

# **Abiturprüfung 2010**

## **PHYSIK**

als Grundkursfach

**Arbeitszeit: 180 Minuten**

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

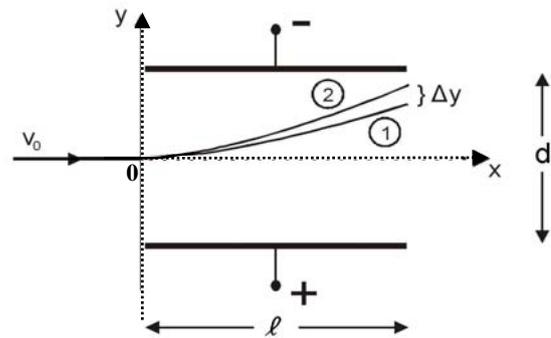
**G Ph 1**

**1. Trennung von Isotopen**

Ein Teilchenstrahl enthält einfach positiv geladene Ionen der Kohlenstoffisotope  $^{12}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}$ . Die Massen der Isotope betragen  $m_{12} = 1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  und  $m_{14} = 2,33 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ .

- 5 a) Erklären Sie Aufbau und Funktionsweise eines Filters, der es ermöglicht, einen Strahl von Ionen identischer Geschwindigkeit  $v_0$  zu erzeugen.

Alle so gefilterten Ionen haben die Geschwindigkeit  $v_0 = 2,8 \cdot 10^5 \text{ m/s}$  und gelangen als gebündelter Strahl in die Mittelebene eines Plattenkondensators mit der Länge  $\ell = 20,0 \text{ cm}$  und dem Plattenabstand  $d = 4,0 \text{ cm}$ , an dem die Ablenkspannung  $U = 250 \text{ V}$  anliegt. Die Anordnung ermöglicht eine Trennung der beiden Isotope.



- 6 b) Berechnen Sie, welche Beschleunigungen die Ionen der Kohlenstoffisotope  $^{12}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}$  durch das homogene Feld des Kondensators erfahren.
- 7 c) Zeigen Sie, dass für die Bewegung der Ionen innerhalb des homogenen Kondensatorfeldes die Bahngleichung  $y = \frac{eU}{2mdv_0^2} \cdot x^2$  gilt.

Erläutern Sie, welche der skizzierten Bahnen welchem Isotop zugeordnet werden muss.

- 4 d) Berechnen Sie die Differenz  $\Delta y$  der y-Koordinaten der beiden Isotope nach Durchlaufen des Kondensators.
- 5 e) Die getrennten Ionenstrahlen können den Kondensator nur dann verlassen, wenn die Ablenkspannung  $U$  kleiner als eine obere Grenze  $U_{\text{max}}$  ist. Berechnen Sie den Wert von  $U_{\text{max}}$ .

Anstelle eines elektrischen Feldes kann zur Trennung der beiden Teilchenarten auch ein homogenes Magnetfeld verwendet werden.

- 5 f) Erstellen Sie eine Skizze mit Richtung der magnetischen Feldlinien und den entsprechenden Bahnkurven der Isotope. Begründen Sie Ihre Zuordnung der Bahnkurven zu den Isotopen.
- 4 g) Beschreiben Sie die Unterschiede hinsichtlich Bahnform und Geschwindigkeitsbetrag der Teilchen bei Trennung im elektrischen bzw. magnetischen Feld.

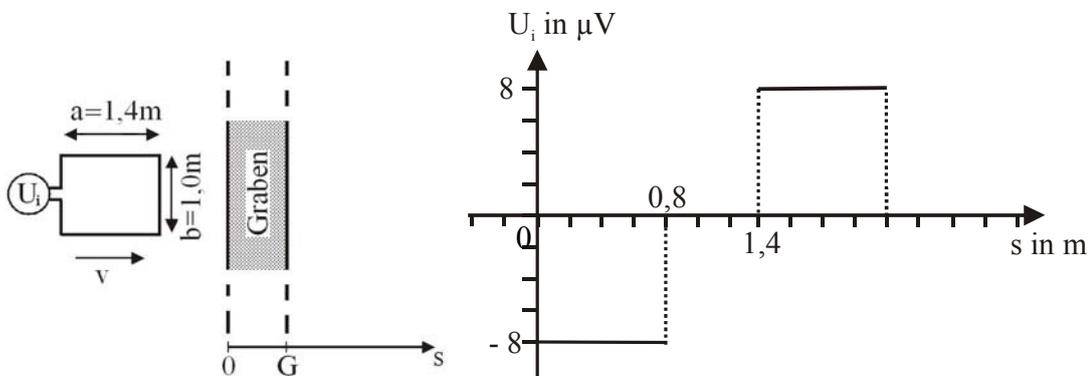
## 2. Erdmagnetfeld und Archäologie

Eine Untersuchung des Erdmagnetfelds ist für verschiedene Wissenschaften aufschlussreich.

