

Einführung in die Astronomie und Astrophysik I

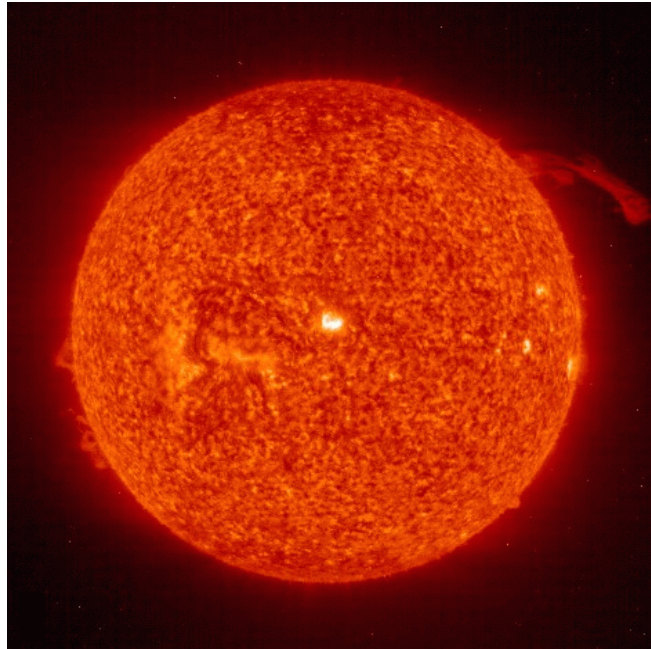
Oskar von der Lühe

Christian Hupfer

Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik, Freiburg
Fakultät für Mathematik und Physik, Universität Freiburg

Wintersemester 2004 / 05

Mi. 09:00 – 11:00, HS II



Literatur

- Weigert, A., Wendker, H.: *Astronomie und Astrophysik - Ein Grundkurs* VCH Verlagsgesellschaft, 3. Aufl., ISBN 3-527-29394-9
- Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M. Donner, K. J.: *Fundamental Astronomy*, Springer-Verlag, ISBN 3-540-17264-5
- Scheffler, H., Elsässer, H.: **Physik der Sterne und der Sonne** Bibliographisches Institut, ISBN 3-411-01438-5
- Unsöld, A., Bascheck, B.: *Der neue Kosmos* (6. Auflage), Springer-Verlag, ISBN 3-540-64165-3
- Voigt, H. H.: *Abriß der Astronomie* (Kompendium), BI Wissenschaftsverlag, ISBN 3-411-01584-5
- Harwitt, M., *Astrophysical Concepts* (3rd Ed.), Springer 1998, ISBN 0-387-94943-7

Skript für die Vorlesung (teilweise aus früheren Semestern)

<http://www.kis.uni-freiburg.de/> - Menüpunkt „Lehre“ auf der blauen Leiste links

<http://www.kis.uni-freiburg.de/~ovdluhe/Lehre/Einfuehrung>

Programm

- I. Grundlagen**
 - Einleitung und Überblick
 - Historische Entwicklung des modernen Weltbildes
 - Die Erde als Plattform astronomischer Beobachtungen
 - Instrumente der Astronomie
- II. Sterne und Sternentwicklung**
 - Die Sonne als Prototyp
 - Zustandsgrößen der Sterne
 - Sternentwicklung
 - Multiple Systeme
- III. Galaktische Astronomie**
 - Interstellare Materie
 - Sondertypen von Sternen
 - Die Milchstraße
- IV. Extragalaktische Astronomie**
 - Ruhige und Aktive Galaxien
 - Sternhaufen
 - QSOs
- V. Kosmologie**
 - Kosmologisches Postulat, Beobachtungsbefunde
 - Zusammensetzung des Universums
 - Kosmologische Modelle

1 Grundlagen

1.1 Einleitung und Überblick

Astronomie als exakte Naturwissenschaft:

Astronomie ist die Wissenschaft der indirekt zugänglichen, unbelebten Materie außerhalb der Erde

Astrophysik ist die Wissenschaft der Interpretation der Beobachtungen und Erkenntnisse der Astronomie im Rahmen der bekannten physikalischen Gesetze

Heute ist die Astronomie Teilgebiet der Physik.

Astronomie beschäftigt sich mit extraterrestrischen Vorgängen und bezieht Information per [Fernerkundung](#) über

- elektromagnetische Strahlung
- Partikelstrahlung
- bestimmte Sorten von Elementarteilchen (Neutrinos)
- (Gravitationswellen)

Im Allgemeinen steht nur die Information über die Intensität der Strahlung bezüglich der

- zeitliche Variation t
- Richtung (α, δ)
- spektralen Verteilung λ
- Polarisation \vec{e}

zur Verfügung, aus welcher auf die physikalische Natur der Phänomene geschlossen werden muß.

