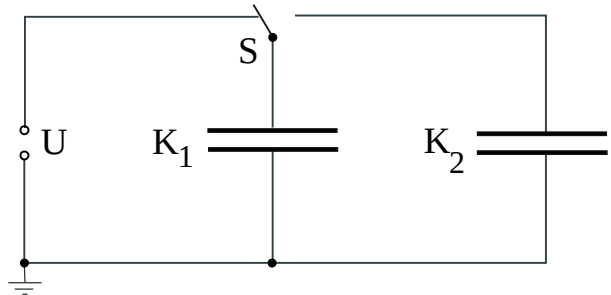


BE

GPh1

1. Der Kondensator K_1 ist über den Schalter S an eine Spannungsquelle mit $U = 800 \text{ V}$ angeschlossen. Seine kreisförmigen Platten haben einen Radius von 15 cm und sind im Abstand von $1,9 \text{ cm}$ zueinander angeordnet. Zwischen den Platten befindet sich Luft.

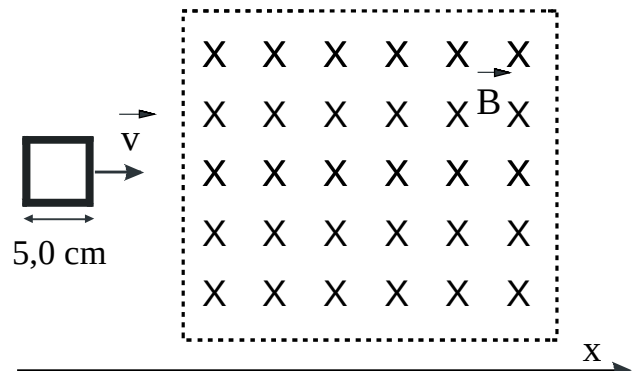


- a) Berechnen Sie die Kapazität C_1 und die Ladung Q_1 des Kondensators.
[zur Kontrolle: $C_1 = 33 \text{ pF}$]
- b) Der Kondensator K_1 wird nun von der Spannungsquelle abgetrennt. Beschreiben Sie ein Experiment, mit dem man feststellen könnte, welche Platte des Kondensators positiv geladen ist.

Zur Bestimmung der Kapazität eines unbekannten Kondensators K_2 wird dieser durch Umlegen des Schalters S an die Platten von K_1 angeschlossen. Dabei sinkt die Spannung zwischen den Platten von K_1 von 800 V auf 200 V .

- c) Erläutern Sie, warum es zum Absinken der Spannung kommt, und bestimmen Sie den Betrag der Ladung, die zu K_2 fließt. Welche Kapazität hat folglich der Kondensator K_2 ?

2. Eine kleine Spule mit quadratischem Querschnitt, 20 Windungen und kurzgeschlossenen Spulenden besitzt den ohmschen Widerstand $0,50 \, \Omega$. Sie bewegt sich mit der konstanten Geschwindigkeit $v = 2,5 \text{ cm/s}$ in x -Richtung auf ein homogenes, scharf begrenztes Magnetfeld der Flussdichte $1,2 \text{ T}$ zu.

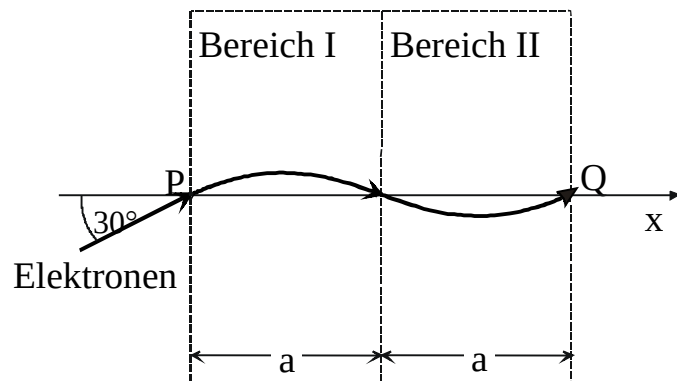


- a) Erklären Sie, weshalb ein Induktionsstrom in der Spule nur fließt, während diese in den vom Magnetfeld erfüllten Raum ein- bzw. austritt.
- b) Berechnen Sie die Stärke I des Induktionsstroms.
[zur Kontrolle: $I = 60 \text{ mA}$]
- c) Begründen Sie, weshalb während des Ein- bzw. Austritts eine Kraft auf die Spule wirkt, und geben Sie deren Richtung und Betrag an.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