- 7 a) Die Flussdichte des Erdmagnetfelds kann zum Beispiel mithilfe einer Hallsonde bestimmt werden. Erklären Sie das Zustandekommen einer Hallspannung anhand einer Skizze und zeigen Sie, dass die Hallspannung direkt proportional zur magnetischen Flussdichte  $B$  ist.

In der Archäologie lassen sich durch Analyse des Erdmagnetfelds die Grundrisse ehemaliger Bebauungen ermitteln, da zum Beispiel Material, das zur Auffüllung eines Grabens verwendet wurde, eine lokale Veränderung des Magnetfelds verursachen kann. Ein mögliches Verfahren, diese Veränderung nachzuweisen, ist das folgende:

Eine flache, rechteckige Spule (Maße siehe Skizze) wird als liegende Induktionsschleife mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  parallel zur Erdoberfläche über das Gelände bewegt. Dabei misst man die Induktionsspannung  $U_i$  und ermittelt für einen verschütteten Graben der Breite  $G = 0,80$  m einen Verlauf von  $U_i$  wie im untenstehenden Diagramm dargestellt. Die magnetische Flussdichte im Bereich des Grabens soll dabei als homogen vorausgesetzt werden.



- 9 b) Erläutern Sie knapp, unter welchen Bedingungen in einer Spule eine Spannung induziert wird, und erklären Sie damit den Verlauf der Induktionsspannung in obigem Diagramm.

In einem zweiten Versuch wird ein quadratischer Drahtrahmen mit Seitenlänge  $0,50$  m mit der gleichen Geschwindigkeit  $v$  über den Graben geführt.

- 8 c) Zeichnen Sie das zu erwartende  $s$ - $U_i$ -Diagramm für diesen Fall in ein geeignetes Koordinatensystem und erläutern Sie, wie die Breite des Grabens auch mit der kleineren Spule bestimmt werden kann.

## G Ph 2

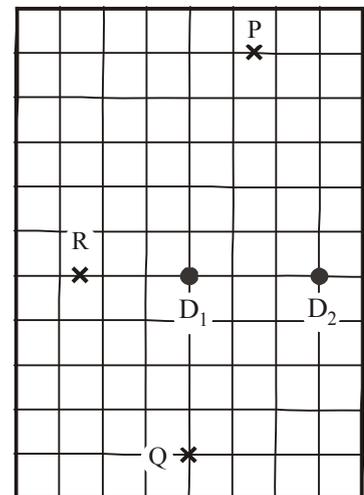
### 1. Elektromagnetische Wellen

Zur Übertragung von Nachrichten werden seit Guglielmo Marconi (1874 – 1937) elektromagnetische Wellen mit Frequenzen bis in den GHz-Bereich verwendet.

- 3 a) Bestimmen Sie die Länge eines Dipols, der auf die im Amateurfunk häufig benutzte Frequenz von 145 MHz abgestimmt ist.
- 4 b) Die vom Dipol in der Grundschiwingung abgestrahlten Wellen sollen von einem zweiten Dipol in größerer Entfernung empfangen werden. Nennen Sie zwei Bedingungen, die eingehalten werden müssen, damit der Empfang optimal ist.

Die nebenstehende Abbildung zeigt zwei baugleiche, senkrecht zur Zeichenebene aufgestellte Sendedipole  $D_1$  und  $D_2$  im Abstand  $\overline{D_1D_2} = 1,5 \lambda$ .

