

# **Abiturprüfung 2009**

## **PHYSIK**

als Leistungskursfach

**Arbeitszeit: 240 Minuten**

Der Fachausschuss wählt *z w e i* Aufgaben zur Bearbeitung aus.

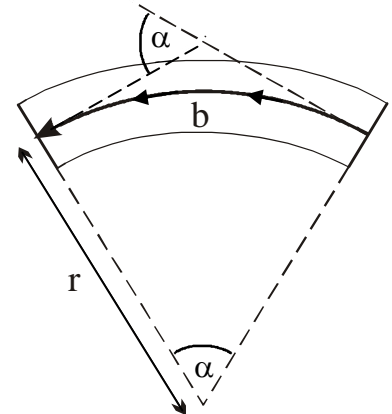
## L Ph 1

### 1. Der „Large Hadron Collider“ LHC

Im LHC des Kernforschungszentrums CERN können in einer Anordnung aus zwei getrennten ringförmigen Vakuumröhren („LHC-Ring“) Protonen gegenläufig auf sehr hohe kinetische Energien beschleunigt und dann zur Kollision gebracht werden. Hierzu werden die Protonen nach Durchlaufen mehrerer Vorbeschleuniger mit der kinetischen Energie  $E_1 = 450 \text{ GeV}$  in den LHC-Ring (Umfang  $U = 26,7 \text{ km}$ ) eingespeist. Nach vielen Umläufen, bei denen sie pro Umlauf die Energie  $\Delta E = 485 \text{ keV}$  hinzugewinnen, erreichen sie schließlich die kinetische Endenergie  $E_2 = 7,0 \text{ TeV}$ .

- a) Zeigen Sie, dass sich die Geschwindigkeit der Protonen im LHC-Ring praktisch nicht ändert. Um welchen Faktor erhöht sich hingegen ihre Masse?
- b) Wie viele Minuten dauert es, die Protonen von der Energie  $E_1$  auf die Energie  $E_2$  zu bringen?

Um die Protonen auf eine angenäherte Kreisbahn zu bringen, durchlaufen sie 1232 Ablenksektoren, in denen sehr starke Magnetfelder die Protonen jeweils auf Kreisbögen der Länge  $b = 14,3 \text{ m}$  und dem Radius  $r$  zwingen (s. Skizze; nicht maßstabsgetreu). Dazwischen bewegen sie sich geradlinig. Für die folgenden Überlegungen dürfen die Magnetfelder als homogen angenommen werden.



- c) Erläutern Sie, weshalb die Protonen innerhalb des Magnetfelds Kreisbögen durchlaufen und geben Sie an, wie das Magnetfeld im angegebenen Fall gerichtet ist.
- d) Um welchen Winkel  $\alpha$  müssen die Protonen in den Sektoren jeweils abgelenkt werden, damit sich ein geschlossener Umlauf ergibt? Bestimmen Sie daraus den Krümmungsradius  $r$  der Ablenksektoren.

[zur Kontrolle:  $r = 2,80 \text{ km}$ ]

- e) Zeigen Sie, dass für die Flussdichte  $B$  des Magnetfelds in Abhängigkeit von der kinetischen Energie  $E$  der Protonen in guter Näherung gilt:

$$B \approx \frac{E}{c e r}.$$

Berechnen Sie  $B$  nach Erreichen der kinetischen Endenergie  $E_2$ .

