

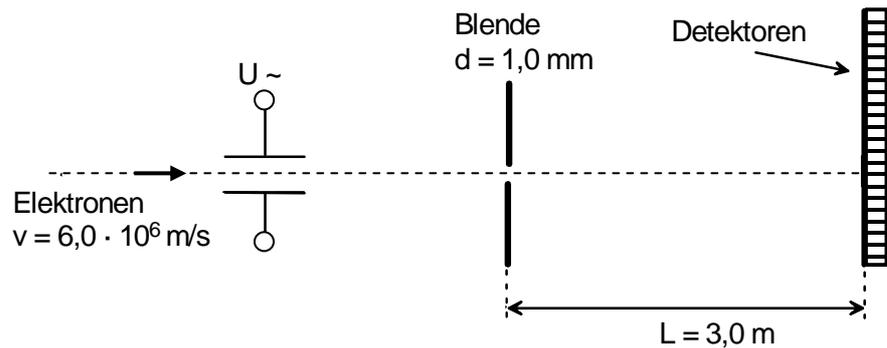
G Ph 1

1. Elektronenstrahl

Ein Elektronenstrahl enthalte Elektronen unterschiedlicher Geschwindigkeit.

- 9 a) Beschreiben und erklären Sie eingehend eine Möglichkeit, wie man daraus einen Strahl erzeugen kann, der nur Elektronen mit einer bestimmten Geschwindigkeit v_0 enthält.

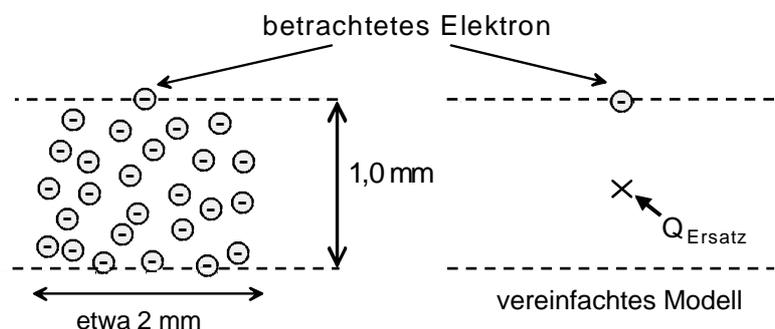
Elektronen der Geschwindigkeit $v = 6,0 \cdot 10^6$ m/s treten mittig in das homogene elektrische Feld eines Plattenkondensators (Länge 5,0 cm) ein. An



den Platten des Kondensators wird eine Wechselspannung U der Frequenz 12 kHz angelegt. Hinter dem Kondensator befindet sich eine Blende, deren Öffnung den Durchmesser $d = 1,0$ mm hat. Im Abstand $L = 3,0$ m hinter dieser Blende werden die Elektronen in Detektoren registriert (siehe Skizze).

- 6 b) Berechnen Sie die Flugzeit t_F eines Elektrons durch den Kondensator und bestätigen Sie damit, dass sich für jedes einzelne Elektron die Feldstärke während der Durchquerung nur geringfügig ändert.
- 5 c) Begründen Sie, dass bei hinreichend großem Scheitelwert der angelegten Wechselspannung nach der Blende ein gepulster Elektronenstrahl zur Verfügung steht.

Um die Aufweitung eines Elektronenpulses durch die Coulomb-Abstoßung der Elektronen untereinander abzuschätzen, wird im Folgenden ein aus 100 Elektronen bestehender Puls (Maße siehe Skizze) betrachtet. Dazu berechnet man die Kraft auf ein einzelnes Elektron am Rand des Pulses, das von der Ersatzladung Q_{Ersatz} den Abstand $\frac{d}{2}$ hat. Die Ersatzladung (Wirkung der übrigen Elektronen) ergibt sich näherungsweise durch die Gesamtladung der restlichen Elektronen in der Mitte des Pulses (siehe Skizze).



