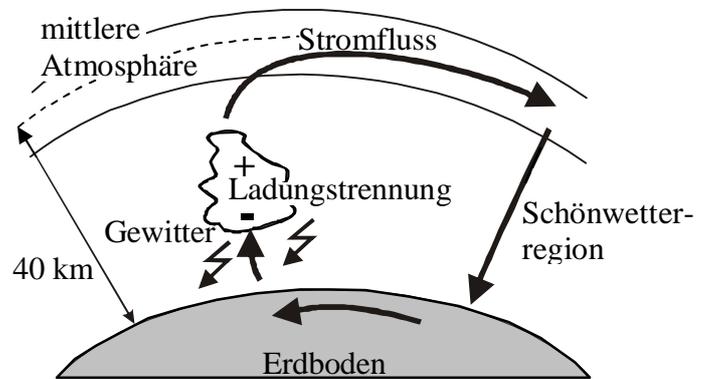


BE

G Ph 1

1. Globaler elektrischer Kreislauf in der Atmosphäre

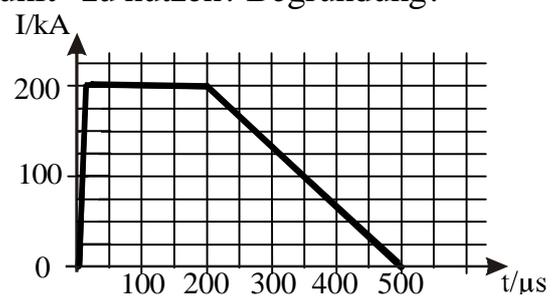
Man stellt sich vor, dass in der Atmosphäre ein globaler elektrischer Kreislauf existiert. Die Ladungstrennung in den Wolken bildet die „Batterie“ dieses Stromkreises. Durch diese Ladungstrennung wird die sogenannte mittlere Atmosphäre, eine Schicht in rund 40 km Höhe, positiv aufgeladen, so dass



zwischen mittlerer Atmosphäre und Erdboden eine Spannung von $U = 400 \text{ kV}$ herrscht. Sowohl die mittlere Atmosphäre als auch der Erdboden können als leitend angesehen werden. In Schönwetterregionen bilden positiv geladene Ionen einen ständigen Stromfluss von der Atmosphäre zum Erdboden, in Gewitterregionen wird durch Blitze der Stromkreis geschlossen. Die weltweit beobachtbaren Ströme können zu einem Gesamtstrom der Stärke $I = 1,3 \text{ kA}$ zusammengefasst werden. Ohne anhaltende Ladungstrennung wäre bei Annahme eines konstanten Stromes I in der Schönwetterregion die mittlere Atmosphäre nach 14 Minuten entladen.

- 4 a) Berechnen Sie die Gesamtladung Q der mittleren Atmosphäre.
[zur Kontrolle: $Q = 1,1 \cdot 10^6 \text{ C}$]
- 5 b) Trotz des Stroms kann man die Schönwetterregion als Kondensator mit der mittleren Atmosphäre und dem Erdboden als Kondensatorplatten auffassen. Berechnen Sie unter Annahme eines homogenen elektrischen Felds den Betrag der Kraft F_{el} auf ein einfach positiv geladenes Ion in der Schönwetterregion.
- 4 c) Zeigen Sie durch eine Abschätzung, dass der Betrag der Energie, die im elektrischen Feld der Schönwetterregion gespeichert ist, in der Größenordnung 10^{11} J liegt.
- 5 d) Nehmen Sie an, man könnte diese Energie in einem Kraftwerk im Dauerbetrieb nutzbar machen. Welche Leistung hätte das Kraftwerk? Wäre es sinnvoll, diese Ressource als „Energiequelle der Zukunft“ zu nutzen? Begründung!

Nebstehend ist das t - I -Diagramm einer vereinfachten Blitzentladung („Normblitz“) in der Gewitterregion abgebildet. Die Anstiegszeit der Stromstärke beträgt $10 \mu\text{s}$.



