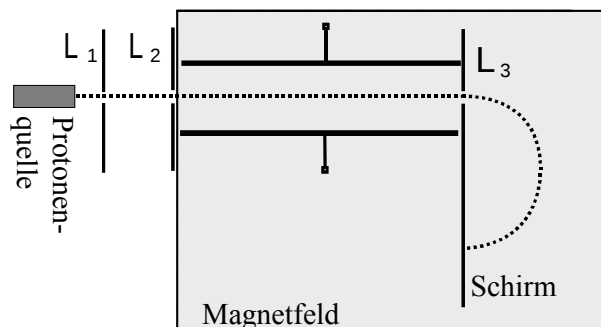


BE

GPh1

1. Seit Herbst 1998 verwendet die NASA eine Raumsonde mit Ionenantrieb. Dabei werden einfach positiv geladene Xenon-Ionen zwischen zwei Gittern beschleunigt, die wie ein Plattenkondensator wirken. Die über den ganzen Gitterabstand beschleunigten Ionen mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit verlassen die Raumsonde und erzeugen dabei den nötigen Rückstoß. Die Spannung zwischen den Gittern beträgt 1280 V, ihr Abstand ist 5,0 cm. Ein Xenon-Ion hat die Masse $2,18 \cdot 10^{-25}$ kg und die Raumsonde hat die Masse 486 kg.
 - 4 a) Mit welcher Geschwindigkeit verlassen die Ionen die Sonde?
 - 5 b) Berechnen Sie die elektrische Kraft auf die $2,2 \cdot 10^{13}$ Ionen, die jeweils gleichzeitig zwischen den Gittern sind! [zur Kontrolle: 90 mN]
 - 6 c) Wie viele Stunden würde es dauern, um die Raumsonde von 0 auf 100 km/h zu beschleunigen, wenn keine weiteren Kräfte wirken? Der Masseverlust durch das Austreten der Ionen ist zu vernachlässigen.

2. Ein Protonenstrahl mit kontinuierlicher Geschwindigkeitsverteilung tritt in das elektrische Feld eines Plattenkondensators ein. Der gesamte Raum rechts von der Lochblende L_2 wird von einem homogenen Magnetfeld der Flussdichte B durchsetzt. Am anderen Ende des Kondensators befindet sich ein Auffangschirm mit der Lochblende L_3 .



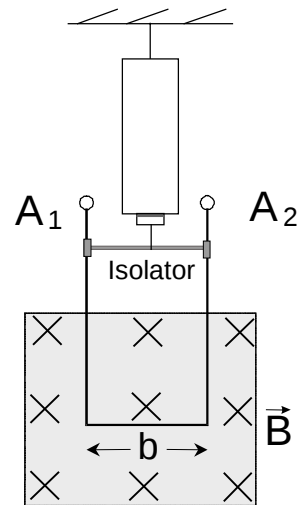
- 6 a) Erläutern Sie, warum man durch geeignete Wahl der beiden Felder erreichen kann, dass nur Protonen einer bestimmten Geschwindigkeit den Kondensator geradlinig passieren und danach nach unten abgelenkt werden. Geben Sie dazu die Orientierung des magnetischen Feldes und die Polung des Kondensators an.
- 8 b) Die Geschwindigkeit der geradlinig durchfliegenden Protonen beträgt $v = 5,15 \cdot 10^5$ m/s, für die Flussdichte gilt $B = 75,0$ mT. Berechnen Sie die Feldstärke E im Kondensator. In welcher Entfernung vom Loch der Blende L_3 treffen die Protonen auf dem Schirm auf?
- 8 c) Verkleinert man die Kondensatorspannung unter Beibehaltung der magnetischen Flussdichte, so ändert sich die in Teilaufgabe 2b berechnete Entfernung des Auftreffpunkts. Begründen Sie dies. Geben Sie insbesondere an, wie sich die Lage des Auftreffpunkts verändert.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

3. In ein homogenes Magnetfeld taucht teilweise ein Leiterraahmen der Breite b ein, der isoliert an einem auf null gestellten Kraftmesser hängt.

Wird an die Anschlüsse A_1 und A_2 eine Gleichspannung angelegt, so wirkt auf den Leiterraahmen bei geeigneter Polung eine nach unten gerichtete Kraft F .



- 4 a) Geben Sie die Polung an und begründen Sie Ihr Ergebnis.