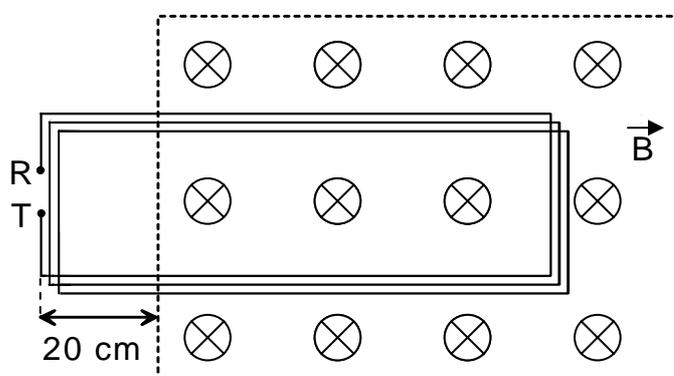
(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 6 d) Berechnen Sie die durch die Coulombkraft verursachte Beschleunigung a des betrachteten Elektrons.
- [zur Kontrolle $a = 1,0 \cdot 10^{11} \text{ m/s}^2$]
- 6 e) Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass die Kraft während der gesamten Flugdauer nach dem Passieren der Blende konstant bleibt. In welchem Abstand von der Strahlmitte trifft dann das betrachtete Elektron am Schirm auf?
- 6 f) In der Realität ändert sich die Kraft auf das betrachtete Elektron. Wie wirkt sich dies auf das Ergebnis aus? (Begründen Sie Ihre Antwort!)
- 5 g) Begründen Sie, dass sich diese Ergebnisse auch auf einen ungepulsten (durchgehenden) Elektronenstrahl übertragen lassen.

2. Induktion

Eine rechteckige Spule (Länge 80 cm, Breite 30 cm) mit 10 Windungen ist auf einem Wagen gelagert, der sich in der Zeichenebene reibungsfrei bewegen kann. Ein Teil der Spulenfläche wird senkrecht von einem homogenen, begrenzten Magnetfeld durchsetzt. Die nebenstehende Skizze zeigt die Sicht von oben. Zunächst wird der Wagen festgehalten.



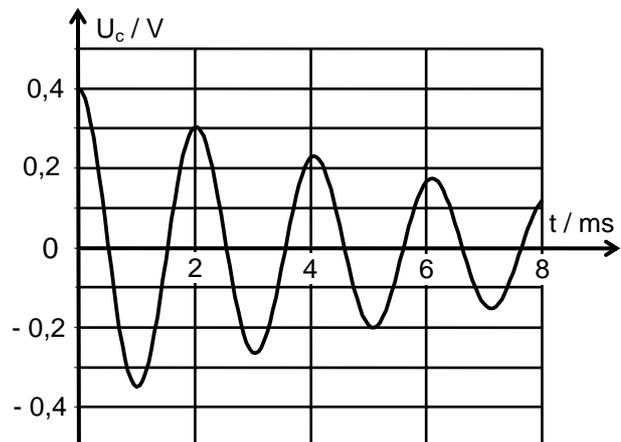
- 5 a) Die magnetische Flussdichte B steigt im Zeitintervall 0 bis 4,0 s linear von 0 bis 0,80 T an. Berechnen Sie für dieses Zeitintervall die zwischen den Spulenenden R und T auftretende Induktionsspannung U_{ind} .
- 6 b) Die Spulenenden R und T sind nun leitend verbunden, der Wagen wird immer noch festgehalten. Die magnetische Flussdichte ändert sich wie in Teilaufgabe 2a. Wie groß ist die Stromstärke während des Anwachsens der Flussdichte, wenn die Spule den Widerstand $2,0 \Omega$ besitzt? Begründen Sie, dass sich die Elektronen im Uhrzeigersinn bewegen.
- 6 c) Nun wird der Wagen nicht mehr festgehalten. Die Experimente aus 2a und 2b werden wiederholt. Begründen Sie, dass sich am Ergebnis von Teilaufgabe 2a nichts ändert. Welche Beobachtung erwarten Sie für das Experiment mit dem Aufbau von Teilaufgabe 2b (R und T leitend verbunden)?

