

**Integrierter Kurs Physik IV
Exp.-Teil – Atomphysik
SS 12**

Prof. G. Maret, Dr. P. Pfeiderer

Übungsblatt 1

Ausgabe: 23.04.2012, Abgabe: 27.04.2012 (Freitag!)

Aufgabe 1: Röntgenstreuung an Kristallen (Darf in der ersten Übung gemeinsam diskutiert werden. Die Woche drauf je ein Häkchen für a-e, und f-j)

Siehe S. 11 im Skript.

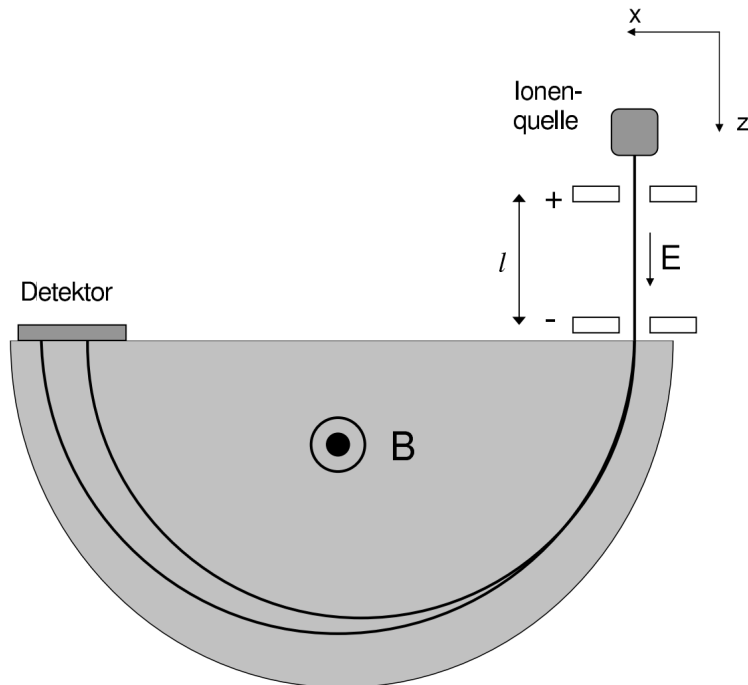
- a) Leiten Sie die Bragg-Bedingung für konstruktive Interferenz von an Atomen gestreuten monochromatischen Röntgenstrahlen her. Verwenden Sie dabei eine Skizze wie Abb. 1.17a) im Skript.
- b) Nehmen wir an, die Skizze in Abb. 1.17a) betrachte nicht Ebene 1 und Ebene 2, sondern Ebene 1 und Ebene 3, d.h. dazwischen sei noch eine Gitterebene. Erläutern Sie, weshalb die Bragg-Bedingung in dem Fall genau destruktive Interferenz liefert. (Genauso läuft es, wenn noch mehr Ebenen zwischen den betrachteten liegen. Somit ist begründbar, dass zur Herleitung der Bragg-Bedingung nur benachbarte Ebenen genommen werden dürfen).
- c) Was ist der kleinste Ebenen-Abstand d_{min} , der bei gegebenem λ Bragg-Reflexion erzeugen kann?
- d) Zeigen Sie, dass gestreute Strahlen zweier Atome in ein und derselben Gitterebene einen Gangunterschied von exakt Null haben (wir bleiben bei Einfallswinkel=Ausfallswinkel).
- e) Macht es einen Unterschied, ob Atome in benachbarten Ebenen direkt untereinander liegen, oder versetzt? Kurze Begründung.
- f) Wieso reicht es, den Spezialfall Einfallswinkel=Ausfallswinkel zu betrachten, um trotzdem alle Streuszenarien an Ebenen des Kristalls zu erfassen? *Hinweis*: Werfen Sie einen Blick auf Abb. 1.17c).
- g) In der Debye-Scherrer-Methode werden Puder von Kristallen bestrahlt, die zusätzlich noch gedreht werden. Damit wird erreicht, dass jede Orientierung der Gitterebenen vorkommt. Die Kegel-Geometrie der gebeugten Strahlung (Abb. 1.19) ist eine Folge davon. ψ sei der Winkel zwischen Primärstrahl und Kegelfläche, der *Streuwinkel*. Die Strahlung ist monochromatisch, weshalb nur

bestimmte ψ der Kegel vorkommen. Leiten Sie mit einer Skizze her, wie ψ und θ (Abb. 1.17a) zusammen hängen.

- h) Zeigen Sie anhand des Bragg-Gesetzes, dass der kleinste auftauchende Winkel eindeutig vom größten im Kristall existierenden Gitterabstand stammt (berücksichtigen Sie Teilaufgabe b).
- i) Sie messen mit dem Debye-Scherrer-Verfahren einen kleinsten Streuwinkel $\psi = 7^\circ$. Die Wellenlänge $\lambda = 0.49 \text{ \AA}$. Wenn es sich um ein kubisches Gitter aus sich berührenden Kugeln handelt, was ist der Radius der Atome?
- j) Wie groß ist der nächstgrößere Streuwinkel ψ ?