- 8 b) Es werden zwei Messreihen durchgeführt:

- Bei einem Leiterraahmen der Breite $b = 80 \text{ mm}$ wird F in Abhängigkeit von der eingestellten Stromstärke I im Rahmen gemessen:

I in A	2,0	4,0	6,0	8,0
F in 10^{-4} N	3,4	6,8	10,3	13,7

- Nun wird die Kraft auf Leiterraahmen verschiedener Breiten b gemessen. Die Stromstärke beträgt dabei im Rahmen jeweils $I = 10 \text{ A}$.

b in mm	80	40	20
F in 10^{-4} N	17,1	8,6	4,2

Zeigen Sie, dass F direkt proportional zum Produkt aus Leiterstromstärke I und Rahmenbreite b ist. Ermitteln Sie den Wert des Proportionalitätsfaktors k .

- 5 c) Beschreiben Sie eine geeignete Variation des Experiments, mit der sich begründen lässt, dass sich die Konstante k der Teilaufgabe 3b zur Beschreibung der „Stärke“ eines Magnetfeldes eignet.

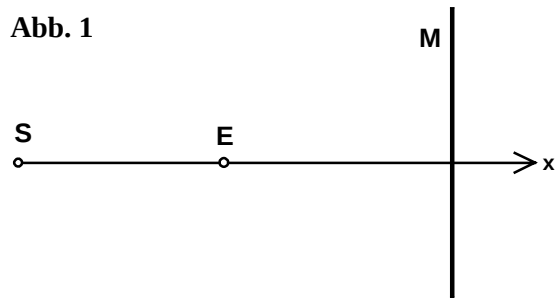
- 6 d) Nach Abtrennung der Gleichspannungsquelle werden die Anschlüsse A_1 und A_2 über ein Amperemeter verbunden. Es entsteht eine geschlossene Leiterschleife mit dem ohmschen Gesamtwiderstand $R = 10 \Omega$. Die vom Magnetfeld der Flussdichte $B = 2,1 \text{ mT}$ durchsetzte Teilfläche hat einen Flächeninhalt von 100 cm^2 . Welche Stromstärke wird gemessen, wenn das Magnetfeld innerhalb von $1,0 \text{ ms}$ gleichmäßig auf null geregelt wird?

BE

GPh2

1. Ein Kondensator mit der Kapazität C und eine Spule mit der Induktivität L bilden einen elektromagnetischen Schwingkreis, der ungedämpft mit der Eigenfrequenz f_0 schwingt. Die Kapazität des Kondensators beträgt $C = 22 \text{ nF}$. Bei der Spule handelt es sich um eine lang gestreckte Spule mit der Querschnittsfläche $A = 31 \text{ cm}^2$, der Länge $l = 30 \text{ cm}$ und der Windungszahl $N = 20\,000$.
- 3 a) Berechnen Sie die Induktivität der Spule. [zur Kontrolle: $L = 5,2 \text{ H}$]
- 4 b) Untersuchen Sie, ob sich mit den gegebenen Bauteilen ein Schwingkreis aufbauen lässt, dessen Eigenfrequenz höchstens um 10 % von 500 Hz abweichen soll.
- 8 c) Berechnen Sie den Maximalwert I_m der Stromstärke in diesem Schwingkreis, wenn der Maximalwert der Spannung $U_m = 3,8 \text{ V}$ beträgt.
2. Auf der x -Achse liegen die Mittelpunkte eines Sendedipols S und eines darauf abgestimmten Empfangsdipols E . Sender und Empfänger sind parallel zueinander und stehen senkrecht auf der Zeichenebene. Die ausgesandte elektromagnetische Strahlung hat die Wellenlänge $\lambda = 2,75 \text{ cm}$.
- 2 a) Berechnen Sie die Sendefrequenz f .
- Eine Metallplatte M wird in hinreichend großem Abstand vom Sender senkrecht zur x -Achse angeordnet (Abb. 1). Der Empfänger wird langsam in x -Richtung auf die Metallplatte zubewegt. Die gemessene Intensität wird registriert.
- 8 b) Stellen Sie die vom Empfänger E nachgewiesene Intensität I im Bereich von 5,5 cm bis 0 cm vor der Platte M graphisch dar. Erläutern Sie den Verlauf von I .

