



Nützliche Konstanten

Astronomische Einheit	$1 \text{ AU} = 150 \times 10^6 \text{ km} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$
Parsec	$1 \text{ pc} = 206265 \text{ AU} = 3.09 \times 10^{16} \text{ m}$
Gravitationskonstante	$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
Sonnenmasse	$M_{\odot} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$
Sonnenleuchtkraft	$L_{\odot} = 3.9 \times 10^{26} \text{ J s}^{-1}$
Lichtgeschwindigkeit	$c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Hubble Konstante	$H_0 = 72 \text{ km/s/Mpc}$
Entfernung des galaktischen Zentrums	$d_{\text{GC}} = 8 \text{ kpc}$
kosmologische Rotverschiebung	$\frac{R(t_e)}{R(t_0)} = \frac{1}{z + 1}$

Frage 1: Endstadien der Sternentwicklung

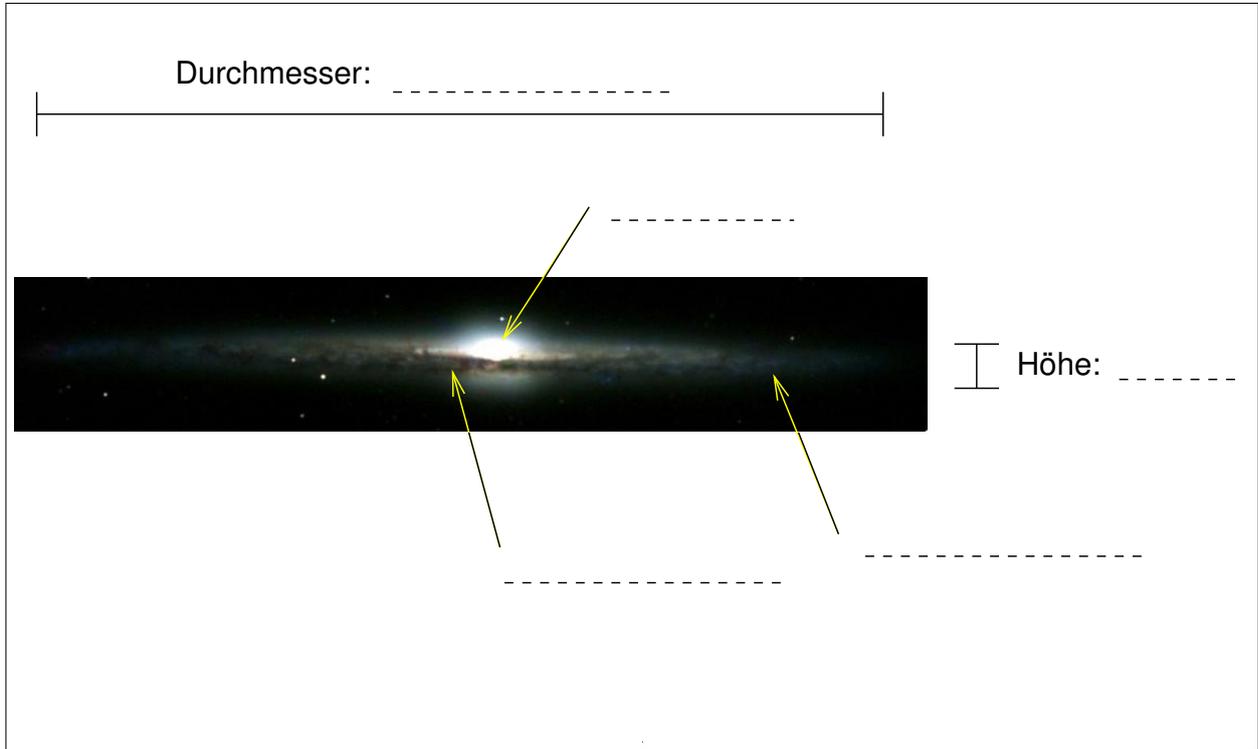
Weißer Zwerge, Neutronenstern und Schwarze Löcher sind die möglichen Endzustände der Sternentwicklung.

- Geben sie typische Radien von Weißen Zwergen, Neutronensternen und stellaren Schwarzen Löchern an. (3 Punkte)
- Wie groß sind die Maximalmassen von Weißen Zwergen und Neutronensternen? Worauf sind diese Grenzen zurückzuführen? (4 Punkte)
- Neutronensterne wurden schon von Baade & Zwicky in den 1930er Jahren als Überreste von Supernova-Explosion vorhergesagt, aber erst in 1960ern als **Pulsare** nachgewiesen.
 - Welche Pulsperioden werden beobachtet?
 - Wie kommt es zur Entstehung der gepulsten Strahlung?
 - Skizzieren Sie das Pulsarmodell!
 - Durch welche Beobachtungen wird der Zusammenhang zwischen Pulsaren und Supernova-Explosionen bewiesen?
 - Nennen Sie ein historisches Beispiel!

