

# Abiturprüfung 2017

## 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

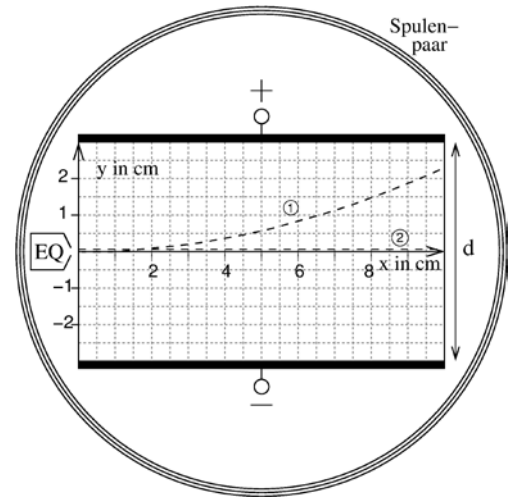
zur Bearbeitung aus.

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

**Name:** \_\_\_\_\_

## 1. Elektronen in elektrischen und magnetischen Feldern

Mit dem skizzierten Versuchsaufbau können Elektronenbahnen in elektrischen und magnetischen Feldern untersucht werden. In einem evakuierten Glaskolben befinden sich ein Plattenkondensator (Plattenabstand  $d = 6,0 \text{ cm}$ ) und eine Elektronenquelle (EQ). In dieser wird durch Anlegen einer Beschleunigungsspannung  $U_B$  ein Strahl von Elektronen der Geschwindigkeit  $v_0$  erzeugt, der parallel zu den Platten mittig in den Kondensator eintritt. Auf einem Leuchtschirm der Länge  $10 \text{ cm}$  wird die Bahn der Elektronen sichtbar.



- 9 a) Erläutern Sie mithilfe einer beschrifteten Skizze das Funktionsprinzip einer für den Versuch geeigneten Elektronenquelle. Leiten Sie die Formel

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m_e} \cdot U_B}$$

her und begründen Sie, dass diese für  $U_B = 1,5 \text{ kV}$  sinnvoll verwendet werden kann.

Zunächst wird durch Anlegen einer Ablenkspannung  $U_A$  an die Kondensatorplatten nur ein elektrisches Feld erzeugt. Vereinfachend wird angenommen, dass es homogen und auf den Bereich des Leuchtschirms begrenzt ist.

- 9 b) Leiten Sie aus den Bewegungsgleichungen für die x- und für die y-Richtung (siehe Abbildung) die Gleichung der Bahnparabel  $y(x) = \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_A}{U_B} \cdot x^2$  her.

Bestimmen Sie für  $U_B = 1,5 \text{ kV}$  die zu Bahn ① gehörende Ablenkspannung  $U_A$ .

- 6 c) Ein Schüler behauptet: „Schnellere Elektronen bewegen sich immer auf einer flacheren Bahn!“ Die Lehrkraft dreht an den Knöpfen der Spannungsquellen und meint: „Falsch gedacht!“ Formulieren Sie je eine mögliche Argumentation des Schülers und der Lehrkraft.

Durch das Spulenpaar fließt nun ein Strom, der im Bereich des Plattenkondensators ein homogenes magnetisches Feld erzeugt. Die Stromstärke wird so eingestellt, dass sich die Elektronen längs der x-Achse bewegen (Bahn ②).

- 8 d) Ergänzen Sie in der Abbildung die Orientierung des Magnetfelds und die Bewegungsrichtung der Elektronen in den Spulen. Weisen Sie nach, dass für  $U_B = 1,5 \text{ kV}$  und  $U_A = 0,84 \text{ kV}$  die magnetische Flussdichte  $B = 0,61 \text{ mT}$  beträgt.

Schließlich wird die Spannungsquelle des Plattenkondensators ausgeschaltet. Als Bahn der Elektronen ergibt sich nun ein Kreisbogen mit Radius 21 cm.

- e) Beschreiben und erklären Sie die Veränderung der Elektronenbahn, wenn man die Stromstärke im Spulenpaar erhöht.
- f) Um einen größeren Ausschnitt des Kreisbogens auf dem Leuchtschirm darstellen zu können, wird sein Radius auf 3,0 cm verkleinert. Skizzieren Sie den Bogen in der Abbildung und bestimmen Sie ein sinnvolles Wertepaar ( $U_B$  |  $B$ ), bei dem sich dieser Radius ergibt.

## 2. Reale elektromagnetische Schwingung

Im Unterricht soll der zeitliche Verlauf der Spannung in einem elektromagnetischen Schwingkreis aufgezeichnet werden. Dafür stehen unter anderem ein Kondensator mit der Aufschrift  $C = 40 \mu\text{F}$ , eine Spule der Induktivität  $L = 630 \text{ H}$ , eine Gleichspannungsquelle, ein Schalter sowie ein geeignetes Spannungsmessgerät zur Verfügung.

