Abiturprüfung 2004

PHYSIK

als Leistungskursfach

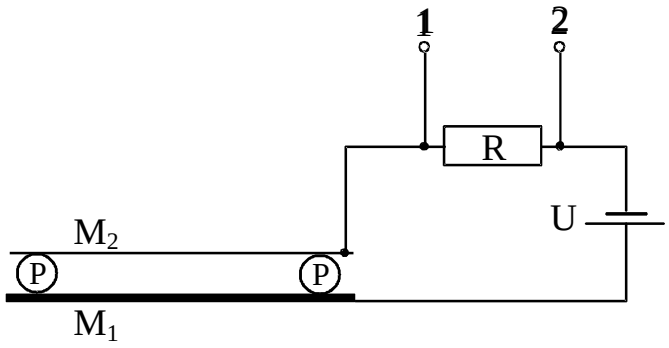
Arbeitszeit: 240 Minuten

Der Fachausschuss wählt z w e i Aufgaben zur Bearbeitung aus.

BE

LPh1

1. Kondensatormikrofon



Über einer festen Metallplatte M_1 ist auf zwei elastischen, isolierenden Puffern P eine bewegliche, leitende Membran M_2 befestigt. Der aus M_1 und M_2 gebildete Kondensator ist über einen Widerstand R = 10 kΩ an eine Gleichspannungsquelle mit U = 40 V angeschlossen. Der Flächeninhalt der Kondensatorplatten beträgt A = 100 cm^2, der Plattenabstand d = 0,20 mm.

3 a) Berechnen Sie die Ladung Q_0 des Kondensators.

[zur Kontrolle: Q_0 = 18 nC]

5 b) Die Membran wird um $\Delta x \ll d$ nach unten bewegt. Zeigen Sie, dass dadurch die zusätzliche Ladung $\Delta Q \approx \frac{Q_0}{d} \cdot \Delta x$ auf den Kondensator fließt.

4 c) In einem Zeitraum $\Delta t = 2{,}5 \cdot 10^{-4}$ s wird M_2 um Δx = 10 µm nach unten bewegt. Berechnen Sie mit Hilfe von Teilaufgabe 1b die mittlere Stärke des Ladestroms während der Zeit Δt und die mittlere Spannung U_{12} zwischen den Anschlusspunkten 1 und 2.

5 d) Begründen Sie, warum die Anordnung als Mikrofon benutzt werden kann.

4 e) Für den Einsatz in einem Handy müssten das beschriebene Kondensatormikrofon und die Betriebsspannung U modifiziert werden. Erläutern Sie die notwendigen Änderungen sowie deren Auswirkungen auf die "Mikrofon-Spannung" U_{12}.

2. Undulator

Im Forschungszentrum DESY in Hamburg arbeitet man zur Zeit am TESLA-Projekt, dessen Ziel u. a. die Entwicklung eines Röntgenlasers ist. In einer Testanlage werden Elektronen, die in einem Linearbeschleuniger die kinetische Energie 1,0 GeV erhalten haben, durch eine Anordnung von Magneten, den sog. "Undulator", in Schlingerbewegungen versetzt.

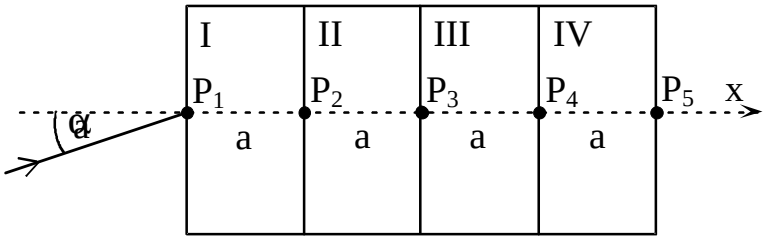
4 a) Zwischen den Driftröhren des Linearbeschleunigers herrscht eine mittlere elektrische Feldstärke von 20 MV/m. Berechnen Sie die dort auf ein Elektron wirkende mittlere Kraft. Warum erfährt das Elektron keine konstante Beschleunigung, auch wenn man die Feldstärke als konstant annimmt?

