

BE

GPh1

1. Quantelung der Ladung – Millikanversuch

Im Millikanversuch werden kleine geladene Öltröpfchen in das homogene Feld eines Plattenkondensators (Abstand der horizontal liegenden Platten: $d = 2,0 \text{ cm}$) gebracht und durch ein Mikroskop beobachtet.

- 6 a) Ein ausgewähltes Öltröpfchen (Masse $m = 4,70 \cdot 10^{-16} \text{ kg}$) schwebt gerade bei einer Kondensatorspannung von 25 Volt. Berechnen Sie den Betrag der Ladung dieses Öltröpfchens.
- 4 b) Nennen Sie zwei Gründe dafür, dass eine genaue Ladungsbestimmung mit Hilfe der Schwebemethode kaum möglich ist.
- 8 c) Im Labor verwendet man deshalb eine andere Variante des Millikanversuchs. Dabei ergeben sich Häufungen der Messwerte bei folgenden Ladungen der Öltröpfchen:

$6,4 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$9,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$16,0 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------

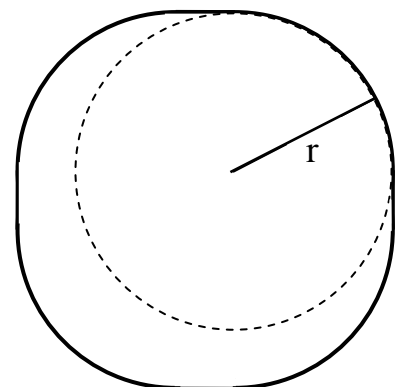
Auf welchen größtmöglichen Wert für die Elementarladung würde ein Experimentator auf Grund dieser Messergebnisse schließen? Geben Sie eine Begründung für Ihr Ergebnis an.

Welche anderen Werte für die Elementarladung sind mit diesen Messergebnissen vereinbar?

- 5 d) Kann ein Öltröpfchen auch dann im Schwebezustand ($v = 0$) gehalten werden, wenn statt des elektrischen Feldes ein homogenes Magnetfeld verwendet wird? Begründen Sie Ihre Antwort.

2. Ein Synchrotron ist ein Beschleuniger, in dem geladene Teilchen eine geschlossene Bahn durchlaufen, auf die sie mit Hilfe von Ablenkmagneten gezwungen werden. Näherungsweise besteht die Bahn aus vier Viertelkreisen mit Radius r und geraden Verbindungsstücken. Auf den vier Geraden werden die Teilchen durch sogenannte Resonatoren beschleunigt. Da die Energie der Teilchen ständig zunimmt, der Kreisradius r dagegen unverändert bleibt, müssen die Magnetfelder angepasst (synchronisiert) werden.

Ein Synchrotron kann erst ab einer bestimmten Teilchenenergie arbeiten; deshalb werden die Teilchen auf die nötige Geschwindigkeit vorbeschleunigt und erst dann in das Synchrotron injiziert.



(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 5 a) 1992 wurde in Hamburg das Synchrotron Hera in Betrieb genommen. In das Synchrotron werden Protonen mit der Geschwindigkeit $v = 0,99973 c$ injiziert. Berechnen Sie das Verhältnis der Masse des Protons zu seiner Ruhemasse im Moment der Injektion.

Das Synchrotron Hera hat einen Umfang von 6,30 km. Die Protonen werden mit einer Gesamtenergie von $E_1 = 40,0 \text{ GeV}$ injiziert und erreichen eine maximale Gesamtenergie von $E_2 = 920 \text{ GeV}$. Pro Umlauf wird den Protonen in jedem der vier Resonatoren durchschnittlich die Energie $\Delta E = 7,80 \text{ keV}$ zugeführt. (Energieverluste in Form von Synchrotronstrahlung sind hierin schon berücksichtigt.)

- 5 b) Berechnen Sie, wie viele Umläufe des Protons von der Injektion bis zum Erreichen der maximalen Gesamtenergie nötig sind.

