

BE

GPh1

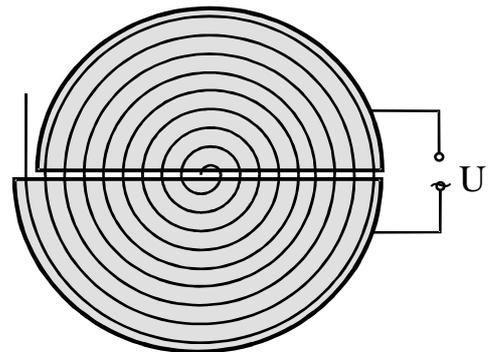
1. Plattenkondensator

Zwei kreisförmige Metallplatten mit Radius $r = 12 \text{ cm}$, die parallel zueinander im Abstand $d = 1,5 \text{ mm}$ angeordnet sind, bilden einen Plattenkondensator, der an die Spannung $U = 240 \text{ V}$ angeschlossen wird.

- 5 a) Berechnen Sie die Kapazität dieser Anordnung sowie die gespeicherte Ladung Q_K . [zur Kontrolle: $Q_K = 6,4 \cdot 10^{-8} \text{ As}$]
- 4 b) Berechnen Sie die elektrische Feldstärke E zwischen den Platten sowie die im Feld gespeicherte Energie W . [zur Kontrolle: $E = 1,6 \cdot 10^5 \text{ V/m}$]
- 3 c) Für die Anziehungskraft zwischen verschieden geladenen Kondensatorplatten gilt die Beziehung $F = \frac{1}{2} E Q$. Bestimmen Sie die Kraft F_K , die die Platten dieses Kondensators aufeinander ausüben.
- 6 d) Vergleichen Sie das Ergebnis aus Teilaufgabe 1c mit der Kraft, die zwei Punktladungen Q_K und $-Q_K$ in der Entfernung d aufeinander ausüben. Erläutern Sie, warum sich die beiden Werte erheblich unterscheiden.

2. Zyklotron

Ein Zyklotron (siehe Skizze) dient zur Beschleunigung geladener Teilchen auf nichtrelativistische Geschwindigkeiten. Es wird mit einem homogenen Magnetfeld B und einer Wechselspannung konstanter Frequenz f betrieben.



- 8 a) Leiten Sie an Hand einer geeigneten Kräftebetrachtung den Zusammenhang zwischen dem Bahnradius und der Geschwindigkeit der Teilchen (Ladung q ; Masse m) her und zeigen Sie, dass für die Frequenz gilt:

$$f = \frac{q B}{2\pi m}$$

Erläutern Sie damit, dass mit diesem Zyklotron Teilchen nicht auf relativistische Geschwindigkeiten beschleunigt werden können.

(Fortsetzung nächste Seite)

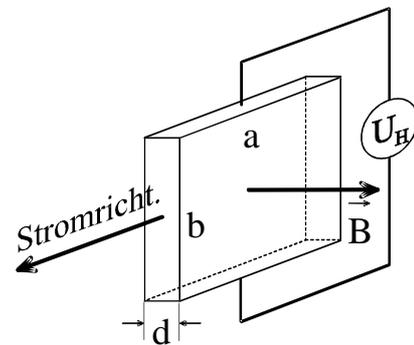
BE

Im Folgenden soll ein „low-cost-Zyklotron“ für Protonen betrachtet werden, das mit der Haushaltswechselspannung (Frequenz: 50,0 Hz) betrieben wird. Die Energiezufuhr findet dabei für ein Proton immer dann statt, wenn die Spannung ihren Scheitelwert 325 V annimmt.

- 3 b) Welchen Zuwachs an kinetischer Energie erhalten die Protonen bei einem Umlauf?
- 3 c) Berechnen Sie die magnetische Flussdichte B , mit der dieses Zyklotron betrieben werden muss. [zur Kontrolle: $B = 3,28 \mu\text{T}$]
- 9 d) Wie lange dauert es, bis dieses Zyklotron ein anfangs ruhendes Proton auf 1,0 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt hat?
Berechnen Sie den Radius r der Kreisbahn, die auf 1,0 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigte Protonen durchlaufen.
- 3 e) Halten Sie ein solches „low-cost-Zyklotron“ für realisierbar? Begründen Sie Ihre Antwort.