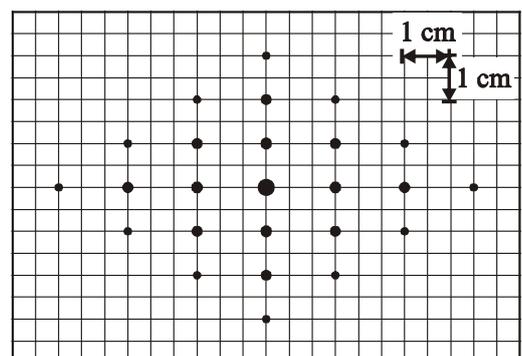
- 6 c) Die Dipole werden gleichphasig zu Schwingungen angeregt. Untersuchen Sie qualitativ die Empfangsstärken an den Stellen P, Q und R.
- 3 d) Geben Sie an, inwiefern sich die Empfangsintensitäten an diesen Stellen ändern, wenn die Dipole gegenphasig schwingen.



### 2. Optische Gitter

- 7 a) Beschreiben Sie einen Versuch zur Bestimmung der Wellenlänge eines Lasers mithilfe eines optischen Gitters. Geben Sie an, welche Größen gemessen werden bzw. bekannt sein müssen, und zeigen Sie auf, wie  $\lambda$  daraus berechnet werden kann.
- 4 b) Welche Vorteile ergeben sich bei Verwendung eines Gitters im Vergleich zu einem Doppelspalt?

Zur Aufnahme der nebenstehenden Interferenzfigur wurden zwei Strichgitter verwendet, die unmittelbar hintereinander so aufgestellt wurden, dass die Gitterlinien senkrecht zueinander ausgerichtet sind. Der Abstand der Gitter zum Schirm ist deutlich größer als ein Meter.



(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 5 c) Bestimmen Sie das Verhältnis der beiden Gitterkonstanten und entscheiden Sie, ob bei dem Gitter mit dem größeren Strichabstand die Gitterlinien waagrecht oder senkrecht liegen. Begründen Sie Ihre Antwort!
- 5 d) Bestimmen Sie die Gitterkonstante  $b$  des Gitters, dessen Linien waagrecht liegen, wenn der Abstand zwischen Gitter und Schirm  $a = 1,5$  m beträgt und Licht der Wellenlänge  $\lambda = 630$  nm verwendet wird.

### 3. Energieübertragung mit Magnetfeldern

Nach einer Meldung der Süddeutschen Zeitung vom 27.11.2008 kann elektrische Energie „durch die Luft“ übertragen werden. Dazu hat der amerikanische Physiker Marin Soljacic zwei Spulen im Abstand von zwei Metern aufgestellt. Die eine Spule gibt Energie ab und wird als „Sendespule“ bezeichnet, die andere Spule ist die „Empfangsspule“.

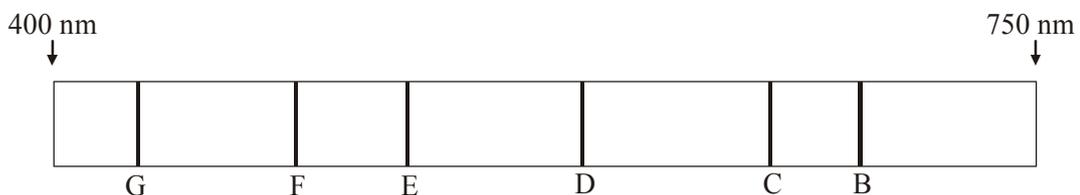
- 6 a) Schildern Sie, wie prinzipiell Energie von einer Spule auf eine andere übertragen werden kann. Gehen Sie auch darauf ein, warum Gleichstrom dabei nicht geeignet ist. Wie sollten die beiden Spulen zueinander orientiert sein, damit die Energieübertragung möglichst effektiv ist?
- Durch die Sendespule mit der Induktivität  $L = 25 \mu\text{H}$  fließt ein Wechselstrom der Frequenz  $f = 10$  MHz. Sie gibt dabei in jeder Sekunde die Energie  $400$  J ab, hat also eine „Sendeleistung“ von  $P = 400$  W.
- 6 b) Zur Abschätzung der maximalen Stromstärke  $I_0$  in der Sendespule wird davon ausgegangen, dass die Sendespule während einer Schwingungsperiode doppelt so viel Energie abgibt, wie ihre maximale magnetische Energie beträgt. Zeigen Sie, dass dann für die Leistung  $P$  der Zusammenhang  $P = L I_0^2 f$  gilt und berechnen Sie daraus  $I_0$ .
- 6 c) Über die Empfangsspule wird eine 60-Watt-Glühlampe betrieben. Bestimmen Sie den Wirkungsgrad der Energieübertragung. Wie könnte diese Art der Energieübertragung Verwendung finden? Diskutieren Sie kurz, welche Nachteile dabei in Kauf zu nehmen wären.
- 5 d) Sende- und Empfangsanordnung können auch als in Resonanz gestimmte Schwingkreise aufgefasst werden. Berechnen Sie die Kapazität des „Sendeschwingkreises“.