(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 8 e) Zeigen Sie mithilfe des Diagramms, dass ein Normblitz etwa die Ladung 70 C transportiert. Berechnen Sie, wie viele Normblitze es durchschnittlich pro Sekunde weltweit geben muss, damit der globale Kreislauf aufrecht erhalten werden kann.
- 4 f) Der Entladestrom I ist wie ein stromdurchflossener Draht von einem Magnetfeld umgeben. Für die magnetische Flussdichte im Abstand r vom Entladestrom gilt: $B = \mu_0 \frac{I}{2r\pi}$. Berechnen Sie die maximale Flussdichte B , die sich in 50 Metern Abstand vom Normblitz ergibt. Entnehmen Sie dazu benötigte Daten dem Diagramm. [zur Kontrolle: $B = 8,0 \cdot 10^{-4}$ T]
- In der Umgebung eines Blitzes können an spannungsempfindlichen Elektrogeräten Schäden durch Induktion auftreten. Gehen Sie davon aus, dass sich in 50 Metern Entfernung vom Normblitz eine kreisförmige Spule der Querschnittsfläche $2,0 \text{ cm}^2$ mit 1200 Windungen befindet.
- 3 g) Bei welcher Orientierung der Spule ergibt sich die größte induzierte Spannung, wenn die Blitzentladung senkrecht zur Erdoberfläche verläuft?
- 6 h) Berechnen Sie den Betrag der mittleren Spannung, die in den ersten $10 \mu\text{s}$ des Normblitzes induziert wird.

2. Induktion in einer langgestreckten Spule

Im Inneren einer langgestreckten, zylinderförmigen Feldspule ($l_1 = 750 \text{ mm}$, $N_1 = 1460$, $A_1 = 45,0 \text{ cm}^2$) befindet sich eine Induktionsspule ($l_2 = 105 \text{ mm}$, $N_2 = 200$, $A_2 = 20,25 \text{ cm}^2$), deren Enden mit einem Spannungsmessgerät verbunden sind. Beide Spulenachsen sind zueinander parallel.

- 8 a) Erläutern Sie jeweils ausführlich, welche Wirkungen folgende zwei Experimente in der Induktionsspule hervorrufen:
- α) Durch die Feldspule fließt ein sinusförmiger Wechselstrom.
- β) In der Feldspule fließt ein Gleichstrom konstanter Stärke, während die Induktionsspule in Richtung ihrer Spulenachse im Inneren der Feldspule hin und her bewegt wird.

Durch die Feldspule fließt nun ein Gleichstrom der Stärke $I = 3,0 \text{ A}$.

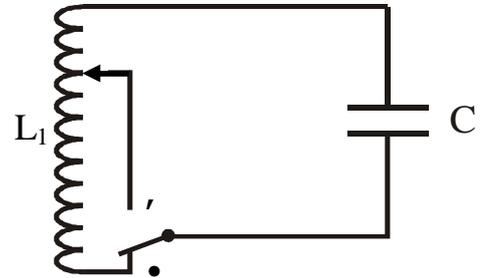
- 4 b) Berechnen Sie die magnetische Flussdichte B im Inneren der Feldspule. [zur Kontrolle: $B = 7,3 \text{ mT}$]
- 9 c) Die Feldspule wird innerhalb von $0,50$ Sekunden auf die doppelte Länge auseinander gezogen, wobei die Induktionsspule ihre Form und Position beibehält. Begründen Sie ausführlich, weshalb in der Induktionsspule eine Spannung induziert wird. Berechnen Sie den Wert dieser Induktionsspannung.

BE

G Ph 2

1. Elektromagnetischer Schwingkreis

Ungedämpfte elektromagnetische Schwingungen kann man mithilfe eines Schwingkreises und einer geeigneten Rückkopplungsschaltung erzeugen. Nebenstehende Abbildung zeigt einen Schwingkreis mit einem Kondensator der Kapazität $C = 50 \text{ pF}$ und einer Spule mit der Gesamtinduktivität $L_1 = 1,3 \text{ } \mu\text{H}$.