Abb. 1

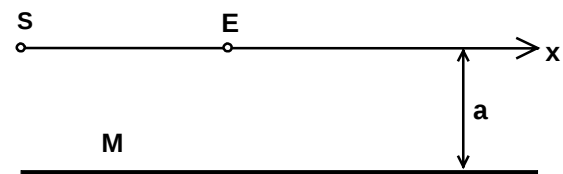


(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Nun wird die Metallplatte M parallel zu Sender und Empfänger in hinreichend großem Abstand a von der x -Achse angeordnet (Abb. 2). Wird der Empfänger E in x -Richtung verschoben, beobachtet man, dass die von E nachgewiesene Intensität zwischen minimalen und maximalen Werten variiert.

Abb. 2

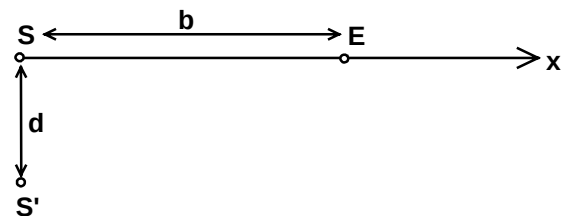


7

- c) Erklären Sie an Hand einer beschrifteten Skizze (ohne Rechnung) das Zustandekommen dieser Erscheinung.

Die unter Teilaufgabe 2c beschriebene Erscheinung würde ähnlich beobachtet werden, wenn anstelle der Platte M ein zweiter zu S paralleler und gleichphasig erregter Sendedipol S' im Abstand d vorhanden wäre (Abb. 3).

Abb. 3



8

- d) Befindet sich der Empfänger E in der Entfernung $b = 145 \text{ cm}$ vom Sender S und besitzt $\overline{SS'}$ den Wert $d = 20 \text{ cm}$, registriert E ein Minimum. Begründen Sie dies rechnerisch.

3. Aus dem kontinuierlichen Spektrum einer Kohlebogenlampe wird Licht der Wellenlänge λ ausgefiltert. Dies trifft auf die Cäsium-Kathode einer Vakuumphotozelle und löst Elektronen aus. Die maximale kinetische Energie $E_{\text{kin,max}}$ der Photoelektronen soll mit Hilfe einer geeigneten Messanordnung bestimmt werden.

9

- a) Erstellen Sie eine Schaltskizze und erläutern Sie kurz das Messverfahren.

Das Messergebnis liefert für die Elektronen die maximale kinetische Energie $E_{\text{kin,max}} = 0,33 \text{ eV}$.

7

- b) Bestimmen Sie die Wellenlänge λ .

4

- c) Kann der Abstand der Lichtquelle von der Photozelle so gewählt werden, dass die kinetische Energie eines Photoelektrons auf die Hälfte sinkt? Begründen Sie Ihre Antwort.

BE

GPh3

1. Atomares Wasserstoffgas in einer Glaskapillare wird durch Stöße von Elektronen mit der kinetischen Energie 13,1 eV angeregt.

5

a) Erklären Sie zunächst allgemein, was man unter „Anregung eines Atoms“ versteht, und führen Sie dann aus, welche anschauliche Vorstellung man sich im Rahmen des Bohr'schen Atommodells für das Wasserstoffatom von diesem Vorgang macht.

6

b) Berechnen Sie für das Wasserstoffatom die Energiewerte für die fünf niedrigsten Anregungszustände bezogen auf das Nullniveau bei $n = 1$ in der Einheit eV und geben Sie an, welche Anregungszustände durch diese Stöße aus dem Grundzustand erreichbar sind.

Die Anregung des Gases ruft die Emission elektromagnetischer Strahlung hervor. Die Linien des Wasserstoffatomspektrums gruppieren sich dabei zu so genannten Serien.

5

c) Erklären Sie auf der Grundlage des Atommodells von Bohr die Entstehung der Linien der Balmer-Serie im Wasserstoffatomspektrum.

8

d) Ermitteln Sie die Anzahl der Linien aus der Balmer-Serie im eingangs beschriebenen Versuch. Zeichnen Sie dazu einen geeigneten Ausschnitt des Energieniveauschemas. Berechnen Sie die kürzeste in diesem Versuch auftretende Wellenlänge der Balmer-Serie.

Die gesamte auftretende Strahlungsleistung im sichtbaren Bereich beträgt 36 mW. Hiervon entfallen 1,9 % auf Licht mit der Wellenlänge 434 nm.

5

e) Berechnen Sie, wie viele Photonen dieser zugeordneten Wellenlänge pro Sekunde emittiert werden.