### G Ph 3

#### 1. Sonnenspektrum

Im Jahre 1814 entdeckte Joseph von Fraunhofer im Sonnenspektrum dunkle Linien. Diese Linien entstehen durch Absorption von Licht bestimmter Wellenlängen.

- 8 a) Erläutern Sie dieses Phänomen anhand eines Demonstrationsversuchs.  
In der folgenden Abbildung ist die Lage einiger Fraunhofer'scher Linien in einem linearen Maßstab dargestellt. Fraunhofer hat die wichtigsten Linien mit Großbuchstaben gekennzeichnet.



- 5 b) Bestimmen Sie aus der Abbildung die Wellenlänge für die B-Linie. In welchem Farbbereich liegt sie?
- 4 c) Die B-Linie findet man bei der Untersuchung des Sonnenlichts auf der Erdoberfläche, nicht aber in der Raumstation ISS. Geben Sie hierfür einen möglichen Grund an.

Man findet im Sonnenspektrum auch dunkle Linien, die der Balmerreihe des Wasserstoffs zuzuordnen sind.

- 7 d) Berechnen Sie die zwei Wellenlängen der Balmerreihe, die zum energieärmsten Licht dieser Serie gehören, und ordnen Sie diese den entsprechenden Fraunhoferlinien in der Abbildung zu.
- 4 e) Welche Aussage können Sie aufgrund der Existenz der Balmer-Absorptionslinien über die Wasserstoffatome auf der Sonnenoberfläche treffen?

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

## 2. Materiewellen

Bei einem Doppelspaltversuch treffen Elektronen mit der Materiewellenlänge  $\lambda = 30 \text{ nm}$  auf einen Doppelspalt mit dem Spaltmittenabstand  $b = 6,2 \text{ nm}$ .

- 7 a) Berechnen Sie für die Wellenlänge  $\lambda$  nichtrelativistisch die Geschwindigkeit  $v$  der Elektronen und die erforderliche Beschleunigungsspannung, die die anfangs ruhenden Elektronen durchlaufen müssen, um diese Geschwindigkeit zu erreichen. [zur Kontrolle  $v = 2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ ]
- 4 b) Der Abstand zwischen Schirm und Doppelspalt beträgt  $\ell = 1,00 \text{ m}$ . Berechnen Sie den Abstand  $x$  zwischen dem 0. und 1. Interferenzmaximum. Die Impulsunschärfe  $\Delta p_x$  senkrecht zur Flugrichtung lässt sich mithilfe der Unschärferelation  $\Delta x \cdot \Delta p_x \approx h$  abschätzen. Legen Sie als Ortsunschärfe  $\Delta x$  den Spaltmittenabstand  $b$  zugrunde.
- 4 c) Berechnen Sie die Impulsunschärfe  $\Delta p_x$  und die zugehörige Geschwindigkeitskomponente  $\Delta v_x$  senkrecht zur Flugrichtung. [zur Kontrolle:  $\Delta v_x \approx 1,2 \cdot 10^2 \text{ m/s}$ ]
- 4 d) Um die Konsequenzen der Unschärferelation für den Fall des Doppelspalts zu veranschaulichen, soll nun ein klassisches Teilchen betrachtet werden, das am Doppelspalt die in Teilaufgabe 2c berechnete Geschwindigkeitskomponente  $\Delta v_x$  besitzt. Berechnen Sie den Abstand zwischen dem Auftreffort eines solchen Teilchens und dem Auftreffort eines Teilchens ohne eine solche Geschwindigkeitskomponente auf dem Schirm und vergleichen Sie mit den Abmessungen des Interferenzmusters.
- 4 e) Der Interferenzversuch wird mit so wenigen Elektronen durchgeführt, dass die Auftreffpunkte der einzelnen Teilchen auf dem Schirm nachweisbar sind. Dabei wird der Doppelspalt dem Elektronenstrahl so kurz ausgesetzt, dass praktisch alle verwendeten Elektronen gleichzeitig durch den Doppelspalt treten. Beschreiben Sie anhand einer Skizze das zu erwartende Schirmbild.
- 5 f) Nun wird der Versuch so durchgeführt, dass zwar die gleiche Elektronenzahl wie in Teilaufgabe 2e auf dem Schirm auftritt, allerdings über einen so deutlich längeren Zeitraum verteilt, dass sich im Bereich des Doppelspaltes stets nur ein Elektron befindet. Beschreiben Sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten bei der Entstehung des zu erwartenden Schirmbilds im Vergleich zu Teilaufgabe 2e. Erläutern Sie, ob und ggf. wie sich die Schirmbilder nach Abschluss der beiden Versuche unterscheiden. Welchen Einfluss hat die Wechselwirkung der Elektronen untereinander auf das Schirmbild?
- 4 g) Man kann ein ähnliches Schirmbild wie in Teilaufgabe 2e auch mit Licht erzeugen. Welche Bedingungen muss das dabei verwendete Licht erfüllen?

