

# Abiturprüfung 2014

## PHYSIK

**Arbeitszeit: 180 Minuten**

Der Fachausschuss wählt

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

**oder**

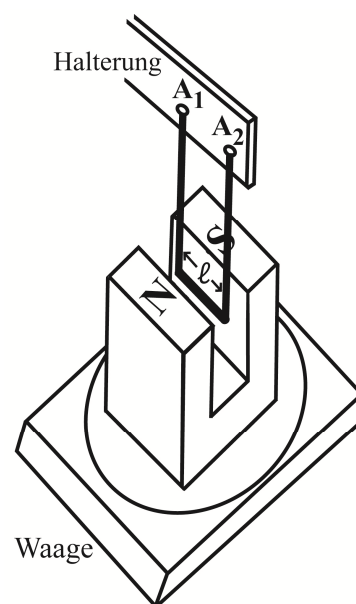
**eine** Aufgabe aus der Aufgabengruppe Ph 11  
und **eine** aus der Aufgabengruppe Ph 12-Astrophysik

zur Bearbeitung aus.

## Ph 11 – 1

### 1. Bestimmung der magnetischen Flussdichte

Ein Hufeisenmagnet liegt auf einer Digitalwaage. Ein Drahtbügel der Breite  $\ell$ , der an einer Halterung fest montiert ist, wird senkrecht von den Feldlinien des homogenen Magnetfelds durchsetzt und von einem Gleichstrom der Stärke  $I$  durchflossen. Die Stromrichtung wird stets so gewählt, dass der Drahtbügel eine magnetische Kraft  $F_{\text{mag}}$  nach oben erfährt.



- Geben Sie die erforderliche Polarität der Gleichspannung an den Anschlüssen  $A_1$  und  $A_2$  an und begründen Sie Ihre Antwort kurz.
- Erklären Sie, weshalb sich die Anzeige der Digitalwaage um einen Wert  $\Delta m$  erhöht, sobald auf den Drahtbügel die Kraft  $F_{\text{mag}}$  wirkt. Geben Sie an, wie die Kraft  $F_{\text{mag}}$  aus dem Messwert  $\Delta m$  berechnet wird.

Zunächst wird ein Drahtbügel der Breite  $\ell = 5,0 \text{ cm}$  verwendet und die Kraft  $F_{\text{mag}}$  für vier unterschiedliche Stromstärken  $I$  bestimmt.

- Erstellen Sie mithilfe nebenstehender Tabelle das  $I - F_{\text{mag}}$  - Diagramm und interpretieren Sie dieses kurz.

Nr.	$I$ in A	$F_{\text{mag}}$ in mN
1	1,0	11
2	2,0	18
3	3,0	27
4	4,0	40

- Berechnen Sie aus den Daten der Messung Nr. 1 einen vorläufigen Wert für die magnetische Flussdichte  $B$ . Bestimmen Sie danach unter Verwendung des Diagramms der Teilaufgabe 1c einen genaueren Wert für  $B$ .
- Die Messungen werden mit einem Drahtbügel der halben Breite wiederholt. Ergänzen Sie das Diagramm der Teilaufgabe 1c um die zu erwartende Messkurve und begründen Sie deren Verlauf kurz.

### 2. Fadenstrahlrohr und Bestimmung der Elektronenmasse

In einem Fadenstrahlrohr (kugelförmiger, gasgefüllter Glaskolben) werden Elektronen mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit zunächst in einem elektrischen Feld durch die Spannung  $U$  beschleunigt und anschließend durch ein homogenes Magnetfeld der Flussdichte  $B$  auf eine Kreisbahn mit Radius  $r$  gezwungen. Aufgrund der Gasfüllung ist die Kreisbahn der Elektronen als leuchtende Spur gut sichtbar. Durch Messung der Größen  $U$ ,  $B$  und  $r$  kann die Elektronenmasse  $m_e$  experimentell bestimmt werden. Die Elementarladung  $e$  wird im Weiteren als bekannt vorausgesetzt.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

4

- a) Erklären Sie ausgehend von der jeweils wirkenden Kraft, warum der Betrag der Elektronengeschwindigkeit im elektrischen Feld des Fadenstrahlrohrs zunimmt und im magnetischen Feld konstant bleibt.

7

- b) Leiten Sie den Zusammenhang  $m_e = \frac{eB^2 r^2}{2U}$  her, der sich bei nichtrelativistischer Betrachtung ergibt.

Folgende Werte werden im Rahmen eines Schulversuchs gemessen:

$U = 0,25 \text{ kV}$ ;  $B = 1,0 \text{ mT}$ ;  $r = 5,5 \text{ cm}$ .

4

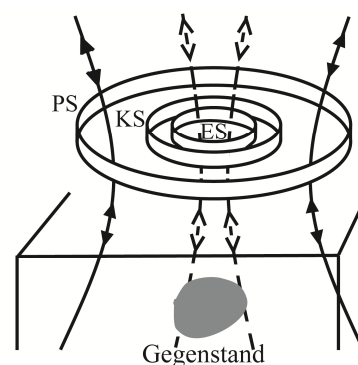
- c) Zeigen Sie mithilfe des Zusammenhangs von Teilaufgabe 2b, dass der aus diesen Daten berechnete Wert für die Elektronenmasse  $m_e$  um mehr als 5 % von dem in der Formelsammlung angegebenen Wert abweicht.

