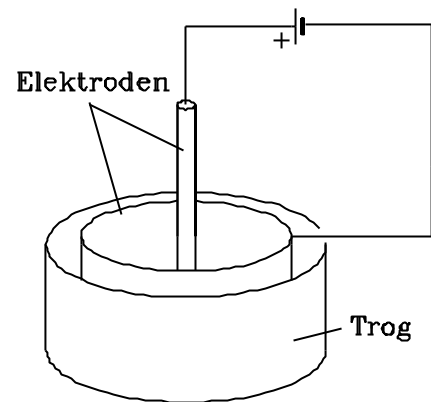


BE

## GPh1

1. In einen zylindrischen Glastrog, der mit einer wässrigen Salzlösung gefüllt ist, taucht axial eine stabförmige und am Rand eine ringförmige Elektrode ein. Die Elektroden sind gemäß nebenstehender Abbildung an eine Batterie angeschlossen.



- 4 a) Fertigen Sie eine Zeichnung in Draufsicht an, in der Sie die Richtung des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden und die Richtungen der Kräfte auf Ionen beiderlei Vorzeichens deutlich machen.

Nun wird die Anordnung in ein homogenes Magnetfeld gebracht, dessen Feldlinien den Trog von unten nach oben in axialer Richtung durchsetzen. Man beobachtet das Einsetzen einer zirkularen Strömung in der Flüssigkeit zwischen den beiden Elektroden.

- 6 b) Machen Sie das Zustandekommen der Strömung verständlich, indem Sie darstellen, welchen Einfluss das Magnetfeld auf die Ionenbewegung ausübt. Zeichnen Sie in die unter Teilaufgabe 1a begonnene Skizze die Richtungen der magnetischen Kräfte ein.

2. Eine positiv geladene Wolke in 400 m Höhe bildet zusammen mit dem Erdboden einen Plattenkondensator (Fläche einer „Platte“  $8,0 \text{ km}^2$ ). Zwischen Wolke und Erde herrscht die Feldstärke  $E = 1,2 \cdot 10^5 \text{ V/m}$ , die so hoch ist, dass eine Entladung durch die Luft (Blitz) unmittelbar bevorsteht.

- 5 a) Wie groß ist die Ladung der Wolke, welche Spannung herrscht zwischen ihr und dem Boden? [zur Kontrolle:  $Q = 8,5 \text{ C}$ ]
- 6 b) Welche Ladung müsste ein kugelförmiges Wassertröpfchen mit 2,0 mm Durchmesser haben, wenn es vor Entladung der Wolke zwischen dieser und der Erde bei Windstille gerade schweben würde? (Der Auftrieb in Luft ist zu vernachlässigen.)
- 3 c) Wie lange würde die Entladung der Wolke dauern, wenn die mittlere Stromstärke des Blitzes 4,0 kA betragen würde?
- 6 d) Noch bevor es zu einer Entladung kommt, drückt ein Fallwind die Wolke auf eine niedrigere Höhe herab. Die Ladung der Wolke bleibe dabei konstant.  
Wie ändert sich qualitativ die elektrische Feldstärke zwischen Wolke und Erde? Wird eine Entladung der Wolke dadurch wahrscheinlicher? Geben Sie eine kurze Begründung.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

3. In einem homogenen Magnetfeld mit der Flußdichte  $B$  befindet sich eine flache Induktionsspule mit der Querschnittsfläche  $A_0 = 40 \text{ cm}^2$  und der Windungszahl  $N = 500$ . Die Drehachse liegt in der Spulenebene und steht senkrecht auf den Feldlinien des Magnetfelds. Wenn die Induktionsspule mit konstanter Frequenz  $f$  rotiert, wird in ihr eine sinusförmige Wechselspannung mit dem Scheitelwert  $U_0$  induziert.