G Ph 2

1. Elektromagnetischer Schwingkreis

An einen Kondensator mit der Kapazität $C = 300 \mu\text{F}$ ist zunächst die Spannung $U_0 = 0,40 \text{ V}$ angelegt. Die Stromquelle wird danach abgetrennt und der Kondensator über eine Spule mit der Induktivität $L = 0,35 \text{ mH}$ entladen. Während des Entladens wird der zeitliche Verlauf der Spannung U_C am Kondensator mit einem Oszilloskop dargestellt.

- 4 a) Fertigen Sie eine Schaltskizze zur Durchführung des obigen Versuchs an.
- 3 b) Berechnen Sie die Schwingungsdauer T dieses zunächst als ideal angenommenen Schwingkreises.
[zur Kontrolle: $T = 2,0 \text{ ms}$]
- 5 c) Nehmen Sie an, dass während der ersten zwei Perioden der Schwingung die Energie im Schwingkreis konstant bleibt. Berechnen Sie unter dieser Annahme den maximalen Spulenstrom I_0 in diesem Zeitraum.
[zur Kontrolle: $I_0 = 0,37 \text{ A}$]
- 8 d) Zeichnen Sie für die Annahmen aus Teilaufgabe 1c den Verlauf der Kondensatorspannung U_C und des Spulenstroms I_L in ein t - U_C - bzw. t - I_L -Diagramm. Begründen Sie, warum U_C und I_L nicht gleichzeitig ihre Maximalwerte annehmen.
- 7 e) Das nebenstehende Diagramm zeigt den realen Verlauf von U_C . Geben Sie zu den folgenden Aussagen an, ob sie richtig oder falsch sind und begründen Sie jeweils kurz Ihre Antwort.
- α) Nach 2,5 Perioden ist die Energie im Schwingkreis auf etwa 25 % der Anfangsenergie abgesunken.
- β) Das Produkt aus U_C und I_L ist zeitlich konstant.
- γ) Die Spule erwärmt sich.



2. Interferenz

Ein optisches Gitter (Gitterkonstante $b = 3,0 \mu\text{m}$) wird mit dem Licht einer Quecksilberdampfampe beleuchtet. Auf einem Schirm in der Entfernung $a = 60,0 \text{ cm}$ vom Gitter erscheint ein Spektrum in 1. Ordnung, welches zwischen der gelben ($\lambda_g = 579,1 \text{ nm}$) und der violetten ($\lambda_v = 404,7 \text{ nm}$) Linie liegt.

(Fortsetzung nächste Seite)

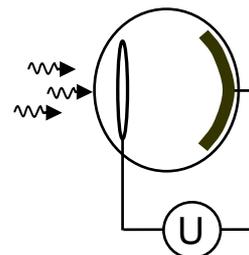
BE

Gitter und Schirm sind senkrecht zum einfallenden Licht orientiert. Auf dem Schirm soll eine Skala angebracht werden, die das direkte Ablesen der Wellenlänge von beliebigen Spektrallinien ermöglicht. Der Nullpunkt der Skala soll in der Mitte des Schirms liegen.

- 7 a) Welche Breite muss der Schirm mindestens haben, damit die Positionen der Maxima 1. Ordnung der beiden Farben auf der Skala eingezeichnet werden können?
- 6 b) In welcher Entfernung vom Nullpunkt müssen die Markierungen für 50 nm bzw. für 500 nm angebracht werden? Beurteilen Sie, ob die Skala über diesen Bereich des Schirms äquidistant unterteilt werden kann. Begründen Sie Ihre Antwort.
- 5 c) Prüfen Sie durch Rechnung, ob auf einem Schirm der Breite 24 cm auch Linien des Spektrums 2. Ordnung der Quecksilberdampfampe sichtbar sind.