7

- d) Ein Schüler behauptet, dass die Abweichung vom Literaturwert deshalb so hoch ausfällt, weil relativistische Effekte unberücksichtigt geblieben sind. Widerlegen Sie diese Behauptung und geben Sie anschließend eine Begründung für die Abweichung an.

### 3. Metalldetektor

Die nebenstehende Abbildung zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Metalldetektors aus drei zylinderförmigen Spulen: Von der Primärspule PS geht ein magnetisches Wechselfeld (durchgezogene Feldlinien) aus, das den im Boden aufzuspürenden Gegenstand durchsetzt. Dadurch erzeugt



der Gegenstand ein sekundäres magnetisches Wechselfeld (gestrichelte Feldlinien), das mithilfe der Empfangsspule ES nachgewiesen wird. Die Kompensationsspule KS dient dazu, im Inneren der Empfangsspule das primäre Magnetfeld zu unterdrücken. Die notwendigen Stromversorgungen von Primär- und Kompensationsspule sind in der Abbildung nicht dargestellt.

3

- a) Vergleichen Sie die Stromrichtung in der Kompensationsspule mit der Stromrichtung in der Primärspule und begründen Sie Ihre Aussage kurz.

6

- b) Betrachtet werden zwei Gegenstände, von denen der eine elektrisch schlecht leitend und ferromagnetisch ist, der andere elektrisch gut leitend und nicht-ferromagnetisch. Vergleichen Sie die Wirkung des primären Magnetfelds auf diese beiden Gegenstände.

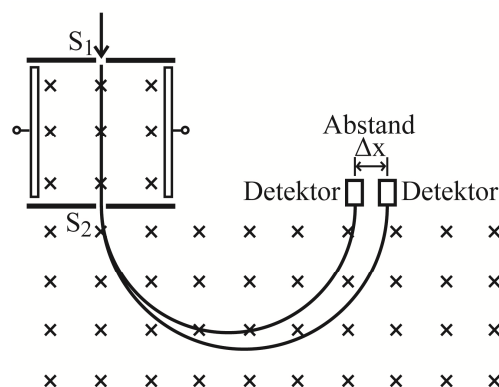
7

- c) Berechnen Sie den Scheitelwert  $U_0$  der Spannung, die in der Empfangsspule mit Windungszahl 10 und Querschnittsfläche  $30 \text{ cm}^2$  entsteht, wenn für die magnetische Flussdichte des sekundären Magnetfelds in ihrem Inneren gilt:  $B(t) = B_0 \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$  mit Scheitelwert  $B_0 = 0,50 \text{ mT}$  und Frequenz  $f = 20 \text{ kHz}$ .

## Ph 11 – 2

### 1. Massenspektrometer

Einfach positiv geladene Ionen verschiedener Masse und Geschwindigkeit treten im Vakuum durch die Schlitzblende  $S_1$  in ein Massenspektrometer ein. Die gesamte Anordnung wird von einem homogenen Magnetfeld der Flussdichte  $B = 0,15 \text{ T}$  durchsetzt. Im Bereich zwischen den Schlitzblenden  $S_1$  und  $S_2$  erzeugt ein Plattenkondensator zusätzlich ein elektrisches Feld der Feldstärke  $E$ , so dass nur Ionen mit einer einheitlichen Geschwindigkeit  $v_0$  die Schlitzblende  $S_2$  passieren.



a) Fertigen Sie eine Zeichnung des Raumbereichs zwischen  $S_1$  und  $S_2$  an, aus der die Polung der Kondensatorplatten sowie die Feldrichtungen hervorgehen. Zeigen Sie, dass folgender Zusammenhang gilt:  $v_0 = \frac{E}{B}$ .

b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit  $v_0$ , wenn am Plattenkondensator eine Spannung von  $750 \text{ V}$  anliegt und der Plattenabstand  $5,0 \text{ cm}$  beträgt.

Nach dem Passieren der Schlitzblende  $S_2$  bewegen sich die Ionen nur noch im homogenen Magnetfeld der Flussdichte  $B$ .

c) Zeigen Sie, dass für die Masse  $m$  eines Ions und den Durchmesser  $D$  der zugehörigen Flugbahn der Zusammenhang  $D = \frac{2mv_0}{eB}$  gilt.

Mit massenspektroskopischen Verfahren lassen sich in der Dopingprobe eines Sportlers synthetische Steroide von natürlichen unterscheiden. Entscheidende Bedeutung haben hierbei die Kohlenstoffisotope  $^{13}\text{C}$  und  $^{12}\text{C}$ . Nachdem die Dopingprobe für eine Untersuchung aufbereitet wurde, ist das Isotop  $^{12}\text{C}$  bzw.  $^{13}\text{C}$  in einem Kohlenstoffdioxid-Ion  $\text{CO}_2^+$  gebunden. Die Masse des Ions beträgt  $m_1 = 7,30 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  bzw.  $m_2 = 7,47 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ .

d) Nach dem Durchlaufen des Massenspektrometers werden diese Ionen in zwei Detektoren registriert (vgl. obige Abbildung). Zeigen Sie, dass der Abstand  $\Delta x$  der Eintrittsöffnungen der Detektoren  $1,4 \text{ cm}$  beträgt, wenn die Ionen die Geschwindigkeit  $v_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ m/s}$  besitzen.

e) Erläutern Sie, welchen Einfluss eine Verdopplung der magnetischen Flussdichte  $B$  im gesamten Massenspektrometer auf die Bewegung der Ionen hat, wenn die elektrische Feldstärke  $E$  gleich bleibt. Begründen Sie anschließend, weshalb die magnetische Flussdichte  $B$  weder zu groß noch zu klein gewählt werden darf.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