3. Bei DESY in Hamburg wird derzeit im Rahmen des TESLA-Projekts ein „Freier-Elektronen-Laser“ entwickelt, in dem Elektronen in Schlingerbewegungen versetzt werden; dabei emittieren die Elektronen sehr kurze Röntgenimpulse. Stark vereinfacht kann man sich diese Schlingerbewegungen aus Kreisbögen zusammengesetzt denken, die durch die Ablenkung der Elektronen in scharf begrenzten homogenen Magnetfeldern verursacht werden (siehe Abbildung).



Im Folgenden werden Elektronen betrachtet, die bei P unter einem Winkel von 30° gegenüber der x-Achse mit einer Geschwindigkeit von $v = 0,99 c$ eingeschossen werden und die Anordnung nach dem Durchlaufen zweier Kreisbögen in den Feldbereichen I und II bei Q wieder verlassen. Die Breite der beiden Bereiche beträgt jeweils $a = 1,0 \text{ cm}$.

- 6 a) Welche Beschleunigungsspannung U müssen Elektronen durchlaufen haben, damit sie mit der gegebenen Geschwindigkeit in den Bereich I eintreten?
- 4 b) Wie müssen die Magnetfelder in den Bereichen I und II orientiert sein?
- 5 c) Zeigen Sie anhand einer geeigneten Skizze, dass der Radius der Kreisbögen in diesem Fall mit der Breite a der Magnetfelder übereinstimmt.
- 6 d) Berechnen Sie die Flussdichte B in den Bereichen I und II.
- 4 e) Welchen Einfluss haben die beiden Magnetfelder auf die kinetische Energie der Elektronen, wenn wieder davon ausgegangen wird, dass die Bahn dort aus Kreisbögen besteht? Begründen Sie Ihre Antwort.
- 3 f) In der Realität emittieren die schlingernenden Elektronen elektromagnetische Strahlung. Nennen Sie einen Grund hierfür.

BE

GPh2**1. Schwingungen**

Die harmonische Schwingung eines Federpendels mit der Masse m und der Federkonstante D ist ein mechanisches Analogon zur ungedämpften Schwingung eines elektromagnetischen Schwingkreises. Dabei wird die (momentane) Auslenkung x des Federpendels als die zur (momentanen) Ladung Q des Kondensators analoge Größe betrachtet.

- 4 a) Begründen Sie, dass dann der (momentanen) Geschwindigkeit des Federpendels die (momentane) Stromstärke I im Schwingkreis entspricht.
- 4 b) Welche Formen elektromagnetischer Energie entsprechen im Rahmen dieser Analogiebetrachtung der kinetischen Energie bzw. der potentiellen Energie des Federpendels? Geben Sie eine kurze Begründung an.
- 5 c) Charakterisieren Sie die Phasen der elektromagnetischen Schwingung, die den Phasen maximaler Auslenkung bzw. maximaler Geschwindigkeit des Federpendels entsprechen.

$Q_{\max}$ sei die maximale Ladung des Kondensators, $I_{\max}$ sei der Scheitelwert der Stromstärke in der Spule des Schwingkreises.

- 4 d) Erläutern Sie, warum folgende Gleichung gilt:

$$\frac{1}{2} L \cdot I_{\max}^2 = \frac{1}{2} \frac{1}{C} \cdot Q_{\max}^2$$

$U_{\max}$ sei der Scheitelwert der Spannung am Kondensator des Schwingkreises.

- 5 e) Entwickeln Sie (unter Verwendung der bei Teilaufgabe 1d angegebenen Gleichung) die Beziehung $I_{\max} = 2\pi \cdot f_0 \cdot C \cdot U_{\max}$, wenn f_0 die Eigenfrequenz des Schwingkreises bezeichnet.

In einem ungedämpft mit der Frequenz $f_0 = 2,0$ Hz schwingenden Schwingkreis S beobachtet man die Scheitelwerte $U_{\max} = 15$ V und $I_{\max} = 7,5$ mA.

