

BE

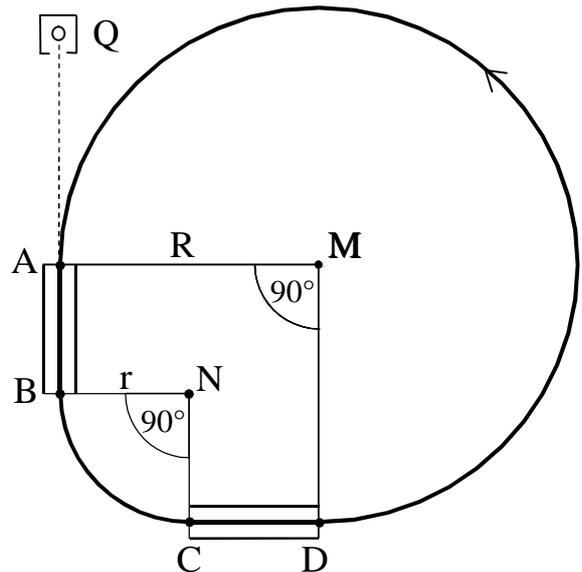
GPh1

1. Hypothetischer Protonenbeschleuniger

In der Quelle Q werden ruhende Protonen mit Hilfe der Spannung U_0 auf die Geschwindigkeit $v_0 = 1,4 \cdot 10^5$ m/s beschleunigt.

Anschließend treten sie bei A in den Protonenbeschleuniger ein. Dort werden sie durch ein homogenes Magnetfeld der Stärke $B = 5,0$ mT auf die abgebildete Bahn gezwungen. Dabei sind die beiden Strecken [AB] und [CD] magnetfeldfrei. Auf diesen beiden Strecken werden sie durch die Spannungen U_{AB} bzw. U_{CD} so beschleunigt, dass sich ihre Geschwindigkeiten jeweils verdoppeln.

Die Bahnabschnitte BC und DA werden als Kreisbogen mit den Radien r bzw. R angesehen. Relativistische Effekte sollen bei den Berechnungen unberücksichtigt bleiben.



- 3 a) Bestimmen Sie die Beschleunigungsspannung U_0 .
Zunächst soll die Bewegung der Protonen im ersten Umlauf betrachtet werden.
- 11 b) Ermitteln Sie die Spannung U_{AB} , den Radius r und die Zeit, die ein Proton für den Kreisabschnitt BC benötigt. Wie ist das Magnetfeld orientiert?
- 4 c) Zeigen Sie, dass $R = 2 r$ gelten muss, damit sich die Protonen auf der vorgegebenen Bahn bewegen.

Nach jeweils einem Umlauf der Protonen muss die magnetische Flussdichte B des Magnetfelds nachreguliert werden, damit sich die Protonen weiter auf der Sollbahn bewegen.

- 4 d) Ermitteln Sie den Faktor, um den die magnetische Flussdichte B von Umlauf zu Umlauf verändert werden muss.

Abschließend soll diskutiert werden, ob dieser Beschleuniger realisierbar ist. Dazu wird der vierte Umlauf betrachtet.

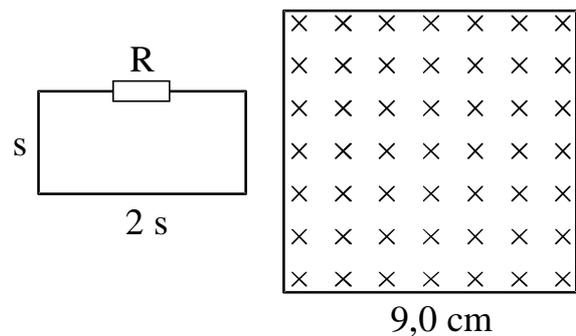
- 12 e) Ermitteln Sie die Geschwindigkeiten der Protonen in den Punkten C und D. Berechnen Sie die dafür notwendige Beschleunigungsspannung U_{CD} . Interpretieren Sie diese Ergebnisse im Hinblick auf die Realisierbarkeit dieses Beschleunigers.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Induktion