Indem  $f$  auf verschiedene Werte eingestellt wird, ermittelt man die folgende Meßreihe:

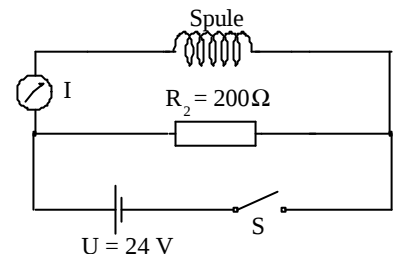
|            |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|
| $f$ in Hz  | 16   | 22   | 28   | 36   |
| $U_0$ in V | 0,34 | 0,46 | 0,59 | 0,75 |

- 6 a) Zeigen Sie durch graphische Auswertung, dass  $U_0$  zu  $f$  direkt proportional ist und ermitteln Sie den Wert des Proportionalitätsfaktors  $k$ .
- 9 b) Bestätigen Sie, ausgehend vom Induktionsgesetz, dass für den Proportionalitätsfaktor  $k$  aus Teilaufgabe 3a gilt:  $k = 2\pi \cdot N \cdot A_0 \cdot B$ . Berechnen Sie  $B$ .

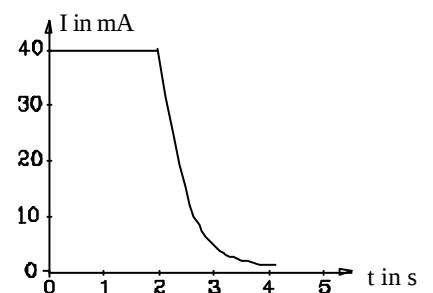
4. Die nebenstehende Abbildung zeigt eine Spule und den parallel geschalteten ohmschen Widerstand  $R_2 = 200 \Omega$ .

Sie sind an eine Batterie mit der Spannung  $U = 24 \text{ V}$  angeschlossen. Zur Zeit  $t = 2 \text{ s}$  wird der Schalter  $S$  geöffnet.

Die von dem Messgerät angezeigte Stromstärke  $I$  nimmt dann den im Diagramm dargestellten Verlauf.



- 5 a) Erklären Sie, weshalb  $I$  nicht sofort auf den Wert 0 abfällt.
- 4 b) Berechnen Sie den ohmschen Widerstand  $R_1$  der Spule (bei Vernachlässigung des Innenwiderstands des Messgeräts).
- 6 c) Die unmittelbar nach dem Öffnen des Schalters  $S$  induzierte Spannung beträgt  $32 \text{ V}$ . Bestimmen Sie mit Hilfe des Diagramms die zeitliche Änderungsrate  $\frac{dI}{dt}$  unmittelbar nach dem Öffnen des Schalters und berechnen Sie so einen Näherungswert für die Induktivität der Spule.



BE

## GPh2

1. Ein Schwingkreis regt einen Dipol der Länge  $\ell$  in der Grundschiwingung mit der Periodendauer  $T$  an. Die auftretende Dipolstrahlung hat die Wellenlänge  $\lambda = 70 \text{ cm}$ .

- 6 a) Bestimmen Sie die Dipollänge  $\ell$  und berechnen Sie die Frequenz  $f$  des anregenden Schwingkreises sowie dessen Induktivität  $L$ , wenn seine Kapazität  $C = 1,0 \text{ pF}$  beträgt.
- 7 b) Veranschaulichen Sie jeweils in einem Bild die Stromstärke- bzw. die Ladungsverteilung längs des Dipols zu den Zeiten  $t = 0$ ,  $\frac{1}{4}T$ ,  $\frac{1}{2}T$  und  $\frac{3}{4}T$ , wobei zur Zeit  $t = 0$  kein Strom fließt.

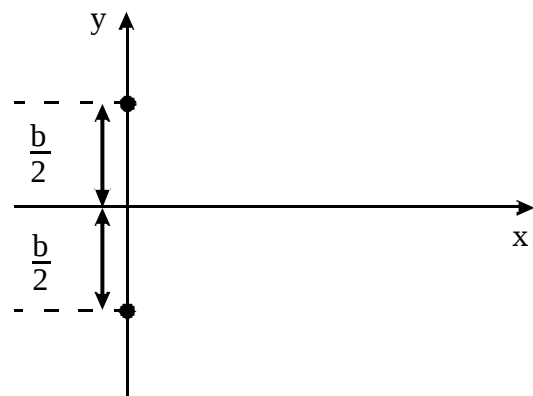
Nun wird ein Punkt A in der Fernzone des Dipolstrahlungsfelds betrachtet, der sich in der Ebene befindet, die senkrecht zum Dipol durch seinen Mittelpunkt verläuft (Äquatorebene).