- 6 f) Berechnen Sie Kapazität C und Induktivität L des Schwingkreises.

Mit dem oben genannten Schwingkreis S wird ein Schwingkreis S' mit gleicher Kapazität $C' = C$ und einer zwischen $4 \cdot L$ und L veränderlichen Induktivität L' zu erzwungenen Schwingungen angeregt.

- 4 g) Beschreiben Sie qualitativ, wie sich die Frequenz bzw. die Amplitude der erzwungenen Schwingung des Schwingkreises S' verhält, wenn L' allmählich von $4 \cdot L$ auf L verringert wird.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Lichtelektrischer Effekt

7

- a) Erklären Sie, auf welche Weise sich zwischen Kathode und Anode einer Vakuum-Fotozelle, deren Kathode mit monochromatischem Licht der Wellenlänge $\lambda \leq \lambda_G$ bestrahlt wird, eine bestimmte Spannung U aufbaut. Gehen Sie dabei auch auf die Bedeutung der Grenzwellenlänge λ_G ein.

Im Folgenden wird mit einer Vakuum-Fotozelle mit $\lambda_G = 551 \text{ nm}$ gearbeitet.

5

- b) Berechnen Sie die Austrittsarbeit W_0 des Kathodenmaterials. Aus welchem Material besteht die Kathode?

[zur Kontrolle: $W_0 = 2,25 \text{ eV}$]

Die Fotozelle befinde sich an Bord eines Satelliten außerhalb der Erdatmosphäre und werde mit Sonnenlicht bestrahlt, das vorher ein Quarzprisma durchlaufen hat. Quarz ist im UV-Bereich nur für $\lambda \geq 250 \text{ nm}$ durchlässig.

6

- c) Erklären Sie, weshalb unter diesen Bedingungen die Spannung an der Fotozelle einen gewissen Höchstwert $U_{\max}$ nicht überschreitet.

Die Fotozelle soll dazu dienen, bei Bedarf ein Spannungsnormal reproduzieren zu können. Zu diesem Zweck wird die Anordnung so eingestellt, dass die Zelle nur mit Licht der Wellenlänge $\lambda_L = 382 \text{ nm}$ bestrahlt wird.

5

- d) Berechnen Sie die zu λ_L gehörende Fotospannung U_L .

5

- e) Wie wirkt es sich auf U_L aus, wenn die Intensität des auf die Fotokathode treffenden Lichts der Wellenlänge λ_L Schwankungen unterliegt? Begründen Sie Ihre Antwort.

BE

GPh3

1. Elektronen mit der kinetischen Energie $E_{\text{kin}} = 10,0 \text{ eV}$ treffen auf ein Gas aus Wasserstoffatomen, die sich zum größeren Teil im Grundzustand, zum kleineren Teil im ersten angeregten Zustand befinden.

- 5 a) Weisen Sie nach, dass die Wasserstoffatome im Grundzustand von den Elektronen nicht angeregt werden können.
- 5 b) Zeigen Sie, dass die Wasserstoffatome im ersten angeregten Zustand von den Elektronen in jeden beliebigen höheren Zustand angeregt und auch ionisiert werden können.
- 5 c) Geben Sie ein mögliches Verfahren an, um die kinetische Energie der Elektronen zu messen, nachdem sie durch das Wasserstoffgas geflogen sind.
- 8 d) Erklären Sie, wie die drei Werte $10,0 \text{ eV}$, $8,1 \text{ eV}$ und $7,5 \text{ eV}$ im Energiespektrum dieser Elektronen zustande kommen.

Ein Wasserstoffatom kann ein zusätzliches Elektron an sich binden, so dass ein H^- -Ion entsteht. Bei diesem Vorgang wird ein Photon emittiert. Im Grundzustand des H^- -Ions ist das überzählige Elektron mit $0,75 \text{ eV}$ an das Wasserstoffatom gebunden.

- 7 e) Erklären Sie, weshalb das bei der Bildung von H^- -Ionen im Grundzustand auftretende Emissionsspektrum kontinuierlich mit einer langwelligen Grenze λ_L ist, und berechnen Sie λ_L .

Durch Photonenabsorption können die H^- -Ionen wieder in Wasserstoffatome und freie Elektronen zerlegt werden. Dabei zeigt die Absorption elektromagnetischer Strahlung durch H^- bei $\lambda = 850 \text{ nm}$ ein Maximum.