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

9 b) Berechnen Sie das Verhältnis der Masse eines Elektrons zu seiner Ruhemasse nach Durchlaufen des Linearbeschleunigers. Zeigen Sie, dass die Endgeschwindigkeit um lediglich $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ % von der Lichtgeschwindigkeit abweicht.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das vereinfachte Modell des Undulators mit vier scharf begrenzten, homogenen Magnetfeldern der Breite a = 1,5 cm. Die Flussdichte beträgt in jedem Abschnitt 0,50 T. Der Einschusswinkel α der Elektronen ist so gewählt, dass ihre Bahnkurve in der Zeichenebene liegt und durch die Punkte P_1 bis P_5 verläuft. Die beim Durchlaufen der Bahnkurve emittierte Röntgenstrahlung soll zunächst unberücksichtigt bleiben.



5 c) Die Elektronen durchlaufen in den Abschnitten I bis IV jeweils einen Kreisbogen. Begründen Sie diese Bahnform und skizzieren Sie qualitativ die Gesamtbahn von P_1 bis P_5. Wie ist das Magnetfeld in den vier Abschnitten jeweils gerichtet?

9 d) Zeigen Sie, dass für die Bahnradien die Näherung $r = \frac{E_{kin}}{e \cdot c \cdot B}$ gilt.

8 e) Berechnen Sie nun für die gegebenen Daten den Winkel α und den maximalen Abstand der Elektronenbahn von der x-Achse.
Berechnen Sie ferner die Laufzeit eines Elektrons im Undulator.

4 f) Die bisher vernachlässigte Energieabstrahlung der Elektronen im Undulator soll nun betrachtet werden.

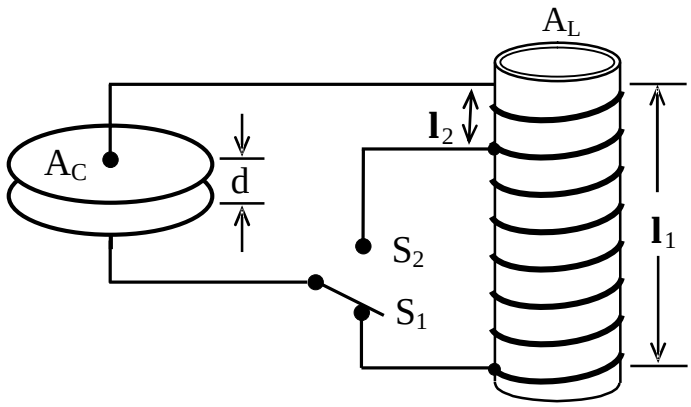
Erklären Sie kurz, wodurch sie entsteht. Geben Sie ein weiteres Beispiel an, bei dem Elektronen elektromagnetische Energie abstrahlen.

60

BE

LPh2

1. Dualband-Handy



Nebenstehende Schaltung soll die Funktionsweise eines Dualband-Handys für das D-Netz (900 MHz) und das E-Netz (1,80 GHz) simulieren. Der Kondensator hat die Plattenfläche $A_C = 30{,}0\ mm^2$ und den Plattenabstand d; die Spule besitzt die Windungszahl $N_1 = 8$, die Länge $\mathbf{l}_1 = 8{,}0$ mm und die Querschnittsfläche $A_L = 4{,}0\ mm^2$. Zunächst werden der Kondensator als ideal sowie die Spule als langgestreckt und ohne Eisenkern betrachtet.

9 a) Begründen Sie, dass die Schaltung prinzipiell für die Erzeugung der beiden Frequenzen geeignet ist und dass die Schalterstellung S_1 für das D-Netz gilt. Berechnen Sie den Plattenabstand d des Kondensators.

8 b) Berechnen Sie die Länge $\mathbf{l}_2$ und die Windungszahl N_2 der oberen Teilspule für den E-Netz-Betrieb.

4 c) Die Induktivität der verwendeten realen Spule beträgt bei den gegebenen Abmessungen nur 80 % des für die langgestreckte Spule berechneten Wertes. Beschreiben Sie qualitativ zwei Möglichkeiten, wie der Schwingkreis geändert werden kann, damit die Frequenz in der Realität tatsächlich $f_1 = 900$ MHz beträgt.

Mit einem Dipol werden die elektromagnetischen Wellen beider Netze abgestrahlt.

