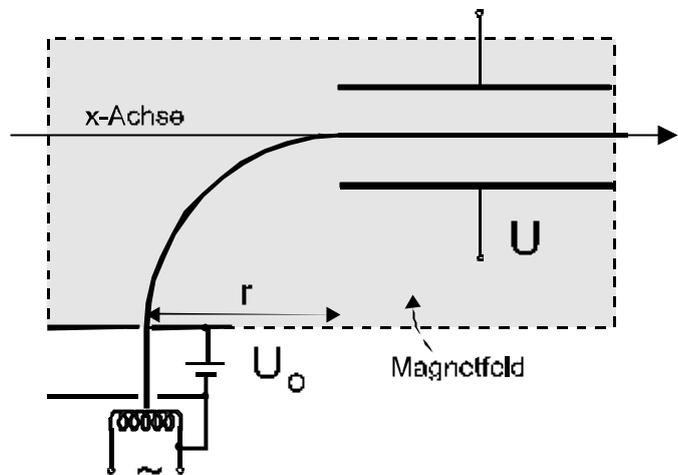


BE

GPh1

1. Elektronen werden durch die Spannung U_0 beschleunigt und treten dann mit der Geschwindigkeit $v_0 = 5,9 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ in ein zur Zeichenebene senkrechtes, homogenes Magnetfeld der Flussdichte B ein (siehe Abbildung). Nach Durchlaufen eines Viertelkreises mit Radius $r = 10 \text{ cm}$ treten die Elektronen in x -Richtung in einen Kondensator mit dem Plattenabstand $d = 8,0 \text{ cm}$ ein. Die Anordnung befindet sich im Vakuum.

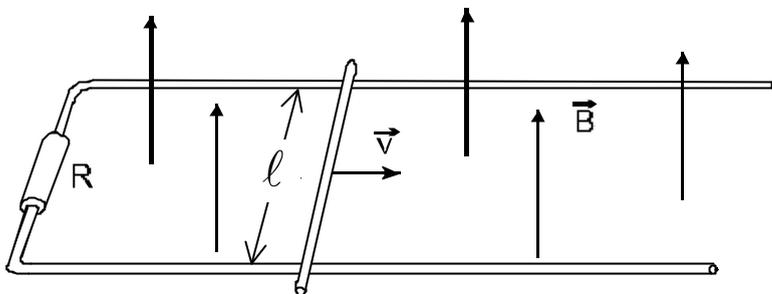


- 4 a) Berechnen Sie die Beschleunigungsspannung U_0 .
- 7 b) Bestimmen Sie die Flussdichte B des Magnetfelds und geben Sie seine Richtung an. [zur Kontrolle: $B = 0,34 \text{ mT}$]
- 4 c) Begründen Sie kurz, warum die Elektronen beim Eintritt in den Kondensator den oben angegebenen Geschwindigkeitsbetrag v_0 besitzen.
- Die Kondensatorspannung U ist so eingestellt, dass sich die Elektronen im Kondensator unabgelenkt entlang der x -Achse bewegen.
- 8 d) Berechnen Sie U und geben Sie die Richtung des elektrischen Felds im Kondensator an.
- 6 e) Nun wird der Plattenabstand bei konstant gehaltener Spannung U etwas vergrößert. Erläutern Sie, ob und gegebenenfalls wie sich die Bewegung der Elektronen im Kondensator ändert.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Ein waagrecht angeordneter und auf der rechten Seite offener Drahtrahmen der Breite $\ell = 10 \text{ cm}$ wird von einem homogenen Magnetfeld der Flussdichte $B = 0,90 \text{ T}$ senkrecht durchsetzt (siehe Abbildung). Ein Leiterstück liegt auf dem Drahtrahmen und wird durch



eine äußere Kraft F mit der konstanten Geschwindigkeit $v = 25 \text{ cm/s}$ nach rechts bewegt. Der Widerstand im linken Teil des Drahtbügels besitzt den Wert $R = 0,50 \Omega$, der Widerstand des restlichen Drahtbügels und des Leiterstücks sowie Kontaktwiderstände sind vernachlässigbar.

