

# Physik IV 2009 - Übung 5

12. März 2009

## 1. de Broglie Wellenlänge I Σ 3

- (a) Berechnen Sie unter Verwendung der Relation  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T$  die de Broglie Wellenlänge
- i. eines Moleküls bei Raumtemperatur. [ $\frac{1}{2}$ ]
  - ii. eines  $\text{Rb}^{87}$  Atoms in einem Bose-Einstein Kondensat bei einer Temperatur von 50 nK. [ $\frac{1}{2}$ ]
- (b) Was bedeuten die Resultate in (a) in Bezug auf die Grösse der Atome und welche Schlüsse können Sie daraus ziehen? [ $\frac{1}{2}$ ]
- (c) In einem Elektronenmikroskop wird - nomen est omen - ein kollimierter hochenergetischer Elektronenstrahl an Stelle eines Lichtstrahls zur Abbildung von Objekten verwendet. Wie gross ist theoretisch die bestmögliche Auflösung eines Elektronenmikroskops bei einer Elektronenenergie von typischerweise 10 keV? Warum kann diese Auflösung in der Praxis nicht erreicht werden? [1]
- (d) Den derzeitigen Rekord für das grösste Teilchens bei dem Interferenz als typische Welleneigenschaft experimentell gezeigt wurde hält das 'fussball'-förmige Molekül Fluorofullerene ( $C_{60}F_{48}$ ). Berechnen Sie die de Broglie Wellenlänge dieses Moleküls bei einer Geschwindigkeit von 100 m/s ( $m_u = 1.66 \times 10^{-27}$  kg,  $m_C = 12m_u$ ,  $m_F = 19m_u$ ). Vergleichen Sie mit der Grösse des Moleküls. [ $\frac{1}{2}$ ]

## 2. de Broglie Wellenlänge II Σ 1

Betrachten Sie ein ruhendes Elektron, das sich in grosser Entfernung zu einem Proton befindet. Durch die Coulombkraft wird das Elektron vom Proton angezogen. Berechnen Sie die Grössenordnung der Wellenlänge des Elektrons, wenn es sich bis auf

- (a) 1 m

(b)  $0.5 \times 10^{-10}$  m (in etwa ein Atomradius)

an das Proton angenähert hat. [1]

3. **de Broglie Wellenlänge und Wellenlänge von Photonen**  $\Sigma$  2  
Leiten Sie die Beziehung

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_{\text{kin}}(E_{\text{kin}} + 2m_0c^2)}}$$

zwischen der de-Broglie Wellenlänge eines Teilchens mit Masse  $m$  und seiner kinetischer Energie  $E_{\text{kin}}$  her. Zeigen Sie, dass die de-Broglie Wellenlänge des Teilchens der Wellenlänge eines Photons mit der selben Gesamtenergie entspricht, wenn die Gesamtenergie des Teilchens viel grösser als dessen Ruheenergie ist. [2]

4. **Doppelspaltexperiment mit Wellen und Teilchen**

Das Doppelspaltexperiment ist eines der Schlüsselexperimente zum Verständnis der Quantenmechanik.  $\Sigma$  3

(a) Ein Elektronenstrahl mit einer kinetischen Energie von 50 keV trifft auf eine Doppelspaltanordnung (siehe Übungsblatt 1 - Aufgabe 4). Betrachten Sie (nur für die folgende Überlegung!) die Elektronen als massive Teilchen und skizzieren Sie die zu erwartende Intensitätsverteilung auf einem Schirm im Abstand von  $R = 1$  m vom Doppelspalt. Die Spaltbreite beträgt  $0.3 \mu\text{m}$  und der Spaltabstand  $1 \mu\text{m}$ . Vernachlässigen Sie dabei Teilchenstösse und nehmen Sie absorbierend Wände an. Wo befinden sich die Intensitätsmaxima? [1]

(b) Tatsächlich wird jedoch eine Intensitätsverteilung wie im photonischen Doppelspaltexperiment (Blatt 1 - Aufgabe 4) beobachtet. Wo befindet sich das Intensitätsmaximum in diesem Fall? Begründen Sie Ihre Antwort. Berechnen Sie ausserdem den Abstand zu den benachbarten Maxima am Beobachtungsschirm. [1]

(c) Berechnen Sie diesen Abstand, wenn Licht der gleichen Energie anstatt der Elektronen verwendet wird.  $[\frac{1}{2}]$

(d) Angenommen, die Intensität des Elektronenstrahls beträgt ca.  $10^8 \text{ s}^{-1}$ . Wie gross ist der mittlere räumliche Abstand zwischen den Elektronen? Welchen Einfluss hat die Intensität auf das Interferenzmuster?  $[\frac{1}{2}]$