

# Astronomie für Nicht-Physiker Klausurzettel

- Längeneinheiten:
  - 1 AU =  $150 \cdot 10^6$  km
  - 1 ly =  $9.46 \cdot 10^{12}$  km
  - 1 pc = 3.26 ly ist die Distanz eines Sterns, dessen Parallaxe 1 Bogensekunde ist
- Größen der Sonne und Erde:
  - $M_{\text{sun}} = 1.9 \cdot 10^{30}$  kg
  - $R_{\text{sun}} = 6.9 \cdot 10^8$  m
  - $M_{\text{earth}} = 5.9 \cdot 10^{24}$  kg
  - $R_{\text{earth}} = 6.3 \cdot 10^6$  m
- Beobachtung eines Objekts vor der Projektionsebene von 2 unterschiedlichen Beobachtungspunkten
  - Parallaxe: Strecke zwischen den Projektionspunkten auf der Projektionsebene
  - Basislinie: Abstand zwischen den Beobachtungspunkten
  - Parallaxenwinkel: Richtungsunterschied zwischen den Betrachtungsvektoren
- Kugelgestalt der Erde
  - Erdschatten auf Mond ist rund
  - Schatten an unterschiedlichen Orten
  - Himmelsnordpol sinkt wenn man sich südwärts bewegt
  - Schiffe verschwinden hinter Horizont
- Ptolemäus (kirchlich anerkanntes Weltbild)
  - Erde im Zentrum
  - 7 planetäre Sphären + Fixsternsphäre
  - Planeten bewegen sich auf Epizyklen
    - erklärt retrograde Bewegung des Mars
- Kopernikus' heliozentrisches Weltbild (1543)
  - Sonne ist Zentrum
  - Erde und Planeten umkreisen Sonne
  - Erde rotiert
  - Mond umkreist Erde
- Keplersche Gesetze (1609-19)
  1. Planeten bewegen sich auf Ellipsen, eine der Brennpunkte ist die Sonne
  2. Fahrstrahl zwischen Sonne und Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen
  3.  $\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2 \propto \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3$  mit  $P_i$  = Umlaufzeit und  $a_i$  = gr. Halbachse
- Galileo: Entdeckung der Venusphasen und 4 Jupitermonde (1610)
- Newtonsche Gesetze
  1. Trägheitsgesetz
  2.  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$
  3.  $\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A}$
- Gravitationsgesetz  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
- Stefan-Boltzmann-Gesetz  $F = \sigma_S T_{\text{eff}}^4$  mit  $F$  = Energiefluss in  $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ ,  $\sigma_S = 5.67 \cdot 10^8 \text{ kg s}^{-3} \text{ K}^{-4}$ ,  $T_{\text{eff}}$  = Effektivtemperatur
- Kleinkörper des Sonnensystems: Monde, Asteroiden, Kuiper-Güter-Objekte, Zwergplaneten, Kometen, Meteore(glühen)/Meteorite(einschlagen)/Meteoroid(eim All)
  - 3 Asteroidtypen ([C]arbonreich, [S]ilikareich, [M]etallreich)
  - 5 Zwergplaneten
- Kreisbahngeschwindigkeit:  $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 
  - geostat. Orbit:  $r = 42000$  km,  $v_1 = 3 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

