Grundkurs Physik Q3 Hessen

Skript und Übungsaufgaben

SHAMSHER SINGH KALSI

Berufliches Gymnasium — Ferdinand-Braun Schule
Kursleiter: Herr Dr. Frank Diegmüller

FERDINAND BRAUN SCHULE
Technische Schulen der Stadt Fulda

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

19.08.2025

Dieses Skript ist als leicht lesbare Sammlung von Vorlesungsnotizen, Experimentbeschreibungen und Übungsaufgaben für den Physik-Grundkurs gedacht. Es wurde die alte Duden Paetek Formel abgelöst und von dem IQB eine Einheitliche veröffentlicht. Auf moodle steht die neue Formelsammlung. Thomsoneschwingungsgleichung.

1.1 Nachschlaginhalte

1.1.1 SI-Vorsätze

02.09.2025

Tabelle 1: SI-Vorsätze (Symbole und Faktoren)

Name	Symbol	Faktor
quetta	Q	10^{30}
ronna	R	10^{27}
yotta	Y	10^{24}
zetta	Z	10^{21}
exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^{9}
mega	M	10^{6}
kilo	k	10^{3}
hecto	h	10^{2}
deca	da	10^{1}
(kein Vorsatz)		10^{0}
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
yocto	y	10^{-24}
ronto	r	10^{-27}
quecto	q	10^{-30}

2 Wiederholung

2.1 Herleitung der Interferenz und Beugung am Doppelspalt

Die Überlagerung von Lichtwellen am Doppelspalt ist eines der klassischen Experimente der Wellenoptik und wurde erstmals von Thomas Young im Jahr 1801 durchgeführt. Es zeigt, dass Licht Welleneigenschaften besitzt, da sich charakteristische Interferenzmuster nur durch das Prinzip der Überlagerung erklären lassen. Die beobachteten Helligkeitsmaxima und -minima entstehen durch konstruktive und destruktive Interferenz zweier kohärenter Wellenzüge, die durch die beiden Spalte hindurchlaufen.

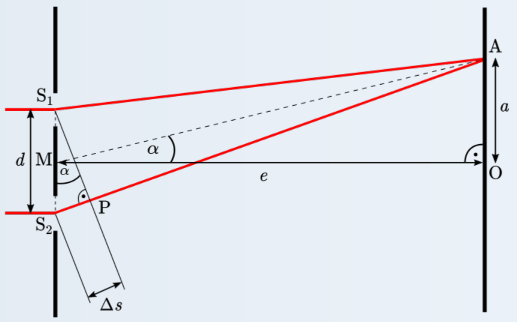


Abbildung 1: Doppelspalt Nahaufnahme

d : Abstand der Mittelpunkte der Spalten

e : Abstand zwischen Doppelspalt und Schirm

a : Abstand eines Punktes A auf dem Schirm zum Punkt O , an dem sich das 0. Maximum befindet

α : Weite des Winkels

Die Bedingung für konstruktive Interferenz lautet

$$\sin\alpha = \frac{k\cdot\lambda}{d}, \quad k\in\mathbb{Z},$$

wobei k die Ordnung des Maximums bezeichnet. Für destruktive Interferenz ergibt sich entsprechend

$$\sin\alpha = \frac{(2k-1)\cdot\frac{\lambda}{2}}{d}, \quad k\in\mathbb{N}.$$

Für kleine Winkel α kann man näherungsweise $\sin\alpha \approx \tan\alpha \approx \frac{a}{e}$ setzen, sodass die Position a der Maxima auf dem Schirm berechnet werden kann:

$$a_k \approx \frac{e\cdot k\cdot\lambda}{d}.$$

Wichtige Wellenphänomene (vgl. Tipler, S. 493)

Theorem 2.1: Definitionen grundlegender Wellenphänomene

1. **Reflexion:** Richtungsänderung einer Welle an einer Grenzfläche, sodass sie in das Ursprungsmedium zurückkehrt (z. B. Spiegel).
2. **Beugung:** Ablenkung und Ausbreitung einer Welle hinter Hindernissen oder Öffnungen, die mit der Wellenlänge vergleichbar sind.
3. **Brechung:** Änderung der Ausbreitungsrichtung einer Welle beim Übergang in ein Medium mit unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit.