## 2. Der Zeitsignalsender DCF77

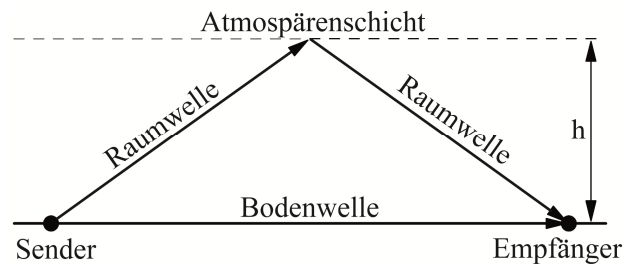
In der Nähe von Frankfurt strahlt der Langwellensender DCF77 mit der Frequenz  $f = 77,5 \text{ kHz}$  ein Zeitsignal für Funkuhren aus.

- 5 a) Zeigen Sie, dass die Wellenlänge  $\lambda = 3,87 \text{ km}$  beträgt und begründen Sie, dass für den Empfang des Signals durch Funkuhren eine Dipolantenne in der Grundschiwingung nicht geeignet ist.

In einer Funkuhr dient eine auf einem Ferritstab gewickelte zylinderförmige Spule zum Empfang des Signals. Die Spule besitzt  $N = 150$  Windungen, den Radius  $r = 5,8 \text{ mm}$  und die Länge  $\ell = 4,5 \text{ cm}$ . Gemeinsam mit einem Kondensator der Kapazität  $C = 3,3 \text{ nF}$  bildet sie einen auf die Sendefrequenz  $f$  abgestimmten Schwingkreis.

- 8 b) Berechnen Sie die Induktivität  $L_0 = \mu_0 \cdot \frac{\pi r^2 \cdot N^2}{\ell}$  der Spule ohne Ferritstab sowie die Induktivität  $L$ , die der Schwingkreis benötigt, um auf die Frequenz  $f$  abgestimmt zu sein. Bestimmen Sie mithilfe des Zusammenhangs  $L = \mu_r L_0$  die sogenannte Permeabilitätszahl  $\mu_r$  des Ferritstabs.

Bei einem Empfänger, der  $819 \text{ km}$  vom Sender entfernt ist, trifft das Signal auf zwei Wegen mit näherungsweise gleicher Intensität ein: Die Bodenwelle breitet sich parallel zur Erdoberfläche aus, die zunächst vereinfachend als ebene



Fläche angenommen wird. Die Raumwelle wird in der Höhe  $h = 80,0 \text{ km}$  an einer Atmosphärenschiicht in Richtung des Empfängers reflektiert.

- 8 c) Bestätigen Sie rechnerisch, dass die Raumwelle einen  $15,5 \text{ km}$  längeren Weg zum Empfänger zurücklegt als die Bodenwelle. Begründen Sie im Anschluss, dass man bei ausschließlicher Berücksichtigung dieser Wegdifferenz ein Interferenzmaximum beim Empfänger vermuten müsste.
- 3 d) Tatsächlich findet beim Empfänger eine Auslöschung des Signals statt, da die Reflexion der Raumwelle an der Atmosphärenschiicht einen sogenannten Phasensprung der Welle bewirkt, der den Gangunterschied von Boden- und Raumwelle um den Bruchteil  $z$  mit  $0 < z \leq 1$  einer Wellenlänge vergrößert. Geben Sie  $z$  an und begründen Sie Ihre Antwort.
- 5 e) Beim Empfang des Zeitsignals in größeren Entfernungen vom Sender DCF77 ist die Erdkrümmung zu berücksichtigen. Veranschaulichen Sie in einer Zeichnung, dass die Raumwelle bei einmaliger Reflexion an einer Atmosphärenschiicht eine begrenzte Reichweite hat.

## Ph 12 – 1

Atomare Masseneinheit:  $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

### 1. Radioaktives Cäsium in Wildschweinfleisch

In bestimmten Gebieten Deutschlands, in denen sich 1986 nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl radioaktives  $^{137}\text{Cs}$  abgelagerte, können Wildschweine wegen ihrer Nahrungsaufnahme nach wie vor eine erhöhte Strahlenbelastung aufweisen.  $^{137}\text{Cs}$  zerfällt mit einer Halbwertszeit von 30,2 Jahren in den Grundzustand des stabilen Tochterkerns  $^{137}\text{Ba}$ . Hierbei wandelt sich  $^{137}\text{Cs}$  unter Aussendung von  $\beta^-$ -Strahlung in der Regel zunächst in einen angeregten Zwischenzustand des Tochterkerns um, der anschließend unter Emission von  $\gamma$ -Strahlung in seinen Grundzustand übergeht.

Gegebene Atommassen:  $m(^{137}\text{Cs}) = 136,907090 \text{ u}$ ;  $m(^{137}\text{Ba}) = 136,905827 \text{ u}$

- 6 a) Geben Sie die beiden Zerfallsgleichungen an und berechnen Sie die insgesamt frei werdende Energie  $Q$ . [zur Kontrolle:  $Q = 1,18 \text{ MeV}$ ]

Der menschliche Körper lagert das über den Verzehr von radioaktiv belastetem Wildschweinfleisch aufgenommene  $^{137}\text{Cs}$  zunächst ein.