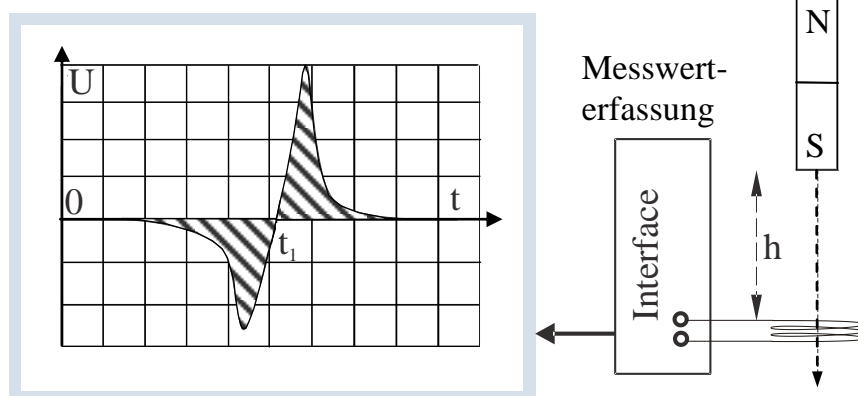
BE

Die beiden gegenläufigen Protonenstrahlen bestehen jeweils aus 2808 gleich weit voneinander entfernten „Paketen“ vernachlässigbarer Ausdehnung mit je  $1,1 \cdot 10^{11}$  Protonen, die nach dem Erreichen der Endenergie mehrere Stunden in den Ringen kreisen. Für die einzelnen Experimente werden die Pakete dann in einem Detektor zusammengeführt und zur Kollision gebracht. Dabei findet im Schnitt nur eines von  $3,4 \cdot 10^9$  Protonen einen Wechselwirkungs-partner.

- 7 f) Berechnen Sie die in einem Protonenstrahl gespeicherte Energie in Joule und vergleichen Sie diese mit der kinetischen Energie eines schnell fahrenden PKW. Berechnen Sie zusätzlich die mittlere Strahlstromstärke.
- 7 g) Berechnen Sie den zeitlichen Abstand der Protonenpakete sowie die Anzahl der pro Sekunde stattfindenden Proton-Proton-Stöße.

## 2. Induktion

In einem Experiment lässt man einen Stabmagneten frei durch eine zylinderförmige Spule (Windungszahl  $N = 900$ ; Durchmesser  $d = 5,0$  cm) aus großer Höhe  $h$  über dem oberen



Ende der Spule fallen. An den Enden der Spule wird dadurch eine Spannung  $U$  induziert, deren zeitlicher Verlauf mit einem elektronischen Messwert-erfassungssystem aufgezeichnet wird. Die obige Abbildung zeigt das Ergebnis einer solchen Messung.

Das Programm berechnet für das Integral  $\int_0^{t_1} U(t) dt$  den Wert  $-3,2 \text{ mVs}$ .

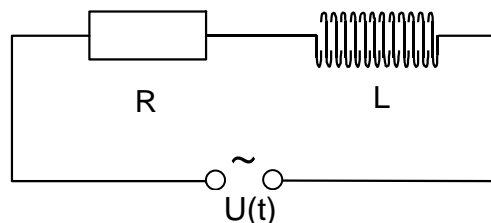
Dabei ist  $t_1$  der Zeitpunkt, zu dem  $U(t)$  das Vorzeichen wechselt.

- 7 a) Erklären Sie den Verlauf der Kurve und begründen Sie, warum die beiden schraffierten Flächen oberhalb und unterhalb der Zeitachse flächengleich sind.
- 3 b) Skizzieren Sie qualitativ in einem  $t$ - $U$ -Diagramm den zeitlichen Verlauf der Induktionsspannung für zwei verschiedene Fallhöhen  $h_1$  und  $h_2$  ( $h_2 > h_1$ ). Wählen Sie hierbei jeweils den gleichen Zeitpunkt  $t_1$ .
- 5 c) Berechnen Sie aus den gegebenen Daten die magnetische Flussdichte in der Spule zum Zeitpunkt  $t_1$ .

## L Ph 2

### 1. Wechselstromwiderstand einer Spule

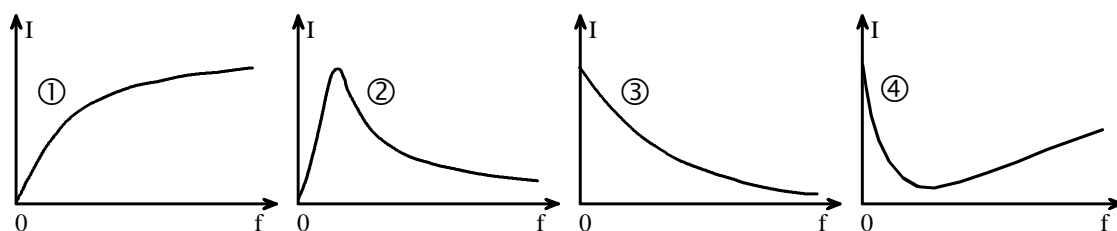
Um die Frequenzabhängigkeit des Widerstands einer realen Spule bei sinusförmiger Wechselspannung zu untersuchen, betrachtet man die reale Spule als Serienschaltung eines rein Ohm'schen Widerstandes