3. Photoelektrischer Effekt

Eine Vakuumphotozelle wird nacheinander mit Licht unterschiedlicher Wellenlänge λ bestrahlt. Mit einem Voltmeter wird festgestellt, dass sich zwischen Kathode und Anode jeweils eine andere Spannung U einstellt.



- 8 a) Erklären Sie, warum sich die Spannung U aufbaut. Begründen Sie, dass für die Energie E_{ph} der Photonen der Zusammenhang $E_{ph} = eU + W_a$ gilt, wobei W_a die Austrittsarbeit des Kathodenmaterials ist.
- 7 b) Für die verschiedenen Wellenlängen des Lichts ergeben sich die folgenden Spannungen:

λ in nm	447	492	502
U in mV	635	390	339

Ermitteln Sie unter Verwendung aller Versuchsdaten die Planck'sche Konstante.

G Ph 3

1. Abschätzung der Atomgröße

Bei der Durchführung des so genannten Ölfleckversuchs verwendet man ein Gemisch aus Ölsäure ($C_{17}H_{33}COOH$) und Leichtbenzin, wobei der Volumenanteil der Ölsäure am Gemisch $\frac{1}{2000}$ beträgt. Zunächst entnimmt man einer

zylinderförmigen Pipette mit 1,5 cm Innendurchmesser 25 Tropfen des Gemisches. Dabei nimmt der Flüssigkeitsstand in der Pipette um 4,8 mm ab. Anschließend wird ein solcher Tropfen auf eine mit Bärlappsporen bestäubte Wasseroberfläche gebracht, wobei das Benzin verdunstet und sich ein annähernd kreisförmiger Ölsäurefleck mit einem Durchmesser von 15 cm bildet.

- 7 a) Berechnen Sie die Dicke d des Ölsäureflecks.
[zur Kontrolle: $d = 9,6 \cdot 10^{-10}$ m]
- 7 b) Schätzen Sie den mittleren Radius eines Atoms im Ölsäuremolekül ab und geben Sie die bei der Rechnung verwendeten vereinfachenden Annahmen an.
- 6 c) Nehmen Sie zu den folgenden Aussagen über den Ölfleckversuch begründet Stellung:
- α) Verwendet man statt Ölsäure eine andere Substanz, die sich ebenfalls monomolekular auf Wasser ausbreitet, erhält man möglicherweise einen anderen Wert für den Atomradius.
- β) Führt man das Experiment in gleicher Weise, aber mit kleineren Tropfen durch, erhält man einen deutlich anderen Wert für den Atomradius.
- γ) Der Ölfleckversuch liefert eine gute Abschätzung für den Radius eines Atoms, erlaubt aber keine Rückschlüsse auf die Größenordnung des Atomkerns.

2. Eindimensionaler Potentialtopf

Das Zustandekommen von diskreten Energieniveaus (charakterisiert durch die Quantenzahl n) für ein in der Atomhülle gebundenes Elektron kann am Modell des eindimensionalen, unendlich hohen Potentialtopfs veranschaulicht werden. Hier soll sich das Elektron in einem Potentialtopf der Länge $\ell = 1,4 \cdot 10^{-10}$ m kräftefrei bewegen.

- 5 a) Zeigen Sie, dass für den Impuls eines Elektrons im Potentialtopf nach de Broglie gilt:

$$p_n = \frac{h}{2\ell} n \quad (n \in \mathbb{N})$$

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 6 b) Berechnen Sie damit den kleinstmöglichen Energiewert des Elektrons im Potentialtopf und erläutern Sie, inwiefern das Ergebnis einen Widerspruch zur klassischen Physik darstellt.
- 6 c) Bestimmen Sie die Werte der Quantenzahl n , bei denen von einer nichtrelativistischen Bewegung des Elektrons im Potentialtopf der angegebenen Länge ausgegangen werden darf.

