

BE

Ph 11 – 1**1. Protonen und Pionen in der Medizin**

In darauf spezialisierten Instituten werden Tumore mit geladenen Teilchen, sogenannten Pionen, bestrahlt. Zu deren Erzeugung benötigt man Protonen hoher Energie. Ruhende Protonen werden daher zunächst beschleunigt und anschließend in einen Speicherring eingeleitet.

Gehen Sie im Weiteren vereinfachend davon aus, dass die im Speicherring gesammelten Protonen mit der Geschwindigkeit $v = 0,79 c$ durch den Einsatz geeigneter Ablenkmagnete auf einer Kreisbahn mit Radius $r = 8,8 \text{ m}$ gehalten werden.

a) Zeichnen Sie einen Ausschnitt der Protonen-Kreisbahn mit Kennzeichnung der magnetischen Feldlinienrichtung. Tragen Sie außerdem in einem Punkt der Kreisbahn für ein Proton die Richtung des Geschwindigkeitsvektors sowie die der Lorentzkraft ein.

b) Berechnen Sie die Umlaufdauer eines Protons im Speicherring und die Anzahl seiner Umläufe innerhalb einer Sekunde.

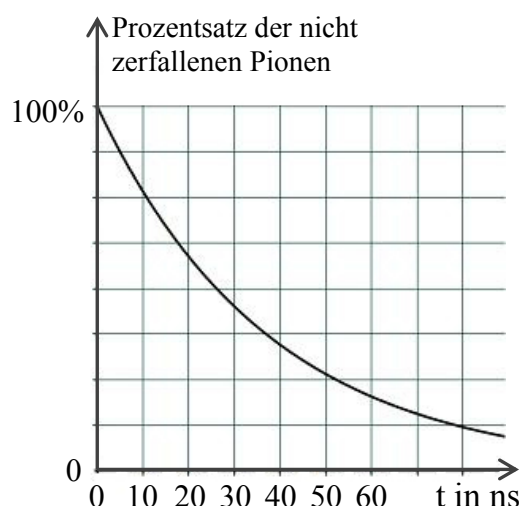
c) Zeigen Sie, dass ein solches Proton die Masse $1,6 \cdot m_0$ (m_0 : Ruhemasse des Protons) und eine kinetische Energie von mehr als $0,5 \text{ GeV}$ besitzt.

d) Berechnen Sie den Betrag der magnetischen Flussdichte im Speicherring.

Mittels der Protonen aus dem Speicherring werden Pionen erzeugt, die allerdings sehr rasch zerfallen. Im Weiteren werden Pionen betrachtet, die sich näherungsweise mit Lichtgeschwindigkeit durch einen $8,0 \text{ m}$ langen Kanal auf den Patienten zubewegen.

e) Ermitteln Sie mit Hilfe des nebenstehenden Zerfallsdiagramms, wie viel Prozent der ursprünglichen Pionen man bei Vernachlässigung relativistischer Effekte am Ende des Kanals erwarten würde.

f) Erklären Sie, warum in Wirklichkeit viel mehr Pionen am Ende des Kanals ankommen, als der in Teilaufgabe 1e ermittelte Prozentsatz angibt.

**2. DVB-T – „Überall-Fernsehen“**

Seit einigen Jahren ist Fernsehen in Deutschland über das so genannte DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) zu empfangen.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Eine dafür geeignete, vertikal orientierte Sendeantenne strahlt mit einer Frequenz von 578 MHz.

- | | |
|---|---|
| 4 | a) In großer Entfernung vom Sender ist die Empfangsfeldstärke sehr klein, so dass nur mit einer Dachantenne ein störungsfreier Empfang möglich ist. Berechnen Sie die kleinste sinnvolle Länge des Empfangsdipols und geben Sie an, wie er für einen optimalen Empfang ausgerichtet sein muss. |
| 5 | b) Um die Empfangsqualität zu verbessern, wird eine Metallplatte hinter der Empfangsantenne senkrecht zur Einfallrichtung der Strahlung montiert. Nennen Sie das hier auftretende physikalische Phänomen, verdeutlichen Sie es durch eine Skizze und berechnen Sie für die Frequenz 578 MHz den kleinsten sinnvollen Abstand zwischen Antenne und Platte. |
| Es wird ein Schwingkreis aus Spule und Kondensator betrachtet, dessen Eigenfrequenz mit der Frequenz des DVB-T-Senders übereinstimmen soll. | |
| 6 | c) Die langgestreckte, zylindrische Spule hat die Länge 8,0 cm, den Durchmesser 4,0 mm und 12 Windungen. Berechnen Sie die Kapazität des zugehörigen Schwingkreiskondensators. |
| 4 | d) Begründen Sie jeweils kurz, dass es sich bei einer Antenne auch um einen Schwingkreis handelt und dennoch eine Empfangsantenne nicht gleichwertig durch einen Schwingkreis aus Spule und Kondensator ersetzt werden kann. |

3. Interferenzexperimente mit Laserlicht

Ein Laser emittiert rotes Licht einer unbekannten Wellenlänge λ . Für ein Experiment stehen Ihnen ein optisches Gitter bekannter Gitterkonstante b , ein Schirm und ein Maßband mit Millimeter-Skala zur Verfügung.

