



III. Physikalisches Institut B, RWTH Aachen
Prof. Dr. Christopher Wiebusch, Dr. Philipp Soldin

Übungen zur Physik IV - SS 2024
Atome Moleküle Kerne

Übung 9

Ausgabedatum: 12.06.24

Abgabedatum: 19.06.24

Tag der Besprechung: 24.06.24

Verständnisfragen

Kapitel 8.1

1. Was ist Besetzungsinversion und warum ist sie für den Laserbetrieb wichtig?
2. Was ist ein 3-Niveau System?
3. Was ist das Prinzip des He-Ne Lasers? Beschreiben Sie die Funktion von Pumpgas und Lasergas! Wie wird gepumpt?
4. Warum ist das Verhältnis von induzierter und spontaner Emission für den Laser Betrieb relevant?
5. Wie kann man für den Laser Betrieb die spontane Emission unterdrücken?
6. Erläutern Sie die Schwellwertbedingung!
7. Skizzieren Sie den technischen Aufbau eines He-Ne Lasers!
8. Warum verwendet man einen optischen Resonator?
9. Was sind die Moden eines Lasers? Welche gibt es und wie bezeichnet man sie?
10. Beschreiben Sie technische Mittel, um einzelne Moden zu selektieren!
11. Warum ist die Linienbreite von Laserlicht so klein?
12. Warum ist die Kohärenzlänge von Laserlicht so groß?
13. Wie wird Laserlicht polarisiert?

Übungsaufgaben

Aufgabe 1 ★ ☆ ☆ ☆ ☆

(10 + 10 = 20 Punkte)

RÖNTGENSPEKTRUM VON WOLFRAM

Die K-Absorptionskante von Wolfram liegt bei 0.178 \AA und die Wellenlängen der Linien der K-Serie (unter Vernachlässigung der Feinstruktur) sind $K_\alpha = 0.210 \text{ \AA}$, $K_\beta = 0.184 \text{ \AA}$ und $K_\gamma = 0.179 \text{ \AA}$.

- a) Skizzieren Sie die Energieniveaus von Wolfram und geben Sie die Energie der K, L, M und N -Schale an.
- b) Welche Minimalenergie ist nötig, um die L -Serie in Wolfram anzuregen? Wie groß ist die Wellenlänge der L_α -Linie?

Aufgabe 2 ★ ☆ ☆ ☆ ☆

(10 + 10 = 20 Punkte)

ABSORPTION VON RÖNTGENSTRAHLUNG

- a) Röntgenphotonen mit Energien von 0.005, 0.05 und 0.1 MeV, aber gleichen Intensitäten, fallen auf einen Bleiabsorber. Die linearen Massenabsorptionskoeffizienten entnehmen Sie der in der Vorlesung gezeigten Tabelle (Abb. 1). Berechnen Sie die Dicke des Bleis, die erforderlich ist, um die Intensität jedes der Strahlen auf ein Fünftel seiner ursprünglichen Intensität abzuschwächen.
Hinweis: Schlagen Sie weitere Materialeigenschaften, die ihnen fehlen, nach.

Tabelle 7.4. Massenschwächungskoeffizienten μ/ρ (m²/kg) verschiedener Absorberstoffe für Röntgenstrahlen ($h \cdot \nu$ /keV, λ /pm)

$h \cdot \nu$	λ	Luft	H ₂ O	Al	Cu	W	Pb
5	246	2	2,0	25	24	70	100
10	123	0,5	0,52	2,6	22,4	9,53	13,7
50	25	0,02	0,92	0,04	0,26	0,6	0,8
100	12	0,015	0,017	0,02	0,05	0,4	0,6

Abbildung 1: Massenabsorptionskoeffizient unterschiedlicher Medien aus dem Skript der Vorlesung.

- b) In welchem Verhältnis stehen die Intensitäten der drei Photonstrahlen in einer Tiefe von 3 mm zueinander und was ist die mittlere Intensität aller einfallenden Röntgenphotonen?

