

<b>Übungen zur Vorlesung Moderne Physik für Lehramtskandidaten, Geophysiker, Meteorologen und Ingenieurpädagogen</b>	
--	--

<b>Sommersemester 2023</b> Prof. D. Hunger, M.Sc. J. Hessenauer	<b>Fakultät für Physik</b> Physikalisches Institut
--	---

## Übungsblatt Nr. 4 Anfänge der Quantenmechanik

Ausgabe: 08.05.2023

Besprechung: 16.05.2023

**Aufgabe 1 Atommodell im 20. Jahrhundert [2P]**

Noch erstaunlich weit in das 20. Jahrhundert hinein war die „Atomhypothese“ umstritten. Für viele renommierte Forscher galten die dafürsprechenden Hinweise als im Rahmen der klassischen Physik erklärbar, andere dagegen hielten den Bruch mit den oft noch rein mechanischen Vorstellungen für unvermeidlich. Versetzen Sie sich zurück in das Jahr 1915. Machen Sie eine Liste von drei experimentellen Tatsachen, welche zu dieser Zeit von den Befürwortern der Atomhypothese und der Notwendigkeit einer „neuen“ Physik im Streitgespräch benutzt werden konnten. Erläutern Sie die drei Tatsachen. Diskutieren Sie in Ihrer Lerngruppe und im Tutorium, inwieweit die einzelnen Argumente schon als Beweise für die Notwendigkeit eines Bruchs mit den klassischen Vorstellungen genügen.

**Aufgabe 2 Plancksches Strahlungsgesetz**

- a) Was versteht man unter einem schwarzen Körper? Nennen Sie ein Beispiel für einen schwarzen Körper. [0.5P]
- b) Zeigen Sie, dass das Plancksche Strahlungsgesetz

$$S(\nu) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\left(e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1\right)} \quad (1)$$

im Grenzfall kleiner Frequenzen ( $h\nu \ll k_B T$ ) in das Rayleigh-Jeans-Gesetz übergeht. Verwenden Sie die Taylorentwicklung  $e^x \approx 1 + x$  für  $x \ll 1$ .

Vor Plank war bereits das Wiensche Strahlungsgesetz bekannt, das die spektrale Leistungsdichte für große Frequenzen beschreibt:

$$S(\nu) = \frac{2\beta\nu^3}{c^2} \exp\left(-\frac{\beta\nu}{k_B T}\right)$$

Zeigen Sie, dass auch dieses Gesetz für große Frequenzen aus dem Planckschen Strahlungsgesetz hervorgeht. Was ist der Faktor  $\beta$ ? [2P]

- c) Erläutern Sie die Problematik des Rayleigh-Jeans Gesetz, die Plancks Arbeit motivierte. Welche (fundamental neue) Annahme traf Planck, um das Strahlungsgesetz abzuleiten? [0.5P]

### Aufgabe 3 Photoeffekt

- a) Beschreiben Sie kurz den Photoeffekt. Geben Sie die Beobachtungen wieder, die den Vorhersagen aus dem Wellenbild des Lichts widersprechen und erläutern Sie, wie diese Beobachtungen im Photonenbild erklärt werden können. [1P]
- b) Licht der Wellenlänge  $\lambda = 390 \text{ nm}$  trifft auf einen Natriumkristall, der über eine Austrittsarbeit von  $2.28 \text{ eV}$  verfügt. Bestimmen Sie die maximale kinetische Energie und Geschwindigkeit der herausgelösten Elektronen. [1P]

### Aufgabe 4 Compton Effect

Ein Photon der Wellenlänge  $\lambda_1$  fliegt entlang der x-Achse und stößt auf ein ruhendes Elektron. Das Photon gibt einen Teil seiner Energie an das Elektron ab, wird dabei um den Winkel  $\phi$  gestreut und hat danach die Wellenlänge  $\lambda_2$ .

- a) Geben Sie die relativistische Gesamtenergie des Elektrons und des Photons vor und nach dem Stoß an.  
**Hinweis:** Verwenden Sie die relativistische Energie-Impulsbeziehung. Das Photon verfügt über keine Ruhemasse. Gegebenenfalls können Sie den Ansatz auch in einem Lehrbuch, z.B: Tipler, nachschlagen. [0.5P]
- b) Wie groß sind die Impulskomponenten des Elektrons und des Photons vor und nach dem Stoß in Abhängigkeit vom Streuwinkel  $\theta$ ? [0.5P]
- c) Setzen Sie den Impuls des Elektrons nach dem Stoß  $\vec{p}_e$  in den Energieerhaltungssatz ein und lösen nach  $\lambda_2 - \lambda_1$  auf, um die Wellenlängenänderung für den Compton-Effekt herzuleiten. [1.5P]
- d) Ein Röntgenphoton mit  $350 \text{ keV}$  Energie streut an einem freien Elektron unter einem Winkel von  $30^\circ$  zu seiner ursprünglichen Flugrichtung. Nehmen Sie an, dass das Elektron ursprünglich in Ruhe war. Berechnen Sie den Compton-Verschiebung des Röntgenphotons und die Energie des gestreuten Photons. [0.5P]

---

Weitere Informationen und Updates zur Vorlesung/Übung finden Sie auch hier:  
[https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs\\_2093879&client\\_id=produktiv](https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_2093879&client_id=produktiv)