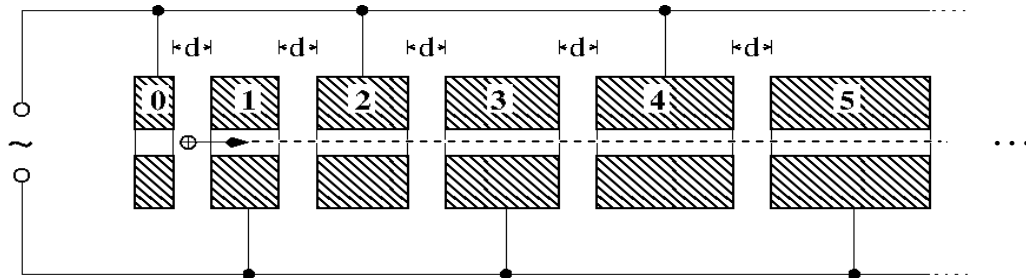
- | | |
|---|--|
| 7 | a) Beschreiben Sie unter Verwendung einer Skizze, wie man mit den gegebenen Hilfsmitteln die Wellenlänge λ des Laserlichts bestimmen kann. Gehen Sie insbesondere darauf ein, welche Größen gemessen werden müssen und wie die Auswertung erfolgt. |
| 4 | b) Im Experiment ergibt sich für die Wellenlänge des Laserlichts $\lambda = 6,3 \cdot 10^{-7}$ m. Ermitteln Sie, welche Bedingung die Gitterkonstante b erfüllen muss, damit bei senkrechter Einstrahlung die Interferenzmaxima mindestens bis zur 10. Ordnung entstehen können. |
| 5 | c) Beschreiben und begründen Sie jeweils knapp, wie sich das Interferenzmuster auf dem Schirm verändert, wenn bei sonst gleichen Versuchsbedingungen <div style="margin-left: 20px;"> <p>α) grünes Laserlicht verwendet wird,</p> <p>β) das Gitter bei unverändert senkrechtem Einfall des Laserstrahls um 90° gedreht wird.</p> </div> |

BE

Ph 11 – 2

1. Linearbeschleuniger

Mit einem Linearbeschleuniger, dessen Aufbau die nachfolgende Abbildung schematisch zeigt, können Protonen geradlinig beschleunigt werden.

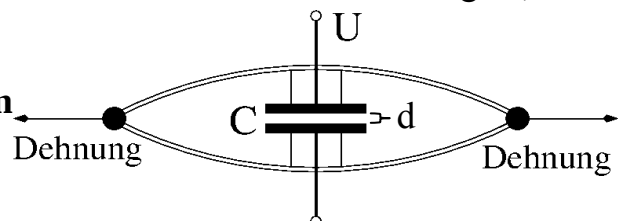


Betrachtet wird ein Proton, das am Ende der 0-ten Röhre mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit in den Beschleuniger eingebracht wird. Zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Röhren wird das Proton in einem schmalen Spalt der Breite $d = 2,0 \text{ cm}$ wie in einem Plattenkondensator mit Plattenabstand d und der anliegenden Spannung $6,0 \cdot 10^5 \text{ V}$ beschleunigt. Dies wird durch eine an den Röhren anliegende Wechselspannung der Frequenz $f = 20 \text{ MHz}$ und dem Scheitelwert $U_0 = 6,0 \cdot 10^5 \text{ V}$ erreicht. Die Aufenthaltsdauer des Protons in den Spalten soll vernachlässigt werden. Im Inneren der Röhren liegt kein elektrisches Feld vor.

- 8 a) Berechnen Sie den Betrag der elektrischen Kraft auf das Proton und seine Beschleunigung im Spalt zwischen zwei Röhren. Bestimmen Sie die Zunahme ΔE_{kin} der kinetischen Energie in jedem der Spalte.
[zur Kontrolle: $\Delta E_{\text{kin}} = 9,6 \cdot 10^{-14} \text{ J}$]
- 8 b) Erläutern Sie, wie sich das Proton im Inneren der Röhren bewegt und berechnen Sie sowohl die kinetische Energie als auch die Geschwindigkeit v_7 des Protons am Ende des 7. Spalts. Begründen Sie, warum eine nicht-relativistische Rechnung gerechtfertigt ist.
[zur Kontrolle: $v_7 = 2,8 \cdot 10^7 \text{ m/s}$]
- 7 c) Erläutern Sie, weshalb die Röhren in Bewegungsrichtung des Protons eine immer größere Länge haben müssen. Berechnen Sie die Länge s_7 der 7. Röhre.