$R = 12 \, \Omega$  und einer idealen Spule der Induktivität  $L = 36 \, \text{mH}$ . Für den Wechselstromwiderstand  $X$  einer realen Spule

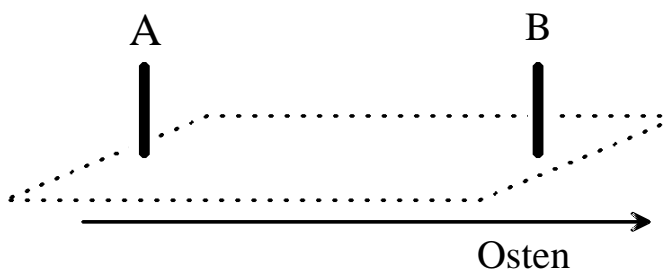
gilt  $X = \sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2}$  (Herleitung nicht erforderlich).

- 6 a) Berechnen Sie den Wechselstromwiderstand  $X$  der realen Spule für die Frequenzen 0 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz, 80 Hz und 100 Hz. Fertigen Sie mit Hilfe dieser Werte ein  $f$ - $X$ -Diagramm für den Bereich  $0 \leq f \leq 100 \, \text{Hz}$  an.
- 8 b) Tragen Sie in das Diagramm von Teilaufgabe 1a auch den Graphen für den rein induktiven Widerstand  $X_L$  der Spule in Abhängigkeit von  $f$  ein. Berechnen Sie, ab welcher Frequenz der Wechselstromwiderstand  $X$  vom induktiven Widerstand  $X_L$  um weniger als 1 % abweicht.
- 6 c) Nun schaltet man die reale Spule mit einem Kondensator in Reihe, legt eine Wechselspannung variabler Frequenz  $f$  an und misst die Stromstärke  $I$ . Welche der folgenden Diagramme könnten mit dieser Versuchsanordnung aufgezeichnet worden sein? Begründen Sie Ihre Entscheidung an Hand des Wechselstromverhaltens der verwendeten Bauteile.



### 2. „Voice of America“

Bis zum Jahr 2005 strahlte der Sender „Voice of America“ in Ismaning bei München sein Programm auf der Frequenz 1197 kHz in Richtung Osteuropa aus. Zwei der Dipolantennen A und B aus der Sendeanlage waren im Abstand  $\frac{3}{4}\lambda$  hintereinander nach Osten ausgerichtet und wurden mit gleicher Sendeleistung betrieben.



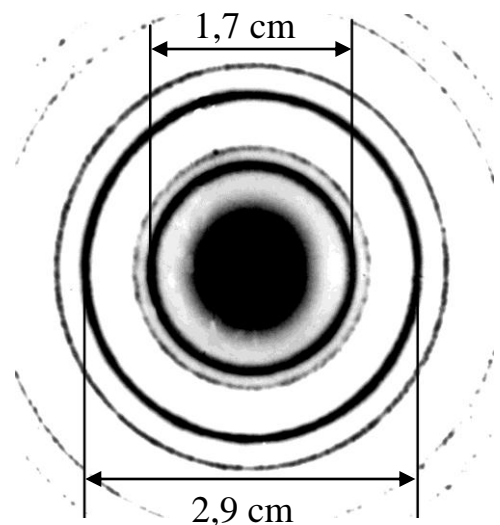
(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 4 a) Berechnen Sie die Länge der Dipole so, dass bei der angegebenen Frequenz die Grundschiwingung angeregt wird.
- 6 b) Bestimmen Sie die Winkel gegenüber der Nord-Süd-Richtung, unter denen in Osteuropa kein Empfang möglich ist, wenn beide Dipole gleichphasig schwingen. Unter wie vielen Richtungen rund um die Sendeanlage ist demzufolge kein Empfang möglich?
- Nach Planung der Sendeanlage sollten die beiden Dipole A und B so interferieren, dass in östlicher Richtung optimaler Empfang, dagegen in westlicher Richtung praktisch kein Empfang möglich sein sollte.
- 4 c) Begründen Sie, dass dieses geforderte Abstrahlverhalten grundsätzlich und unabhängig von ihrer Anordnung mit gleichphasigen Sendern nicht erreicht werden kann.
- 7 d) Erläutern Sie genau, gegebenenfalls auch mit Hilfe geeigneter Skizzen, dass das gewünschte Abstrahlverhalten jedoch eintritt, wenn Sender A gegenüber Sender B in der Phase um  $\frac{3}{2} \pi$  vorausleitet.

