

# Übungen zu Physik IV (SS 2002)

(G. Münster / T. Peitzmann)

## Blatt 1

### Aufgabe 1 (L:0;D:4): de Broglie-Wellenlänge

- a) Ein freies Elektron habe eine Energie  $E=150$  eV. Wie groß ist seine de Broglie-Wellenlänge? Um wieviel kleiner ist die Wellenlänge eines Elektrons, welches im LEP bei CERN beschleunigt wurde?  
*Hinweis:* Informationen über LEP finden Sie zum Beispiel unter [www.cern.ch](http://www.cern.ch).
- b) Wie groß ist eigentlich die elektromagnetische Wellenlänge des in Hiltrup ausgestrahlten Programms von Radio AM?
- c) Welche de Broglie-Wellenlänge hat Ihr Professor ( $m = 73$  kg), wenn er auf seinem Fahrrad mit einer Geschwindigkeit von 12 km/h angefahren kommt? Wie schnell müßte er gehen, wenn beim Eintreten in den Hörsaal sein 1. Beugungsmaximum am seitlichen Ende der Tafel (Winkel:  $20^\circ$ ) liegen soll? (Skizze!) Nehmen Sie hier den Professor als punktförmiges Objekt an.

### Aufgabe 2 (L:4;D:4): Ableitung der Planckschen Strahlungsformel

- a) Der Hohlraumstrahler bestehe aus Teilchen, die zwei Zustände unterschiedlicher Energie ( $E_1, E_2$ ) einnehmen können. Die Anzahlen  $n_1$  und  $n_2$  in den jeweiligen Zuständen seien thermisch verteilt (Boltzmann-Verteilung  $N \propto e^{-E/kT}$ ), das System befindet sich im Gleichgewicht. Übergänge zwischen den Zuständen finden durch drei verschiedene Prozesse statt, bei denen Energiequanten  $\hbar\nu$  von den Teilchen aufgenommen oder abgegeben werden: die Absorption, deren Wahrscheinlichkeit zur der Strahlungsdichte  $\rho$  und zur Anzahl  $n_1$  proportional ist, die stimulierte (erzwungene) Emission, die zu  $\rho$  und  $n_2$  proportional ist und die spontane Emission, die nur zu  $n_2$  proportional ist und nicht von  $\rho$  abhängt. Leiten sie eine Formel für  $\rho(\nu, T)$  ab. Welche weitere Annahme muss gemacht werden, damit sich die Plancksche Strahlungsformel ergibt?
- b) Wie ändert sich die Formel, wenn keine stimulierte Emission stattfindet? Was passiert, wenn es keine spontane Emission gibt?
- c) Ist die Ableitung sinnvoll, wenn es wirklich nur exakt diese zwei Energiezustände gibt?

### Aufgabe 3 (L:4;D:4): Strahlungsformel und Wiensche Verschiebung

- a) Schreiben Sie die Plancksche Strahlungsformel für die spektrale Energiedichte des Strahlungsfeldes eines Hohlraumstrahlers

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\hbar\nu/kT} - 1}$$

um in einen Ausdruck  $\rho(\lambda, T)$ , in welchem statt der Frequenz die Wellenlänge auftritt, so dass  $\rho(\lambda, T)$  die Energiedichte pro Wellenlängenintervall angibt.

- b) Zeigen Sie, dass aus dieser Formel das Wiensche Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{max} \cdot T = const.$$

abgeleitet werden kann. Ist das Maximum von  $\rho(\nu, T)$  identisch mit dem von  $\rho(\lambda, T)$ ?

#### **Aufgabe 4 (L:0;D:2): Davisson-Germer-Versuch**

Elektronen werden an einem kubischen Kristallgitter gestreut (senkrechter Auffall). Wie erhält man die de Broglie-Wellenlänge aus dem Abstand der Interferenz-Maxima und der Gitterkonstanten  $a$ ? Wie groß ist der Winkel zwischen dem einlaufenden Strahl und dem Streu-Maximum für Elektronen der Energie 45 eV bei einer Gitterkonstanten  $a = 3,52 \text{ \AA}$ ?

#### **Aufgabe 5 (L:0;D:2): Gruppen- und Phasengeschwindigkeiten**

Berechnen Sie die Gruppen- und Phasengeschwindigkeiten von freien Elektronenwellen der Wellenlänge  $10^{-13} \text{ m}$  und  $10^{-8} \text{ m}$ . Wie groß ist die Energie der Elektronen? Vergleichen Sie die Geschwindigkeiten mit der Lichtgeschwindigkeit. Ist eine nicht-relativistische Rechnung in beiden Fällen sinnvoll?