyr)
	F HI, ionisierte Metalle	weiß - gelb	6...7	Procyon (α CMi)
	G H & K von Ca Metalle	gelb	5...6	Sonne Capella (α Aur)
	K G - Bande (CH) Metalle	orange	3,5...5	Arktur (α Boo) Aldebaran (α Tau)
	M TiO und andere Moleküllbanden	rot	2,5...3	Antares (α Sco) Betelgeuse (α Ori)

Merksatz: Oh, be a fine girl, kiss me!

zum Beispiel: Sonne: G2 (Unterkategorie)

Zusätze: e, p, v

Yerkes - Klassifikation (MKK): → Klassifikation nach L

$L \leftrightarrow g$ (Fallbeschleunigung) \leftrightarrow Linien

hoch	niedrig	scharf
niedrig	hoch	breit

→ häufig werden beide Klassifikationen verwendet:

Beispiel: Sonne: G2 V

Klasse	Name
I	Überriesen
II	Helle Riesen
III	Riesen
IV	Unterriesen
V	Zwerge
VI	Unterzwerge
VII	weiße Zwerge

Hertzsprung - Russel - Diagramm (HRD)