- 8 a) Bestimmen Sie unter Verwendung des Induktionsgesetzes die Spannung U_i , die zwischen den beiden Auflagepunkten des Leiterstücks induziert wird, sowie die Stärke I des im geschlossenen Kreis fließenden Stroms. [zur Kontrolle: $I = 45 \text{ mA}$]
- 4 b) Berechnen Sie die Kraft F , mit der am Leiterstück gezogen werden muss. Reibungskräfte sollen unberücksichtigt bleiben. [zur Kontrolle: $F = 4,1 \text{ mN}$]
- 10 c) Bestimmen Sie die mechanische Arbeit W_m , die während der Zeitspanne $\Delta t = 10 \text{ s}$ verrichtet wird, und die im Widerstand R umgesetzte elektrische Energie ΔW_{el} für diese Zeitspanne unter Verwendung der Ergebnisse der Teilaufgaben 2a und 2b. Vergleichen Sie die beiden Werte und interpretieren Sie das Ergebnis.
- 9 d) Zeigen Sie, dass für die magnetische Kraft F auf den Leiter gilt:

$$F = \frac{B^2 \ell^2 v}{R}$$

Der mit $v = 25 \text{ cm/s}$ bewegte Leiter wird nun losgelassen. Begründen Sie, warum die Geschwindigkeit des Leiters zeitlich nicht linear abnimmt und skizzieren Sie qualitativ das zugehörige t-v-Diagramm.

BE

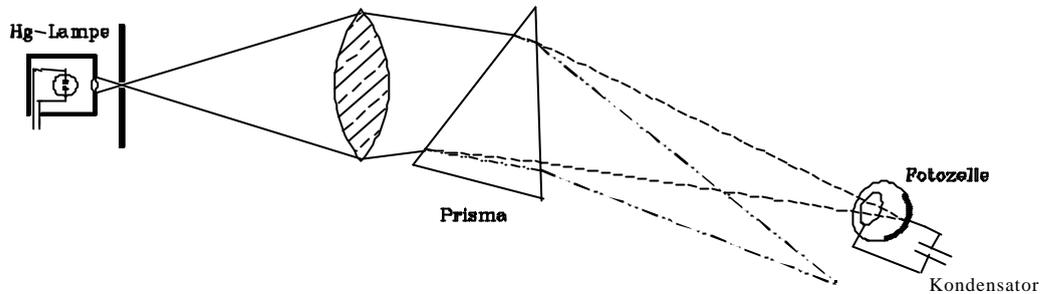
GPh2

1. Ein elektromagnetischer Schwingkreis, bestehend aus einer Spule mit Eisenkern der Induktivität $L = 0,25 \text{ H}$ und einem Kondensator der Kapazität $C = 0,13 \mu\text{F}$, schwingt ungedämpft mit seiner Eigenfrequenz f . Als Nachweisgerät dient ein Lautsprecher.
 - 3 a) Berechnen Sie die Frequenz f des vom Lautsprecher abgegebenen Tons.
 - 4 b) Erläutern Sie, wie sich die Tonhöhe verhält, wenn man den Eisenkern nach und nach aus der Spule herauszieht.
Ist der Eisenkern ganz entfernt, beträgt die Tonfrequenz $f_0 = 4,2 \text{ kHz}$.
 - 4 c) Berechnen Sie die Induktivität L_0 der eisenlosen Spule.
 - 4 d) Der Schwingkreis soll nun mit der Eigenfrequenz $2 \cdot f_0$ schwingen. Geben Sie eine Möglichkeit für eine entsprechende Veränderung des Schwingkreises an. Begründen Sie Ihre Antwort.
2. Ein kleiner Dezimeterwellensender für Experimentierzwecke hat die Sendefrequenz $f = 454 \text{ MHz}$. Erzeugt wird die elektromagnetische Schwingung mit einer Rückkopplungsschaltung. Die gesamte Schwingungsenergie beträgt im eingeschwungenen Zustand 14 nJ .
 - 5 a) Die Induktivität des Schwingkreises beträgt $L = 0,10 \mu\text{H}$. Berechnen Sie den Scheitelwert des im Schwingkreis oszillierenden Stroms.
 - 3 b) Welche Länge besitzt die zum Sender gehörige Dipolantenne für die Grundschiwingung?
 - 9 c) Ohne Elektronenröhre oder Transistor kann die Schwingung des Erregerschwingkreises nicht aufrechterhalten werden. Nennen Sie neben der Abstrahlung elektromagnetischer Wellen einen weiteren Grund dafür. Fertigen Sie eine beschriftete Skizze einer Rückkopplungsschaltung an. Erläutern Sie, welche Aufgabe die Elektronenröhre bzw. der Transistor prinzipiell erfüllt.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