Um zwei verschiedene Frequenzen zu erzeugen, kann man einen Schalter zwischen den Positionen \bullet und $,$ umschalten.

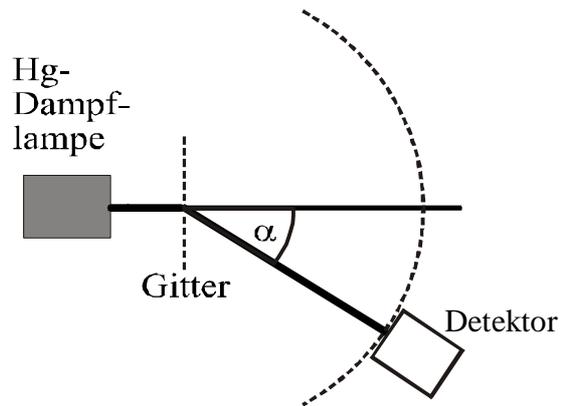
- 5 a) Erklären Sie kurz, wie mit dem Prinzip der Rückkopplung eine ungedämpfte elektromagnetische Schwingung erzeugt werden kann.
- 3 b) Berechnen Sie die Frequenz f_1 des Schwingkreises für Schalterstellung \bullet .
[zur Kontrolle: $f_1 = 20 \text{ MHz}$]
- 5 c) In Schalterstellung $,$ soll eine Schwingung doppelter Frequenz erzeugt werden. Zeigen Sie, dass dies erreicht werden kann, indem man nur ein Viertel der Windungen verwendet. Nehmen Sie dafür an, dass die Spule langgestreckt und die Windungsdichte (Zahl der Windungen pro Längeneinheit) konstant ist.
- Der Schalter befindet sich nun wieder in Position \bullet . An den Schwingkreis wird ein Sendedipol angekoppelt.
- 5 d) Berechnen Sie die kürzeste Länge des Dipols, so dass die Energieübertragung für die Abstrahlung optimal ist. Begründen Sie, dass sich mit diesem Dipol auch in Schalterstellung $,$ elektromagnetische Wellen gut aussenden lassen.
- 6 e) Skizzieren Sie die Ladungs- und Stromverteilung längs des Dipols bei optimaler Energieübertragung für die Zeiten $t = 0$, $T/4$ und $T/2$, wobei T die Schwingungsdauer ist.
- 8 f) Beschreiben Sie kurz zwei Versuche, mit denen sich die Wellennatur der Dipolstrahlung nachweisen lässt.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Interferenz und Photoeffekt

Ein schmales Lichtbündel aus einer Quecksilberdampf- lampe strahlt auf ein Gitter mit 640 Strichen pro Mil- limeter. Das entstehende Spektrum wird mit einem Detektor untersucht, der auf einer Kreislinie bewegt werden kann.



- 4 a) Unter dem Winkel $\alpha = 16,2^\circ$ fällt das Licht des Maximums 1. Ordnung einer bestimmten Spektrallinie auf den Detektor. Berechnen Sie die Wellenlänge λ der Linie.
- [zur Kontrolle: $\lambda = 436 \text{ nm}$]
- 5 b) Bis zu welcher Ordnung sind Spektrallinien der in Teilaufgabe 2a ermittelten Wellenlänge zu erwarten?
- Als Detektor wird eine Vakuumphotozelle verwendet, die an ein Spannungsmessgerät mit sehr hohem Innenwiderstand angeschlossen ist. Wenn die Photozelle mit dem Licht einer Spektrallinie beleuchtet wird, stellt sich eine bestimmte Spannung U ein.
- 5 c) Erklären Sie, warum für die Spannung U der Zusammenhang $eU = hf - W_A$ gilt. Dabei ist h die Planck-Konstante, f die Frequenz des Lichts und W_A die Austrittsarbeit des Kathodenmaterials.
- 5 d) Die Intensität der Linie zweiter Ordnung ist deutlich geringer als diejenige der Linie erster Ordnung. Geben Sie mit Begründung an, ob sich dies grundsätzlich auf die Spannung an der Photozelle auswirkt.
- 9 e) Der Aufbau kann prinzipiell zur Bestimmung sowohl von h als auch von W_A dienen. Beschreiben Sie, wie man aus den Werten für den Winkel α , unter dem das Maximum 1. Ordnung auftritt, und U für verschiedene Spektrallinien die gesuchten Größen erhält.