2. Kapazitiver Dehnungsmessstreifen

In einem Dehnungsmessstreifen wird der Plattenabstand d eines eingebauten Messkondensators durch Dehnung verringert. Als Kondensator wird ein luftgefüllter Plattenkondensator mit quadratischen Platten der Seitenlänge $4,0 \text{ mm}$ verwendet, der im ungedehnten Ausgangszustand des Messstreifens einen Plattenabstand von $1,0 \text{ mm}$ hat.



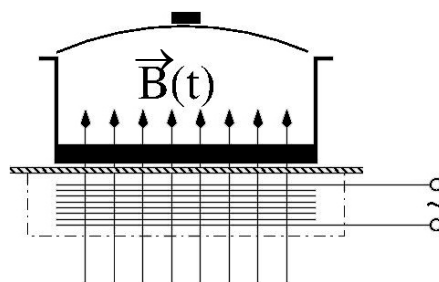
(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 5 a) Berechnen Sie die Kapazität C des Messkondensators im Ausgangszustand und seine Ladung bei einer anliegenden Spannung von 12,0 V.
[zur Kontrolle: $C = 0,14 \text{ pF}$]
- 6 b) Der Messkondensator wird nach dem Ladevorgang von der Stromquelle getrennt. Beschreiben und begründen Sie, ob und gegebenenfalls wie sich die Ladung, die Kapazität und die Spannung des Kondensators bei Dehnung des Messstreifens ändern.
- Nun bildet der Messkondensator zusammen mit einer Spule ($L = 20 \text{ mH}$) einen elektromagnetischen Schwingkreis.
- 3 c) Berechnen Sie die Eigenfrequenz des Schwingkreises ohne Dehnung des Messstreifens.
- 5 d) Leiten Sie eine Formel für die Eigenfrequenz f des Schwingkreises in Abhängigkeit vom Plattenabstand d her. Wie verändert sich die Eigenfrequenz des Schwingkreises, wenn aufgrund einer Dehnung des Messstreifens der Plattenabstand halbiert wird?

3. Induktionskochfeld

Bei einem Induktionskochfeld durchsetzt ein magnetisches Wechselfeld der Flussdichte $B(t) = B_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ einen metallischen Topfboden.

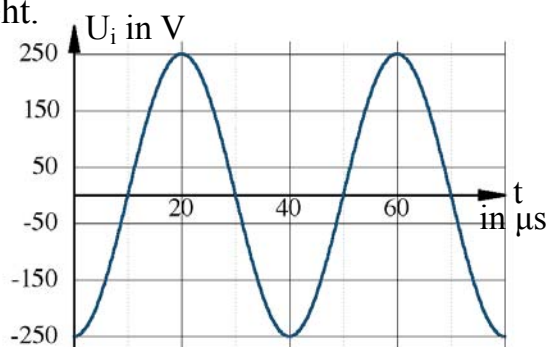


- 4 a) Erklären Sie, warum sich der Boden eines Eisentopfs, der auf dem eingeschalteten Kochfeld steht, erwärmt.

Nun wird anstelle des Topfs eine Induktionsspule mit $N = 500$ Windungen so auf das eingeschaltete Kochfeld gelegt, dass ihre Querschnittsfläche ($A = 30 \text{ cm}^2$) vollständig und senkrecht vom Magnetfeld durchsetzt wird.

- 5 b) Zeigen Sie, dass zwischen den Enden der Spule eine Induktionsspannung mit $U_i(t) = -N \cdot A \cdot B_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$ entsteht.

- 6 c) Ein an die Spule angeschlossenes Oszilloskop zeigt den nebenstehenden zeitlichen Verlauf der Induktionsspannung $U_i(t)$. Ermitteln Sie zusammen mit dem Ergebnis der Teilaufgabe 3b den Scheitelwert B_0 des magnetischen Wechselfeldes.



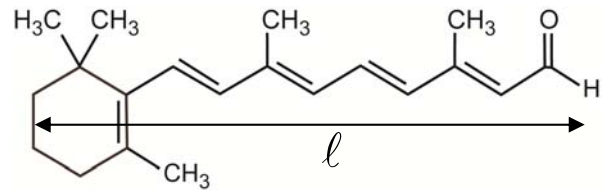
- 3 d) Begründen Sie, weshalb zur Erzeugung hoher Induktionsspannungen bei Induktionskochfeldern Wechselspannungen im kHz-Bereich und nicht solche mit der Frequenz 50 Hz der Netz-Wechselspannung verwendet werden.