- Messungen *in situ* sind in der Regel nicht möglich. Dort, wo sie durch Weltraumexperimente möglich werden, entwickeln sich neue Wissenschaftszweige (Aeronomie, Planetologie).
- Astronomie studiert Objekte in extremen physikalischen Zuständen bezüglich Längenskalen, Massen, Druck und Temperatur, welche keinem Laborexperiment zugänglich sind.
- Unter der Annahme universeller Gültigkeit der physikalischen Gesetze tragen astronomische Beobachtungen sehr harte Randbedingungen für den Test gängiger physikalischer Vorstellungen bei. Die Entwicklung der modernen Physik und Astronomie erfolgte simultan in wechselseitiger Abhängigkeit.

1.2 Historische Entwicklung des modernen Weltbildes

Die Beobachtungen der Sterne und anderer Himmelskörper spielte zu allen Zeiten eine große Rolle für die Zeitmessung, für die Entwicklung des Kalenders und für die Navigation.

Prähistorische Artefakte, welche astronomische Beobachtungen nahelegen, sind bei vielen Kulturen zu finden.

Die moderne Astronomie hat sich aus ca 5000 Jahren geschriebener Geschichte entwickelt. Hier ein kurzer Abriss der wesentlichen Meilensteine.

Babylonier (ca. 3000 b. C. bis zum Beginn der Zeitrechnung):

- Sternbilder (Konstellationen), Tierkreiszeichen
- Fixsterne und Wandelsterne (Planeten)
- Ursprünge der Astrologie
- „Saros-Zyklus“ (223 synodische Monate oder ca. 18 Jahre) zur Vorhersage von Mondfinsternissen
- Lunisolarjahr (19 Jahre)

Ägypter (ca. 3000 b. C. bis zum Beginn der Zeitrechnung):

- Sonnenjahr (365 Tage)

Griechen (ca. 600 b. C. bis 150 AD):

- Kugelgestalt der Erde, geschlossen aus rundem Erdschatten bei Mondfinsternissen
- Desgleichen, relative Größe zwischen Mond und Erde
- Aristarch (265 b. C) schätzt den Abstand zur Sonne relativ zum Abstand Mond-Erde und schließt auf eine Sonne, die wesentlich größer (und massiver) als die Erde ist. **Heliozentrisches** Weltbild.
- Erathostenes (220 b. C) bestimmt den Erdumfang durch Breitendifferenz zwischen Alexandria und Syene zu 39690 km

- Aristoteles schließt aufgrund der fehlenden Parallaxe der hellen Fixsterne auf ein **geozentrisches** Weltbild, welches das Mittelalter in Europa prägte

Frühes Mittelalter:

Die antike Astronomie wurde durch die **Araber** weitergetragen. Viele heute gebräuchliche Namen heller Sterne sind arabischen Ursprungs.

Spätmittelalter und Neuzeit:

Entwicklung der modernen Astronomie in Europa im 16. bis 18. Jahrhundert.

- Nikolaus Kopernikus (1543) tritt für ein heliozentrisches Weltbild ein.
- Tycho Brahe (1576-1597) fertigt auf Hven die genauesten Planetenbeobachtungen ohne Hilfe von Teleskopen an (29“)
- Galileo Galilei (1609) macht erste Beobachtungen mit Teleskopen und entdeckt Jupitermonde, Sonnenflecken, Saturnringe, und den Phasenwechsel der Venus.
- Johannes Kepler (Assistent und Nachfolger von Brahe in Prag) entdeckt die Gesetze der Planetenbewegung: 1. Ellipsensatz (1602), 2. Flächensatz (1609) und den 3. Satz von Umlaufzeiten und Radien (1619).
- Ch. Scheiner (1630) bestimmt aus Sonnenflecken die Sonnenrotation.
- Cassini und Richter (1672) bestimmen aus Marsbeobachtungen und dem 3. Keplerschen Gesetz den Erdbahnhalm.
- Ole Römer (1676) bestimmt aus Zeiten der Jupitermond-Verfinsterung die Lichtgeschwindigkeit.
- Isaac Newton (1687) formuliert das Gravitationsgesetz.
- Edmund Halley (1706) leitet aus dem Gravitationsgesetz die Wiederkehr eines Kometen voraus („Halley’scher Komet“, 1986).

Zu Beginn des 18. Jh. Gibt es umfangreiche Sternkataloge. Veränderliche Sterne sind bekannt. Das Spiegelteleskop ist erfunden.

- Euler (1744) führt die analytische Behandlung des Zweikörperproblems aus.