BE

G Ph 3**1. Streuversuch von Rutherford**

Aufgrund seiner Untersuchungen über den Durchgang von α -Teilchen durch Materie entwickelte E. Rutherford 1911 das nach ihm benannte Atommodell.

- 5 a) Erläutern Sie anhand einer Skizze kurz den Versuchsaufbau und die Durchführung des Streuversuchs von Rutherford.
- 5 b) Stellen Sie die wesentlichen Versuchsergebnisse und die daraus von Rutherford für sein Atommodell gezogenen Schlüsse dar.

Für die potentielle Energie E_{pot} eines α -Teilchens im Coulombfeld eines Atomkerns der Kernladungszahl Z gilt:

$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2Ze^2}{r}$$

Dabei ist r der Abstand der Mittelpunkte der beiden Teilchen.

- 5 c) Ein α -Teilchen hat in großer Entfernung von einem als ortsfest betrachteten Atomkern die Geschwindigkeit $v = 1,75 \cdot 10^7$ m/s und fliegt zentral auf diesen zu. Bestimmen Sie für das α -Teilchen den kleinstmöglichen Abstand r_{min} zum Atomkern, wenn es sich dabei um einen Goldkern handelt.
- 4 d) Wie ändert sich der kleinstmögliche Abstand aus Teilaufgabe 1c, wenn man jetzt den Goldkern nach dem Stoß nicht mehr als ortsfest annimmt? Eine kurze qualitative Begründung genügt.
- 6 e) Rutherford war sich der Unzulänglichkeiten seines Atommodells durchaus bewusst. Erläutern Sie zwei wesentliche Mängel seiner Theorie.

2. Franck-Hertz-Versuch

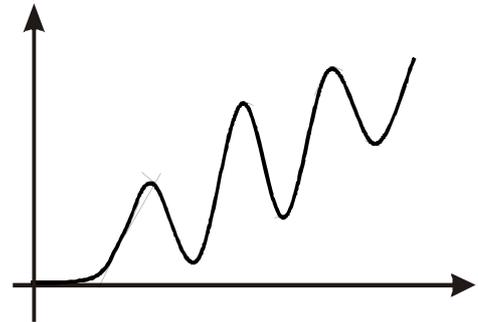
Der dänische Physiker Niels Bohr, ein Schüler Rutherfords, entwickelte ein Modell, in dem Atome nur ganz bestimmte Energiebeträge aufnehmen und dadurch zur Aussendung elektromagnetischer Strahlung mit charakteristischen Wellenlängen angeregt werden können. Dies wurde im Jahr 1913 von J. Franck und G. Hertz experimentell bestätigt.

- 5 a) Fertigen Sie eine beschriftete Skizze vom Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs an und erläutern Sie kurz die Vorgehensweise bei diesem Experiment.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Inzwischen gibt es auch Franck-Hertz-Röhren, die mit dem Edelgas Neon gefüllt sind. Für eine solche Röhre liefert die Aufzeichnung einer Messung das nebenstehende Schirmbild. Der Abstand zweier aufeinanderfolgender Maxima auf der Rechtswertachse im Diagramm entspricht einer Energiedifferenz von 18,3 eV.