[zur Kontrolle: $n = 2,82 \cdot 10^7$]

- 3 c) Welchem Vielfachen des Erdumfangs entspricht die dabei von den Protonen zurückgelegte Strecke?

- 5 d) Schätzen Sie ab, wie lange der Vorgang von Teilaufgabe 2b dauert.

[zur Kontrolle: $t = 593 \text{ s}$]

Berücksichtigt man, dass sich die Protonen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit bewegen ($v \approx c$), erhält man folgenden Zusammenhang zwischen der Gesamtenergie E der Protonen und der Flussdichte B des Magnetfelds, das die Protonen auf eine Kreisbahn zwingt:

$$E = r \cdot e \cdot c \cdot B$$

- 7 e) Leiten Sie ausgehend von einem Kraftansatz für die Kreisbewegung diese Gleichung her.

- 6 f) Zwischen welchen Werten muss die magnetische Flussdichte B synchronisiert werden, wenn der Radius r der Kreisbahn in den Magnetfeldern 800 m beträgt? [zur Kontrolle: $B_1 = 0,167 \text{ T}$; $B_2 = 3,84 \text{ T}$]

- 6 g) Im Synchrotron erzeugen supraleitende Spulen der Querschnittsfläche $A = 1,80 \text{ m}^2$ das Magnetfeld, das die Protonen ablenkt. Der Anstieg des Magnetfelds induziert in jeder der Spulen eine Gegenspannung. Berechnen Sie mit Hilfe der bisherigen Ergebnisse den mittleren Wert dieser Gegenspannung für eine Spule mit 80 Windungen.

BE

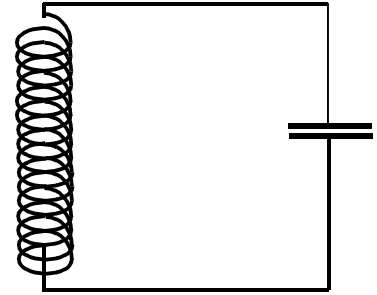
GPh 2**1. Resonanz**

Aus einer Spule (Länge 25,0 mm, Durchmesser 6,0 mm, 160 Windungen) und einem Kondensator der Kapazität 4,2 nF wird ein Schwingkreis aufgebaut.

7

- a) Durch einen Resonanzversuch soll die Eigenfrequenz des Schwingkreises bestimmt werden. Es steht ein Frequenzgenerator sowie ein Oszilloskop zur Verfügung.

Skizzieren Sie einen geeigneten Versuchsaufbau und beschreiben Sie, wie die Eigenfrequenz am Oszilloskop bestimmt werden kann.



5

- b) Berechnen Sie die Frequenz, für die Resonanz zu erwarten ist.

2

- c) Die tatsächlich gemessene Resonanzfrequenz stimmt mit dem Ergebnis von Teilaufgabe 1b nicht genau überein. Geben Sie eine kurze Begründung dafür an.

2. Versuche mit Mikrowellen

Mit einem Mikrowellensender wird ein Doppelspaltversuch durchgeführt. Dazu stellt man in 30 cm Abstand vor dem Sender drei Aluminiumbleche so auf, dass sich zwei senkrechte Spalte mit jeweils 2,0 cm Breite ergeben. Dabei hat das mittlere Blech eine Breite von 12 cm. Der Sender steht auf der Symmetrieachse dieses Doppelspalts. 30 cm hinter den Blechen wird der Empfangsdipol – ebenfalls auf der Symmetrieachse – aufgestellt.

4

- a) Skizzieren Sie die Versuchsanordnung im Maßstab 1 : 5.

5

- b) Obwohl das mittlere Blech den direkten Weg vom Sender zum Empfänger versperrt, kann kräftiger Empfang nachgewiesen werden. Erklären Sie diese Beobachtung.

8

- c) Verschiebt man den Empfänger senkrecht von der Symmetrieachse weg, so wird der Empfang zuerst schwächer, dann wieder stärker. 10 cm von der Achse entfernt ist er wieder maximal. Zeichnen Sie diese Position des Empfängers in die Skizze von Teilaufgabe 2a ein und erklären Sie das Phänomen. Berechnen Sie die Wellenlänge der benutzten Mikrowellenstrahlung.

