

Übungsaufgaben zu Quantenphänomenen und Ursprünge der Quantentheorie

- Aufgabe 1: Schwarzer Strahler

Die Gesamtenergiedichte der Strahlung eines schwarzen Strahlers lautet

$$\omega = \int P(\lambda, T) d\lambda,$$

wobei $P(\lambda, T)$ durch die Planck-Formel

$$P(\lambda, T) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$

gegeben ist. Zeigen Sie durch geeignete Substitution dass sich die Gesamtenergiedichte als

$$\omega = \left(\frac{k_B T}{hc}\right)^4 8\pi hc \cdot \int \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \alpha T^4$$

schreiben lässt, wobei α eine von der Temperatur unabhängige Konstante ist. Die Energiedichte eines schwarzen Strahlers ist also proportional zu T^4 .

- Aufgabe 2: Roter Riese

Rote Riesen haben typischerweise eine Oberflächentemperatur von 3000 K . Berechnen Sie unter der Annahme, dass der Stern sich wie ein schwarzer Strahler verhält:

- a) die gesamte emittierte Strahlungsleistung.
- b) die Wellenlänge λ_{max} , bei der das Strahlungsspektrum $P(\lambda, T)$ einen Peak aufweist.
- c) die Frequenz ν_{max} , bei der das Strahlungsspektrum $P(\lambda, T)$ einen Peak aufweist.
- d) den Anteil der Energie, der im sichtbaren Bereich des em Spektrums emittiert wird.
- e) Warum gibt es rote und blaue aber keine grüne Sterne?

• Aufgabe 3: Photoeffekt

In dem skizzierten Gitterspektrometer fällt das Licht einer Quecksilberdampfampe auf ein Gitter mit 750 Strichen pro mm. In der Brennebene der Sammellinse L_2 befindet sich die Kaliukathode einer Vakuumphotozelle. L_2 , Blende und Photozelle sind in einen Tubus eingebaut, der sich um den Mittelpunkt des Gitters drehen lässt. Der Drehwinkel α kann auf 0.01° genau bestimmt und eingestellt werden.

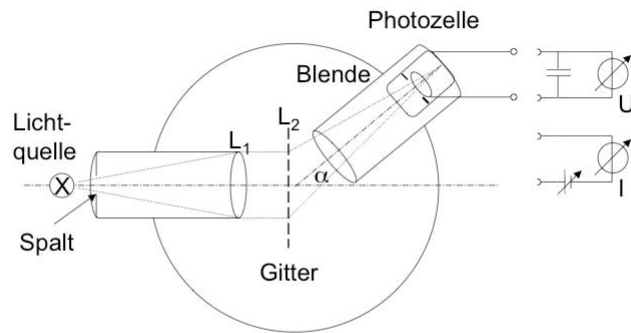


Abbildung 1: Schematischer Aufbau

Quecksilber-Linien: $\lambda_{min} = 404.7 \text{ nm}$ und $\lambda_{max} = 579.1 \text{ nm}$.
 Kalium-Grenzwellenlänge: $\lambda_{Grenz} = 551 \text{ nm}$.

- In welchem Winkelbereich werden alle sichtbaren Linien des Quecksilberspektrums 1. Ordnung erfasst?
- Bei welchen Spektrallinien tritt Photoeffekt auf?

Parallel zur Photozelle der gegebenen Anordnung ist nun ein Kondensator geschaltet. Die anliegende Spannung wird mit einem statischen Voltmeter gemessen. Nach jeder neuen Winkeleinstellung des Tubus wird der Kondensator entladen.

- Erklären Sie ausführlich, wie sich durch Photoeffekt mit dem monochromatischem Licht eine charakteristische Spannung am Kondensator aufbaut. Wie groß ist diese Spannung, wenn an der Apparatur der Winkel

$\alpha = 13.44^\circ$ eingestellt ist?

d) Der Drehwinkel wird nun schrittweise vergrößert. Bei welchem Winkel α_2 stellt sich zum ersten Mal wieder die Spannung aus Teilaufgabe c) ein?