- 3 c) Was lässt sich über die Richtung der elektrischen und magnetischen Feldlinien im Punkt A aussagen?
- 3 d) Wie ist ein Empfangsdipol in A auszurichten, damit der Empfang optimal ist? Begründen Sie Ihre Antwort.

Die Abstimmung des Empfangsdipols auf die Strahlung erfolgt über die Länge  $\ell'$  des Empfangsdipols.

- 3 e) Skizzieren Sie qualitativ in einem beschrifteten Diagramm die bei optimal ausgerichtetem Empfangsdipol gemessene Schwingungsamplitude in Abhängigkeit von  $\ell'$ . Beschränken Sie sich auf das Verhalten in der näheren Umgebung von  $\ell' = \ell$ .

Parallel zum vorhandenen Sendedipol wird ein zweiter Sendedipol gleicher Länge  $\ell$  und gleicher Äquatorebene im Abstand  $b$  angebracht. Beide werden zu gleichphasigen Schwingungen mit gleicher Amplitude angeregt. In die Äquatorebene wird ein kartesisches Koordinatensystem gelegt (vgl. Skizze).

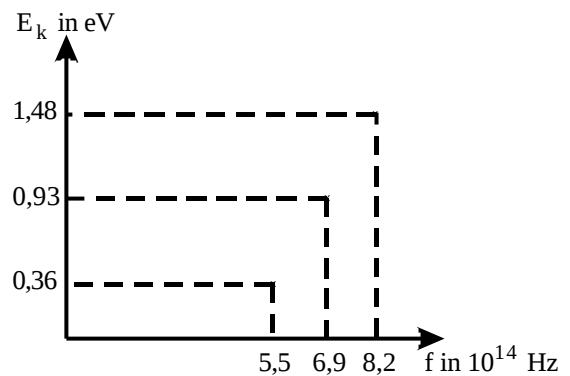


(Fortsetzung nächste Seite)

| BE |
|----|
| 3  |
| 5  |
| 10 |
| 5  |
| 6  |
| 5  |
| 4  |
| 60 |

- f) Beschreiben Sie die Lage aller Punkte der Äquatorebene, die zum Interferenzmaximum 0. Ordnung gehören. Geben Sie eine kurze Begründung.
- g) Wie ist der Abstand  $b$  der Dipole zu wählen, damit in großer Entfernung die Punkte der Äquatorebene mit  $y = x$  zum Interferenzmaximum 1. Ordnung gehören?

2. Zur Untersuchung des Photoeffekts wird an einer Vakuum-Photozelle eine Messreihe aufgenommen und graphisch dargestellt (siehe Abb.). Dabei ist  $f$  die Frequenz des einfallenden monochromatischen Lichts und  $E_k$  die maximale kinetische Energie der Photoelektronen.



- a) Skizzieren Sie einen geeigneten Versuchsaufbau und beschreiben Sie kurz die Durchführung der Messungen.
- b) Interpretieren Sie das Versuchsergebnis auf der Grundlage des Photonenmodells.
- c) Übertragen Sie die Graphik unter Wahl eines geeigneten Maßstabs auf Ihr Lösungsblatt und ermitteln Sie dann graphisch die Werte der beiden für das Kathodenmaterial der Photozelle charakteristischen Größen.
- d) Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit der Elektronen, die von Photonen der Frequenz  $f = 6,9 \cdot 10^{14}$  Hz ausgelöst werden.
- e) Nun wird mit einer Photozelle gearbeitet, deren Kathodenmaterial die Leitungselektronen stärker bindet; tragen Sie in die Abbildung von Teilaufgabe 2c einen Graphen ein, der zu dieser Messreihe gehören kann, und begründen Sie Ihre Zeichnung.

BE

**GPh3**

1. Eine Reihe von grundlegenden Experimenten rückte zu Beginn unseres Jahrhunderts den Begriff „Atom“ in den Bereich des physikalisch Erfahrbaren und Erforschbaren. Die moderne Physik setzte an, das Reich des submikroskopisch Kleinen zu erobern. Zunächst war es dabei wichtig, eine Vorstellung von Ausdehnung und Abständen zu gewinnen.