3. Mit einem Glasprisma wird das Licht einer Quecksilberdampf Lampe spektral zerlegt. Durch das Spektrum wird eine Vakuumfotозelle bewegt, die mit einem Kondensator verbunden ist (siehe Abbildung)



- 8 a) Fällt das Licht einer Quecksilberspektrallinie auf die Fotozelle, so wird der Kondensator auf eine bestimmte Spannung aufgeladen. Erklären Sie das Zustandekommen der Spannung.

Die Austrittsarbeit des Kathodenmaterials der Fotozelle beträgt $1,68 \text{ eV}$. Bei einer Spektrallinie des Quecksilberlichts im sichtbaren Bereich wird am Kondensator die Spannung $U = 1165 \text{ mV}$ gemessen.

- 6 b) Berechnen Sie die entsprechende Wellenlänge λ .
- 4 c) Berechnen Sie die größte Wellenlänge λ_G , die mit dieser Fotozelle messbar ist. Welche Farbe hat dieses Licht?
- 10 d) Beschreiben Sie, wie mit Hilfe eines optischen Gitters nicht-monochromatisches Licht spektral zerlegt und die Wellenlänge einer Spektrallinie ohne Fotozelle gemessen werden kann. Ergänzen Sie Ihre Ausführungen durch eine beschriftete Skizze des Versuchsaufbaus und geben Sie die für die Wellenlängenbestimmung erforderlichen Beziehungen an.

BE

GPh3

1. Im Jahr 1911 entwickelte Rutherford seine Vorstellungen vom Atom. Bereits 1913 wurden sie von Bohr weiterentwickelt.

- 3 a) Erläutern Sie den wesentlichen Unterschied zwischen dem Rutherford'schen und dem Bohr'schen Atommodell für das Wasserstoffatom.

Beiden Atommodellen ist gemeinsam, dass die Coulomb'sche Anziehungskraft zwischen Elektron und Kern die für die Kreisbewegung des Elektrons maßgebliche Zentripetalkraft darstellt.

- 5 b) Berechnen Sie mit Hilfe eines Kraftansatzes, welche Geschwindigkeit man dem Elektron im Wasserstoffatom mit dem Durchmesser $1 \cdot 10^{-10}$ m zuordnen kann.

- 4 c) Erläutern Sie, warum die Annahme, dass sich das Elektron des Wasserstoffatoms auf einer Kreisbahn bewegt, mit der klassischen Physik nicht vereinbar ist.

2. Das Linienspektrum eines Atoms steht in engem Zusammenhang mit dessen Energiestufen-Schema. Abbildung 1 zeigt Emissionslinien einer bestimmten Serie des Wasserstoff-Spektrums, Abbildung 2 stellt einen Ausschnitt aus dem Energiestufen-Schema des Wasserstoffatoms dar.