### 3. Kristallographie

Zur Bestimmung der Netzebenenabstände von Kristallen wird ein Kristallpulver mit monochromatischer Röntgenstrahlung der Wellenlänge  $37 \text{ pm}$  bestrahlt. Auf einer Photoplatte senkrecht zur Strahlrichtung im Abstand  $l = 5,4 \text{ cm}$  vom Kristallpulver wird ein Interferenzmuster aus konzentrischen Ringen registriert. Dabei werden die von der Röntgenstrahlung belichteten Bereiche geschwärzt.

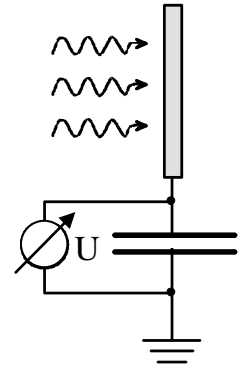


- 7 a) Skizzieren Sie ein typisches Röntgenspektrum. Weisen Sie nach, dass bei einer Anodenspannung von  $50 \text{ kV}$  Strahlung mit der Wellenlänge  $\lambda = 37 \text{ pm}$  im Spektrum enthalten ist.
- 7 b) Berechnen Sie mit Hilfe der Daten aus der Abbildung den Netzebenenabstand  $d$ , der zu dem inneren der markierten Ringe führt; dieser stellt ein Maximum 1. Ordnung dar.
- 5 c) Begründen Sie, dass der größere markierte Ring nicht das Maximum 2. Ordnung zum in Teilaufgabe 3b berechneten Netzebenenabstand  $d$  sein kann.

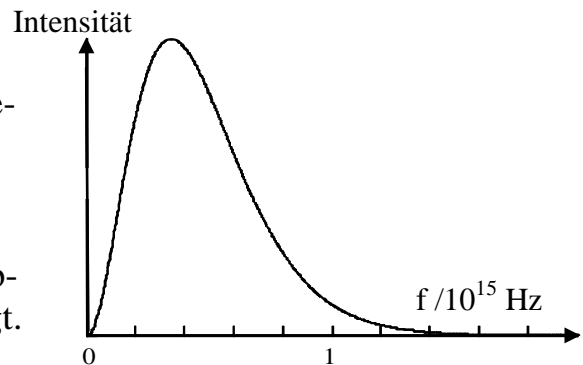
### L Ph 3

#### 1. Elektrostatische Aufladung von Satelliten

Seit dem Jahr 2000 umkreisen vier so genannte CLUSTER-Satelliten die Erde und messen u. a. die Ionen- und die Elektronendichte des Weltraumplasmas. Bei diesen Messungen stört die elektrostatistische Aufladung der Satelliten aufgrund des Photoeffekts an der Oberfläche des Satelliten durch das Sonnenlicht.