## G Ph 4

### 1. Der natürliche Kernreaktor in Oklo

In einem Kilogramm natürlich vorkommenden Urans sind 7,1 g des Isotops  $^{235}\text{U}$  enthalten, der Rest besteht im Wesentlichen aus dem Isotop  $^{238}\text{U}$ .

- 8 a) Berechnen Sie die Aktivität von 1,0 kg natürlichem Uran.  
Die Halbwertszeiten von  $^{238}\text{U}$  und  $^{235}\text{U}$  sind sehr groß, sodass sich die Anzahl der Nuklide während eines Menschenlebens nicht merklich ändert.
- 5 b) Erläutern Sie, wie man die Halbwertszeit von langlebigen Isotopen experimentell ermitteln kann.
- 3 c) Geben Sie an, vor wie vielen Jahren es viermal soviel  $^{235}\text{U}$  wie heute gab.
- 5 d) Erklären Sie, warum der Anteil von  $^{235}\text{U}$  am gesamten Uranvorkommen damals deutlich größer war als heute.  
Vor zwei Milliarden Jahren lag der Anteil von  $^{235}\text{U}$  bei etwa 3,6 %. Uran in diesem Verhältnis ist kernreaktorfähig. Tatsächlich wird vermutet, dass in Oklo, einer afrikanischen Erzlagerstätte mit sehr großem Uranvorkommen, ein natürlicher Kernreaktor in Betrieb war. Ein Indiz dafür ist der erhöhte Anteil von  $^{143}\text{Nd}$  am natürlichen Neodymvorkommen. Dies könnte durch Vorgänge entstanden sein, die im Folgenden näher beleuchtet werden.
- 3 e) Trifft ein thermisches Neutron auf einen  $^{235}\text{U}$ -Kern, können zum Beispiel ein  $^{143}\text{Ba}$ -Kern, ein weiterer Tochterkern und drei freie Neutronen entstehen. Geben Sie die Reaktionsgleichung an.
- 4 f) Die Atommasse von  $^{143}\text{Ba}$  beträgt 142,92062 u, die des anderen Tochterkerns 89,919524 u. Berechnen Sie daraus die bei der in Teilaufgabe 1e betrachteten Spaltreaktion freiwerdende Energie.
- 3 g) Der  $^{143}\text{Ba}$ -Kern zerfällt in mehreren Schritten in das stabile Isotop  $^{143}\text{Nd}$ . Begründen Sie, welche Zerfälle dabei auftreten können.
- 3 h) Pro gespaltenem  $^{235}\text{U}$ -Kern werden insgesamt ca. 198 MeV frei. Dieser Wert liegt deutlich über dem in Teilaufgabe 1f ermittelten Wert. Woher stammt die restliche Energie?
- 7 i) Vermutlich wurden in dem natürlichen Reaktor in Oklo über einen Zeitraum von etwa 500 000 Jahren ca. fünf Tonnen  $^{235}\text{U}$  gespalten. Berechnen Sie daraus die durchschnittliche Leistung des Reaktors und schätzen Sie ab, wie viele Menschen unserer zivilisierten Welt (täglicher Energiebedarf pro Person etwa 0,36 GJ) mit einem Kraftwerk dieser Leistung versorgt werden könnten.
- 4 j) In die Uranerzlagerstätte konnte damals Wasser eindringen. Erläutern Sie kurz, warum dies für die Aufrechterhaltung des „Reaktorbetriebs“ notwendig war. (Fortsetzung nächste Seite)