Aufgabe 2.1: Bohr'sches Atommodell

Aufgabe 1 Leitet aus den beiden Gleichungen

$$2 \cdot \pi \cdot r = n \cdot \lambda$$
$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

die Quantenbedingung her. Dazu wird eine Gleichung nach der Wellenlänge aufgelöst und in die andere eingesetzt. Die Wellenlänge ist somit eliminiert. In Gleichung 1 kann man erkennen, dass man dem Kreisumfang eine De-Broglie-Welle einbeschreibt. Wir werden diese Gleichungen noch später in Unterricht besprechen.

Aufgabe 2 Das Elektron hat die Masse m und die negative Elementarladung e. Es bewegt sich mit der Bahngeschwindigkeit v auf einer Kreisbahn mit dem Radius r um den Atomkern.

A: Erstelle eine Skizze des Wasserstoffatoms mit allen notwendigen und sinnvollen Angaben. Zeichne dabei mehrere Elektronenschalen ein.

B: Gebe die Formel zur Bestimmung der Zentrifugalkraft an, die auf das Elektron wirkt. Diese Kraft wirkt nach außen.

C: Welche Gegenkraft wirkt auf das Elektron, damit es auf der Kreisbahn bleibt? Diese Gegenkraft muss zum Atomkern hin gerichtet sein, es stellt somit die Zentripetalkraft dar. Benenne diese Gegenkraft.

D: Gebe nun diese Formel aus b) zur Bestimmung der Gegenkraft an.
Diese beiden Gleichungen sind bereits im Rutherfordschen Atommodell gültig. Jetzt kommt noch die Quantenbedingung hinzu. Jetzt wird die Quantenbedingung aus Aufgabe 1 benötigt.

E: Gebe mit Hilfe dieser drei Gleichungen eine Formel zur Bestimmung des Radius r der Elektronenbahn in Abhängigkeit der Elektronenmasse und Elektronenladung, der Quantenzahl und evtl. Naturkonstanten an, also $r_n = f(n)$

F: Bestimme den Radius der innersten Elektronenbahn zahlenmäßig.

G: Bestimme alle weiteren Radien in Abhängigkeit vom Radius der innersten Bahn r_1

H: estimme mit Hilfe dieser drei Gleichungen die Geschwindigkeit der Elektronen in Abhängigkeit der Elektronenladung, der Quantenzahl und evtl. Naturkonstanten formelmäßig, also $v_n = f(n)$

I: Bestimme die Geschwindigkeit der Elektronen auf der innersten Bahn zahlenmäßig.

J: Bestimme alle weiteren Geschwindigkeiten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit auf der innersten Bahn.

K: Auf welcher Bahn hat das Elektron die größtmögliche Geschwindigkeit? Gebe diese Geschwindigkeit als Faktor der Lichtgeschwindigkeit an!

L: Bestimme die kinetische Energie der Elektronen in Abhängigkeit der Elektronenmasse und - ladung, der Quantenzahl und evtl. Naturkonstanten formelmäßig, also $E_{kin} = f(n)$

M: Was ist die potentielle Energie, wenn es um Ladungen in einem elektrischen Feld geht? Hinweis: siehe BG12.1. Siehe auch Aufgabenteil b).

N: Bestimme die potentielle Energie der Elektronen in Abhängigkeit der Elektronenmasse und Elektronenladung, der Quantenzahl und evtl. Naturkonstanten formelmäßig, also $E_{pot} = f(n)$

O: Vergleichen Sie E_{kin} mit E_{pot}

P: Bestimmen Sie $E_{ges} = E_{kin} + E_{pot}$

2.2 Probleme des Atommodells von Rutherford

Das Rutherford-Modell kann die Stabilität der Atome nicht erklären. Nach klassischer Elektrodynamik beschreibt ein Elektron auf Kreisbahn eine beschleunigte Bewegung. Beschleunigte Ladungen strahlen jedoch elektromagnetische Energie ab und müssten Energie verlieren – das Elektron stürzte in den Kern, stabile Atome wären unmöglich.