- 5 a) Bei einem Laborversuch wird ein zunächst ungeladenes Stück der Satelliten-Außenhaut unter Weltraumbedingungen mit UV-Licht der Wellenlänge 200 nm bestrahlt. Dabei lädt sich der Kondensator in der nebenstehend skizzierten Versuchsanordnung auf eine Spannung von 1,1 V auf. Berechnen Sie die Austrittsarbeit  $W_A$  der Satelliten-Außenhaut.  
Skizzieren Sie qualitativ den zeitlichen Verlauf der Kondensatorspannung. [zur Kontrolle:  $W_A = 5,1 \text{ eV}$ ]
- 6 b) Begründen Sie, wie sich der Verlauf des Graphen aus Teilaufgabe 1a im  $t$ - $U$ -Diagramm qualitativ verändert, wenn der Versuch mit UV-Licht noch kürzerer Wellenlänge durchgeführt wird. Gehen Sie dabei von gleicher Leistung der Lichtquelle und gleicher Quantenausbeute (Anzahl der ausgelösten Elektronen pro Anzahl der auftreffenden Photonen) wie im Versuch von Teilaufgabe 1a aus.
- 4 c) Das von der Sonne abgestrahlte Licht besitzt näherungsweise die nebenstehende Frequenz-Verteilung. Begründen Sie mit Hilfe des Diagramms, dass nur ein sehr kleiner Teil der Strahlungsintensität zur Ablösung von Photoelektronen beiträgt.
- 6 d) Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass die für den Photoeffekt relevanten Photonen eine einheitliche Wellenlänge von 200 nm besitzen und dass 1,0 % der solaren Bestrahlungsstärke ( $S = 1,36 \text{ kW/m}^2$ ) auf diese Photonen zurückzuführen ist. Wie viele dieser Photonen treffen pro Sekunde auf  $4,0 \text{ m}^2$  der Satellitenfläche, die senkrecht zur Bestrahlungsrichtung orientiert sein soll?  
[zur Kontrolle:  $N_{\text{Ph}} = 5,5 \cdot 10^{19}$ ]



Um die elektrostatistische Aufladung des Satelliten zu verhindern, werden einfach positiv geladene Indium-Ionen von einer geeigneten, an den Satelliten angebauten Ionenquelle ins Weltall abgegeben.

(Fortsetzung nächste Seite)

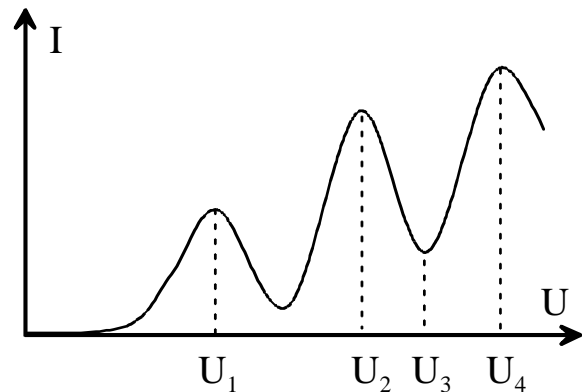
BE

8

- e) Nur eines von  $1,6 \cdot 10^5$  Photonen aus Teilaufgabe 1d löst aus der Satellitenoberfläche ein Photoelektron aus. Berechnen Sie die Stromstärke des Indium-Ionenstrahls.  
Welche Indiummasse ist nötig, wenn man von einer Betriebsdauer von 4000 Stunden ausgeht?

## 2. Franck-Hertz-Versuch

In einer Franck-Hertz-Röhre werden Elektronenstoßversuche an Quecksilberatomen (Hg-Atomen) durchgeführt. Dabei ergibt sich das abgebildete U-I-Diagramm.



6

- a) Zeichnen Sie den Aufbau einer Franck-Hertz-Röhre und die dazu gehörige Beschaltung, so dass das nebenstehende Diagramm aufgenommen werden kann. Kennzeichnen Sie insbesondere, wo die Größen U und I gemessen werden.

Für  $U \geq U_1$  strahlt die Röhre an bestimmten Stellen UV-Licht ab.

4

- b) Tragen Sie für  $U = U_3$  die ungefähre Lage der „Leuchtzonen“ in die Skizze von Teilaufgabe 2a ein.

5

- c) Erläutern Sie, wie die relativen Stromminima im U-I-Diagramm zustande kommen. Warum nehmen diese relativen Minima nicht den Wert Null an?

4

- d) Wie ändert sich die Stromstärke bei der Spannung  $U_3$  qualitativ, wenn die Spannung zwischen Gitter und Auffängerelektrode verkleinert wird? Begründen Sie Ihre Antwort.

6

- e) Berechnen Sie die Teilchendichte  $\frac{N}{V}$  der Hg-Atome, wenn sich in der Röhre bei einer Temperatur von  $180^\circ\text{C}$  ein Druck von 12 hPa einstellt. Betrachten Sie dazu Hg-Dampf vereinfachend als ideales Gas.  
Wird die gleiche Röhre bei Zimmertemperatur betrieben, so ist die Anzahl der als Stoßpartner zur Verfügung stehenden Hg-Atome vernachlässigbar klein. Skizzieren Sie für diesen Fall qualitativ das U-I-Diagramm und begründen Sie dessen Verlauf.