- 5 f) Berechnen Sie die kinetische Energie des frei gesetzten Elektrons, wenn ein H^- -Ion im Grundzustand elektromagnetische Strahlung der Wellenlänge 850 nm absorbiert.

2. In einer evakuierten Röhre trifft ein Strahl von Elektronen, die jeweils die kinetische Energie $E_k = 15 \text{ keV}$ besitzen, auf eine dünne polykristalline Kupferfolie. Auf einem senkrecht zur Richtung des Elektronenstrahls hinter der Folie angebrachten Fluoreszenzschirm werden konzentrische leuchtende Ringe beobachtet.

- 8 a) Fertigen Sie eine beschriftete Skizze einer entsprechenden Versuchsanordnung und erklären Sie den Beobachtungsbefund auf der Grundlage der Hypothese von de Broglie.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE	
5	b) Begründen Sie rechnerisch, dass man zur Bestimmung der De-Broglie-Wellenlänge dieser 15 keV-Elektronen relativistisch vorgehen müsste.
4	c) Wie kann man nachweisen, dass die leuchtenden Ringe auf dem Fluoreszenzschirm nicht von elektromagnetischer Strahlung herrühren? Bei der Wechselwirkung der Elektronen mit der Kupferfolie entsteht auch Röntgenstrahlung. Zu deren genauer Kennzeichnung dienen zwei typische Wellenlängen: Zum einen die kurzwellige Grenze λ_G , die zur maximalen Energie eines Röntgenquants gehört, zum anderen die charakteristische Wellenlänge λ_{K_α} , die im Moseley-Gesetz vorkommt.
8	d) Berechnen Sie die beiden Wellenlängen.

BE

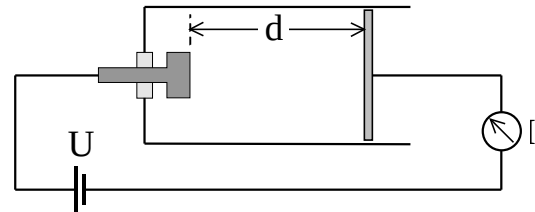
GPh4

1. Ein ^{209}Po -Präparat sendet α -Teilchen einheitlicher Energie aus.

4

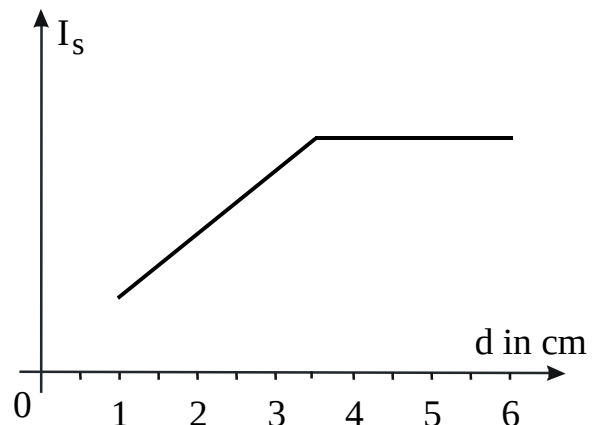
a) Beschreiben Sie einen Versuch, mit dem gezeigt werden kann, dass ^{209}Po nur α -Teilchen einheitlicher Energie, aber keine β -Strahlen aussendet.

Das ^{209}Po -Präparat befindet sich nun in einer Ionisationskammer. Der Abstand der Gegenelektrode vom Präparat wird ausgehend von $d_1 = 1,0 \text{ cm}$ kontinuierlich bis $d_2 = 6,0 \text{ cm}$ vergrößert (siehe Skizze). Die anliegende Spannung wird jeweils so gewählt, dass die Sättigungsstromstärke I_s gerade erreicht wird. Für I_s ergibt sich idealisiert der im nebenstehenden Graphen skizzierte Verlauf.



6

b) Geben Sie eine qualitative Erklärung, wie es zu diesem Kurvenverlauf der Sättigungsstromstärke kommt.



5

c) Ein α -Teilchen erzeugt im Schnitt $4,0 \cdot 10^4$ Ionenpaare pro cm. Zur Bildung eines Paares wird im Mittel die Energie 35 eV benötigt. Berechnen Sie daraus unter Zuhilfenahme des Diagramms von Teilaufgabe 1b die Energie eines α -Teilchens.