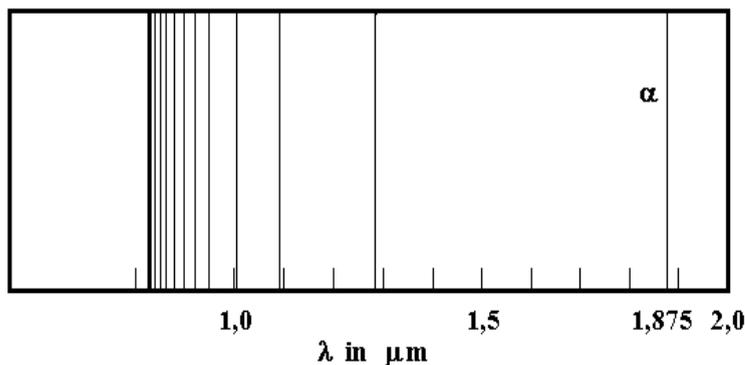


Abbildung 1

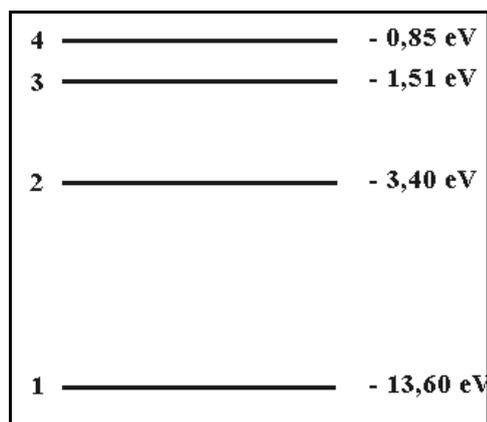


Abbildung 2

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 5 a) Welcher Übergang im Energiestufen-Schema führt zur Emission der Linie α mit $\lambda = 1,875 \mu\text{m}$?
- 3 b) Erklären Sie qualitativ das Zustandekommen der übrigen Linien dieser Serie.
- 6 c) Bestätigen Sie durch Rechnung, dass die Wellenlänge der kurzwelligen Seriegrenze dieser Serie $0,82 \mu\text{m}$ beträgt.

Ein H^+ -Ion fängt ein freies Elektron mit geringer kinetischer Energie ($E_{\text{kin}} < 0,1 \text{ eV}$) ein, wobei ein Photon mit $\lambda = 800 \text{ nm}$ entsteht.

- 4 d) Ermitteln Sie durch Rechnung und Vergleich mit Abbildung 2, auf welchem Energieniveau sich das Elektron unmittelbar nach dem Einfang befindet. [zur Kontrolle: $n = 3$]
- 7 e) Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Elektrons vor dem Einfang.

3. Elektronen treffen mit einheitlicher Geschwindigkeit senkrecht auf einen Doppelspalt. Auf einem Schirm dahinter entsteht ein Interferenzmuster, dessen Maxima 1. Ordnung den Abstand $10 \mu\text{m}$ voneinander haben.

Der Abstand Doppelspalt–Schirm beträgt $a = 0,48 \text{ m}$ und der Mittenabstand der Spaltöffnungen $b = 2,5 \mu\text{m}$.

- 8 a) Berechnen Sie an Hand einer beschrifteten Skizze die Wellenlänge λ , die den Elektronen in diesem Versuch zugeordnet werden kann. [zur Kontrolle: $\lambda = 2,6 \cdot 10^{-11} \text{ m}$]

Die verwendeten Elektronen wurden durch die Spannung $U = 2,2 \text{ kV}$ beschleunigt.

- 6 b) Berechnen Sie nicht-relativistisch die de-Broglie-Wellenlänge unter Verwendung der Beschleunigungsspannung U .
- 4 c) Nun wird die Beschleunigungsspannung vergrößert. Geben Sie qualitativ die Veränderung des Streifenmusters an.

Die Versuchsdurchführung wird so abgeändert, dass sich immer nur ein Elektron auf dem Weg zwischen Quelle und Schirm befindet.

- 5 d) Beschreiben Sie mit Hilfe von Skizzen, wie das Interferenzmuster im Laufe der Zeit entsteht.

