



Allgemeine Regeln

- Die Bearbeitungszeit der Klausur beträgt *eine Stunde*.
- Außer eines Taschenrechners sind *keine Hilfsmittel* erlaubt.
- *Alle Fragen sind zu bearbeiten*.
- Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt **50 Punkte**.

Nützliche Konstanten

Parsec	$1 \text{ pc} = 206265 \text{ AU}$
Sonnenmasse	$M_{\odot} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$
Sonnenleuchtkraft	$L_{\odot} = 3.9 \times 10^{26} \text{ J s}^{-1}$
Oberflächentemperatur der Sonne	$T_{\odot} = 5800 \text{ K}$
Lichtgeschwindigkeit	$c = 300000 \text{ km s}^{-1}$
Atomare Masseneinheit	$1 \text{ amu} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Elektronenvolt	$1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$

Frage 1: Sterne und Sternaufbau

- a) Beschreiben Sie den inneren Aufbau eines Hauptreihensterns mit $2 M_{\odot}$ Masse (4 Punkte).

Lösung: Siehe S. 3–22ff. der Vorlesungsfolien. Wichtige Stichpunkte sind insbesondere das H-Brennen im Kern {1}, für das bei dieser Masse der CNO-Prozess und der pp-Prozess gleich wichtig sind {2}, sowie daß der Stern einen konvektiven Kern hat {1}.

Gesamt vergeben: 4

- b) Beschreiben Sie kurz die Entwicklung dieses Sterns von der Hauptreihe bis zum AGB und zeichnen Sie diese in ein Hertzsprung-Russell-Diagramm ein. (5 Punkte)

Lösung: Siehe ebenfalls S. 3–22ff. der Vorlesungsfolien. Wichtig ist unter anderem, daß Sterne oberhalb $1.5 M_{\odot}$ keinen He-Flash haben sowie die gegenüber der Sonne verkürzten Zeitskalen. {5}

Gesamt vergeben: 5

- c) Der 3α -Prozess kann vereinfacht durch die Reaktionsgleichung



beschrieben werden. Bestimmen Sie die pro 3α -Reaktion freiwerdende Energie in Einheiten von MeV. Die Masse von ^4He ist 4.003 amu, die von ^{12}C ist 12.000 amu. (2 Punkte)

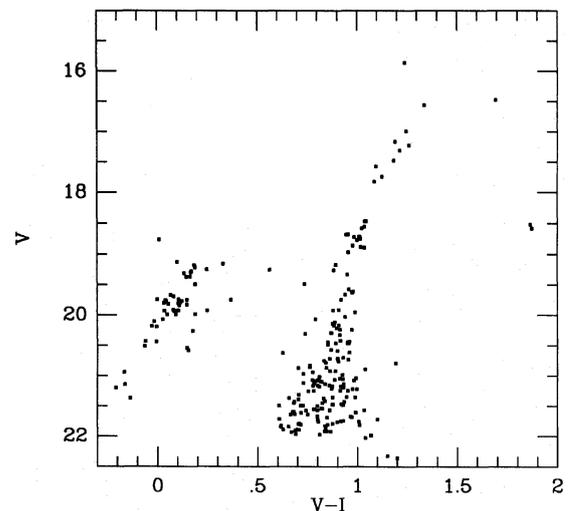
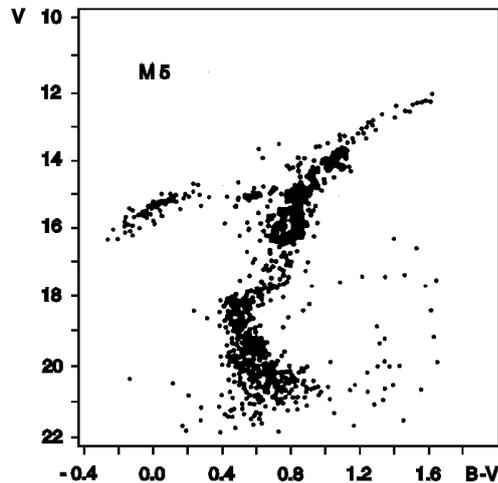
Lösung: Der Massendefekt der Reaktion ist $\Delta m = 12.009 \text{ amu} - 12.000 \text{ amu} = 0.009 \text{ amu}$ {1},
entsprechend $E = \Delta mc^2 = 1.34 \times 10^{-12} \text{ J} = 8.4 \text{ MeV}$ {1}

