

BE

Ph 11 – 1

1. Modell der Zündanlage eines Autos

Bei einem Ottomotor wird die Verbrennung des Benzin-Luft-Gemisches durch den Funken einer Zündkerze ausgelöst. In Abb. 1 ist das elektrische Feldlinienbild zwischen den geladenen Elektroden der Zündkerze unvollständig eingezeichnet.

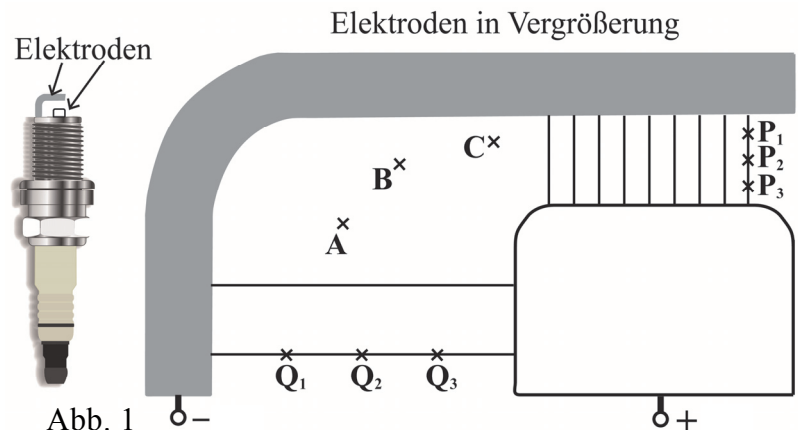


Abb. 1

- 4 a) Ergänzen Sie in Abb. 1 die Feldlinienrichtung und die elektrischen Feldlinien durch die Punkte A, B und C.
- 6 b) Erklären Sie mithilfe der Abb. 1, dass das Potential in den Punkten P_1 und Q_1 bzw. P_2 und Q_2 bzw. P_3 und Q_3 jeweils den gleichen Wert besitzt. Zeichnen Sie in Abb. 1 die Äquipotentiallinien durch diese Punkte ein.
- Der homogene Feldbereich in Abb. 1, in dem die Feldlinien am dichtesten verlaufen, entspricht näherungsweise dem Feld eines luftgefüllten Plattenkondensators mit Plattenabstand 1,2 mm und Plattenfläche 3,0 mm². Besitzt die elektrische Feldstärke in diesem Feldbereich mindestens den Wert 12 kV/mm, so schlägt ein Funke zwischen den Elektroden über.
- 6 c) Die Kapazität C_{ZK} der Zündkerze stimmt näherungsweise mit der Kapazität des angesprochenen Plattenkondensators überein. Zeigen Sie, dass C_{ZK} ca. $2,2 \cdot 10^{-14}$ F beträgt und dass ein Funke zwischen den Elektroden entsteht, wenn an diesen als sogenannte Zündspannung $U_Z = 15$ kV anliegen.

Abb. 2 zeigt eine elektrische Beschaltung obiger Zündkerze. Hierbei handelt es sich um ein Modell wesentlicher Elemente der Zündanlage eines Autos. Der Kondensator mit der Kapazität C bleibt zunächst unberücksichtigt.

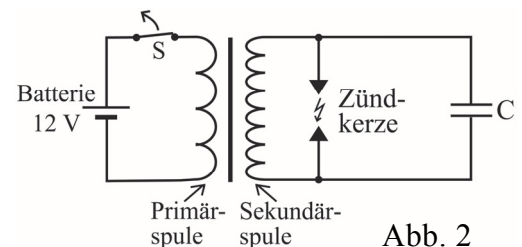


Abb. 2

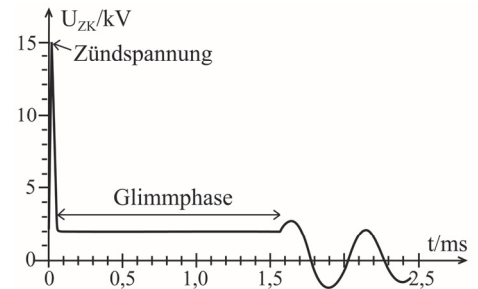
- 2 d) Berechnen Sie die magnetische Feldenergie, die bei geschlossenem Schalter S in der Primärspule des Transformators gespeichert ist, wenn diese die Induktivität 3,0 mH besitzt und durch sie ein Strom der Stärke 10 A fließt.
[zur Kontrolle: 0,15 J]
- 6 e) Der Schalter S wird geöffnet. Beschreiben Sie die ablaufenden physikalischen Vorgänge, die zum Erreichen einer Spannung im Kilovolt-Bereich an der Zündkerze führen, obwohl die Batteriespannung nur 12 V beträgt.

(Fortsetzung nächste Seite)

Unmittelbar nach dem Öffnen von S besitzt der Kondensator der Kapazität C die Zündspannung $U_Z = 15 \text{ kV}$ sowie die elektrische Feldenergie 18 mJ . Mit dem Funkenüberschlag an der Zündkerze wird ein Großteil dieser Energie zwischen den Elektroden auf der Funkenstrecke freigesetzt.

- 3 f) Zeigen Sie, dass die Kapazität C deutlich größer als die Kapazität C_{ZK} ist.

Im Anschluss wird auf der Funkenstrecke magnetische Feldenergie der Sekundärspule freigesetzt und das Benzin-Luft-Gemisch entzündet. Gehen Sie davon aus, dass in dieser sogenannten Glimmphase die Spannung U_{ZK} an den Zündkerzenelektroden konstant ist (vgl. Diagramm), während die Stärke des Stroms, der durch die leitfähige Funkenstrecke fließt, von 80 mA auf $4,0 \text{ mA}$ linear abnimmt. Entnehmen Sie weitere für Rechnungen notwendige Werte dem Diagramm.