- 8 b) Welche Messgrößen werden auf den beiden Achsen angetragen? Erklären Sie das Zustandekommen des Kurvenverlaufs.
- 5 c) Man erwartet, dass die angeregten Gasatome beim Übergang in den Grundzustand elektromagnetische Strahlung aussenden. Geben Sie die Energie eines solchen Photons an und berechnen Sie die Wellenlänge dieser Strahlung. Geben Sie den zugehörigen Bereich des elektromagnetischen Spektrums an.
- Neben Strahlung der berechneten Wellenlänge sendet das angeregte Gas beim Übergang in den Grundzustand rotes Licht der Wellenlänge 729 nm und zusätzlich Strahlung einer weiteren Wellenlänge aus.
- 6 d) Beschreiben Sie allgemein ein Verfahren, um die Wellenlänge von sichtbarem Licht zu bestimmen.
- 6 e) Skizzieren Sie ein vereinfachtes Termschema des verwendeten Gases mit den notwendigen Energieniveaus. Erklären Sie damit die Entstehung des roten Lichts und der zusätzlich auftretenden Strahlung. Berechnen Sie die Energie E_{Ph} eines Photons dieser Strahlung.
- 5 f) Neben der Ermittlung des Planck'schen Wirkungsquantums h über den Photoeffekt oder aus dem Franck-Hertz-Versuch lässt sich diese Naturkonstante auch aus dem Spektrum einer Röntgenröhre bestimmen. Erläutern Sie dies.

BE

G Ph 4**1. Radiologische Untersuchungen von Mondgestein**

Bei den Apollo-Missionen wurden von Astronauten einige Kilogramm Mondgestein zur Erde gebracht. Viele dieser Steine enthalten eine sehr kleine Menge des radioaktiven Isotops ^{87}Rb . Dieses besitzt die Atommasse 86,909181 u und zerfällt mit der Halbwertszeit $T_{1/2} = 4,88 \cdot 10^{10}$ a in das stabile Strontium-Isotop ^{87}Sr .

- 3 a) Geben Sie die Reaktionsgleichung für diesen Zerfall an.
- 4 b) Berechnen Sie die gesamte Reaktionsenergie.
- 8 c) Die Mondgesteinsproben enthielten weniger als $100 \mu\text{g}$ ^{87}Rb . Berechnen Sie die Aktivität einer Probe, die $100 \mu\text{g}$ ^{87}Rb enthält. Begründen Sie, warum eine genaue Altersbestimmung durch Aktivitätsmessung kaum möglich ist, wenn wie hier die Aktivität der Probe sehr gering ist.

Mithilfe eines Massenspektrometers kann man für eine Gesteinsprobe das Verhältnis der Zahl N_{Rb} der ^{87}Rb -Atome zur Zahl N_{Sr} der ^{87}Sr -Atome bestimmen.

- 7 d) Erläutern Sie anhand einer geeigneten Skizze einen möglichen Aufbau und die Funktionsweise eines Massenspektrometers.

Aufgrund des Zerfalls von ^{87}Rb verändert sich das Verhältnis $N_{\text{Rb}} : N_{\text{Sr}}$ mit der Zeit.

- 4 e) Nehmen Sie zunächst an, dass sich in einer Gesteinsprobe zum Zeitpunkt der Entstehung $4,0 \cdot 10^{17}$ Atome des Isotops ^{87}Rb und keine Atome des Isotops ^{87}Sr befinden. Übertragen und vervollständigen Sie die nachfolgende Tabelle.

t	0	$T_{1/2}$	$2T_{1/2}$	$3T_{1/2}$	$4T_{1/2}$
N_{Rb}	$4,0 \cdot 10^{17}$				
N_{Sr}	0				
$N_{\text{Rb}} : N_{\text{Sr}}$					

- 4 f) Zeichnen Sie mithilfe der Daten aus Teilaufgabe 1e ein Diagramm, in dem das Verhältnis $N_{\text{Rb}} : N_{\text{Sr}}$ gegen die Zeit t aufgetragen wird.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Bei einer bestimmten Probe des Mondgesteins wurde für das Verhältnis $N_{\text{Rb}} : N_{\text{Sr}}$ der Wert 0,19 gemessen.

