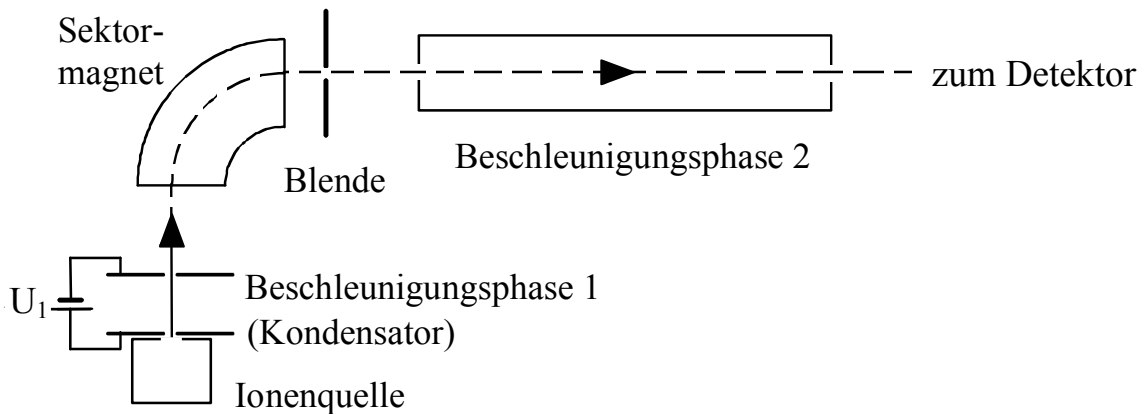


BE

## G Ph 1

## 1. Erzeugung eines Ionenstrahls

Neue Detektoren müssen vor ihrem Einsatz geeicht werden. Dazu leitet man einen Strahl aus Ionen bekannter Masse, bekannter Ladung und bekannter Energie in den Detektor und untersucht dessen Reaktion. In der Abbildung ist der vereinfachte Aufbau einer Anlage zur Erzeugung eines solchen Strahls dargestellt.



Aus einer Ionenquelle treten  $O^{6+}$ -Ionen ( $m = 16 \text{ u}$ ) mit vernachlässigbarer Anfangsenergie in das homogene Feld eines Plattenkondensators. Nach Durchlaufen des Kondensators verlassen die Ionen diesen durch ein kleines Loch in der negativ geladenen Platte. Die beschleunigten Ionen werden im Feld des so genannten Sektormagneten um  $90^\circ$  abgelenkt. Das als homogen angenommene Feld der Flussdichte  $B = 0,30 \text{ T}$  wird von einem Permanentmagneten erzeugt. Ionen, die sich auf einer Kreisbahn mit dem Radius  $r = 3,50 \text{ cm}$  bewegen, treten genau durch die Mitte der Blende nach dem Magnetfeld.

- 6 a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit  $v$  der  $O^{6+}$ -Ionen, die die Blende durch deren Mitte passieren. [zur Kontrolle:  $v = 3,8 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ ]
- 5 b) Welche Beschleunigungsspannung  $U_1$  liegt am Kondensator an? [zur Kontrolle:  $U_1 = 2,0 \text{ kV}$ ]
- 8 c) Aus der Ionenquelle treten auch Ionen anderer Sauerstoff-Isotope aus. Durch die Blende können alle Ionen treten, die sich auf Kreisbahnen mit  $3,45 \text{ cm} < r < 3,55 \text{ cm}$  bewegen. Begründen Sie rechnerisch, dass die Sauerstoff-Ionen der Masse  $18 \text{ u}$  und der Ladung  $+6 e$  die Blende nach dem Sektormagneten nicht passieren können, wenn die Beschleunigungsspannung  $U_1$  gleich bleibt.

