Abiturprüfung 2018

PHYSIK

Arbeitszeit: 180 Minuten

Der Fachausschuss wählt

eine Aufgabe aus der Aufgabengruppe Ph 11
und **eine** aus der Aufgabengruppe Ph 12

oder

eine Aufgabe aus der Aufgabengruppe Ph 11
und **eine** aus der Aufgabengruppe Ph 12-Astrophysik

zur Bearbeitung aus.

Die Angabe ist vom Prüfling mit dem Namen zu versehen und mit abzugeben.

Name: _____

BE

Ph 11 – 1

1. Elektronen im gebogenen Plattenkondensator

Aus einer Elektronenquelle (EQ) treten Elektronen mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit in einen Beschleunigungskondensator ein, an dem zunächst die Spannung $U_B = 1{,}0$ kV anliegt.

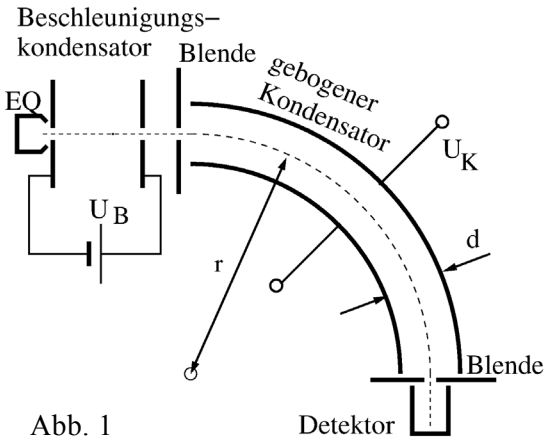


Abb. 1

5 a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit v der Elektronen nach Durchlaufen des Beschleunigungskondensators und begründen Sie, dass hier nichtrelativistisch gerechnet werden kann.

[zur Kontrolle: $v = 1{,}9 \cdot 10^7$ m/s]

Anschließend gelangen die Elektronen in einen gebogenen Plattenkondensator mit Plattenabstand d = 1,4 cm. Bei Anliegen einer Spannung U_K durchlaufen sie einen Viertelkreis mit Radius r = 2,1 m.

4 b) Da der Plattenabstand d sehr viel kleiner ist als der Bahnradius r, ist der Betrag der elektrischen Feldstärke E im Kondensator näherungsweise durch die Beziehung $E = U_K/d$ gegeben. Begründen Sie diesen Sachverhalt.

6 c) Erläutern Sie die Gründe, die dazu führen, dass sich die Elektronen in dem gebogenen Kondensator auf einer Kreisbahn mit konstanter Bahngeschwindigkeit bewegen. Geben Sie auch die Polung des Kondensators an.

5 d) Zeigen Sie, dass für die Kondensatorspannung $U_K = \frac{mdv^2}{er}$ gilt, und berechnen Sie ihren Wert (Elektronenmasse m, Elementarladung e).

Bei einer Erhöhung der Beschleunigungsspannung U_B muss auch die Kondensatorspannung U_K erhöht werden, damit die Elektronen den Detektor erreichen.

5 e) Ein Experimentator stellt fest, dass bei kleinen Veränderungen von $U_B = 1{,}0$ kV das Verhältnis U_K/U_B konstant ist. Bestimmen Sie, wie dieses Verhältnis von den geometrischen Größen r und d abhängt.

4 f) Bei sehr großen Werten von U_B ändert sich das Verhältnis aus Teilaufgabe e bei Variation von U_B. Nennen Sie die Ursache für diese Änderung und geben Sie die jetzt erforderlichen Ansätze für die Berechnung von v und U_K an.

2. Warensicherung

Bestimmte Warensicherungsetiketten enthalten einen elektromagnetischen Schwingkreis mit der Eigenfrequenz 8,2 MHz. Der Schwingkreiskondensator besteht aus zwei Platten im Abstand 15 µm. Die Plattenfläche (in der Abbildung grau dargestellt) beträgt ca. 13 % der Gesamtfläche des Warensicherungsetiketts. Der Raum zwischen den Platten ist mit Polypropylen gefüllt, wodurch sich die Kapazität des Kondensators um den Faktor $\varepsilon_r = 2{,}3$ gegenüber der eines luftgefüllten Kondensators erhöht. Aufgrund einer eingebauten Soll-Kurzschlussstelle wird der Kondensator zerstört, wenn die Plattenspannung einen Wert von 4,5 V übersteigt.

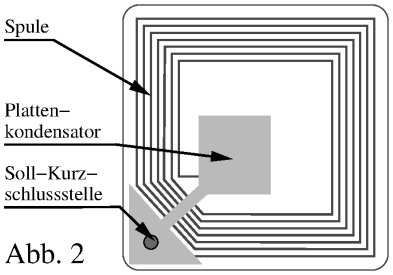
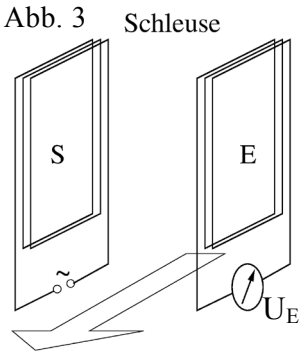


Abb. 2

8 a) Bestimmen Sie mithilfe der Abbildung 2 (Originalgröße) die Kapazität des Kondensators im Schwingkreis und daraus die Induktivität der Spule.
[zur Kontrolle: $C = 2{,}2 \cdot 10^{-10}$ F]

3 b) Berechnen Sie die maximale Energie, die der Schwingkreis aufnehmen kann, ohne zerstört zu werden.

