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`.

b) Wie groß ist eigentlich die elektromagnetische Wellenlänge des in Hiltrup ausgestrahlten Programms von Radio AM?

c) Welche de Broglie-Wellenlänge hat Ihr Professor ($m = 73\,\mathrm{kg}$), 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°) 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 befinde sich im Gleichgewicht. Übergänge zwischen den Zuständen finden durch drei verschiedene Prozesse statt, bei denen Energiequanten $h\nu$ von den Teilchen aufgenommen oder abgegeben werden: die Absorption, deren Wahrscheinlichkeit zur der Strahlungsdichte ρ und zur Anzahl n_1 proportional ist, die stimulierte (erzwungene) Emission, die zu ρ und n_2 proportional ist und die spontane Emission, die nur zu n_2 proportional ist und nicht von ρ 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

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

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 $a = 3,52$ Å?

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

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