- 4 b) Erläutern Sie, weshalb bei einem  $^{137}\text{Cs}$ -Zerfall im menschlichen Körper nicht die gesamte Energie  $Q$  im Inneren des Körpers absorbiert wird.

Die biologische Halbwertszeit – die Zeit, die der Körper braucht, um die Hälfte des aufgenommenen  $^{137}\text{Cs}$  wieder auszuscheiden – beträgt 110 Tage.

- 5 c) Erklären Sie unter Bezugnahme auf die Halbwertszeit des Zerfalls und die biologische Halbwertszeit, dass die Aktivität von aufgenommenem  $^{137}\text{Cs}$  im menschlichen Körper im Laufe eines Jahres deutlich abnimmt.

Für den Verkauf von Wildschweinfleisch ist ein Grenzwert von 600 Bq pro Kilogramm vorgegeben, der nicht überschritten werden darf.

- 8 d) Berechnen Sie die Äquivalentdosis  $H$ , die eine Person der Masse 75 kg in einem Jahr aufnimmt, wenn sie einmalig 250 g Wildschweinfleisch verzehrt, das mit dem Grenzwert belastet ist. Gehen Sie hierbei davon aus, dass im menschlichen Körper die Hälfte der Energie  $Q$  pro  $^{137}\text{Cs}$ -Zerfall absorbiert wird und die mittlere Aktivität von  $^{137}\text{Cs}$  über einen Zeitraum von einem Jahr 40 % der Anfangsaktivität beträgt.

[zur Kontrolle:  $H = 2,4 \text{ }\mu\text{Sv}$ ]

- 7 e) Nach einer Meldung des Bundesamtes für Strahlenschutz wurden bei Stichproben im Jahr 2012 vereinzelt Werte bis zu 9,8 kBq pro Kilogramm Wildschweinfleisch gemessen. Beurteilen Sie die Strahlenbelastung durch den Verzehr von unkontrolliertem Wildschweinfleisch unter Berücksichtigung dieser Meldung, des Ergebnisses der Teilaufgabe 1d und der mittleren Strahlenbelastung in Deutschland von 4,0 mSv pro Jahr.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

## 2. Altersbestimmung mit der Uran-Blei-Methode

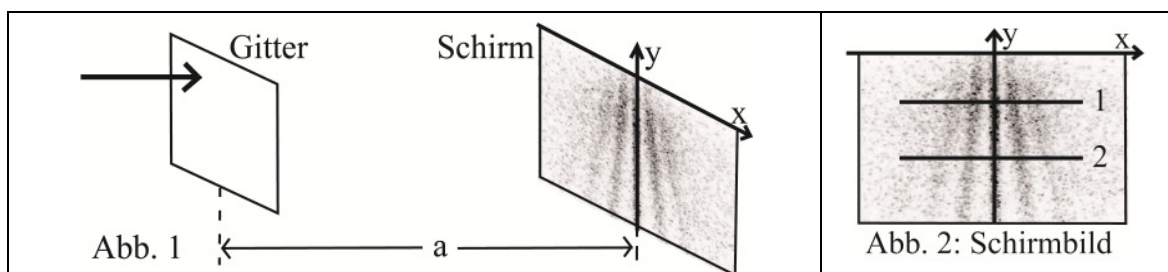
Das Uranisotop  $^{238}\text{U}$  zerfällt über mehrere Zwischenprodukte in das stabile Bleiisotop  $^{206}\text{Pb}$ . Die Zerfallsreihe kann in guter Näherung als direkter Zerfall von  $^{238}\text{U}$  in  $^{206}\text{Pb}$  mit der Halbwertszeit  $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$  a beschrieben werden. Betrachtet wird eine Gesteinsprobe, die zum Zeitpunkt  $t = 0$  kein Blei, aber die Anzahl  $N_{\text{U}}(0)$  von  $^{238}\text{U}$ -Atomen einschloss. Heute beinhaltet sie die Anzahl  $N_{\text{U}}(t)$  an  $^{238}\text{U}$ -Atomen und die Anzahl  $N_{\text{Pb}}(t)$  an  $^{206}\text{Pb}$ -Atomen. Verwenden Sie für Atommassen die Näherungsformel  $m(^A\text{X}) = A \cdot u$ .

- a) Die Untersuchung der Gesteinsprobe ergibt die Massen  $m_{\text{U}} = 1,23 \mu\text{g}$  und  $m_{\text{Pb}} = 0,50 \mu\text{g}$ . Berechnen Sie die Anzahl  $N_{\text{U}}(0)$  und das Alter des Gesteins unter der Annahme, dass es nach seiner Bildung nicht mehr mit der Umwelt wechselwirkte. [zur Kontrolle:  $N_{\text{U}}(0) = 4,6 \cdot 10^{15}$ ]
- b) Tatsächlich hat die Gesteinsprobe durch geologische Prozesse einen Teil ihres Bleigehalts verloren. Begründen Sie, ob das in Teilaufgabe 2a berechnete Alter geringer oder höher als das tatsächliche Alter ist.

## 3. Interferenzexperiment mit schweren Molekülen (Universität Wien, 2012)

Farbstoffmoleküle der Masse  $1298 \text{ u}$  bewegen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf ein Gitter mit der Gitterkonstanten  $b = 100 \text{ nm}$  zu. Das Interferenzbild entsteht hinter dem Gitter auf einem Schirm, der sich parallel zur Gitterebene im Abstand  $a = 564 \text{ mm}$  befindet (vgl. Abb. 1). Im Weiteren bezeichnet  $\lambda$  die De-Broglie-Wellenlänge eines Moleküls und  $\Delta x$  den zugehörigen Abstand eines Maximums 1. Ordnung vom Maximum 0. Ordnung.