Abb. 3



Warenhäuser besitzen am Ausgang Schleusen, die aus einer Sendespule S und einer Empfangsspule E in einem Abstand von ca. einem Meter bestehen. An die Sendespule wird eine sinusförmige Wechselspannung der Frequenz f angelegt.

4 c) Erklären Sie, dass ein an E angeschlossenes Messgerät eine Wechselspannung anzeigt.

Befindet sich eine Ware mit intaktem Sicherungsetikett in der Schleuse, so nimmt der Schwingkreis Energie auf, wenn die Frequenz f mit seiner Eigenfrequenz übereinstimmt. Man beobachtet dann ein Absinken des Scheitelwerts U_E der bei E gemessenen Wechselspannung. Größere Metallgegenstände führen ebenfalls zu einem Absinken von U_E und können einen Fehlalarm auslösen. Um dies zu vermeiden, wird der Sender so eingestellt, dass die Frequenz periodisch um den Mittelwert 8,2 MHz schwankt (siehe Abb. 4a).

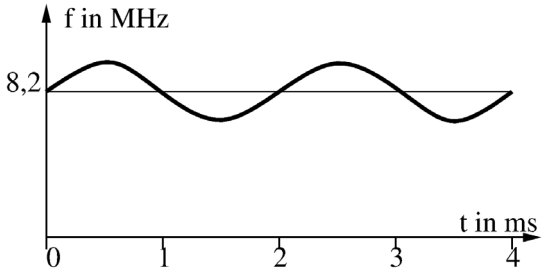


Abb. 4a

9 d) In der Schleuse befinden sich

α) ein intaktes Sicherungsetikett bzw.

β) ein größerer Metallgegenstand.

Ordnen Sie den beiden Fällen je eines der Diagramme ① bis ④ aus Abbildung 4b passend zu und begründen Sie Ihre Entscheidung.

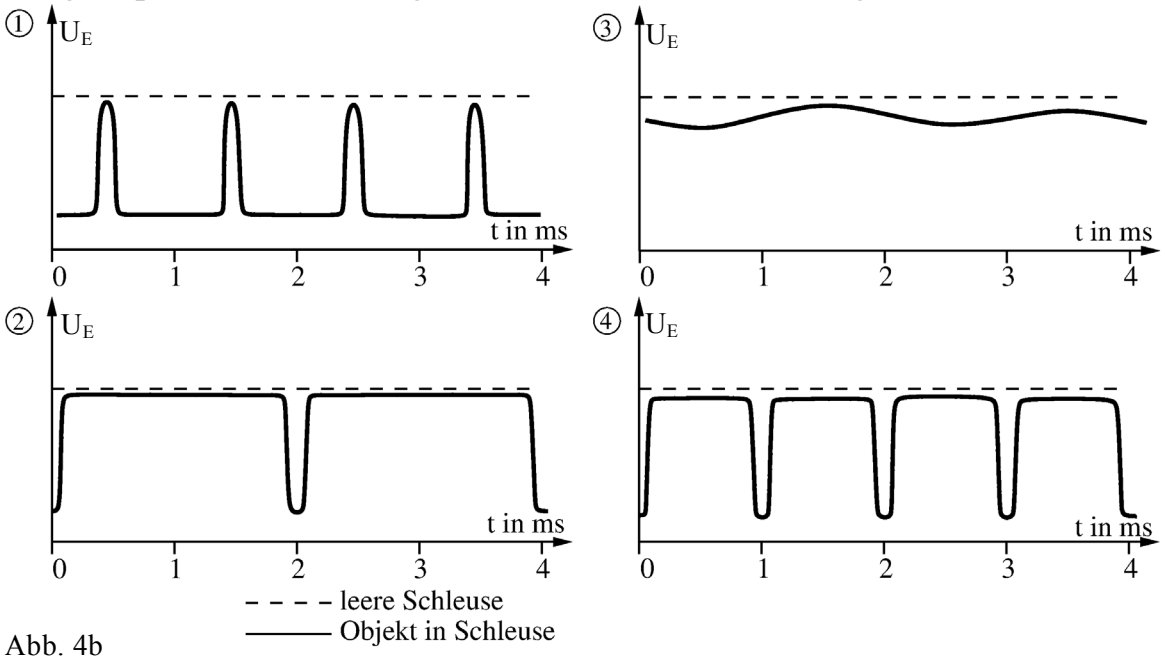


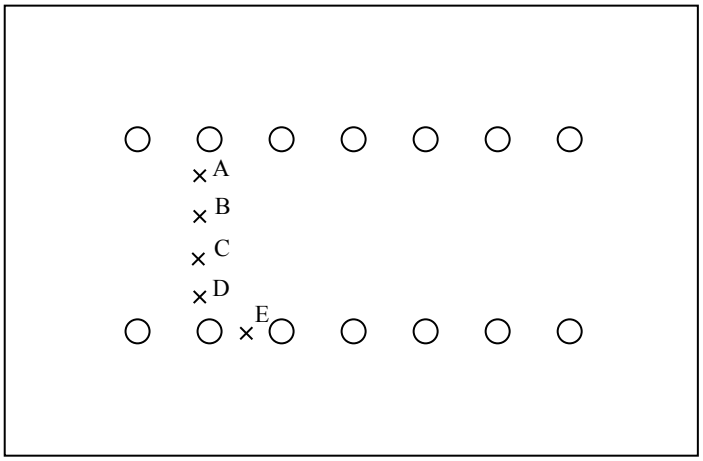
Abb. 4b

7 e) Beim Bezahlvorgang werden die Etiketten an der Kasse kurz einem magnetischen Wechselfeld $B(t) = 5{,}8\ \mu T \cdot \sin(2\pi \cdot 16\ MHz \cdot t)$ ausgesetzt. Bestimmen Sie aus Abbildung 2 näherungsweise die mittlere Querschnittsfläche sowie die Windungszahl der zweilagigen Schwingkreisspule und berechnen Sie damit den Maximalwert der darin induzierten Spannung. Begründen Sie, dass das Etikett deaktiviert wird.