6 d) Verdeutlichen Sie an Hand von Skizzen die zeitliche Abfolge der Stromstärkeverteilungen für die Grundschwingung sowie für die 1. und 2. Oberschwingung auf einem hertzschen Dipol.
Wie kann das Dualband-Handy mit einer einzigen Antenne auskommen? Berechnen Sie ihre kleinste mögliche Länge. Warum darf die induktive Anregung nicht in der Mitte des Dipols erfolgen, wenn die Antenne für beide Frequenzen verwendbar sein soll?

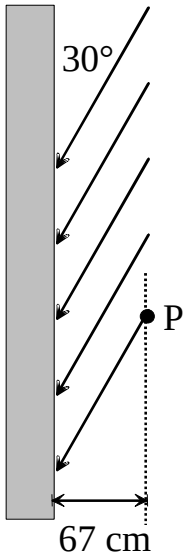
Die Welle eines weit entfernten D-Netz-Senders trifft auf eine ebene Metalloberfläche. Die reflektierte Welle verlässt die Metallfläche mit einem Phasensprung von π.

5 e) Die Welle treffe senkrecht auf die Metallfläche. Geben Sie an, in welchen Abständen von der Metallfläche optimaler bzw. kein Empfang im D-Netz zu erwarten ist. Erläutern Sie dies anhand einer beschrifteten Skizze.

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

7 f) Nun treffe die Welle – abweichend von Teilaufgabe 1e – unter einem Winkel von 30° gegen die Metallfläche auf. Untersuchen Sie für das D-Netz den Empfang im Punkt P (siehe Skizze).



2. Laser-Licht

3 a) Laser werden im Physikunterricht sehr häufig eingesetzt. Nennen Sie Eigenschaften des Lasers, die ihn bei Interferenzversuchen gegenüber herkömmlichen Lichtquellen auszeichnen.

Um das Licht eines He-Ne-Lasers teilweise linear zu polarisieren, wird die Laserröhre mit einem so genannten Brewsterfenster abgeschlossen.

6 b) Erklären Sie an Hand einer Skizze und mit Hilfe einer einfachen Modellvorstellung, warum der unter dem Brewsterwinkel reflektierte Strahl vollständig linear polarisiert ist, während der gebrochene Strahl nur teilweise polarisiert ist.

6 c) Leiten Sie aus dem Brechungsgesetz eine Formel zur Berechnung des Brewsterwinkels her. Berechnen Sie den Brewsterwinkel für das verwendete Zinkselenid-Glas mit der Brechzahl 2,40.

6 d) Mit einem Laser der Wellenlänge $\lambda = 633$ nm wird die Interferenzfigur eines Gitters ausgemessen; benachbarte Maxima zweiter und dritter Ordnung haben auf dem 220 cm entfernten Schirm einen Abstand von 8,0 cm. Berechnen Sie unter Anwendung der Kleinwinkelnäherung die Gitterkonstante.

60

BE

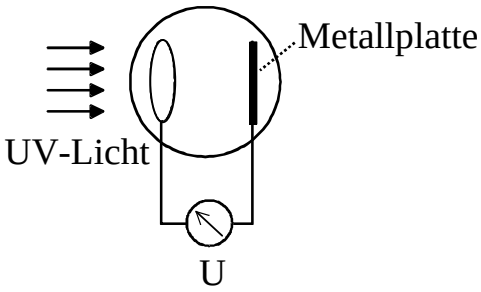
LPh3

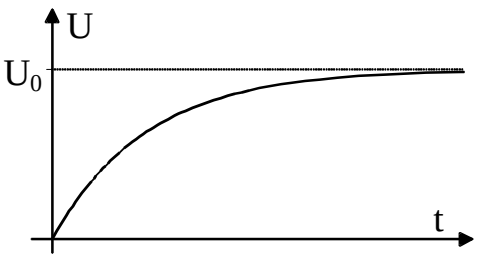
1. Photoeffekt

1888 bestrahlte W. Hallwachs eine geladene, auf einem Elektroskop sitzende Metallplatte mit UV-Licht.

3 a) Aus welchen Beobachtungen konnte Hallwachs folgern, dass bei Lichteinstrahlung nur negative Ladungsträger aus Metallen austreten?

Bei der skizzierten Vakuumphotozelle zeigt das extrem hochohmige Voltmeter nach dem Einschalten der Beleuchtung die im Diagramm dargestellte zeitabhängige Spannung.