3. Halleffekt

Aus einem Goldstreifen mit der Länge $a = 8,0 \text{ mm}$, der Breite $b = 2,0 \text{ mm}$ und der Dicke $d = 0,10 \text{ mm}$ soll eine Hallsonde gefertigt werden (siehe Skizze). In ihr befinden sich $N = 9,5 \cdot 10^{19}$ frei bewegliche Elektronen. Die Hallsonde wird bei einer konstanten Stromstärke von $I = 100 \text{ mA}$ betrieben; die magnetische Flussdichte ist $B = 1,0 \text{ T}$.



- 5 a) Leiten Sie aus einem geeigneten Kraftansatz die folgende Beziehung für die Hallspannung U_H her:

$$U_H = v \cdot b \cdot B$$

Hierbei ist v die Driftgeschwindigkeit der Elektronen.

- 6 b) Die Driftgeschwindigkeit ist nicht direkt messbar, sie lässt sich jedoch indirekt ermitteln. Berechnen Sie dazu zunächst die Hallspannung mit Hilfe einer weiteren Gesetzmäßigkeit, die Sie z. B. der Formelsammlung entnehmen können.

[zur Kontrolle: $U_H = 0,11 \mu\text{V}$]

- 5 c) Bestimmen Sie nun die Driftgeschwindigkeit der Elektronen.

BE

GPh2

1. Entladung eines Kondensators – gedämpfte Schwingungen

Ein Kondensator wird mit der Ladung Q_0 aufgeladen. Anschließend wird er zunächst über einen ohmschen Widerstand und – nach erneuter vollständiger Aufladung – über eine Spule vollständig entladen. Der ohmsche Widerstand der Spule sei klein, aber nicht vernachlässigbar.

- 5 a) Zeichnen Sie für jeden Entladungsvorgang qualitativ das Zeit-Ladungs-Diagramm.
- 6 b) Erklären Sie, weshalb es bei der Entladung über die Spule zu einer Umladung des Kondensators kommt.

2. Erzwungene Schwingungen

Ein ungedämpfter elektromagnetischer Schwingkreis schwingt mit der konstanten Frequenz $f_0 = 1,5$ kHz. Er wird induktiv mit einem weiteren elektromagnetischen Schwingkreis gekoppelt, der aus einer Spule der Induktivität 20 mH und einem Drehkondensator besteht, dessen Kapazität zwischen $0,31 \mu\text{F}$ und $1,30 \mu\text{F}$ variiert werden kann.

- 6 a) Untersuchen Sie durch geeignete Rechnung, ob hier der Resonanzfall eintreten kann.
- 4 b) Was versteht man in der Physik allgemein unter Resonanz?

3. Spektralanalyse

Das Spektrum einer Helium-Spektrallampe soll mit Hilfe eines Beugungsgitters (100 Spalte pro mm) erzeugt werden. Zur Beobachtung des Spektrums befindet sich in 1,0 m Entfernung ein Schirm.

- 7 a) Erstellen Sie eine beschriftete Skizze eines geeigneten Versuchsaufbaus.
- 6 b) Auf dem Schirm ist in 1. Ordnung unter anderem eine gelbe Linie zu sehen, die vom zentralen Maximum 5,9 cm entfernt ist. Berechnen Sie die Wellenlänge dieser Linie.
- 6 c) Auf dem Schirm treten auf derselben Seite bezüglich des zentralen Maximums die Spektrallinien zweiter Ordnung des roten Lichts ($\lambda_{\text{rot}} = 667,8$ nm) und des violetten Lichts ($\lambda_{\text{violett}} = 402,6$ nm) auf. Berechnen Sie den gegenseitigen Abstand dieser Linien.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

4. Photoeffekt

Man bestrahlt die Photokathode einer Vakuumphotozelle nacheinander mit drei ausgewählten Linien des Heliumspektrums ($\lambda_{\text{rot}} = 667,8 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{grün}} = 492,2 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{violett}} = 402,6 \text{ nm}$).