- 6 a) Stellen Sie die Grundidee des Ölfleckversuchs dar, so dass deutlich wird, auf welche Weise hierbei die Abschätzung der Größe eines Moleküls gelingt.

Grundlegende Aussagen über die innere Struktur eines Atoms lieferten die Streuversuche von Rutherford. Bei diesen Versuchen wurden dünne Goldfolien mit  $\alpha$ -Teilchen beschossen.

- 4 b) Wie dick ist eine Goldfolie, bei der jeder Quadratmeter die Masse 2,0 g hat?

[zur Kontrolle:  $d = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ]

- 4 c) Berechnen Sie die Masse eines Goldatoms unter Zuhilfenahme des Periodensystems.

[zur Kontrolle:  $m_{\text{Au}} = 3,3 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ ]

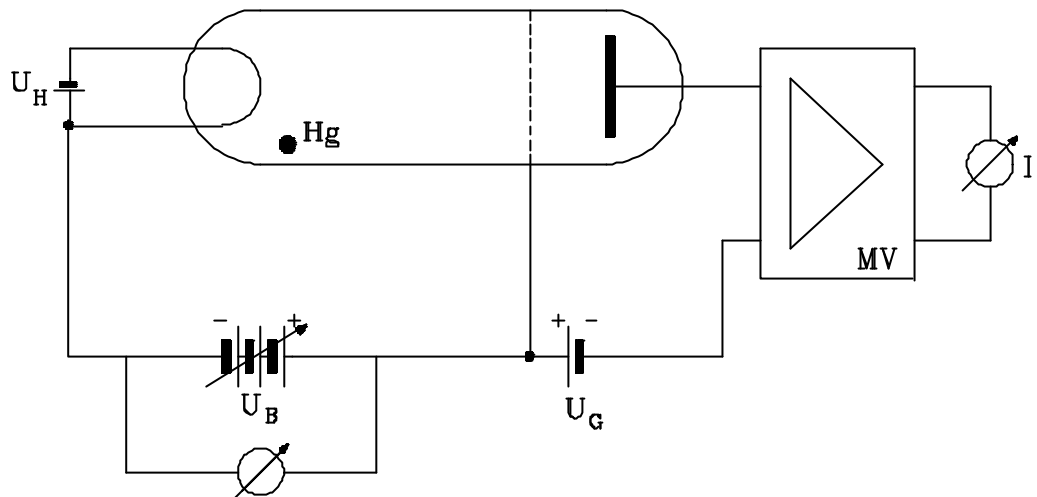
- 6 d) Beantworten Sie die beiden nachfolgenden Fragen unter der Annahme, dass die Goldatome Würfelform haben und möglichst dicht gepackt sind.  
Welches Volumen hat ein Goldatom und wie viele solcher „Goldwürfel“ liegen bei einer Folie der oben berechneten Dicke hintereinander?

- 6 e) Nennen Sie die wesentlichen Beobachtungen, die Rutherford veranlassten, das nach ihm benannte Atommodell zu konzipieren, und beschreiben Sie dieses.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Ein Hauptmerkmal der Atome besteht darin, dass sie diskrete Energieniveaus besitzen, die für eine Atomsorte charakteristisch sind. Der Versuch von Franck und Hertz ist eines der Schlüsselexperimente für die Anregung zu „Quantensprüngen“.