2. Bei β^- -Strahlern zerfällt im Atomkern ein Neutron in ein Proton, ein freies Elektron und ein Antineutrino.

6

a) Neben β -Strahlung registriert man meist auch γ -Strahlung. Erklären Sie deren Ursache und nennen Sie drei Unterschiede zur α - und β -Strahlung.

6

b) Skizzieren Sie qualitativ das Energiespektrum eines β^- -Strahlers. Wie lässt sich das β^- -Spektrum erklären?

BE

Ein typischer β^- -Strahler emittiert Elektronen mit der maximalen Geschwindigkeit $0,98 c$.

7

c) Berechnen Sie die De-Broglie-Wellenlänge dieser schnellsten Elektronen.
[zur Kontrolle: $\lambda = 0,49 \text{ pm}$]

4

d) Begründen Sie mit dem Ergebnis von Teilaufgabe 2 c, dass mit Elektronen eines β^- -Strahlers die innere Struktur von Protonen nicht untersucht werden kann.

3. Das Uranisotop ^{232}U zerfällt nicht nur durch α -Zerfall oder spontane Spaltung, sondern auch durch alleinige Emission eines ^{24}Ne -Teilchens. Man nennt diesen Vorgang, der erstmals 1985 in Berkeley beobachtet wurde, „super-asymmetrische Spaltung“.

Atommmassen:

$m_a(^{24}\text{Ne}) = 23,993615 \text{ u}$; $m_a(^{208}\text{Pb}) = 207,97667 \text{ u}$; $m_a(^{232}\text{U}) = 232,037146 \text{ u}$

3

a) Geben Sie die Zerfallsgleichung für die „super-asymmetrische Spaltung“ des ^{232}U -Kerns an.

7

b) Berechnen Sie die gesamte dabei frei werdende Energie Q in MeV.

6

c) ^{232}U kann sich auch durch α - und β^- -Zerfälle in das gleiche Endprodukt ^{208}Pb umwandeln. Wie viele α - und wie viele β^- -Zerfälle sind hierzu notwendig? Erläutern Sie ohne Berechnung, warum dabei insgesamt deutlich weniger Energie frei wird als bei der „super-asymmetrischen Spaltung“.

6

d) Die Geschwindigkeit der beiden Zerfallsprodukte eines vorher ruhenden ^{232}U -Atoms bei der „super-asymmetrischen Spaltung“ soll berechnet werden. Stellen Sie dazu die entsprechenden Gleichungen auf, führen Sie aber keine Berechnung durch.

BE

GPh5**Der Planet Mars**

1. Zunächst sollen für Erde und Mars Kreisbahnen um die Sonne in einer gemeinsamen Ebene angenommen werden.

- 4 a) Berechnen Sie für den Planeten Mars, wie viele Tage zwischen zwei aufeinander folgenden Oppositionen liegen. [zur Kontrolle: 780 d]
- 9 b) Fertigen Sie eine maßstabsgetreue Zeichnung für die Bahnen von Erde und Mars an. Tragen Sie die Positionen von Erde und Mars während einer Opposition ein. Zeichnen Sie zusätzlich die Orte der beiden Himmelskörper zwei Jahre später und bei der nächsten Opposition ein.
- 2 c) Zeichnen Sie qualitativ für eine Reise von der Erde zum Mars die energetisch günstigste Bahn, die so genannte Hohmannbahn, ein.
- Am 4.12.1996 startete die Sonde der erfolgreichen Marsmission Pathfinder, die nach 213 Tagen den Mars erreichte.
- 7 d) Entscheiden Sie durch Rechnung, ob es sich beim Hinflug der Pathfinder-sonde um eine Hohmannbahn handelte.
- 5 e) Nach der Landung von Pathfinder wurde das kleine Fahrzeug Rover Sojourner ausgefahren. Der Energiebedarf für das Fahrzeug wurde aus Solarzellen mit einer Gesamtfläche von $0,19 \text{ m}^2$ und einem Wirkungsgrad von mindestens 18 % bezogen. Welche Mindestleistung der Solarzellen konnte man bei senkrechter Sonneneinstrahlung erwarten?
- 3 f) Bei der Exkursion des Fahrzeugs auf dem Mars stellte sich eine gefährliche Situation ein, die zur Erde gemeldet wurde. Der Erdbestand betrug $1,9 \cdot 10^8 \text{ km}$. Wann konnte frühestens nach Absenden des Meldesignals ein korrigierendes Steuersignal beim Rover auf dem Mars eintreffen?