4

- d) Mit Hilfe der Skizze zu Teilaufgabe 2c kann die Wellenlänge auch zeichnerisch ermittelt werden. Führen Sie dies durch und erläutern Sie kurz Ihr Vorgehen.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

3. Photoeffekt

- | |
|---|
| 4 |
| 8 |
| 3 |
| 3 |
| 7 |
- a) Beschreiben Sie einen einfachen Versuch mit einem Elektroskop als Nachweisgerät, mit dem sich der Photoeffekt beobachten lässt.
 - b) Geben Sie zwei Beobachtungen beim Photoeffekt an, die im Widerspruch zur klassischen Lichtwellentheorie stehen. Erklären Sie die von Ihnen genannten Beobachtungen unter Verwendung der Einstein'schen Deutung des Photoeffektes.

 Vakuumphotozellen basieren auf dem Photoeffekt. Bei Bestrahlung mit geeignetem monochromatischem Licht ist eine Vakuumphotozelle eine Spannungsquelle.
 - c) Geben Sie die Beziehung für den Zusammenhang zwischen der Spannung der Photozelle und der Frequenz des eingestrahlten Lichts an.
 - d) Grünes Licht der Frequenz $f = 5,38 \cdot 10^{14}$ Hz soll durch eine Vakuumphotozelle nachgewiesen werden. Zur Verfügung stehen Photozellen mit folgenden Kathodenmaterialien: Cäsium, Gold, Kalium, Platin und Rubidium. Welche dieser Photozellen sind geeignet? Begründen Sie Ihre Antwort.
 - e) Bei Verwendung von speziellen Legierungen erreicht man bei Photozellen Ablösearbeiten von 1,0 eV.
 In welchem Bereich liegen die Geschwindigkeiten von Photoelektronen, die durch sichtbares Licht (400 nm bis 800 nm) in solchen Photozellen ausgelöst werden?

BE

GPh 3**1. Franck-Hertz-Versuch**

Im Jahr 1925 wurden die deutschen Physiker James Franck und Gustav Hertz für ihre experimentellen Forschungen auf dem Gebiet der Atomphysik mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

- 8 a) Skizzieren Sie den Versuchsaufbau (inkl. Messgeräte) zum Elektronenstoß-Versuch im Franck-Hertz-Rohr, beschriften Sie die wesentlichen Teile und beschreiben Sie knapp die Versuchsdurchführung.
- 7 b) Fertigen Sie eine Skizze des charakteristischen U-I-Diagramms an. Zeichnen Sie darin auch den ungefähren Verlauf der Kennlinie ein, die man erwarten würde, wenn zwischen Elektronen und Quecksilberatomen nur elastische Stöße auftreten könnten. Begründen Sie den unterschiedlichen Kurvenverlauf.
- 2 c) Bei Zimmertemperatur ist in der Röhre Quecksilber in flüssigem Zustand zu sehen. Erklären Sie kurz, warum zur Aufnahme der Messkurve die Röhre beheizt werden muss.
- 4 d) Nach Anregung der Quecksilberatome auf ein Niveau von 4,9 eV über dem Grundzustand geht die Mehrzahl direkt wieder in den Grundzustand über. Berechnen Sie die Wellenlänge der damit verbundenen Strahlung. Wie heißt der dazugehörige Wellenlängenbereich?

2. Linienspektren des Wasserstoffatoms

Die Serienformel für das Wasserstoff-Spektrum lautet:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \text{ wobei } R_H \text{ die Rydbergkonstante für das Wasserstoffatom ist.}$$

- 5 a) Berechnen Sie die Frequenz des Lichts, das in H-Atomen beim Übergang des Elektrons aus der L- in die K-Schale entsteht.
- 5 b) Ermitteln Sie mit Hilfe der Serienformel die Ionisationsenergie für ein H-Atom, das sich im ersten angeregten Zustand befindet.
- 5 c) Fertigen Sie eine maßstabsgetreue Zeichnung der fünf niedrigsten Stufen im Energieniveauschema von Wasserstoff an.
- 6 d) Für welchen Wert von n_1 liegen mehrere Spektrallinien im sichtbaren Bereich? Wie heißt diese Serie? Berechnen Sie für diese die Wellenlängen derjenigen zwei Übergänge, die zu den kleinsten Energiedifferenzen gehören.