Ebenso erklärt das Modell nicht die quantisierte Emission und Absorption von Licht. Experimente wie die Balmer-Serie, die Umkehr der Natrium-D-Linie oder der Franck-Hertz-Versuch zeigen eindeutig, dass Atome nur diskrete Energien aufnehmen oder abgeben können. Im Rutherford-Modell dagegen sind alle Bahnradii und Elektronengeschwindigkeiten erlaubt, die Gesamtenergie der Elektronen wäre beliebig.

Theorem 2.2: Bohrs Lösung durch drei Postulate (1913)

Bohr übertrug die Quantenvorstellungen von Planck und Einstein auf den Atomaufbau und stellte drei Postulate auf, die zunächst vor allem beim Wasserstoff erfolgreich waren. Das dritte Postulat ist aus heutiger Sicht überholt.

1. **Energiequantelung:** Ein Elektron im Atom kann nur diskrete Energiewerte E_n besitzen.
2. **Strahlung:** Die Frequenz f der Strahlung ergibt sich aus der Energiedifferenz:
$$hf = E_m - E_n \quad (m > n,\ m, n \in \mathbb{N})$$
3. **Bahnen (Quantenbedingung):** Elektronen bewegen sich nur auf stationären Bahnen ohne Energieabstrahlung. Es gilt:
$$m_e r_n v_n = \frac{nh}{2\pi}$$

Lösung 2.2: Bohr'sches Atommodell

Aufgabe 1

Setzt man $\lambda = \frac{h}{mv}$ in $2\pi r = n\lambda$ ein, so folgt:

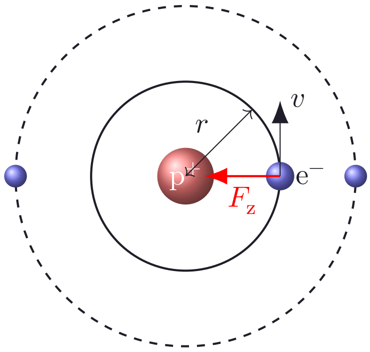
$$\begin{aligned} 2\pi r &= n \cdot \frac{h}{mv} \\ mvr &= \frac{nh}{2\pi}. \end{aligned}$$

Damit erhält man die Quantenbedingung für den Bahndrehimpuls:

$$L = mvr = n\hbar \quad \text{mit} \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

Lösung 2.3: Bohr'sches Atommodell

Aufgabe 2 A bis D - Tipler Seite 1231



B: **Zentrifugalkraft:** $F_{\text{zentrifugal}} = \frac{mv^2}{r}$

C: **Gegenkraft:** Coulomb-Kraft zwischen Elektron und Kern

D: **Zentripetalkraft:**

$$F_{\text{Coulomb}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2}$$

$$F_C = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Hinweis

Stabilität liegt vor, weil gilt

$$F_{\text{zentrifugal}} = F_{\text{Coulomb}}.$$

[a]

[a](Vgl. Tipler, Abb. 34.3 und Gl. (34.5))

04.09.2025

Lösung 2.4: Bohr'sches Atommodell

Aufgabe E

$$\boxed{F_{\text{coulomb}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2}, \qquad F_{\text{zentrifugal}} = \frac{mv^2}{r}, \qquad m \cdot v \cdot r = n \cdot \hbar}$$

$$F_{\text{coulomb}} = F_{\text{zentrifugal}}$$

$$\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r}, \quad v = \frac{n \cdot \hbar}{m \cdot r}$$

$$\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2} = \frac{m \cdot \left(\frac{n \cdot \hbar}{m \cdot r}\right)^2}{r}$$

Lösung 2.5: Bohr'sches Atommodell

Aufgabe E

$$\frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\frac{Ze^2}{r^2} = m\cdot\frac{n^2\cdot\hbar^2}{m^2\cdot r^2}\cdot\frac{1}{r} \quad |\cdot r^3$$

$$\frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot Ze^2\cdot r = \frac{n^2\cdot\hbar^2}{m}$$

$$r = \boxed{\frac{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\hbar^2}{m\cdot e^2}\cdot\frac{n^2}{Z}}$$