Nach der Blende werden die Ionen durch ein weiteres elektrisches Feld auf die gewünschte Energie beschleunigt. Bei dem hier beschriebenen Aufbau werden dafür Spannungen zwischen wenigen Kilovolt und  $450 \text{ kV}$  angelegt.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

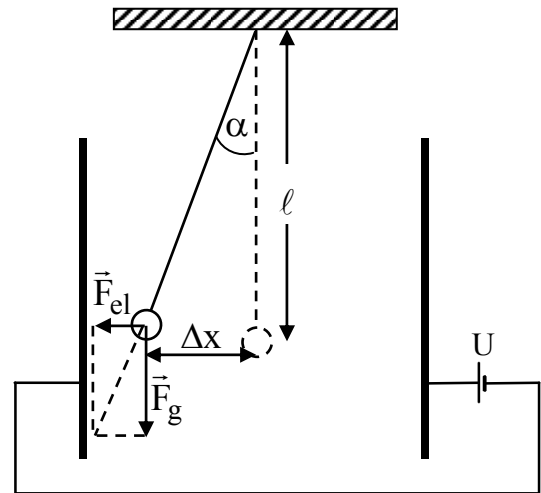
- 5 d) Warum wird die Beschleunigung der Ionen in zwei Phasen aufgeteilt? Überlegen Sie dazu, welche Auswirkungen es hätte, wenn die Ionen bereits vor dem Sektormagneten die volle Beschleunigungsspannung von bis zu 450 kV durchlaufen würden.

## 2. Plattenkondensator

Zwei kreisförmige Metallplatten mit Radius  $r = 30$  cm, die parallel im Abstand  $d = 10$  cm angeordnet sind, bilden einen Plattenkondensator. In der Mitte zwischen den Platten hängt an einem isolierten Faden ( $\ell = 1,2$  m) eine kleine, geladene Metallkugel ( $m = 0,25$  g).

- 4 a) Berechnen Sie die Kapazität des Kondensators.

Legt man an den Kondensator die Spannung  $U = 2,0$  kV an, so wird die Kugel horizontal um  $\Delta x = 4,0$  cm aus ihrer Ruhelage ausgelenkt. Influenzeffekte sollen nicht berücksichtigt werden, das Feld im Inneren des Kondensators darf als homogen angenommen werden.



- 7 b) Ermitteln Sie den Auslenkwinkel  $\alpha$  und berechnen Sie mit Hilfe der Gewichtskraft die elektrische Kraft  $F_{el}$  auf die Metallkugel.  
[zur Kontrolle:  $F_{el} = 8,2 \cdot 10^{-5}$  N]
- 6 c) Wie groß ist die Feldstärke  $E$  des homogenen elektrischen Feldes zwischen den Kondensatorplatten? Welche Ladung  $Q$  trägt die Metallkugel?  
[zur Kontrolle:  $E = 20$  kV/m]
- 4 d) Begründen Sie kurz, wie sich die Auslenkung der Kugel ändert, wenn bei konstanter Spannung der ursprüngliche Plattenabstand vergrößert wird.
- 6 e) Nun wird der Faden durchtrennt. Beschreiben Sie qualitativ die Bewegung der Metallkugel innerhalb des Kondensators und begründen Sie Ihre Antwort.

Die geladene Metallkugel wird anschließend wieder an den Faden gehängt, doch anstelle der Gleichspannung wird jetzt eine Wechselspannung an die Kondensatorplatten angelegt.

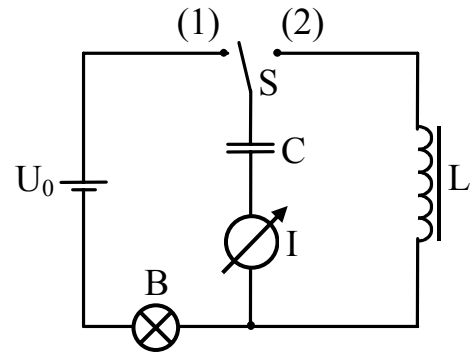
- 9 f) Welche Beobachtungen sind jeweils zu erwarten, wenn die angelegte Wechselspannung beginnend bei sehr niedrigen Frequenzen über die Eigenfrequenz des Pendels bis hin zu sehr hohen Frequenzen variiert wird? Begründen Sie Ihre Antwort ausführlich.

BE

## G Ph 2

## 1. Schwingkreis

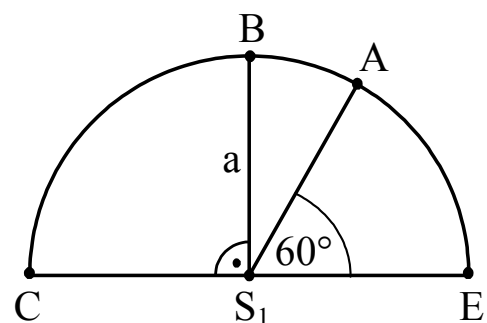
In der abgebildeten Schaltung ist die Kapazität  $C = 1,2 \text{ mF}$  und die Spannung  $U_0 = 5,0 \text{ V}$ . Die Resonanzfrequenz des Schwingkreises beträgt  $f_0 = 2,0 \text{ Hz}$ .