BE

Ph 12 – 1

1. Eindimensionaler Potentialtopf

Retinal ist ein Molekül, das beim Sehvorgang eine wichtige Rolle spielt. Es besteht aus einer Kette



von Kohlenstoffatomen, entlang der 12 Elektronen sich frei bewegen können. Das Verhalten der Elektronen lässt sich näherungsweise durch das Modell eines eindimensionalen, unendlich hohen Potentialtopfs der Breite $\ell = 1,44 \text{ nm}$ beschreiben.

- 6 a) Begründen Sie anschaulich und ohne Rechnung, warum ein im Potentialtopf „eingesperrtes“ Elektron grundsätzlich nur diskrete Energien annehmen kann. Erläutern Sie, warum seine kinetische Energie im Grundzustand nicht Null sein kann.
- 6 b) Im Inneren des Topfs gilt $E_{\text{pot}} = 0$; für die Wellenlänge λ_n eines Elektrons im n-ten Quantenzustand ist $\lambda_n = \frac{2 \cdot \ell}{n}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) bekannt.

Leiten Sie damit den Term $E_n = E_{n,\text{kin}} = \frac{h^2}{8m\ell^2} \cdot n^2$ für die Energie E_n des Elektrons im n-ten Quantenzustand her.

Mit Ψ_n wird die Wellenfunktion eines Elektrons und mit $|\Psi_n|^2$ die zugehörige Wahrscheinlichkeitsdichte des n-ten Quantenzustands ($n = 1, 2, 3, \dots$) bezeichnet.

- 3 c) Geben Sie die Quantenzahlen n an, für welche die Wahrscheinlichkeitsdichte $|\Psi_n|^2$ des Elektrons in der Mitte des Potentialtopfs Null ist.

Im Absorptionsspektrum des Moleküls findet man bei der Wellenlänge 500 nm eine Linie, die dem Übergang vom Grundzustand des Moleküls in den ersten angeregten Zustand entspricht.

- 3 d) Begründen Sie, warum im Grundzustand eines Retinal-Moleküls die Energieniveaus E_1 bis E_6 besetzt sind.
- 8 e) Berechnen Sie mit Hilfe des Potentialtopfmodells die Wellenlänge λ der Absorptionslinie. Um wie viel Prozent weicht dieser berechnete Wert vom experimentell bestimmten Wert ab? [zur Kontrolle: $\lambda = 526 \text{ nm}$]
- 5 f) Ein realistischeres Modell berücksichtigt, dass die Potentialwände nicht unendlich hoch sind. Skizzieren Sie für einen solchen Potentialtopf die Wahrscheinlichkeitsdichte eines Elektrons im Quantenzustand $n = 2$ und erläutern Sie den wesentlichen Unterschied bezüglich des Elektronenverhaltens zum unendlich hohen Potentialtopf.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Altersbestimmung mit der ^{14}C -Methode

Wandmalereien, wie z. B. die Darstellung in der Chauvet-Höhle in Frankreich, gehören zu den ältesten Kulturleistungen der Menschheit. Ihr Alter kann mit der sogenannten ^{14}C -Methode, auch bekannt als Radiokohlenstoff- oder Radiokarbonmethode, bestimmt werden.



Gegebene Atommassen: $m(^{14}\text{C}) = 14,0032420 \text{ u}$; $m(^{14}\text{N}) = 14,0030744 \text{ u}$; $m(^1\text{H}) = 1,00782522 \text{ u}$ ($1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$)

Das Kohlenstoffisotop ^{14}C entsteht, wenn ein Neutron der kosmischen Strahlung in der Atmosphäre auf ein ^{14}N -Atom trifft.

- 6 a) Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf und zeigen Sie, dass es sich um einen exothermen Prozess handelt.

^{14}C ist radioaktiv und zerfällt mit einer Halbwertszeit von etwa 5730 Jahren durch β^- -Zerfall.

- 6 b) Geben Sie die Gleichung für den ^{14}C -Zerfall an. Erklären Sie, wie es möglich ist, dass trotz des Zerfalls das Teilchenzahlverhältnis des instabilen ^{14}C -Isotops zum stabilen ^{12}C -Isotop in der Atmosphäre konstant bleibt.

Solange Organismen leben, ist in ihnen das Teilchenzahlverhältnis der beiden genannten Kohlenstoffisotope ebenfalls konstant. Danach sinkt der Anteil der ^{14}C -Atome aufgrund des β^- -Zerfalls, was zur Altersdatierung verwendet werden kann. Einem Höhlenbildnis wird etwas Farbe entnommen und daraus auf chemischem Wege eine Kohlenstoff-Probe der Masse 10 mg gewonnen. Die Anzahl der ^{14}C -Atome in der Probe ist $1,3 \cdot 10^7$.

- 4 c) Weisen Sie rechnerisch nach, dass die Masse der ^{14}C -Atome einen verschwindend geringen Anteil der Probe ausmacht.