- 4 g) Berechnen Sie, um welchen Faktor sich der Widerstand der Funkenstrecke während der Glimmphase ändert.
- 6 h) Berechnen Sie die an der Funkenstrecke in der Glimmphase verrichtete elektrische Arbeit und geben Sie diese als Anteil der ursprünglich in der Primärspule gespeicherten Energie an.
- 7 i) Am Ende der Glimmphase entsteht eine elektromagnetische Schwingung. Stellen Sie qualitativ in einem Diagramm den zeitlichen Verlauf der elektrischen und magnetischen Feldenergie ab Schwingungsbeginn für eine Periodendauer dar. Nehmen Sie an, dass die Feldenergien zu Schwingungsbeginn gleich groß sind und vernachlässigen Sie die Dämpfung.

2. Untersuchung der Strahlung eines Presenters (Fernbedienung)

Ein Presenter strahlt auf Knopfdruck infrarotes Licht der Wellenlänge λ_{IR} ab und enthält außerdem einen Laserpointer, der Licht der Wellenlänge $\lambda_L = 620 \text{ nm}$ emittiert. Beide Strahlungen treffen auf ein Gitter mit 800 Strichen pro cm. Zunächst wird die Wand eines Physiksaals in der Entfernung a vom Gitter als Schirm genutzt. Mit d_L bzw. d_{IR} wird der Abstand eines Maximums 1. Ordnung vom Maximum 0. Ordnung für die jeweilige Strahlung bezeichnet.

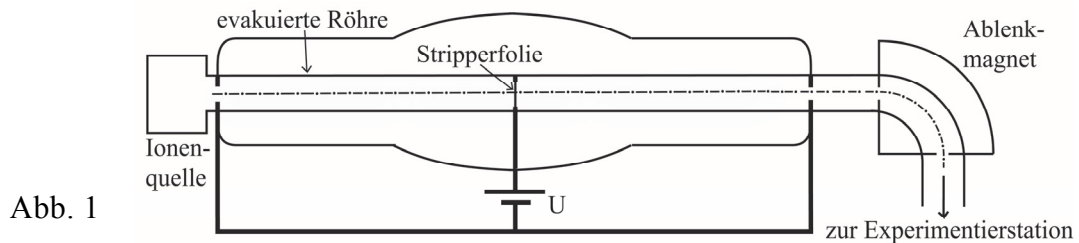
- 7 a) Zeigen Sie, dass näherungsweise die Beziehung $d_L \cdot \lambda_{IR} = d_{IR} \cdot \lambda_L$ gilt.
- 4 b) Bestimmen Sie ein sinnvolles Wertepaar für die Größen a und d_L , das bei der experimentellen Bestätigung von λ_L auftreten könnte.
- 5 c) Statt der Wand als Schirm wird nun eine Digitalkamera verwendet, die auch infrarotes Licht sichtbar macht und nahe hinter dem Gitter positioniert wird. Bestimmen Sie die Wellenlänge λ_{IR} durch Auswertung des nebenstehenden Kamerabilds. Gehen Sie davon aus, dass die Beziehung aus Teilaufgabe 2a weiterhin gilt.



BE

Ph 11 – 2

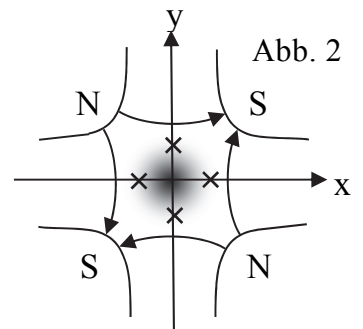
1. Erzeugung eines fokussierten Protonenstrahls



Aus einer Ionenquelle treten H^- -Ionen mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit in eine evakuierte Röhre. Bis zur sogenannten Stripperfolie durchlaufen diese Ionen die Hochspannung U . Beim Durchdringen der Folie werden von allen H^- -Ionen beide Elektronen abgestreift, ohne dass hierbei die kinetische Energie abnimmt. Die nun vorliegenden Protonen werden noch einmal im elektrischen Feld beschleunigt und besitzen beim Verlassen des Beschleunigers die Endgeschwindigkeit $v = 7,17 \cdot 10^7 \text{ m/s}$.

- 6 a) Berechnen Sie für ein Proton, das den Beschleuniger verlässt, den Lorentzfaktor γ und den relativistischen Impuls p . [zur Kontrolle: $p = 1,24 \cdot 10^{-19} \text{ Ns}$]
- 8 b) Berechnen Sie die am Beschleuniger anliegende Spannung U . Sie dürfen dabei annehmen, dass ein H^- -Ion die gleiche Ruhemasse wie ein Proton hat.
- 6 c) Anschließend werden die Protonen in einem homogenen Magnetfeld um 90° abgelenkt. Bestimmen Sie die magnetische Flussdichte im Ablenkmagneten, wenn sich ein Proton auf einem Kreisbogen mit Radius $1,50 \text{ m}$ bewegt.

Bevor der Protonenstrahl die Experimentierstation erreicht, wird dieser mithilfe von sogenannten Quadrupolmagneten fokussiert. Abb. 2 zeigt den schematischen Aufbau eines solchen Quadrupolmagneten sowie den Protonenstrahl im Querschnitt (grau dargestellt). Nehmen Sie vereinfachend an, dass sich alle Protonen beim Eintritt in den Quadrupolmagneten parallel zur z -Achse bewegen, die senkrecht aus der Zeichenebene herauszeigt.