- a) Skizzieren Sie einen geeigneten, vollständig beschrifteten Versuchsaufbau.
- b) Zeigen Sie, dass für den Schwingkreis eine Periodendauer von 1,0 s zu erwarten ist.
- c) Aus der Messung erhält man den abgebildeten Spannungsverlauf. Bestimmen Sie mithilfe des Diagramms einen möglichst genauen Wert für die im Versuch aufgetretene Periodendauer.

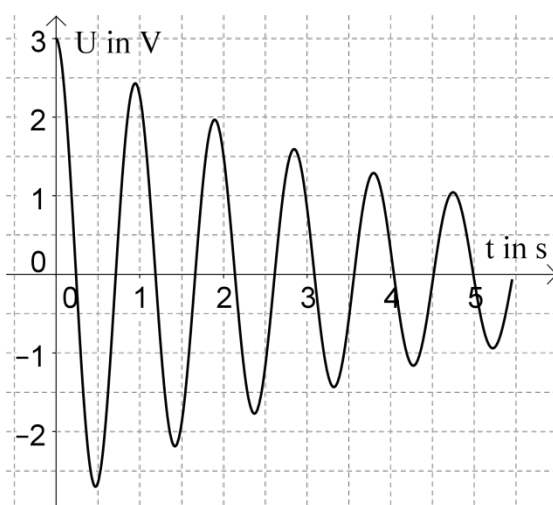
[zur Kontrolle:  $T_{\text{exp}} = 0,95 \text{ s}$ ]

- d) Ein Schüler vermutet, dass der ohmsche Widerstand  $R$  der Spule für die Abweichung zwischen den beiden Werten verantwortlich ist. Er findet in einer Formelsammlung für die Frequenz  $f$  eines gedämpften elektromagnetischen Schwingkreises die Formel

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}.$$

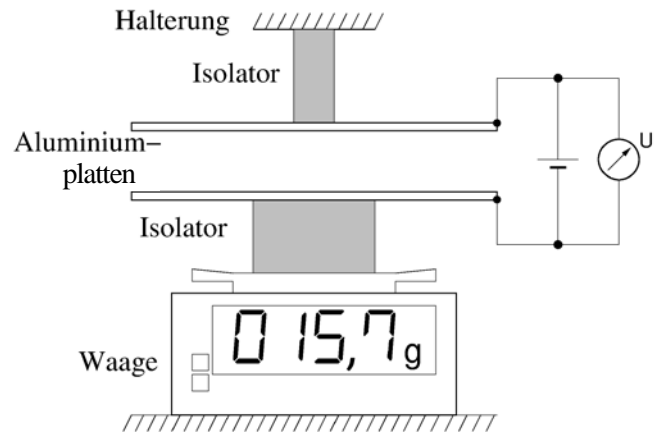
Die im Versuch verwendete Spule hat einen Widerstand von  $R = 280 \Omega$ . Zeigen Sie rechnerisch, dass der Unterschied zwischen den Werten nicht auf den Spulenwiderstand zurückgeführt werden kann.

- e) Bei nochmaliger Betrachtung des Kondensators stellt der Schüler fest, dass für die Kapazität eine Abweichung von bis zu 10 % angegeben ist. Überprüfen Sie durch Rechnung, ob damit die Abweichung des experimentellen Werts von der theoretischen Schwingungsdauer erklärt werden kann.



### 1. Plattenkondensator

Die quadratischen Platten eines Kondensators haben die Seitenlänge  $a = 28,0 \text{ cm}$  und den Abstand  $d = 6,0 \text{ mm}$ . Im geladenen Zustand ziehen sie sich mit einer Kraft  $F$  an. Diese wird mithilfe einer Präzisionswaage in Abhängigkeit von der Kondensatorspannung  $U$  bestimmt (siehe Abbildung). Es kann angenommen werden, dass sich der Abstand  $d$  während der Messung nicht ändert.



U in kV	1,1	1,9	3,0	4,0
F in mN	12	35	86	154

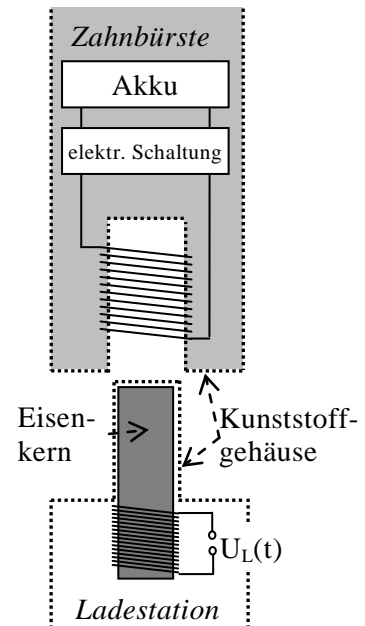
- 3 a) Zeigen Sie, dass die Kapazität des Kondensators  $C = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ F}$  beträgt.
- 5 b) Erläutern Sie ausgehend von einer Kräftebetrachtung, wie mithilfe des Versuchsaufbaus die Kraft  $F$  bestimmt wird.
- 6 c) Die abgebildete Tabelle enthält Wertepaare für  $U$  und  $F$ . Zeigen Sie, dass diese den Zusammenhang  $F = K \cdot U^2$  bestätigen, wobei  $K$  eine Konstante ist. Ermitteln Sie einen möglichst genauen experimentellen Wert  $K_{\text{exp}}$  für die Konstante.  
[zur Kontrolle:  $K_{\text{exp}} = 9,7 \cdot 10^{-9} \text{ N/V}^2$ ]

Aus theoretischen Überlegungen ergibt sich für die Kraft  $F$  der Zusammenhang  $F = \frac{1}{2} \cdot E \cdot Q$ . Dabei bezeichnet  $E$  die elektrische Feldstärke im Kondensator und  $Q$  seine Ladung.