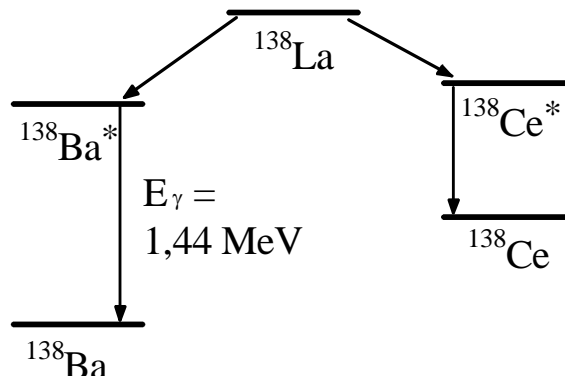
6

- f) Die in diesem Versuch nachgewiesene Anregungsenergie von Hg-Atomen beträgt 4,9 eV. Bei welcher Temperatur entspricht die mittlere kinetische Energie der Hg-Atome dieser Anregungsenergie?  
Beurteilen Sie die Möglichkeit thermischer Stoßanregung der Hg-Atome untereinander bei einer Temperatur von  $180^\circ\text{C}$ .

## L Ph 4

### 1. Zerfall von $^{138}\text{La}$ (Lanthan)

Das Nuklid  $^{138}\text{La}$  ( $m_a = 137,907106 \text{ u}$ ) besitzt die extrem große Halbwertszeit  $T_{1/2} = 1,05 \cdot 10^{11} \text{ a}$ . Bei zwei Dritteln der Zerfälle findet eine Umwandlung in  $^{138}\text{Ba}$  statt. In den übrigen Fällen tritt als Endprodukt  $^{138}\text{Ce}$  auf. In jedem Fall wird zunächst ein angeregter Zustand des Tochterkerns erzeugt (siehe nebenstehendes, nicht maßstabgetreues Zerfallsschema).



- 5 a) Beschreiben Sie eine Methode, wie sich die Halbwertszeit eines so langlebigen Nuklids wie  $^{138}\text{La}$  bestimmen lässt.
- 3 b) Um welche Zerfallsart handelt es sich bei der Umwandlung in  $^{138}\text{Ce}^*$ ? Geben Sie die Zerfallsgleichung an.
- 5 c) Beschreiben Sie die Vorgänge, die beim Übergang von  $^{138}\text{La}$  zu  $^{138}\text{Ba}^*$  durch K-Einfang im Atom ablaufen. Erklären Sie, weshalb neben dem  $\gamma$ -Quant noch elektromagnetische Strahlung anderer Wellenlänge auftritt.
- 6 d) Grundsätzlich wäre statt des K-Einfangs auch ein  $\beta^+$ -Zerfall zu  $^{138}\text{Ba}^*$  denkbar. Zeigen Sie mit Hilfe einer Energiebilanz, dass es sich nicht um diese Zerfallsart handeln kann.

### 2. Radioaktives Caesium in Bodenproben

Bodenproben aus oberflächennahen Schichten enthalten geringe, aber trotzdem nachweisbare Aktivitäten der  $\beta^-$ -Strahler  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2} = 30,2 \text{ a}$ ) und  $^{134}\text{Cs}$  ( $T_{1/2} = 2,06 \text{ a}$ ).

Diese Radionuklide wurden nahezu ausschließlich bei oberirdischen Kernwaffentests bis zum Jahr 1963 und durch den Reaktorunfall in Tschernobyl vom April 1986 in die Biosphäre abgegeben.

- 5 a) Erklären Sie, warum die Produkte einer Kernspaltung fast ausnahmslos  $\beta^-$ -Strahler sind.
- 4 b) Sowohl beim Zerfall von  $^{137}\text{Cs}$  als auch beim Zerfall von  $^{134}\text{Cs}$  wird in der Folge  $\gamma$ -Strahlung emittiert. Begründen Sie, dass sich Radionuklide an Hand ihrer  $\gamma$ -Strahlung in der Regel leicht identifizieren lassen.

(Fortsetzung nächste Seite)



BE

8

In einer Bodenprobe wird jetzt, 23 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl, eine  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität von 7,2 kBq gemessen.