7

- a) Erläutern Sie anhand einer Skizze, wie man mit einem geeigneten Versuch die maximale kinetische Energie von Photoelektronen bestimmen kann.

In der folgenden Tabelle ist der Zusammenhang zwischen Wellenlänge bzw. Frequenz des eingestrahlteten Lichts und der gemessenen maximalen kinetischen Energie der Photoelektronen angegeben:

λ in nm	667,8	492,2	402,6
f in 10^{14} Hz	4,49	6,09	7,45
$E_{\text{kin,max}}$ in eV	0,81	1,48	2,03

7

- b) Tragen Sie in einem geeigneten Koordinatensystem die maximale kinetische Energie der Photoelektronen über der Frequenz f auf. Bestimmen Sie Steigung und Achsenabschnitt (auf der $E_{\text{kin,max}}$ -Achse) der Geraden und interpretieren Sie diese Werte physikalisch.

6

- c) Zeigen Sie, dass sich die untersuchte Photozelle zum Nachweis eines Teils des infraroten Spektralbereichs eignet.

BE

GPh3

1. Streuversuch von Rutherford

- 6 a) Beschreiben Sie anhand einer beschrifteten Skizze das Prinzip und die wesentlichen experimentellen Befunde des Streuversuchs von Rutherford.
- 5 b) Wie erklärt man in der klassischen Physik die Aussendung elektromagnetischer Strahlung? Begründen Sie, welches Problem sich daraus ergibt, wenn ein Atommodell mit kreisförmigen Elektronenbahnen verwendet wird.

2. Experimente mit Wasserstoff

Ein durchsichtiges Gefäß enthält heißen atomaren Wasserstoff, dessen Atome sich teilweise im ersten angeregten Zustand befinden. Das Gefäß wird in den Strahlengang einer Glühlampe gebracht und das durchgehende Licht anschließend spektral zerlegt. Bei $\lambda = 656 \text{ nm}$ weist das Spektrum eine Lücke auf.

Die Energiewerte für die ersten fünf Quantenbahnen des Wasserstoffatoms betragen:

$$E_1 = 0 \text{ eV}, E_2 = 10,20 \text{ eV}, E_3 = 12,09 \text{ eV}, E_4 = 12,75 \text{ eV}, E_5 = 13,05 \text{ eV}.$$

- 7 a) Erklären Sie das Entstehen der Lücke im Spektrum. Welchem atomaren Übergang entspricht diese Lücke? Zu welcher Serie gehört diese Wellenlänge?
- 5 b) Berechnen Sie die Wellenlängen weiterer Lücken des sichtbaren Lichts von 400 nm bis 750 nm, die durch Besetzung bis zur Energiestufe E_5 auftreten können.
- 5 c) Die Temperatur des atomaren Wasserstoffs wird jetzt erniedrigt, so dass sich idealisiert alle Atome im Grundzustand befinden. Wie ändert sich das Spektrum des durchgehenden Lichts im Spektralbereich von Teilaufgabe 2b? Begründen Sie Ihre Antwort unter der Voraussetzung, dass die Glühlampe keine Strahlung im ultravioletten Bereich emittiert.
- 6 d) Können Wasserstoffatome im Grundzustand durch Wechselwirkung zum einen mit Photonen, zum anderen mit Elektronen jeweils der Energie 11 eV zur Emission von Strahlung angeregt werden? Begründen Sie Ihre Antwort und berechnen Sie gegebenenfalls die Wellenlänge der emittierten Strahlung.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

3. Experimente mit bewegten Elektronen

In Anlehnung an den Doppelspaltversuch nach Jönsson soll der Wellencharakter bewegter Elektronen experimentell nachgewiesen werden. Es steht ein Doppelspalt zur Verfügung, dessen Spaltmitten den Abstand $3,5 \mu\text{m}$ haben.