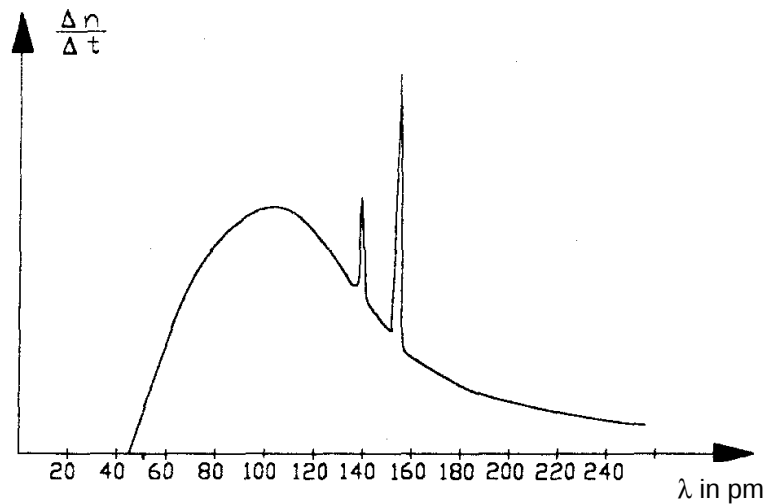
5

f) Skizzieren Sie eine Versuchsanordnung, mit der sich die von dem angeregten Wasserstoffgas ausgesandte Strahlung im sichtbaren Bereich spektral zerlegen lässt.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

2. Die nebenstehende Abbildung zeigt das Spektrum der Strahlung einer Röntgenröhre. Δn ist die Anzahl der im Zeitintervall Δt nachgewiesenen Röntgenquanten der Wellenlänge λ .



- 5 a) Skizzieren Sie den prinzipiellen Aufbau und die Beschaltung einer Röntgenröhre.
- 4 b) Erklären Sie kurz, auf welche Weise das kontinuierliche Röntgenspektrum zustande kommt.
- 6 c) Entnehmen Sie der Abbildung die Grenzwellenlänge und berechnen Sie daraus die Spannung, mit der die Röhre bei der Aufnahme des Spektrums betrieben wurde.
- Im Diagramm sind auch zwei K-Linien des charakteristischen Röntgenspektrums erkennbar.
- 5 d) Erklären Sie allgemein die Entstehung der K-Linien des charakteristischen Röntgenspektrums.
- 6 e) Diejenige Linie im Diagramm mit der niedrigeren Energie ist die K_α -Linie. Bestimmen Sie mit Hilfe des Moseley-Gesetzes (vergleiche Formelsammlung) das Element, aus dem die Anode der Röntgenröhre besteht.

BE

GPh4

1. Die β^+ -Strahlung eines radioaktiven Isotops kann mit einer Nebelkammer nachgewiesen werden.
 - 4 a) Beschreiben Sie Aufbau und Wirkungsweise einer Nebelkammer.
 - 5 b) Erklären Sie, wie man unter Verwendung einer Nebelkammer die β^+ -Strahlung nachweisen und von den anderen gängigen Strahlungsarten unterscheiden kann.
 - 5 c) Die β^+ -Strahlung kann als Folge des Zerfalls eines Nukleons gedeutet werden. Geben Sie die Zerfallsgleichung an und begründen Sie durch Massenvergleich, warum dieser Zerfall bei freien Nukleonen niemals auftritt.
2. Stabile Natriumkerne ^{23}Na werden durch Neutronenbeschuss in das radioaktive Isotop ^{24}Na verwandelt. Dieses Isotop ist ein β^- -Strahler und zerfällt mit der Halbwertszeit 15,0 h zu einem angeregten Kern, der über einen weiteren angeregten Zustand einen stabilen Grundzustand erreicht. Dabei wird sofort nach dem β^- -Zerfall ein Gammaquant der Energie 2,75 MeV und anschließend ein zweites Gammaquant der Energie 1,37 MeV ausgesendet. Diese Strahlung dient zur Identifikation des Isotops (Neutronenaktivierungsanalyse).
 Die Atommasse von ^{24}Na beträgt 23,990969 u.
 - 5 a) Geben Sie die Reaktionsgleichung für den Zerfall von ^{24}Na an.
 - 5 b) Begründen Sie, warum bei einem β^- -Zerfall die emittierten Teilchen verschiedene kinetische Energien besitzen können, die jedoch eine Grenzenergie $E_{\text{kin,max}}$ nicht übersteigen.
 - 7 c) Berechnen Sie die Grenzenergie $E_{\text{kin,max}}$ der β^- -Strahlung beim Zerfall des ^{24}Na .
 Bei der Bestrahlung einer Probe mit Neutronen wird von jeweils 10^7 der ^{23}Na -Atome eines in ^{24}Na verwandelt. Die Aktivität des erzeugten ^{24}Na dieser Probe beträgt 50 Bq.
 - 7 d) Berechnen Sie, wie viele ^{23}Na -Atome die Probe enthalten hat.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