BE

GPh4

1. Am 15. Oktober 1997 startete die Raumsonde Cassini zum Saturn. Da Solarzellen im sonnenfernen Weltraum nicht ausreichen, hat Cassini Plutonium zur Energieversorgung an Bord. Die α -Strahlung des verwendeten Isotops ^{238}Pu dient als Wärmequelle für Thermoelemente, die elektrische Energie erzeugen. Diese Stromquelle wird im Folgenden kurz als Isotopengenerator bezeichnet.
- 3 a) Geben Sie die Reaktionsgleichung für den α -Zerfall von ^{238}Pu an.
Beim Start befanden sich 28,8 kg Plutonium (^{238}Pu) an Bord von Cassini. Zu diesem Zeitpunkt lieferte der Isotopengenerator eine elektrische Leistung von 888 W. Die Halbwertszeit von ^{238}Pu beträgt 87,7 Jahre.
- 10 b) Bestimmen Sie die Aktivität des mitgeführten Plutoniums beim Start der Sonde Cassini. [zur Kontrolle: $1,83 \cdot 10^{16}$ Bq]
- 7 c) Berechnen Sie den Wirkungsgrad η des Isotopengenerators, wenn beim α -Zerfall eines ^{238}Pu -Kerns 5,59 MeV frei werden.
- 6 d) Welche elektrische Leistung kann der Isotopengenerator zum Zeitpunkt der Ankunft der Sonde beim Saturn im Juli 2004 (6,75 Jahre nach dem Start) noch liefern, wenn der Wirkungsgrad als unverändert angenommen wird ?
2. Im Jahr 1940 entdeckte G. Seaborg beim Beschuss von ^{238}U mit Deuterium-Kernen (Deuteronen) das Isotop ^{238}Pu . Bei der auftretenden Kernreaktion werden zwei Neutronen emittiert. Das dabei entstehende Isotop zerfällt nach kurzer Zeit zu ^{238}Pu .
- 7 a) Stellen Sie die Reaktionsgleichung der Kernreaktion und die des anschließenden Zerfalls auf.
Das Auslösen der Kernreaktion gelang Seaborg erst, als er Deuteronen mit einer kinetischen Energie von mindestens 12,8 MeV verwendete.
- 8 b) Berechnen Sie die Mindestgeschwindigkeit der Deuteronen in nicht-relativistischer Näherung und begründen Sie qualitativ, warum die kinetische Energie der verwendeten Deuteronen einen Schwellenwert überschreiten muss. [zur Kontrolle: $v = 3,5 \cdot 10^7$ m/s]

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

4

- c) Um Deuteronen der erforderlichen kinetischen Energie von 12,8 MeV zu erzeugen, kann z. B. ein Zyklotron verwendet werden. Mit welcher Scheitelspannung muss ein Zyklotron betrieben werden, damit die Deuteronen die erforderliche Energie nach 130 Umläufen erreicht haben?

Bei der eingangs beschriebenen Kernreaktion werden sogenannte schnelle Neutronen erzeugt, die mit Hilfe eines geeigneten Geiger-Müller-Zählrohrs nachgewiesen werden sollen.

10

- d) Erklären Sie Aufbau und Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs anhand einer beschrifteten Skizze. Begründen Sie, warum ein solches Zählrohr nicht ohne weiteres zum Nachweis von Neutronen verwendbar ist.

5

- e) Es gibt Geiger-Müller-Zählrohre mit spezieller Gasfüllung, mit denen langsame Neutronen nachgewiesen werden können. Erläutern Sie, wie schnelle Neutronen prinzipiell abgebremst werden können.

BE

GPh5

1. Raumsonde Cassini und Saturn

Am 15. Oktober 1997 startete die Raumsonde Cassini zur Erforschung des Planeten Saturn. Am 1. Juli 2004 soll sie in eine Umlaufbahn um den Saturn einschwenken.

3 a) Die siderische Umlaufzeit des Saturn beträgt 29,5 a. Berechnen Sie damit die große Halbachse der Saturnbahn.

10 b) Zur Startzeit von Cassini stand Saturn in Opposition zur Sonne. Fertigen Sie eine maßstabsgetreue Zeichnung für die Umlaufbahnen von Erde und Saturn an, die als kreisförmig angenommen werden können ($1 \text{ cm} \hat{=} 2 \text{ AE}$). Zeichnen Sie darin die Stellung von Erde und Saturn zum Zeitpunkt des Starts ein.

Um welchen Winkel rücken Erde und Saturn während des oben angegebenen Zeitraums auf ihrer Bahn jeweils vor?

Welche besondere Stellung zeigt Saturn annähernd am 1. Juli 2004 für einen Erdbeobachter? Zeichnen Sie die Stellung beider Planeten an diesem Datum beschriftet ein.

Im Folgenden werde angenommen, dass sich die Raumsonde nach einigen „Swingby“-Manövern auf einer Hohmannbahn (Bahn mit dem geringstmöglichen Energieaufwand) bewegt.

6 c) Zeichnen Sie diejenige Hohmannbahn in die Zeichnung von Aufgabe 1b ein, deren Perihel auf der Erdbahn liegt und deren Aphel mit der Position des Saturn am 1. Juli 2004 übereinstimmt.