- 7 a) Die Interferenzfigur wird in einer Nachweisebene betrachtet, die 40 cm vom Doppelspalt entfernt ist. Durch optische Vergrößerung sind die Interferenzstreifen noch gut erkennbar, wenn das Maximum 2. Ordnung in der Nachweisebene den Abstand $6,5 \mu\text{m}$ vom zentralen Maximum hat. Welche De-Broglie-Wellenlänge haben in diesem Fall die Elektronen des verwendeten Elektronenstrahls? [zur Kontrolle: $\lambda = 28 \text{ pm}$]
- 6 b) Berechnen Sie die Spannung, mit der die Elektronen demnach beschleunigt werden müssen (nichtrelativistische Rechnung). [zur Kontrolle: $U = 1,9 \text{ kV}$]

In der Bildröhre eines Fernsehgerätes werden Elektronen mit ca. 25 kV beschleunigt.

- 4 c) Der Elektronenstrahl wird durch Lochblenden gebündelt, deren Durchmesser in der Größenordnung 1 mm liegen. Erklären Sie, warum dabei keine störenden Beugungserscheinungen auftreten. (Argumentieren Sie ohne Rechnung.)
- 4 d) Beim Abbremsen der Elektronen am Bildschirm entsteht Röntgenstrahlung. Warum kann man – im Hinblick auf die jeweils auftretenden Energieumwandlungen – die Erzeugung der Röntgenbremsstrahlung grob vereinfacht als „Umkehrung des Photoeffektes“ auffassen?
- 5 e) Warum kann man mit einem Strichgitter, wie man es zur spektralen Zerlegung sichtbaren Lichts verwendet, kein Röntgenspektrum erzeugen? Wie lässt sich die Wellennatur von Röntgenstrahlung nachweisen?

BE

GPh4

1. Radioaktiver Zerfall von Americium-241

Americium-241 ist ein α -Strahler mit einer Halbwertszeit von $4,3 \cdot 10^2$ a. Die Energie der α -Strahlung beträgt 5,48 MeV, die der dabei gleichzeitig emittierten γ -Strahlung 0,057 MeV.

- 7 a) In welche Zerfallsreihe ist Americium-241 einzuordnen? Geben Sie an, aus welchem Nuklid und durch welche Zerfallsart Americium-241 in dieser Reihe entsteht. Warum kann man es heute in natürlicher Umgebung dennoch nicht nachweisen?
- 7 b) Stellen Sie die Reaktionsgleichung des α -Zerfalls von Americium-241 auf und berechnen Sie die dabei frei werdende Energie Q.
[zur Kontrolle: $Q = 5,63$ MeV]
- 8 c) Bestimmen Sie an Hand der gegebenen Energiewerte die kinetische Energie des neben dem He-Kern entstandenen Teilchens.
Bestätigen Sie, dass näherungsweise gilt: Die kinetischen Energien der beiden Zerfallsprodukte verhalten sich umgekehrt wie ihre Massen.

2. Reichweite von α -Teilchen

In einem Experiment soll die Reichweite der α -Strahlung eines Americium-241-Präparats in Luft bestimmt werden. Dazu stellt man ein geeignetes Nachweisgerät in verschiedenen Entfernungen r von dem Americium-241-Präparat auf und bestimmt jeweils die Zählrate Z .

- 4 a) Beschreiben Sie den Effekt, der hauptsächlich zur Schwächung der α -Strahlung beiträgt.