Nun wird eine regelbare Gleichspannungsquelle in Reihe mit einem empfindlichen Strommesser an die Photozelle geschaltet.

e) Die Photozelle wird so beleuchtet, dass Photoeffekt stattfindet. Die Gleichspannung wird von $U = 0$ schrittweise erhöht; zeichnen Sie ein qualitatives U-I-Diagramm und erläutern Sie dessen Verlauf.

Bei der Bestrahlung mit Licht treffen auf die Kathode $20 \frac{W}{m^2}$. Dabei werden 10% der Lichtenergie absorbiert, der Rest wird reflektiert. Die bestrahlte Fläche ist 0.50 cm^2 groß.

f) Würde man den Photoeffekt durch das Wellenmodell des Lichtes deuten, so müsste sich die Energie der Lichtwelle gleichmäßig auf die Kaliumatome im beleuchteten Teil der Kathode verteilen. Der Photoeffekt würde auftreten, sobald die pro Atom absorbierte Energie die Austrittsarbeit für Elektronen erreicht. Schätzen Sie unter Zugrundlegung dieses Modells die Zeitdauer vom Beginn der Bestrahlung bis zum Eintreten des Photoeffekts ab. Eindringtiefe des Lichts in die Kathode ist 10 mm , die Dichte von Kalium $\rho_K = 0.86 \frac{g}{cm^3}$.

g) Welcher Befund beim Photoeffekt steht dem Ergebnis von Teilaufgabe f) entgegen?

h) Welcher Photostrom ergibt sich bei einer Wellenlänge von $\lambda = 407.8 \text{ nm}$ für eine Quantenausbeute von einem Elektron pro 10^4 absorbierte Photonen?

• Aufgabe 4: Comptonstreuung

Skizzieren Sie einen Versuchsaufbau zur Untersuchung des Comptoneffekts, beschriften Sie die Skizze ausführlich und erläutern Sie den Versuchsablauf.

Bei einer Messung tritt unter dem doppelten Winkel $\delta = 90^\circ$ Strahlung auf, deren Wellenlänge bei der Streuung verdoppelt wurde.

a) Bestimmen Sie die Frequenz der einfallenden Strahlung.

b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit des gestoßenen Elektrons.

c) Bestimmen Sie den Winkel ε , den die Flugrichtung des gestoßenen Elektrons mit der Richtung der Primärstrahlung einschließt.

• Aufgabe 5: Newtonsche Ringe

Feucht eingeglaste Dias zeigen bei Projektion Newtonsche Ringe. Sie sollen im Folgenden modelliert werden.

Eine plankonvexe Linse mit Radius $R = 5\text{ m}$ liegt auf einer ebenen Glasplatte und wird senkrecht von oben mit einem parallelen Lichtbündel einer Natriumdampflampe bestrahlt, der Zwischenraum ist mit Wasser gefüllt. Das Glas der Linse und der Platte seien Kronglas SK1. Man erhält im durchgehenden gelben Licht Newtonsche Ringe.

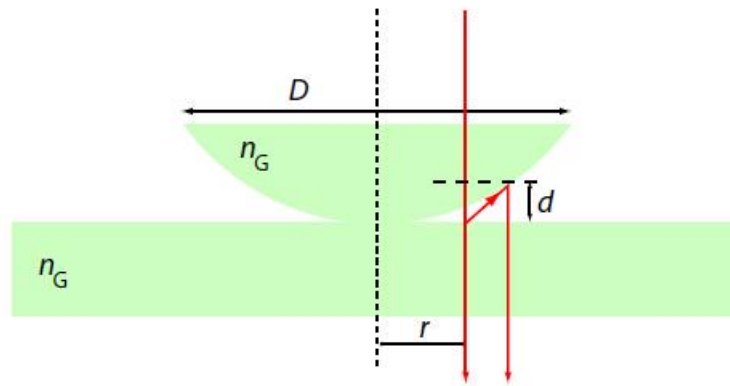


Abbildung 2: Newtonsche Ringe

- Wie groß ist der optimale Gangunterschied zwischen den beiden in rot skizzierten Strahlen? Ist an der Berührstelle von Platte und Linse ein heller oder dunkler Punkt?
- Berechnen Sie die Formeln für die Radien r der Newtonschen Ringe unter der Annahme, dass $d \ll R$. Wieviele Ringe erhält man maximal, wenn der Durchmesser der Linse $D = 5\text{ cm}$ beträgt?