- 6 a) Erläutern Sie in Bezug auf obige Schaltskizze die Wirkungsweise der drei Schaltungsabschnitte mit den Spannungen  $U_H$ ,  $U_B$  und  $U_G$ .
- 8 b) Skizzieren und interpretieren Sie das für den Franck-Hertz-Versuch charakteristische Spannungs-Stromstärke-Diagramm.
- 6 c) Die Interpretation des Franck-Hertz-Versuchs wird durch die Beobachtung bestätigt, dass aus der mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre Strahlung mit der Wellenlänge  $\lambda = 254 \text{ nm}$  emittiert wird. Erklären Sie das Zustandekommen dieser Strahlung. Berechnen Sie dazu auch die der Wellenlänge entsprechende Quantenenergie in eV.
3. Viele Eigenschaften von Atomen höherer Ordnungszahl lassen sich mit Hilfe des Schalenmodells erklären.
- 4 a) In welcher Weise kommt der Schalenaufbau der Atomhülle im chemischen Verhalten der Elemente zum Ausdruck?
- 5 b) Vergleichen Sie qualitativ die erste Ionisierungsenergie von Helium und Natrium und begründen Sie Ihre Antwort mit Hilfe des Schalenmodells.
- 5 c) Erklären Sie das Zustandekommen der charakteristischen Röntgenstrahlung im Zusammenhang mit der Schalenstruktur der Atomhülle. Warum wird diese Strahlung charakteristisch genannt?

BE

## GPh4

1. Bei  $^{64}\text{Cu}$  kann man sowohl  $\beta^-$ - als auch  $\beta^+$ -Zerfall beobachten.

- 7 a) Geben Sie die zugehörigen Zerfallsgleichungen an und stellen Sie die beiden Zerfälle in einem geeigneten Ausschnitt eines Neutronenzahl-Kernladungszahl-Diagramms (Nuklidkarte) dar.
- 4 b) Beschreiben Sie allgemein die Vorgänge bei einem  $\beta^-$ - und bei einem  $\beta^+$ -Zerfall im Atomkern.
- 4 c) Erläutern Sie, welcher experimentelle Befund zu der Schlussfolgerung führte, dass beim  $\beta^-$ -Zerfall außer dem Tochterkern und dem  $\beta^-$ -Teilchen noch ein weiteres Teilchen entsteht.

2. Ein bedeutender Anteil der natürlichen terrestrischen Radioaktivität rührt von  $\alpha$ -Zerfällen des Edelgases Radon her.

- 4 a) Vergleichen Sie die Begriffe Energiedosis und Äquivalentdosis und grenzen Sie die beiden Größen gegeneinander ab.
- 4 b) Vergleichen Sie die biologische Wirksamkeit von  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung.

Radon dringt aus dem Untergrund durch Risse und Spalten im Fundament in Gebäude ein. Ein Durchschnittswert für die Belastung mit

$$^{222}\text{Rn} \text{ ist } 60 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}.$$

- 6 c) Erläutern Sie, was diese Angabe bedeutet, und berechnen Sie mit Hilfe der Halbwertszeit, wie viele  $^{222}\text{Rn}$ -Kerne in einem Kubikmeter Raumluft durchschnittlich enthalten sind.

Die Lunge eines Erwachsenen hat ein Fassungsvermögen von etwa 6  $\ell$  Luft.

- 5 d) Berechnen Sie die Gesamtzahl von  $^{222}\text{Rn}$ -Zerfällen in 6  $\ell$  Luft im Laufe eines Jahres unter der Voraussetzung, daß die angegebene Belastung von  $60 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$  infolge kontinuierlicher Nachlieferung zeitlich konstant ist. [zur Kontrolle:  $1 \cdot 10^7$ ]

- 4 e) Welche Gesamtenergie in Joule hinterlassen die  $\alpha$ -Teilchen aus dem  $^{222}\text{Rn}$ -Zerfall im Laufe eines Jahres in der Lunge, wenn die kinetische Anfangsenergie eines solchen  $\alpha$ -Teilchens 5,5 MeV beträgt?

(Fortsetzung nächste Seite)