- 5 d) Beschreiben Sie, wie sich der Betrag der magnetischen Flussdichte des Quadrupolfeldes entlang der x -Achse im dargestellten Bereich ändert.
- 6 e) Zeichnen Sie für die in Abb. 2 mit Kreuzen gekennzeichneten Punkte die Richtung der jeweils auf ein Proton wirkenden Lorentzkraft ein und begründen Sie, dass der Protonenstrahl beim Austritt aus dem Quadrupolmagneten näherungsweise den nebenstehenden Querschnitt besitzt (vgl. Abb. 3).

Abb. 3

Im Anschluss passiert der Protonenstrahl einen weiteren, um 90° um die z -Achse gedrehten Quadrupolmagneten.

(Fortsetzung nächste Seite)

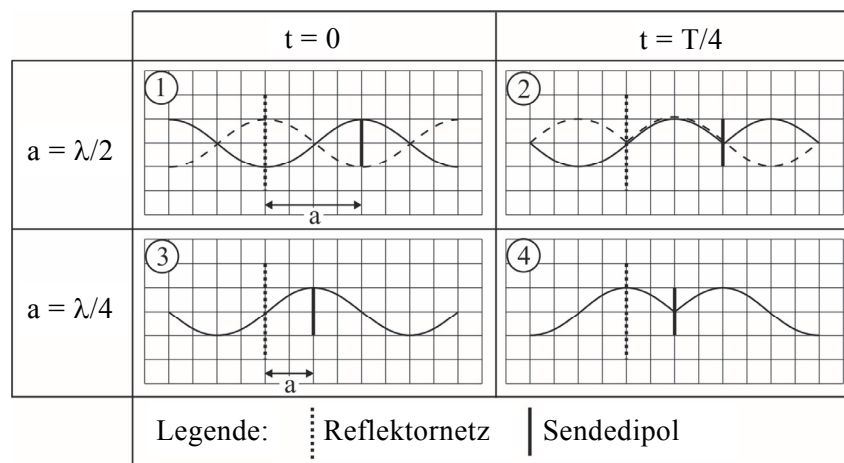
- 5 f) Geben Sie für die Vertikale und Horizontale an, inwieweit der zweite Quadrupol fokussierend bzw. defokussierend wirkt. Erläutern Sie, wie es durch den Einsatz beider Quadrupolmagnete möglich ist, dass der Protonenstrahl sowohl in der Vertikalen wie in der Horizontalen fokussiert wird.
- 3 g) Der Protonenstrahl muss bald nach seiner Fokussierung die Experimentierstation erreichen. Erklären Sie kurz, dass sich ein fokussierter Protonenstrahl ohne äußere Einflüsse wieder aufweitet.

2. Sendeanlage Wertachtal

Im Jahr 1972 ging im Wertachtal Europas größte Kurzwellensendeanlage in Betrieb. Bis 2006 wurde dort auf der Frequenz 6075 kHz die „Deutsche Welle“ ausgestrahlt. Ein vereinfachtes Modell der Anlage besteht aus einem Sendedipol und einem zwischen zwei Masten aufgehängten Reflektornetz, das wie eine Metallwand wirkt und hinter dem Dipol im Abstand $a = \lambda/4$ angebracht ist; hierbei ist λ die Wellenlänge der abgestrahlten Kurzwelle.

- 5 a) Berechnen Sie die Periodendauer T der Kurzwelle sowie den Abstand a .
- 6 b) Skizzieren Sie das magnetische Feldlinienbild im Nahbereich eines in der Grundschiwingung angeregten Dipols für fünf charakteristische Zeitpunkte $t \in [0; T]$.

Nun wird die Wirkung des Reflektornetzes betrachtet. Durch die vom Dipol abgestrahlte Welle (Primärwelle) wird das Reflektornetz zu Schwingungen angeregt und sendet ebenfalls eine Welle aus (Sekundärwelle). Die untenstehenden, unvollständigen Momentaufnahmen zeigen für $t = 0$ und $t = T/4$ den elektrischen Anteil der Wellen, zum einen für den Fall, dass der Dipol den Abstand $a = \lambda/2$ vom Reflektornetz hätte, zum anderen für den tatsächlichen Abstand $a = \lambda/4$.

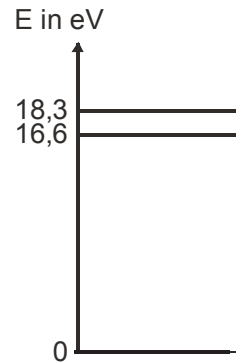


- 10 c) Ergänzen Sie in ① und ② die Überlagerung der Primärwelle (durchgehend gezeichnet) und Sekundärwelle (gestrichelt gezeichnet). Zeichnen Sie in ③ und ④ zunächst die jeweils noch fehlende Sekundärwelle ein und danach ebenfalls die jeweilige Überlagerung beider Wellen. Erläutern Sie für beide Abstände a die jeweilige Wirkung des Reflektornetzes.

BE

Ph 12 – 1**1. Leuchtendes Neongas in der Franck-Hertz-Röhre**

In einer Abwandlung des historischen Experiments von James Franck und Gustav Hertz wird eine Franck-Hertz-Röhre mit Neongas gefüllt. Erreicht die Beschleunigungsspannung U_B , die bei 0 V beginnend langsam erhöht wird, den Wert U_{B1} , so wird in der Röhre erstmals eine leuchtende Zone mit bloßem Auge sichtbar. Nebenstehend ist ein stark vereinfachtes Energieniveauschema von Neon abgebildet. Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass die Neonatome ausschließlich die Energie 18,3 eV aus dem Grundzustand heraus absorbieren.