- 5 d) Zeigen Sie exemplarisch anhand eines Wertepaares, dass die Versuchsergebnisse diesen Zusammenhang bestätigen.
- 8 e) Weisen Sie nach, dass für die Konstante  $K$  die Beziehung  $K = \frac{\epsilon_0}{2} \cdot \frac{a^2}{d^2}$  gilt und berechnen Sie damit den theoretisch zu erwartenden Wert  $K_{\text{th}}$ . Untersuchen Sie, ob eine Messungenauigkeit bei der Bestimmung des Plattenabstands von  $\Delta d = 0,10 \text{ mm}$  den Unterschied zwischen  $K_{\text{th}}$  und  $K_{\text{exp}}$  erklären kann.
- 4 f) Bei einer Wiederholung des Experiments wird die ungeladene untere Platte versehentlich nicht mit der Spannungsquelle verbunden. Erläutern Sie die Auswirkung auf den Versuch.

## 2. Elektrische Zahnbürste

Im Rahmen einer W-Seminar-Arbeit wird das Funktionsprinzip einer elektrischen Zahnbürste untersucht. Deren Ladestation besteht im Wesentlichen aus einer Spule mit Eisenkern, an die eine Wechselspannung  $U_L$  angelegt wird. Dadurch wird im Eisenkern ein magnetisches Wechselfeld  $B$  der Frequenz  $f$  erzeugt, das näherungsweise durch  $B(t) = B_0 \cdot \cos(2\pi f t)$  beschrieben wird. Stellt man die Zahnbürste auf die Ladestation, so wird die in der Zahnbürste eingebaute Spule auf den Eisenkern gesteckt. Diese Sekundärspule ist über eine elektrische Schaltung mit einem Akku verbunden.



- 5 a) Erläutern Sie, dass in der Sekundärspule eine Spannung induziert wird. Gehen Sie dabei auch kurz auf die Funktion des Eisenkerns ein.

In der Ladestation wird die Frequenz von 50 Hz (Haushaltsnetz) auf die Frequenz  $f = 24 \text{ kHz}$  erhöht. Der Scheitelwert der Flussdichte beträgt  $B_0 = 1,5 \text{ mT}$ . Die vom Magnetfeld durchsetzte Fläche der Sekundärspule (Windungszahl  $N$ ) beträgt  $A = 0,80 \text{ cm}^2$ .

- 5 b) Zeigen Sie, dass für die in der Sekundärspule induzierte Spannung gilt:  

$$U(t) = N \cdot B_0 \cdot A \cdot 2\pi f \cdot \sin(2\pi f \cdot t).$$

Im Weiteren soll der Scheitelwert der induzierten Spannung 1,7 V betragen.

- 3 c) Berechnen Sie die nötige Windungszahl  $N$ .
- 5 d) Untersuchen Sie, ob man die Sekundärspule in der Praxis so modifizieren kann, dass die Zahnbürste direkt mit der Netzfrequenz 50 Hz geladen werden kann. Nehmen Sie an, dass sich der Scheitelwert  $B_0$  nicht verändert.

In der Seminararbeit soll auch untersucht werden, ob als Energiespeicher der Akku durch einen Kondensator der Kapazität 10 F ersetzt werden kann. Dazu wird die Zahnbürste gegen eine selbstgewickelte Spule ausgetauscht, an deren Enden der Kondensator angeschlossen wird.

- 5 e) Der Schüler stellt fest, dass der Kondensator mithilfe dieser Anordnung nicht geladen wird. Erklären Sie diese Beobachtung und beschreiben Sie daran anknüpfend eine Funktion der in der Zahnbürste eingebauten elektrischen Schaltung.
- 2 f) Berechnen Sie den Energieinhalt des Kondensators, wenn dieser mit einer konstanten Spannung von 1,7 V geladen ist. [zur Kontrolle: 14 J]
- 4 g) Für den Betrieb der Zahnbürste ist ein Elektromotor mit der mittleren Leistung 1,1 W eingebaut. Begründen Sie, dass der Kondensator aus Teilaufgabe 2f als Ersatz für den Akku nicht geeignet ist.