| BE                |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  |         |                   |         |                  |         |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|-------------------|---------|------------------|---------|
|                   | 3. Ein $^{235}\text{U}$ -Kern kann sich spontan spalten, d. h. von sich aus auseinanderbrechen; das ist eine Form des natürlichen radioaktiven Zerfalls. In einem Kernreaktor dagegen wird die Spaltung von $^{235}\text{U}$ „induziert“, d. h. künstlich eingeleitet. |                  |         |                   |         |                  |         |
| 4                 | a) Wodurch werden im Kernreaktor $^{235}\text{U}$ -Spaltreaktionen induziert und wie kommt es zu einer Kettenreaktion?                                                                                                                                                 |                  |         |                   |         |                  |         |
| 5                 | b) Wie muss prinzipiell in den Ablauf der Kettenreaktion steuernd eingegriffen werden, damit reguläre Reaktorbetriebsbedingungen entstehen?                                                                                                                            |                  |         |                   |         |                  |         |
|                   | Eine induzierte Spaltung eines $^{235}\text{U}$ -Kerns kann z. B. als Spaltbruchstücke einen $^{89}\text{Kr}$ - und einen $^{144}\text{Ba}$ -Kern liefern.                                                                                                             |                  |         |                   |         |                  |         |
| 4                 | c) Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf.                                                                                                                                                                                                                             |                  |         |                   |         |                  |         |
| 5                 | d) Berechnen Sie die bei dieser Spaltreaktion frei werdende Energie näherungsweise aus den Werten der mittleren Bindungsenergie pro Nukleon gemäß nebenstehender Tabelle.                                                                                              |                  |         |                   |         |                  |         |
|                   | <table border="1"> <tr> <td><math>^{235}\text{U}</math></td> <td>7,4 MeV</td> </tr> <tr> <td><math>^{144}\text{Ba}</math></td> <td>8,1 MeV</td> </tr> <tr> <td><math>^{89}\text{Kr}</math></td> <td>8,4 MeV</td> </tr> </table>                                        | $^{235}\text{U}$ | 7,4 MeV | $^{144}\text{Ba}$ | 8,1 MeV | $^{89}\text{Kr}$ | 8,4 MeV |
| $^{235}\text{U}$  | 7,4 MeV                                                                                                                                                                                                                                                                |                  |         |                   |         |                  |         |
| $^{144}\text{Ba}$ | 8,1 MeV                                                                                                                                                                                                                                                                |                  |         |                   |         |                  |         |
| $^{89}\text{Kr}$  | 8,4 MeV                                                                                                                                                                                                                                                                |                  |         |                   |         |                  |         |
| 4                 | e) Wie viele solche Spaltreaktionen müssen pro Sekunde stattfinden, um eine Leistung von 1,0 MW zu erzielen?                                                                                                                                                           |                  |         |                   |         |                  |         |
| 60                |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  |         |                   |         |                  |         |

BE

**GPh5**

1. Der Planet Pluto bewegt sich auf einer elliptischen Bahn um die Sonne, wobei sein Abstand zur Sonne zwischen 29,0 AE und 50,0 AE schwankt.
- 5 a) Berechnen Sie aus diesen Daten die Länge der großen Halbachse  $a$  (in AE) der Bahnellipse und die Umlaufdauer  $T$  des Planeten Pluto.  
[zur Kontrolle:  $a = 39,5$  AE]

- 5 b) Zeichnen Sie unter Verwendung der Ergebnisse von Teilaufgabe 1a die Plutobahn, wenn die kleine Halbachse 38,1 AE beträgt ( $1 \text{ cm} \hat{=} 5 \text{ AE}$ ). Tragen Sie auch den Ort der Sonne ein.

- 5 c) Pluto, dessen Bahnebene um  $17^\circ$  gegen die Ekliptik geneigt ist, erreicht seinen größten Abstand von der Ekliptikebene in der Nähe seines Aphels.  
Berechnen Sie damit einen ungefähren Wert für Plutos größten Ekliptikabstand in AE.

Im Folgenden soll vereinfacht angenommen werden, dass die Bahnen von Neptun und Pluto in der Ekliptik liegen und Neptun sich näherungsweise auf einer Kreisbahn bewegt.

- 7 d) Zeichnen Sie unter diesen Annahmen die Neptunbahn in die Skizze von Teilaufgabe 1b ein.  
Ein Teil der Neptunbahn liegt außerhalb der von der Plutobahn eingeschlossenen Fläche. Schätzen Sie unter Verwendung Ihrer Zeichnung ab, für wie viele Jahre sich Neptun bei einem Umlauf dort befindet.