Ein homogenes Magnetfeld mit der Flussdichte $B = 0,80 \text{ T}$ steht senkrecht zur Zeichenebene und ist dort auf ein quadratisches Gebiet der Kantenlänge $9,0 \text{ cm}$ begrenzt. Durch dieses wird ein rechteckiger Drahtrahmen mit einem Widerstand $R = 4,0 \Omega$ (Abmessungen siehe Skizze, $s = 3,0 \text{ cm}$) mit der konstanten Geschwindigkeit $v = 1,5 \text{ cm/s}$ von links nach rechts gezogen.

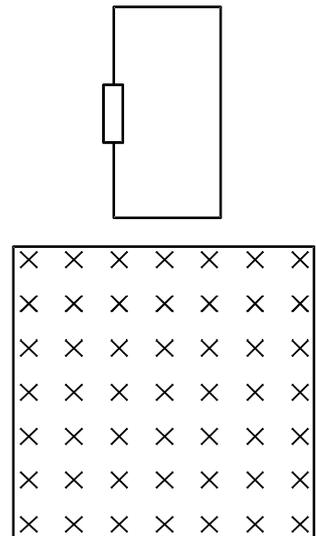


Die Zeitmessung beginnt, wenn der rechte Rand des Drahtrahmens den Magnetfeldbereich berührt. Nach der Zeitspanne 12 s wird der Drahtrahmen in einer vernachlässigbar kleinen Zeit abgebremst, erneut beschleunigt und wiederum 12 s lang mit $v = 1,5 \text{ cm/s}$ in die entgegengesetzte Richtung bewegt.

- 12 a) Berechnen Sie die verschiedenen Induktionsspannungen, die im Zeitintervall $0 \leq t \leq 24 \text{ s}$ am Widerstand R auftreten, und fertigen Sie ein t - U -Diagramm für diesen Zeitraum an.
- 7 b) Berechnen Sie die Beträge der Kräfte, die durch die Induktion während dieses Zeitraums auf den Drahtrahmen wirken, und geben Sie deren Richtungen mit Begründung an.

Nun wird die Anordnung so aufgestellt, dass der Drahtrahmen mit dem Widerstand frei durch das Magnetfeld fallen kann.

- 7 c) Erläutern Sie qualitativ, wie der Fall des Drahtrahmens durch das Magnetfeld beeinflusst wird. Die Magnetfeldlinien sollen dabei die Fläche des Drahtrahmens senkrecht durchsetzen. Welchen Einfluss auf die Bewegung hat eine Verdopplung des Widerstandswerts von R ?