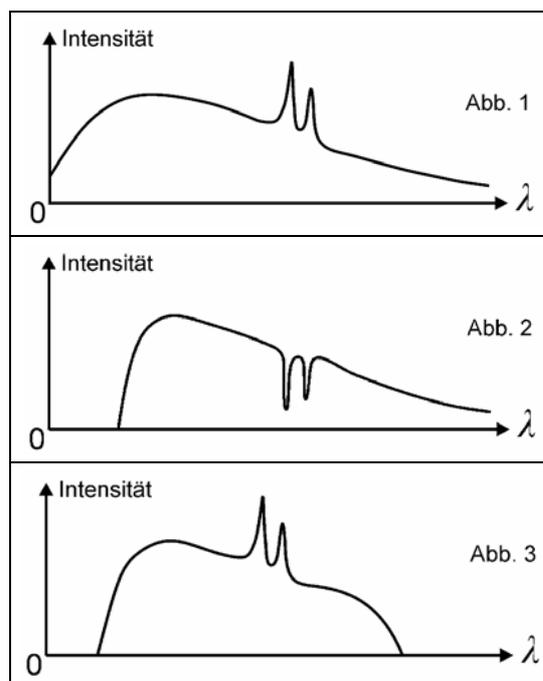
3. Röntgenstrahlung

Wilhelm Conrad Röntgen entdeckte im Jahr 1895 eine neue Art von Strahlen, die er zunächst als X-Strahlen bezeichnete. Heute spielt Röntgenstrahlung eine wichtige Rolle in Medizin und Technik.

- 6 a) Fertigen Sie eine beschriftete Skizze einer Röntgenröhre inklusive der elektrischen Schaltung an. Beschreiben Sie, wozu die verwendeten Stromquellen dienen.

An eine Röntgenröhre wird eine Beschleunigungsspannung von 40 kV gelegt.

- 6 b) Beschreiben Sie kurz, wie der kontinuierliche Teil des Röntgenspektrums entsteht, und berechnen Sie dessen Grenzwellenlänge λ_g .
- 5 c) Das charakteristische Spektrum zeigt auch die K_α -Linie. Erklären Sie das Zustandekommen dieser Linie.
- 6 d) Bei den folgenden Abbildungen kann es sich nicht um Emissionsspektren einer Röntgenröhre handeln. Begründen Sie dies jeweils knapp.



G Ph 4**1. Neptunium-Reihe**

Das Astat-Nuklid ^{217}At ist ein α -Strahler aus der Neptunium-Zerfallsreihe.

- 4 a) Erläutern Sie, dass sich für die schweren Radionuklide genau vier Zerfallsreihen aufstellen lassen und erklären Sie, warum sich ^{217}At der Neptunium-Reihe zuordnen lässt.
- 5 b) Begründen Sie, dass die Nuklide der Neptuniumreihe heute in der Natur praktisch nicht mehr vorkommen.
- 3 c) ^{217}At emittiert neben der α -Strahlung auch γ -Strahlung der Energie 0,60 MeV. Obwohl die α -Strahlung von ^{217}At wesentlich energiereicher ist als die γ -Strahlung, kann man sich leichter vor ihr schützen. Nennen Sie die wichtigsten Schutzmaßnahmen vor α -Strahlung.
- 8 d) Eine 7,4 mm dicke Bleiplatte würde die Hälfte der γ -Quanten absorbieren. Wie viele solcher Bleiplatten müssten mindestens hintereinander gestellt werden, damit mehr als 99 % der γ -Quanten absorbiert werden?

Natürliches Wismut besteht nur aus dem Isotop ^{209}Bi . Bis zum Jahr 2003 wurde es für das stabile Endprodukt der Neptunium-Reihe gehalten. Das Institut d'Astrophysique Spatiale in Orsay, Frankreich, stellte jedoch fest, dass ^{209}Bi mit extrem großer Halbwertszeit zu Thallium ^{205}Tl zerfällt.

- 7 e) Geben Sie die Zerfallsgleichung von ^{209}Bi an und berechnen Sie die beim Zerfall frei werdende Energie Q .

