

# Physik IV – Atome und Moleküle SS11

Prof. Thomas Müller, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Dr. Frank Hartmann, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

*Aufgabenblatt 2; Übung am 02. Mai (Montag)*

## 1. Elementarteilchen

- (a) Nennen Sie die 12 Elementarteilchen, die 4 Grundkräfte und die Größenordnung der 4 Grundkräfte!
- (b) Wer wird Millionär?  
In der Sendung “Wer wird Millionär“ gab es vor einigen Jahren die Frage: “Welches der vier Teilchen ist kein Elementarteilchen?”  
A) Elektron B) Proton C) Neutron D) Molekül  
Welche Antwort hätten Sie gegeben?
- (c) Wie ist ein Proton aufgebaut?

## 2. Bragg-Reflexion Leiten sie den Bragg-Winkel (auch Glanzwinkel genannt) her.

## 3. Milikan Versuch

Mit einem Zerstäuber werden Öltröpfchen in einen großen, luftgefüllten Kondensator geblasen, dessen horizontale Platten den Abstand  $d = 6$  mm haben. Die durch das Zerstäuben entstandenen Tröpfchen sind i.a. schwach elektrisch geladen. Mit einer an den Kondensator passend angelegten Spannung  $U$  kann ein ausgewähltes Tröpfchen zum Schweben gebracht werden. Aufgrund der Brown'schen Bewegung ist dieser Schwebezustand jedoch experimentell schwer einstellbar. Um die Größe der Elementarladung zu bestimmen, wird daher eine dynamische Methode bevorzugt, bei der die konstante Geschwindigkeit des Tröpfchen gemessen wird.

- (a) Welche Kräfte wirken auf das kugelförmig angenommene Tröpfchen?
- (b) Im Experiment wurden unter Normalbedingungen die in der Tabelle aufgeführten Geschwindigkeitswertepaare für 7 verschiedene Tröpfchen gemessen, wobei  $v_1$  bei der Spannung  $U_1 = 500$  V und  $v_2$  bei der umgepolten Spannung  $U_2 = -U_1$  aufgenommen wurde. Stellen Sie für jede der beiden Geschwindigkeiten die Kräftegleichgewichtsgleichung auf, und berechnen Sie daraus Radius und Ladung des jeweiligen Tröpfchens. Bestimmen Sie hieraus den Mittelwert der Elementarladung  $e$  und den Fehler (Standardabweichung) der Messung.

Messung	1	2	3	4	5	6	7
$v_1$ ( $10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ )	0,41	0,71	1,13	0,79	0,64	0,44	0,71
$v_2$ ( $10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ )	2,49	5,02	2,86	4,05	6,09	3,83	2,65

Es sei:

$$\rho_{\text{Oel}} = 8,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}, \quad \rho_{\text{Luft}} = 1,30 \cdot 10^{-3} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}, \quad \eta_{\text{Luft}} = 1,81 \cdot 10^{-5} \text{ Nsm}^{-2}$$

Anmerkung: Die Annahme Stoke'scher Reibung ist nur gerechtfertigt für die Bewegung einer Kugel in einem homogenen Medium. Liegen die Radien der Tröpfchen jedoch in der Größenordnung der mittleren freien Weglänge in Luft bei Normaldruck, so ist diese Voraussetzung nur schlecht erfüllt. Diese Tatsache wird durch die sog. Cunningham-Korrektur der dynamischen Viskosität der Luft berücksichtigt:

$$\eta'_{\text{Luft}} = \frac{\eta_{\text{Luft}}}{1 + 0,83 \frac{\lambda}{r}}$$

mit  $\lambda_{\text{Luft}} = 10^{-7}$  m dem mittleren Abstand der Luftmoleküle.