- 4 d) Berechnen Sie die Aktivität der Probe und beurteilen Sie, ob sich eine Aktivitätsmessung zur Altersbestimmung dieser Probe eignet, wenn das verwendete Zählrohr eine Nullrate von 10 min^{-1} misst.

- 5 e) Mit Hilfe eines Massenspektrographen wird festgestellt, dass die Anzahl der ^{14}C -Atome in der Probe gegenüber einer Vergleichsprobe aus der Atmosphäre um 97,9 % abgenommen hat. Ermitteln Sie daraus das Alter des Höhlenbildes.

- 4 f) Bei genauerer Untersuchung stellt sich heraus, dass der ^{14}C -Anteil am atmosphärischen Kohlenstoff über einen langen Zeitraum nicht konstant war. Zur Zeit der Felsmalerei waren mehr Neutronen in der kosmischen Strahlung vorhanden als heute. Begründen Sie, ob das in Teilaufgabe 2e berechnete Alter des Höhlenbildes geringer oder höher als das tatsächliche Alter ist.

BE

Ph 12 – 2**1. Der Radioisotopengenerator des Marsrovers „Curiosity“**

Voraussichtlich ab August 2012 soll das Roboterfahrzeug „Curiosity“ die Marsoberfläche erkunden. Das Fahrzeug ist mit einem Radioisotopengenerator ausgestattet, der die beim α -Zerfall des Isotops ^{238}Pu entstehende Wärmeleistung nutzt und sie mit Hilfe von Thermoelementen des Wirkungsgrads 5,5 % in elektrische Leistung umwandelt. Die Halbwertszeit von ^{238}Pu beträgt 87,7 a, die Atommasse 238,049560 u ($1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$).

- 6 a) Stellen Sie die Zerfallsgleichung für den α -Zerfall von ^{238}Pu auf und berechnen Sie die gesamte pro Zerfall freiwerdende Energie Q . Die Atommasse eines ^4He -Atoms beträgt 4,002603 u, die des Zerfallsprodukts 234,040952 u. [zur Kontrolle: $Q = 5,59 \text{ MeV}$]
- 6 b) Berechnen Sie die Wärmeleistung P , die in 1,0 g des Plutoniumisotops aufgrund der Aktivität entsteht. [zur Kontrolle: $P = 0,57 \text{ W}$]
- 5 c) Nach der 250 Tage dauernden Anreise zum Mars soll „Curiosity“ dort ein Marsjahr (687 Tage) lang aktiv sein. Berechnen Sie, um wie viel Prozent die Aktivität des Plutoniums während des Zeitraums vom Start auf der Erde bis zum Ende der Mission gesunken ist.

Für den Betrieb des Marsrovers muss vom Zeitpunkt des Starts bis zum Ende der Mission eine elektrische Leistung von rund 0,1 kW dauerhaft bereitgestellt werden.

- 4 d) Ermitteln Sie unter Berücksichtigung des Wirkungsgrads des Thermoelements die Masse an ^{238}Pu , die zum Zeitpunkt des Starts im Isotopengenerator dafür eingebaut sein muss.
- 5 e) Vor 40 Jahren wurde im Radioisotopengenerator des sowjetischen Mondrovers „Lunochod“ der α -Strahler ^{210}Po verwendet. Beurteilen Sie, ob auch ^{210}Po für den Marsrover als Energiequelle geeignet wäre.

Isotop	Atommasse	Wärmeleistung pro Gramm	Halbwertszeit
^{238}Pu	238,049560 u	0,57 W	87,7 a
^{210}Po	209,982874 u	144 W	138 d

2. Messinstrumente an Bord des Marsrovers

Das Messinstrument „ChemCam“ besteht aus einem Laser und einem Spektrometer. Der Laser sendet Lichtpulse der Dauer 5,0 ns mit der Wellenlänge 1067 nm aus, die jeweils eine Energie von 30 mJ transportieren.

- 5 a) Berechnen Sie die Leistung eines Lichtpulses sowie die Anzahl der mit diesem Puls ausgesendeten Photonen.

(Fortsetzung nächste Seite)