- a) Leiten Sie unter Verwendung der Kleinwinkelnäherung  $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha)$  die Beziehung  $\lambda = \frac{b \Delta x}{a}$  her. Berechnen Sie nichtrelativistisch für den Abstand  $\Delta x = 11,0 \mu\text{m}$  die zugehörige Molekülgeschwindigkeit  $v$ .



- b) Die Moleküle bewegen sich unmittelbar vor dem Gitter auf den Ursprung eines  $x$ - $y$ -Koordinatensystems zu, das auf dem Schirm festgelegt ist (vgl. Abb. 1). Die Geschwindigkeiten der Moleküle sind so gering, dass der Einfluss der Schwerkraft in negativer  $y$ -Richtung zu berücksichtigen ist. Begründen Sie, dass die Auftreffpunkte auf den Linien 1 und 2 (vgl. Abb. 2) zu Molekülen mit unterschiedlichen Anfangsgeschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$  gehören. Erklären Sie damit die Nichtparallelität der beiden Interferenzstreifen, die zu den Maxima 1. Ordnung gehören.



## Ph 12 – 2

Atomare Masseneinheit:  $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

### 1. Radon und das Zerfallsprodukt Polonium

Überall in der Raumluft findet sich ein Gemisch aus radioaktivem Radon und seinen Zerfallsprodukten. Das Radonisotop  $^{222}\text{Rn}$  gehört zur natürlichen Uran-Radium-Reihe und entsteht aus  $^{238}\text{U}$ .

- 4 a) Weisen Sie durch geeignete Rechnungen nach, dass sich  $^{238}\text{U}$  nach vier  $\alpha$ - und zwei  $\beta^-$ -Zerfällen in  $^{222}\text{Rn}$  umgewandelt hat.

$^{222}\text{Rn}$  zerfällt durch  $\alpha$ -Zerfall mit einer Halbwertszeit von 3,8 d in  $^{218}\text{Po}$ . Der Tochterkern liegt nach dem  $\alpha$ -Zerfall im Grundzustand vor.

Gegebene Atommassen:  $m_{\text{A}}(^4\text{He}) = 4,002603 \text{ u}$ ;  $m_{\text{A}}(^{222}\text{Rn}) = 222,017578 \text{ u}$ ;  $m_{\text{A}}(^{218}\text{Po}) = 218,008973 \text{ u}$

- 4 b) Berechnen Sie die bei diesem Zerfall frei werdende Energie  $Q$ .  
[zur Kontrolle:  $Q = 5,59 \text{ MeV}$ ]

Die kinetische Energie des  $\alpha$ -Teilchens beim  $^{222}\text{Rn}$ -Zerfall beträgt 5,49 MeV.

- 8 c) Emittiert ein ruhender  $^{222}\text{Rn}$ -Kern ein  $\alpha$ -Teilchen, so bewirkt dies einen Rückstoß des entstandenen  $^{218}\text{Po}$ -Kerns. Berechnen Sie die Geschwindigkeit  $v_{\alpha}$  des  $\alpha$ -Teilchens sowie die Geschwindigkeit  $v_{\text{Po}}$  des Po-Kerns und bestätigen Sie mithilfe der beiden Geschwindigkeitswerte den Impulserhaltungssatz. Verwenden Sie vereinfachend die oben angegebenen Atommassen. [zur Kontrolle:  $v_{\alpha} = 1,63 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ ;  $v_{\text{Po}} = 2,99 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ ]

In einem geschlossenen leeren Kellerraum wird über einen längeren Zeitraum eine mittlere  $^{222}\text{Rn}$ -Aktivität von 358 Bq pro Kubikmeter Raumluft festgestellt. Der Kellerraum ist 4,0 m lang, 3,0 m breit und 2,5 m hoch.

- 6 d) Berechnen Sie die Anzahl der  $^{222}\text{Rn}$ -Atome, die in einem Kubikmeter des Kellerraums vorhanden sind, und vergleichen Sie diese mit der Anzahl von  $3 \cdot 10^{25}$  Luftteilchen pro Kubikmeter.
- 5 e) Das  $^{222}\text{Rn}$ -Gas dringt fortwährend durch die Wände und durch den Boden in den Keller ein, so dass die Strahlenbelastung im Raum nicht zurückgeht. Nehmen Sie vereinfachend an, dass die Aktivität konstant 358 Bq pro Kubikmeter Raumluft beträgt und im Laufe eines Tages keine Raumluft aus dem Keller entweicht. Berechnen Sie, wie viel Gramm  $^{222}\text{Rn}$  pro Tag in den Kellerraum einströmen.

Eine Person im Kellerraum atmet mit der Raumluft das Edelgas  $^{222}\text{Rn}$  ein; dieses wird fast vollständig wieder ausgeatmet. Das Zerfallsprodukt Polonium ist dagegen ein Metall.  $^{218}\text{Po}$ -Atome lagern sich an Staubteilchen der Luft an und werden ebenso eingeatmet.  $^{218}\text{Po}$  zerfällt mit einer Halbwertszeit von 3,1 min unter Emission eines  $\alpha$ -Teilchens der kinetischen Energie 6,0 MeV.