Bestimmen Sie die große Halbachse a dieser Hohmannbahn.

[zur Kontrolle: $a = 5,3 \text{ AE}$]

8 d) Berechnen Sie die Perihelgeschwindigkeit der Sonde auf der Hohmannbahn von Teilaufgabe 1c. Erläutern Sie, weshalb derart hohe Geschwindigkeiten erreichbar sind, obwohl die zur Zeit verfügbaren Raketen nur ein Drittel dieser Geschwindigkeit aus eigener Kraft ermöglichen (ohne Rechnung).

6 e) Die Raumsonde Cassini erkundet auch den Saturnmond Titan. Dieser umkreist den Planeten auf einer Bahn mit der großen Halbachse $a = 1,22 \cdot 10^6 \text{ km}$ in 15,9 Tagen. Bestimmen Sie daraus die Masse des Planeten Saturn.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Sonnenfinsternis

Am 11. August 1999 wird sich eine in Deutschland beobachtbare Sonnenfinsternis ereignen.

- 8 a) Fertigen Sie eine Skizze an, mit der prinzipiell die Positionen der beteiligten Gestirne und die Bereiche des Halb- bzw. Kernschattens bei einer Sonnenfinsternis erklärt werden.

Begründen Sie damit, wie die drei wesentlich verschiedenen Erscheinungsformen von Sonnenfinsternissen zustande kommen.

- 5 b) Für einen Beobachter in Stuttgart kommen die Mittelpunkte von Sonne und Mond am 11. August auf seiner Sehlinie zu liegen. Zu diesem Zeitpunkt ist der Mond $3,73 \cdot 10^5$ km vom Beobachter entfernt; die Distanz des Beobachters zur Sonne beträgt $1,52 \cdot 10^8$ km. Vergleichen Sie die jeweiligen Sehwinkel und prüfen Sie, welche Art Sonnenfinsternis für diesen Beobachter eintritt.

- 4 c) Für einen Beobachter an einem festen Ort auf der Erde findet eine totale Sonnenfinsternis wesentlich seltener statt als eine totale Mondfinsternis. Worauf ist dies zurückzuführen?

Bei einer totalen Sonnenfinsternis lässt sich die Korona gut beobachten. Die Korona ist eine sehr heiße und weit ausgedehnte Gashülle von extrem geringer Dichte um die Sonne. Sie reicht mindestens eine Million Kilometer über die sichtbare Sonnenoberfläche hinaus. Von diesem Bereich der Korona geht Röntgenstrahlung aus, deren spektrales Intensitätsmaximum bei der Wellenlänge 1,5 nm liegt.

- 3 d) Welche Temperatur hat ein Schwarzer Körper, dessen spektrales Intensitätsmaximum bei dieser Wellenlänge liegt?

[zur Kontrolle: $T = 1,9 \cdot 10^6$ K]

- 7 e) Zeigen Sie, dass es sich bei der Korona in der angegebenen Ausdehnung nicht um einen Schwarzen Körper handelt, indem Sie die Strahlungsleistung einer fiktiven „Koronasonne“ in Sonnenleuchtkräften abschätzen.

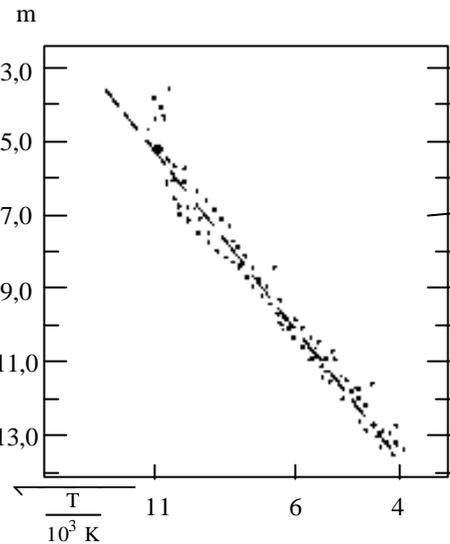
BE

GPh 6

1. Die Plejaden

Zu den bekanntesten offenen Sternhaufen gehören die Plejaden im Sternbild Stier.