## Ph 12 – 1

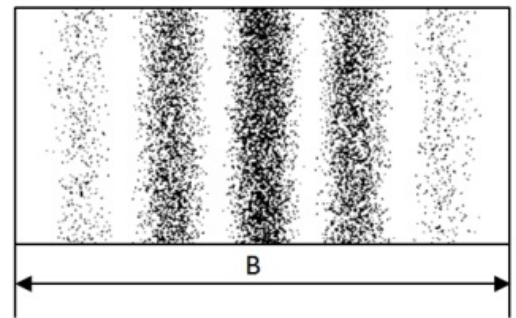
### 1. Elektronen am Doppelspalt

Ein Elektronenstrahl wird auf einen Doppelspalt gerichtet, dessen Spaltmitten den Abstand 272 nm haben. Hinter dem Doppelspalt werden die Auftrefforte der Elektronen auf einem Phosphorschirm registriert.

- 5 a) Die Elektronen haben eine kinetische Energie von 0,60 keV. Zeigen Sie, dass ihre de-Broglie-Wellenlänge 50 pm beträgt.

Auf dem Schirm beobachtet man das unten dargestellte Interferenzbild.

- 8 b) Zeigen Sie, dass der Abstand eines Maximums 2. Ordnung vom Maximum 0. Ordnung auf dem Phosphorschirm  $x_2 = 0,29$  mm beträgt, wenn dieser in einem Abstand von 80 cm von der Doppelspalt-ebene positioniert ist. Bestimmen Sie näherungsweise die tatsächliche Breite B des vergrößert abgebildeten Phosphorschirms.



- 4 c) Nun soll in einem weiteren Experiment mittels einer Messvorrichtung untersucht werden, welchen der beiden Spalte ein Elektron jeweils passiert. Beschreiben Sie kurz, welche Auswirkung diese Messung auf die Intensitätsverteilung auf dem Schirm hat.
- 5 d) Der Physiker Richard P. Feynman sagte 1963: „Historically, the electron, for example, was thought to behave like a particle, and then it was found that in many respects it behaved like a wave. So it really behaves like neither. Now we have given up. We say: It is like neither.”<sup>1</sup> [neither: „keines von beiden”]

Erläutern Sie dieses Zitat unter Bezugnahme auf das Doppelspaltexperiment.

### 2. Ein historisches Experiment zur Radioaktivität

Marie und Pierre Curie haben im Jahr 1898 bei ihren Experimenten das Element Radium entdeckt.  $^{226}\text{Ra}$  kommt in der natürlichen Uran-Radium-Zerfallsreihe vor, in der es aus  $^{230}\text{Th}$  durch  $\alpha$ -Zerfall entsteht. Darüber hinaus kann  $^{226}\text{Ra}$  auch durch einen  $\beta^-$ -Zerfall entstehen.

- 6 a) Geben Sie die beiden Zerfallsgleichungen an und berechnen Sie die bei dem  $\alpha$ -Zerfall frei werdende Energie.

Die Einheit der Aktivität war ursprünglich nach Marie Curie benannt: Unter einem Curie (1 Ci) verstand man die Aktivität von einem Gramm  $^{226}\text{Ra}$ . Bis 1985 war diese Einheit in Gebrauch und wurde dann durch das Becquerel (Bq) ersetzt.

- 6 b) Rechnen Sie die Aktivität 1 Ci in die Einheit Bq um.

(Fortsetzung nächste Seite)

- 5 c) Eine Studentin möchte ein von Curie durchgeführtes Experiment zur Bestimmung der Aktivität einer  $^{226}\text{Ra}$ -Probe nachstellen. Hierzu positioniert sie in 60 cm Entfernung von der Probe einen Zinksulfidschirm (Flächeninhalt  $0,1 \text{ mm}^2$ ). Auf diesem Schirm erzeugen auftreffende  $\alpha$ -Teilchen Lichtblitze, die mit einer Lupe beobachtet und gezählt werden können. Erläutern Sie, warum erst nach einer Veränderung des Versuchsaufbaus Lichtblitze beobachtet werden. Beschreiben Sie kurz zwei zusätzliche Probleme, die bei der Abschätzung der Aktivität der Probe auftreten können.

### 3. Altersbestimmung von Zirkonen

Zirkone sind Minerale, deren Entstehungszeitpunkt mit der Uran-Blei-Methode bestimmt werden kann. Daraus lässt sich oftmals auch das Alter des Gesteins ermitteln, in welchem sie enthalten sind. Die Uran-Blei-Methode basiert darauf, dass  $^{238}\text{U}$  über mehrere Zwischenprodukte in das stabile  $^{206}\text{Pb}$  zerfällt.

- 3 a) Erklären Sie, dass  $^{232}\text{Th}$  kein Zwischenprodukt dieser Zerfallsreihe sein kann.

Die Zerfallsreihe kann in guter Näherung als direkter Zerfall von  $^{238}\text{U}$  nach  $^{206}\text{Pb}$  mit einer Halbwertszeit  $T$  von 4,5 Milliarden Jahren beschrieben werden.  $N_{\text{Pb}}(t)$  bezeichnet die Anzahl der  $^{206}\text{Pb}$ -Atome und  $N_{\text{U}}(t)$  die Anzahl der  $^{238}\text{U}$ -Atome in einer Gesteinsprobe zur Zeit  $t$  nach der Entstehung des Minerals. Es soll vereinfachend angenommen werden, dass zum Zeitpunkt der Entstehung kein Blei in der Probe vorhanden war.