- Wenn der Schalter S in die Stellung (1) gebracht wird, leuchtet das Lämpchen B kurz auf. Erklären Sie diese Beobachtung.
- Der Schalter wird nun in die Stellung (2) gebracht. Beschreiben und erläutern Sie die zu erwartende Beobachtung am Strommessgerät über einen längeren Zeitraum.
- Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Kondensatorspannung  $U_C(t)$  für die erste Sekunde nach dem Umschalten auf (2).
- Berechnen Sie die Induktivität L. Die ohmschen Widerstände von Messgerät und Spule können dabei vernachlässigt werden.  
[zur Kontrolle:  $L = 5,3 \text{ H}$ ]
- Um wie viel Prozent ändert sich die Resonanzfrequenz  $f_0$ , wenn man den Kondensator durch einen sonst baugleichen Kondensator mit doppelter Plattenfläche ersetzt. Wird  $f_0$  kleiner oder größer?

## 2. Interferenz von Dipolstrahlung

Zwei Dipolsender  $S_1$  und  $S_2$  schwingen gleichphasig mit der gleichen Frequenz und sind senkrecht zur Zeichenebene orientiert.  $S_1$  befindet sich im Mittelpunkt eines Halbkreises mit Radius  $a = 53 \text{ cm}$ , auf dem  $S_2$  bewegt werden kann. Im Punkt E befindet sich ein Empfänger.

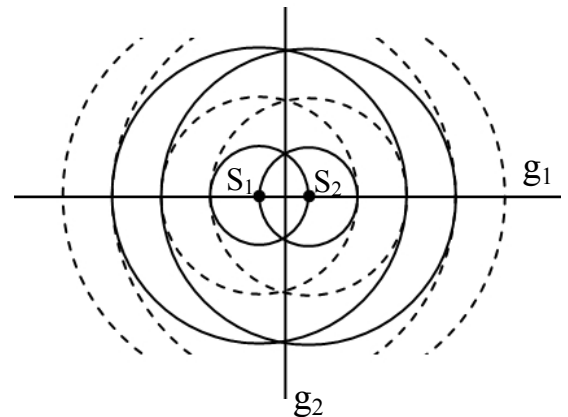


- Der Sender  $S_2$  wird an die Stelle A gebracht. Begründen Sie, warum sich bei dieser Konstellation – unabhängig von der verwendeten Frequenz – ein Empfangsmaximum ergibt. Geben Sie die Ordnung des Maximums an.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 7 b) Bringt man den Sender  $S_2$  in die Position B, so registriert man beim Empfangsdipol E ein Maximum erster Ordnung. Berechnen Sie die Wellenlänge und die Frequenz der von den beiden Sendern abgegebenen Strahlung. [zur Kontrolle:  $\lambda = 22 \text{ cm}$ ]
- 5 c) Der Sender  $S_2$  wird jetzt auf der Geraden CE von der Position C bis zum Sender  $S_1$  bewegt. Berechnen Sie diejenigen Abstände zwischen  $S_1$  und  $S_2$ , für die der Empfänger E Minima registriert.
- 5 d) Nun werden  $S_1$  und  $S_2$  im Abstand  $\lambda/2$  aufgestellt. Nebstehende Skizze zeigt eine Momentaufnahme der Wellenfronten der einzelnen Sender (Wellentäler gestrichelt, Wellenberge durchgezogen). Erläutern Sie an Hand dieser Zeichnung die Empfangsintensität längs der Geraden  $g_1$  und  $g_2$ .



### 3. Wellenlängenbestimmung mit einer Photozelle

Eine Photozelle mit einer Caesium-Kathode ( $W_A = 1,94 \text{ eV}$ ) soll zur Bestimmung der Wellenlänge  $\lambda$  von monochromatischem Licht verwendet werden.