60

1. Magnetfeld einer langen Spule

Im Unterricht soll das Magnetfeld einer langgestreckten Spule genauer untersucht werden. Die Abbildung rechts zeigt schematisch den Querschnitt einer solchen Spule. In einem ersten Versuch wird das Feldlinienbild mithilfe von Eisenfeilspänen dargestellt.



4 a) Zeichnen Sie in der Abbildung durch die Punkte A, B, C und D vollständige Feldlinien ein, wenn sich am linken Ende der Spule ein magnetischer Nordpol befindet. Zeichnen Sie auch die Flussrichtung der Elektronen ein.

4 b) Begründen Sie, dass im Punkt E nahezu kein magnetisches Feld vorhanden ist.

In einem zweiten Versuch werden Spulen der Länge 10,0 cm in Reihe geschaltet, sodass eine langgestreckte Spule entsteht. Die Stromstärke I durch die Spulenanordnung wird bei allen Versuchen zunächst auf den gleichen Wert eingestellt. Mit einer Hall-Sonde wird die magnetische Flussdichte B in der Mitte der Spulenanordnung bestimmt.

7 c) Erläutern Sie ausgehend von einem geeigneten Kraftansatz das Funktionsprinzip einer Hall-Sonde und zeigen Sie, dass die gemessene Hall-Spannung direkt proportional zur magnetischen Flussdichte ist.

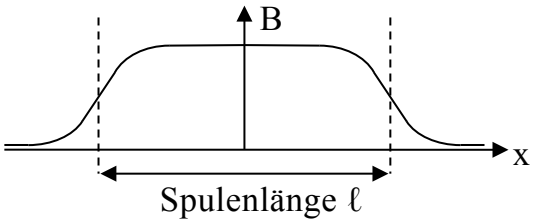
Die Tabelle zeigt die Messergebnisse für die magnetische Flussdichte bei unterschiedlichen Spulenanordnungen, wobei jeweils Windungszahl N und Länge ℓ der gesamten Spulenanordnung angegeben ist.

		Windungszahl N		
		250	500	1000
Länge ℓ	10,0 cm	6,30 mT	12,60 mT	25,10 mT
	20,0 cm	-	6,20 mT	12,50 mT
	40,0 cm	-	-	6,30 mT

8 d) Zeigen Sie, dass die erhaltenen Messwerte mit der Beziehung $B \sim N / \ell$ in Einklang stehen. Nennen Sie zwei mögliche Gründe für auftretende Abweichungen.

3 e) Beschreiben Sie, wie man mit diesem Versuchsaufbau den Zusammenhang zwischen B und I untersuchen kann.

In einem dritten Versuch wird der Verlauf der magnetischen Flussdichte längs der Spulenachse gemessen. Nebenstehende Abbildung zeigt qualitativ diesen Verlauf.



4 f) Erklären Sie, dass die magnetische Flussdichte am Rand der Spule auf die Hälfte des Maximalwertes abfällt. Der Aufbau und die Messwerttabelle des zweiten Versuchs können dazu hilfreich sein.

2. CDs und Blu-ray-Disks

Auf CDs und Blu-ray-Disks werden Daten mithilfe von Vertiefungen (Pits) gespeichert. Zum Auslesen werden Laser verwendet. Zunächst soll die Wellenlänge des Laserlichts eines CD-Spielers mit einem senkrecht zum Strahl positionierten Gitter (200 Linien pro mm) bestimmt werden.

5 a) Skizzieren Sie einen dazu geeigneten Versuchsaufbau und tragen Sie alle benötigten Größen in die Zeichnung ein.

Im Versuch erscheint das Maximum dritter Ordnung unter einem Winkel von $\alpha_3 = 27{,}9°$ zum Maximum nullter Ordnung.

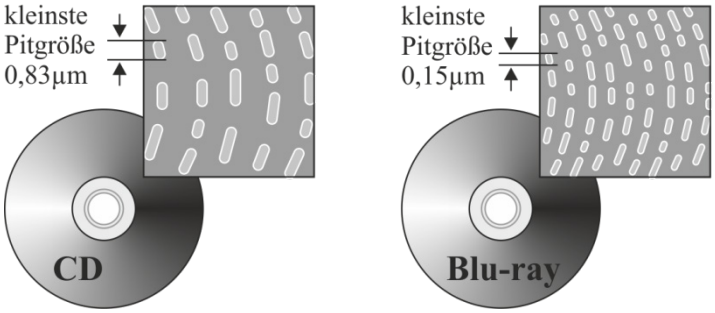
7 b) Berechnen Sie die Wellenlänge des Laserlichts. Bestimmen Sie die Energie eines Photons des Laserlichts in eV und geben Sie den Spektralbereich dieses Laserlichtes an. [zur Kontrolle: $\lambda_{CD} = 780$ nm]

7 c) Bestimmen Sie den Abstand a des Schirms der Breite B = 1,00 m zum Gitter, wenn die beiden Maxima dritter Ordnung gerade noch an den Rändern des Schirms sichtbar sind. Ermitteln Sie auch die Anzahl der Maxima, die außerhalb des Schirms liegen.