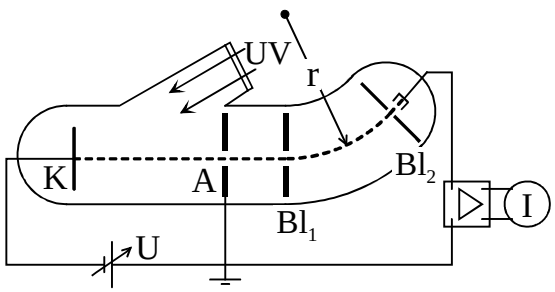
6 b) Erklären Sie, wie der dargestellte Spannungsverlauf zustande kommt.

4 c) Wie verändern sich U_0 und die Anfangssteigung der t-U-Kurve, wenn man im Versuch bei gleich bleibender Wellenlänge die Intensität der Bestrahlung erhöht? Begründen Sie kurz Ihre Antwort.

4 d) Berechnen Sie U_0 für eine Kupferplatte, die mit monochromatischem UV-Licht der Wellenlänge $\lambda = 40{,}0$ nm bestrahlt wird.

[Zur Kontrolle: $U_0 = 26{,}2$ V]

Zur Untersuchung der beim Photoeffekt freigesetzten Elektronen kann man die nebenstehend skizzierte Lenard-Röhre verwenden. Dabei legt man zwischen die mit UV-Licht bestrahlte Kathode K und die mit einer Lochblende versehene Anode A eine variable Spannung $U < 1$ kV. Nach einer weiteren Blende Bl_1 gelangen die Elektronen in ein homogenes Magnetfeld der Flussdichte B senkrecht zur Zeichenebene. Nur die Elektronen, deren Kreisbahn durch die eingezeichneten Blenden führt, gelangen in einen Metallbecher, der über ein empfindliches Strommessgerät geerdet ist.



(Fortsetzung nächste Seite)

BE

5 e) Zeigen Sie, dass nur solche Elektronen in den Metallbecher gelangen, die beim Eintritt in das Magnetfeld die kinetische Energie

$$E_{kin,A} = \frac{1}{2} \cdot \frac{e^2}{m_e} \cdot r^2 \cdot B^2$$ besitzen.

Wie in Teilaufgabe 1d sei die Kathode K aus Kupfer und werde mit monochromatischem UV-Licht der Wellenlänge λ = 40,0 nm bestrahlt. Der durch die Versuchsanordnung festgelegte Bahnradius r beträgt 250 mm, die Flussdichte 135 μT.

7 f) Zwischen welchen Grenzen U_{min} und U_{max} muss die Spannung U liegen, damit das Strommessgerät einen von Null verschiedenen Wert anzeigt? Wie ändert sich der Wert von U_{min} bzw. U_{max}, wenn die Kathode mit Licht kürzerer Wellenlänge bestrahlt wird?

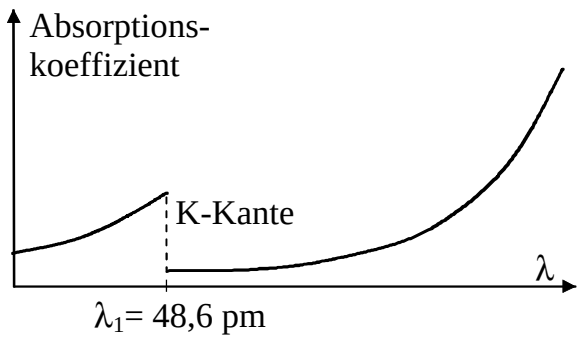
2. Röntgenstrahlung und Schalenbau

Emissions- und Absorptionsspektren von Röntgenstrahlung geben Informationen über die Energieverhältnisse im Innern von schweren Metallatomen. Bei der Absorption von Röntgenstrahlung treten Photo- und Comptoneffekt auf.

5 a) Beschreiben und vergleichen Sie die Wechselwirkungsprozesse bei beiden Effekten.

8 b) Photonen der Wellenlänge λ = 50,0 pm treffen auf eine Silberfolie. Berechnen Sie den maximalen Impuls und die maximale kinetische Energie der dabei auftretenden Comptonelektronen.

