

Übungen zur Vorlesung Mod. Experimentalphysik I

KIT, Sommersemester 2024

Prof. Dr. T. Müller, Dr. D. Hinz



Vorlesungen	Di 9:45 + Do 11:30, Gerthsen-Hörsaal 30.21
Übungen	Mo 8:00, 9:45, 11:30 (Anmeldung im Ilias)
Sprechstunde	Dr. Hinz: nach Vereinbarung (dominic.hinz@kit.edu)
Ilias	s.kit.edu/ex4ss24

In diesem Übungsblatt werden Inhalte benötigt, die Sie im Laufe der Woche in der Vorlesung behandeln werden. Falls ein Thema, eine Formel, etc. nicht besprochen werden sollte, werden Ihnen die nötigen Informationen via Ilias (Forum) bereitgestellt. Beachten Sie, dass sie zwei Wochen Zeit für das Übungsblatt haben, da am 20.5. kein Tutorium stattfindet.

Übungsblatt 4 – Bearbeitung bis 27.05.2024

(12) Wasserstoffspektren

Die Übergänge im Wasserstoffatom lassen sich mit dem Schema

$$\nu \propto \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (1)$$

beschreiben (siehe Vorlesung) mit den Quantenzahlen n und m (natürliche Zahlen > 0) für diskrete Energieniveaus im Atom. Eine bekannte Linie ist die Balmer- α Linie, wobei Photonen ($\lambda = 656.3 \text{ nm}$) beim Übergang von $m = 3$ auf $n = 2$ emittiert werden. (*Hinweis: Die Kernmassen werden in dieser Aufgabe vernachlässigt.*)

- Welche Photonenenergie ist mindestens notwendig, um ein Atom, das sich im Zustand $n = 2$ befindet, zu ionisieren?
- Was ist die kürzeste Wellenlänge, die das Wasserstoffatom emittieren kann?
- Vergleichen wir die Emission von Wasserstoffatomen, H, mit der von einfach ionisierten Heliumionen, He^+ , fällt auf, dass die Balmer- α Linie von Wasserstoff mit einer Linie des Heliumions ($n = 4$ und $m = 6$) übereinstimmt. Nutzen Sie diese Angaben, um zu bestimmen, wie die Kernladung Z in Gl. (1) eingeht.

(13) Das Bohrsche Atom-Modell

Der Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts war die Geburtsstunde der Atomphysik und der Quantenmechanik. Die Entwicklung hin zu neuen Theorien wurde von Experimenten und Beobachtungen getrieben, die sich klassisch nicht erklären ließen. Ein wichtiger Schritt hierbei war das Atommodell von Niels Bohr.

Setzen Sie sich mit der Originalpublikation von Niels Bohr (1913) anhand von Fragen auseinander. Die Veröffentlichung ist im ILIAS bei Übungsblatt 4 hinterlegt.

Gerne können Sie das Forum zusammen mit allen Kommilitonen zur Diskussion der Veröffentlichung nutzen. Beantworten Sie hierzu folgende Fragen:

- (a) Auf welche beiden Atommodelle bezieht sich Bohr in der Einleitung?
- (b) Welchen Schritt beschreibt Bohr in der Einleitung, der seiner Meinung nach notwendig ist, um die Stabilität der Atome zu ermöglichen?
- (c) Was sind die Bohr'schen Postulate? Wo und in welcher Form finden sie sich in der Veröffentlichung wieder?
- (d) Anhand welcher experimentellen Beobachtungen zeigt Bohr, dass sein Modell stimmen könnte?
- (e) In Paragraph §3 diskutiert Bohr die Abstrahlung von Photonen bei Übergängen zwischen den Energiezuständen. Welche Aussage trifft er diesbezüglich und wie kommt er zu dem Schluss?
- (f) In Paragraph §4 behandelt Bohr die Absorption von Strahlung in Gasen. Er schreibt, dass nur Atome Licht absorbieren können, die von derselben Art von Atomen emittiert wurde. Warum kann aber atomares Wasserstoffgas im Grundzustand keine Photonen einer Balmer-Linie absorbieren?