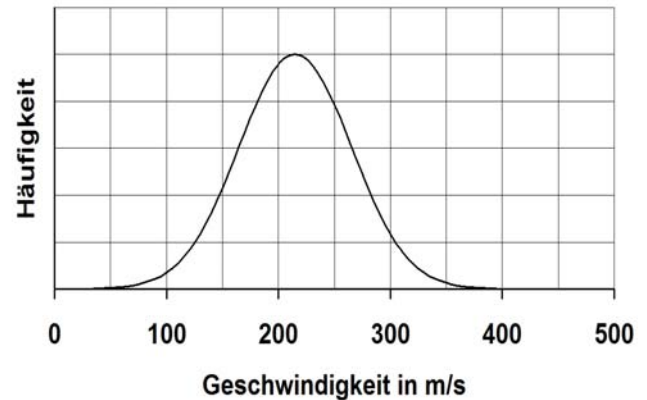
(Fortsetzung nächste Seite)

BE

3. Materiewellen bei Fullerenen

Fullerene sind Moleküle, die in ihrer Struktur einem Fußball gleichen und aus jeweils 60 Kohlenstoffatomen bestehen. Durch das Erhitzen einer Fullerenprobe wird ein Fullerenstrahl erzeugt, der Moleküle unterschiedlicher Geschwindigkeiten enthält (vgl. Abb. 1 mit idealisierter Messkurve).

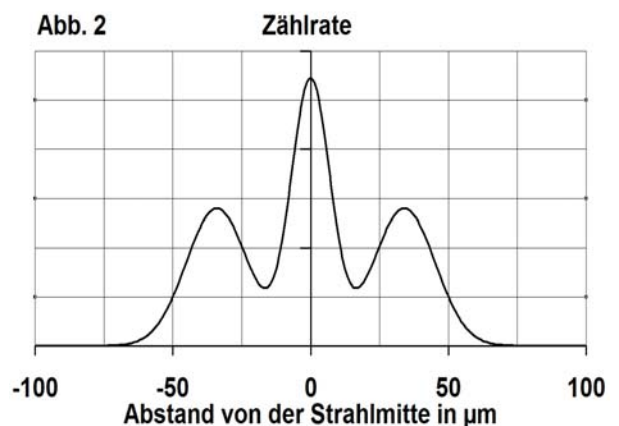
Abb. 1



- 6 a) Berechnen Sie näherungsweise die de-Broglie-Wellenlänge eines Fulleren, welches die Geschwindigkeit besitzt, die am häufigsten auftritt. (Nehmen Sie an, dass es sich ausschließlich um ^{12}C -Atome handelt.)
[zur Kontrolle: $\lambda \approx 2,6 \text{ pm}$]

Ein gebündelter Strahl aus Fullerenen trifft auf ein Gitter mit dem Spaltmittenabstand $b = 100 \text{ nm}$. In einer Entfernung von $a = 1,25 \text{ m}$ hinter dem Gitter befindet sich ein Detektor, der die auftreffenden Moleküle registriert. Dabei ergibt sich näherungsweise der nebenstehende Kurvenverlauf für die Zählrate in Abhängigkeit vom Ort (siehe Abb. 2).

Abb. 2



- 9 b) Erläutern Sie die Graphik.
Berechnen Sie mit ihrer Hilfe die Wellenlänge der Materiewelle und zeigen Sie, dass deren Größenordnung mit der Theorie von de Broglie übereinstimmt.
- 3 c) Geben Sie aufgrund der experimentellen Gegebenheiten eine Begründung dafür an, dass die registrierte Zählrate bei den Minima nicht Null beträgt.