Bei der Durchführung erhält man für die Zählrate Z im Abstand r vom Präparat (unter Berücksichtigung des Nulleffekts) die in der folgenden Tabelle angegebenen Werte. Um die experimentellen Daten einfacher vergleichen zu können, wird die gemessene Zählrate Z noch mit r^2 multipliziert. Man erhält so die modifizierte Rate $Z' = Z \cdot r^2$.

r in cm	1,0	1,5	2,0	2,5	2,7	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Z in s ⁻¹	2600	1160	650	410	350	300	230	120	70	30	10
Z' in m ² /s	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,22	0,12	0,076	0,035	0,012

(Fortsetzung nächste Seite)

BE	
5	b) Welcher Zusammenhang besteht im Vakuum zwischen der Zählrate Z und dem Abstand r ? Begründen Sie damit, warum die Größe Z' für die Auswertung besser geeignet ist als Z .
6	c) Tragen Sie die Tabellenwerte in ein r - Z' -Diagramm ein und entnehmen Sie diesem die mittlere Reichweite der α -Teilchen in Luft.
2	d) Die tatsächliche Reichweite von Americium- α -Teilchen in Luft ist größer als der in Teilaufgabe 2c bestimmte Wert. Begründen Sie dies unter Berücksichtigung der Tatsache, dass bei der Messung ein Schulpräparat verwendet worden ist, bei dem die radioaktive Substanz durch eine Schutzschicht gegen Berührung gesichert sein muss.
	3. Belastungen nach Tschernobyl Beim Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 wurde u. a. das Isotop ^{137}Cs (Halbwertszeit 30 Jahre, $m_a = 136,9$ u) freigesetzt. Beim Zerfall von ^{137}Cs treten β^- - und γ -Strahlung auf.
9	a) Am 30. April 1986 wurde in München durch einen starken Regen jedem Quadratmeter Boden 13 kBq Aktivität durch ^{137}Cs zugeführt. Zur Bestimmung dieses Wertes wurde das Regenwasser in Sammelwannen von $0,60\text{ m}^2$ Grundfläche aufgefangen. Bestimmen Sie daraus die Masse von ^{137}Cs , die an diesem Tag in einer solchen Sammelwanne aufgefangen worden ist.
8	b) In den folgenden Tagen wurde dem Boden so viel ^{137}Cs zugeführt, dass die gesamte ^{137}Cs -Aktivität auf 19 kBq/m^2 anstieg. Wie lange wird es dauern, bis der ursprüngliche Wert 3 kBq/m^2 , der vor dem Unglück gemessen wurde, wieder erreicht ist? (Hinweis: Andere Effekte wie vertikale Ausbreitung im Boden sollen nicht berücksichtigt werden.)
4	c) Erläutern Sie, wie man sich vor β - bzw. γ -Strahlung schützen kann.

BE

GPh5

1. Eros und NEAR

Der Planetoid Eros hat eine heliozentrische Bahn mit der numerischen Exzentrizität 0,223; sein Aphelabstand beträgt 1,78 AE.

- 4 a) Planetoiden unterscheiden sich deutlich von Kometen.
Nennen Sie wesentliche Unterscheidungsmerkmale.
- 7 b) Zeigen Sie, dass der Perihelabstand von Eros 1,13 AE beträgt, und berechnen Sie seine siderische Umlaufzeit.
- Im Jahr 1996 startete die NASA mit der Raumsonde NEAR eine Expedition zum Planetoiden Eros. Im Jahr 2000 bewegte sich NEAR auf einer Umlaufbahn um Eros mit dem Bahnradius $r_N = 155$ km und der Umlaufzeit $T_N = 6,6$ d. Im Februar 2001 ist die Sonde erfolgreich auf Eros gelandet. Eros rotiert um seine Achse und hat die Form einer länglichen „Kartoffel“. Vereinfachend soll er jedoch kugelförmig mit einem Radius von $R_{\text{Eros}} = 8,5$ km angenommen werden.
- 10 c) Berechnen Sie die Masse von Eros und die Fallbeschleunigung g_{Eros} ohne Berücksichtigung der Eigenrotation von Eros.
[zur Kontrolle: $M_{\text{Eros}} = 6,8 \cdot 10^{15}$ kg]
- 9 d) Die gelandete Sonde soll von Eros aus gestartet werden.
Wie groß ist die Fluchtgeschwindigkeit?
Wo sollte am besten der Startplatz gewählt werden? Begründen Sie Ihre Aussage.
- 9 e) Schätzen Sie die mittlere Oberflächentemperatur von Eros im Aphel ab, wenn man annimmt, dass 23 % der eingestrahlten Sonnenenergie reflektiert werden und die Rotation von Eros für eine gleichmäßige Verteilung der absorbierten Sonnenenergie sorgt.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Sonne