Schickt man Röntgenstrahlung durch eine Silberfolie, wird sie je nach Wellenlänge unterschiedlich stark absorbiert. Vereinfacht dargestellt ergibt sich nebenstehendes Diagramm.



5 c) Erklären Sie, weshalb sich der Absorptionskoeffizient bei einer bestimmten Wellenlänge λ_1 auf Grund des Photoeffekts sprunghaft ändert.

8 d) Bei Bestrahlung der Silberfolie mit Photonen der Wellenlänge $\lambda \leq \lambda_1$ kann man die Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung beobachten. Erklären Sie die Entstehung dieser Strahlung. Berechnen Sie die Wellenlänge und die Energie eines Röntgenquants der K_α-Linie.

[zur Kontrolle: λ_α = 57,4 pm]

5 e) Welcher Wert ergibt sich für die Bindungsenergie eines K- bzw. L-Elektrons in einem Silber-Atom?

60

BE

LPh4

1. ^{203}Hg als Gammastrahlenquelle

Das Element ^{203}Hg zerfällt unter Aussendung von β^--Teilchen in ^{203}Tl. Der Tochterkern entsteht im angeregten Zustand und geht dann unter Emission eines Gammaquants der Energie $E_\gamma = 279$ keV in den stabilen Grundzustand über.

3 a) Berechnen Sie die bei einem Zerfallsereignis frei werdende Energie. Atommassen: $m_a(^{203}\text{Hg}) = 202{,}972864$ u; $m_a(^{203}\text{Tl}) = 202{,}972336$ u

[zur Kontrolle: Q = 492 keV]

7 b) Erläutern Sie, warum bei diesem Zerfall ein kontinuierliches Geschwindigkeitsspektrum der emittierten Elektronen entsteht. Berechnen Sie deren maximale Geschwindigkeit unter Vernachlässigung der Rückstoßenergie des Tochterkerns.

Ein starkes ^{203}Hg-Präparat, dessen β^--Strahlung durch eine geeignete Umhüllung absorbiert wird, dient als punktförmige Strahlenquelle, die pro Sekunde $3{,}0 \cdot 10^{10}$ γ-Quanten der Energie 279 keV aussendet. Nulleffekt und Absorption der γ-Strahlung in Luft sind vernachlässigbar.

7 c) Skizzieren Sie den Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs mit äußerer Beschaltung. Wie könnte man die Absorptions- und damit die Nachweiswahrscheinlichkeit für γ-Strahlung bei einem solchen Zählrohr erhöhen?

4 d) Die γ-Strahlung eines 2,0 m entfernten Präparats erzeugt in einem Zählrohr eine Zählrate von 250 Impulsen pro Sekunde. Das Zählrohr kann höchstens 2000 Impulse pro Sekunde verarbeiten. Bis zu welchem kleinstmöglichen Abstand vom Präparat ist das Zählrohr verwendbar?

Die intensive Strahlung in der unmittelbaren Umgebung dieses Präparats lässt sich über die geringe Erwärmung eines geeigneten Absorbers erfassen (kalorimetrischer Detektor). Hierzu wird ein Bleiplättchen mit 1,0 cm^2 Fläche in 10 cm Abstand von der Strahlungsquelle so aufgestellt, dass die Strahlung senkrecht auftrifft. Die Dicke des Plättchens beträgt 2,2 mm.

8 e) Berechnen Sie die im Bleiplättchen absorbierte Strahlungsleistung, wenn angenommen werden kann, dass die absorbierten Quanten ihre gesamte Energie an das Plättchen abgeben. Die Halbwertsdicke von Blei für die betreffende γ-Strahlung beträgt 1,3 mm.

[zur Kontrolle: P = 0,74 µW]

(Fortsetzung nächste Seite)

BE

6 f) Berechnen Sie die Temperaturzunahme des Bleiplättchens nach 10 Minuten, wenn ein Wärmeaustausch mit der Umgebung verhindert wird.
Entnehmen Sie benötigte Tabellenwerte der Formelsammlung.