BE

## 2. Plutonium 244 – das schwerste natürlich vorkommende Element

Lange Zeit hielt man Uran für das schwerste natürlich vorkommende Element, bis im Jahr 1971  $^{244}\text{Pu}$  entdeckt wurde.

- 2 a) Ermitteln Sie, zu welcher natürlichen Zerfallsreihe  $^{244}\text{Pu}$  gehört.
- 5 b) Bestimmen Sie die Zahl der  $\alpha$ - und der  $\beta^-$ -Zerfälle von  $^{244}\text{Pu}$  bis zum ersten Isotop, das in der Formelsammlung zu dieser Zerfallsreihe angegeben wird.
- 4 c) Bei den  $\alpha$ -Zerfällen werden neben  $\alpha$ -Teilchen auch  $\gamma$ -Quanten frei. Erklären Sie das Auftreten der  $\gamma$ -Quanten.
- 4 d) Obwohl zwischen Mutter- und Tochterkernen stets die gleiche Energiedifferenz besteht, haben die emittierten Elektronen beim  $\beta^-$ -Zerfall unterschiedliche Energien. Nehmen Sie zu diesem vermeintlichen Widerspruch Stellung.

## G Ph 5

### 1. Die Rosetta-Mission

Am 27. Februar 2004 wurde von der European Space Agency (ESA) die Sonde Rosetta gestartet. Sie wird im Jahr 2014 den Kometen Tschurjumov-Gerasimenko erreichen. Rosetta soll den Kometenkern, der die Masse  $m_{TG} = 3,35 \cdot 10^{13}$  kg hat, auf einer kreisförmigen Bahn mit Radius  $r = 3$  km umrunden und auf ihm einen Lander der Masse  $m_L = 100$  kg absetzen. Für die Bahn des Kometen Tschurjumov-Gerasimenko um die Sonne gelten die folgenden Daten: Umlaufzeit  $T = 6,56$  a; numerische Exzentrizität  $\varepsilon = 0,60$ .

- 6 a) Berechnen Sie die Länge  $a$  der großen Halbachse sowie die Aphel-  
distanz  $r_A$  und die Periheldistanz  $r_P$  der Kometenbahn.  
[zur Kontrolle:  $r_P = 1,4$  AE]
- 5 b) Berechnen Sie die Bahngeschwindigkeit  $v_P$  des Kometen Tschurjumov-  
Gerasimenko im Perihel und begründen Sie, warum diese deutlich größer  
als die Aphelgeschwindigkeit ist.
- 4 c) Berechnen Sie die Umlaufdauer  $T_R$  von Rosetta um den Kometen.  
Für die Dichte des Kometenkerns nimmt man an, dass sie etwa gleich der von  
Eis ( $\rho_{Eis} = 9 \cdot 10^2$  kg/m<sup>3</sup>) ist.
- 5 d) Erläutern Sie kurz den Aufbau eines Kometen, sein Verhalten in  
Sonnennähe und begründen Sie, warum die Annahme über die Dichte  
sinnvoll ist.
- 4 e) Berechnen Sie den Radius  $r_{TG}$  des Kometenkerns, wenn dieser als  
kugelförmig angenommen wird. [zur Kontrolle:  $r_{TG} = 2$  km]
- 5 f) Berechnen Sie die Gravitationskraft zwischen Lander und Kometenkern,  
wenn der Lander auf dessen Oberfläche aufgesetzt hat und begründen  
Sie, warum der Lander mithilfe einer Harpune landen und mit Bohrern  
befestigt werden muss.

Der Komet Tschurjumov-Gerasimenko hatte bis zum Jahr 1840 eine Perihel-  
distanz von 4 AE, diese änderte sich innerhalb kurzer Zeit auf 3 AE. Seit  
1959 beträgt die Periheldistanz nur noch 1,4 AE.