BE

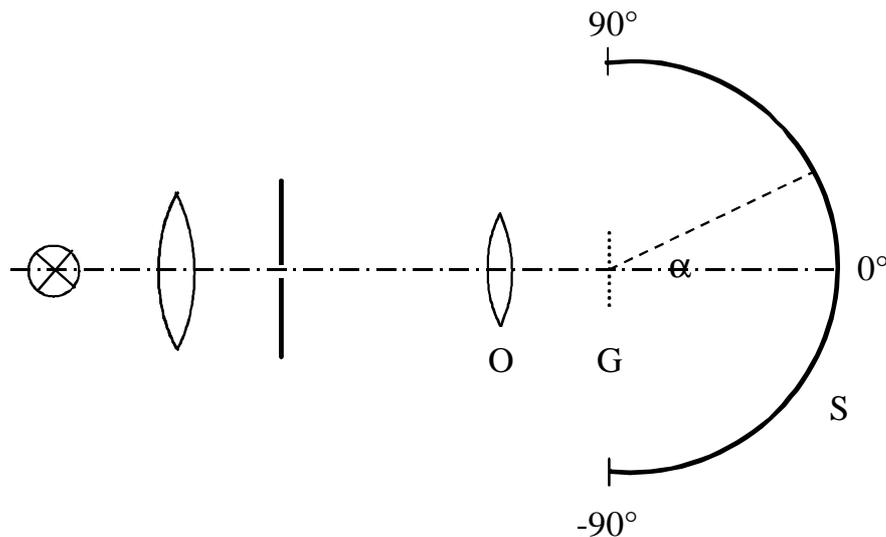
GPh2

1. Schwingkreis

Ein idealer Schwingkreis, der aus der Kapazität $C = 44 \text{ pF}$ und der Induktivität $L = 3,0 \text{ } \mu\text{H}$ besteht, schwingt ungedämpft. Zum Zeitpunkt $t = 0$ ist der Kondensator vollständig aufgeladen; die Spannung beträgt dann 12 V .

- 2 a) Berechnen Sie die Schwingungsdauer T .
[zur Kontrolle: $T = 7,2 \cdot 10^{-8} \text{ s}$]
- 6 b) Ermitteln Sie den Zeitpunkt, zu dem der Kondensator nach $t = 0$ erstmals vollständig entladen ist. Bestimmen Sie die Stromstärke I zu diesem Zeitpunkt.
[zur Kontrolle: $I = 46 \text{ mA}$]
- 6 c) Zeichnen Sie mit Hilfe der Teilaufgaben 1a und 1b den zeitlichen Verlauf der Spannung und den der Stromstärke innerhalb einer Schwingungsdauer.
- 6 d) Erläutern Sie allgemein das Prinzip von Schaltungen, die es ermöglichen, einen realen Schwingkreis zu ungedämpften Schwingungen anzuregen.

2. Spektralanalyse



Mit dem skizzierten Versuchsaufbau soll das Spektrum einer Glühlampe untersucht werden. Der von der Lampe mit Vorsatzlinse hell ausgeleuchtete Spalt dient als schmale, linienförmige Lichtquelle, die mit dem Objektiv O scharf auf den zum Halbzylinder gebogenen Schirm S abgebildet wird. Um das Spektrum der Lampe zu untersuchen, wird ein optisches Gitter G mit 570 Strichen pro mm in den Strahlengang gebracht. Die Lampe emittiert ein Kontinuum im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm .

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 11 a) Beschreiben Sie – nach geeigneten Berechnungen – in Abhängigkeit von α die Beobachtungen auf dem Schirm.
- 7 b) Zwischen Spalt und Objektiv wird eine durchsichtige Kammer mit Natriumdampf gebracht. Beschreiben und erklären Sie qualitativ die Beobachtung auf dem Schirm bei idealen Voraussetzungen.
- 4 c) Beschreiben Sie qualitativ drei Änderungen des Schirmbilds von Teilaufgabe 2a, wenn sowohl die Glühlampe durch eine Gasentladungsröhre als auch das Gitter durch ein Glasprisma ersetzt werden.

3. Photoeffekt

Der geplante Teilchenbeschleuniger TESLA soll mit gepulsten Elektronenpaketen arbeiten. Diese werden erzeugt, indem man im Vakuum eine Photokathode aus Cäsium-Tellurid mit kurzen Laserpulsen bestrahlt. Die Grenzwellenlänge dieser Photokathode wird mit 260 nm angegeben.

- 3 a) Berechnen Sie die Mindestenergie, die die Photonen des Laserpulses haben müssen, um Photoelektronen auslösen zu können.
[zur Kontrolle: 4,77 eV]
- 6 b) Berechnen Sie die maximale Austrittsgeschwindigkeit der Photoelektronen, wenn man Strahlung der Wellenlänge 255 nm benutzen würde.
- 5 c) Um Photoelektronen mit vernachlässigbarer Austrittsgeschwindigkeit zu erhalten, bestrahlt man die Kathode mit Laserpulsen der Wellenlänge 260 nm. Ein solcher Laserpuls erzeugt dabei ein Elektronenpaket der Ladung 1,0 nAs. Berechnen Sie die Energie eines solchen Laserpulses unter der Annahme, dass nur 2,0 % der Laserphotonen Elektronen auslösen.
- 4 d) Alternativ wird ein Laserpuls gleicher Energie wie in Teilaufgabe 3c, aber kürzerer Wellenlänge verwendet. Der Auslöseanteil wird wieder mit 2,0 % angenommen. Erläutern Sie, wie sich die Zahl der ausgelösten Photoelektronen ändert.