2. Elemententstehung durch Kernfusion in Sternen

Auf dem Lebensweg von Sternen können durch die Gravitation und die Kernfusion Bedingungen entstehen, bei denen aus Wasserstoff nicht nur das Element Helium, sondern im Anschluss daran als Folgeprodukte auch schwerere Nuklide wie ^{12}C erzeugt werden. Mit ^{12}C wiederum ist bei geeigneten Druck- und Temperaturbedingungen die Fusion von ^{20}Ne durch folgende Reaktion möglich: $^{12}C + {}^{12}C \rightarrow {}^{20}Ne + {}^{4}He$.

4 a) Zeigen Sie, dass die angegebene Fusionsreaktion exotherm erfolgt.
[zur Kontrolle: Q = 4,62 MeV]

7 b) Zwei ^{12}C-Kerne bewegen sich mit einer kinetischen Energie von jeweils 4,1 MeV zentral aufeinander zu. Zeigen Sie, dass sich die Kerne – aus klassischer Sicht – berühren können und somit die oben genannte Reaktion stattfinden kann.
Verwenden Sie als Radius der ^{12}C-Kerne den Wert $r_C = 3{,}2 \cdot 10^{-15}$ m.

3 c) Bei welcher Temperatur hätten ^{12}C-Kerne eine mittlere kinetische Energie von 4,1 MeV?

4 d) Tatsächlich tritt die genannte Kernfusion schon bei viel geringeren Temperaturen als bei dem in Teilaufgabe 2c berechneten Wert auf. Erläutern Sie kurz zwei Gründe dafür.

7 e) Bei einem Fusionsprozess $^{12}C + {}^{12}C \rightarrow {}^{20}Ne + {}^{4}He$ stoßen zwei ^{12}C-Kerne zentral mit kinetischen Energien von je 6,0 MeV aufeinander, wobei vor der Reaktion der Gesamtimpuls null war. Welche kinetische Energie hat dann das Reaktionsprodukt ^{20}Ne, wenn man annimmt, dass nach der Reaktion die gesamte freigesetzte Energie als kinetische Energie vorliegt?

60

BE

LPh5

1. Elektrische Feldkonstante

In einem Praktikumsversuch wird ein Plattenkondensator (Kapazität C) mit kreisförmigen Platten (Durchmesser 26,0 cm) durch Anlegen der Spannung U = 100 V aufgeladen, anschließend von der Spannungsquelle getrennt und über einen Messverstärker entladen.

6 a) Bei einem Plattenabstand d = 4,00 mm beträgt die abfließende Ladung Q = 13,5 nAs. Berechnen Sie mit Hilfe dieser Messwerte die elektrische Feldkonstante ε_0 und bestimmen Sie die prozentuale Abweichung vom Literaturwert.

Zur Erklärung der Abweichung wird eine Messreihe aufgenommen. Bei sonst gleichen Bedingungen ergibt sich für den Zusammenhang von d und Q die nebenstehende Messtabelle.

d/mm	2,00	4,00	6,00	8,00	10,0
Q/nAs	25,5	13,5	9,80	7,80	6,70

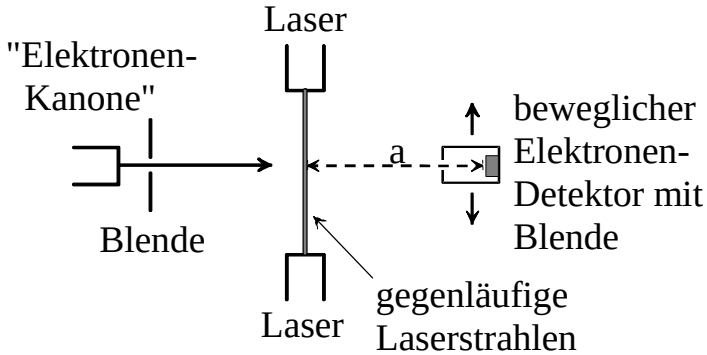
7 b) Zeichnen Sie ein $\frac{1}{d}$-C-Diagramm aus den Messwerten. Erläutern Sie, welche Kurve bei einem idealen Plattenkondensator zu erwarten wäre.

7 c) Das Diagramm lässt den Schluss zu, dass die Messpunkte annähernd auf einer Geraden liegen, die nicht durch den Koordinatenursprung geht. Begründen Sie, dass dieser Kurvenverlauf durch Annahme einer parallel geschalteten, konstanten Kapazität erklärt werden kann. Bestimmen Sie den unter dieser Annahme aus den Messwerten resultierenden Wert für ε_0.