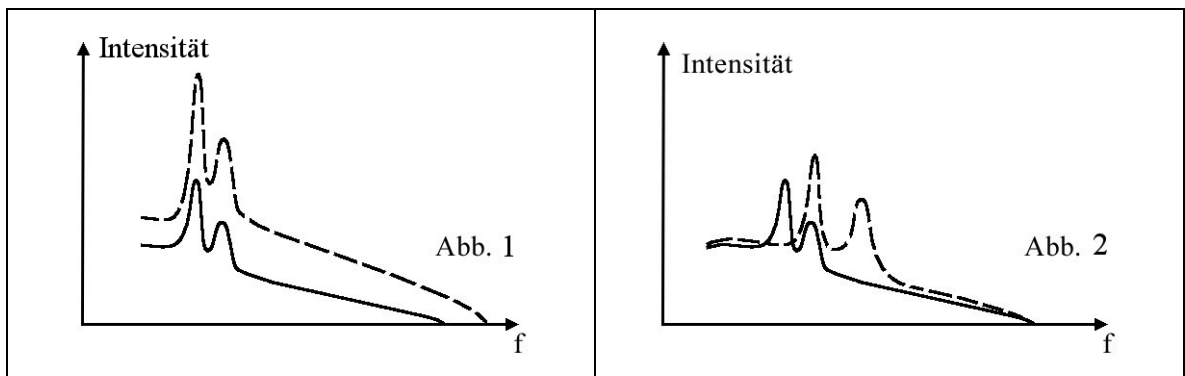
BE

Trifft ein solcher Lichtpuls auf einen Fels, so verdampfen Teile des Gesteins schlagartig. Dadurch wird das Ausgangsmaterial in seine Atome bzw. deren Ionen zerlegt. Die Atome bzw. Ionen liegen dabei in einem angeregten Zustand vor und senden ein für die Probe charakteristisches Licht aus, dessen Spektrallinien mit einem Spektrometer registriert werden. Im Folgenden wird das Spektrum von Wasserstoff untersucht, da dessen Auftreten auf das Vorhandensein von Wasser auf dem Mars hinweisen könnte.

- 6 b) Berechnen Sie die ersten fünf Energieniveaus von Wasserstoff und zeichnen Sie mit diesen ein Energieniveauschema.
- 6 c) Berechnen Sie mit den Ergebnissen von Teilaufgabe 2b die Wellenlängen der drei langwelligsten sichtbaren Spektrallinien von Wasserstoff und zeichnen Sie die drei zugehörigen Energieübergänge in das Energieniveauschema von Teilaufgabe 2b ein.

Außer mit der „ChemCam“ kann „Curiosity“ die Beschaffenheit des Marsgesteins auch mit Hilfe röntgenspektroskopischer Methoden untersuchen.

- 5 d) Fertigen Sie eine beschriftete Skizze einer Röntgenröhre inklusive der elektrischen Schaltung an.
- 4 e) In den nachfolgenden Abbildungen handelt es sich jeweils um Emissionsspektren von Röntgenröhren. Begründen Sie zu jeder Abbildung kurz, welche Veränderung im experimentellen Aufbau den Wechsel von der durchgezogenen zur gestrichelten Kurve bewirkt hat.



- 4 f) Mit dem Gesetz von Moseley $\frac{1}{\lambda_{\alpha}} = \frac{3}{4} \cdot R_H \cdot (Z-1)^2$ lässt sich aus der Röntgenwellenlänge λ_{α} der K_{α} -Linie näherungsweise die Ordnungszahl Z des Anodenmaterials ermitteln (R_H ist die Rydbergkonstante für das Wasserstoffatom). Bestimmen Sie das Anodenmaterial für $\lambda_{\alpha} = 0,152 \text{ nm}$.
- 4 g) Bei „Curiosity“ soll das zu untersuchende Gestein mit α -Teilchen beschossen werden. Dabei wird Röntgenstrahlung vom Gestein emittiert, die Rückschlüsse auf die darin enthaltenen Elemente erlaubt. Erklären Sie die Vorgänge im Gestein.

BE

Ph 12 – Astrophysik 1

Längenangaben: $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ Lj} = 3,09 \cdot 10^{13} \text{ km}$
 $1 \text{ AE} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$

Daten zur Sonne: $L_{\odot} = 3,82 \cdot 10^{26} \text{ W}$
 $R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$
 $M_{\odot} = 4,8$

1. Sedna

Im Jahre 2003 wurde jenseits des Kuipergürtels der Asteroid Sedna entdeckt. Sein kürzester Abstand von der Sonne beträgt 76,3 AE, seine Umlaufzeit $12,6 \cdot 10^3$ Jahre.

- 4 a) Berechnen Sie die große Halbachse a und den Aphelabstand r_A .
 [zur Kontrolle: $a = 541 \text{ AE}$; $r_A = 1,01 \cdot 10^3 \text{ AE}$]
- 5 b) Zeichnen Sie, um die Abstandsverhältnisse zu veranschaulichen, auf einer Geraden liegend die Sonne, Pluto im mittleren Sonnenabstand von 39,5 AE sowie Sedna im Perihel und Aphel (Maßstab: $1000 \text{ AE} \hat{=} 20 \text{ cm}$).
- 6 c) Bestimmen Sie die durchschnittliche Oberflächentemperatur von Sedna im Perihel unter der Annahme, dass 25 % der eingestrahnten Sonnenenergie reflektiert werden und der rotierende Asteroid sich im Strahlungsgleichgewicht befindet.
- 4 d) Sedna befindet sich derzeit in der Nähe des Perihels und damit auch nahe der Erde. Jemand behauptet, dass die auf der Erde gemessene Intensität seiner Strahlung in etwa ein Viertel der derzeitigen sein wird, wenn er doppelt so weit von der Erde entfernt sein wird. Beurteilen Sie die Richtigkeit dieser Behauptung.