- 5 a) Zeichnen Sie den Aufbau einer Franck-Hertz-Röhre sowie die dazugehörige Beschaltung mit Spannungsquellen und Messgeräten zur Durchführung des Franck-Hertz-Versuchs.
- 5 b) Berechnen Sie für die im obigen Energieniveauschema möglichen Emissionsübergänge die jeweilige Wellenlänge der emittierten Strahlung.
- 5 c) Erläutern Sie die verschiedenen physikalischen Vorgänge, die in der Röhre zur Entstehung der mit bloßem Auge sichtbaren Leuchtzone führen.
- 5 d) Die Beschleunigungsspannung soll von U_{B1} ausgehend kontinuierlich um insgesamt 33 V erhöht werden. Beschreiben Sie die dabei zu erwartenden Beobachtungen hinsichtlich Lage und Anzahl der sichtbaren Leuchtzonen.

2. Interferenzversuche mit dem Helium-Neon-Laser

Ein Helium-Neon-Laser der Leistung 0,80 mW emittiert Licht der Wellenlänge 633 nm. Trifft dieses Licht auf einen Doppelspalt, so entsteht auf einem dahinter montierten Detektorschirm ein Interferenzbild. Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass der Versuchsaufbau vor äußeren Lichteinflüssen abgeschirmt ist.

- 4 a) Berechnen Sie die Anzahl der Photonen, die den Laser im Mittel pro Sekunde verlassen. [zur Kontrolle: $2,5 \cdot 10^{15}$]

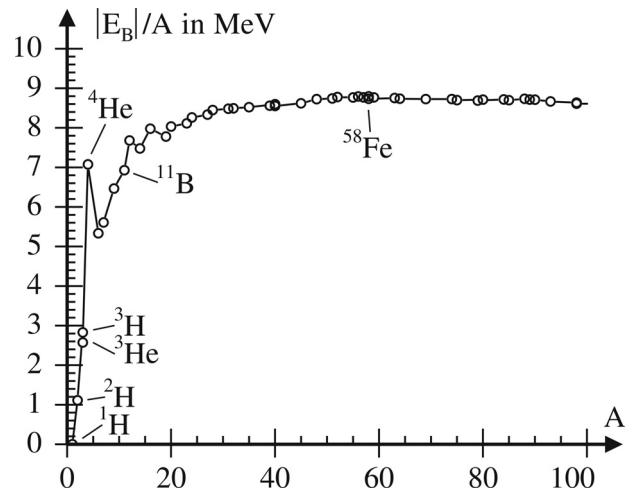
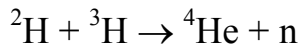
Zwischen dem Laser und dem Doppelspalt wird nun ein Absorber positioniert, der die Intensität des Lichts durch Absorption der meisten Photonen enorm verringert. Die nicht absorbierten Photonen besitzen nach dem Absorber im Mittel einen Abstand von 1,0 m. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Photonen nacheinander auf den Doppelspalt treffen.

- 5 b) Zeigen Sie, dass die mittlere Leistung der Laserstrahlung nach dem Absorber 94 pW beträgt.
- 4 c) Beschreiben Sie, wie sich das nun detektierte Schirmbild über einen längeren Zeitraum entwickelt. Erklären Sie die Beobachtungen mithilfe wesentlicher Eigenschaften des Quantenobjekts Photon.

(Fortsetzung nächste Seite)

3. Kernfusion

Im nebenstehenden Diagramm ist der Betrag der mittleren Bindungsenergie pro Nukleon $|E_B|/A$ über der Nukleonenzahl A angetragen. Zunächst wird folgender Fusionsprozess betrachtet:



- 5 a) Bestimmen Sie mithilfe des Diagramms näherungsweise die bei diesem Fusionsprozess frei werdende Energie.

Die Wände eines Fusionsforschungsreaktors nehmen bei Fusionsprozessen freigesetzte Neutronen auf und werden dadurch radioaktiv.

- 6 b) Erläutern Sie anhand einer schematischen Zeichnung einer geeignet gewählten Potentialtopfbesetzung eines stabilen Kerns, weshalb dieser durch Hinzunahme eines weiteren Neutrons radioaktiv wird. Gehen Sie hierbei auch auf den anschließenden radioaktiven Zerfall ein.

Die Reaktorwände müssen in regelmäßigen Abständen ausgetauscht werden. Um die Aktivität des zu deponierenden Materials abzuschätzen, werden folgende Annahmen getroffen: Die Wände bestehen aus 1150 t Spezialstahl, wobei 89 % dieser Masse Eisen sind. Das Eisen liegt zunächst als nicht radioaktives Isotopengemisch vor, in dem ${}^{58}\text{Fe}$ -Atome den Massenanteil 0,28 % besitzen. Durch Neutronenaufnahme während des Reaktorbetriebs werden alle ${}^{58}\text{Fe}$ -Kerne in radioaktive ${}^{59}\text{Fe}$ -Kerne umgewandelt. Mit der Deponierung des ausgebauten Spezialstahls ($t = 0$) beginnt der radioaktive Zerfall von ${}^{59}\text{Fe}$, das eine Halbwertszeit von 44,5 Tagen besitzt.