- 3 g) Welcher Wert ergibt sich aus dem Diagramm von Teilaufgabe 1f für das Alter des Gesteins?

Das Ergebnis aus Teilaufgabe 1g ist deutlich zu groß (geeignete Methoden führen zu $3,2 \cdot 10^9$ Jahren), da nicht berücksichtigt wurde, dass zum Zeitpunkt der Entstehung bereits ^{87}Sr im Gestein vorhanden war.

- 6 h) Wie verändert sich der Verlauf des Diagramms aus Teilaufgabe 1f, wenn man dies berücksichtigt? Erklären Sie, warum man damit ein geringeres Alter erhält, als in Teilaufgabe 1g ermittelt wurde.

2. Schutz vor g-Strahlen

In einem Labor wird ein γ -strahlendes Präparat in der Nähe eines Arbeitsplatzes aufbewahrt. Bereits ohne Präparat werden am Arbeitsplatz mit einem Zählgerät 120 Impulse pro Minute registriert (Nulleffekt).

Mit dem Präparat und ohne jegliche Abschirmung steigt am Arbeitsplatz die Zählrate z auf 480 pro Minute. Schirmt man das Präparat mit Blei der Dicke d ab, so sinkt die Zählrate z am Arbeitsplatz gemäß der nebenstehenden Tabelle.

d in cm	0	0,7	1,4	2,1
z in min^{-1}	480	298	209	166

- 2 a) Geben Sie eine mögliche Ursache des Nulleffekts an.
- 4 b) Erklären Sie, weshalb die Messwerte auf eine Halbwertsdicke von 0,7 cm hindeuten.
- 6 c) Am Arbeitsplatz soll die vom Präparat hervorgerufene Zählrate 10 % der Nullrate nicht übersteigen. Deshalb soll das Präparat in einem Bleitresor aufbewahrt werden. Berechnen Sie, ob eine Wanddicke von 4,2 cm ausreichend ist.
- 5 d) Als Alternative könnte man auf die Abschirmung verzichten und dafür das Präparat in größerer Entfernung vom Arbeitsplatz aufbewahren. Erläutern Sie, warum die Zählrate auch ohne Absorption mit zunehmender Entfernung vom Präparat geringer wird.
- 4 e) Wie in Teilaufgabe 2c soll die vom Präparat hervorgerufene Zählrate 10 % der Nullrate nicht übersteigen. Berechnen Sie, ob eine Vervierfachung des Abstandes vom Präparat zum Arbeitsplatz genügt.

BE

G Ph 5**1. Mission zum Merkur**

Am 26. April 2009 konnte man bei klarer Sicht den Planeten Merkur kurz nach Sonnenuntergang am Abendhimmel sehen. An diesem Abend stand Merkur in größter östlicher Elongation zur Sonne.

- 9 a) Fertigen Sie eine maßstabsgetreue Zeichnung an (1 AE entspricht 5 cm), welche die als kreisförmig angenommenen Bahnen von Merkur und Erde um die Sonne sowie deren Positionen bei größter östlicher Elongation Merkurs zeigt. Berechnen Sie für diese Konstellation die Entfernung Merkurs von der Erde sowie den Winkelabstand Sonne-Merkur für einen Beobachter auf der Erde.

In den darauf folgenden Wochen verkürzt Merkur zunächst seinen Abstand zur Erde und wird sich eineinhalb Monate später in größter westlicher Elongation befinden.

- 7 b) Tragen Sie die Positionen von Erde und Merkur zu diesem Zeitpunkt in die Zeichnung von Teilaufgabe 1a ein und diskutieren Sie, ob bzw. wo Merkur im Zeitraum zwischen größter östlicher und westlicher Elongation mit bloßem Auge zu beobachten ist.