4. Teilchen im elektromagnetischen Feld;  $e/m$  Messung; Isotopenbestimmung: Geladene Teilchen unbekannter Masse werden in einem Zyklotron auf die Endgeschwindigkeit  $v_0$  gebracht. Darin ist senkrecht zur Teilchenbahn ein konstantes Magnetfeld  $B_Z$  angelegt. Die Ionen werden in der Lücke zwischen den Elektroden durch eine Spannung der Form  $U = U_0 \sin(\omega t)$  beschleunigt, d.h. sie erhalten bei jedem halben Umlauf eine zusätzliche kinetische Energie von 20 keV. Um eine resonante Beschleunigung zu erreichen, muß die Frequenz des Ionenumlaufs mit der Wechselfrequenz koinzidieren. Nach mehreren Umläufen verlassen die Ionen den Beschleuniger und treten in einen langen Kondensator mit dem Plattenabstand  $d = 4$  mm ein. Dessen homogenes elektrisches Feld ist ein homogenes Magnetfeld der Stärke  $B = 10$  mT orthogonal überlagert.

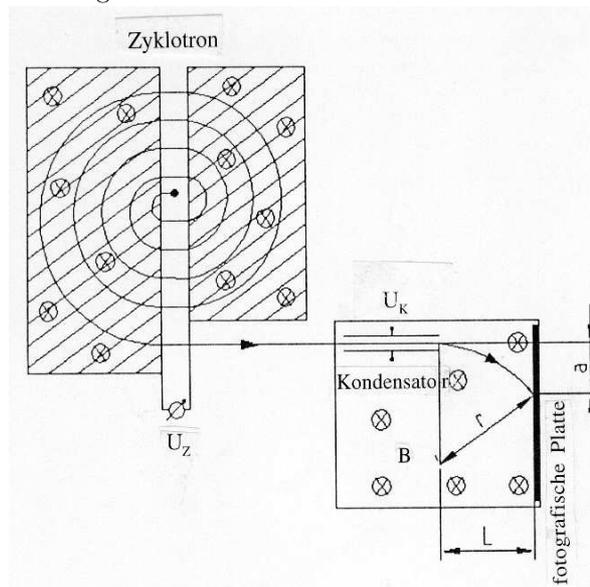


Abbildung 1: *Teilchen im elektromagnetischen Feld;  $e/m$  Messung.*

- (a) Bei der Einstellung einer bestimmten Spannung von  $U_K = 8000$  V zwischen den Platten beobachtet man, dass die Teilchen sich auf einer geraden Bahn bewegen und den Kondensator wieder verlassen. Erklären sie diesen Befund! Wie groß ist die Austrittsgeschwindigkeit? Muß man relativistisch rechnen?
- (b) Nach dem Verlassen des Kondensators trifft der Teilchenstrahl auf eine im Abstand  $L = 1,6$  m befindliche fotografische Platte. Die Ablenkung aufgrund des dortigen Magnetfeldes beträgt  $a = 4,5$  mm. Bestimmen sie

$Q/m$ , wobei  $Q$  ein vielfaches der Elementarladung ist und  $m$  die Ruhemasse der Ionen. Um welches Ion handelt es sich?

- (c) Wie groß war die Anzahl der Umdrehungen der Ionen im Zyklotron?
- (d) Wie groß war die Umlaufzeit eines Ions der Energie  $E$  im Magnetfeld  $B_Z$  des Zyklotrons? Zeigen sie: Der relativistische Masseanstieg der Ionen bedingt, dass bei der konstanten Wechselspannungsfrequenz  $\omega$  die Beschleunigungsresonanzbedingung schon bald nicht mehr erfüllt ist (detuning). Um dies zu verhindern, muß die Wechselspannungsfrequenz zeitlich geändert werden,  $\omega = \omega(t)$  (Synchro-Zyklotron). Finden sie zur Berechnung von  $\omega(t)$  einen Ausdruck für die Umlauffrequenz des Teilchens als Funktion der Energie, und berücksichtigen sie, dass das Ion eine zusätzliche Energiezunahme von  $2 \int \frac{\hat{E}}{T(t)} dt = \frac{1}{\pi} \int \hat{E} \times \omega(t) dt$  erfährt, wobei  
 $\hat{E}$ : Energieaufnahme pro halben Umlauf,  
T: Umlaufzeit.  
Lösen die resultierende Integralgleichung durch zeitliches Differenzieren.

Matrix: (1/2/3/4a+4b/5c+5d)

*Übungsleiter: Frank Hartmann, Forschungszentrum Karlsruhe,  
Tel.: +41 (76) 487 4362; Email: Frank.Hartmann@cern.ch*

[www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~hartmann/atom11.html](http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~hartmann/atom11.html)