Aufgabe 2: Ionen (schriftlich abzugeben) (8 Punkte)

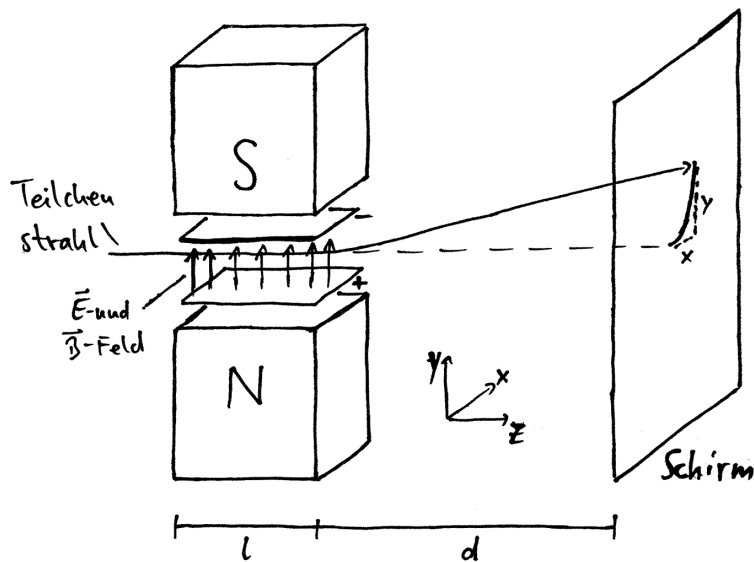
Siehe S. 17 im Skript.



- a) Einfach geladene Ionen werden zunächst in einem elektrischen Feld beschleunigt. Bei Eintritt haben sie Geschwindigkeit Null. Anschließend durchlaufen sie in einem senkrecht stehenden magnetischen Feld Halbkreisbahnen. Leiten Sie her, dass der Radius solch einer Halbkreisbahn

$$r = \sqrt{\frac{2mEl}{e}} \frac{1}{B}$$

beträgt, wobei m die Masse des Ions und e die Elementarladung ist.



- b) Betrachten Sie jetzt einen Aufbau, wo die Teilchen (ebenfalls einfach geladen) auf einer Länge l parallele $\vec{E}$ - und $\vec{B}$ -Felder durchlaufen (Kaufmann-Spektrometer). Dadurch werden sie sowohl beschleunigt als auch abgelenkt. Detektion erfolgt auf einem im Abstand d platzierten Schirm. Die Ionen sollen hier bereits mit einer Anfangsgeschwindigkeit v in den Feldbereich eintreten. Diese darf nicht zu gering sein, muss jedoch keineswegs für alle Teilchen gleich sein. Zeigen Sie, dass von einem Strahl polyenergetischer Teilchen identischer Masse m und Ladung e auf dem Schirm eine Parabel $y = Ax^2$ abgebildet wird. Nehmen Sie im Feld eine Geschwindigkeit $v \approx v_z = \text{const.}$ an, berechnen Sie damit die Ablenkungen $x(v)$ und $y(v)$ am Schirm und eliminieren Sie v . Das Ergebnis lautet:

$$y(x) = \frac{m}{e} \frac{E}{B^2} \left(ld + \frac{l^2}{2} \right)^{-1} x^2$$

- c) Berechnen Sie für den Aufbau aus a) zum einen den Abstand auf dem Detektor, in dem Wasserstoffionen H^+ und Molekülionen H_2^+ voneinander auftreffen und zum anderen den Abstand, in dem Ionen der Isotope $^{16}O^+$ und $^{18}O^+$ aufkommen. Hier sei $|\vec{E}| = 5000 \text{ V/m}$, $l = 40 \text{ cm}$ und $|\vec{B}| = 1 \text{ Tesla}$. (Die Masse der Ionen sei als Massenzahl mal Protonenmasse hinreichend genau berechnet.)
- d) Berechnen Sie für dieselben vier Ionensorten jeweils die Positionen x und y , wo diese im Aufbau von b) auf den Schirm treffen. Hier sei $|\vec{E}| = 5000 \text{ V/m}$, $l = 4 \text{ cm}$, $|\vec{B}| = 0,01 \text{ Tesla}$ und $d = 20 \text{ cm}$, und die Ionen treten bereits mit einer kinetischen Energie von 1000 eV in den Feldbereich ein.
- e) Recherchieren Sie, wie der Wien-Geschwindigkeitsfilter funktioniert und demonstrieren Sie die Herleitung der Durchlass-Geschwindigkeit.

Aufgabe 3: Avogadro-Konstante aus Sedimentationsgleichgewicht (1 Häkchen)

In einer Flüssigkeit suspendierte (darin schwebende) Teilchen verhalten sich wie Gasmoleküle. Ihre Verteilung kann mit der barometrischen Höhenformel

$$n(z) = n_0 \exp(-Gz/k_B T)$$

beschrieben werden. G steht für die aus Gewicht und Auftrieb resultierende Kraft an jedem Teilchen. In einem Experiment hatten Ihre in Wasser suspendierten Teilchen einen Radius von $a = 0,2\mu m$ und eine Dichte von $\rho = 1,2g/cm^3$. In mehreren dünnen Schichten, die jeweils $31\mu m$ höher lagen, haben Sie Teilchen gezählt. Sie fanden in aufeinander liegenden Schichten: 315,195,111,74,27,24,18 Teilchen. Bestimmen Sie daraus die Avogadro-Konstante N_A . N_A hängt mit der Boltzmann-Konstanten k_B und der idealen Gaskonstanten $R = 8,314J/(mol \cdot K)$ über $k_B = R/N_A$ zusammen ($T = 300K$). *Hinweis:* Bilden Sie den Logarithmus der angegebenen Beziehung und gewinnen Sie den Faktor $G/(k_B T)$ aus linearer Regression (am PC).