Gesamt vergeben: 2

..... **Gesamt erreichbar: 11**

Frage 2: Entfernungsbestimmung bei Kugelsternhaufen

Die folgende Abbildung zeigt die Farben-Helligkeits-Diagramme (FHDs) des Kugelsternhaufens M5 in der Milchstraße und des Kugelsternhaufens Hodge 11 in der Großen Magellan'schen Wolke. Die y -Achse ist dabei in Magnituden angegeben, die x -Achse ist die Differenz der Helligkeiten in zwei Farbfiltern, die mit der Temperatur zusammenhängt (kleinere Werte entsprechen höheren Temperaturen).



a) Bestimmen Sie den Relativabstand von Hodge 11 in Bezug auf M5. (3 Punkte)

Lösung: Der Horizontalast von Hodge 11 befindet sich bei $m_V \sim 19.5 \text{ mag}$, der von M5 bei $m_V \sim 15.0 \text{ mag}$ {1}. Für das Entfernungsmodul gilt

$$m - M = 5 \log d - 5 \tag{s2.1}$$

Da der Horizontalast bei allen Objekten die gleiche absolute Helligkeit hat, folgt {1}

$$m_{\text{Hodge 11}} - m_{\text{M5}} = 5 \log(d_{\text{Hodge 11}}/d_{\text{M5}}) \tag{s2.2}$$

und daher {1} $d_{\text{Hodge 11}} = 7.94 d_{\text{M5}}$.

Gesamt vergeben: 3

b) Der Horizontalast hat eine absolute Helligkeit von $M = 0.6 \text{ mag}$. Bestimmen Sie das Entfernungsmodul und die Entfernung von Hodge 11. (2 Punkte)

Lösung: Das Entfernungsmodul von Hodge 11 ist {1} $m - M = 18.9 \text{ mag}$ und daher ist die Entfernung von Hodge 11 $d = 10^{(m-M+5)/5} = 60 \text{ kpc}$ {1}

Gesamt vergeben: 2

- c) Vergleichen Sie die Entfernung von Hodge 11 mit der typischer Größen von Spiralgalaxien. Wie weit ist daher die Große Magellan'sche Wolke von uns entfernt? (2 Punkte)

Lösung: Typische Radien von Spiralgalaxien sind ca. 10 kpc {1}, die Größe einer irregulären Galaxie wie die der Großen Magellan'schen Wolke ist kleiner. Der Relativfehler bei der Entfernungsbestimmung, der gemacht wird, wenn man die Lage von Hodge 11 in der GMW nicht genau kennt, ist damit klein und daher ist die GMW ungefähr 60 kpc entfernt. {1}

Gesamt vergeben: 2

..... **Gesamt erreichbar: 7**

Frage 3: Galaxien

- a) Skizzieren Sie das "Hubble'sche Stimmgabeldiagramm" zur Galaxienklassifikation. . (4 Punkte)

Lösung: Siehe <http://pulsar.sternwarte.uni-erlangen.de/wilms/teach/intro2/intro20174.html>. {4}

Gesamt vergeben: 4

- b) Beschreiben Sie den Aufbau und die typischen Eigenschaften einer Galaxie vom Typ SBb. (6 Punkte)

Lösung: Siehe <http://pulsar.sternwarte.uni-erlangen.de/wilms/teach/intro2/intro20187.html> für Spiralgalaxien im Allgemeinen und die Feststellung, daß Balkenspiralen sich von Spiralgalaxien außer durch das Vorhandensein eines Balkens nicht prinzipiell unterscheiden. Wichtig sind die Größenskalen (Radius, Höhe, Eigenschaften der Bulge, Masse), die für (Balken)Spiralgalaxien typischerweise ähnlich sind, wie für die Milchstraße, siehe dazu <http://pulsar.sternwarte.uni-erlangen.de/wilms/teach/intro2/intro20169.html> und folgende {6}.