- 4 b) Begründen Sie den Zusammenhang  $N_{\text{Pb}}(t) = N_0 - N_{\text{U}}(t)$ . Gehen Sie insbesondere darauf ein, wofür die Konstante  $N_0$  steht.

Für das Verhältnis der Teilchenzahlen in Abhängigkeit von der Zeit ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Werte.

$t$	0	$0,5 \cdot T$	$T$	$2 \cdot T$	$3 \cdot T$
$\frac{N_{\text{Pb}}(t)}{N_{\text{U}}(t)}$	0	0,41	1	3	7

- 4 c) Begründen Sie ohne Rechnung, dass die Werte dieses Verhältnisses mit der Zeit zunehmen.
- 5 d) Bestätigen Sie für  $t = 3 \cdot T$  den Wert von  $N_{\text{Pb}}/N_{\text{U}}$  in der Tabelle.
- 5 e) Für die untersuchte Gesteinsprobe wird ein Verhältnis von  $N_{\text{Pb}}/N_{\text{U}} = 0,75$  gemessen. Erstellen Sie anhand der Tabelle ein Diagramm, in welchem das Verhältnis  $N_{\text{Pb}}$  zu  $N_{\text{U}}$  in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt wird, und bestimmen Sie graphisch das Alter des Minerals.

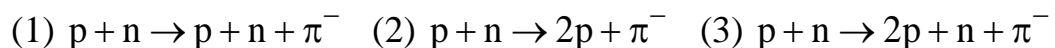
## Ph 12 – 2

### 1. Myonische Bleiatome

Das Myon ist ein Elementarteilchen, das wie das Elektron eine negative Elementarladung trägt und zu den Leptonen gehört. Seine Ruhemasse  $m_\mu$  beträgt das 207-fache der Ruhemasse des Elektrons.

In Teilchenbeschleunigern werden Myonen z. B. dadurch erzeugt, dass man Neutronen in schweren Kernen mit hochenergetischen Protonen beschießt. Dabei entstehen zunächst einfach negativ geladene  $\pi^-$ -Mesonen, die aus zwei Quarks der 1. Generation (up-, down-Quark und deren Antiteilchen) bestehen.

- 2 a) Geben Sie die Zusammensetzung des  $\pi^-$ -Mesons aus Quarks an.
- 4 b) Proton und Neutron gehören zu den Baryonen. Die Baryonenzahl, die bei Kernreaktionen eine Erhaltungsgröße darstellt, beträgt bei Protonen und Neutronen 1, bei  $\pi^-$ -Mesonen 0. Identifizieren Sie unter Verwendung von Erhaltungssätzen die Gleichung, welche die Erzeugung eines  $\pi^-$ -Mesons richtig beschreibt, und begründen Sie Ihre Entscheidung.

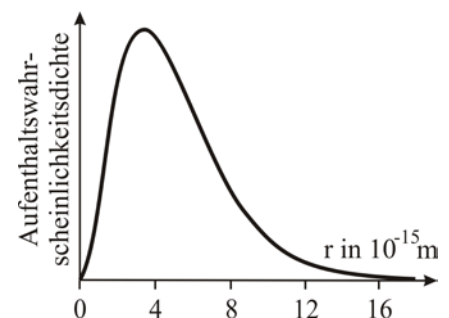


Die  $\pi^-$ -Mesonen zerfallen nach kurzer Zeit hauptsächlich in Myonen. Ein Myon kann in der Hülle eines Atoms ein Elektron ersetzen, so dass ein sog. myonisches Atom entsteht. Trotz der kurzen Lebensdauer der Myonen können myonische Atome spektroskopisch untersucht werden.

Näherungsweise gilt für die Energiewerte  $E_n$  der Zustände eines myonischen

Atoms mit Kernladungszahl  $Z$ : 
$$E_n = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{m_\mu}{m_e} \cdot Z^2 \cdot \frac{1}{n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

- 5 c) Zeichnen Sie das Energieniveauschema eines myonischen Bleiatoms bis einschließlich der Hauptquantenzahl  $n = 3$  in einem geeigneten Maßstab.
- 5 d) Berechnen Sie Frequenz und Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung, die beim Übergang  $n = 2 \rightarrow n = 1$  emittiert wird. Ordnen Sie diese Strahlung in das elektromagnetische Spektrum ein.
- 7 e) Die Abbildung zeigt für  $n = 1$  die Wahrscheinlichkeitsdichte, ein Myon im Abstand  $r$  vom Mittelpunkt des Bleikerns anzutreffen. Berechnen Sie näherungsweise den Kernradius für  $^{207}\text{Pb}$  und begründen Sie mithilfe der Abbildung, dass das an den Kern gebundene Myon sehr schnell von diesem absorbiert werden kann. Bei einer solchen Absorption reagiert das Myon mit einem Proton unter Aussendung eines Neutrinos  $\nu_\mu$  und eines weiteren Teilchens. Stellen Sie hierzu die Reaktionsgleichung auf.