Nun wird der CD-Laser durch einen Laser aus einem Blu-ray-Laufwerk ersetzt. Dabei entsteht ein Schirmbild, das neben Maxima ungefähr an den bisherigen Stellen zusätzlich jeweils ein Maximum zwischen diesen Stellen zeigt.

4 d) Begründen Sie, dass die Wellenlänge des nun verwendeten Laserlichts etwa 400 nm beträgt.

In einem Zeitschriftenartikel finden sich nebenstehende Abbildung und folgendes Zitat: „Beugungseffekte fallen umso geringer aus, je größer das beugende Objekt im Vergleich zur Wellenlänge ist. Bei Abspielgeräten möchte man die Beugungseffekte möglichst gering halten.“



7 e) Erläutern Sie anhand eines Beispiels den ersten Satz des Zitats. Diskutieren Sie unter Verwendung der gegebenen Daten die Eignung der beiden Laser für das Auslesen von CDs beziehungsweise von Blu-ray-Disks.

60

BE

Ph 12 – 1

1. Spektrum von Antiwasserstoff

Im Jahre 2016 wurde am Forschungszentrum CERN erstmals das Spektrum eines Antimaterieatoms analysiert. Im Rahmen der Messgenauigkeit wurde am Übergang 1s nach 2s im Antiwasserstoffatom $\overline{H}$ die Vermutung bestätigt, dass die Energieniveaus mit denen von Wasserstoff übereinstimmen.

5 a) Für die Bildung von $\overline{H}$ werden zunächst Positronen aus dem β^+-Zerfall des Natriumisotops ^{22}Na gewonnen. Geben Sie die zugehörige Zerfallsgleichung an und beschreiben Sie diesen Zerfall im Quark-Modell.

6 b) Durch Beschuss eines Kupferblocks mit Protonen gewinnt man Antiprotonen. Diese bilden mit Positronen Antiwasserstoffatome, die in einer sog. Atomfalle gehalten werden können, wenn ihre kinetische Energie höchstens $6{,}5 \cdot 10^{-5}$ eV beträgt. Zeigen Sie, dass die Höchstgeschwindigkeit dieser Atome $1{,}1 \cdot 10^2$ m/s beträgt, und ermitteln Sie ihre de-Broglie-Wellenlänge.

7 c) Zeichnen Sie ein maßstäbliches Energieniveauschema für Antiwasserstoff mit den Energieniveaus E_1, E_2 und E_3. Zeigen Sie, dass die Energie eines Photons der Wellenlänge 121,6 nm gleich der Energiedifferenz des Übergangs von 1s nach 2s ist.

Im Experiment wird Laserlicht der Frequenz f_0 längs einer Geraden von zwei Seiten in die Atomfalle eingestrahlt. Zur Vereinfachung soll sich jedes $\overline{H}$ in der Falle nur längs dieser Geraden bewegen. Bei entgegengesetzten Bewegungsrichtungen eines $\overline{H}$ und eines Photons verschiebt sich aus Sicht des $\overline{H}$ die Frequenz des Photons aufgrund des sogenannten Dopplereffekts auf

$f_+ = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)$, bei gleicher Bewegungsrichtung auf $f_- = f_0 \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right)$

(v: Geschwindigkeit eines $\overline{H}$, c: Lichtgeschwindigkeit).

4 d) Begründen Sie, dass zur Anregung aller $\overline{H}$ von 1s nach 2s Licht unterschiedlicher Wellenlänge notwendig ist. Geben Sie eine Konsequenz für das beschriebene Experiment an.

5 e) Ein $\overline{H}$ kann auch dann von 1s nach 2s übergehen, wenn gleichzeitig ein Photon der Frequenz f_0 und ein zweites Photon derselben Frequenz aus entgegengesetzter Richtung absorbiert werden (Zwei-Photonen-Absorption). Ermitteln Sie die Wellenlänge λ_0 der Photonen und erläutern Sie kurz, dass sich bei diesem Verfahren die Geschwindigkeit der Atome nicht auswirkt.

3 f) Nachdem die angeregten $\overline{H}$ die Atomfalle verlassen haben, wird diese abgeschaltet. Geben Sie die in der Apparatur stattfindenden Folgeprozesse an, die zum Nachweis der verbliebenen Antimaterieatome genutzt werden können.

2. Rückbau von Kernreaktoren

Der Rückbau eines Reaktordruckbehälters ist mit einer großen Strahlenbelastung für die Arbeiter verbunden, weil das Material während des Betriebs durch Neutronenstrahlung hochradioaktiv geworden ist. Ein großer Teil dieser Aktivität stammt dabei vom Kobalt-Isotop ^{60}Co (Halbwertszeit $T_H = 5{,}27$ a).

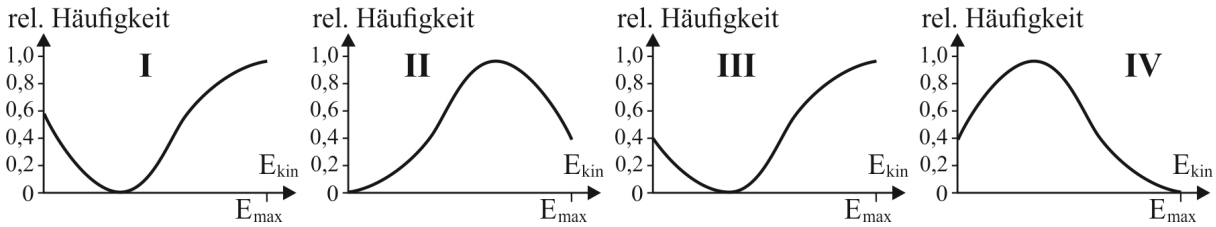
5 a) Die Innenseite des Reaktordruckbehälters besitzt nach Modellrechnungen eine ^{60}Co-Aktivität von $1{,}0 \cdot 10^5$ Bq pro Gramm Stahl. Berechnen Sie die Zeitdauer, in der diese Aktivität auf 10 Bq pro Gramm Stahl sinkt.