BE

GPh3

1. Quantenhafte Anregung von Atomen

Atome können durch Absorption von Photonen oder durch Elektronenstöße angeregt werden.

- 8 a) Beschreiben Sie einen Versuch, mit dem sich die Anregung von Atomen durch Photonen demonstrieren lässt. Fertigen Sie dazu eine beschriftete Skizze an und beschreiben Sie die Durchführung und die Beobachtung.
- Im Folgenden soll die Anregung von Neon-Atomen durch Elektronenstöße betrachtet werden. Hierbei wird bevorzugt die Energie 18,9 eV aus dem Grundzustand heraus absorbiert.
- 4 b) Zeigen Sie, dass die Strahlung beim Übergang des so angeregten Neonatoms in den Grundzustand nicht im sichtbaren Bereich liegt.
- 4 c) Tatsächlich fällt das angeregte Neonatom zunächst in einen Zwischenzustand, wobei orangefarbiges Licht der Wellenlänge 585 nm emittiert wird. Berechnen Sie die Energie dieses Zwischenzustands bezüglich des Grundzustands.
- 9 d) Nun durchlaufen zunächst ruhende Elektronen in einer mit Neongas gefüllten Röhre zwischen zwei Elektroden die Spannung $U = 40 \text{ V}$. Man kann zwei schmale orangefarbig leuchtende Bereiche beobachten. Erklären Sie das Zustandekommen dieser Bereiche und geben Sie ihre ungefähre Lage zwischen den Elektroden an. Welchen Einfluss hat eine Erhöhung der Beschleunigungsspannung? Begründen Sie Ihre Antwort.

2. Rydberg-Atome

Atome, die sich in sehr hoch angeregten Zuständen befinden, werden als Rydberg-Atome bezeichnet. Durch radioastronomische Beobachtungen wurden im Weltraum Wasserstoff-Atome ausgemacht, die sich in Zuständen bis $n = 350$ befinden.

Rechnen Sie bei den folgenden Teilaufgaben für das H-Atom mit der Ionisierungsenergie 13,60 eV und der Rydbergkonstante $1,097 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}$.

- 4 a) Die lineare Ausdehnung des Wasserstoffatoms kann proportional zu n^2 angenommen werden; im Grundzustand beträgt sie $11 \cdot 10^{-11} \text{ m}$. Bei welcher Quantenzahl n hätte das Atom die Ausdehnung eines Haardurchmessers von 1/30 mm?

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

- 6 b) Berechnen Sie die Wellenlänge λ_R der Strahlung, die ein H-Atom emittiert, wenn es von dem Zustand mit $n = 100$ in das benachbarte Niveau übergeht. In welchem Verhältnis steht diese Wellenlänge zu jener der Strahlung, die entsteht, wenn das H-Atom vom 1. angeregten Niveau in den Grundzustand zurückkehrt?
- [zur Kontrolle: $\lambda_R = 4,490 \cdot 10^{-2} \text{ m}$]

- 5 c) Zu welchen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums gehören jeweils die beiden Wellenlängen von Teilaufgabe 2b)?
Geben Sie eine Möglichkeit an, Wellen nachzuweisen, deren Wellenlängen in der Größenordnung von λ_R liegen und genügend große Intensität besitzen.

- 4 d) Der Nachweis von Rydberg-Atomen erfolgt durch ihre leichte Ionisierbarkeit. Welche Energie ist noch nötig, um das H-Atom aus dem Zustand mit $n = 10$ heraus zu ionisieren?