(Fortsetzung nächste Seite)



## 2. Positronen-Emissions-Tomographie

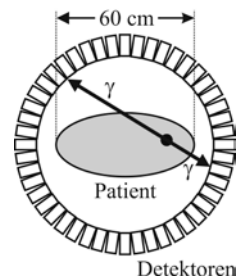
Die Positronen-Emissions-Tomographie ist ein medizinisches Diagnoseverfahren. Hierbei wird z. B. das Isotop  $^{18}\text{F}$  (Atommasse 18,000937 u) in eine Trägersubstanz eingebaut, die dem Patienten verabreicht wird und sich verstärkt in Tumorzellen anreichert.  $^{18}\text{F}$  zerfällt mit einer Halbwertszeit von 110 min, die Zerfallsgleichung lautet  $^{18}\text{F} \rightarrow ^{18}\text{O} + e^+ + \nu_e$ .

- a) Begründen Sie, dass zunächst ein negativ geladenes Sauerstoffion entsteht.
- b) Berechnen Sie die bei diesem Zerfallsprozess frei werdende Energie Q und erklären Sie, warum die kinetische Energie der meisten Positronen deutlich geringer als dieser berechnete Energiewert ist. [zur Kontrolle:  $Q = 0,632 \text{ MeV}$ ]

Das beim Zerfall emittierte Positron wird im Gewebe rasch abgebremst und zerstrahlt mit einem Elektron zu zwei  $\gamma$ -Quanten identischer Energie.

- c) Gehen Sie davon aus, dass die Teilchen vor der Zerstrahlung ruhen. Begründen Sie, dass die zwei  $\gamma$ -Quanten in entgegengesetzte Richtungen ausgesandt werden und dass ihre Energie zusammen 1,02 MeV beträgt.

Um den Patienten sind Detektoren ringförmig angebracht (siehe Abbildung). Nach jeder Zerstrahlung registrieren zwei Detektoren je ein  $\gamma$ -Quant. Damit die Signale zweier Detektoren derselben Zerstrahlung zugeordnet werden können, müssen diese innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne  $\Delta t$  registriert werden.



- d) Erläutern Sie, wie mit dieser Apparatur der Ort von Tumorzellen bestimmt werden könnte.
- e) Schätzen Sie mithilfe der Abbildung ab, wie groß  $\Delta t$  mindestens sein muss, um Tumorzellen des angedeuteten Patienten in allen Körperregionen lokalisieren zu können. Nehmen Sie vereinfachend an, dass sich die  $\gamma$ -Quanten im Körper mit Lichtgeschwindigkeit bewegen.

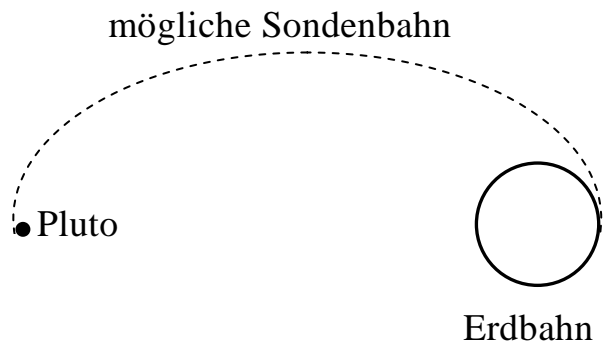
Ein Patient bekommt eine Lösung mit einer Aktivität von 400 MBq verabreicht.

- f) Ermitteln Sie die Masse an  $^{18}\text{F}$ , die zu Beginn in der Lösung enthalten war.
- g) Für eine grobe Abschätzung der Strahlenbelastung des Patienten ( $m = 80 \text{ kg}$ ) soll angenommen werden, dass sich das  $^{18}\text{F}$ -Präparat 110 min im Körper befindet, bevor es vollständig ausgeschieden wird, und dass die mittlere Aktivität während dieser Zeit 300 MBq beträgt. Gehen Sie weiter davon aus, dass die Hälfte der Zerfallsenergie und die Hälfte der Energie der  $\gamma$ -Quanten vom Körper absorbiert werden. Bestimmen Sie die Äquivalentdosis H im Körper und vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Wert von 4,0 mSv für die durchschnittliche jährliche Strahlenbelastung.

## Ph 12 – Astrophysik 1

### 1. Mission „New Horizons“

Am 24.07.2015 passierte die NASA-Sonde „New Horizons“, die am 18.01.2006 gestartet war, den Zwergplaneten Pluto. Beim Vorbeiflug befanden sich Pluto und New Horizons in einer Sonnenentfernung von 33 AE.



- 4 a) Eine mögliche Bahn der Sonde von der Erde zum Pluto ist eine Ellipse, wie in der nicht maßstäblichen Abbildung dargestellt. Beschreiben Sie die Lage der Sonne in dieser Ellipse und begründen Sie, dass die große Halbachse der Bahn 17 AE beträgt.
- 5 b) Berechnen Sie die Flugdauer für diese Ellipsenbahn und vergleichen Sie diese mit der tatsächlichen Flugdauer, die durch ein Swing-by-Manöver am Jupiter erreicht wurde.