Die Raumsonde Messenger startete am 3. August 2004 und wird voraussichtlich im Juni 2011 in einen Orbit um Merkur einschwenken.

- 4 c) Die kinetische Energie der Sonde ist auf der Merkurbahn größer als auf der Erdbahn. Trotzdem muss die Sonde auf ihrer langen Reise zum Merkur durch mehrere Swing-by-Manöver an Erde, Venus und Merkur abgebremst werden. Erklären Sie diesen scheinbar widersprüchlichen Sachverhalt.

- 6 d) Die Sonde wird den Planeten Merkur auf einer stark exzentrischen Bahn umlaufen, wobei der Abstand der Sonde von der Merkuroberfläche zwischen ca. 200 km und ca. 15 000 km schwanken wird. Zeigen Sie durch Rechnung, dass die Sonde für einen Umlauf etwa 12 Stunden benötigt.

Durch die Sonneneinstrahlung heizt sich die Sonde stark auf, obwohl der Hitzeschild 60 % der Strahlungsleistung reflektiert. Die größte Temperatur erreicht der Hitzeschild im Perihel des Merkur.

- 4 e) Berechnen Sie den Perihelabstand r_p des Merkur.

[zur Kontrolle: $r_p = 0,307$ AE]

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 7 f) Schätzen Sie die maximale Temperatur ab, auf die sich der Hitzeschild aufheizt. Nehmen Sie hierzu vereinfachend an, dass der Hitzeschild nicht gekrümmt ist, dass die Strahlung senkrecht auf den Schild fällt und dass die aufgenommene Wärme nur von der Vorder- und Rückseite des Hitzeschildes wieder abgestrahlt wird.
- 4 g) Außer der starken Wärmestrahlung geht von der Sonne noch eine weitere Gefahr für die Sonde aus. Erläutern Sie diese knapp.

2. Strahlungsleistung der Sonne

Die Solarkonstante kann mit folgendem Versuch abgeschätzt werden: Ein geschwärzter Metallblock der Masse m wird der Sonnenstrahlung ausgesetzt, wobei eine Seitenfläche mit Flächeninhalt A senkrecht beschienen wird. Dabei wird die Temperatur des Blocks in Abhängigkeit von der Zeit gemessen. Die spezifische Wärmekapazität c der gesamten Anordnung wurde in einem Vorversuch ermittelt.

- 7 a) Leiten Sie eine Formel her, mit deren Hilfe man aus den gemessenen Größen die Solarkonstante abschätzen kann. Nennen Sie zwei in der Praxis nur schwer vermeidbare Fehlerquellen.

Bis etwa 1930 kannte man die Prozesse der Energieumwandlung in der Sonne nicht. Eine Vermutung war, dass die Strahlungsenergie der Sonne aus freigesetzter Gravitationsenergie E_G stammt. Diese lässt sich nach dem Term

$$E_G = \frac{G m_\odot^2}{R_\odot}$$
 berechnen, wobei R_\odot der Sonnenradius und m_\odot die Sonnenmasse ist.

- 8 b) Berechnen Sie, wie lange die Sonne bei ihrer momentanen Leuchtkraft mit der freigesetzten Gravitationsenergie strahlen könnte. Nennen Sie ein Argument, das gegen die oben genannte Vermutung spricht.
- 4 c) Erläutern Sie kurz den Prozess, aus dem die Strahlungsenergie der Sonne tatsächlich stammt.

BE

G Ph 6**1. Elektra in den Plejaden**

Die Plejaden sind ein bekannter offener Sternhaufen im Sternbild Stier. Zu diesem Sternhaufen gehört der Hauptreihenstern Elektra, der mit einer Oberflächentemperatur von $1,4 \cdot 10^4$ K der Spektralklasse B angehört. Der Satellit Hipparcos hat die jährliche trigonometrische Parallaxe von Elektra zu $8,8 \cdot 10^{-3}$ Bogensekunden vermessen.