Im Labor erzeugt man Rydberg-Atome durch Absorption des Lichts zweier sich kreuzender Laserstrahlen. Dabei wird das Wasserstoffatom im Grundzustand durch den ersten Laserstrahl zunächst in einen Zwischenzustand angeregt, der zweite Laser liefert den noch fehlenden Energiebetrag für den Rydberg-Zustand.

- 8 e) Der erste Laser besitze die feste Photonenenergie 12,09 eV. Weisen Sie nach, dass sich das H-Atom mit dieser Photonenenergie anregen lässt, und berechnen Sie, welche Wellenlänge der zweite Laser besitzen muss, um das H-Atom in den Zustand mit $n = 100$ anzuheben.

Abweichend vom Bisherigen werden jetzt Atome mit mehr als einem Hüllenelektron betrachtet.

- 8 f) Beschreiben Sie die Verteilung der Elektronen auf den Schalen eines Natrium-Atoms. Begründen Sie anschaulich, warum sich ein Natrium-Atom in einem Rydberg-Zustand in vielen seiner Eigenschaften wie ein hoch angeregtes Wasserstoff-Atom verhält.

BE

GPh4

1. Kernspaltung

Eine zentrale energetische Größe der Kernphysik ist die Bindungsenergie.

- 6 a) Erläutern Sie den Aufbau eines Atomkerns. Welche Bedeutung hat dabei die Bindungsenergie?

Bei der Kernspaltung von schweren Kernen wird Energie frei, da die Bindungsenergie pro Nukleon bei den mittelschweren Spaltprodukten höher ist als beim Ausgangskern.

Ein ${}_{92}^{235}\text{U}$ -Kern wird durch ein Neutron gespalten. Die beiden Spaltprodukte sind instabil und gehen nach jeweils drei β^- -Zerfällen in die stabilen Kerne ${}_{58}^{140}\text{Ce}$ und ${}_{40}^{94}\text{Zr}$ über. Außerdem entstehen bei der Spaltung freie Neutronen.

- 6 b) Welche instabilen Kerne entstehen unmittelbar nach der Spaltung und über welche Zwischenkerne führen diese jeweils zu den stabilen Endprodukten?
- 6 c) Stellen Sie die Gleichung für die Gesamtreaktion in die stabilen Endprodukte auf und berechnen Sie die dabei frei werdende Gesamtenergie.
[zur Kontrolle: $\Delta E = 208,2 \text{ MeV}$]
- 6 d) Schätzen Sie rechnerisch ab, wie viele Millionen Liter Heizöl man verbrennen müsste, um den gleichen Energiebetrag zu erhalten, der als Folge der Spaltung von $1 \text{ kg } {}^{235}\text{U}$ insgesamt freigesetzt werden kann.
(Heizwert von Heizöl: 42 MJ/kg , Dichte von Heizöl: $0,85 \text{ g/cm}^3$)
- 6 e) Wie das Unglück in Tschernobyl zeigte, darf das Gefährdungspotential, das von Kernkraftwerken ausgehen kann, nicht unterschätzt werden. Erklären Sie kurz, warum Strahlung radioaktiver Stoffe für Menschen gefährlich sein kann, und erläutern Sie, wie man sich vor ihr schützen sollte.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Kernzerfall

Das gasförmige radioaktive ^{220}Rn entsteht durch zwei aufeinander folgende Zerfälle aus ^{228}Th .

- 2 a) Geben Sie die dabei entstehenden Zerfallsprodukte an.
 Der Zerfall von ^{220}Rn soll nun mit Hilfe einer Ionisationskammer untersucht und damit eine Gesetzmäßigkeit des radioaktiven Zerfalls festgestellt werden.
 Ein Experiment ergibt die folgende Messtabelle für die Ionisationsstromstärke in Abhängigkeit von der Zeit:

t in s	0	30	60	120	180
I(t) in 10^{-12} A	30	21	14	6,6	3,0

- 8 b) Beschreiben Sie anhand einer Schaltskizze den Aufbau und die Funktionsweise einer Ionisationskammer als Nachweisgerät für ionisierende Strahlung.
- 7 c) Zeichnen Sie zu der Messreihe ein Diagramm, in dem $\ln \frac{I(t)}{I(0)}$ gegen t aufgetragen wird.
- 7 d) Die sich in diesem Diagramm ergebende Gerade ist Konsequenz des Zerfallsgesetzes $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$.
 Erläutern Sie, welche Beziehung zwischen der Teilchenzahl N(t) und der Stromstärke I(t) besteht und welche Bedeutung die Zerfallskonstante λ im Diagramm besitzt.
 Bestimmen Sie aus den Messdaten die Zerfallskonstante λ und die Halbwertszeit $T_{1/2}$ des verwendeten Rn-Isotops.
- 6 e) Das zur Messung der Ionisationsstromstärke benutzte Messgerät zeigt praktisch keinen Ausschlag mehr an, wenn die Stromstärke unter 1/64 der Anfangsstromstärke I(0) sinkt. Berechnen Sie damit die bei diesem Experiment sinnvolle Gesamtmessdauer in Minuten.

BE

GPh5

1. Venus

6 a) Skizzieren Sie maßstäblich und ohne Berücksichtigung der vorhandenen Bahnneigung die Bahnen von Venus und Erde um die Sonne als Kreisbahnen. Tragen Sie bei fester Erdposition die Venus in oberer und unterer Konjunktion sowie in den maximalen Elongationen ein.

6 b) Am 29. März 2004 stand die Venus in maximaler Elongation. Berechnen Sie hierfür den Winkelabstand zwischen Venus und Sonne. Entscheiden Sie, ob die Venus an diesem Tag bei optimalen Bedingungen bei uns um Mitternacht beobachtet werden konnte. Begründen Sie Ihre Antwort.

Für die Bestimmung der Astronomischen Einheit spielte ab dem 18. Jahrhundert die Beobachtung der Venusdurchgänge eine bedeutende Rolle. Dabei wandert für einen Beobachter auf der Erde die Venus über die Sonnenscheibe.

3 c) Warum tritt nicht bei jeder unteren Konjunktion ein Venusdurchgang ein?

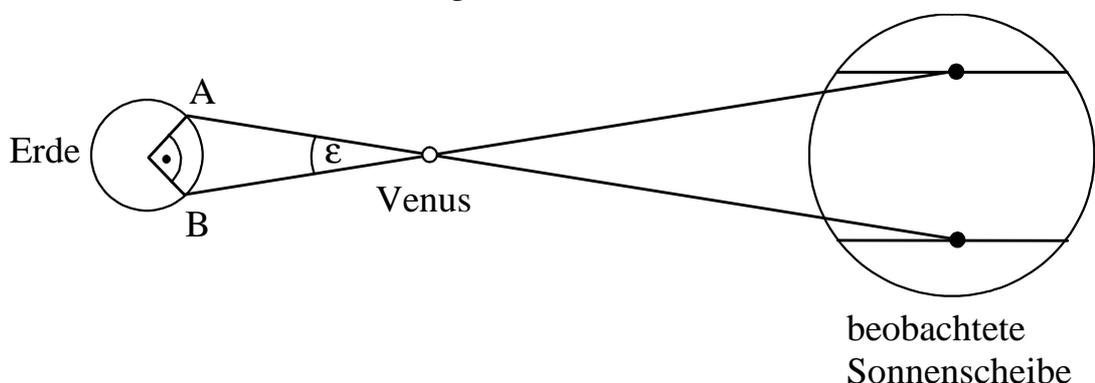
7 d) Am 8. Juni 2004 wird der nächste Venusdurchgang stattfinden, der übernächste am 5. Juni 2012.

Berechnen Sie die Zahl der Venusumläufe um die Sonne zwischen diesen beiden Ereignissen. Begründen Sie mit diesem Ergebnis, dass sich Venusdurchgänge häufig nach 8 Jahren wiederholen.