3. Ein Kombinationspräparat besteht aus den radioaktiven Elementen ^{137}Cs , ^{90}Sr und ^{241}Am . Das Präparat sendet α -, β - und γ -Strahlung aus.

- 6 a) Vergleichen Sie die biologische Wirksamkeit der drei Strahlungsarten sowie die Schutzmöglichkeiten vor diesen Strahlen.

Mit einem Zählrohr wurde die Abhängigkeit der Zählrate bei zunehmender Entfernung untersucht. Messreihe M_1 wurde ohne Abschirmung durchgeführt, bei Messreihe M_2 wurde ein Blatt Papier vor das Präparat gestellt. Für die Zählraten Z_1 und Z_2 ergaben sich folgende Werte:

Abstand x in cm	1	2	3	4	5	10	20
M_1 : Zählrate Z_1 in s^{-1}	133,1	64,6	38,4	22,2	16,4	5,3	2,4
M_2 : Zählrate Z_2 in s^{-1}	125,4	57,2	34,9	20,0	16,5	5,2	2,5

Die Nullrate wurde im Versuchsraum zu $Z_0 = 1,5 \text{ s}^{-1}$ gemessen.

- 4 b) Wie viele Impulse pro s sind bei M_1 im Abstand 1 cm allein der α -Strahlung zuzuordnen?
- 5 c) Ermitteln Sie, bis zu welchem Abstand sich α -Teilchen bei diesem Versuch nachweisen lassen. Erläutern Sie Ihr Vorgehen.
- 7 d) Prüfen Sie durch Rechnung, ob die Abnahme der Zählrate Z_1 für $x \geq 5 \text{ cm}$ der theoretisch erwarteten Entfernungsabhängigkeit für elektromagnetische Strahlung entspricht.

BE

GPh5**1. Jupitermond Europa**

Zur Entfernungsbestimmung wurde von der Erde aus ein Radarsignal zum Jupitermond Europa geschickt. Dort wurde es reflektiert und traf nach einer Gesamtlaufzeit von 69,9 Minuten wieder auf der Erde ein.

- 4 a) Begründen Sie rechnerisch, dass sich Jupiter mit seinen Monden zu diesem Zeitpunkt in Opposition befand.
- 7 b) Aus dem empfangenen Radarsignal kann man die Bahngeschwindigkeit von Europa zu $v = 13,8 \text{ km/s}$ bestimmen.
- Berechnen Sie aus dieser Angabe und der Annahme, dass sich Europa auf einer kreisförmigen Bahn mit Radius $r = 6,7 \cdot 10^8 \text{ m}$ um Jupiter bewegt, die Jupitermasse in Vielfachen der Erdmasse.
- 9 c) Der Jupitermond Europa, der praktisch keine Atmosphäre hat, reflektiert 64 % der einfallenden Sonnenstrahlung sofort. Schätzen Sie ab, ob sich auf Grund dieser Einstrahlung auf der „Sonnenseite“ dieses Mondes flüssiges Wasser bilden kann.
- Hinweis: Berechnen Sie dazu die maximal mögliche Oberflächentemperatur im Strahlungsgleichgewicht.

2. Die Sonne

Entsprechend der geographischen Breite auf der Erde definiert man für die Sonne die heliographische Breite als Winkelabstand vom Äquator in Richtung Pol.

Zu bestimmten Zeiten lässt sich die synodische Rotationsdauer der Sonne für bestimmte heliographische Breiten durch visuelle Beobachtung der Sonne besonders gut ermitteln.

- 5 a) Nennen Sie dieses Verfahren und erläutern Sie, warum hier zwischen der synodischen und der siderischen Rotationsdauer der Sonne unterschieden werden muss.
- 5 b) Für eine bestimmte heliographische Breite beobachtet man eine synodische Rotationsdauer $T_{\text{syn}} = 27,2 \text{ d}$. Berechnen Sie die dazu gehörige siderische Rotationsdauer der Sonne.