2. Im Folgenden wird die Marsbahn als Ellipse angenommen, die Erdbahn weiterhin als kreisförmig. Beide Bahnen sollen in einer Ebene liegen.

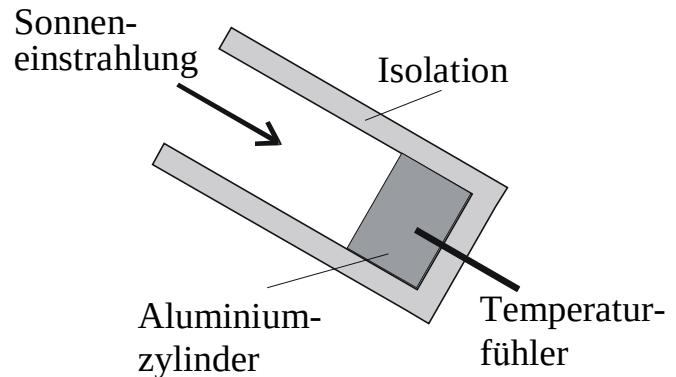
- 5 a) Bei so genannten Perihelopositionen erreicht der Mars die Oppositionsstellung im Perihel seiner Bahn. Berechnen Sie den Abstand von Mars und Erde für eine solche Periheloposition. [zur Kontrolle: 0,38 AE]
- 3 b) Der Mars stand zuletzt am 13.6.2001 in Opposition und wird 806 Tage danach eine Periheloposition erreichen. Erläutern Sie die Abweichung vom Ergebnis aus Teilaufgabe 1a ohne Rechnung.
- 7 c) Bei der erdgebundenen Beobachtung des Mars ist die im Fernrohr sichtbare Fläche entscheidend. Schätzen Sie ab, um welchen Faktor die Marsfläche bei Periheloposition größer erscheint als bei Apheloposition.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Die Sonne

3. Für die Abschätzung der Solarkonstanten wird ein geschwärzter Aluminiumzylinder (Masse 100 g, Querschnittsfläche 25 cm^2) durch die einfallende Sonnenstrahlung erwärmt (siehe nebenstehende Abbildung).



6

- a) Bei einer Sonnenhöhe von 30° über dem Horizont wurde innerhalb von 10 Minuten eine Temperaturerhöhung von 10,6 K gemessen. Berechnen Sie daraus einen Wert für die Solarkonstante.

3

- b) Die Messung wurde bei einem wesentlich höheren Sonnenstand wiederholt. Begründen Sie, warum sich dabei ein größerer Wert für die Solarkonstante ergibt.

6

- c) Entnehmen Sie nun der Formelsammlung den Wert für die Solarkonstante und berechnen Sie hiermit die mittlere Temperatur der Sonnenoberfläche.

BE

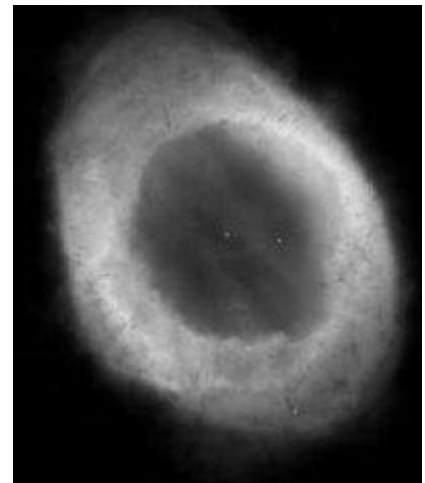
GPh6**Ringnebel in der Leier**

1. Der französische Astronom Charles Messier gab 1784 einen Katalog nebelhaft erscheinender Himmelsobjekte heraus. Unter ihnen befanden sich vier sogenannte Planetarische Nebel. Nach heutigem Wissen handelt es sich bei einem solchen Objekt um die äußere Gashölle, die von einem heißen Zentralstern abgestoßen wurde und von ihm zum Leuchten angeregt wird.