- 4 g) Durch welchen Prozess können solch sprunghafte Änderungen der  
Umlaufbahn bewirkt werden?

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

## 2. Die Sonne

Die Energie, die die Sonne abstrahlt, wird durch kernphysikalische Prozesse in ihrem Zentrum freigesetzt.

- 4 a) Erläutern Sie allgemein zwei Formen des Energietransports, die in der Sonne eine wesentliche Rolle spielen.
- 6 b) Beschreiben Sie den Aufbau der Sonne unter Angabe der Größenverhältnisse und gehen Sie dabei auf den Energietransport ein.
- 4 c) Charakterisieren Sie die Eigenschaften der Sonnenkorona.  
Das Spektrum der Sonne gibt Aufschluss über viele ihrer Eigenschaften.
- 5 d) Erklären Sie das Zustandekommen von Absorptionslinien im Spektrum.
- 3 e) Die Sonne rotiert an ihrem Äquator in 25 Tagen einmal um ihre eigene Achse. Berechnen Sie die Rotationsgeschwindigkeit  $v$  am Sonnenäquator.  
[zur Kontrolle:  $v = 2,0 \text{ km/s}$ ]

Vergleicht man zwei Spektren, von denen das eine am linken und das andere am rechten Rand des Sonnenäquators aufgenommen wurde, so sind entsprechende Absorptionslinien gegeneinander verschoben.

- 5 f) Erklären Sie dieses Phänomen und berechnen Sie die maximal mögliche Verschiebung der  $H_\alpha$ -Linie (Laborwellenlänge  $\lambda_0 = 656,5 \text{ nm}$ ) zwischen beiden Spektren.

## G Ph 6

### 1. Der Stern $\eta$ Carinae

Der blaue Riesenstern  $\eta$  Carinae im Sternbild Carina (Schiffskiel) gehört zu den rätselhaften Objekten in der Milchstraße.

Angaben zu  $\eta$  Carinae:

Entfernung:  $r = 7,5 \cdot 10^3$  Lj

Oberflächentemperatur:  $T = 3,8 \cdot 10^4$  K

derzeitige Masse:  $m_\eta = 1,1 \cdot 10^2 m_\odot$

- 4 a) Berechnen Sie die zum Maximum der spektralen Intensitätsverteilung von  $\eta$  Carinae gehörende Wellenlänge  $\lambda_m$  und geben Sie an, in welchem Spektralbereich diese liegt.

Bei  $\eta$  Carinae wurden in unregelmäßigen Abständen Veränderungen der scheinbaren Helligkeit beobachtet, die mit gewaltigen Energiefreisetzungen des Sterns in Verbindung stehen. Nach einem derartigen Ausbruch stieg die scheinbare Helligkeit von  $\eta$  Carinae im Jahr 1843 auf  $m_C = -0,8$  an.

- 7 b) Zeigen Sie, dass die Leuchtkraft von  $\eta$  Carinae im Verlauf dieses Ausbruchs einen Wert von  $9 \cdot 10^6$  Sonnenleuchtkräften erreichte.

- 3 c) In welchem Zeitraum strahlte der Stern in dieser Ausbruchphase ebensoviel Energie ab wie die Sonne in einem Jahr?

Aktuelle Aufnahmen zeigen  $\eta$  Carinae umgeben von einem sich ausbreitenden Gas- und Staubnebel. Der scheinbare Durchmesser des Nebels beträgt etwa  $18''$ , seine Ausbreitungsgeschwindigkeit liegt bei  $6,0 \cdot 10^2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ .

- 6 d) Überprüfen Sie, ob dieser Nebel auf den 1843 beobachteten Ausbruch zurückgeführt werden kann.

Auffällig ist auch, dass sich das Spektrum von  $\eta$  Carinae regelmäßig mit einer Periode von 5,52 Jahren verändert. Eine mögliche Erklärung für dieses Verhalten ist, dass es sich bei  $\eta$  Carinae um ein Doppelsternsystem handelt, bei dem der Begleitstern alle 5,52 Jahre hinter  $\eta$  Carinae verschwindet.