Durch β^--Zerfall geht ^{60}Co in einen angeregten Zustand des Nickel-Isotops ^{60}Ni über, das kurz darauf nacheinander zwei γ-Quanten der Energien 1,17 MeV und 1,33 MeV aussendet und dabei in den Grundzustand übergeht.

5 b) Geben Sie die Zerfallsgleichung für den β^--Zerfall an und zeigen Sie rechnerisch, dass dabei eine Gesamtenergie von 2,82 MeV freigesetzt wird.

4 c) Berechnen Sie die Energiedifferenz des oben beschriebenen Übergangs von ^{60}Co zum angeregten Zustand des ^{60}Ni und begründen Sie, dass nur β^--Teilchen mit geringerer Energie detektiert werden können.

6 d) Zwei der Diagramme I bis IV zeigen Energiespektren von Teilchen, die beim β^--Zerfall emittiert werden. Ordnen Sie diesen Diagrammen das jeweils passende Teilchen begründet zu und erläutern Sie dabei auch den Zusammenhang der beiden Energiespektren.



Im Folgenden soll nun die Belastung eines Arbeiters aufgrund der Strahlung des Kobalt-Isotops ^{60}Co beim Rückbau des Reaktordruckbehälters abgeschätzt werden.

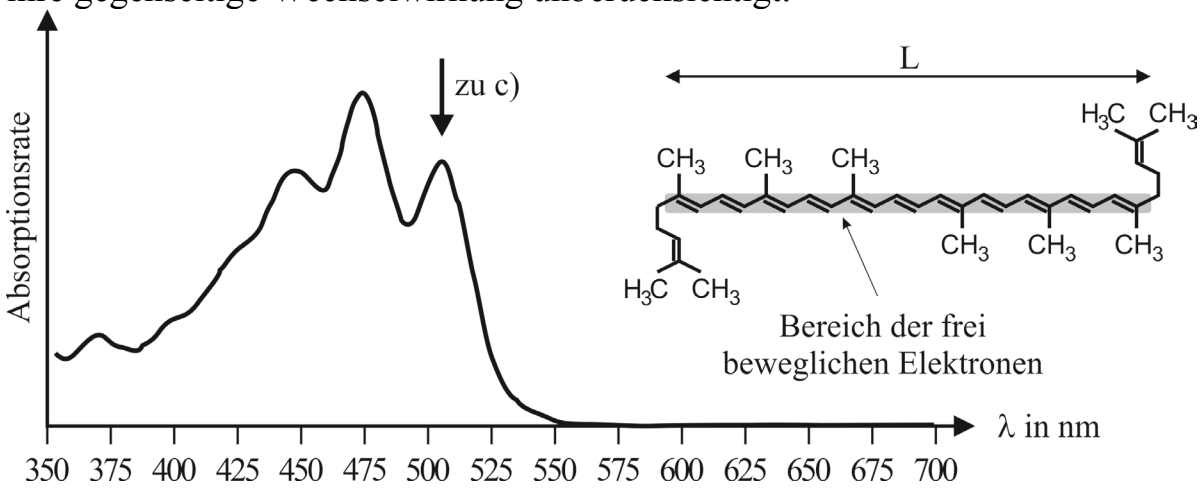
7 e) Berechnen Sie dazu die Äquivalentdosis, die ein Arbeiter der Masse 80 kg in einer Stunde aufnehmen würde, wenn er ungeschützt der Strahlung ausgesetzt ist. Legen Sie eine Aktivität von 1,0 GBq zugrunde und nehmen Sie an, dass 25 % der bei jedem ^{60}Co-Zerfall freiwerdenden Gesamtenergie vom Körper absorbiert werden. Interpretieren Sie Ihr Ergebnis in Bezug auf die in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Grenze für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr.

3 f) Erläutern Sie, inwiefern der Arbeiter durch einen Ganzkörperschutzanzug aus Kunststofffolie und eine Atemschutzmaske beim Zerlegen des Reaktordruckbehälters vor Strahlenschäden geschützt wird.

60

1. Tomatenrot

Die charakteristische rote Farbe von Tomaten beruht hauptsächlich auf der Eigenschaft des Moleküls Lycopen, Licht bestimmter Wellenlängen zu absorbieren. In der folgenden Abbildung sind das Absorptionsspektrum und die Struktur von Lycopen dargestellt. Im grau markierten Bereich (Länge L) können sich 22 Elektronen innerhalb der Molekülkette frei bewegen. Zur Vereinfachung bleibt ihre gegenseitige Wechselwirkung unberücksichtigt.



5 a) Begründen Sie, dass man die Energieniveaus eines dieser frei beweglichen Elektronen vereinfacht mithilfe des Modells des eindimensionalen Potentialtopfs mit unendlich hohen Wänden beschreiben kann.

5 b) Leiten Sie her, dass im Potentialtopfmodell für die Energie eines Elektrons mit Masse m im n-ten Quantenzustand gilt: $E_n = \frac{h^2}{8mL^2} \cdot n^2$

7 c) Die 22 frei beweglichen Elektronen besetzen beim nicht angeregten Molekül nach dem Pauli-Prinzip die untersten elf Energieniveaus. Die Anregung des Moleküls, bei dem ein Elektron vom 11. in den 14. Quantenzustand wechselt, ruft das mit einem Pfeil gekennzeichnete Maximum im oben abgebildeten Absorptionsspektrum hervor. Bestimmen Sie daraus die Länge L.