Gesamt vergeben: 6

- c) Ab einem gewissen Abstand vom Zentrum der Galaxie sind die Rotationskurven von Spiralgalaxien flach. Die gemessene radiale Helligkeitsverteilung einer Spiralgalaxie ist $I(r) = I_0 \exp(-r/H)$ wo H eine Konstante ist. Begründen Sie, warum Sie für Sterne annehmen können, daß $M/L = \text{const.}$ und zeigen Sie, daß das aus dieser Helligkeitsverteilung erwartete Geschwindigkeitsprofil nicht mit dem beobachteten übereinstimmt. Was wird allgemein aus dieser Diskrepanz geschlußfolgert? (6 Punkte)

Lösung: Siehe dazu <http://pulsar.sternwarte.uni-erlangen.de/wilms/teach/intro2/intro20213.html> und die darauf folgende Seite in den Vorlesungsfolien. {6}

Gesamt vergeben: 6

..... **Gesamt erreichbar: 16**

Frage 4: Kosmologie

- a) Diskutieren Sie die Beobachtungen, die auf ein Entstehen des Universums in einem Urknall vor ca. 14 Mrd. Jahren hindeuten. (5 Punkte)

Lösung:

- Expansion des Universums (Hubble'sches Gesetz) in einer linearen Form, $v = H_0 d$, so daß Isotropie und Homogenität überall garantiert ist. {2}
- Existenz der 3 K Hintergrundstrahlung {1}. Da $T(z) = T_0(1 + z)$ {1} deutet diese darauf hin, daß das Universum ursprünglich sehr heiß war und mit der Expansion stark abgekühlt ist. {1}

(Antworten in der Klausur sollten etwas ausführlicher sein, als diese Stichworte!)

Gesamt vergeben: 5

- b) Die Perioden-Leuchtkraft-Beziehung für die Maximalleuchtkraft von Cepheiden ist $M = -2.76 \log P - 1.40$ wo P die Oszillationsperiode des Cepheiden in Tagen ist und wo der Logarithmus zur Basis 10 gemessen wird. In einer Spiralgalaxie wird ein Cepheid mit einer Periode von 25 Tagen und bei einer scheinbaren Helligkeit von 24 mag beobachtet.

- (i) Was ist das Entfernungsmodul und was ist die Entfernung dieser Galaxie? (3 Punkte)

Lösung: Die absolute Helligkeit eines Cepheiden mit einer Periode von 25 d ist $M = -5.26$ mag {1} und damit ist das Entfernungsmodul $m - M = 29.26 = 5 \log d - 5$ {1} entsprechend einer Entfernung von giving a distance of 7.1 Mpc {1}.

Gesamt vergeben: 3

- (ii) Wie groß ist die scheinbare Geschwindigkeit, mit der sich die Galaxie von uns entfernt? (2 Punkte)

Lösung: Diese ist {2}

$$v = H_0 d = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \cdot 7.1 \text{ Mpc} = 530 \text{ km s}^{-1}$$

Beachte, daß der Wert von H_0 (72 oder 75 sind ok) gewußt werden muß.

Gesamt vergeben: 2

- (iii) Bestimmen Sie die Wellenlänge, bei der die Ca K Absorptionslinie der Galaxie (Ruhewellenlänge $\lambda = 393.37$ nm) auf der Erde beobachtet wird (3 Punkte)

Lösung: Mit der Doppler-Formel {1}

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} = 1.8 \times 10^{-3}$$

und daher $\Delta\lambda = 0.71$ nm. Die Linie wird daher bei 394.08 nm beobachtet {2}.

Gesamt vergeben: 3

- c) Was sind Supernovae vom Typ Ia und warum sind sie für die Kosmologie von so großer Bedeutung? (3 Punkte)

Lösung: SNe Ia sind wahrscheinlich Weiße Zwerge, die über die Chandrasekhar-Grenze von $1.44 M_{\odot}$ gepusht werden {1}. Da davon ausgegangen wird, daß diese Explosion immer gleich funktioniert, erfüllen SNe Ia die Kriterien für Standardkerzen {1}. Aufgrund der extremen Leuchtkraft der Supernovae sind diese praktisch im ganzen Universum sichtbar. Sie werden daher für die Entfernungsbestimmung sehr weit entfernter Objekte benutzt, unter anderem wurden mit ihnen Abweichungen des Expansionsgesetzes für $\Lambda = 0$ gemessen {1}.

Gesamt vergeben: 3

..... **Gesamt erreichbar: 16**

..... **Gesamte Klausur: 50**