

Übungen zur Modernen Experimentalphysik I (Physik IV, Atome und Moleküle) — SS 2013

4. Aufgabenblatt

1. Heisenberg'sche Unschärferelation

Die mittlere Bindungsenergie eines Nukleon im Atomkern beträgt ca. 8MeV. Die empirisch ermittelte Abhängigkeit des Kernradius von der Massenzahl A ist: $r_K = 1.3 \times 10^{-15} A^{1/3} [m]$. Zeigen sie anhand der Unschärferelation, dass ein Elektron nicht (strenggenommen nur mit sehr kleiner Wahrscheinlichkeit) im Atomkern existieren kann. (Neben anderen Gründen hat dies zur Abkehr vom Elektron-Proton Kernmodell geführt.) Tip: Diskutieren sie über die benötigte Energie des Elektron in Abhängigkeit von A !

2. Materiewellen

Die Moleküle eines Gases haben bei $T=320K$ eine mittlere quadratische Geschwindigkeit von $\langle v^2 \rangle = (499m/s)^2$. Wie groß ist die De Broglie Wellenlänge dieser Moleküle? Um welches Gas handelt es sich?

Hinweis für die mittlere kinetische Energie von Gasmolekülen gilt:

$$\langle E \rangle = 3/2kT, k = 1.38 \times 10^{-23} J/K.$$

3. Welle-Teilchen-Dualismus

- Ein Körper der Masse 4g bewege sich mit der Geschwindigkeit 100m/s. Wie klein müsste die Öffnung einer Blende sein, damit ein solcher Körper an dieser einen Beugungseffekt zeigt? Zeigen sie, dass kein normaler Körper dieser Masse durch eine solche Öffnung passt!
- Ein Neutron besitze die kinetische Energie 100MeV. Welche Größe hat ein Objekt, an dem man die Beugung dieses Neutrons beobachten kann, wenn man es als Target verwendet. Gibt es ein solches Objekt?
- Wie groß ist die De Broglie Wellenlänge eines Elektrons, das aus dem Ruhezustand eine Spannung von 200V durchläuft? Welche gebräuchlichen Targets kann man verwenden, um die Welleneigenschaften dieses Elektrons zu demonstrieren?
- Wie groß ist die De Broglie Wellenlänge der Erde ($M_E = 5.976 \cdot 10^{24} \text{ kg}$), die sich mit $v_E = 29.9 \text{ km/s}$ im Sonnensystem bewegt?

4. Gravitationsverschiebung von Photonen

In der Vorlesung wurde die Gravitationsverschiebung von Photonen im Schwerfeld der Erde diskutiert. Hierbei wurde der Zusammenhang $\frac{\Delta f}{f} = \frac{gH}{c^2}$ für homogene Schwerfelder hergeleitet, wobei H die Höhe des Senders über der Erdoberfläche ist, g die Erdbeschleunigung..

- (a) Drücken Sie $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ als Funktion von H aus. *Hinweis: Für kleine Werte von v/c gilt: $\frac{1}{\gamma} \approx 1 - \frac{v^2}{c^2}$.*
- (b) Die Gravitationsverschiebung von Photonen ist eine der Systematiken, die bei Synchronisation von GPS Empfängern auf der Erde und Sendern aus Satelliten beachtet werden muss. Anders als beim (irdischen) Pound-Repka Experiment muss man für Satelliten den exakten Ausdruck für die potentielle Energie des Photons verwenden, so dass sich für die gravitative Zeitdilatation

$$\frac{1}{\gamma} = \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \quad (1)$$

ergibt. Für kleine Werte von M/r erhalten wir

$$\frac{1}{\gamma} \approx 1 - \frac{GM}{rc^2}. \quad (2)$$

Der relative Versatz zwischen den Uhren an Board der Satelliten und den Uhren auf der Erde ergibt sich nun aus

$$\Delta\left(\frac{1}{\gamma}\right) \approx \frac{GM_{Erde}}{R_{Erde}c^2} - \frac{GM_{Erde}}{R_{GPS}c^2}. \quad (3)$$

$\Delta\left(\frac{1}{\gamma}\right)$ gibt den Faktor an, um den die Uhren auf den Satelliten schneller gehen als die Uhren auf der Erdoberfläche.

Berechnen Sie, um wieviele Nanosekunden die Satellitenuhren pro Tag schneller gehen als die Erduhren! (*Numerische Werte: $R_{Erde} = 6357 \text{ km}$, $M_{Erde} = 5.974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, $R_{GPS} = 26541 \text{ km}$.*)

- (c) Wie groß ist die Zeitverschiebung zwischen Satellit und Empfänger aufgrund der *speziellen Relativitätstheorie*? Nehmen Sie an, dass sich die GPS Satelliten mit 3874 m/s relativ zum Empfänger bewegen.
- (d) Vergleichen Sie die Zeitdilatationen aufgrund allgemeiner und spezieller Relativitätstheorie. Verstärken sich die beiden Effekte? Geben Sie die totale relativistische Zeitdilatation an!

Matrix(1/2/3/4a/4b/4c-4d)

Die Aufgaben werden in den Übungen am 13. Mai 2013 besprochen.

Informationen zu den Übungen unter
<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~gebauer/atom13.html>.