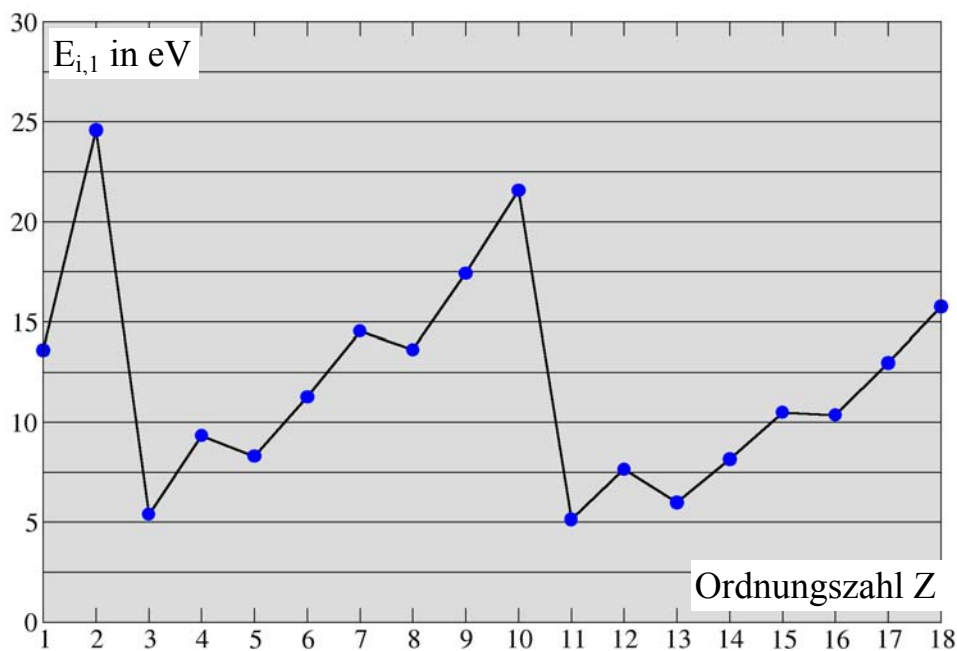
- 8 a) Beschreiben Sie den Aufbau und den Ablauf eines Versuchs, bei dem eine Spannung  $U$  gemessen wird, die Rückschlüsse auf die Wellenlänge des auftreffenden Lichts zulässt. Zeigen Sie, dass für die Wellenlänge folgender Zusammenhang gilt:  $\lambda = \frac{h c}{W_A + e U}$
- 4 b) Bestimmen Sie die Wellenlänge des Lichts, wenn  $U = 1,0 \text{ V}$  ist. Welche Farbe hat dieses Licht?
- 6 c) Schätzen Sie ab, wie lange es nach klassischer Vorstellung mindestens dauern würde, bis ein Elektron aus dem Kathodenmaterial herausgelöst wird. Nehmen Sie dazu an, dass auf die  $1,0 \text{ cm}^2$  große Kathode Licht der Leistung  $15 \mu\text{W}$  trifft und die Atome der Kathode einen Radius von  $10^{-10} \text{ m}$  haben.

BE

**G Ph 3****1. Der Atomaufbau**

Vor 100 Jahren haben Johannes Rydberg und Walter Ritz die Serienformel des Wasserstoffatoms aufgestellt:  $\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$  mit  $n_2 > n_1$ , wobei  $R_H$  die Rydbergkonstante von Wasserstoff ist.

- 4 a) Zeigen Sie, dass man bei geeigneter Wahl des Energienullpunkts aus der Serienformel die n-te Energiestufe  $E_n = R_H h c \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right)$  des Wasserstoffatoms erhält.
- 5 b) Berechnen Sie die Energiewerte der drei niedrigsten Energieniveaus und die Ionisierungsenergie des Wasserstoffatoms.
- Im sichtbaren Bereich des Lichts (380 nm bis 750 nm) sind nur Linien der Balmer-Serie ( $n_1 = 2$ ) zu beobachten.
- 6 c) Bestimmen Sie rechnerisch, zwischen welchen Werten die Wellenlängen der Linien der Balmer-Serie liegen.
- 6 d) Zeigen Sie, dass alle Linien der Lyman-Serie ( $n_1 = 1$ ) im ultravioletten Bereich des Lichts liegen.
- 6 e) Nehmen Sie sowohl für das Bohr'sche als auch für das quantenmechanische Atommodell jeweils kurz Stellung, ob sie mit der Heisenberg'schen Unschärferelation verträglich sind.