- 5 a) Skizzieren Sie schematisch den radialen Aufbau der Sonne. Geben Sie die ungefähren Ausdehnungen der jeweiligen Bereiche an.

In der Photosphäre der Sonne beobachtet man eine fluktuierende, körnige Struktur, die man als Granulation bezeichnet. Dabei sind die Granulen heller als die zwischen ihnen liegenden, vergleichsweise dünnen Bereiche, in denen die Strahlungsleistung pro Fläche etwa 20 % geringer ist als im hellen Inneren der Granulen.

- 4 b) Wie groß ist der maximale Durchmesser einer Granule in Kilometern, wenn sie von der Erde aus unter einem Winkeldurchmesser von $5,0''$ erscheint?

- 6 c) Um wie viel Prozent ist die Temperatur in den Zwischenbereichen geringer als im hellen Inneren der Granulen?

- 6 d) Erklären Sie das Zustandekommen der Granulen und erläutern Sie, wie sich diese Vorstellung durch spektroskopische Beobachtungen belegen lässt.

BE

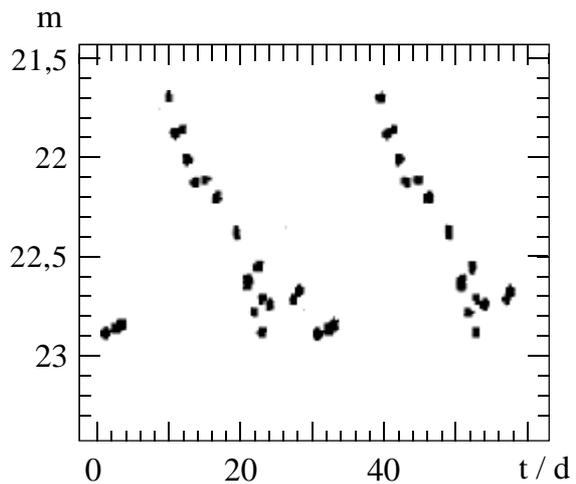
GPh6

1. Die Spiralgalaxie M81

In der Nähe des Sternbilds „Großer Wagen“ kann man bereits mit einem kleinen Teleskop die Spiralgalaxie M81 beobachten. Sie hat die scheinbare Helligkeit $m_{M81} = 6,9$.

5

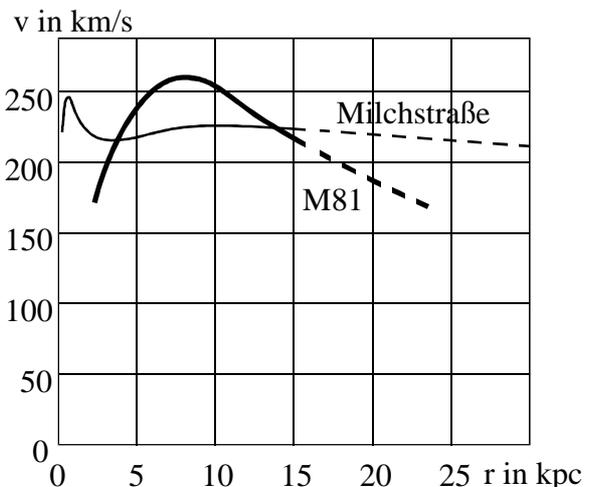
a) Der Winkel zwischen M81 und dem Himmelspol misst etwa 21° . Ist M81 bei klarem Nachthimmel in Bayern das ganze Jahr über beobachtbar? Begründen Sie Ihre Antwort.