2. Ein Raser in unserer Galaxie

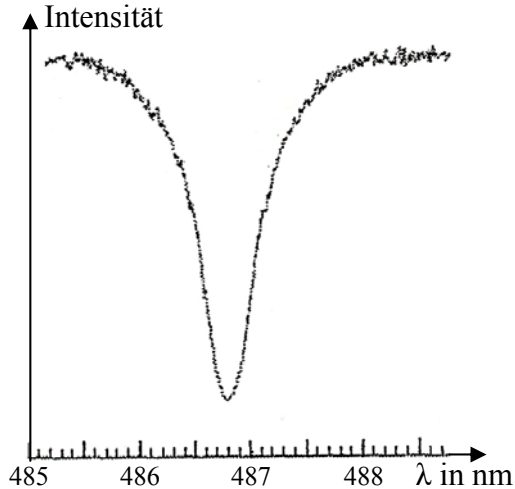
Mit Hilfe des Hipparcos-Satelliten kamen Astronomen auf die Spur des Sterns HD 271791, der besondere Eigenschaften besitzt.

Daten von HD 271791

Masse:	$2,2 \cdot 10^{31} \text{ kg} = 11 \cdot m_{\odot}$
Oberflächentemperatur:	$1,8 \cdot 10^4 \text{ K} = 3,1 \cdot T_{\odot}$
Scheinbare Helligkeit:	10,6
Leuchtkraft:	$2,2 \cdot 10^4 L_{\odot}$

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 8 a) Berechnen Sie den Radius des Sterns HD 271791 in Vielfachen des Sonnenradius und seine Entfernung r zur Erde.
[zur Kontrolle: $r = 21$ kpc]
- 5 b) Zeichnen Sie in ein Hertzsprung-Russell-Diagramm die wichtigsten Sterngruppen, die Sonne und HD 271791 ein. Begründen Sie, warum letzterer als Blauer Überriese bezeichnet wird.
- 5 c) Vergleichen Sie den Aufbau von HD 271791 im heutigen Stadium des Blauen Überriesen mit dem in seinem früheren Stadium als Hauptreihenstern. Geben Sie begründet sein voraussichtliches Endstadium an.
- 5 d) Der Stern HD 271791 bewegt sich in einem Jahr um 0,0046 Bogensekunden am Firmament. Berechnen Sie seine Tangentialgeschwindigkeit v_t .
[zur Kontrolle: $v_t = 4,7 \cdot 10^5$ m/s]
- 4 e) Mit nebenstehendem Spektrum des Sterns HD 271791, in dem die verschobene H_β -Absorptionslinie deutlich zu erkennen ist, kann seine Radialgeschwindigkeit bestimmt werden. Die Wellenlänge der unverschobenen Linie ist 486,1 nm. Berechnen Sie die Radialgeschwindigkeit v_r von HD 271791.
[zur Kontrolle: $v_r = 4,3 \cdot 10^5$ m/s]
- 
- 4 f) Bestimmen Sie die Raumgeschwindigkeit von HD 271791. Vergleichen Sie diese mit der Geschwindigkeit $v_\odot = 220$ km/s der Sonne um das galaktische Zentrum.
- 5 g) HD 271791 wird als Hypervelocity-Star geführt, da er das Gravitationsfeld der Milchstraße verlassen wird. Welche astronomischen Daten müssen berücksichtigt bzw. bestimmt werden, um dieses Verhalten eines Sterns vorhersagen zu können?
- 5 h) Erstellen Sie eine beschriftete Skizze unserer Milchstraße in Seitenansicht, tragen Sie die ungefähre Position der Sonne ein und geben Sie die Größenordnungen der wichtigsten Distanzen an.

BE

Ph 12 – Astrophysik 2Längenangaben: $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ Lj} = 3,09 \cdot 10^{13} \text{ km}$ **1. Die kosmische Entfernungsleiter**

Der Abstand Erde-Sonne ist Grundlage vieler weiterer astronomischer Entfernungsbestimmungen. Da eine direkte Messung nicht möglich ist, berechnet man ihn zum Beispiel aus dem Abstand Erde-Venus. Diese Entfernung kann man durch Messungen der Laufzeit von Radarsignalen von der Erde zur Venus bestimmen, wenn diese sich in unterer Konjunktion zur Erde befindet.