4

- a) Durch weitere Beobachtungen konnten den Nebelfleckchen des Messierkataloges außer den Planetarischen Nebeln noch andere Typen astronomischer Objekte zugeordnet werden. Erläutern Sie für zwei dieser anderen Typen deren prinzipielle Natur.

Einer der bekanntesten Planetarischen Nebel ist M57, der Ringnebel im Sternbild Leier (vergleiche nebenstehende Fotografie). Zeitlich versetzte Aufnahmen zeigen, dass sich der Ringnebel gleichmäßig ausdehnt.



3

- b) Der große Durchmesser dieses Ringnebels beträgt derzeit 77". Berechnen Sie das Alter von M57 unter der Annahme, dass der große Durchmesser um 0,70" pro Jahrhundert zugenommen hat. [zur Kontrolle: $1,1 \cdot 10^4$ a]

5

- c) Erläutern Sie, wie man prinzipiell aus gemessenen Dopplerverschiebungen von Spektrallinien Radialgeschwindigkeiten von Himmelsobjekten ermitteln kann.

5

- d) Mit Hilfe der Dopplerverschiebung hat man die Expansionsgeschwindigkeit der Gashölle gegenüber dem Zentralstern zu 12 km/s ermittelt. Bestimmen Sie damit die wahre Ausdehnung des Gasrings und vergleichen Sie Ihr Ergebnis größenordnungsmäßig mit den Entfernungen der uns nächsten Fixsterne.

[zur Kontrolle: 0,88 Lj]

4

- e) Nehmen Sie in einem stark vereinfachten Modell an, dass die aus einer Fotografie ermittelte Winkelausdehnung von 77" die gesamte Ausdehnung des Gasnebels darstellt. Berechnen Sie daraus die Entfernung des M57 von der Erde in Lichtjahren.

BE	
	2. Für die Entfernung von M57 werde $2,4 \cdot 10^3$ Lj angenommen.
7	a) Der Zentralstern des Ringnebels hat eine scheinbare Helligkeit von $m = 14,7$. Berechnen Sie seine absolute Helligkeit und seine Leuchtkraft L in Vielfachen der Sonnenleuchtkraft. [zur Kontrolle: $L = 0,59 L_{\odot}$]
8	b) Das Strahlungsmaximum des Zentralsterns liegt weit im Ultraviolett bei einer Wellenlänge von $3,9 \cdot 10^{-8}$ m. Berechnen Sie die Oberflächentemperatur T und den Radius R des Zentralsterns. [zur Kontrolle: $T = 7,4 \cdot 10^4$ K; $R = 3,3 \cdot 10^3$ km]
6	c) Begründen Sie mit den Ergebnissen von Teilaufgabe 2 b, dass es sich beim Zentralstern von M57 um einen Stern handelt, der sich zu einem Weißen Zwerg entwickelt. Was ist die momentane energetische Quelle seiner Leuchtkraft? Erläutern Sie, wie sich die Leuchtkraft qualitativ mit der Zeit ändern wird.
4	d) Weiße Zwerge haben eine typische Masse von 0,6 Sonnenmassen. Welche Masse hat daher im Mittel 1 cm^3 der Materie des Zentralsterns unter der Annahme, dass seine Masse der eines Weißen Zwerges entspricht?
8	e) Fertigen Sie ein Hertzsprung-Russell-Diagramm mit den zugehörigen Achseneinteilungen an. Zeichnen Sie darin die Hauptreihe, den Ort der Sonne und des Zentralsterns von M57 sowie die Bereiche der Roten Riesen und der Weißen Zwerge ein.
6	f) Der Zentralstern von M57 hat ca. 20 % seiner ursprünglichen Masse an den Planetarischen Nebel abgegeben. Berechnen Sie die Leuchtkraft, die er als Hauptreihenstern hatte, als Vielfaches der Sonnenleuchtkraft. Zeichnen Sie den Ort dieses ursprünglichen Hauptreihensterns in das obige Hertzsprung-Russell-Diagramm ein. Skizzieren Sie dort auch die Entwicklung des Zentralsterns von der Hauptreihe bis zum erwarteten Endzustand.