Bei Sternhaufen ist es üblich, zur Erstellung eines Hertzsprung-Russell-Diagramms (HRD) statt der absoluten Helligkeiten M die scheinbaren Helligkeiten m der Haufensterne gegen ihre Oberflächentemperaturen T aufzutragen (siehe nebenstehende Abbildung).



7

- a) Könnte man einen Stern wie unsere Sonne von der Erde aus mit bloßem Auge sehen, wenn er in den Plejaden stünde? Begründen Sie Ihre Antwort unter Verwendung des Diagramms.

Bestimmen Sie nun daraus den Abstand r der Plejaden in Lichtjahren. [zur Kontrolle: $r = 4,1 \cdot 10^2$ Lj]

4

- b) Erklären Sie, wie man aus dem gegebenen Diagramm ein HRD bekommen kann, bei dem als Ordinate die absolute Helligkeit angetragen wird. Zeichnen Sie dazu eine Ordinatenachse mit beiden Skalierungen.

4

- c) Für eine Zufallsauswahl von beliebig über den Himmel verteilten Sternen erstellt man ein T-M-Diagramm und ein T-m-Diagramm. Erläutern Sie, warum nur das T-M-Diagramm die übliche grafische Struktur eines HRD aufweist.

Der hellste Hauptreihen-Stern der Plejaden ist Pleione.

7

- d) Begründen Sie, dass Pleione der massereichste Hauptreihen-Stern der Plejaden ist. Geben Sie physikalisch plausible Überlegungen dafür an, dass massereichere Hauptreihensterne eine höhere Leuchtkraft haben.

6

- e) Pleione hat die scheinbare Helligkeit $m = 5,1$. Berechnen Sie unter Verwendung des gegebenen Diagramms die Leuchtkraft und den Radius von Pleione in Sonneneinheiten.

[zur Kontrolle: $L = 1,2 \cdot 10^2 L_{\odot}$]

6

- f) Wie kann man mit Hilfe des HRD eines Sternhaufens sein ungefähres Alter bestimmen? Schätzen Sie nun durch eine Rechnung das Alter der Plejaden ab. Verwenden Sie als Entwicklungszeit für die Sonne $\tau_{\odot} = 7 \cdot 10^9$ a.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Aldebaran

Der Hauptstern im Sternbild Stier ist Aldebaran. Seine jährliche trigonometrische Parallaxe beträgt $0,048''$. Das Maximum seiner spektralen Strahlungsintensität liegt bei der Wellenlänge 730 nm . Seine scheinbare Helligkeit beträgt $m = 0,86$.

- 4 a) Begründen Sie, dass Aldebaran nicht zu den Plejaden gehört.
- 6 b) Berechnen Sie die absolute Helligkeit M_A von Aldebaran und schließen Sie auf seinen Entwicklungszustand (Begründung!).
[zur Kontrolle: $M_A = -0,73$]

3. Galaxien und Weltalter

Zur Ermittlung der Entfernung von weit entfernten Galaxien benutzt man gelegentlich die Annahme, dass der Durchmesser ausgewählter Standard-Galaxien etwa $1,0 \cdot 10^5 \text{ Lj}$ beträgt. Dieser Wert des Durchmessers sei mit einem Fehler von 10% behaftet. Man untersucht nun eine solche Galaxie GX.

- 5 a) Berechnen Sie die Entfernung von GX, wenn ihr Winkeldurchmesser zu $1,0'$ bestimmt wurde. Geben Sie hierfür das Intervall für die wahre Entfernung von GX an. [zur Kontrolle: $[95 \text{ Mpc}; 116 \text{ Mpc}]$]

Unabhängig davon wurde für die Galaxie GX die Fluchtgeschwindigkeit ermittelt. Forscherteams haben hierzu Rotverschiebungen $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ im Intervall zwischen $z_1 = 0,018$ und $z_2 = 0,024$ gemessen.

- 5 b) Berechnen Sie aus den bisherigen Angaben den kleinstmöglichen und den größtmöglichen Wert für die Hubble-Konstante H_0 .
- 6 c) Aus H_0 lässt sich das Weltalter bestimmen. Welche vereinfachende Annahme macht man dabei?

Welcher Bereich ergibt sich für das Weltalter in Jahren, wenn für H_0 das Intervall $\left[46 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}}; 76 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}} \right]$ gefunden wurde?