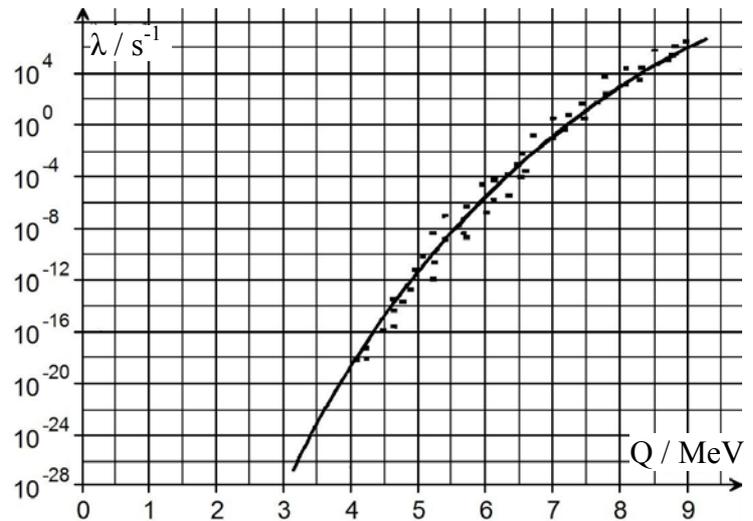
[zur Kontrolle: $Q = 3,14 \text{ MeV}$]

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

7

- f) Um für eine Messung eine grobe Abschätzung der zu erwartenden Halbwertszeit von ^{209}Bi zu erhalten, wird nebenstehendes Diagramm betrachtet. Es zeigt für reine α -Strahler den gemessenen Zusammenhang zwischen der freiwerdenden Energie Q und der Zerfallskonstanten λ .



Theoretische Überlegungen liefern die im Diagramm eingezeichnete Kurve. Schätzen Sie mit deren Hilfe ab, welche Halbwertszeit für ^{209}Bi ungefähr zu erwarten wäre. Vergleichen Sie diese mit dem Alter des Universums von ca. 14 Milliarden Jahren.

Genauere Messungen ergeben eine Halbwertszeit $T_{1/2} = 1,9 \cdot 10^{19}$ a für den ^{209}Bi -Zerfall.

10

- g) Eine Wismutprobe hat die Masse $m = 4,0$ g. Berechnen Sie die Aktivität dieser Probe und daraus die durchschnittliche Zeitspanne zwischen zwei Zerfällen.

2. Titan

Beim β^- -Zerfall von ^{51}Ti befinden sich die Tochterkerne unmittelbar nach dem Zerfall stets in einem von zwei Anregungszuständen, jedoch niemals im Grundzustand. Die β^- -Energien sind maximal 2150 keV bzw. 1542 keV.

- 3 a) Geben Sie die Zerfallsgleichung an.
- 7 b) Skizzieren Sie ein geeignetes Energieniveauschema und erklären Sie damit, dass beim Zerfall von ^{51}Ti auch γ -Strahlung mit drei verschiedenen Quantenenergien auftritt.
- 6 c) Die kleinste auftretende γ -Quantenenergie beträgt 320 keV. Berechnen Sie die beiden anderen γ -Energien sowie die gesamte bei diesem Zerfall freiwerdende Energie Q . Ordnen Sie im Energieniveauschema von Teilaufgabe 2b allen Übergängen ihre Energiebeträge zu.

60

G Ph 5

1. Eine neue Klasse: die Zwergplaneten

Im Jahr 2005 wurde auf Himmelsaufnahmen aus dem Jahr 2003 ein planetenähnliches Objekt entdeckt, das sich auf einer stark exzentrischen Bahn um die Sonne bewegt. Dieses Objekt wurde im August 2006 in die neue Gruppe der Zwergplaneten eingeordnet und erhielt den Namen Eris (nach der griechischen Göttin der Zwietracht).

Inzwischen geht man von folgenden Daten aus:

Durchmesser: $D = 2400 \text{ km}$

Aphelentfernung: $r_A = 98 \text{ AE}$

Perihelentfernung: $r_P = 38 \text{ AE}$.