**2. Aufbau des Periodensystems**

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Einen Hinweis auf den Aufbau der Atomhülle mit mehreren Elektronen gibt die so genannte erste Ionisierungsenergie  $E_{i,1}$  in Abhängigkeit von der Ordnungszahl  $Z$  (siehe Abbildung auf der vorhergehenden Seite). Dabei handelt es sich um die Energie, die man aufwenden muss, um von einem Atom im Grundzustand ein Elektron zu entfernen.

- 6 a) Erläutern Sie, welche Hinweise das Diagramm über den Aufbau der Elektronenhülle gibt. Gehen Sie dabei auf die lokalen Maxima (bei  $Z = 2$  und  $Z = 10$ ) und die darauf folgenden Minima des Diagramms ein.
- 6 b) Die zweite Ionisierungsenergie ist die Energie, die man aufwenden muss, um dem einfach positiv geladenen Ion im Grundzustand ein weiteres Elektron zu entreißen. Beschreiben Sie (für  $Z > 1$ ) qualitativ den Verlauf dieser zweiten Ionisierungsenergie im Vergleich zur ersten.

### 3. Anregung von Natriumatomen

Das Licht einer Glühbirne soll durch ein optisches Gitter spektral zerlegt und auf einen Schirm projiziert werden.

- 6 a) Schildern Sie an Hand einer Skizze den Versuchsaufbau zur Erzeugung eines Gitterspektrums.

Nun durchquert das Licht vor seiner Zerlegung ein mit Natriumdampf gefülltes Glasgefäß, wobei sich die Natriumatome im Grundzustand befinden. Ein Natriumatom gibt beim Übergang vom ersten angeregten Zustand in den Grundzustand ein Photon mit der Wellenlänge 589 nm ab.

- 8 b) Vergleichen Sie das ursprüngliche Spektrum des Glühlampenlichts mit dem Spektrum nach Durchqueren des Natriumdampfs und erklären Sie das Zustandekommen des Unterschieds.
- 7 c) Trifft ein Elektron mit der kinetischen Energie 3,0 eV auf ein Natriumatom im Grundzustand, so kann es das Natriumatom anregen. Berechnen Sie unter der vereinfachenden Annahme, dass das ruhende Natriumatom keinen Rückstoß erhält, die Geschwindigkeit des Elektrons nach dem Stoß für den Fall, dass sich das Natriumatom nach dem Stoß im ersten angeregten Zustand befindet. Erläutern Sie Ihren Ansatz.

BE

**G Ph 4****1. Mordfall Litvinenko**

Anfang November 2006 kam das Poloniumisotop  $^{210}\text{Po}$  (Halbwertszeit 138 d) wegen eines spektakulären Mordfalls in die Schlagzeilen. Der  $\alpha$ -Strahler wurde dem russischen Ex-Agenten Alexander Litvinenko ins Essen gemischt. Dies führte innerhalb von drei Wochen zu dessen Tod.

- 4 a) Ordnen Sie  $^{210}\text{Po}$  einer natürlichen Zerfallsreihe zu und begründen Sie Ihre Zuordnung mit den Massenzahlen und den Zerfallsarten.
- 6 b) Geben Sie die Zerfallsgleichung von  $^{210}\text{Po}$  an und berechnen Sie die gesamte bei diesem Zerfall frei werdende Energie  $Q$ .  
[zur Kontrolle:  $Q = 5,41\text{MeV}$ ]
- 3 c) Als maximale kinetische Energie der von  $^{210}\text{Po}$  emittierten  $\alpha$ -Teilchen wird in der Nuklidkarte  $5,30\text{ MeV}$  angegeben. Geben Sie eine mögliche Ursache für den Unterschied zu  $Q$  an.
- Zur Zeit des Mordfalls war in einer Zeitschrift zu lesen: „Da die Zerfallsrate von Polonium-210 sehr hoch ist, ist auch die Strahlenintensität sehr hoch. Um die tödliche internistische Dosis zu erzeugen, sind gerade einmal ein 0,1 Millionstel eines Gramms notwendig, eine Giftmenge von der Größe eines Stecknadelkopfes. [...] In der Raumfahrt dient Polonium-210 als leichtgewichtige Wärmequelle. So kann ein Gramm Polonium-210 etwa 140 Watt Wärmeleistung erzeugen.“
- 6 d) Berechnen Sie die Aktivität einer Probe von  $1,0\text{ g }^{210}\text{Po}$ .  
[zur Kontrolle:  $A = 1,7 \cdot 10^{14}\text{ Bq}$ ]
- 3 e) Bei der Aufnahme von  $^{210}\text{Po}$  in den Körper ist bereits eine Aktivität von  $1,5 \cdot 10^7\text{ Bq}$  tödlich. Zeigen Sie, dass dies bei der im Text angegebenen Masse von „0,1 Millionstel eines Gramms“ der Fall ist.
- 3 f) Geben Sie einen Grund an, warum das Hantieren mit  $^{210}\text{Po}$  für die Mörder relativ ungefährlich war.
- 5 g)  $^{210}\text{Po}$  hat eine Dichte von  $9,3\text{ g/cm}^3$ . Überprüfen Sie damit die Aussage des Zeitungsartikels bezüglich des Volumens der Giftmenge.
- 4 h) Verifizieren Sie die Zahlenangabe zur Wärmeleistung.