Aufgabe 3 ★ ★ ★ ★ ☆

(20 + 10 + 10 = 40 Punkte)

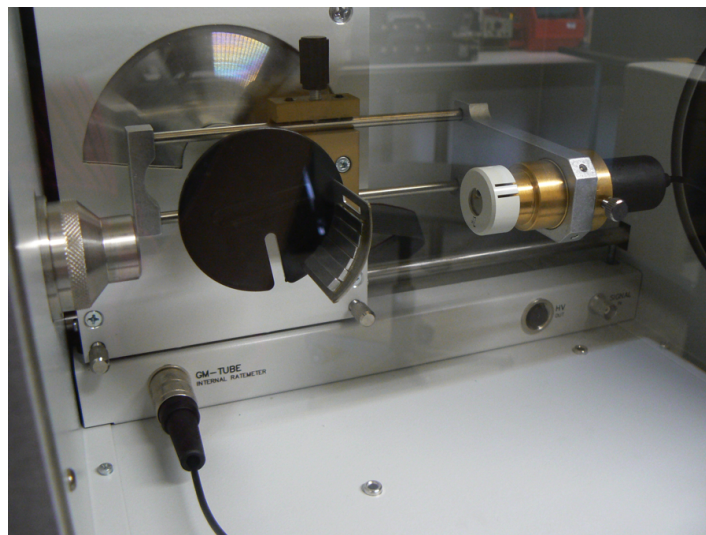
ABSCHWÄCHUNG VON RÖNTGENSTRAHLUNG

Abbildung 2: Experiment At-16 zur Abschwächung von Röntgenstrahlung. Links im Bild tritt die Röntgenstrahlung aus. Das mittlere Rad ermöglicht das einblenden von Absorbern. Rechts befindet sich die Sonde zur Intensitätsmessung.

In der Vorlesung wurde Ihnen ein Versuch zur Absorption von Röntgenstrahlung vorgeführt (siehe Abbildung 2, Versuch At-16). Dabei wurden Aluminiumabsorber unterschiedlicher Dicke in den Röntgenstrahl

einer Molybdän Anode eingeführt. Hier sollen nun die Messwerte ausgewertet und interpretiert werden. Die benötigten Daten finden Sie im JupyterHub der RWTH.

- a) Schreiben Sie ein Python-Skript oder Jupyter-Notebook und lesen Sie die Daten aus der Vorlesung ein und plotten Sie für jede Absorberdicke die relative Intensität als Funktion der Frequenz in ein Diagramm. Die Daten finden Sie in der Datei **AbschirmungVonRoentgenstrahlung.csv**.

Wählen Sie eine logarithmische Darstellung der relativen Intensität. Normieren Sie die Zählraten der einzelnen Messungen so, dass Sie die relative Intensitäten der Messungen vergleichen können. Dabei gilt, dass die relative Intensität (oder die Zählrate) proportional zu Messzeit und dem Stromfluss durch die Röntgenlampe ist. Die benötigten Informationen zu jeder Messung befinden sich in der Datei **Settings.csv**. Sie können die Daten ähnlich einlesen, wie es bereits in der Präsenzübung gezeigt wurde.

- b) Verwenden Sie die Messung ohne Absorber

(N_1 in **AbschirmungVonRoentgenstrahlung.csv**), um die Energie zu kalibrieren. Nutzen Sie dazu die beiden zentralen Peaks, die der K_α bei 17.44 keV und der K_β bei 19.7 keV Linie von Molybdän, entsprechen und reproduzieren Sie die Abbildung 3.