- c) Berechnen Sie die Masse des aktuell in der Bodenprobe vorhandenen  $^{137}\text{Cs}$ . Wie lange wird es noch dauern, bis 90 % dieser Menge zerfallen sind?

Beim Reaktorunfall wurde neben  $^{137}\text{Cs}$  auch das Isotop  $^{134}\text{Cs}$  freigesetzt, das in Bodenproben trotz seiner kurzen Halbwertszeit immer noch nachweisbar ist. Die beiden Spaltprodukte wiesen zum Zeitpunkt der Freisetzung ein Aktivitätsverhältnis  $A_{137}(0) : A_{134}(0) = 1,77$  auf.

5

- d) Welches Aktivitätsverhältnis  $A_{137} : A_{134}$  ergäbe sich in der aktuellen Bodenprobe unter der Annahme, dass beide Cs-Isotope nur aus dem Reaktorunfall stammen? [zur Kontrolle:  $A_{137} : A_{134} = 2,4 \cdot 10^3$ ]

5

- e) In der aktuell untersuchten Bodenprobe wird als Aktivität des  $^{134}\text{Cs}$  2,2 Bq gemessen. Das aus den Kernwaffenversuchen stammende  $^{134}\text{Cs}$  kann als vollständig zerfallen gelten. Welcher Bruchteil der  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität der Bodenprobe ist auf die Kernwaffenversuche zurückzuführen?

### 3. Freie Neutronen

Um Neutronen abzubremsen, wird in Kernreaktoren oft Wasser als Moderator verwendet.

4

- a) Warum ist Wasser zum Abbremsen von schnellen Neutronen gut geeignet?

Bei bestimmten Kernreaktoren (z. B. vom Tschernobyltyp) wird Graphit als Moderator eingesetzt.

5

- b) Bei einem zentralen elastischen Stoß mit einem  $^{12}\text{C}$ -Kern verliert ein Neutron etwa 29 % seiner kinetischen Energie (Nachweis nicht verlangt). Wie viele solcher Stöße sind mindestens nötig, um ein Neutron von 1 MeV auf unter 1 eV kinetischer Energie abzubremsen?

Zum Nachweis thermischer Neutronen kann ein Zählrohr dienen, das eine borhaltige Gasfüllung enthält. Der Einfang eines langsamen Neutrons durch  $^{10}\text{B}$  führt zu einer Kernreaktion, bei der ein energiereiches  $\alpha$ -Teilchen entsteht.

5

- c) Geben Sie die betreffende Reaktionsgleichung an und begründen Sie, warum ein Zählrohr mit Bor-Gasfüllung gut zum Nachweis thermischer Neutronen geeignet ist.

BE

## L Ph 5

### 1. Experimente mit Spulen

In der physikalischen Sammlung einer Schule stehen mehrere gleich lange Zylinderspulen mit bekannter Induktivität  $L$  zur Verfügung.

- 5 a) Zeigen Sie, dass für die magnetische Flussdichte  $B$  im Inneren einer stromdurchflossenen, lang gestreckten Zylinderspule gilt:

$$B = \sqrt{\frac{\mu_0 L}{A \ell}} I$$

$A$  bezeichnet die Querschnittsfläche der Spule,  $\ell$  ihre Länge und  $I$  die durch sie fließende Stromstärke.

Die magnetische Flussdichte  $B$  im Inneren einer Spule soll mit einer Hallsonde gemessen werden.

- 7 b) Erläutern Sie an Hand einer beschrifteten Skizze Aufbau und Funktionsweise einer Hallsonde. Gehen Sie insbesondere auf die elektrische Beschaltung und die Orientierung des Sensors bezüglich des Magnetfelds ein.