2. "Lichtgitter"

Die Beugung von Photonen beim Durchgang durch Materiegitter wurde im letzten Jahrhundert genau untersucht. Erst im Jahr 2001 gelang der Nachweis des umgekehrten Phänomens, der Beugung von Elektronen an einem "Lichtgitter", das durch gepulste Laser erzeugt wird.

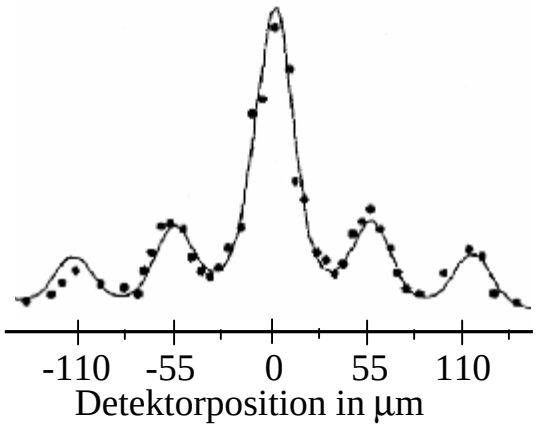
Im skizzierten Versuchsaufbau erzeugen zwei sich überlagernde, gegenläufige Laserstrahlen (λ = 532 nm) ein "Lichtgitter" mit hoher Photonendichte. Ein Strahl von Elektronen mit der kinetischen Energie E = 380 eV trifft senkrecht auf die Laserstrahlen.



(Fortsetzung nächste Seite)

BE

Mit einem beweglichen Elektronendetektor im Abstand a = 24 cm kann das entstehende Interferenzmuster abgetastet werden. Dabei erhält man nebenstehendes Diagramm.



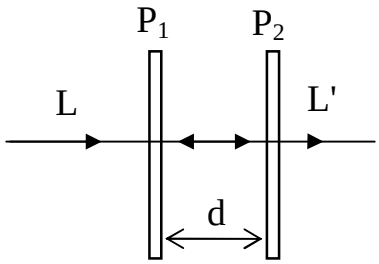
10 a) Berechnen Sie die de-Broglie-Wellenlänge λ_e der Elektronen und bestimmen Sie mit Hilfe des Diagramms die Gitterkonstante des "Lichtgitters".

5 b) Erläutern Sie unter Berücksichtigung der Laserwellenlänge, wie man sich die Entstehung des "Lichtgitters" vorstellen kann.

10 c) Während der Pulsdauer $\Delta t = 10$ ns beträgt die von jedem der beiden Laser abgestrahlte Leistung 3,1 MW. Die Laserstrahlen überlagern sich in einem zylindrischen Raumbereich mit Durchmesser d = 125 µm. Berechnen Sie, wie viele Photonen von einem der Laser während der Pulsdauer emittiert werden, und ermitteln Sie hiermit die mittlere Photonendichte, die von den beiden Lasern bei der Überlagerung erzeugt wird.

3. Vielfachreflexionen

Von zwei ebenen Glasplatten P_1 und P_2 wird eine planparallele Luftschicht eingeschlossen. Die Breite d des Luftspalts lässt sich mechanisch präzise einstellen. Die den Luftspalt begrenzenden Oberflächen sind teildurchlässig verspiegelt, so dass ein senkrecht zu den Glasplatten eintreffender Lichtstrahl L im Luftspalt sehr oft hin und her reflektiert wird. Der resultierende Lichtstrahl L' ergibt sich durch Interferenz aller austretenden Strahlenteile.



6 a) Begründen Sie, dass Licht mit den Wellenlängen $\lambda_k = 2 \cdot \frac{d}{k}$ $(k \in \mathbb{N})$ optimal durchgelassen wird. Warum haben die Phasensprünge bei der Reflexion keinen Einfluss auf das Ergebnis?

9 b) Geben Sie die zwei kleinsten Werte von d $(d \neq 0)$ an, bei denen die Anordnung für die Wellenlänge $\lambda_0 = 589$ nm optimal durchlässig ist, und untersuchen Sie für diese beiden d-Werte, ob es neben λ_0 noch weitere Wellenlängen im sichtbaren Bereich (380 nm bis 750 nm) mit optimaler Durchlässigkeit gibt.

60