Hinweis: Die Orientierung der Sonnenrotation und des Erdumlaufs um die Sonne sind gleich.

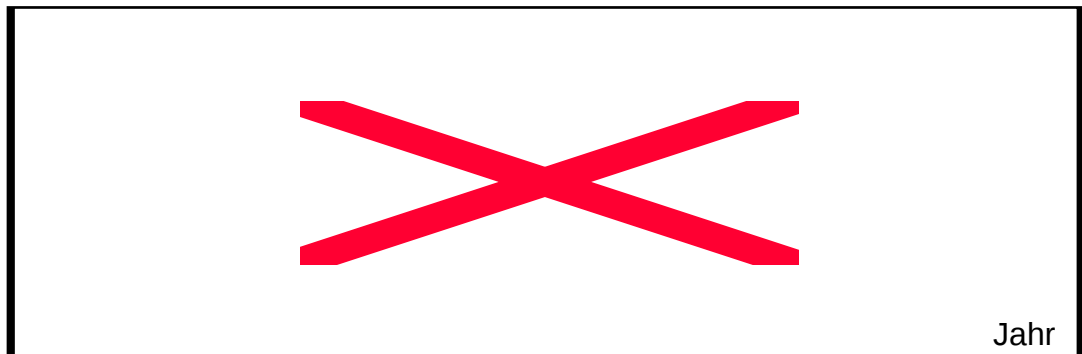
(Fortsetzung nächste Seite)

BE

6

- c) Im unten angegebenen Diagramm ist die heliographische Breite sehr vieler beobachteter Sonnenflecken gegen die Zeit angetragen.

Erläutern Sie kurz drei Gesetzmäßigkeiten für Sonnenflecken, die man diesem Diagramm entnehmen kann.



Bei einer weiteren Methode zur Bestimmung der Rotationsdauer betrachtet man Spektren, die von verschiedenen Stellen des Sonnenäquators aufgenommen wurden. Geht man hierbei von einem Sonnenrand zum anderen, so ändert sich allein auf Grund der Sonnenrotation die Lage der Spektrallinien kontinuierlich.

5

- d) Beschreiben Sie diese Änderung und geben Sie dafür eine Erklärung.

7

- e) Bei der Magnesium-Linie mit der Laborwellenlänge von $\lambda = 448,1 \text{ nm}$ unterscheiden sich die mit dieser Methode gemessenen Wellenlängen um maximal $6,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}$. Schätzen Sie daraus die Rotationsdauer der Sonne ab.

3. Polarlichter

Elektronen des Sonnenwinds gelangen nach einer Flugdauer von etwa 30 Stunden zur Erde, wo sie Polarlichter hervorrufen können.

8

- a) Vorherrschend bei Polarlichtern sind grüne Leuchterscheinungen, die durch Anregung der Sauerstofflinie bei $\lambda = 557,7 \text{ nm}$ hervorgerufen werden. Weisen Sie rechnerisch nach, dass die kinetische Energie der Elektronen des Sonnenwinds ausreicht, den Sauerstoff zur Aussendung von Licht dieser Wellenlänge anzuregen.

4

- b) Welche Bedeutung hat in diesem Zusammenhang das Erdmagnetfeld für das Leben auf der Erde?

BE

GPh6

1. Supernova 1987 A

Im Jahre 1987 wurde eine Supernova (SN 1987 A) beobachtet, die sich in der Großen Magellan'schen Wolke, einer Begleitgalaxie unserer Milchstraße, ereignete. Dies war eine hervorragende Gelegenheit zur Bestimmung der Entfernung dieser Begleitgalaxie. Sanduleak, der Vorläufer-Stern dieser Supernova, war schon vor seiner Explosion von einem Gasring umgeben. Auf Grund von Beobachtungen mit dem Hubble-Space-Teleskop weiß man, dass die elektromagnetische Strahlung der Supernova den Gasring nach 250 Tagen erreichte. Den Winkeldurchmesser des Gasrings bestimmte man zu $1,7''$.