Aufgabe F

$$r = \frac{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\hbar^2}{m\cdot e^2}\cdot\frac{n^2}{Z}, \qquad r_1 = \frac{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\hbar^2}{m\cdot e^2}\cdot\underbrace{\frac{(1)^2}{(1)}}_{1}$$

$$r_1 \approx \boxed{5.29\cdot10^{-11}m = 52.9pm}$$

Aufgabe G

$$r_n = r_1\cdot\frac{n^2}{Z}$$
$$r_2 = r_1\cdot\frac{(2)^2}{1} = 5.29\cdot10^{-11}m\cdot4 = \boxed{21.16\cdot10^{-11}m}$$
$$r_3 = r_1\cdot\frac{(3)^2}{1} = 5.29\cdot10^{-11}m\cdot9 = \boxed{47.61\cdot10^{-11}m}$$

[1]

---

[1]

$\varepsilon_0 \approx 8.854\cdot10^{-12}\,\frac{F}{m}$	Permittivität des Vakuums
$\hbar = 1.054\cdot10^{-34}\,\mathrm{Js}$	reduziertes plancksches Wirkungsquantum
$m_e = 9.109\cdot10^{-31}\,\mathrm{kg}$	Masse des Elektrons
$e = 1.602\cdot10^{-19}\,\mathrm{C}$	Elementarladung

Lösung 2.6: Bohr'sches Atommodell

Aufgabe H

$$F_{\text{coulomb}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2}, \qquad F_{\text{zentrifugal}} = \frac{mv^2}{r}, \qquad m \cdot v \cdot r = n \cdot \hbar$$

$$F_{\text{coulomb}} = F_{\text{zentrifugal}}$$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}, \qquad r = \frac{n\hbar}{mv}$$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{\left(\frac{n\hbar}{mv}\right)^2} = \frac{mv^2}{\frac{n\hbar}{mv}}$$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot Ze^2 \cdot \frac{m^2v^2}{n^2\hbar^2} = \frac{m^2v^3}{n\hbar} \qquad | : (m^2v)$$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot Ze^2 \cdot \frac{1}{n^2\hbar^2} = \frac{v}{n\hbar}$$

$$\boxed{v = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar} \cdot \frac{1}{n}}$$

10.09.2025

Lösung 2.7: Bohr'sches Atommodell

Aufgabe I

Wir verwenden die bereits hergeleitete Formel

$$v = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar} \cdot \frac{1}{n}.$$

Für das Wasserstoffatom mit $Z = 1$ und auf der innersten Bahn $n = 1$ gilt somit

$$v_1 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar}.$$

Numerisch ergibt das (mit den in den Fußnoten angegebenen Konstanten)

$$\boxed{v_1 \approx 2{,}187691 \times 10^6 \text{ m/s.}}$$

Lösung 2.8: Bohr'sches Atommodell

Aufgabe J

Da $v \propto 1/n$ folgt für beliebige Bahnen

$$\boxed{v_n = \frac{v_1}{n} = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar} \cdot \frac{1}{n}.}$$

Damit sind die Geschwindigkeiten der höheren Bahnen einfach um den Faktor $1/n$ gegenüber der innersten Bahn reduziert.

Aufgabe K

Die Geschwindigkeit v_n fällt mit zunehmender Quantenzahl n, da sie umgekehrt von n abhängt. Daher ist die größtmögliche Geschwindigkeit die auf der kleinsten erlaubten Bahn $n = 1$:

$$v_{\text{max}} = v_1.$$

Man kann v_{max} als Bruch der Lichtgeschwindigkeit c angeben:

$$\boxed{\frac{v_{\text{max}}}{c} \approx 0{,}0073}$$

Aufgabe L

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2, \qquad v = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar} \cdot \frac{1}{n}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m\left(\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar} \cdot \frac{1}{n}\right)^2 = \frac{1}{2}m\frac{Z^2e^4}{16\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$= \frac{mZ^2e^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$\boxed{E_{\text{kin}}(n) = \frac{mZ^2e^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}}.$$

Numerisch ergibt das für $Z = 1, n = 1$ die bekannte kinetische Energie des Elektrons im Wasserstoffgrundzustand:

$$E_{\text{kin}}(1) \approx 13{,}606 \text{ eV}.$$

Lösung 2.9: Bohr'esches Atommodell

Aufgabe M

Der Begriff des Potentials (stammend aus dem lateinischen *Potentia* und heißt übersetzt so viel wie *Macht, Fähigkeit, Vermögen*) in der Physik gibt die Fähigkeit eines Körpers an, welches Arbeit verrichten kann. Potentielle Energie ist die Form der Energie, die einem Körper oder einem Feld innewohnt, weil dessen Lage oder Konfiguration später in tatsächliche Arbeit umgewandelt werden kann.