(Fortsetzung nächste Seite)



BE

4

- f) Begründen Sie jeweils kurz:
- Trotz der wesentlich kürzeren Halbwertszeit ist die Aktivität von  $^{218}\text{Po}$  in der Raumluft nicht größer als die von  $^{222}\text{Rn}$ .
  - Von eingeatmetem  $^{218}\text{Po}$  geht eine höhere Strahlenbelastung aus als von eingeatmetem  $^{222}\text{Rn}$ .

4

- g)  $\alpha$ -Strahlung besitzt eine hohe biologische Wirksamkeit. Ein  $\alpha$ -Teilchen des  $^{218}\text{Po}$ -Zerfalls gibt beim Durchqueren des menschlichen Gewebes auf einer Strecke der Länge 2,0 nm im Mittel die Energie 350 eV ab. Berechnen Sie die Reichweite des  $\alpha$ -Teilchens und vergleichen Sie diese mit dem Durchmesser einer Zelle von rund 20  $\mu\text{m}$ .

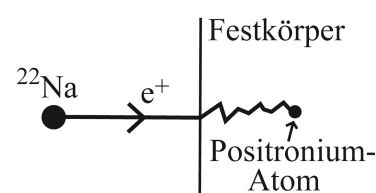
## 2. Positronium-Atom

Das Anti-Teilchen  $e^+$  zum Elektron heißt Positron. Als Positronen-Quelle für Experimente wird häufig der  $\beta^+$ -Strahler  $^{22}\text{Na}$  verwendet.

6

- a) Geben Sie die zugehörige Zerfallsgleichung an und erläutern Sie allgemein für den  $\beta^+$ -Zerfall die Vorgänge im Atomkern anhand einer schematischen Darstellung einer Potentialtopfbesetzung des Kerns.

Positronen der  $^{22}\text{Na}$ -Quelle dringen in einen Festkörper ein und werden dort rasch abgebremst. Trifft ein langsames Positron auf ein Elektron des Festkörpers, so kann es passieren, dass beide Teilchen sich aufgrund ihrer ungleichnamigen Ladungen



kurzzeitig aneinander binden und ein sogenanntes Positronium-Atom bilden. Im Vergleich zum Wasserstoffatom ist hier das Proton durch das Positron ersetzt.

7

- b) In einem klassischen Modell des Positronium-Atoms besitzen Elektron und Positron einen festen Abstand. Berechnen Sie diesen bei einer potentiellen Energie von  $-13,6 \text{ eV}$  und begründen Sie, warum ein fester Abstand nicht mit einem quantenphysikalischen Atommodell vereinbar ist.

8

- c) Ein Positronium-Atom hat die Energieniveaus  $E_n = -\frac{6,8 \text{ eV}}{n^2}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ). Stellen Sie in einem Energieniveauschema die ersten vier Niveaus dar und überprüfen Sie, ob es innerhalb dieses Schemas einen Übergang gibt, bei dem Licht im sichtbaren Bereich emittiert wird.

4

- d) Ein Positronium-Atom besitzt eine sehr kurze Lebensdauer. Von den nachfolgenden vier Zerfallsgleichungen beschreibt nur eine den Zerfall eines ruhenden Positronium-Atoms. Identifizieren Sie diese, indem Sie drei Zerfallsgleichungen argumentativ ausschließen.

i)  $e^+ + e^- \rightarrow 2n$

ii)  $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$

iii)  $e^+ + e^- \rightarrow 2\mu^-$

iv)  $e^+ + e^- \rightarrow \gamma$

BE

## Ph 12 – Astrophysik 1

Längenangaben	Daten zur Sonne
1 pc = 3,26 Lj = $3,09 \cdot 10^{16}$ m	$M_{\odot} = 4,83$ $m_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30}$ kg
1 AE = $1,496 \cdot 10^{11}$ m	$L_{\odot} = 3,85 \cdot 10^{26}$ W $T_{\odot} = 5,8 \cdot 10^3$ K
	$R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8$ m

### 1. Regulus A - ein Stern im Löwen

Der Löwe, in dem sich die Sonne Anfang September befindet, gehört zu den markantesten Sternbildern am Firmament. Sein hellster Stern ist der Stern Regulus A. Er befindet sich in einer Entfernung von 24,2 pc, hat eine Oberflächentemperatur von  $13 \cdot 10^3$  K und eine Leuchtkraft von  $138 L_{\odot}$ .

a) Erläutern Sie, zu Beginn welchen Monats Regulus A in unseren Breiten die ganze Nacht über beobachtbar ist.

Aufgrund der Nähe von Regulus A zur Ekliptik wird der Stern vergleichsweise häufig von anderen Himmelskörpern bedeckt. Am 20. März 2014 zog der Asteroid Erigone vor Regulus A vorbei. Dies konnte unter anderem von New York aus beobachtet werden. Der Asteroid hat einen Radius von 36 km und besaß am 20. März eine Entfernung von 1,2 AE zur Erde.

b) Bestimmen Sie den Radius R von Regulus A in Vielfachen des Sonnenradius. [zur Kontrolle:  $R = 2,3 R_{\odot}$ ]

c) Entscheiden Sie anhand einer Rechnung, ob Erigone Regulus A am Sternenhimmel von New York vollständig bedecken konnte.

Eine genaue Analyse des Spektrums von Regulus A führt zur Einordnung des Sterns in die Spektralklasse B7.

d) Erklären Sie allgemein das Zustandekommen von Absorptionslinien in einem Sternenspektrum und beschreiben Sie kurz, wie aufgrund dieser Linien ein Stern einer Spektralklasse zugeordnet werden kann.

e) Begründen Sie, dass Regulus A ein Hauptreihenstern ist.

f) Beurteilen Sie, zu welchem Endstadium sich Regulus A voraussichtlich entwickeln wird, und beschreiben Sie kurz seine Entwicklung dorthin.