- 5 a) Die Umlaufzeit der Venus beträgt 225 Tage, die Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden unteren Konjunktionen 584 Tage. Klären Sie diesen scheinbaren Widerspruch unter Zuhilfenahme einer qualitativen Skizze auf.
- 4 b) Bei unterer Konjunktion beträgt die Laufzeit eines Radarsignals von der Erde zur Venus und zurück 274 s. Berechnen Sie daraus den Abstand d zwischen Erde und Venus bei dieser Konstellation.
[zur Kontrolle: $d = 4,11 \cdot 10^7 \text{ km}$]
- 8 c) Die Bahnen von Erde und Venus um die Sonne können in guter Näherung als Kreisbahnen betrachtet werden, wobei der Erdbahnradius 1 AE beträgt. Weisen Sie mit Hilfe des 3. Kepler'schen Gesetzes und der Umlaufzeit der Venus von 225 Tagen nach, dass der Radius der Venusbahn 0,724 AE beträgt. Berechnen Sie anschließend unter Zuhilfenahme des Ergebnisses von Teilaufgabe 1b den Abstand Erde-Sonne in km.

Zur Bestimmung der Entfernung naher Sterne verwendet man die jährliche trigonometrische Parallaxe.

- 5 d) Erläutern Sie unter Verwendung einer Skizze das Prinzip dieser Methode zur Entfernungsbestimmung.
- 3 e) Der Satellit GAIA, der 2013 gestartet werden soll, kann auch eine Parallaxe von 0,00001 Bogensekunden noch messen. Berechnen Sie, wie viele Lichtjahre ein Stern maximal entfernt sein darf, damit dessen Distanz mit GAIA noch bestimmt werden kann.

Der Satellit GAIA wird auch Sternspektren aufnehmen.

- 4 f) Erläutern Sie, wie mit Hilfe eines Sternspektrums die Oberflächentemperatur dieses Sterns bestimmt werden kann.
- 8 g) Beschreiben Sie für einen Hauptreihenstern ausführlich eine Methode, wie man ausgehend von dessen Oberflächentemperatur und unter Zuhilfenahme des Hertzsprung-Russell-Diagramms seine Entfernung bestimmen kann.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entdeckte Henrietta Leavitt, dass zwischen der mittleren absoluten Helligkeit und der Periodendauer der Helligkeitsschwankung von bestimmten Pulsationsveränderlichen, den δ -Cepheiden, ein einfacher Zusammenhang besteht.

- 6 h) In der Kleinen Magellanschen Wolke befindet sich ein δ -Cephei-Stern, dessen scheinbare Helligkeit mit einer Periodendauer von 127 Tagen um einen Mittelwert von 11,6 schwankt. Berechnen Sie damit die Entfernung der Kleinen Magellanschen Wolke in Lichtjahren.
- 4 i) Beschreiben Sie ein Verfahren, mit dem der Abstand noch weiter entfernter kosmischer Objekte bestimmt werden kann.

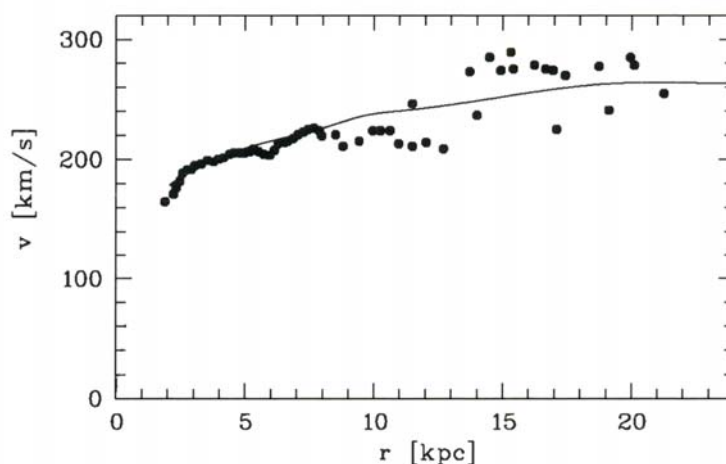
2. Die Rotationskurven des Sonnensystems und der Milchstraße

Unter einer Rotationskurve versteht man ein Diagramm, bei dem die Bahngeschwindigkeit v über dem Bahnradius r aufgetragen ist.

- 5 a) Berechnen Sie für folgende Planeten unter der Annahme kreisförmiger Bahnen die jeweilige Bahngeschwindigkeit und erstellen Sie damit die Rotationskurve des Sonnensystems.

	Merkur	Mars	Jupiter	Saturn
Bahnradius r in 10^6 km	58	228	778	1433
Umlaufzeit T in 10^6 s	7,6	59	374	930

Die Sterne der Milchstraße bewegen sich um das galaktische Zentrum. Das folgende Diagramm zeigt die Rotationskurve der Milchstraße.



- 3 b) Vergleichen Sie qualitativ die Rotationskurve der Milchstraße mit der des Sonnensystems aus Teilaufgabe 2a.
- 5 c) Welche Schlussfolgerung über die Massenverteilung der Milchstraße kann aus dem Vergleich der Rotationskurven gezogen werden? Begründen Sie Ihre Antwort.

60