

Übungen zur moderne Experimentalphysik I (Physik IV, Atome und Kerne) KIT, Sommersemester 2017



Prof. Dr. Guido Drexlin, Dr. Kathrin Valerius

Vorlesungen	Di 9:45 + Do 8:00, Gerthsen-Hörsaal
Sprechstunde	Drexlin: Di 11:30-12:30, Valerius: Do 9:45-10:45
Übungen	Mo 8:00, 9:45, 11:30 (Anmeldung im Ilias)
Sprechstunde	Erhard, Schlösser: Mo 13:00-14:00
Ilias	https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_661999&client_id=produktiv

Übungsblatt 2 – Bearbeitung bis 15.05.2017

(6) Kristallstrukturanalyse

Eine wichtige Methode zur Untersuchung der Struktur von Kristallen ist die Beugung von Röntgenstrahlen (z.B. bei ANKA im KIT). Hierbei werden nicht nur Metalle oder anorganische Kristalle, wie Salze, untersucht. Von ebenso großem Interesse sind Proteinkristalle. Anhand des Beugungsmusters lässt sich der molekulare Aufbau nach Rekonstruktion mit aufwendigen Rechenmethoden bestimmen. Durch diese Verfahren wurde beispielsweise die DNA entschlüsselt. Beugungseffekte treten immer dann auf, wenn das streuende Wellenpaket/Teilchen eine Wellenlänge in der Größenordnung des Objekts hat.

- Es wird ein monochromatischer Röntgenstrahl erzeugt dessen Photonen eine Energie von 10 keV besitzen. Dieser Strahl wird auf eine dünne Metallfolie fokussiert. Es werden nun Beugungsreflexe unter einem Winkel von 15.77° gemessen. Bestimmen Sie mithilfe von Abb. 1 um welches Material es sich handelt.
- Eine andere Möglichkeit der Strukturanalyse stellt die Neutronenstreuung dar (z.B. aus Forschungsreaktoren wie dem FRM II in München). Die Neutronen entstehen im Kernreaktor mit kinetischen Energien im Bereich von MeV und müssen zunächst durch Stöße moderiert/thermalisiert (abgebremst) werden. Warum verwendet man dazu Stoffe die Wasserstoff enthalten, wie beispielsweise Wasser, H_2O ?
- Wie schnell sind die Neutronen nach der Moderation (ausreichend viele Stöße!) mit Wasser bei Raumtemperatur? (Hinweis: Verwenden Sie den Hinweis zur thermischen Geschwindigkeit aus Teilaufgabe 7 (c).)

Ordnungszahl	Elementesymbol	29	Cu	47	Ag	79	Au
Elementenname		Kupfer		Silber		Gold	
Atomare Masse (in u)		63,546		107,8682		196,966569	
Schmelzpunkt (in °C)	Elektronegativität	1084,62	1,8	961,78	1,4	1064,18	1,4
Siedepunkt (in °C)	Dichte (in g·cm ⁻³)	2927	8,92	2162	10,49	2856	19,32

Abbildung 1: Auszug aus dem Periodensystem.

- (d) Freie Neutronen (ungeladen) sind radioaktiv und zerfallen nach einer mittleren Lebensdauer von $\tau = 881 \text{ s}$ in ein Proton (positiv geladen), Elektron (negativ geladen) und Antineutrino (ungeladen). Hat dieser Zerfall einen signifikanten Einfluss auf Beugungsexperimente mit Neutronen, die typischen Energien (Teilaufgabe c)) besitzen?
- (e) Welche kinetische Energie müssen Neutronen haben, damit Beugungsreflexe unter dem selben Winkel wie in Teilaufgabe a) gefunden werden.
- (f) Was ist der Hauptunterschied zwischen der Neutronen- und Röntgenbeugung in Hinblick auf die Wechselwirkung mit den Atomen?

(7) Unschärferelation

(a) **Orts-Impulsunschärfe**

Innerhalb des Wasserstoffatoms ist das Elektron nicht genau an einem Ort lokalisierbar. Nehmen Sie an, dass es sich *unscharf* innerhalb einer Kugel mit dem Bohr'schen Radius $a_0 = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m}$ befindet. Mithilfe der Unschärferelation lässt sich die kinetische Energie des Elektron unter diesen Bedingungen abschätzen. Wie groß ist sie?

(b) **Energie-Zeitunschärfe**

In Aufgabe 3 auf dem ersten Übungsblatt haben wir bereits die spontane (Photonen-) Emission eines atomaren Übergangs betrachtet. Wenn man nun die Emission spektroskopisch misst, so beobachtet man, dass diese Energie nicht beliebig scharf ist, sondern eine endliche Linienbreite besitzt. Woher resultiert diese Linienbreite? Wie breit ist die Linie? Wie ist die relative Breite? (*Hinweis: Alle notwendigen Angaben befinden sich in Aufgabe 3 im ersten Übungsblatt*).

- (c) Wenn das Atom im angeregten Zustand mit einem anderen Atom stößt bevor es ein Photon emittiert, dann kann die Emission unterdrückt werden (z.B. nimmt das stoßende Atom die Energie als kinetische Energie auf). Dadurch wird die Linie neben der *natürlichen* Linienbreite (siehe vorherige Teilaufgabe) zusätzlich durch die zwischenmolekularen Stöße verbreitert werden. Wie lässt sich das anhand der Unschärferelation erklären?

Welcher Druck muss in der Probenkammer herrschen, damit der zusätzliche Anteil durch die Stöße genauso groß ist, wie die natürliche Linienbreite? Vergleiche dazu die natürliche Lebensdauer mit der mittleren Zeit zwischen zwei Stößen. Bei dem Gas handelt es sich um Argon mit einem Atomradius von $r_{\text{atom}} = 71 \text{ pm}$. Die Temperatur beträgt $T = 300 \text{ K}$.

(*Hinweis: Die mittlere freie Weglänge bezeichnet die mittlere Distanz, die ein Atom zwischen zwei Stößen zurücklegt, $l = \frac{1}{n\sigma}$. n ist die Teilchendichte und $\sigma = \pi(2 \cdot r_{\text{atom}})^2$ ist der Stoß(wirkungs)querschnitt.*)

Des Weiteren benötigen Sie die mittlere thermische Geschwindigkeit: $v_{\text{therm}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$.)

- (d) Welches der folgenden Systeme könnte man genauer spektroskopieren (relative Genauigkeit), wenn man ein Messsystem mit beliebig guter Auflösung besitzt?

- Gamma-Strahlung aus einem Atomkern $\tau \approx 10^{-15} \text{ s}$ bei ca. 2 MeV.
- Übergänge in einem hochangeregten Atom (Rydberg-Atom) mit $\tau \approx 1 \text{ s}$ bei ca. 2 eV.

(8) 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.*)

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

(*) Punkteverteilung

Übungsblatt	Aufgabe	Teilaufgabe	Punkte
1	1	-	3
1	2	a, b, c, d	je 1
1	3	a, b	je 2
1	4	a, c, e	je 1
1	4	b, d	je 0.5
1	5	a, b	je 2
2	1	a, e	je 1
2	1	b, c, d, f	je 0.5
2	2	a, b, c, d	je 1
2	3	a, b, c	je 1

Bei Verständnisfragen gerne das Wiki im ILIAS nutzen oder eine Mail an die Übungsleiter schreiben.