BE

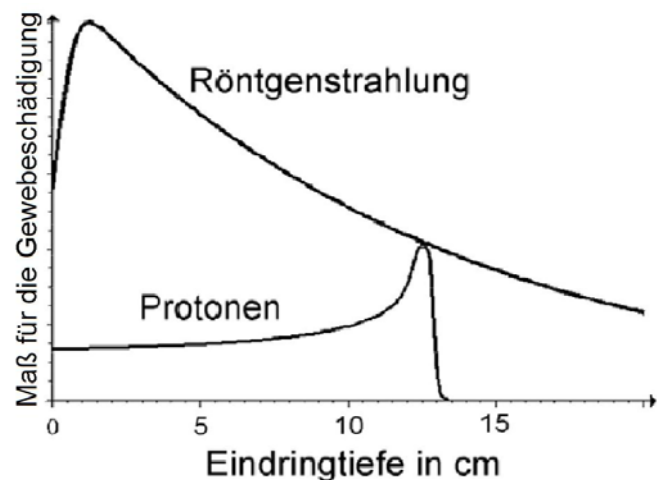
GPh 4

1. Strahleneinsatz in der Medizin

Bei der Behandlung von Tumoren im Körperinneren werden in der modernen Medizin u. a. hochenergetische Protonen zur Bestrahlung eingesetzt. Dabei wird die ionisierende Wirkung der Protonen zur Zerstörung der Krebszellen verwendet.

- 8 a) Erläutern Sie auch anhand einer beschrifteten Skizze den Aufbau und die Funktionsweise eines Zyklotrons, mit dem Protonen beschleunigt werden können.

- 6 b) In der nebenstehenden Abbildung ist ein Maß für die Gewebeschädigung durch einen Protonen- bzw. einen Röntgenstrahl in Abhängigkeit von der Eindringtiefe in das Körpergewebe dargestellt. Ein Tumor, der sich ca. 12 cm im Körperinneren befindet, soll zerstört werden. Erläutern Sie auf der Grundlage des nebenstehenden Diagramms, worin hierbei der entscheidende Vorteil bei der Verwendung von Protonen im Vergleich zu der in der konventionellen Strahlentherapie verwendeten Röntgenstrahlung liegt.



Ein anderes Verfahren der Nuklearmedizin ist die Positron-Emissions-Tomographie (PET). Zur Krebsdiagnostik wird dabei z. B. der kurzlebige β^+ -Strahler ^{11}C in den Körper eingeschleust. Aus seiner Verteilung im Körpergewebe kann man Rückschlüsse auf den Tumor ziehen.

- 7 c) Zur Herstellung des Nuklids ^{11}C werden ^{14}N -Kerne mit Protonen der kinetischen Energie 18 MeV beschossen. Geben Sie die Reaktionsgleichung an. Berechnen Sie die für diese Reaktion notwendige Energie und vergleichen Sie diese mit der kinetischen Energie der Protonen.
- 5 d) Geben Sie die Zerfallsgleichung für den β^+ -Zerfall von ^{11}C an und erläutern Sie, warum das Energiespektrum des β^+ -Strahlers kontinuierlich ist.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 4 e) Der β^+ -Zerfall kann als Umwandlung eines Kern-Protons (udu) in ein Kern-Neutron (udd) beschrieben werden. Deuten Sie diese Umwandlung im Quarkmodell.
- 7 f) Bei der PET trifft ein Positron schon kurz nach der Emission auf ein Elektron und zerstrahlt mit diesem in zwei γ -Quanten. Bei einer Untersuchung werden dem Patienten $1,0 \cdot 10^{-11}$ g des ^{11}C injiziert. Berechnen Sie die Zahl der γ -Quanten, die nach der Injektion innerhalb von zwei Halbwertszeiten erzeugt werden.

2. Strahlenbelastung durch Radon

Radon ist ein unsichtbares und geruchloses Edelgas, das sich im Inneren von Häusern konzentriert und zur natürlichen Strahlenbelastung des Menschen beiträgt. Entscheidend ist dabei das Radonisotop ^{222}Rn , das mit der Halbwertszeit $T = 3,8$ d zerfällt.