10

b) Das nebenstehende Diagramm zeigt Messpunkte der Lichtkurve für den Cepheiden C27 in M81. Berechnen Sie damit die Entfernung von M81 in Lichtjahren.

Im zweiten Diagramm vergleicht man zwei Galaxien: M81 und unsere Milchstraße. Aufgetragen sind die Umlaufgeschwindigkeiten v ihrer Sterne gegen deren Abstand r vom Zentrum (Rotationskurven). Ab $r \approx 16$ kpc kann man in beiden Galaxien kaum mehr optisch leuchtende Materie beobachten; hier bestimmt man Rotationsgeschwindigkeiten aus Beobachtungen im Radiobereich.



5

c) Umläuft ein Himmelskörper ein massereiches Zentrum, dann lässt sich aus seiner Bahngeschwindigkeit v und dem Bahnradius r die Zentralmasse M bestimmen. Zeigen Sie, dass dafür die Beziehung $M = \frac{v^2}{G} r$ gilt.

10

d) Zeigen Sie exemplarisch an Hand zweier ausgewählter Punkte des Diagramms, dass für die Rotationskurve von M81 ab $r = 10$ kpc näherungsweise $v \sim \frac{1}{\sqrt{r}}$ gilt.

Was bedeutet dies für die Masseverteilung von M81? Schätzen Sie die Masse von M81 innerhalb des Bereichs der leuchtenden Materie in Sonnenmassen ab.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

5 e) Die Rotationskurven von M81 und der Milchstraße unterscheiden sich für große Radien deutlich.
Beschreiben Sie den Unterschied. Welche Folgerung kann man daraus für die Masseverteilung in unserer Milchstraße ziehen?

3 f) Die Wellenlänge der H_{α} -Strahlung aus der Mitte des sichtbaren Bereichs von M81 wird auf der Erde zu $\lambda_{M81} = 656,38$ nm gemessen (zum Vergleich: $\lambda_{\text{Labor}} = 656,47$ nm).
Gehorcht M81 dem Hubblegesetz? Begründen Sie Ihre Antwort ohne Rechnung.

2. Supernova in M81

In der Galaxie entdeckte man 1993 eine Supernova (SN1993J). Der Vorläuferstern dieser Supernova hatte eine Masse von etwa 15 Sonnenmassen.

8 a) Wodurch ist das Hauptreihenstadium eines Sterns charakterisiert?
Leiten Sie einen Zusammenhang zwischen der Verweildauer τ auf der Hauptreihe („Entwicklungszeit“) und der Sternmasse M her.
Bestimmen Sie nun den Wert von τ für den Vorläuferstern.
(Hinweis: $\tau_{\text{Sonne}} = 1,0 \cdot 10^{10}$ a)

Vor der Explosion des Vorläufersterns fusionierte dieser hauptsächlich Helium zu Kohlenstoff nach der Reaktionsgleichung $3 \cdot {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{12}_6\text{C}$. Bei jedem solchen Fusionsprozess wird die Energie $\Delta E = 1,2 \cdot 10^{-12}$ J frei.
Beobachtungen deuten darauf hin, dass dem Vorläuferstern vor seiner Explosion fast der gesamte Wasserstoff von einem Nachbarstern abgesaugt wurde. Dabei blieben beim Vorläuferstern ca. 4 Sonnenmassen zurück, im Wesentlichen in Form von Heliumplasma.

10 b) Schätzen Sie ab, wie viele Jahre dieser Reststern Helium fusionieren konnte, wenn 10 % des Heliums dafür nutzbar waren und der Stern in dieser Phase im Mittel mit dem 10^5 -fachen der Sonnenleuchtkraft strahlte.

4 c) Geben Sie an, welche Endzustände für den Vorläuferstern nach der oben beschriebenen He-Fusion und der folgenden Supernova-Explosion möglich sind. Begründen Sie Ihre Aussagen.