..... (8 Punkte)
- Berechnen Sie die Oberflächenrotationsgeschwindigkeit am Äquator eines Pulsars mit einer Periode $P = 2 \text{ ms}$ und vergleichen Sie sie mit der Lichtgeschwindigkeit. (3 Punkte)

Frage 2: Galaxien

- a) Das untenstehende Bild von W. McLaughlin zeigt die Galaxie NGC 4565, eine typische Spiralgalaxie, die unserer Milchstraße sehr ähnlich ist. Identifizieren Sie die in der Abbildung markierten Komponenten und geben Sie die ungefähren Größenskalen (Durchmesser und Dicke) an. Für die Dicke der Galaxienscheibe geben Sie bitte die Höhe bei einem Abstand von 50% des Galaxienradius an (Einheiten nicht vergessen!). Zeigen Sie ungefähr, wo sich in der Galaxie die Sonne befinden würde. (6 Punkte)



- b) Der Stern S2 umkreist das Zentrum der Milchstraße auf einer elliptischen Bahn mit großer Halbachse von $a = 0.11$ Bogensekunden und einer Periode von 15.2 Jahren. Geben Sie a in AU an und berechnen Sie die Masse des zentralen Schwarzen Loches? (7 Punkte)
- c) Die Rotationskurve einer Spiralgalaxie sei gegeben durch

$$v(r) = 200 (1 - e^{-r/r_0}) \text{ km/s} \quad (\text{s2.1})$$

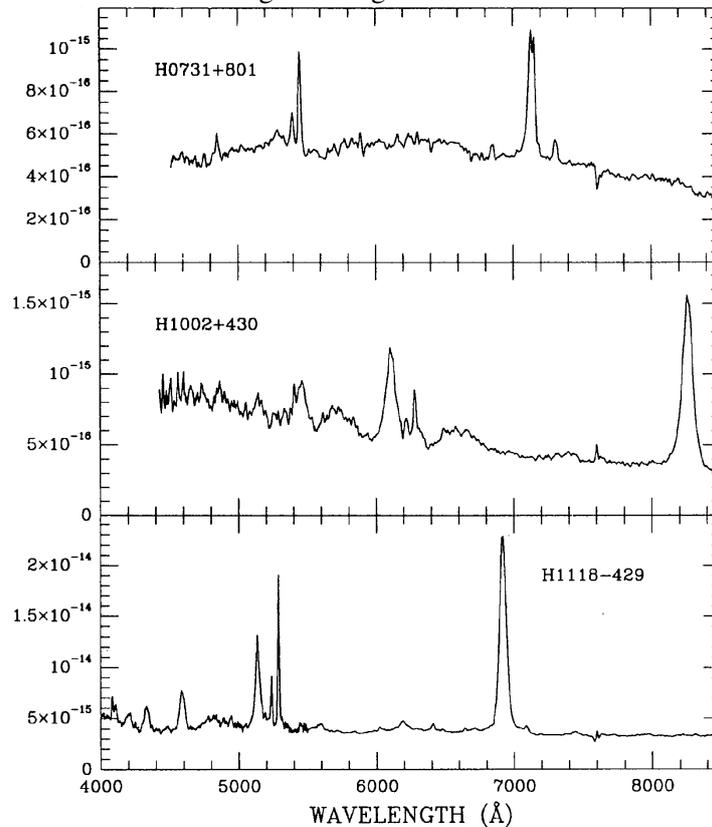
wo r der Abstand vom Zentrum der Galaxie ist und $r_0 = 5$ kpc ein charakteristischer Radius. Geben Sie unter der Annahme einer sphärisch symmetrischen Massenverteilung eine Formel für die gravitierende Masse innerhalb von r , $M_<(r)$ an. Berechnen Sie die Masse innerhalb einer Entfernung von 10 kpc vom galaktischen Zentrum. (5 Punkte)

Frage 3: Entfernungsskala und Kosmologie

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

b) Die folgende Abbildung von R. Remillard et al. (1993, AJ 105, 2079) zeigt die Spektren von drei aktiven Galaxien. Die hellste Emissionslinie im Spektrum ist die H α Linie, die im Ruhesystem eine Wellenlänge von $\lambda = 656.3 \text{ nm} = 6563 \text{ \AA}$ hat.

Anmerkung: Die Einheit der y -Achse der Graphik ist $\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1}$. Dies nur der Vollständigkeit halber; ist nicht weiter relevant für die Bearbeitung der Aufgabe.



Bestimmen Sie die Rotverschiebung der Galaxie, die den *größten Abstand* von uns hat. Wie groß ist die Entfernung dieser Galaxie? (4 Punkte)

c) Wie groß war der Skalenfaktor des Universums zum Zeitpunkt der Emission der Strahlung der entferntesten der drei Galaxien (heute $R=1$)? (1 Punkt)

d) Was verstehen wir im Zusammenhang mit der Dunklen Materie unter MACHOs? Wie lassen sie sich nachweisen? (4 Punkte)

e) Was besagt das kosmologische Prinzip? (2 Punkte)