4 e) Bestimmen Sie aus der Umlaufzeit der Venus um die Sonne den Abstand Erde-Venus bei einer unteren Konjunktion in Vielfachen der Astronomischen Einheit.

[zur Kontrolle: $d_{EV} = 0,277 \text{ AE}$]

8 f) Zur Bestimmung der Astronomischen Einheit betrachten wir ein stark vereinfachtes Modell. Man beobachtet den Venusdurchgang an verschiedenen Orten A und B auf der Erde, von denen aus die Venus dabei auf der Sonnenscheibe verschiedene Strecken durchläuft (vgl. nachfolgende, nicht-maßstäbliche Abbildung).



(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Die Orte A und B sollen so gewählt werden, dass sie symmetrisch zur Verbindungslinie Erde - Venus auf demselben Längengrad liegen und ihre geografischen Breiten sich um 90° unterscheiden.

Zeigen Sie, dass der geradlinige Abstand zwischen A und B 9006 km beträgt. Berechnen Sie nun mit Hilfe des Ergebnisses von Teilaufgabe 1e die Astronomische Einheit in Kilometern, wenn der Winkel $\varepsilon = 45''$ beträgt.

- 5 g) Das menschliche Auge kann unter günstigen Umständen noch ein Objekt erkennen, das unter einem Winkel von zwei Bogenminuten erscheint. Untersuchen Sie, ob die Venus auf der Sonnenscheibe mit bloßem, aber hinreichend geschütztem Auge wahrgenommen werden kann.

- 4 h) Die genaueste Methode zur Bestimmung der Astronomischen Einheit ist die Laufzeitmessung von Radarsignalen. Ein an der Venus in unterer Konjunktion reflektiertes Signal wird 4 min 37 s nach der Aussendung wieder empfangen.

Berechnen Sie daraus die Astronomische Einheit.

Die Venus ähnelt während eines Venusdurchgangs bei flüchtiger Betrachtung einem großen Sonnenfleck. Die Temperatur der Venusatmosphäre beträgt 743 K, die eines Sonnenflecks ca. 4000 K.

- 7 i) Erläutern Sie, warum sich die beiden Erscheinungen für einen Beobachter an einem Fernrohr ähneln. Zeigen Sie dennoch vorhandene, deutliche Unterschiede unter Einbeziehung von Abschätzungen zur Strahlungsintensität auf.

2. Sonne

- 4 a) Worin stimmen das Sonnenspektrum und das Spektrum einer Glühlampe überein und worin unterscheiden sie sich?

- 6 b) Im Folgenden werden Beobachtungen im Wellenlängenbereich der H_α -Linie behandelt. Wasserstoffwolken über der Photosphäre kann man seitlich über den Sonnenrand hinaus als helle Protuberanzen erkennen. Vor der Sonnenscheibe erscheinen solche Protuberanzen hingegen als dunkle Strukturen.

Erklären Sie, wie die Leuchterscheinungen entstehen und warum das gleiche Phänomen so unterschiedlich erscheint.

BE

GPh6

1. Kugelsternhaufen der Galaxis

- 6 a) Zeichnen Sie eine schematische Seitenansicht unserer Galaxie mit Angabe von Größenordnungen. Tragen Sie den ungefähren Ort der Sonne ein und bezeichnen Sie die charakteristischen Bereiche. In welchen von diesen befinden sich vornehmlich die Kugelsternhaufen?
- Einer der eindrucksvollsten Kugelsternhaufen ist Omega-Centauri (ω Cen) mit einem Winkeldurchmesser von 36 Bogenminuten. Der Beobachter sieht den 5,2 kpc entfernten Kugelsternhaufen ω Cen mit der scheinbaren Helligkeit $m = 3,4$.
- 9 b) Nehmen Sie vereinfachend an, dass alle Sterne von ω Cen sonnenähnliche Sterne sind und einen Beitrag zur Gesamthelligkeit leisten. Schätzen Sie damit die Zahl der Sterne dieses Kugelsternhaufens ab. Warum ist der so berechnete Wert kleiner als der Literaturwert von etwa $5 \cdot 10^6$ Einzelsternen?
- 10 c) Skizzieren Sie ein Hertzsprung-Russell-Diagramm für einen typischen Kugelsternhaufen und begründen Sie, wie man daraus die Erkenntnis gewinnt, dass die Kugelsternhaufen zu den ältesten Objekten im Universum gehören.

