

Assoc.Prof. Dr. R.A. Wilhelm

wilhelm@iap.tuwien.ac.at

TU Wien - Grundlagen der Physik III (134.125) 2023W

09.11.2023

Aufgabe 03.1 - 4 Pkt.

(a) Ersetzen Sie in der Planck'schen Strahlungsformel $w_\nu(\nu)d\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{d\nu}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$ die Frequenz durch die Wellenlänge.

(b) Leiten Sie nun daraus das Wien'sche Verschiebungsgesetz ab. Bestimmen Sie auch die Konstante im Wien'schen Verschiebungsgesetz, indem Sie die erhaltene Gleichung entweder graphisch oder numerisch lösen (z.B. mit Matlab, Python o.ä.).

(c) Die Sonne hat eine Oberflächentemperatur von 5780K. Bei welcher Wellenlänge liegt das Maximum der emittierten Strahlungsenergie? Wie hängt das Strahlungsmaximum der Sonne mit der Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges zusammen?

Der kosmischen Hintergrundstrahlung entspricht eine Schwarzkörperstrahlung von 2.7K. Wo liegt das Maximum dieser emittierten Strahlungsenergie?

(d) Berechnen Sie mit dem Planck'schen Strahlungsgesetz die Energiedichte im Wellenlängenintervall von 500nm bis 501nm für die Sonne ($T = 5780K$), eine Glühwendel mit 2500K und eines Raumes mit 300K unter der Annahme eines idealen schwarzen Strahlers.

Lösung: (c) Sonne: 500nm, kosm. Hintergrundstr.: 1mm, (d) Sonne: $1.1 \cdot 10^{-3} \frac{J}{m^3 nm}$, Glühwendel: $1.58 \cdot 10^{-6} \frac{J}{m^3 nm}$, Raum: $3.15 \cdot 10^{-43} \frac{J}{m^3 nm}$

Aufgabe 03.2 - 2 Pkt.

An einer Photozelle wurde eine Grenzwellenlänge von 536nm gemessen.

(a) Wie groß ist die Austrittsarbeit des Kathodenmaterials in eV?

(b) Nun wird diese Photokathode mit UV-Licht der Wellenlänge 348nm bestrahlt. Wie hoch ist nun die maximale Energie der austretenden Elektronen in eV?

Lösung: (a) 2.31 eV, (b) 1.25 eV

Aufgabe 03.3 - 2 Pkt.

Ein Elektron, ein Proton und ein Alpha-Teilchen haben jeweils eine kinetische Energie von 150keV. Berechnen Sie jeweils

(a) den Betrag ihres Impulses und (b) ihre De-Broglie-Wellenlänge.

Hinweis: Berechnen Sie die Werte jeweils relativistisch und nicht-relativistisch.

Lösung: (a) Elektron (nicht-relativistisch): $2.022 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, Proton (nicht-relativistisch): $8.967 \cdot 10^{-21} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, Alpha-Teilchen (nicht-relativistisch): $1.787 \cdot 10^{-20} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, (b) Elektron: 2.957 pm, Proton: 0.074 pm, Alpha-Teilchen: 0.037 pm

Aufgabe 03.4 - 3 Pkt.

Ein Photon falle auf ein ruhendes Elektron wobei die Energie des Photons gleich der Ruheenergie des Elektrons sei. Es soll nur der Fall untersucht werden bei dem der Impuls des gestreuten Photons gleich dem Impuls des rückgestoßenen Elektrons ist.

(a) Berechnen Sie den Streuwinkel des Photons und des Elektrons.

(b) Welchen Impuls hat das rückgestoßene Elektron (Angabe als Vielfaches von m_0c)

(c) Welche Geschwindigkeit hat das rückgestoßene Elektron (Angabe als Vielfaches von c)

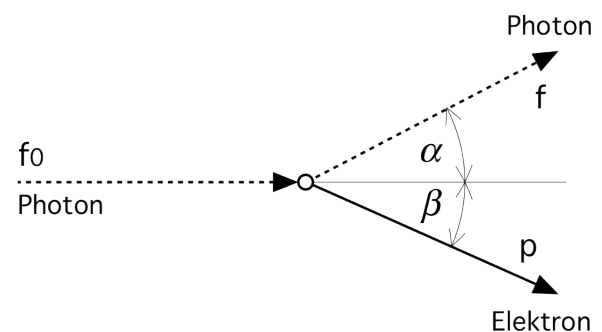


Figure 1: Skizze des Problems.

Lösung: (a) $\alpha = \beta = 48.2^\circ$, (b) $p = \frac{3}{4}m_0c$, (c) $v = \frac{3}{5}c$

Aufgabe 03.5 - 2 Pkt.

- (a) Ein Elektron bewege sich genau in x -Richtung mit der Geschwindigkeit $v_x = 3.6 \cdot 10^6 \text{ m/s}$. Wir können seine Geschwindigkeit mit einer Genauigkeit von 0.001 messen. Mit welcher Genauigkeit können wir gleichzeitig seine Position bestimmen?
- (b) Welche Aussagen können wir über die Bewegung in y -Richtung treffen?
- (c) Ein gegnerischer Spieler versucht, den Fußball an Robert Almer vorbei ins österreichische Tor zu schießen. Robert Almer erfasst die Geschwindigkeit des Balls ($m_F = 0.43 \text{ kg}$) blitzschnell zu $v = 40 \text{ m/s}$ mit einer Genauigkeit von 1% (ob das mal gut geht!) und hechtet nach dem Ball. Wie groß ist die Ortsungenauigkeit des Balls? Besteht Gefahr für das österreichische Tor?
- (d) Ein Elektron in einem angeregten Zustand des Wasserstoffatoms verbleibt dort im Mittel 10^{-8} s . Wie groß ist die minimale Energieunschärfe dieses Anregungsniveaus (in eV)?
- (e) Ein freies Neutron ($m_n = 1.67510^{-27} \text{ kg}$) hat eine mittlere Lebensdauer von 900s. Wie groß ist die daraus resultierende minimale Unschärfe seiner Masse?

Anmerkung: Es gibt mehrere Varianten der Unschärferelation, z.B. $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$, $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$. Nehmen Sie hier (aus Demtröder 3, G. 3.79): $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$

Lösung: (a) $3.22 \cdot 10^{-8} \text{ m}$, (d) $6.6 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$, (e) $1.30 \cdot 10^{-54} \text{ kg}$

Aufgabe 03.6 - 2 Pkt. - Komplexe Aufgabe, Punkte bewusst niedrig gewählt

Wird in einem freien Atom ein Elektron in einen Zustand mit sehr kleiner Bindungsenergie gebracht, so nimmt die Wellenfunktion einen sehr großen Raum ein, und die Struktur des restlichen Atoms spielt fast keine Rolle mehr. Man spricht dann von Rydberg-Zuständen.

- (a) Zur Anregung der Rydberg-Zustände von Wasserstoff-Atomen werden zwei Laser benutzt. Ein Laser habe die feste Frequenz zur Photonenenergie $E = 11.50 \text{ eV}$, der andere Laser sei durchstimmbar. Welche Wellenlängen muss man an diesem einstellen, um die Zustände mit $n = 20, 30, 40, 50$ und 100 anzuregen?
- (b) Wie groß sind die Radien und Bindungsenergien dieser Zustände? Welche Linienbreite dürfen die Laser maximal haben, um nur einen Zustand n anzuregen?

Lösung: (a) für $n = 50$: 591.9 nm , (b) für $n = 50$: $r_n = 1323 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, $E_{n=50} = -5.4 \text{ meV}$, Linienbreite 0.027 meV