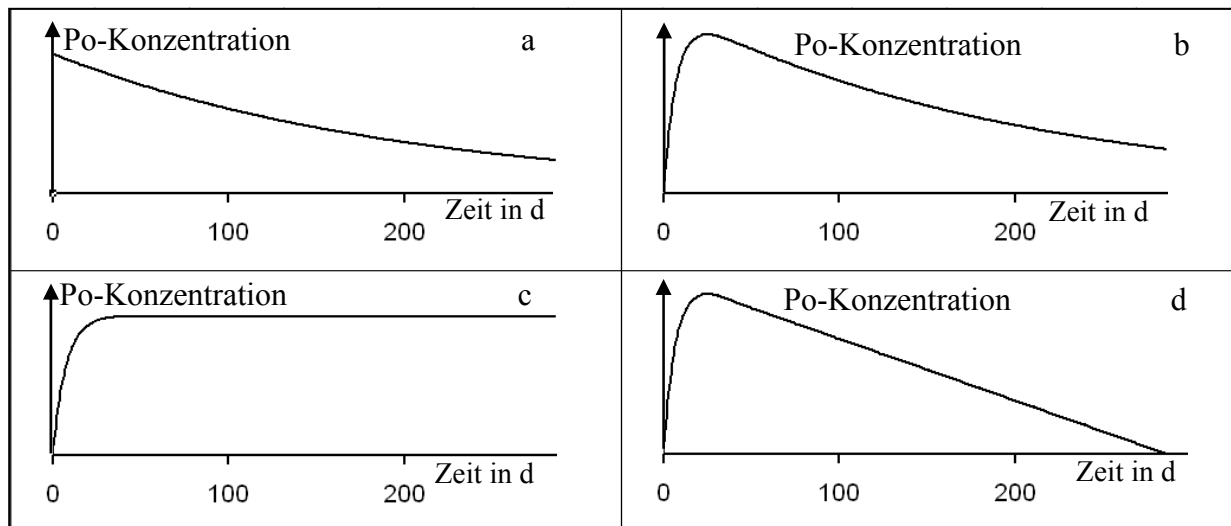
(Fortsetzung nächste Seite)

BE

## 2. Herstellung von $^{210}\text{Po}$

Um  $^{210}\text{Po}$  künstlich zu erzeugen, setzt man das stabile Isotop  $^{209}\text{Bi}$  für kurze Zeit Neutronenstrahlung aus. Es entsteht ein Zwischenprodukt, das nach einem  $\beta^-$ -Zerfall mit einer Halbwertszeit von 5,0 Tagen zu  $^{210}\text{Po}$  wird. Die emittierten Elektronen haben dabei eine maximale Geschwindigkeit von 0,95 c.

- Geben Sie die Zerfallsgleichung für den obigen  $\beta^-$ -Zerfall an.
- Skizzieren Sie qualitativ das Energiespektrum eines  $\beta^-$ -Strahlers und erklären Sie den wesentlichen Unterschied zum Energiespektrum eines  $\alpha$ -Strahlers.
- Berechnen Sie die maximale kinetische Energie der emittierten Elektronen.
- Welcher Anteil des erzeugten Zwischenprodukts ist 15 Tage nach dem Neutronenbeschuss schon zerfallen?
- In einer Skizze soll qualitativ die  $^{210}\text{Po}$ -Konzentration in einer  $^{209}\text{Bi}$ -Probe in Abhängigkeit von der Zeit (in Tagen) nach dem Neutronenbeschuss dargestellt werden. Wählen Sie die geeignete Skizze und begründen Sie Ihre Wahl.