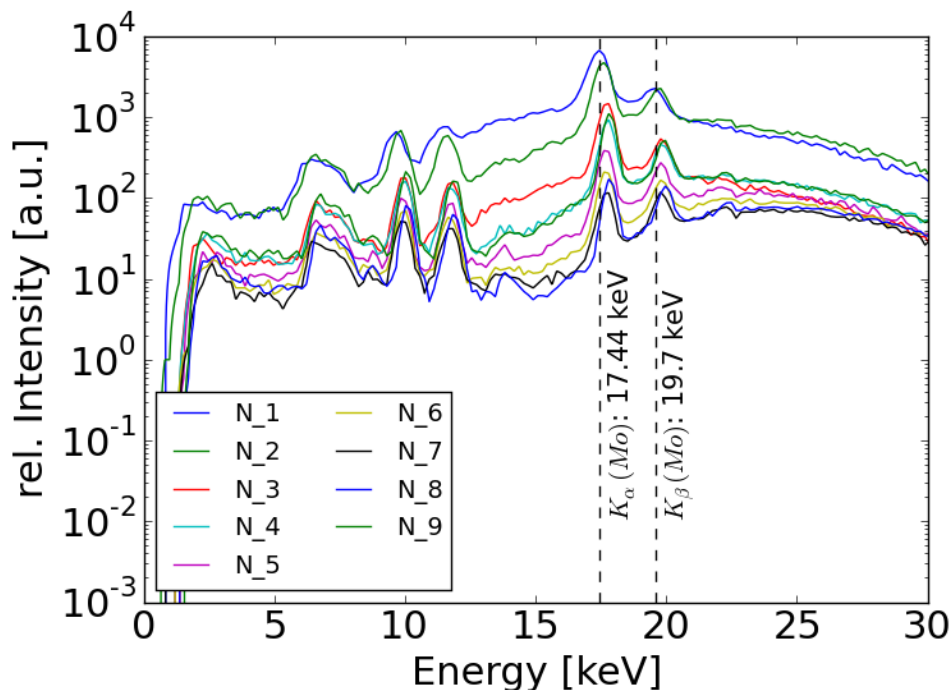


Abbildung 3: Absorbtionsspektren nach Normierung und Kallibriation.

- c) Vermessen Sie den Absorptionskoeffizient bei 15 keV und 25 keV. Vergleichen Sie Ihr Ergebniss mit Literaturwerten wie z.B. :

<http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z13.html>.

Diskutieren Sie Ihr Ergebnis kurz.

Hinweis: Bei genauer Betrachtung der Messungen stellt man fest, dass sich zwischen den Messungen N_2 und N_3 die Eigenschaften des Versuchs verändert zu haben scheinen. Nutzen Sie daher nur die Daten ab N_3 inklusive.

Aufgabe 4 ★ ★ ★ ☆ ☆
ZEEMAN-EFFEKT

(10 + 10 = 20 Punkte)

- a) Betrachten Sie die Aufspaltung der roten Cadmium-Linie ($\lambda = 643.8\text{ nm}$) durch den Zeeman-Effekt in einem Magnetfeld B . Welche Magnetfeldstärke muss man anlegen, damit die Aufspaltung durch den Zeeman-Effekt größer wird als die Dopplerverbreiterung $\delta\lambda_D = 2 \times 10^{-12}\text{ m}$ der roten Cadmium-Linie?
- b) Den normalen Zeeman-Effekt kann man auch zur Messung des lokalen Magnetfeldes in Sonnenflecken verwenden. Dazu muss die Aufspaltung jedoch größer sein als die Linienbreite, die in diesem Fall durch den Doppler-Effekt bestimmt wird. Nehmen Sie als Oberflächentemperatur der Sonne $T_s = 5000\text{ K}$ an sowie eine Spektrallinie mit $\lambda = 501.6\text{ nm}$ und schätzen Sie damit ab, wie groß B sein muss, damit die Zeeman-Aufspaltung mindestens so groß ist wie die Dopplerverbreiterung der Linie.

Hinweis: Machen Sie sich Gedanken über die Zusammensetzung der Sonne, um die Linie zu identifizieren und für das richtige Element Ihre Abschätzung zu berechnen. Die Dopplerverbreiterung für ein ideales Gas finden Sie im Skript.