- 4 a) Geben Sie an, welcher Zerfallsreihe ^{222}Rn angehört, und bestimmen Sie, nach wie vielen α - und β -Zerfällen ^{222}Rn in das entsprechende stabile Bleiisotop übergegangen ist.
- 7 b) ^{222}Rn geht selbst durch einen α -Zerfall aus einem Mutterkern hervor. Stellen Sie die Zerfallsgleichung für die Entstehung von ^{222}Rn auf und berechnen Sie den Rückstoßimpuls, den ^{222}Rn bei dieser Kernreaktion erhält, wenn das dabei emittierte α -Teilchen eine kinetische Energie von 4,78 MeV hat.
- 6 c) In einer Wohnung ergibt sich pro Kubikmeter Raumlufte aufgrund der ^{222}Rn -Konzentration eine Aktivität von 50 Bq. Berechnen Sie, wie viele ^{222}Rn -Atome sich in einem Kubikmeter Raumlufte befinden.
- 6 d) Stellen Sie dar, wie die erhöhte Radonkonzentration in Räumen, vor allem in Kellerräumen, zustande kommt und erläutern Sie kurz, warum die Strahlenbelastung durch Radon für den Menschen besonders gefährlich ist. Geben Sie eine einfache Maßnahme an, wie man diese Strahlenbelastung verringern kann.

BE

GPh 5

1. Raumsonde Huygens landet auf Titan

Am 14. Januar 2005 landete die ESA-Sonde Huygens auf dem größten Saturn-Mond Titan, den Christian Huygens im Jahr 1655 entdeckt hatte. Mehr als sieben Jahre hatte der gemeinsame Flug der Sonde und ihres Mutterschiffes Cassini gedauert.

- 6 a) Zwischen zwei Saturnoppositionen liegen ein Jahr und 12,8 Tage. Berechnen Sie aus diesem Wert die siderische Umlaufzeit des Planeten und die Länge der großen Halbachse der Bahnellipse.
- Die energetisch günstigste Bahn für einen interplanetaren Flug ist die so genannte Hohmann-Bahn.
- 7 b) Skizzieren Sie für einen Flug von der Erde zum Saturn die Hohmann-Bahn und bestimmen Sie deren große Halbachse sowie die zugehörige Reisezeit von der Erde zum Saturn. [zur Kontrolle: $a_{\text{Hohmann}} = 5,28 \text{ AE}$]
- 4 c) Bestimmen Sie für die Bahn von Teilaufgabe 1b die Geschwindigkeit im Perihel.
- 4 d) Mit der heutigen Raketentechnik ist eine Beschleunigung auf die in Teilaufgabe 1c berechnete Geschwindigkeit nicht möglich. Nennen Sie zwei Gegebenheiten im Sonnensystem, die man geschickt nutzen kann, um dennoch derartige Geschwindigkeiten zu erreichen.
- Während des Landeanflugs auf Titan entfernte sich Huygens vom Mutterschiff mit einer Geschwindigkeit von $6,0 \text{ km/s}$. Bei diesem Manöver sendete Huygens seine Daten mit der Trägerfrequenz 2098 MHz an Cassini.
- 4 e) Bestimmen Sie die Frequenzverschiebung, mit der die „Huygensdaten“ beim Mutterschiff Cassini ankamen.
- Titan hat einen Radius von 2575 km und eine Masse von $1,35 \cdot 10^{23} \text{ kg}$. Damit ist er der zweitgrößte Mond unseres Sonnensystems. Er bewegt sich in $15,9$ Tagen in gebundener Rotation auf einer nahezu kreisförmigen Bahn mit Radius $1,22 \cdot 10^6 \text{ km}$ um den Saturn.
- 6 f) Berechnen Sie die Masse des Saturn.
- 5 g) Erläutern Sie den Begriff „gebundene Rotation“. Geben Sie den zeitlichen Abstand zweier Sonnenaufgänge an einem Ort auf Titan an. Begründen Sie kurz Ihre Antwort.
- 6 h) Bestimmen Sie die Fallbeschleunigung auf Titan.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Für die Energieversorgung der Doppelsonde nutzte man Kernenergie von Plutonium. Eine Alternative könnten Solarzellen sein.