8 d) Skizzieren Sie die Wellenfunktion und die Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichte für ein Elektron im 11. Quantenzustand und untersuchen Sie, ob sich ein Elektron im 11. bzw. im 14. Quantenzustand genau in der Mitte des Potentialtopfs aufhalten kann.

3 e) Erklären Sie mit Hilfe des abgebildeten Absorptionsspektrums, dass das Molekül einen roten Farbeindruck verursacht.

4 f) Durch Hinzugabe einer chemischen Substanz wird der Bereich, in dem sich die Elektronen frei bewegen können, in Teilbereiche zerlegt. Erläutern Sie die dadurch hervorgerufene Änderung des Absorptionsspektrums.

(Fortsetzung nächste Seite)

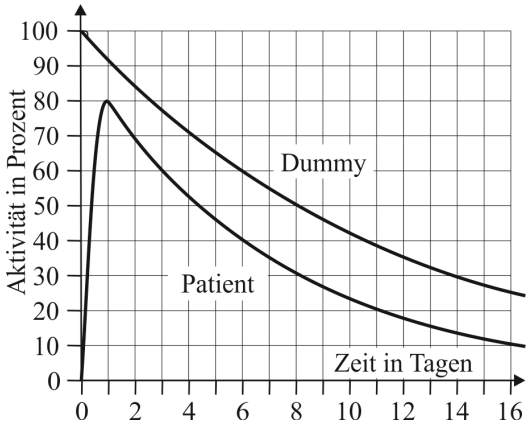
2. Radioiodtherapie bei Schilddrüsenerkrankungen

Bei der Radioiodtherapie nimmt der Patient Natriumiodid mit dem radioaktiven Iod-Isotop ^{131}I in einer Kapsel zu sich. Dieses reichert sich in der Schilddrüse an und zerstört erkranktes Gewebe.

7 a) ^{131}I zerfällt mit hoher Wahrscheinlichkeit über einen β^--Zerfall in das angeregte Xenon-Isotop ^{131}Xe, das anschließend die Energie 364 keV in Form von γ-Strahlung abgibt. Stellen Sie die Zerfallsgleichung des β^--Zerfalls auf und zeigen Sie, dass die maximale kinetische Energie des emittierten Elektrons 0,61 MeV beträgt.

2 b) Im Gewebe geben die emittierten Elektronen ihre kinetische Energie ab. Nennen Sie zwei Prozesse, die zur Energieabgabe der Elektronen führen.

Die für die Therapie zu verabreichende Menge wird vorab in einem Test ermittelt. Dazu nimmt der Patient ein Radioiodpräparat mit einer Aktivität von 2,0 MBq ein. Zeitgleich wird die gleiche Menge des Präparats in einen für jeden Patienten individuell angefertigten „Dummy“ gegeben, der das Absorptionsverhalten des Patientengewebes simuliert. Am Hals des Patienten und am Dummy wird jeweils die Aktivität gemessen.



4 c) Nennen Sie zwei wesentliche Unterschiede der Messkurven und erläutern Sie, worauf sie zurückgeführt werden können.

6 d) Bestimmen Sie mithilfe der Abbildung die Halbwertszeit von ^{131}I und berechnen Sie die Anzahl der anfänglich im Präparat vorhandenen ^{131}I -Atome.

In der Radioiodtherapie wird eine hohe Energiedosis D im Bereich der Schilddrüse benötigt.

4 e) Der Behandlungsplan eines Patienten sieht die Energiedosis D = 200 Gy in seiner Schilddrüse vor, die ein Volumen von 60 ml hat. Schätzen Sie die Energieaufnahme der Schilddrüse bei dieser Dosis ab.

5 f) Nach einer Radioiodtherapie werden Patienten zum Schutz von Personen in unmittelbarer Umgebung erst dann entlassen, wenn die Aktivität des ^{131}I soweit abgesunken ist, dass die Äquivalentdosis in 2,0 m Abstand vom Patienten pro Stunde weniger als 3,5 µSv beträgt. Bewerten Sie dies vor dem Hintergrund, dass die durchschnittliche natürliche Strahlenbelastung in Deutschland pro Jahr 2,1 mSv beträgt.

60

BE

Ph 12 – Astrophysik 1

1. Helvetios und sein Planet, der „Heiße Jupiter“ Dimidium

Der sonnenähnliche Stern Helvetios im Sternbild Pegasus ist 50,9 Lichtjahre entfernt und hat eine Masse m_H von 1,06 Sonnenmassen. Die scheinbare Helligkeit des Sterns hat den Wert 5,49. Helvetios bewegt sich mit der mittleren Radialgeschwindigkeit 33,7 km/s auf die Sonne zu.

6 a) Bestimmen Sie die absolute Helligkeit M_H von Helvetios und entscheiden Sie begründet, ob er dem irdischen Beobachter heller als die Sonne erscheinen würde, wenn Helvetios von der Erde genauso weit entfernt wäre wie die Sonne. [zur Kontrolle: $M_H = 4{,}52$]

5 b) Zeigen Sie, dass die Leuchtkraft des sonnenähnlichen Sterns Helvetios das 1,33-fache der Leuchtkraft der Sonne beträgt. Erläutern Sie mögliche Ursachen für die höhere Leuchtkraft.