- 5 a) Bestimmen Sie die große Halbachse der Eris-Bahn sowie die numerische Exzentrizität der Bahn.
Vergleichen Sie letztere mit dem Wert für die Plutobahn.
- 4 b) In wie vielen Jahren wird Eris das nächste Mal das Perihel seiner Bahn durchlaufen, wenn seine Sonnenentfernung zur Zeit 98 AE beträgt?
Etwa $3,6 \cdot 10^4 \text{ km}$ vom Eris-Mittelpunkt entfernt wurde ein kleiner Mond mit dem Durchmesser 250 km entdeckt, dessen Umlaufzeit um Eris etwa 14 Tage beträgt.
- 5 c) Welche Masse ergibt sich für den Planeten Eris unter folgenden Annahmen:
- Die Mondbahn ist kreisförmig,
 - die Mondmasse ist klein im Vergleich zur Erismasse.
- 7 d) Bestimmen Sie die maximale scheinbare Helligkeit der Sonne für einen Beobachter auf Eris.
- 7 e) Beurteilen Sie, ob es auf Eris ringförmige bzw. totale Sonnenfinsternisse geben kann.
- 6 f) Welche Temperatur dürfte auf Eris im Perihel etwa herrschen, wenn man davon ausgeht, dass 40% der eingestrahnten Sonnenenergie reflektiert werden und die von Eris absorbierte Sonnenstrahlung von der gesamten Planetenoberfläche gleichmäßig wieder abgegeben wird?

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Das Innere der Sonne

Im Inneren der Sonne wird durch Kernfusion Energie freigesetzt, die von der Photosphäre abgestrahlt wird. Im Abstand von 1 AE ergibt sich eine Strahlungsintensität von $1,36 \text{ kW/m}^2$.

- 6 a) Skizzieren Sie mit Angabe der Größenverhältnisse den Aufbau der Sonne.
- 4 b) Berechnen Sie unter Verwendung der angegebenen Daten die Leuchtkraft der Sonne. Welche Annahme liegt dieser Berechnung zugrunde?
- 4 c) Erläutern Sie kurz den grundlegenden Kernprozess, durch den im Sonneninneren Energie freigesetzt wird. Die Angabe von Zwischenprodukten ist nicht verlangt.
- 5 d) Bei einem solchen Prozess wird eine Energie von 26 MeV frei. Wie viele solche Prozesse müssen pro Sekunde ablaufen, um die Sonnenleuchtkraft zu liefern?
- 7 e) Die Sonne strahlt seit 4,5 Milliarden Jahren mit etwa konstanter Leuchtkraft. Berechnen Sie die Masse, die der Sonne auf diese Weise verloren gegangen ist.
Wie viel Prozent der Sonnenmasse ist dies?

G Ph 6

1. Ein sonnenähnlicher Stern

Der Stern τ Cet im Sternbild Walfisch (Cetus) ist der uns am nächsten gelegene sonnenähnliche Stern, um den man eine Scheibe aus Staub aufgespürt hat. Er wird deshalb als besonders interessanter Anwärter für Exoplaneten (Planeten außerhalb unseres Sonnensystems) gesehen.

Angaben zu τ Cet:

Spektralklasse G8

Absolute Helligkeit 5,7

Jährliche trigonometrische Parallaxe 0,28"

Innerhalb von 50 Jahren verschiebt sich seine Position an der Himmelskugel um 96" gegenüber den weit entfernten Hintergrundsternen.

Im Spektrum des Sterns ergibt sich für die H_α -Linie (Laborwellenlänge 656,279 nm) eine Wellenlänge von 656,244 nm.