- 5 e) Bestimmen Sie unter den Annahmen, dass die oben angegebene Masse die Gesamtmasse des Systems ist und dass beide Sterne des Systems sich auf Kreisbahnen um den gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, den Abstand  $d$  der beiden Himmelskörper und vergleichen Sie diesen mit Größenverhältnissen im Sonnensystem.

(Fortsetzung nächste Seite)

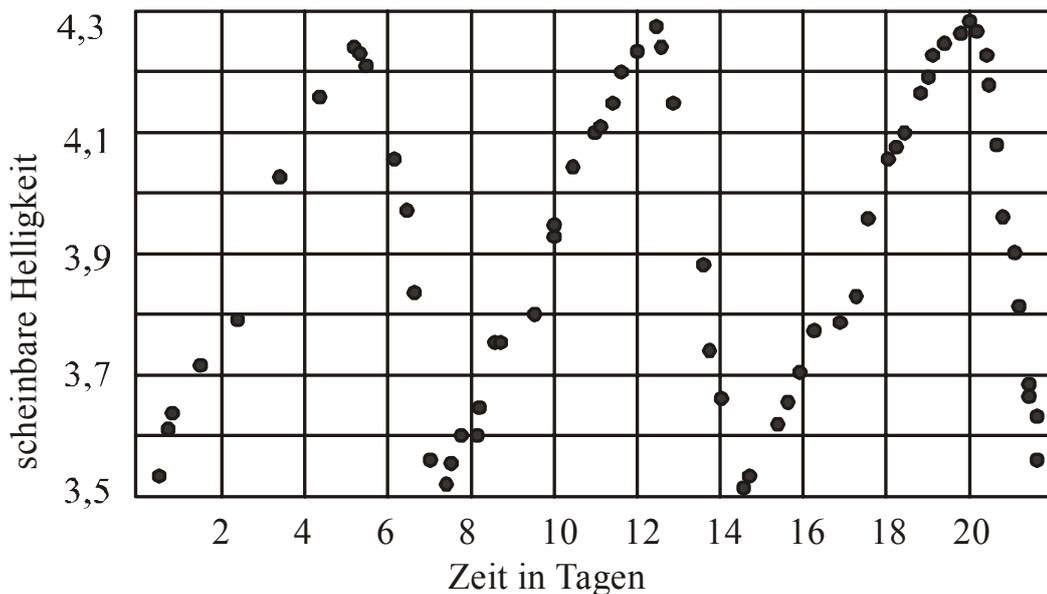
BE

Astronomen erwarten, dass  $\eta$  Carinae in einer Supernova enden wird. Für eine Abschätzung deren Helligkeit ist eine andere Supernova von Interesse, die in einer 60 Millionen Lichtjahre entfernten Galaxie beobachtet wurde und für deren Vorgängerstern ähnliche Bedingungen angenommen werden wie für  $\eta$  Carinae. Diese Supernova hatte die scheinbare Helligkeit  $m_{SN} = 15,5$ .

- 7 f) Berechnen Sie unter der Annahme, dass beide Supernovae etwa die gleiche absolute Helligkeit haben, die zu erwartende scheinbare Helligkeit der Supernova von  $\eta$  Carinae. Wird diese Supernova mit bloßem Auge sichtbar sein?

## 2. Der Stern Bezek

Bezek ( $\eta$  Aquilae) ist ein Pulsationsveränderlicher vom Typ Delta Cephei. Der Stern hat eine mittlere Oberflächentemperatur von  $5,7 \cdot 10^3$  K und befindet sich am Ende seines Riesenstadiums; das Diagramm zeigt schematisch seine Lichtkurve.



- 7 a) Beschreiben Sie die bisherige Entwicklung des Sterns.
- 10 b) Bestimmen Sie die Entfernung  $r_B$  und die mittlere Leuchtkraft  $L_B$  (in Vielfachen der Sonnenleuchtkraft) von Bezek. Entnehmen Sie die hierfür erforderlichen Angaben dem Diagramm. [zur Kontrolle:  $L_B = 2,9 \cdot 10^3 L_{\odot}$ ]
- 6 c) Berechnen Sie den mittleren Radius von Bezek in Vielfachen des Sonnenradius.
- 5 d) Erläutern Sie, welche Bedeutung die Pulsationsveränderlichen vom Typ Delta Cephei für Entfernungsbestimmungen im Weltall haben.