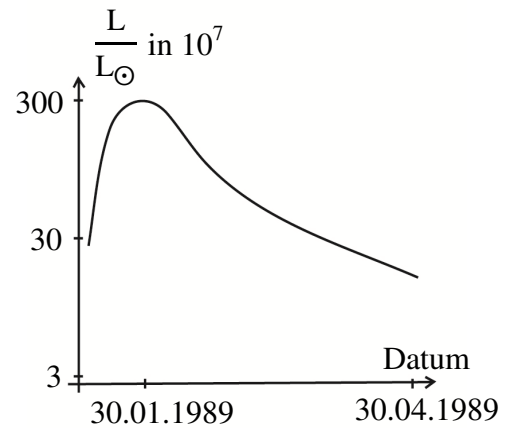
### 2. Entfernungsbestimmung von M66 - eine Galaxie im Löwen

Im Sternbild Löwe befindet sich auch die Galaxie M 66. In ihr wurde im Jahr 1989 eine Supernova mit der maximalen scheinbaren Helligkeit  $m = 11$  entdeckt. Von Bedeutung für die Entfernungsbestimmung einer Galaxie ist eine beobachtete Supernova vom Typ Ia, da solche Supernovae annähernd die gleiche maximale absolute Helligkeit von  $-19$  besitzen.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 6 a) Vergleichen Sie eine Supernova vom Typ Ia mit einer Supernova, die am Ende der Entwicklung eines Sternes auftreten kann.
- 6 b) Nebenstehend ist eine Lichtkurve der in M66 beobachteten Supernova abgebildet. Finden Sie anhand des Diagramms ein Argument dafür, dass es sich bei dieser Supernova um den Typ Ia gehandelt hat. Schätzen Sie anschließend die Entfernung von M66 ab.
- 4 c) Nennen Sie zwei Methoden zur Entfernungsbestimmung von Galaxien, in denen bislang keine Supernova vom Typ Ia beobachtet wurde. Geben Sie jeweils an, welche Größen dazu gemessen werden müssen.

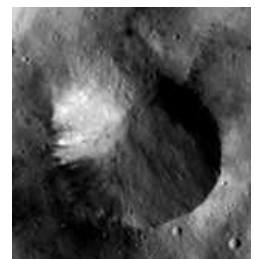


### 3. Die NASA-Mission Dawn zu Vesta und Ceres

Die im Jahr 2007 gestartete Raumsonde Dawn erreichte im Jahr 2011 den Asteroiden Vesta. Der Abstand von Vesta zur Sonne variiert zwischen 2,15 AE und 2,57 AE.

- 4 a) Berechnen Sie die Umlaufzeit von Vesta.
- Man geht davon aus, dass Vesta an einer größeren Kollision beteiligt war. Trümmer dieser Kollision bewegen sich durch das Sonnensystem; einige davon haben die Erde als Meteoriten erreicht.
- 4 b) Beschreiben Sie zwei Phänomene, die im Zusammenhang mit Meteoriten auftreten können.

Eine Aufnahme der Sonde Dawn zeigt den Krater Occia auf Vesta zu einem Zeitpunkt, als Vesta 2,3 AE von der Sonne entfernt war. Die auffällig hellen Bereiche reflektieren 80 % der einfallenden Strahlung, die sehr dunklen nur 10 %.



- 6 c) Schätzen Sie den maximalen Temperaturunterschied zwischen diesen beiden Bereichen an der Vestaoberfläche ab. Nehmen Sie hierzu vereinfachend an, dass jeder Bereich eben ist, sich im Strahlungsgleichgewicht befindet und dass das Sonnenlicht senkrecht auftrifft.

Im Jahr 2015 wird die Sonde Dawn den Zwergplaneten Ceres erreichen, der wie Vesta zum Asteroidengürtel gehört.

- 4 d) Mitte April 2014 standen Ceres und Vesta in Opposition zur Sonne. Führen Sie zwei mögliche Gründe an, weshalb uns Vesta hierbei heller erschien, obwohl Ceres größer ist.

## Ph 12 – Astrophysik 2

Längenangaben	Daten zur Sonne
1 pc = 3,26 Lj = $3,09 \cdot 10^{16}$ m	$M_{\odot} = 4,83$ $m_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30}$ kg
1 AE = $1,496 \cdot 10^{11}$ m	$L_{\odot} = 3,85 \cdot 10^{26}$ W $T_{\odot} = 5,8 \cdot 10^3$ K
	$R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8$ m

### 1. Der Asteroid Apophis

Im Jahr 2004 wurde der Asteroid Apophis entdeckt, der nach dem altägyptischen Gott des Chaos und der Auflösung benannt ist. Sein mittlerer Durchmesser beträgt 350 m, seine Masse  $5 \cdot 10^{10}$  kg. Die große Halbachse seiner Bahn, die etwa in der Ekliptikebene liegt, hat eine Länge von 0,92 AE. Die numerische Exzentrizität der Bahn ist 0,191.