- 5 i) Bestimmen Sie die Fläche einer Solarzelle, die notwendig ist, um bei einem Wirkungsgrad von 20 % in Saturnnähe eine elektrische Leistung von 750 W zu erzeugen.

2. Sonnenspektrum

Wichtige Informationen über Zustandsgrößen der Sonne erhält man aus der Untersuchung ihres Spektrums.

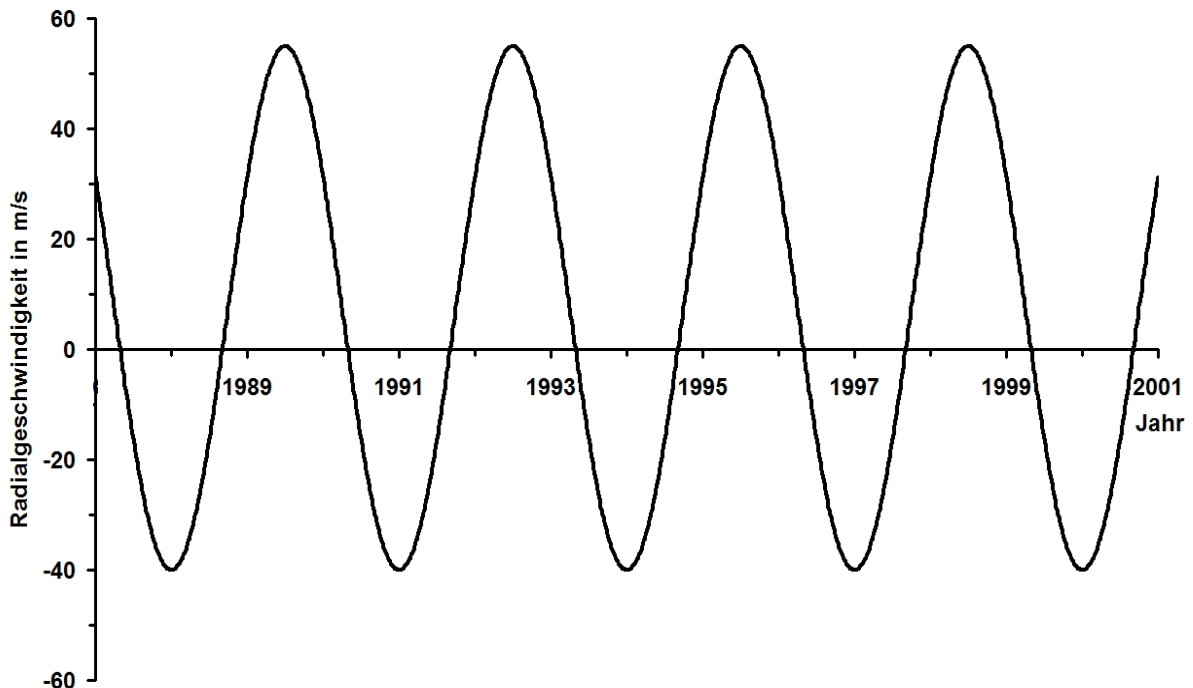
- 4 a) Gefahrlos kann man die Sonne durch eine Projektion beobachten. Dabei erscheint ihr Bild mit einem scharfen Rand. Erläutern Sie dies.
- 5 b) Beschreiben Sie das Zustandekommen der Absorptionslinien im Sonnenspektrum und erläutern Sie, wie man aus ihnen Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung der Photosphäre ziehen kann.
- 4 c) Eine auffällige Linie im Sonnenspektrum ist die H_{α} -Linie des Wasserstoffs. Inwiefern spielt die Temperatur der Photosphäre eine wichtige Rolle bei der Entstehung dieser Linie?

BE

GPh 6

1. Ein Planet des Sterns 47 Ursae Majoris

Der Stern 47UMa gehört zum Sternbild Großer Bär. Aus spektroskopischen Untersuchungen erhält man für diesen Stern die im folgenden Diagramm dargestellte periodische Veränderung seiner Radialgeschwindigkeit.