- Lambert (1761) erkennt, daß das System der sichtbaren Sterne nicht isotrop ist und sich durch eine flache Scheibe erklären läßt.
- Bode (1766) veröffentlicht das Titius'sche Gesetz über die Planetenbahnradien („Titius-Bode'sche Reihe“, $a = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$, für $n = -\infty, 0, 1, 2, \dots$)
- Messier (1784) veröffentlicht Katalog von 103 „nebligen“ Objekten.
- Lagrange (1788) findet exakte Lösungen für Sonderfälle des 3-Körper-Problems.
- Herschel (1781) entdeckt Uranus.
- Piazzi (1801) entdeckt den größten Asteroiden Ceres.
- Fraunhofer (1814) beobachtet dunkle Linien im Sonnenspektrum.
- Bessel, Struve und Henderson (1838) bestimmen Parallaxen (Entfernungen) zu näheren Fixsternen.
- Schwabe (1843) entdeckt die Periodizität der Sonnennflecken.
- Leverrier (1846) berechnet aus Störungen der Uranus-Bahn den mutmaßlichen Ort eines unbekanntem Planeten. Dieser wird von Galle gefunden – Neptun.
- Helmholtz (1853) stellt Kontraktionstheorie zur Erklärung der Energiequelle der Sonne auf.
- Wolf (1887) führt erste photographische Himmelsaufnahmen durch.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts hat die Beobachtungstechnik bedeutende Fortschritte gemacht durch Einführung der Spektroskopie. Man kennt den Doppler-Effekt sowie visuelle und spektroskopische Doppelsterne. Präzise Positionen von über 10^5 Sternen bekannt.

Einige Meilensteine der Entwicklung im 20. Jahrhundert, nach Gebieten

Stellarphysik und Planetensysteme:

- Leavitt (1912) findet Perioden-Helligkeits-Beziehung der Cepheiden.
- Hertzsprung-Russell-Diagramm (1913)
- Eddington (1916) stellt Theorie über inneren Aufbau der Sterne auf.
- Michelson und Pease (1918) messen direkt (interferometrisch) den scheinbaren Durchmesser mehrerer heller Riesensterne.
- Tombaugh (1930) entdeckt den Planeten Pluto.
- Zwicky fordert die Existenz von Neutronensternen (1934)
- Bethe und Weizsäcker (1939) entdecken den CNO-Zyklus.
- Parker (1955) und Steenbeck (1966) schlagen einen selbsterregten Dynamo als Erzeugungsprozess stellarer Magnetfelder vor.
- Leighton entdeckt die Fünfminuten-Oszillationen der Sonne (1962).
- Davis führt die ersten Messungen solarer Neutrinos durch (1964).
- Hewish und Bell (1967) entdecken ersten Pulsar (Neutronenstern).
- Deubner identifiziert die Fünfminuten-Oszillationen der Sonne als Eigenschwingungen, Begründung der Helioseismologie (1975)
- Hipparcos vermisst die Positionen und Entfernungen von 118.000 Sternen (1989-1993).
- Mayor und Queloz finden den ersten extrasolaren Planeten, der einen sonnenähnlichen Stern umkreist (51 Peg). Heute kennen wir über 130 solcher Planeten (2004).
- Nakajima et al. weisen das erste substellare Objekt (brauner Zwerg) direkt nach (1995).
- Helioseismologische Netzwerke und Weltraumexperimente auf SOHO erlauben die Messung des tiefen- und breiten-abhängigen Rotationsgesetzes der Sonne (1990-2000).

Galaktische und Extragalaktische Physik:

- Hubble (1923) findet Entfernung zweier naher Spektralnebel und stellt deren extragalaktische Natur sicher.
- Jansky (1932) weist nach, daß das Zentrum der Milchstraße eine Radioquelle ist – Beginn der Radio-Astronomie.
- Seyfert entdeckt spektroskopisch Galaxien mit Emissionslinienspektren in aktiven Kernen (1943).
- Ewen, Purcell und Westerhout (1949) finden die 1945 von van der Hulst vorhergesagte Spektrallinie des neutralen Wasserstoff bei 21cm.
- Oort und van de Hulst (1952) weisen Spiralarme der Milchstraße radioastronomisch nach.
- Mathews und Sandage (1962) identifizieren optisch die bereits im Radiobereich entdeckten Quasare.
- Klebesadel, Strong und Olsen identifizieren die ersten Gamma-Ausbrüche („gamma ray bursts“, 1973).
- Walsh, Carswell und Weymann entdecken die erste Gravitationslinse (1979).
- Seit 1990 liefert das Weltraumteleskop Hubble Bilder mit einer vom Erdboden nicht erreichbaren Auflösung.

Kosmologie:

- Friedmann (1922) entwickelt zeitlich veränderliche Weltmodelle auf der Basis der Allgemeinen Relativitätstheorie.
- Hubble (1929) findet eine systematische Rotverschiebung in den Spektren der Spiralnebel, die proportional zu deren Entfernung ist (Hubble-Gesetz).
- Penzias und Wilson (1965) entdecken die von Gamov für ein expandierendes Universum geforderte Hintergrund-Radiostrahlung (2.7K).
- Geller und Huchra vermessen die relativen Entfernungen von 18.000 hellen Galaxien und entdecken die großskalige Struktur des Universums (1985-1995).
- COBE vermisst die kosmische Hintergrundstrahlung und weist Fluktuationen mit sehr kleiner Amplitude nach (1989-1990).
- Die Helligkeits-Abstandsrelation von Supernova-Explosionen des Typs Ia bei großen Entfernungen weist auf eine beschleunigte Expansion des Universums hin (1999).
- WMAP vermisst die kosmische Hintergrundstrahlung mit hoher Präzision – das Weltalter ist 13.7 Milliarden Jahre (2003).