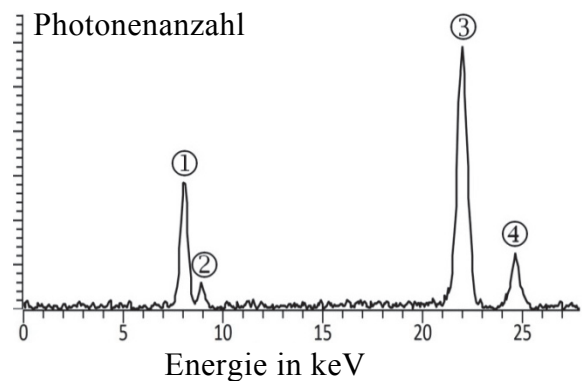
- 7 c) Bestimmen Sie die ${}^{59}\text{Fe}$ -Aktivität des Spezialstahls zum Zeitpunkt $t = 0$.
[zur Kontrolle: $5,4 \cdot 10^{21}$ Bq]
- 5 d) Die Aktivität von 1150 t in der Landwirtschaft genutztem Kalidünger beträgt $1,6 \cdot 10^{10}$ Bq. Berechnen Sie, wie lange es dauert, bis die ${}^{59}\text{Fe}$ -Aktivität des Spezialstahls der angegebenen Aktivität der Düngermenge entspricht. Beurteilen Sie anhand Ihres Ergebnisses kurz, ob eine Endlagerung des Spezialstahls notwendig ist.
- 4 e) Nun wird der Fusionsprozess ${}^1\text{H} + {}^{11}\text{B} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^4\text{He} + {}^4\text{He}$ betrachtet, bei dem kein Neutron frei wird. Erklären Sie, warum die Temperatur des Plasmas im Reaktor größer gewählt werden muss, um in großer Anzahl die Fusion von ${}^1\text{H}$ - und ${}^{11}\text{B}$ -Kernen anstelle von ${}^2\text{H}$ - und ${}^3\text{H}$ -Kernen zu realisieren.

BE

Ph 12 – 2

1. Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Ein Ring, der aus Silber und einem weiteren Element besteht, wird mithilfe der RFA näher untersucht. Der Ring wird hierbei mit kontinuierlicher Röntgenstrahlung aus einer Röntgenröhre bestrahlt. Daraufhin emittiert der Ring selbst charakteristische Röntgenstrahlung, die Fluoreszenzstrahlung genannt wird. Mithilfe eines Detektors wird diese Strahlung analysiert (vgl. Diagramm).



- a) Fertigen Sie eine beschriftete Zeichnung des Aufbaus einer Röntgenröhre einschließlich der elektrischen Beschaltung an. Erklären Sie das Zustandekommen der kontinuierlichen Röntgenstrahlung in der Röhre.
- b) Erläutern Sie die physikalischen Vorgänge, die zur Entstehung der Fluoreszenzstrahlung des Rings führen.

Für die Energie der beim K_α -Übergang emittierten Röntgenstrahlung gilt das Moseley-Gesetz $E_{K_\alpha} = \frac{3Rhc}{4}(Z-1)^2$; hierbei sind Z die Ordnungszahl des Elements und $R = 1,097373 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ die Rydbergkonstante.

- c) Begründen Sie, welche der K_α -Linien ① oder ③ zum Element mit der höheren Ordnungszahl gehört. Bestimmen Sie mithilfe des obigen Diagramms das neben Silber vorliegende Element.
- d) Erklären Sie, weshalb im Diagramm jeweils rechts von einer K_α -Linie eine weitere Linie ② bzw. ④ auftritt.
- e) Nun wird eine Probe aus reinem Silber mit Röntgenphotonen bestrahlt, deren Energie genau dem K_α -Übergang von Silber entspricht. Begründen Sie, warum dennoch kein K_α -Übergang stattfinden kann.

2. Rutherford'scher Streuversuch

Im Ausschnitt eines Versuchsprotokolls zum Rutherford'schen Streuversuch sind der Versuchsaufbau, die detektierte Zählrate n (Anzahl der α -Teilchen pro Sekunde) für drei Werte des Streuwinkels φ sowie eine Beziehung zwischen n und φ zur Auswertung gegeben.

Versuchsprotokoll									
Versuchsaufbau:	Messung:								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>φ</th><th>n / s^{-1}</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$1,0^\circ$</td><td>81,012</td></tr> <tr> <td>$5,0^\circ$</td><td>0,130</td></tr> <tr> <td>$9,0^\circ$</td><td>0,012</td></tr> </tbody> </table>	φ	n / s^{-1}	$1,0^\circ$	81,012	$5,0^\circ$	0,130	$9,0^\circ$	0,012
φ	n / s^{-1}								
$1,0^\circ$	81,012								
$5,0^\circ$	0,130								
$9,0^\circ$	0,012								
Auswertung: $n = \frac{C}{[\sin(0,5\varphi)]^4}$ mit $0 < \varphi \leq 180^\circ$									

(Fortsetzung nächste Seite)

Die Größe C ist konstant, solange keine Änderung beim Aufbau und bei den im Versuch verwendeten Materialien vorgenommen wird.

- 3 a) Bestimmen Sie denjenigen Streuwinkel, für den $n = C$ gilt, und erklären Sie, wie es zur dazugehörigen Streuung eines α -Teilchens kommen kann.
- 7 b) Zeigen Sie, dass sich aus den gemessenen Wertepaaren der Durchschnittswert $\bar{C} = 4,7 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ ergibt. Ermitteln Sie mit diesem Wert für $\varphi = 45^\circ$ die zu erwartende Messzeit in Tagen, bis zehn α -Teilchen registriert werden.
- 6 c) Durch Veränderungen der Versuchsmaterialien lässt sich die in Teilaufgabe 2b berechnete Messzeit verringern. Erklären Sie, welchen Einfluss dabei jeweils die Aktivität des α -Strahlers, die kinetische Energie der α -Teilchen und die Kernladungszahl des verwendeten Folienmaterials hat.