- Fluchtgeschwindigkeit:  $v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{r}} = \sqrt{2}v_1$
- Raketengleichung:  $\Delta v = v_e \ln \frac{m_i}{m_f}$  mit  $\Delta v = \max.$  Geschwindigkeitsgewinn,  $v_e =$  Treibstoffaustrittsgeschwindigkeit,  $m_f$  finale Masse der Rakete,  $m_i$  Anfangsmasse der Rakete
- Zeitdilatation: Lorentz-Faktor  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} \geq 1$
- Minkowski-Diagramm: x-Achse ist Raum, y-Achse ist Zeit
  - Weltlinien von Lichtteilchen bilden Kausalitätsgrenze (Lichteck)
  - 2 Ereignisse sind zeitartig, wenn das eine das andere beeinflussen kann
  - sonst raumartig
  - Grenze heißt lichtartig
- Sonne
  - Granulation: wabenartige Struktur auf der Sonnenoberfläche, entsteht durch Konvektion
  - Kern, radiative Zone (starre Rotation)
  - Tachocline (Übergang)
  - konvektive Zone (differentielle Rotation, schneller am Äquator)
  - Photosphäre, Chromosphäre, Corona
  - Protuberanzen, Eruptionen, Sonnenflecken (Umbra+Penumbra) durch Magnetfeldänderungen
  - Sonnenzyklus: Wanderung der Sonnenflecken von  $35^\circ$  zum Äquator im 11 Jahre-Rhythmus, dabei Umpolung des Magnetfelds (Butterfly diagram)
  - Sonnenspektrum (Entdeckung von Helium durch Fraunhofer-Linien)
- Spektralklassifikation von Sternen
  - Harvard-Klassifikations-Schema: O,B,A,F,G,K,M
  - Leuchtkraftklassen I bis V absteigend sortiert
  - Sonne: G2V
- Wiensches Verschiebungsgesetz  $\lambda_{\max} = \frac{\text{const.}}{T_{\text{eff}}}$
- Stefan-Boltzmann-Gesetz  $P = A\sigma_S T_{\text{eff}}^4$  mit  $P =$  emittierte Leistung eines Schwarzkörpers
- Luminosität der Sonne:  $L_{\text{sun}} = 4\pi R_{\text{sun}}^2 \sigma_S T_{\text{eff}}^4$
- scheinbare Helligkeit
  - Helligkeitsunterschied  $\Delta m = m_1 - m_0 = -2.5 \log_{10} \left( \frac{\Phi_1}{\Phi_0} \right)$  mag mit  $m_0, m_1$  Magnitüden,  $\Phi_0, \Phi_1$  Lichtströme zweier Himmelskörper
  - Beleuchtungsstärke auf Fläche senkrecht zur Strahlrichtung:  $E_v = 10^{-0.4(\frac{m_v}{\text{mag}} + 14.2)}$  lx mit  $m_v =$  scheinbare visuelle Helligkeit
  - Gesamthelligkeit von Mehrfachsternen  $m_{\text{ges}} = -2.5 \log_{10} \sum_{k=1}^n 10^{-\frac{0.4}{\text{mag}} m_k}$  mag mit  $m_k$  Helligkeiten der Einzelkomponenten
- absolute Helligkeit
  - selbstleuchtende Objekte: 10 pc vom Beobachter
  - reflektierende Objekte: 1 AU vom Beobachter mit Sonnenposition = Beobachter
  - $m - M = 5 \log_{10} \left( \frac{d}{10 \text{ pc}} \right)$  mag mit  $m =$  scheinbare Helligkeit,  $M =$  absolute Helligkeit,  $d =$  Entfernung in pc
  - $d^* = 10^{1 - \frac{m-M}{-5 \text{ mag}}}$  mit  $d^* = \frac{d}{\text{pc}} = \frac{1}{\pi}$ ,  $\pi =$  jährliche Parallaxe in Bogensekunden
- Entfernungsmodul mit Extinktion  $m_\lambda = M_\lambda + 5 \log_{10}(d) - 5 + A_\lambda$  mit  $A_\lambda =$  Anzahl der Extinktions-Magnitüden entlang der Beobachtungslinie
  - interstellares Medium (ISM) verdunkelt ferne Objekte, 70% H, 30% He
  - Extinktion ist wellenlängenabhängig
- Stellare Metallizität  $\left[ \frac{\text{Fe}}{\text{H}} \right] = \log_{10} \left( \frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right) - \log_{10} \left( \frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right)_{\text{sun}} = \log_{10} \left( \frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right) + 4.5$ 
  - positive Metallizität = mehr Eisen = jünger
- Sternentwicklung: planetare Nebel, weiße Zwerge, Schalenbrennen, Supernovae