BE

**G Ph 5****1. Die Pluto-Mission *New Horizons***

Am 19. Januar 2006 startete die NASA-Sonde *New Horizons* zur Erforschung des Zwergplaneten Pluto aus nächster Nähe. Nach einem Swing-by-Manöver an Jupiter im Februar 2007 soll sie Pluto im Juli 2015 passieren. Dieses Rendezvous wird in einer Entfernung von 33 AE zur Sonne stattfinden.

- 4 a) Berechnen Sie die minimale Entfernung Erde-Pluto.  
[zur Kontrolle:  $r_{\min} = 29 \text{ AE}$ ]
- 3 b) Begründen Sie, dass mit dem Hubble-Teleskop, das eine Auflösung von  $0,1''$  hat, keine Oberflächendetails von Pluto erkennbar sind. Berechnen Sie dazu den größten Winkel  $\varphi$ , unter dem Pluto von der Erde aus erscheint.
- 9 c) Welche Startgeschwindigkeit wäre nötig, um von einem Punkt der Erdbahn aus auf einer Hohmann-Ellipse zum Rendezvous mit Pluto im Juli 2015 zu gelangen? Wie lange würde in diesem Fall die Hinreise dauern?
- 4 d) Tatsächlich genügt eine deutlich kleinere Startgeschwindigkeit bezüglich der Erde als die in Teilaufgabe 1c berechnete. Erläutern Sie dies.
- 5 e) Berechnen Sie die Bestrahlungsstärke auf Pluto im Juli 2015. Welche Auswirkungen hat dieses Ergebnis auf die Energieversorgungssysteme der Sonde, die zum Betrieb mehr als 200 W benötigt?
- 6 f) Plutos Begleiter Charon hat ungefähr 12 % der Gesamtmasse des Systems Pluto-Charon. Beide umkreisen sich in 6,4 Tagen mit einem Mittelpunktsabstand von  $d = 1,94 \cdot 10^4 \text{ km}$ . Berechnen Sie daraus die Masse Charons.
- 4 g) Im August 2006 strich die Internationale Astronomische Union Pluto aus der Liste der Planeten und ordnete ihn in die neue Klasse der Zwergplaneten ein. Geben Sie zwei physikalische Argumente an, die diese Einstufung plausibel machen.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

**2. Die Sonne**

Beobachtet man die Sonne durch ein geeignetes Filter, so erkennt man, dass sie nicht gleichmäßig hell ist.

5

- a) Beschreiben Sie die Granulation und erläutern Sie ihr Zustandekommen anhand des Aufbaus der Sonne.

Eine sehr auffällige Erscheinung der Sonnenoberfläche sind Sonnenflecken, die eine Temperatur von etwa  $4,0 \cdot 10^3$  K besitzen. Zur Zeit sind aber nur sehr selten größere Flecken auf der Sonne zu finden.

4

- b) Erklären Sie dies anhand der durch langjährige Beobachtungen festgestellten Gesetzmäßigkeit über die Häufigkeit von Sonnenflecken.

5

- c) Erläutern Sie eine Besonderheit der Sonnenrotation, die man durch Beobachtung der Sonnenflecken entdeckt hat.

Im Folgenden soll die scheinbare Helligkeit eines Sonnenflecks von Erdgröße abgeschätzt werden.

4

- d) Berechnen Sie die Strahlungsleistung  $L_K$  einer Kugel mit Erdradius und einer Temperatur von  $4,0 \cdot 10^3$  K. [zur Kontrolle:  $L_K = 7,4 \cdot 10^{21}$  W]

7

- e) Bestimmen Sie die scheinbare Helligkeit eines solchen Objekts in einer Entfernung von 1 AE. Vergleichen Sie diese mit der scheinbaren Helligkeit des Vollmondes ( $m_{VM} = -12,5$ ).

BE

**G Ph 6****1. Der Stern Polaris**

Das Sternbild Kleiner Bär (Ursa Minor, UMi) wurde angeblich vom griechischen Gelehrten Thales eingeführt. Polaris ( $\alpha$  UMi) ist der hellste Stern in diesem Sternbild. Wegen seiner unmittelbaren Nähe zum Himmelsnordpol ist dieser Stern ein markanter Orientierungspunkt am Himmel.