3. Radioaktive Leuchtfarben

Zifferblätter von Armbanduhren wurden früher mit radioaktiver Farbe bemalt, damit sie im Dunkeln leuchten. In einer solchen Farbe werden Zinksulfidkristalle durch die radioaktive Strahlung des Radiumisotops ^{226}Ra zum Leuchten angeregt. ^{226}Ra ist ein α -Strahler, wobei pro Zerfall die Energie 4,87 MeV frei wird.

- 5 a) Geben Sie die Zerfallsgleichung von ^{226}Ra an und bestätigen Sie rechnerisch den angegebenen Wert für die frei werdende Energie pro Zerfall.
- 3 b) Durch Folgezerfälle treten alle natürlichen Strahlungsarten im Uhrengehäuse auf. Geben Sie für jede Strahlungsart an, inwieweit ein luftdichtes Uhrengehäuse die Strahlenbelastung beim Tragen einer solchen Uhr verringert.

Messungen an einem Zifferblatt von 1926 ergeben heute eine ^{226}Ra -Aktivität von 25 kBq, die sich aufgrund der langen Halbwertszeit von ^{226}Ra in den letzten 90 Jahren kaum verändert hat. Im Weiteren wird die radioaktive Belastung einer Arbeiterin betrachtet, die in ihrem ersten Arbeitsjahr an jedem der 280 Arbeitstage 80 Zifferblätter dieser Art bemalte. Beim Anspitzen des Pinsels mit der Zunge nahm sie mit der Farbe ^{226}Ra auf, das vollständig in ihrem Körper verblieb. Anstelle einer im Jahr zeitlich verteilten Aufnahme kann im Folgenden eine einmalige Aufnahme der ^{226}Ra -Jahresmenge zum Zeitpunkt der Jahresmitte angenommen werden.

- 5 c) Berechnen Sie die Anzahl N der ^{226}Ra -Zerfälle, die im ersten Arbeitsjahr im Körper der Arbeiterin stattfanden, wenn die Aktivität der pro bemaltem Zifferblatt aufgenommenen ^{226}Ra -Menge mit 6,0 % der damaligen Aktivität eines Zifferblatts abgeschätzt wird. [zur Kontrolle: $N = 5,3 \cdot 10^{14}$]
- 6 d) Schätzen Sie unter Vernachlässigung von Folgeprozessen die von der Arbeiterin allein durch ^{226}Ra aufgenommene Äquivalentdosis im ersten Arbeitsjahr ab. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Grenzwert von 20 mSv pro Jahr, der heute für beruflich strahlenexponierte Personen gilt, und beurteilen Sie daraufhin die Gesundheitsfolgen für die Arbeiterin.

BE

Ph 12 – Astrophysik 1

1. Die Venus

Die Venus benötigt 225 Tage, um einmal auf ihrer näherungsweise als kreisförmig angenommenen Bahn mit Radius 0,72 AE die Sonne zu umrunden. Von der Erde aus gesehen beträgt der Winkelabstand zwischen Venus und Sonne bei maximaler Elongation 46° .

- 6 a) Fertigen Sie eine maßstäbliche Zeichnung der Venus- und der Erdbahn als Kreisbahnen an und stellen Sie die Venus in der Zeichnung in einer maximalen Elongation dar. Bestätigen Sie rechnerisch ohne Verwendung des 3. Kepler'schen Gesetzes den Wert für den Radius der Venusbahn.

Abb. 1 zeigt das seltene Ereignis eines Venustransits vor der Sonne im Jahr 2012. Ein Venustransit ist nur bei unterer Konjunktion möglich. Die Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden unteren Konjunktionen beträgt 1,6 a.

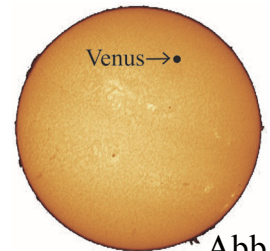


Abb. 1

- 3 b) Ergänzen Sie in der Zeichnung zur Teilaufgabe 1a die Venus in unterer Konjunktion sowie die veränderten Positionen von Erde und Venus bei der nächsten unteren Konjunktion.
- 5 c) Begründen Sie, weshalb nicht bei jeder unteren Konjunktion ein Venustransit zu beobachten ist. Erklären Sie, dass aber bei der fünften unteren Konjunktion nach einem Venustransit wieder ein Venustransit auftreten kann.
- 5 d) Die Sonnenscheibe erscheint uns unter dem Winkel $32'$. Bestimmen Sie unter Verwendung von Abb. 1 näherungsweise den Durchmesser der Venus.

2. Extrasolare Planeten in der habitablen Zone des Sterns Kepler-62

Im Jahr 2012 wurden fünf Planeten des Sterns Kepler-62 entdeckt, von denen sich zwei in seiner habitablen Zone befinden. Liegt die Bahn eines Planeten in dieser Zone, so kann sich auf diesem eine mittlere Oberflächentemperatur einstellen, die eine Entwicklung von Leben möglich erscheinen lässt.

Daten des Sterns Kepler-62:

Masse: $1,38 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Oberflächentemperatur: $4,9 \cdot 10^3 \text{ K}$

Leuchtkraft: $0,21 L_\odot$

Scheinbare Helligkeit: 14

- 7 a) Berechnen Sie die Entfernung von Kepler-62.
- 4 b) Berechnen Sie den Radius R von Kepler-62 als Vielfaches des Sonnenradius.
[zur Kontrolle: $R = 0,64 R_\odot$]

Für die habitable Zone eines Sterns wird eine Bestrahlungsstärke von 0,3 S bis 1,7 S angenommen. Hierbei ist S die Solarkonstante für die Erde.