- Diffuse Molekülwolken ( $m = 1 - 100M_{\text{sun}}$ ) und Riesenmolekülwolken ( $m = 10^5 - 10^6M_{\text{sun}}$ ,  $d = 50 - 500 \text{ ly}$ )
  - hauptsächlich  $H_2$
  - optische Strahlung durch Rekombination
- Offene Sternhaufen
  - entstehen in Riesenmolekülwolken
  - 100-1000 Sterne
  - $d \approx 20 \text{ ly}$
  - Sternendichte ist hoch ( $\approx 1\text{ly}^{-3}$ )
  - fast ausschließlich in den Spiralarmen der Milchstraße gefunden
- Kugelsternhaufen in Außenbezirken (Halo) der Milchstraße
  - Sterne sehr alt ( $\geq 10 \text{ Gyr}$ ), Spektraltyp M, K
  - $\geq 10^5$  Sterne
  - Konzentration nimmt zum Zentrum hin stark zu
  - $d \approx 100 \text{ ly}$
- Milchstraße
  - Balkenspiralgalaxie
  - d: 170 bis 200 kly
  - Dicke: 350 pc außen bis 4600 pc im Bulge
  - 100 bis 400 Mrd. Sterne
  - Sonnenorbit um Zentrum der Milchstraße dauert  $\approx 220 \text{ Myr}$
  - Sonne ist derzeit  $\approx 65 \text{ ly}$  über der galaktischen Ebene
  - Zentrales Schwarzes Loch mit  $m = 4 \cdot 10^6 M_{\text{sun}}$
  - Halo: fast staubfrei, Sterne geringer Metallizität, heißes Gas ( $> 10^6 \text{ K}$ ), daher keine Molekülwolken, daher keine Sternentstehung
- Kosmische Entfernungsleiter
  - Radar, Reichweite 1-10 AU
  - Parallaxe, Reichweite 2 kpc
  - Cepheiden: pulsationsveränderliche Sterne, deren Helligkeitsschwankungen periodisch erfolgen
  - Perioden-Leuchtkraft-Relation  $M_v = -2.81 \log_{10}(P_d) - 1.43$  mit  $P_d =$  Pulsationsperiode in d
- Rotationskurve der Milchstraße
  - Bulge: starrer Körper
  - innere Scheibe: 3. Keplersche Gesetz
  - Großteil rotiert aber fast konstant und viel schneller als das 3. Keplersche Gesetz vorhersagt, derzeitige Erklärung: dunkle Materie
  - Andromeda-Galaxie: 765 kpc entfernt,  $10^{12}$  Sterne,  $d \approx 67 \text{ kpc}$
- Galaxien-Klassifikation
  - elliptische Galaxien: Nomenklatur:  $E(10\varepsilon)$  mit  $\varepsilon \equiv 1 - \frac{\beta}{\alpha}$  mit  $\frac{\alpha}{\beta} = \text{gr./kl. Halbachse}$
  - Spiralgalaxien
  - Balkenspiralgalaxien
  - irreguläre Galaxien
- Tully-Fischer-Relation
  - Bei 2 Galaxien gleichen Hubble-Typs hat die absolut hellere die höhere maximale Rotationsgeschwindigkeit
  - Bei 2 Galaxien mit gleicher B-Magnitude hat die mit früherem Hubble-Typ die höhere maximale Rotationsgeschwindigkeit
- Abschätzung der Entfernung von Galaxien durch Messung von  $V_{\text{max}}$ , Abschätzung von  $M_B$  durch Tully-Fischer, Beobachten von  $m_B$ , Extinktion  $A_B$

- ▶ mit  $m_B = M_B + 5 \log_{10}(d) - 5 + A_B$  Entfernung abschätzen
- Supernovae Typ SN Ia
  - ▶ gekennzeichnet durch Abwesenheit von H- und He-Linien im Spektrum, starke Si-Absorptionslinien,  $M_v \approx -18$
  - ▶ haben immer die gleiche absolute Magnitude  $\Rightarrow$  Standardkerze
- Hubble-Gesetz  $v = H_0 d$  mit  $v =$  relative Expansionsgeschwindigkeit,  $d =$  Entfernung,  $H_0 = 70 \frac{\text{km}}{\text{Mpc} \cdot \text{s}}$ 
  - ▶ Hubble-Zeit:  $H_0^{-1} = 14 \text{ Gyr}$
- $\Lambda$  CDM-Modell: akzeptiertes Modell für Evolution und Aufbau des Universums
  - ▶  $\Lambda \Rightarrow$  Dunkle Energie (73%)
  - ▶ CDM  $\Rightarrow$  Cold Dark Matter (23%)
  - ▶ Baryonische Materie (4%)
- Kosmologische Rotverschiebung  $z \equiv \frac{\lambda_{\text{obs}}}{\lambda_0} - 1$  mit  $\lambda_{\text{obs}} =$  beobachtete Wellenlänge,  $\lambda_0 =$  Laborwellenlänge