Im Kontext elektrischer Felder bedeutet das: Bringt man eine positive Ladung in ein elektrisches Feld, so erfährt sie eine Kraft in Richtung des Feldes. Dabei nimmt ihre potentielle Energie ab, während ihre kinetische Energie entsprechend zunimmt. Der Übergang von Ruhe zur Bewegung lässt sich somit als Umwandlung von elektrischer potentieller Energie in kinetische Energie verstehen.

Aufgabe N

Mit der Gegebenheit:

$$F_{Coulomb}(r) = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2}$$

und der Bedingung, dass $E_{\text{pot}} = -\int F(r)dr$ folgt:

$$E_{\text{pot}} = -\int \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2} \right) dr$$

$$= -\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r} + C$$

Hinweis

Aus mir noch nicht ganz erklärbaren Gründen entfällt das C in der Gleichung. In meinem Referenz Buch *Tipler* habe ich nur Gleichungen der Form von:

$$\boxed{E_{pot} = -\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r}}$$

gefunden.

Lösung 2.10: Bohr'sches Atommodell

Aufgabe N

Setzt man nun für Wasserstoff ($Z = 1$) und den Bohr-Radius $r = 5.29 \times 10^{-11}\,\mathrm{m}$ ein, erhält man:

$$\begin{aligned} E_{\text{pot}}(r) &= \boxed{-\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r}} \\ &= -\frac{8.99 \times 10^9\,\mathrm{N\,m^2/C^2} \cdot (1.60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C})^2}{5.29 \times 10^{-11}\,\mathrm{m}} \\ &\approx -4.35 \times 10^{-18}\,\mathrm{J}. \end{aligned}$$

Umgerechnet in Elektronenvolt:

$$E_{\text{pot}}(r) \approx -27.2\,\mathrm{eV}.^{a}$$

Aufgabe O

Nach der Bedingung des Gleichgewichts

$$F_{\text{Coulomb}} = F_{\text{Zentripetal}}$$

gilt:

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2} = \frac{m_e v^2}{r}.$$

Mit multiplizieren von r folgt die kinetische Energie:

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}} &= \frac{1}{2} m_e v^2 \\ &= \boxed{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r}} \end{aligned}$$

Man erkennt:

$$E_{\text{kin}} = -\tfrac{1}{2} E_{\text{pot}}.$$

Für $Z = 1$ und $r = 5.29 \cdot 10^{-11} m$:

$$E_{\text{kin}}(r) = +13.6\,\mathrm{eV}, \qquad E_{\text{pot}}(r) = -27.2\,\mathrm{eV}.$$

Aufgabe P

Die Gesamtenergie ist:

$$\begin{aligned} E_{\text{ges}} &= E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} \\ &= 13.6\,\mathrm{eV} + (-27.2\,\mathrm{eV}) \\ &= -13.6\,\mathrm{eV}. \end{aligned}$$

Damit ist die Gesamtenergie im Grundzustand des Wasserstoffatoms negativ, was dem gebundenen Zustand entspricht.

[a] $1eV = 1.602 \cdot 10^{-9}$

3 Elektromagnetische Wellen

4 Welle-Teilchen-Dualismus

5 Atomvorstellungen

6 Quantenobjekte

7 Astrophysik

Theorem 7.1: I

n einem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtenergie erhalten.

Beispiel 7.1: Körper im Schwerefeld

Ein Körper der Masse m wird aus der Höhe h fallen gelassen. Seine potentielle Energie ist $E_p = mgh$.

Aufgabe 7.1: Freier Fall

Berechne die Aufprallgeschwindigkeit eines Körpers nach einer Fallhöhe h (ohne Luftwiderstand).

Lösung 7.2: Skizze

Mit Energieerhaltung: $\frac{1}{2}mv^2 = mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$.

Hinweis

Sicherheit Trage Schutzbrille bei Experimenten mit Spritzgefahr.