Beim Vorbeiflug befanden sich Pluto und New Horizons in einer Erdentfernung von 32 AE. Um die gewonnenen Daten vom Pluto zur Erde zu senden, verwendete New Horizons einen Sender mit einer Sendeleistung von 12 W.

- 5 c) Bestimmen Sie die Bestrahlungsstärke durch das Signal bei der Ankunft auf der Erde, wenn es gleichmäßig in den Raum abgestrahlt wurde. Geben Sie eine Möglichkeit an, bei gleicher Sendeleistung ein stärkeres Signal zu erhalten.

Die Abbildung zeigt Pluto (rechts) und seinen Mond Charon (links) in einer zusammengesetzten Aufnahme der „New Horizons“-Sonde. Die Größen- und Helligkeitsverhältnisse sind richtig dargestellt, der Abstand zwischen den Himmelskörpern jedoch nicht.



- 6 d) Die Oberflächentemperaturen von Pluto und Charon unterscheiden sich deutlich. Vergleichen Sie das Reflexionsvermögen der beiden Himmelskörper anhand der Abbildung. Entscheiden Sie, welcher von beiden die kleinere Oberflächentemperatur hat, und begründen Sie Ihre Entscheidung. Gehen Sie dazu davon aus, dass die beiden Himmelskörper mit ihrer gesamten Oberfläche gleichmäßig abstrahlen und sich im Strahlungsgleichgewicht befinden.

(Fortsetzung nächste Seite)

- |   |   |
|---|---|
| 5 | e) Bestimmen Sie anhand der Abbildung näherungsweise das Verhältnis der Durchmesser von Pluto und Charon und ermitteln Sie anschließend damit das Verhältnis der Massen unter der Annahme, dass beide die gleiche Dichte haben, d. h. das gleiche Verhältnis von Masse und Volumen. |
| 6 | f) Es sollen die Einzelmassen von Pluto und Charon bestimmt werden. Geben Sie an, welche Daten des Systems Pluto-Charon zu bestimmen sind, und beschreiben Sie, wie mit diesen und dem Ergebnis der Teilaufgabe 1e die Einzelmassen berechnet werden können.                        |

## 2. Der Eulennebel

Der Eulennebel M97 ist ein planetarischer Nebel im Sternbild Großer Wagen. Die Entfernung des Eulennebels beträgt  $2 \cdot 10^3$  Lj, seine scheinbare Helligkeit 9,9. In seinem Zentrum befindet sich ein sehr heißer Stern mit einer Oberflächentemperatur von  $85 \cdot 10^3$  K und der scheinbaren Helligkeit 16. Von der Erde aus misst man für den fast kugelförmigen Nebel einen Winkeldurchmesser von  $3,3'$ . Das Gas des Nebels breitet sich radial mit einer Expansionsgeschwindigkeit von ca. 40 km/s aus.

- |   |   |
|---|---|
| 4 | a) Für einen Erdbeobachter auf dem 50. Breitengrad erscheint der Eulennebel als zirkumpolares Objekt. Erklären Sie, was man unter Zirkumpolarität versteht, und geben Sie den daraus für den Nebel resultierenden maximalen Winkelabstand vom Himmelsnordpol an.      |
| 4 | b) Beurteilen Sie, ob der Eulennebel mit bloßem Auge sichtbar ist, und berechnen Sie den Durchmesser $d$ des Eulennebels.<br>[zur Kontrolle: $d = 2$ Lj]  |
| 5 | c) Schätzen Sie mithilfe der angegebenen Daten das Alter des Eulennebels ab. Erläutern Sie, welche Vereinfachung Sie dafür vornehmen.   |
| 6 | d) Berechnen Sie die Leuchtkraft des Zentralsterns. Beschreiben Sie seine Lage im Hertzsprung-Russell-Diagramm im Vergleich zur Sonne und ordnen Sie ihn einer Sternklasse zu.  |
| 3 | e) Bestimmen Sie die Wellenlänge, bei der die maximale Strahlungsleistung des Zentralsterns vorliegt, und ordnen Sie diese einem Bereich des elektromagnetischen Spektrums zu.  |
| 7 | f) Erläutern Sie den Entstehungsprozess eines planetarischen Nebels. Gehen Sie insbesondere darauf ein, dass solche Nebel neben Wasserstoff und Helium einen nicht vernachlässigbaren Anteil an schwereren Elementen wie Kohlenstoff und Sauerstoff enthalten können. |

## Ph 12 – Astrophysik 2

### 1. Itokawa

Der 1998 entdeckte Asteroid Itokawa gehört zu den Apollo-Asteroiden, einer Gruppe von Asteroiden, die der Erde besonders nahe kommen.