In den beiden folgenden Messreihen werden Spulen der einheitlichen Länge  $\ell = 16 \text{ cm}$  mit der Stromstärke  $I = 0,80 \text{ A}$  betrieben. In Abhängigkeit von  $A$  und  $L$  wird die Flussdichte  $B$  gemessen:

Messreihe 1 bei konstanter Induktivität  $L = 90 \mu\text{H}$ :

A in $\text{mm}^2$	400	530	800	1260
B in mT	1,05	0,91	0,73	0,60

Messreihe 2 bei konstanter Querschnittsfläche  $A = 530 \text{ mm}^2$ :

L in $\mu\text{H}$	24	90	210	330
B in mT	0,47	0,91	1,40	1,73

- 6 c) Stellen Sie die Messreihe 1 in einem  $\frac{1}{\sqrt{A}}$ -B-Diagramm dar und erläutern Sie, inwiefern der Graph die Beziehung von Teilaufgabe 1a bestätigt.
- 6 d) Bestätigen Sie analog zu Teilaufgabe 1c die Beziehung zwischen  $B$  und  $L$  durch Auftragung der Werte der Messreihe 2 in einem geeigneten Diagramm.
- 6 e) Bestimmen Sie mit Hilfe des Diagramms von Teilaufgabe 1d die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$  und berechnen Sie die prozentuale Abweichung vom Literaturwert.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

## 2. Radionuklide in der Medizintechnik

Die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) wird zur verbesserten Diagnostik von Tumoren eingesetzt. Dabei wird dem Patienten Glukose verabreicht, die mit einem Positronenstrahler markiert ist. Dieses Präparat verteilt sich im Körper und reichert sich in Tumoren an. Ein häufig benutztes Radioisotop ist  $^{18}\text{F}$  mit der Atommasse 18,000938 u. Bei  $^{18}\text{F}$  treten überwiegend  $\beta^+$ -Zerfälle auf, wobei die Halbwertszeit  $T_{1/2} = 110$  Minuten beträgt.

- 7 a) Stellen Sie die Reaktionsgleichung für den  $\beta^+$ -Zerfall von  $^{18}\text{F}$  auf. Bestimmen Sie die freigesetzte Energie  $Q$  einschließlich der Strahlung durch die Vernichtung des Elektron-Positron-Paares. Welche maximale kinetische Energie erhält das frei gesetzte Positron? [zur Kontrolle:  $Q = 1,66$  MeV]
- 6 b) Wieviel Zeit darf zwischen der Herstellung des  $^{18}\text{F}$ -Präparats und der Verabreichung an den Patienten höchstens vergehen, wenn die Aktivität dann noch mindestens ein Drittel der Anfangsaktivität betragen soll?
- 3 c) Nach dem Zerfall wird das Positron nach wenigen Millimetern im Gewebe abgebremst und zerstrahlt mit einem Elektron unter Aussendung von zwei  $\gamma$ -Quanten. Begründen Sie, dass sich die  $\gamma$ -Quanten in entgegengesetzte Richtungen ausbreiten.
- 5 d) Ringförmig um den Patienten befindet sich ein System aus vielen Detektoren. Zusammen mit einer schnellen Messelektronik ist es möglich, jeweils die Auftrefforte von zwei  $\gamma$ -Quanten zu registrieren, die bei einem gemeinsamen Zerstrahlungsprozess entstanden sind. Erläutern Sie an Hand einer Skizze, wie aus einer Vielzahl solcher  $\gamma$ -Quanten-Paare der Ort eines Tumors vom Computer ermittelt werden kann.
- 9 e) Für eine PET-Untersuchung an einem 70 kg schweren Patienten ist die Verabreichung einer  $^{18}\text{F}$ -Anfangsaktivität von 400 MBq vorgesehen. Für die folgenden Überlegungen ist vereinfachend davon auszugehen, dass sich das  $^{18}\text{F}$ -Präparat zwei Stunden lang im Körper befindet und dabei zerfällt. Die „Bestrahlung“ endet nach dieser Zeitspanne durch Ausscheiden des Präparats mit dem Urin.  
Schätzen Sie die mittlere Aktivität während dieser Zeit grob ab und bestimmen Sie daraus die Äquivalentdosis  $H$  im Körper des Patienten. Verwenden Sie als Bewertungsfaktor  $q = 1$  und gehen Sie davon aus, dass im Mittel die Hälfte der Zerfallsenergie und die Hälfte der Energie der  $\gamma$ -Quanten im Körper absorbiert wird.  
Beurteilen Sie durch den Vergleich Ihres Ergebnisses mit den nebenstehenden Tabellenwerten, ob eine PET uneingeschränkt zur Tumordiagnose zu empfehlen ist.

	H/mSv
Interkontinentalflug, 10 h	0,04
natürliche Strahlung, jährlich	2,4