Bei Helvetios wurde 1995 der erste Planet außerhalb des Sonnensystems entdeckt, der einen sonnenähnlichen Stern umläuft. Dieser Exoplanet erhielt den Namen Dimidium. Seine Entdeckung wurde durch ein hochauflösendes Spektrometer möglich, das auch kleinste Verschiebungen der Linien im Absorptionsspektrum gegenüber den im Labor beobachteten Linien erfassen kann.

5 c) Erklären Sie die Entstehung des Absorptionsspektrums von Sternen.

Dimidium und Helvetios umkreisen sich innerhalb von 4,22 Erdtagen in einer Entfernung r, die lediglich 1,0 % der großen Halbachse der Jupiterbahn beträgt. Die Masse m_D von Dimidium beträgt 0,472 Jupitermassen. Vereinfachend wird angenommen, dass der Planet sich auf einer Kreisbahn bewegt und die Erde in seiner Bahnebene liegt.

9 d) Erläutern Sie den Einfluss von Dimidium auf die Bewegung des Sterns Helvetios und berechnen Sie dann die durch den Planeten verursachte maximal zu erwartende Abweichung Δv von der mittleren Radialgeschwindigkeit, mit der sich Helvetios auf die Sonne zu bewegt. Der Abstand r_H von Helvetios zum Schwerpunkt des Systems Dimidium-Helvetios lässt sich nach dem sog. Schwerpunktsatz aus der Gleichung $r_H \cdot (m_D + m_H) = r \cdot m_D$ berechnen.
Berechnen Sie ferner die prozentuale Verschiebung der Linien im Absorptionsspektrum von Helvetios aufgrund dieser Geschwindigkeitsabweichung Δv. [zur Kontrolle: $\Delta v = 57$ m/s]

4 e) Stellen Sie in einem Diagramm die wesentlichen Merkmale des zeitlichen Verlaufs der Radialgeschwindigkeit von Helvetios während eines Umlaufs von Dimidium dar.

7 f) Dimidium ist dem Stern immer mit der gleichen Seite zugewandt. Schätzen Sie die Oberflächentemperatur dieser Seite ab. Nehmen Sie dazu an, dass

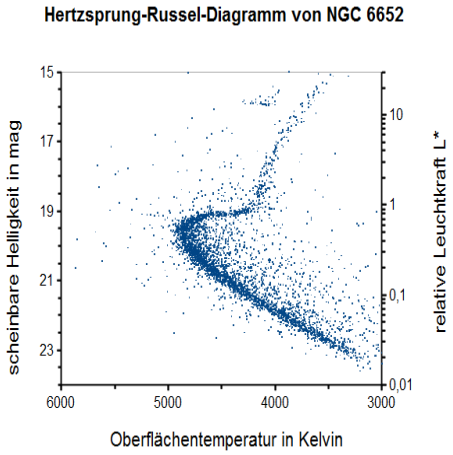
70 % der eingestrahlten Leistung von Dimidium reflektiert werden. Bei der Abschätzung soll der Wärmeaustausch zwischen bestrahlter und unbestrahlter Seite unberücksichtigt bleiben.

Als Gasplanet mit jupiterähnlicher Masse und hoher Oberflächentemperatur nennt man Dimidium „Heißer Jupiter“. Man nimmt an, dass er kurz nach seiner Entstehung Helvetios in großer Entfernung umlaufen hat und erst im Lauf der Zeit weiter nach innen gewandert ist.

4 g) Inelastische Zusammenstöße u. a. mit Kleinkörpern, die Dimidium auf seiner Bahn einholt, führen zu einer Abnahme des Bahnradius des Planeten. Erklären Sie diesen Sachverhalt.

2. Der Kugelsternhaufen NGC 6652

Im Sternbild Schütze befindet sich der von der Erde aus gesehen relativ kompakte Kugelsternhaufen NGC 6652. Nebenstehende Abbildung zeigt die Verteilung seiner Sterne im Hertzsprung-Russell-Diagramm. Für die Abschätzung der Verweildauer τ eines Sterns auf der Hauptreihe gilt $\tau \approx \frac{1}{\sqrt[3]{L^{*2}}} \cdot \tau_{\odot}$. Dabei ist L^* die relative Leuchtkraft des Sterns und $\tau_{\odot} = 7{,}0 \cdot 10^9$ a die Verweildauer der Sonne auf der Hauptreihe.

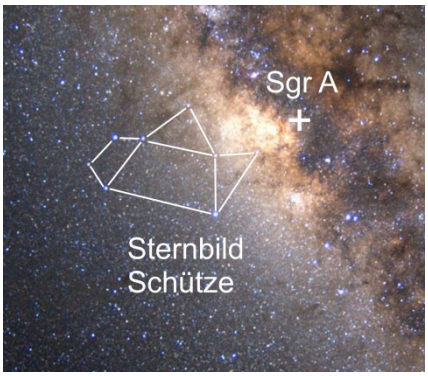


4 a) Leiten Sie diese Abschätzung her.

6 b) Überprüfen Sie mithilfe des abgebildeten Hertzsprung-Russell-Diagramms von NGC 6652, ob der Kugelsternhaufen älter oder jünger als die Sonne ist.

5 c) Beschreiben Sie die weitere Entwicklung eines Hauptreihensterns, der sich im Hertzsprung-Russell-Diagramm von NGC 6652 im Bereich des Knicks befindet.

5 d) Nebenstehende Abbildung zeigt einen Ausschnitt der Milchstraße mit dem Sternbild Schütze und ihrem Zentrum Sgr A. Zeichnen Sie eine schematische Seitenansicht der Milchstraße. Tragen Sie auch die ungefähre Lage des Kugelhaufens ein, der von der Sonne $37 \cdot 10^3$ Lichtjahre entfernt ist.