(14) Erweiterungen des Bohr'schen Atommodells

- (a) In Aufgabe 12 c) wurde behauptet, dass die Balmer- α Linie von H mit der $n = 4$, $m = 6$ Linie des Heliumions He^+ übereinstimmt. Wenn man mit hoher Auflösung die Übergänge misst, so bemerkt man, dass dies in Wirklichkeit nicht der Fall ist. Warum ist dies so und wie sind die korrigierten Wellenlängen der Emission?
- (b) Das Elektron im Wasserstoffatom kann gegen ein Myon ($m_\mu = 207m_e$) ersetzt werden. Wie ändert sich dadurch die Wellenlänge der Balmer- α Linie? (Bitte berücksichtigen Sie beim Berechnen des Wertes die Erkenntnis aus Teilaufgabe a)! Mittels Spektroskopie an diesen exotischen Atomen lässt sich der Ladungsradius des Protons sehr genau messen, da die Myonen eine höhere Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Atomkern als die leichten Elektronen besitzen (siehe z.B. https://www.mpg.de/7881858/MPQ_JB_20142). Um welchen Faktor steigt diese Aufenthaltswahrscheinlichkeit an? Nehmen Sie vereinfachend Atom und Kern ($R_p = 0.8409 \text{ fm}$) als Kugeln an.
- (c) Bevor in den 1920er Jahren die modernen (wirklichen) Quantentheorien entwickelt wurden, die qualitative und quantitative Vorhersagen in der Atomphysik leisten konnten, erweiterte Arnold Sommerfeld zunächst das halbklassische Modell von Niels Bohr. Das Bohr'sche Atommodell konnte das Wasserstoffatom erklären, scheiterte aber an Systemen mit mehreren Elektronen. Sommerfeld führte neben der Hauptquantenzahl n zusätzliche Quantenzahlen ein: den Drehimpuls ℓ , die magnetische Quantenzahl m_ℓ (Einstellquantenzahl des Drehimpuls) und die Einstellquantenzahl des Elektronenspins m_s (diese Quantenzahl kam später aus dem sog. Pauli-Prinzip dazu). Die Quantenzahlen ℓ , m_ℓ zeigen sich in der Form der Keplerschen Atombahnen, die Sommerfeld postuliert hat (siehe Vorlesung). Die Bedingungen an diese Quantenzahlen sind

$$\ell = 0, 1, \dots, n - 1 \quad (2)$$

$$m_\ell = -\ell, -\ell + 1, \dots, \ell - 1, \ell \quad (3)$$

$$m_s = -1/2, +1/2. \quad (4)$$

Die Bedingung für Mehrelektronensysteme ist nun, dass sich jedes Elektron im Atom in mindestens einer Quantenzahl unterscheiden muss! Wie viele Elektronen können in einem Atom maximal

die Quantenzahl $n = 1$, $n = 2$, bzw. $n = 3$ tragen? Welchen Schluss können Sie daraus auf das Periodensystem der Elemente ziehen?

(15) Franck-Hertz Versuch

Der Franck-Hertz-Versuch stellt eines der zentralen Experimente auf dem Weg zu einer quantenmechanischen Beschreibung der Atomphysik dar. Der hier verwendete Aufbau zeigt Minima des Anodenstromes bei Beschleunigungsspannungen in Abständen von $\Delta U_b = 3,3 \text{ V}$.

- Beschreiben Sie anhand Abb. 1 das Prinzip des Versuchs und erläutern Sie qualitativ dessen Ergebnis (Skizze).
- In welcher Farbe leuchtet das Füllgas bei einer Beschleunigungsspannung von $U_b = 4$ bzw. 5 V ?
- Welche Geschwindigkeit muss ein Elektron mindestens besitzen, damit ein Füllgasatom durch einen Stoß zum Leuchten angeregt werden kann?

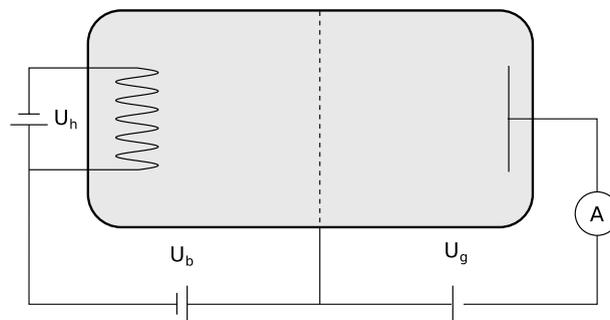


Abbildung 1: Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs

(16) Grundlagen zur Quantenmechanik

- Erklären Sie die Begriffe: Wellenfunktion, Erwartungswerte, Eigenwert, Operator.
- Wie lautet die Schrödingergleichung für ein Teilchen im Potential? Wie sieht die Wellenfunktion für eine ebene Welle aus?
- Warum hat der quantenmechanische harmonische Oszillator eine Nullpunktsenergie $E = \hbar\omega/2$?
- Finden Sie die Normierung N für die folgende Wellenfunktion $\psi = Nxe^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$. (Hinweis: $\int_{-\infty}^{+\infty} x^2 e^{-ax^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2a^{3/2}}$ für $a > 0$)
 - Wie ist die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Teilchens als Funktion von x ?
 - Wo liegt der Erwartungswert des Teilchenorts?
 - Wie ist die Parität der Wellenfunktion?
- Wie ist der Betrag $|L|$ für einen Drehimpuls mit der Quantenzahl $l = 4$. Welche m Werte und welche L_z Werte sind möglich? Unter welchen Winkeln gegenüber der z -Achse kann der Drehimpulsvektor stehen und zeichnen Sie dies in einer Skizze ein.

(*) Punkteverteilung

Aufgabe	Teilaufgabe	Punkte
12	a, b, c	je 1
13	a, f	je 0,5
13	b, c, d, e	je 1
14	a, b, c	je 1
15	a, b, c	je 1
16	a, d, e	je 1
16	b, c	je 0.5

Bei Verständnisfragen gerne das Forum im ILIAS nutzen.

AUF JOB SUCHE?



Du willst:

- anderen Studierenden helfen
- in einem kleinen Team und
- eigenständig arbeiten

**We
want
you!**

Du bist:

- empathisch
- organisiert und
- voller Ideen



Das Mentorenteam
sucht Verstärkung!

Das klingt nach etwas
für dich?

Meld dich unter:

mentoring@fachschaft.physik.kit.edu