Die einzige mit den Beobachtungen verträgliche Erklärung für die periodisch veränderte Radialgeschwindigkeit ist, dass 47UMa einen Planeten als Begleiter hat und beide um einen gemeinsamen Schwerpunkt kreisen. Für die folgenden Überlegungen wird angenommen, dass die Beobachtungsrichtung in der Umlaufebene von Stern und Planet liegt.

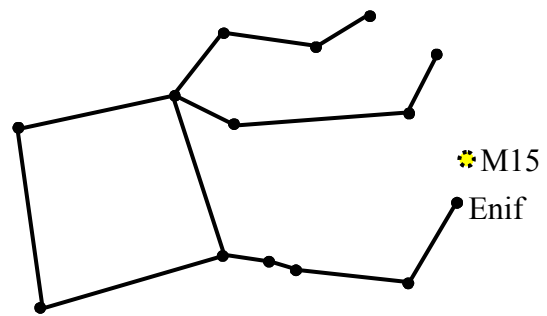
- 5 a) Erläutern Sie unter Angabe der erforderlichen Formel, wie man mit Hilfe von spektroskopischen Untersuchungen die Radialgeschwindigkeit von 47UMa bestimmen kann.
- 3 b) Begründen Sie an Hand des Diagramms, dass sich der Schwerpunkt des Systems vom Beobachter weg bewegt. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit dieser Bewegung.
- 8 c) Erläutern Sie unter Verwendung einer Skizze den im Diagramm dargestellten zeitlichen Verlauf der Radialgeschwindigkeit.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Das Sternbild Pegasus

Ein am Herbsthimmel auffälliges Sternviereck (das sogenannte Herbstviereck) wird im Wesentlichen von Sternen des Sternbilds Pegasus (siehe Abbildung) gebildet. Der Sage nach ist Pegasus ein geflügeltes Pferd. Die „Nase“ des Pferdekopfes wird durch den Stern Enif (ϵ Peg) markiert.



Von diesem Stern sind folgende Daten bekannt:

Mittlere scheinbare Helligkeit: 2,4

Mittlere absolute Helligkeit: -4,2

Oberflächentemperatur: $5,0 \cdot 10^3$ K

- 4 a) Berechnen Sie die Entfernung des Sterns Enif in Lichtjahren.
- 7 b) Berechnen Sie die Leuchtkraft und den Radius von Enif jeweils im Vergleich zur Sonne.
- [zur Kontrolle: $L_{\text{Enif}} = 4,0 \cdot 10^3 L_{\odot}$; $R_{\text{Enif}} = 85 R_{\odot}$]
- 10 c) Zeichnen Sie in ein Hertzsprung-Russell-Diagramm die Hauptreihe sowie die Positionen der Sonne und des Sterns Enif ein. In welchem Entwicklungsstadium befindet sich Enif? Wodurch unterscheidet sich der Aufbau von Enif von dem der Sonne?
- Es wird erwartet, dass die Entwicklung von Enif in den nächsten Millionen Jahren zu einer Supernova führt.
- 5 d) Erläutern Sie kurz den Verlauf einer Supernova.
- 4 e) Nennen Sie mögliche Endstadien von Enif. Unter welcher grundlegenden Bedingung stellt sich das jeweilige Endstadium ein?
- In der Nähe von Enif findet man den Kugelsternhaufen M15, der $40 \cdot 10^3$ Lj von der Erde entfernt ist.
- 6 f) Eine Methode zur Entfernungsbestimmung astronomischer Objekte verwendet die trigonometrische Parallaxe. Erläutern Sie diese Methode und begründen Sie, warum sie für den Kugelsternhaufen M15 nicht anwendbar ist.
- 8 g) M15 besteht aus etwa 200000 Sonnen. Kann man den Kugelsternhaufen von der Erde aus bei guten Sichtbedingungen auch mit bloßem Auge erkennen? Schätzen Sie dazu die scheinbare Helligkeit von M15 ab.