- 9 e) Pluto benötigt auf dem kurzen Bahnabschnitt zwischen den Überkreuzungspunkten weniger Zeit als die in Teilaufgabe 1d für Neptun gefragte Zeit. Begründen Sie diesen Sachverhalt. Berechnen Sie dazu das Verhältnis der Perihelgeschwindigkeit von Pluto zu der Bahngeschwindigkeit von Neptun.

- 7 f) Ähnlich wie für die Erde definiert man für Pluto eine Solarkonstante  $S_{\text{Pl}}$ . Berechnen Sie diese für den Fall, dass Pluto sich im Perihel befindet.  
Berechnen Sie ferner die Oberflächentemperatur auf Pluto unter den Annahmen, dass 63 % der einfallenden Strahlungsleistung sofort reflektiert werden und sich auf der gesamten Planetenoberfläche die gleiche Temperatur einstellt.

(Fortsetzung nächste Seite)

| BE |                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | g) Die siderische Umlaufzeit des Plutomondes Charon beträgt 6,4 d, für den Bahnradius hat man $2,0 \cdot 10^4$ km ermittelt. Berechnen Sie damit die Gesamtmasse des Pluto-Charon-Systems und geben Sie diese in Erdmassen an.                                                              |
| 6  | h) In Oberflächennähe von Pluto wurden Methangasmoleküle mit einer mittleren Geschwindigkeit $\bar{v} = 2,6 \cdot 10^2 \text{ ms}^{-1}$ nachgewiesen. Nach neueren Messungen hat Pluto eine Masse von $1,4 \cdot 10^{22}$ kg. Zeigen Sie, dass Pluto diese Moleküle gravitativ halten kann. |
|    | 2. Die Sonnenatmosphäre enthält außer Wasserstoff und Helium unter anderem auch geringe Mengen von Natrium.                                                                                                                                                                                 |
| 6  | a) Das Absorptionsverhalten eines Natriumgases kann experimentell gezeigt werden. Fertigen Sie für ein solches Experiment eine beschriftete Skizze an.                                                                                                                                      |
| 5  | b) Durch Energiezufuhr von 2,11 eV lassen sich Elektronen eines Natriumatoms in ein höheres Energieniveau überführen. Berechnen Sie die Wellenlänge der zugehörigen Absorptionslinie. Welcher Farbe ist die berechnete Wellenlänge zuzuordnen?                                              |
| 60 |                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

BE

**GPh6**

1. Der helle Schulterstern des Orion mit dem Namen Beteigeuze, ist von uns 540 Lichtjahre entfernt. Durchmesser und Helligkeit sind zeitlich nicht konstant. Seine Abstrahlung sei als Schwarzkörperstrahlung angenommen. Er ist einer der wenigen Sterne, dessen Winkeldurchmesser direkt (interferometrisch) gemessen werden konnte.  
Im Folgenden werde Beteigeuze stets im Zustand des Helligkeitsmaximums betrachtet, in dem die scheinbare Helligkeit  $m = 0,4$  und der Winkeldurchmesser  $0,054''$  betragen.
- 2 a) Warum versagt bei Beteigeuze die Entfernungsbestimmung nach der Methode der trigonometrischen Parallaxe mit erdgebundenen Teleskopen?
- 7 b) Berechnen Sie für Beteigeuze die absolute Helligkeit und die Leuchtkraft als Vielfaches der Sonnenleuchtkraft.  
[zur Kontrolle:  $M = -5,7$ ;  $L = 1,6 \cdot 10^4 L_{\odot}$ ]
- 9 c) Beteigeuze hat eine geringere Oberflächentemperatur als die Sonne. Dennoch hat Beteigeuze im Vergleich zu ihr eine wesentlich größere Leuchtkraft. Geben Sie hierfür eine Erklärung und berechnen Sie den Radius von Beteigeuze als Vielfaches des Sonnenradius. Bis zu welcher Planetenbahn würde Beteigeuzes Oberfläche fast hinreichen, wenn dieser Stern statt der Sonne in unserem Planetensystem stünde?  
[zur Kontrolle:  $R = 9,6 \cdot 10^2 R_{\odot}$ ]
- 5 d) Berechnen Sie die Oberflächentemperatur von Beteigeuze.  
[zur Kontrolle:  $T = 2,1 \cdot 10^3 \text{ K}$ ]
- 5 e) Berechnen Sie die Wellenlänge, bei der Beteigeuze das Maximum der Strahlungsintensität hat. In welchem Spektralbereich liegt dieses Maximum? In welcher Farbe erscheint Beteigeuze deshalb dem Beobachter?
2. Beteigeuze ist ein sogenannter Überriese mit einer Masse von etwa 20 Sonnenmassen. Er hat sein Hauptreihenstadium bereits hinter sich.
- 3 a) Geben Sie an, wodurch das Hauptreihenstadium eines Sterns gekennzeichnet ist.
- 5 b) Leiten Sie eine Formel zur Abschätzung der Verweildauer eines Sterns auf der Hauptreihe (Entwicklungszeit) her. Berechnen Sie daraus die Zeit, die Beteigeuze auf der Hauptreihe verbracht hat (Verweildauer der Sonne auf der Hauptreihe :  $\tau = 7 \cdot 10^9 \text{ a}$ ).  
(Fortsetzung nächste Seite)