60

BE

Ph 12 – Astrophysik 2

1. Das Doppelsternsystem VV Cephei

VV Cephei im Sternbild Kepheus ist ein bedeckungsveränderlicher Doppelstern, der aus einem größeren Stern (VV Cephei A) und einem kleineren (VV Cephei B) besteht. Der Stern VV Cephei A hat die Spektralklasse M2, sein Spektrum das Maximum der Intensität bei einer Wellenlänge von 757,5 nm. Aufnahmen des Hipparcos-Satelliten ergeben für ihn eine Parallaxe von 0,0013″ und einen Winkeldurchmesser von 0,00638″.

4 a) Berechnen Sie aus den gegebenen Werten die Entfernung r_A und den Radius R_A von VV Cephei A.
[zur Kontrolle: $r_A = 7{,}7 \cdot 10^2$ pc, $R_A = 5{,}3 \cdot 10^2\ R_\odot$]

5 b) Bestimmen Sie die Oberflächentemperatur und die sich ergebende Leuchtkraft L_A von VV Cephei A. [zur Kontrolle: $L_A = 5{,}3 \cdot 10^4\ L_\odot$]

6 c) Berechnen Sie die absolute und die scheinbare Helligkeit von VV Cephei A. Geben Sie eine mögliche Ursache für den Unterschied zur gemessenen scheinbaren Helligkeit von 5,15 an. [zur Kontrolle: $M_A = -7{,}0$]

Die Komponente VV Cephei B des Doppelsterns VV Cephei ist ein Hauptreihenstern mit der Leuchtkraft $L_B = 1{,}0 \cdot 10^5\ L_\odot$, einem Radius von 20 Sonnenradien und der 19-fachen Sonnenmasse.

3 d) Bekanntlich gilt die Masse-Leuchtkraft-Beziehung $L^* = \left(m^*\right)^3$ nur näherungsweise. Bestimmen Sie für VV Cephei B den Wert des Exponenten α in der verallgemeinerten Gleichung $L^* = \left(m^*\right)^\alpha$.

4 e) Die beiden Komponenten leuchten in unterschiedlichen Farbtönen. Ordnen Sie den beiden Komponenten Farbtöne zu und begründen Sie Ihre Zuordnung.

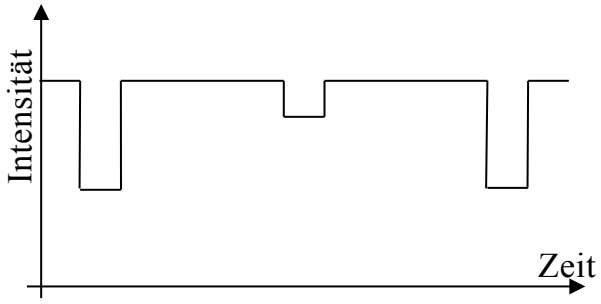
6 f) Zeichnen Sie ein Hertzsprung-Russell-Diagramm und kennzeichnen Sie darin die Lage der drei wichtigsten Sterntypen sowie die Lage der Sonne. Tragen Sie in das Diagramm auch die Positionen der Komponenten von VV Cephei ein.

Die beiden Komponenten umkreisen sich mit einem mittleren Abstand von 24,8 AE. Die Umlaufzeit beträgt 20 Jahre.

4 g) Bestimmen Sie die Masse von VV Cephei A. [zur Kontrolle: $m_A = 19\ m_\odot$]

5 h) Die beiden Sterne des Systems VV Cephei haben nahezu gleiche Massen, aber unterschiedliche Entwicklungsstadien. Erläutern Sie, wie sich ein solches Doppelsternsystem entwickeln konnte.

6 i) Die Abbildung zeigt schematisiert die Lichtkurve des Systems VV Cephei. Die niedrigste Intensität ergibt sich, wenn die Komponente B von A verdeckt wird. Begründen Sie dies unter der Annahme, dass Bahn- und Beobachtungsebene übereinstimmen. Berechnen Sie dazu das Verhältnis der Querschnittsflächen der beiden Sterne.



4 j) Zu VV Cephei A findet sich auf www.gutefrage.net eine am 20.02.2016 gestellte Frage nach der Fallbeschleunigung an der Sternoberfläche. Die Antwort enthält folgenden Zusatz: „… Geh[s]t man von weniger Masse bzw. geringerem Radius aus, so würde natürlich auch die Schwerebeschleunigung sinken …“
Nehmen Sie zu dieser Aussage Stellung.

2. Juno bei Jupiter

Seit Juli 2016 umkreist der Satellit Juno – in der römischen Mythologie die Gattin Jupiters – den Jupiter in 53,4 Tagen, wobei die größte Annäherung an die Oberfläche des Jupiters $4{,}1 \cdot 10^3$ km beträgt.

4 a) Leiten Sie aus einem Kraftansatz den folgenden Zusammenhang für den Radius r einer Kreisbahn mit der Umlaufzeit T um einen Zentralkörper der Masse m her:

$$r = \sqrt[3]{\frac{GT^2m}{4\pi^2}}$$

Dieser Zusammenhang gilt auch für Ellipsenbahnen, wenn der Radius durch die große Halbachse der Ellipse ersetzt wird.

4 b) Berechnen Sie den größten Abstand Junos von Jupiter in diesem Orbit.

5 c) In einem Referat wird der Umlauf des Mondes um die Erde als Modell für den Umlauf von Juno um Jupiter präsentiert. Diskutieren Sie die Eignung dieses Modells.

60