(Fortsetzung nächste Seite)

- 6 c) Berechnen Sie den inneren und äußeren Radius der habitablen Zone vom Stern Kepler-62. [zur Kontrolle: $r_i = 0,35 \text{ AE}$; $r_a = 0,84 \text{ AE}$]

Der Planet Kepler-62e umrundet den Stern Kepler-62 mit der Umlaufzeit $T = 122,4 \text{ d}$ auf einer elliptischen Bahn mit numerischer Exzentrizität 0,13.

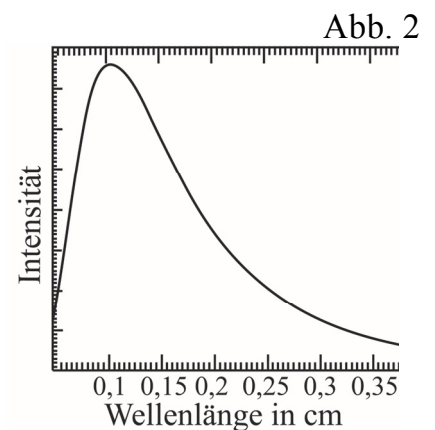
- 6 d) Berechnen Sie die große Halbachse der Umlaufbahn von Kepler-62e und zeigen Sie rechnerisch, dass sich dieser extrasolare Planet stets in der habitablen Zone befindet.

Der Planet Kepler-62e konnte mit der Transitmethode nachgewiesen werden. Wenn sich der Planet von der Erde aus betrachtet vor dem Stern bewegt, bedeckt er einen Teil des Sterns, was die Strahlungsleistung auf 99,93 % des ursprünglichen Werts reduziert.

- 5 e) Bestimmen Sie einen Näherungswert für den Radius des extrasolaren Planeten und vergleichen Sie diesen mit dem Erdradius.

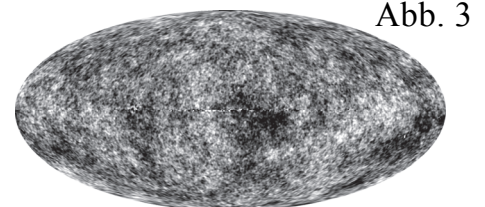
3. Kosmische Hintergrundstrahlung

Als 380 000 Jahre nach dem Urknall die Temperatur des Universums auf 3000 K abgesunken war, konnte sich Licht erstmals ungehindert ausbreiten. Die zu dieser Zeit emittierte Strahlung erreicht uns heute als kosmische Hintergrundstrahlung. Das Spektrum dieser Hintergrundstrahlung (vgl. Abb. 2) entspricht dem Spektrum eines Schwarzen Körpers mit einer deutlich niedrigeren Temperatur als 3000 K.



- 5 a) Bestimmen Sie mithilfe von Abb. 2 die Temperatur der Hintergrundstrahlung und erklären Sie, weshalb die Temperatur der Strahlung so stark abgesunken ist.
- 4 b) Die Milchstraße bewegt sich im Kosmos und mit ihr die Erde. Erklären Sie, wie sich der für die Hintergrundstrahlung ermittelte Wert der Temperatur ändert, je nachdem, ob die Strahlung in oder gegen die Bewegungsrichtung der Erde im Kosmos untersucht wird.

Abb. 3 zeigt eine Darstellung der kosmischen Hintergrundstrahlung über das Firmament. Die Darstellung ist nach Abzug aller Störeffekte ein „Fleckenteppich“ unterschiedlicher Temperaturen bzw. Photonenenergien. Die Unterschiede lassen sich unter anderem damit erklären, dass bereits im frühen Kosmos Bereiche mit geringfügig unterschiedlicher Massenkonzentration existierten.



- 4 c) Erklären Sie, wie sich aufgrund der Gravitation die Energie, die Frequenz sowie die Wellenlänge eines Photons verändert, wenn sich dieses von einem Bereich mit hoher Massenkonzentration entfernt.

BE

Ph 12 – Astrophysik 2

1. Sterne mit extrem unterschiedlicher Leuchtkraft

Zu den größten und leuchtstärksten Sternen unserer Milchstraße gehört VY Canis Majoris (VY CMa), ein roter Hyperriese im Sternbild Großer Hund. Seine Oberflächentemperatur beträgt 3500 K, sein Radius $1,4 \cdot 10^3 R_{\odot}$. Ein im Vergleich zu VY CMa extrem leuchtschwacher Stern ist der Hauptreihenstern Lalande 21185 mit der Leuchtkraft $0,025 L_{\odot}$ und der Masse $0,46 m_{\odot}$. VY CMa und Lalande 21185 gehören beide der Spektralklasse M an.

- 4 a) Zeigen Sie, dass die Leuchtkraft von VY CMa etwa das $2,6 \cdot 10^5$ -fache der Sonnenleuchtkraft beträgt.
- 5 b) Berechnen Sie, wie viel Masse VY CMa innerhalb von 1000 Jahren strahlungsbedingt verliert, und geben Sie diese in Vielfachen der Erdmasse an.
- 5 c) Skizzieren Sie ein Hertzsprung-Russell-Diagramm und zeichnen Sie darin die Hauptreihe, die Sonne, VY CMa und Lalande 21185 ein.
- 3 d) Zeigen Sie, dass für Lalande 21185 die Masse-Leuchtkraft-Beziehung für Hauptreihensterne nicht gilt.
- 4 e) Typisch für massearme Hauptreihensterne wie Lalande 21185 ist, dass Materietransport durch Konvektion im gesamten Sterninneren stattfindet. Geben Sie an, wodurch das Hauptreihenstadium eines Sterns gekennzeichnet ist. Erklären Sie dann, welchen Einfluss die Konvektion auf die Verweildauer von Lalande 21185 auf der Hauptreihe hat.