BE

5

Beteigeuze ist ein potentieller Kandidat für eine Supernovaerscheinung, die bei einer Entfernung von 540 Lichtjahren praktisch „vor unserer Haustür“ stattfinden würde. Supernovae haben eine mittlere absolute Maximalhelligkeit von etwa  $M = -19$ .

- c) Mit welcher scheinbaren Helligkeit würde man die hypothetische Supernovaexplosion von Beteigeuze auf der Erde beobachten? Vergleichen Sie diese mit der scheinbaren Helligkeit des Vollmonds, die  $m = -12,5$  beträgt.

Bei einer Supernova kann als Sternrest ein Neutronenstern entstehen. Solche Sterne haben eine große Dichte und rotieren mit hoher Frequenz. Ein Neutronenstern hat z. B. eine Periode  $T = 30$  ms (Crab-Pulsar). Trotz dieser schnellen Rotation wird er gravitativ zusammengehalten.

9

- d) Für die Minstdichte  $\bar{\rho}$  eines Neutronensterns gilt folgende

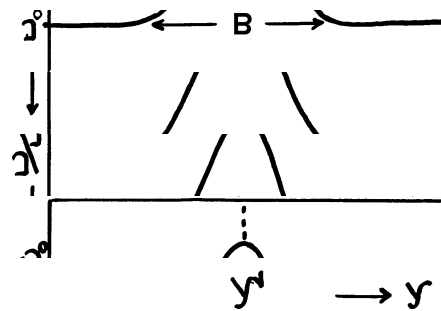
Abschätzung :  $\bar{\rho} > \frac{3\pi}{G T^2}$  (G: Gravitationskonstante).

Leiten Sie diese Beziehung her.

Berechnen Sie den Wert für die Minstdichte des Crab-Pulsars als Vielfaches der Dichte von Wasser.

3. Eine Galaxie ist 42 MLj von uns entfernt und

ist im Raum so orientiert, dass ihre Rotationsachse senkrecht auf unserer Sichtlinie steht. Die  $H_\alpha$ -Linie des Wasserstoffs – im Labor eine scharfe Linie bei  $\lambda_0 = 656,297$  nm – wird auch in der Strahlung beobachtet, die von der gesamten Galaxie stammt. Sie taucht allerdings im Spektrum verschoben bei der Wellenlänge  $\lambda_1 = 658,003$  nm auf und ist verbreitert auf den Wert  $b = 0,438$  nm (siehe Skizze).



5

- a) Nehmen Sie an, dass die Hauptursache der Linienverbreiterung durch die Rotation der Sterne um das Zentrum der beobachteten Galaxie hervorgerufen wird.

Welche maximale Rotationsgeschwindigkeit erreichen solche Sterne?

5

- b) Nehmen Sie weiterhin an, dass die Wellenlängenverschiebung von  $\lambda_0$  nach  $\lambda_1$  allein durch die Radialbewegung der Galaxie gegenüber unserem Sonnensystem hervorgerufen wird.

Mit welcher Geschwindigkeit und in welche radiale Richtung bewegt sich die Galaxie von unserem Sonnensystem aus gesehen?