Daten von Itokawa:

Umlaufzeit:  $T = 556 \text{ d}$

Numerische Exzentrizität:  $\varepsilon = 0,28$

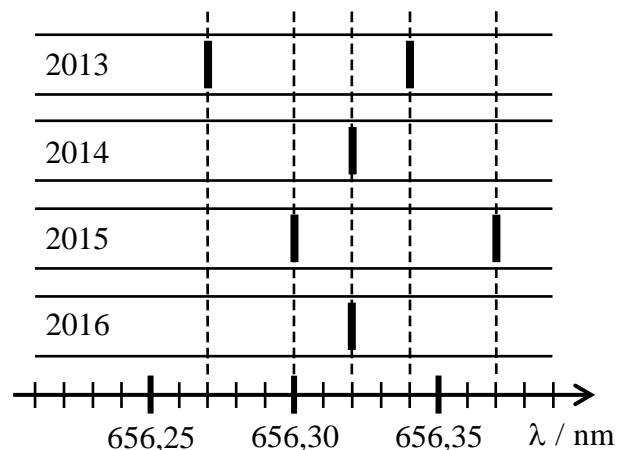
Mittlerer Radius:  $R = 0,40 \text{ km}$

Fallbeschleunigung an der Oberfläche:  $g = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$

- 2 a) Nennen Sie zwei Unterschiede zwischen Asteroiden und Planeten.
- 6 b) Berechnen Sie die große Halbachse  $a$  der Itokawa-Bahn. Untersuchen Sie, ob Itokawa die Erdbahn kreuzen kann.  
[zur Kontrolle:  $a = 1,32 \text{ AE}$ ]
- 4 c) Obwohl die Erde deutlich größer ist als der Mond, befinden sich auf der Erdoberfläche vergleichsweise wenige Einschlagkrater von Objekten aus dem Weltall. Erklären Sie diese Diskrepanz.
- 5 d) Berechnen Sie mithilfe der Formelsammlung die Fluchtgeschwindigkeit  $v$  von Itokawa und ermitteln Sie, welche Höhe ein Körper mit dieser Startgeschwindigkeit auf der Erde maximal erreichen kann.  
[zur Kontrolle:  $v = 0,11 \text{ m/s}$ ]

### 2. Spektroskopische Untersuchungen eines Doppelsterns

In der Abbildung ist jeweils die  $H_\alpha$ -Linie im Spektrum der beiden Komponenten eines Doppelsternsystems für vier aufeinanderfolgende Jahre im zeitlichen Abstand von jeweils genau einem Jahr markiert. Nehmen Sie vereinfachend an, dass sich die beiden Sterne auf Kreisbahnen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt bewegen und dass die Erde in der gemeinsamen Bahnebene liegt.



- 5 a) Erklären Sie, warum im Jahr 2013 die  $H_\alpha$ -Linie im Spektrum der beiden Sterne bei unterschiedlichen Wellenlängen beobachtet wird. Begründen Sie, dass die Umlaufdauer  $T$  des Systems  $T = 4,0 \text{ a}$  beträgt.
- 4 b) Beschriften Sie in der Abbildung die Linien, die zum massereicheren Stern gehören, mit A, die Linien, die zum masseärmeren Stern gehören, mit B und begründen Sie Ihre Entscheidung.

(Fortsetzung nächste Seite)

- 5 c) Zeigen Sie, dass die Bahngeschwindigkeit des massereicheren Sterns um den gemeinsamen Schwerpunkt  $v_A = 9,1 \text{ km/s}$  beträgt, und berechnen Sie den Bahnradius  $r_A$  des massereicheren Sterns.  
[zur Kontrolle :  $r_A = 1,8 \cdot 10^8 \text{ km}$ ]
- 7 d) Begründen Sie, dass  $\frac{r_A}{r_B} = \frac{2}{5}$  gilt. Berechnen Sie die Gesamtmasse  $M = m_A + m_B$  des Doppelsternsystems.
- 2 e) Die gemessene Wellenlänge der  $H_\alpha$ - Linie in den Jahren 2014 und 2016 ist etwas größer als der Laborwert der Linie. Geben Sie einen Grund dafür an.

### 3. Pistolenstern

Der Pistolenstern befindet sich im sogenannten Pistolennebel im Sternbild Schütze. Er wurde Anfang der 1990er Jahre mithilfe des Hubble-Weltraumteleskops entdeckt. In den astronomischen Veröffentlichungen wurde er als der „hellste Stern der Milchstraße“ bezeichnet.

Daten des Pistolensterns:

Entfernung:  $25 \cdot 10^3 \text{ Lj}$

Scheinbare Helligkeit: 7,5

Oberflächentemperatur:  $14 \cdot 10^3 \text{ K}$

Leuchtkraft:  $1,7 \cdot 10^6 L_\odot$

- 7 a) Berechnen Sie aus der Entfernung und der Leuchtkraft die scheinbare Helligkeit des Pistolensterns und geben Sie einen möglichen Grund an, warum der berechnete Wert vom oben angegebenen Wert abweicht.
- 4 b) Berechnen Sie die vom Pistolenstern jährlich durch Strahlung abgegebene Masse und vergleichen Sie das Ergebnis mit der Erdmasse.
- 4 c) Berechnen Sie den Radius des Pistolensterns in Vielfachen des Sonnenradius.
- 5 d) Die Masse des Pistolensterns wird auf 150 Sonnenmassen geschätzt. Erläutern Sie ausgehend vom Zeitpunkt des Verlassens der Hauptreihe bis zum erwarteten Endstadium die weiteren Entwicklungsschritte eines Sterns dieser Masse.