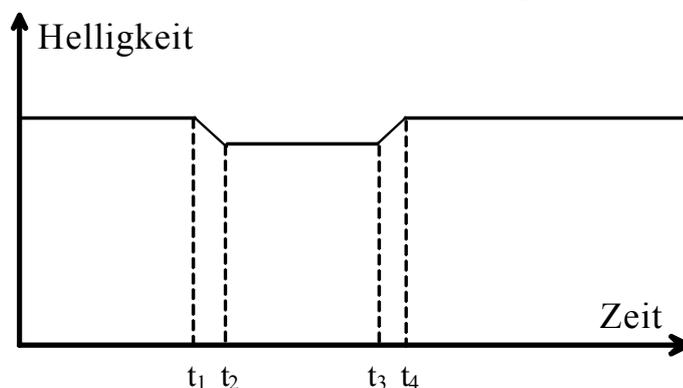
- 3 a) Zeigen Sie, dass τ Cet 12 Lichtjahre von uns entfernt ist.
- 4 b) Beurteilen Sie, ob wir τ Cet bei guten Sichtverhältnissen von der Erde aus mit bloßem Auge beobachten können.
- 5 c) Berechnen Sie den Betrag der Tangentialgeschwindigkeit von τ Cet.
- 4 d) Ermitteln Sie auch den Betrag der Radialgeschwindigkeit des Sterns. Bewegt sich τ Cet auf uns zu oder von uns weg?
- 8 e) In welcher Entfernung müsste ein Planet um τ Cet kreisen, damit die Bestrahlungsstärke auf diesem Planeten so groß ist wie die von der Sonne verursachte Bestrahlungsstärke auf der Erde?
- 3 f) Begründen Sie, dass es sich bei τ Cet um einen Hauptreihenstern handelt.
- 7 g) Auch im Kern des Sterns τ Cet wird die Wasserstoff-Fusion nach entsprechender Zeit zum Erliegen kommen. Beschreiben Sie die weitere Entwicklung, die der Stern dann durchlaufen wird.

2. Exoplaneten und Doppelsterne

Bei der Suche nach Exoplaneten hat man in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht. Ein Verfahren beruht darauf, dass mit Hilfe eines hochempfindlichen Fotometers der zeitliche Verlauf der Strahlungsleistung von Sternen registriert wird. Für das Jahr 2008 ist der Start der Kepler-Raumsonde geplant, die mit diesem Verfahren Exoplaneten von der Größe der Erde aufspüren soll.

BE

Das folgende Diagramm zeigt die erwartete Helligkeitskurve eines Sterns, der von einem Planeten mit vernachlässigbarem eigenen Strahlungsanteil umkreist wird. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass die Erde in der Bahnebene des Exoplaneten um seinen Stern liegt.



- 5 a) Erklären Sie, wie es zu dieser Veränderung der Helligkeit des Systems Stern-Planet kommt.
- 6 b) Es gibt Doppelsternsysteme, die anhand von Helligkeitskurven als solche identifiziert werden konnten. Skizzieren Sie für ein Doppelsternsystem ein entsprechendes Helligkeitsdiagramm. Gehen Sie dazu von einem größeren Stern aus, der von einem kleineren Stern mit geringerer Flächenhelligkeit umrundet wird, und erläutern Sie das Diagramm.

Für die so genannte Verweildauer t_H eines Sterns auf der Hauptreihe gilt die Proportionalität $t_H \sim \frac{m}{L}$, wobei m die Masse und L die Leuchtkraft des Sterns bezeichnet.

- 4 c) Begründen Sie diese Proportionalität.
- 3 d) Zeigen Sie, wie sich aus $t_H \sim \frac{m}{L}$ die Beziehung $t_H \sim \frac{1}{m^2}$ herleiten lässt.

Man nimmt an, dass die Entwicklung von Leben, wie wir es auf der Erde kennen, mehrere Milliarden Jahre benötigt.

- 8 e) Zeigen Sie, dass Hauptreihensterne der Spektralklassen O und B wegen ihrer hohen relativen Leuchtkraft $L^* \geq 1000$ bei der Suche nach bewohnten Exoplaneten außer Acht gelassen werden können. Verwenden Sie für die Verweildauer der Sonne den Wert 10 Mrd. Jahre.