2. Sternentstehungsgebiete der Galaxis

Im Scheibengebiet unserer Galaxie liegt der Lagunen-Nebel M8. Er besteht im Wesentlichen aus ionisiertem Wasserstoff.

- 6 a) Die Ionisation des Wasserstoffs (Ionisationsenergie 13,6 eV) wird durch die Strahlung naher, heißer Sterne bewirkt. Wie groß kann die Wellenlänge der ionisierenden Strahlung höchstens sein? In welchem Spektralbereich liegt diese Grenzwellenlänge?
- [zur Kontrolle: $\lambda_{\text{grenz}} = 91,2 \text{ nm}$]
- 6 b) Schätzen Sie ab, welche Oberflächentemperatur die den Lagunen-Nebel beleuchtenden Sterne mindestens haben müssen. Machen Sie damit plausibel, dass es sich bei M8 um ein Sternentstehungsgebiet handelt.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

3. Galaktisches Zentrum

Das Zentrum der Galaxis liegt im Sternbild Schütze (Sgr). Anfang der 70er Jahre konnte die kompakte Radioquelle SgrA* als Zentrum identifiziert werden. Man vermutete dort ein Schwarzes Loch.

- 2 a) Warum kann man das Zentrum der Galaxis nicht im optischen Bereich, wohl aber im Infrarot- und Radiobereich beobachten?
- 9 b) Ende der 70er Jahre ergaben Untersuchungen des Spektrums einer Gaswolke, die sich in einer Entfernung von 1,0 Lj um das galaktische Zentrum bewegt, eine Verschiebung der Ne^+ -Linie (Laborwellenlänge 12 μm) um bis zu 10 nm.
Berechnen Sie hieraus die Umlaufgeschwindigkeit des Gases. Schätzen Sie damit die Masse des Zentralkörpers ab, um den sich die Gase bewegen.

[zur Kontrolle: $8,8 \cdot 10^{36} \text{ kg}$]

Da der Abstand der Wolke von SgrA* sehr groß ist, erlaubte die Untersuchung dieser Gaswolke noch nicht den sicheren Schluss auf die Existenz eines Schwarzen Lochs im Zentrum der Galaxis. Größere Sicherheit brachten in jüngster Vergangenheit neuere Beobachtungsdaten der Europäischen Südsternwarte in Chile.

Vermessungen der Bahn des zentrumsnahen Sterns S2 um das galaktische Zentrum ergaben eine lang gestreckte Ellipse mit einer großen Halbachse von $9,5 \cdot 10^2 \text{ AE}$, einen minimalen Abstand zum Zentrum von $1,2 \cdot 10^2 \text{ AE}$ und eine Umlaufdauer von 15,2 Jahren.

- 6 c) Schätzen Sie die Masse ab, die sich innerhalb dieser Bahn des Sterns S2 befinden muss.
[zur Kontrolle: $7,4 \cdot 10^{36} \text{ kg}$]
- 6 d) Welche Erkenntnisse über die Massenverteilung gewinnt man aus dem Vergleich der Ergebnisse der Teilaufgaben 3b und 3c?
Bestimmen Sie ergänzend auch das Verhältnis der Kugelvolumina, in denen sich die ermittelten Massen befinden müssen.
Begründen Sie, dass die ermittelte Massenverteilung ein Indiz für ein Schwarzes Loch im Zentrum der Galaxis ist.

Abschließender Hinweis: Zusätzliche Überlegungen haben inzwischen gezeigt, dass sich im Zentrum unserer Galaxie tatsächlich ein Schwarzes Loch befindet.