- 5 a) Berechnen Sie aus den angegebenen Daten die Entfernung r der Großen Magellan'schen Wolke in Lichtjahren.
[zur Kontrolle: $r = 1,7 \cdot 10^5$ Lj]
- 8 b) Sanduleak hatte vor seiner Explosion die $1,1 \cdot 10^5$ -fache Leuchtkraft der Sonne. Das Intensitätsmaximum der emittierten elektromagnetischen Strahlung lag bei der Wellenlänge $\lambda_{\max} = 181$ nm. In welcher Farbe leuchtete dieser Stern? Begründen Sie Ihre Antwort. Berechnen Sie den Radius von Sanduleak in Vielfachen des Sonnenradius.
- Bei Supernova-Explosionen werden auch gleichmäßig in alle Richtungen Neutrinos abgestrahlt. Neutrino-Detektoren auf der Erde registrierten von SN 1987 A insgesamt 20 Neutrinos, was einer tatsächlichen Einfallsrate von $1 \cdot 10^{14}$ Neutrinos pro m^2 entsprach.
- 4 c) Wie viele Neutrinos sind bei der Supernova insgesamt entstanden?
[zur Kontrolle: $N_{\text{ges}} = 3 \cdot 10^{57}$]
- 8 d) Für die bei diesem Kollaps freigesetzte Energie werde angenommen, dass sie zu 90 % von Neutrinos mit der durchschnittlichen Energie 10 MeV abgeführt wird. Wie lange müsste unsere Sonne strahlen, bis sie die insgesamt freigesetzte Energiemenge auf Grund ihrer jetzigen Leuchtkraft abgegeben hat? Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit Ihrer Vorstellung vom Alter des Universums.
- 5 e) Als Überrest einer Supernova-Explosion kann ein Neutronenstern zurückbleiben. Beschreiben Sie eine Möglichkeit, wie man Neutronensterne am Himmel entdecken kann.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

SN 1987 A gehört zur Gruppe der Supernovae vom Typ II. Daneben gibt es Supernovae vom Typ I, die sich dadurch auszeichnen, dass ihre maximalen absoluten Helligkeiten mit einem Wert von $M_{\text{max}} = -19,1$ annähernd übereinstimmen.

4 f) Schildern Sie, wie man solche Supernovae zur Bestimmung der Entfernung von Galaxien benutzen kann.

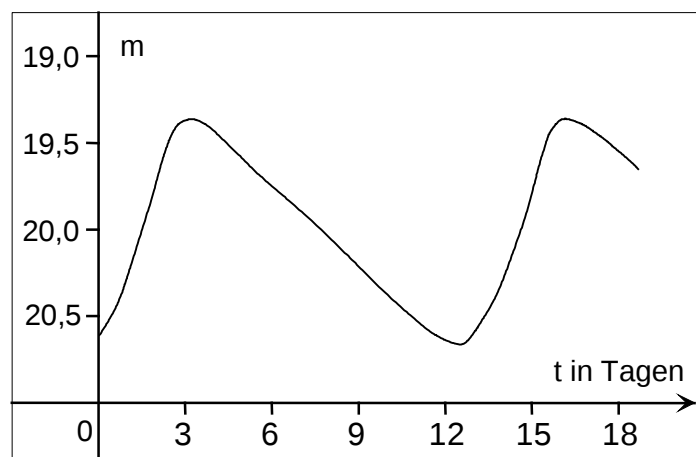
6 g) Zu einer eindeutigen Festlegung des Verlaufs der Lichtkurve einer Supernova vom Typ I benötigt das Hubble-Space-Teleskop im Maximum dieser Kurve mindestens die scheinbare Helligkeit $m = 24$.

Bis zu welcher maximalen Distanz lassen sich Entfernungen von Galaxien, in denen eine Supernova vom Typ I registriert wird, mit Messwerten des Hubble-Space-Teleskops bestimmen?

2. Extragalaktische Objekte

9 a) Für einen Cepheiden in der Galaxie M 33 wurde aus Messungen die nebenstehende Helligkeitskurve ermittelt.

Bestimmen Sie damit die Entfernung der Galaxie M 33 in Lichtjahren.



6 b) Bei weit entfernten Galaxien und Quasaren ist die Cepheiden-Methode nicht mehr anwendbar. Hier lässt sich die Entfernung bestimmen, indem man die Spektren dieser Objekte auswertet. Erläutern Sie dieses Verfahren.

5 c) Die Wasserstoff-Linie H_β (Laborwert: 486,3 nm) des Quasars 3 C 273 wird bei einer Wellenlänge von 563,2 nm beobachtet. Berechnen Sie (nichtrelativistisch) die Entfernung dieses Quasars in Lichtjahren.