2. Algol im Sternbild Perseus

Die Komponenten A und B von Algol im Sternbild Perseus bilden in einer Entfernung von 28 pc ein Doppelsternsystem. Algol A und Algol B bewegen sich mit den Bahngeschwindigkeiten $v_A = 44 \text{ km/s}$ bzw. $v_B = 201 \text{ km/s}$ näherungsweise auf Kreisbahnen um den gemeinsamen Schwerpunkt und haben die Umlaufdauer 2,9 d. Nehmen Sie an, dass Bahn- und Beobachtungsebene übereinstimmen und der Schwerpunkt des Doppelsternsystems relativ zur Erde ruht.

- 5 a) Nebenstehend ist schematisch der zeitliche Verlauf der scheinbaren Helligkeit Algols dargestellt. Erklären Sie die beiden Maxima der scheinbaren Helligkeit während einer Umlaufdauer, wenn Algol A im Vergleich zu Algol B eine größere Leuchtkraft, aber einen kleineren Radius besitzt.



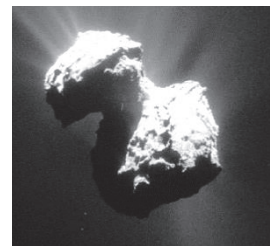
- 5 b) Jede Spektrallinie im Spektrum des Doppelsterns spaltet sich in zwei Linien auf. Erklären Sie die Spektrallinienaufspaltung und beschreiben Sie das Verhalten zweier solcher Linien während eines Umlaufs beider Komponenten.

(Fortsetzung nächste Seite)

- 4 c) Zeigen Sie, dass für die Bahnradien $r_A = 1,8 \cdot 10^9$ m und $r_B = 8,0 \cdot 10^9$ m gilt.
- 5 d) Eine theoretische Beziehung für den kleinstmöglichen Winkelabstand α zweier Sterne, die in einem Fernrohr gerade noch getrennt beobachtet werden können, lautet $\sin(\alpha) = 1,22 \lambda/D$; hierbei ist D der Durchmesser der Fernrohröffnung und λ die Wellenlänge des beobachteten Sternenlichts. Entscheiden Sie rechnerisch, ob die Komponenten von Algol in einem gewöhnlichen Linsenfernrohr für $\lambda = 480$ nm getrennt beobachtbar sind.

3. Landung auf dem Kometen Tschurjumow-Gerassimenko

Am 12.11.2014 setzte mit Philae erstmals ein Lander auf die Oberfläche eines Kometen auf. Die Gestalt des Kometen Tschurjumow-Gerassimenko kann durch zwei Kugeln vom Radius 1,4 km modelliert werden, die über ein Zwischenstück mit vernachlässigbaren Ausmaßen verbunden sind. Senkrecht auf dem Zwischenstück steht die Rotationsachse, um die sich der Komet einmal in 12,4 h dreht. Es wird angenommen, dass die Masse $1,0 \cdot 10^{13}$ kg des Kometen zu gleichen Teilen auf die beiden Kugeln verteilt ist.



- 6 a) Durch Ausgasen des Kometen in Sonnennähe besteht die Möglichkeit, dass das Zwischenstück bricht. Untersuchen Sie auf Grundlage des obigen Modells, ob die beiden Kometenhälften dann auseinanderdriften würden.

Der Lander Philae wurde von der Sonde Rosetta ausgestoßen, die den Kometen näherungsweise auf einer Kreisbahn mit Radius 20 km umrundete. Nehmen Sie an, dass Philae unmittelbar danach relativ zum Kometenschwerpunkt ruht und ein freier, geradliniger Fall in Richtung der Kometenoberfläche beginnt. Zur Untersuchung dieser Bewegung wird der Komet stark vereinfachend als eine Kugel mit Radius 1,8 km angenommen.

- 6 b) Zeigen Sie, dass die Beschleunigung, die Philae zu Beginn des Falls erfährt, $1,7 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}^2$ beträgt. Berechnen Sie die Falldauer bis zur Oberfläche in Tagen unter der vereinfachenden Annahme, dass die Beschleunigung während des gesamten Falls konstant bleibt.
- 5 c) Um eine bessere Näherung der Falldauer zu erhalten, wird die Fallstrecke in zwei gleichlange Strecken unterteilt. Für die Beschleunigung wird auf jeder Teilstrecke ein konstanter Wert angenommen, der jeweils dem Wert der Beschleunigung am Anfangsort der Teilstrecke entspricht. Erklären Sie, wie sich die mit diesem Verfahren bestimmte Falldauer im Vergleich zum Wert in Teilaufgabe 3b verändert. Geben Sie an, wie sich das Näherungsverfahren weiter verbessern lässt, um die tatsächliche Falldauer zu bestimmen.
- 3 d) Philae trifft mit etwa 2,9 km/h auf dem Kometen auf. Erklären Sie, weshalb Philae ohne den Einsatz technischer Vorrichtungen nicht dauerhaft auf der Oberfläche des Kometen landen kann, und schlagen Sie eine sinnvolle Vorrichtung vor.