- 6 a) Erläutern Sie unter Verwendung einer Skizze das Prinzip der Entfernungsbestimmung mithilfe der jährlichen Parallaxe.
- 3 b) Zeigen Sie, dass Elektra $3,7 \cdot 10^2$ Lichtjahre entfernt ist.
- 6 c) Erstellen Sie ein Hertzsprung-Russell-Diagramm und kennzeichnen Sie darin die Lage der drei wichtigsten Sterntypen sowie von Elektra und der Sonne.

Es wird vermutet, dass mit den Sternen der Plejaden vereinzelt auch Planeten entstanden sind, deren absolute Helligkeit so groß ist wie die von Jupiter. Jupiter hat in Oppositionsstellung eine scheinbare Helligkeit von $-2,8$.

- 7 d) Gehen Sie davon aus, dass ein derartiger Planet Elektra umkreist. Berechnen Sie dessen scheinbare Helligkeit und diskutieren Sie, ob dieser Planet mit dem Hubble-Weltraumteleskop beobachtet werden kann. (Das Hubble-Teleskop kann Objekte mit einer scheinbaren Helligkeit von 31 gerade noch erfassen.)

2. Der Crabnebel

Der Crabnebel M1 im Sternbild Stier gilt als Überrest einer Supernova, die von chinesischen Astronomen im Jahr 1054 n. Chr. beobachtet wurde. Die historischen Berichte legen eine scheinbare Helligkeit von $m = -6$ nahe. Aktuelle Messungen ergaben für den $6,3 \cdot 10^3$ Lichtjahre entfernten Nebel einen Winkeldurchmesser von $6,0'$. Dieser vergrößert sich mit einer Expansionsrate von $0,38''$ pro Jahr. Man kann vereinfachend von einer gleichförmigen Expansion des Nebels ausgehen.

- 3 a) Zeigen Sie, dass sich aus der Expansionsrate das richtige Alter des Nebels ergibt.
- 5 b) Ermitteln Sie die Expansionsgeschwindigkeit des Nebels.
- 6 c) Berechnen Sie die Leuchtkraft der Supernova von 1054 in Vielfachen der Sonnenleuchtkraft.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Im Zentrum des Nebels befindet sich ein Neutronenstern, der mit der Periode $T = 33$ ms rotiert. Der Neutronenstern kann bei einer derart schnellen Rotation nur dann durch Gravitationskräfte zusammengehalten werden, wenn seine mittlere Dichte ρ einen gewissen Mindestwert überschreitet.

- 7 d) Zeigen Sie, dass für diesen Mindestwert der Ausdruck $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$ gilt, wobei G die Gravitationskonstante ist. Betrachten Sie hierfür die Gravitationskraft und die Zentripetalkraft, die auf eine kleine Masse m am Äquator des Neutronensterns wirken.
- 3 e) Bestimmen Sie den Mindestwert der mittleren Dichte des Neutronensterns im Crabnebel.

3. Supernovae

Man unterscheidet verschiedene Typen von Supernovae. Supernovae vom Typ II treten im Spätstadium massereicher Sterne auf. Supernovae vom Typ Ia können sich dagegen in Doppelsternsystemen mit einem Weißen Zwerg ereignen.

- 7 a) Erläutern Sie die Entwicklung eines massereichen Sterns zum Neutronenstern und gehen Sie dabei auch kurz auf die Vorgänge bei einer Supernova vom Typ II ein.
- Supernovae vom Typ Ia beobachtet man sowohl in nahen als auch in fernen Galaxien. Man geht davon aus, dass sie immer die gleiche maximale Helligkeit besitzen.
- 7 b) Welche Daten weit entfernter Galaxien sind zur Bestimmung der Hubblekonstante erforderlich? Erläutern Sie, wie man diese Daten erhält. Gehen Sie dabei auch auf die Bedeutung von Supernovae des Typs Ia ein.