- Berechnen Sie die Umlaufdauer  $T$  des Asteroiden um die Sonne.  
[zur Kontrolle:  $T = 0,88$  a]
- Zeigen Sie rechnerisch, dass Apophis die Erdbahn kreuzt und so möglicherweise die Erde treffen könnte.
- Berechnen Sie die Energie, die umgewandelt würde, falls Apophis auf der Erdoberfläche mit einer Geschwindigkeit von 12 km/s einschlagen würde, und vergleichen Sie den Wert mit der Energie  $3 \cdot 10^{18}$  J, die bei dem Seebeben 2004 im Indischen Ozean freigesetzt wurde.
- Ein Einschlag von Apophis auf der Erde wird derzeit ausgeschlossen. Um eine solche Vorhersage treffen zu können, müssen ausreichend Bahndaten gesammelt werden. Erläutern Sie, warum dies für Apophis immer wieder über einen längeren Zeitraum nicht möglich ist.

### 2. Die Hyaden und der Stern $\kappa_1$ Tauri

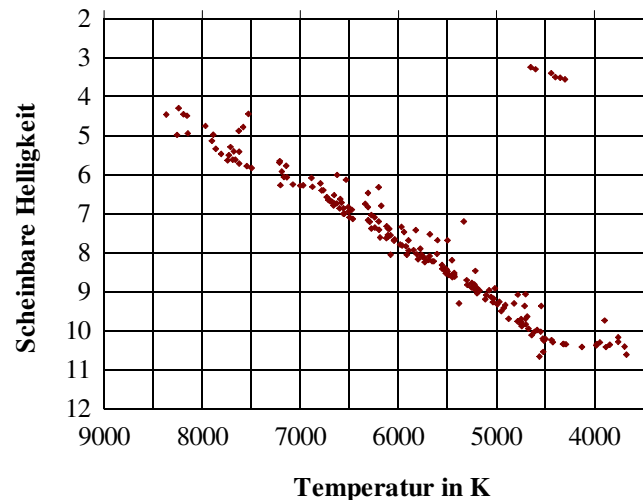
Der Hauptreihenstern  $\kappa_1$  Tauri gehört zu den Hyaden, einem offenen Sternhaufen im Sternbild Stier. Die trigonometrische Parallaxe von  $\kappa_1$  Tauri beträgt 0,0212", seine scheinbare Helligkeit 4,21.

- Bestimmen Sie die Entfernung und die absolute Helligkeit  $M$  von  $\kappa_1$  Tauri.  
[zur Kontrolle:  $M = 0,842$ ]
- Berechnen Sie seine relative Leuchtkraft  $L^* = \frac{L}{L_{\odot}}$  und einen Näherungswert für seine relative Masse  $m^* = \frac{m}{m_{\odot}}$ .  
[zur Kontrolle:  $L^* = 39,4$ ;  $m^* \approx 3,4$ ]

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Nachfolgend ist ein Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) der Hyaden abgebildet.



- 6 c) Ermitteln Sie den Radius von  $\kappa_1$  Tauri in Vielfachen des Sonnenradius. Entnehmen Sie hierfür benötigte Angaben näherungsweise dem HRD.
- 7 d) Von der Sonne ist bekannt, dass ihr Hauptreihenstadium  $7 \cdot 10^9$  Jahre andauert. Zwischen der Masse  $m$  eines Sterns und seiner Verweildauer  $t$  auf der Hauptreihe gilt annähernd die Proportionalität  $t \sim m^{-2}$ . Erläutern Sie, dass mithilfe von  $\kappa_1$  Tauri das Alter der Hyaden bestimmt werden kann und berechnen Sie dieses.

### 3. Der Exoplanet HD 40307g

Im Jahr 2012 wurde der Planet HD 40307g des Sterns HD 40307 entdeckt, auf dem erdähnliche Bedingungen herrschen könnten. Nehmen Sie vereinfachend an, dass sich der Stern und sein Planet auf Kreisbahnen um ihren bezüglich der Erde ruhenden Schwerpunkt bewegen und die Bahnebenen von Exoplanet und Erde übereinstimmen. Die Umlaufdauer des Planeten beträgt  $T_P = 198$  d, die Masse des Sterns  $m_S = 0,78 m_\odot$ .

- 8 a) Die  $H_\alpha$ -Linie besitzt im Labor die Wellenlänge 656,3 nm. Im Spektrum des Sterns variiert die Wellenlänge dagegen periodisch zwischen zwei Werten, deren Differenz  $3,8 \cdot 10^{-15}$  m beträgt. Erklären Sie dies und berechnen Sie die Bahngeschwindigkeit  $v_S$  des Sterns sowie den Abstand  $r_S$  des Sternmittelpunkts vom Schwerpunkt. [zur Kontrolle:  $v_S = 0,87$  m/s]

Da der Schwerpunkt näherungsweise mit dem Sternmittelpunkt zusammenfällt, soll der Stern nun als ruhender Zentralkörper betrachtet werden, um den sich der Planet auf einer Kreisbahn mit Radius  $r_P$  bewegt.

- 6 b) Zeigen Sie mithilfe eines Kraftansatzes, dass folgender Zusammenhang gilt:  $\frac{T_P^2}{r_P^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot m_S}$ . Berechnen Sie damit den Bahnradius  $r_P$  des Planeten.

[zur Kontrolle:  $r_P = 9,2 \cdot 10^{10}$  m]

- 5 c) Die Leuchtkraft des Sterns HD 40307 beträgt 47 % der Sonnenleuchtkraft. Berechnen Sie die Energie, die vom Stern pro Sekunde senkrecht auf einen Quadratmeter der Atmosphäre von HD 40307g eingestrahlt wird und vergleichen Sie den Wert mit der Solarkonstanten.