Angaben zu Polaris:

Mittlere scheinbare Helligkeit: 2,0

Entfernung: 132 pc

Oberflächentemperatur:  $7,0 \cdot 10^3$  K

- 4 a) Erläutern Sie ein fotografisches Verfahren, mit dem sich belegen lässt, dass Polaris sehr nahe am Himmelsnordpol steht.
- 3 b) Erläutern Sie, wie sich für einen Beobachter aus der Lage von Polaris die geographische Breite des Beobachtungsortes ergibt.
- 6 c) Ermitteln Sie die mittlere absolute Helligkeit dieses Sterns sowie die Leuchtkraft im Vergleich zur Sonne.  
[zur Kontrolle:  $L_{\text{Polaris}} = 2,3 \cdot 10^3 L_{\odot}$ ]
- 4 d) Überprüfen Sie, ob sich die Entfernung von Polaris durch Beobachtung der trigonometrischen Parallaxe bestimmen lässt, wenn man von einem maximalen Auflösungsvermögen von  $0,01''$  ausgeht.
- 5 e) Berechnen Sie den Radius von Polaris im Vergleich zur Sonne.
- 6 f) Polaris ist ein  $\delta$ -Cephei-Stern (Cepheide). Beschreiben Sie das Entwicklungsstadium, in dem sich Polaris befindet. Worin unterscheidet sich dieser Stern im inneren Aufbau von der Sonne?

**2. Die Andromeda-Galaxie**

Die Andromeda-Galaxie ist eine Scheibengalaxie, die der Milchstraße ähnlich ist. Für die folgenden Überlegungen soll von einer kreisförmigen Scheibe ausgegangen werden. Zusätzlich darf stark vereinfachend angenommen werden, dass die Blickrichtung zur Andromeda-Galaxie in der Scheibenebene liegt und dass die Erde relativ zum Zentrum der Milchstraße ruht.

Die Helligkeitsschwankungen eines bestimmten  $\delta$ -Cephei-Sterns in der Andromeda-Galaxie besitzen eine Periodendauer von 39 Tagen. Die mittlere scheinbare Helligkeit dieses Sterns beträgt 18,7.

- 6 a) Ermitteln Sie die Entfernung  $r$  der Andromeda-Galaxie von unserem Sonnensystem in Lichtjahren.  
[zur Kontrolle:  $r = 2,5 \cdot 10^6$  Lj]

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Die Laborwellenlänge der  $H_{\alpha}$ -Linie von Wasserstoff beträgt 656,47 nm. Für denjenigen Rand der Andromeda-Galaxie, der sich aufgrund der Scheibenrotation auf die Erde zu bewegt, ermittelt man für die  $H_{\alpha}$ -Linie eine Wellenlänge von 655,68 nm. Für den anderen Rand, der sich von der Erde weg bewegt, ergeben sich 656,65 nm.

- 7 b) Untersuchen Sie, ob sich die Andromeda-Galaxie insgesamt auf die Milchstraße zu oder von ihr weg bewegt. Berechnen Sie den Geschwindigkeitsbetrag  $v$  dieser Gesamtbewegung.  
[zur Kontrolle:  $v = 1,4 \cdot 10^2$  km/s]
- Ein Stern X im Randbereich der Andromeda-Galaxie ist  $1,1 \cdot 10^5$  Lj vom Zentrum der Galaxie entfernt.
- 4 c) Berechnen Sie den Winkel, unter dem ein Beobachter von der Erde aus die Galaxiendisk sieht. Vergleichen Sie diesen Winkel mit dem Winkeldurchmesser des Mondes.
- 5 d) Zeigen Sie, dass der Stern X für einen vollen Umlauf um das Zentrum der Galaxie auf einer kreisförmigen Bahn  $9,4 \cdot 10^8$  Jahre braucht.
- 6 e) Schätzen Sie durch eine Rechnung die Gesamtmasse der Andromeda-Galaxie ab und geben Sie diese in Vielfachen der Sonnenmasse an.
- 4 f) Geben Sie an, nach welcher Gesetzmäßigkeit sich weit entfernte Galaxien relativ zur Milchstraße bewegen und begründen Sie, warum die Andromeda-Galaxie ein anderes Verhalten zeigt.