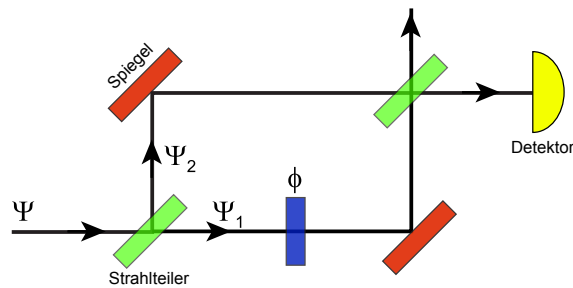


Physik IV 2011 - Übung 5

24. März 2011

1. Materiewellen-Interferometrie

Σ 2



In Analogie zur Lichtoptik können auch für Materiewellen (Elektronen, Neutronen, Atome) Interferometer konstruiert werden. Ein sogenanntes Mach-Zehnder Interferometer ist in der obigen Abbildung angedeutet. Teilchen können nun auf zwei gleich wahrscheinlichen Wegen zum Detektor zu gelangen. Durch das Einfügen eines Phasenschiebers in einen Pfad des Interferometers wird die Weglänge und dadurch die Phase der Wellenfunktion um $\phi = k\Delta = 2\pi\Delta/\lambda$ geändert, wobei λ die Wellenlänge des Teilchens und Δ proportional zur Dicke des Phasenschiebers ist.

- (a) Berechnen Sie die Detektionswahrscheinlichkeit eines Teilchen in Abhängigkeit von Δ . Für welches ϕ ist die Wahrscheinlichkeit null und wohin fliegen die Teilchen in diesem Fall? Beachte: Die an einem Strahlteiler reflektierten bzw. transmittierten Wellen besitzen aus Gründen der Energieerhaltung eine Phasendifferenz von $\pi/2$. [1½]
- (b) Nehmen Sie an, der einfallende Teilchenstrahl habe eine Impulsverteilung δk . Was beobachten Sie für $\delta k \gg 2\pi/\Delta$? [½]

2. Rutherford Streuung

Σ 3

- (a) In einem Rutherford-Streuexperiment mit einer Goldfolie werden 10^3 α -Teilchen pro Sekunde detektiert. Der Winkel zwischen dem Detektor und der Goldfolie beträgt 10° . Wieviele α -Teilchen würden pro Sekunde unter dem gleichen Winkel detektiert, wenn die Goldfolie durch eine Silberfolie mit gleicher Dicke ersetzt wird? [$\frac{1}{2}$]
- (b) Berechnen Sie für beide Materialien unter welchem Winkel die α -Teilchen Detektionsrate unter 1 s^{-1} fällt? [$\frac{1}{2}$]
- (c) Was würden Sie erwarten, wenn anstatt α -Teilchen Elektronen, Protonen oder Neutronen für ein Rutherford-Streuexperiment verwendet werden? Begründen Sie Ihre Antwort. [1]
- (d) Die Rutherford-Streuformel verliert Ihre Gültigkeit sobald die einfallenden Teilchen in die Nähe des Kerns kommen. Wie gross muss die Energie eines *Protonenstrahls* sein um diesen Grenzfall zu erreichen? Der Radius des Atomkerns von Gold beträgt $1.3 \times 10^{-15} \text{ m}$. [1]

3. Bohr Modell für Exzitonen

Σ 1

Gebundene Elektron-Loch Paare in Halbleitern (Exzitonen) können näherungsweise durch das Bohrsche Atommodell beschrieben werden.

Berechnen Sie den Bohr'schen Exzitonradius und die Bindungsenergie in Germanium. Verwenden Sie hierzu die reduzierte Masse μ^* der effektiven Massen der Elektronen und Löcher $m_e^* \sim 0.082m_e$ and $m_h^* \sim 0.043m_e$. Beachten Sie ausserdem, dass die Dielektrizitätskonstante des Vakuums durch die Dielektrizitätskonstante des Halbleitermaterials $\epsilon_r = 15.8$ modifiziert werden muss.

4. Spektren wasserstoffähnlicher Atome.

Σ $1\frac{1}{2}$

Wenn sowohl Kern- als auch Elektronenmasse in die Berechnungen für das Bohrsche Atommodell miteinbezogen werden, muss die Rydberg-Formel leicht abgeändert werden:

$$\frac{hc}{\lambda} \approx \frac{\mu}{m_e} R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

$\mu = (m_e m)/(m_e + m)$ ist hier die reduzierte Elektronenmasse, m_e und m die Masse des Elektrons bzw. des Kerns und die Rydberg-Energie $R = R_\infty hc = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$.

(a) In der Balmer-Serie des Wasserstoffatoms können zwei Linien mit einer Wellenlänge von $\lambda = 656.29$ nm bzw. $\lambda = 656.47$ nm beobachtet werden. Berechnen Sie die zugehörigen Übergänge im Wasserstoffspektrum. Welche Linien erwarten Sie für Wasserstoff und woher kommt die zweite Linie? Diese Erkenntnis führte 1934 zum Nobelpreis für Chemie. [1]

(b) Nehmen Sie an, dass die Elektronen auf den inneren Schalen nur insofern berücksichtigt werden müssen, dass sie die Ladung des Kerns neutralisieren. Benennen Sie die Rydberg-Serie mit der höchsten Energie für Mg^+ -Ionen. Wie gross ist die längste Wellenlänge eines Überganges dieser Serie? [$\frac{1}{2}$]

5. **Rydberg Atome** $\sum 1$

Atome in hochangeregten Energiezuständen werden als Rydberg-Atome bezeichnet. Ein Wasserstoff-Atom soll durch Absorption von Licht zweier Laserquellen in einen Rydberg-Zustand gebracht werden. Der erste Laser hat eine Wellenlänge, die einer Energie von 11.5 eV entspricht. Welche Wellenlänge muss der zweite Laser haben um das Atom in Zustände mit Hauptquantenzahl $n = 20, 50$ anzuregen. Welche Linienbreite dürfen die Laser höchstens haben, um in allen Fällen nur einen einzigen Zustand zu besetzen?

6. **Wasserstoffähnliche Atome** $\sum 1\frac{1}{2}$

Betrachten Sie ein einfach-ionisiertes He^+ Atom.

(a) Wie gross ist die maximale Ionisationsenergie und um welchen Faktor ändern sich die Übergangsfrequenzen relativ zu denen des Wasserstoffatoms? [$\frac{1}{2}$]

(b) Das Ion zerfällt aus dem angeregten Zustand mit Hauptquantenzahl n' in den Grundzustand und emittiert dabei zwei Photonen der Wellenlängen $\lambda_1 = 108.4$ nm und $\lambda_2 = 30.34$ nm. Berechnen Sie die Hauptquantenzahl n' des angeregten Zustands. [1]