

Protokoll des Physikunterrichts am 15.11.2001 in der fünften und sechsten Stunde

Die Doppelstunde begann mit der ausführlichen Besprechung der Hausaufgaben, welche die jeweils die Aufgabe 5 auf Seite 61 und 65 beinhaltete.

Aufgabe 5, S. 61:

Ein Leiterquadrat von 10 cm Seitenlänge, an einer Seite offen, soll senkrecht zu einem B-Feld von 2T stehen und von einem Strom von 1A durchflossen werden. Gefragt ist in Teil a) die Kraft, die jede Seite des Quadrats erfährt. Diese liegt nach $F = I \cdot B \cdot s$ bei 0,2N. Ferner war zu ermitteln, welche Kraft auf das gesamte Quadrat wirkt. Da sich die Kräfte je zweier gegenüberliegender Seiten immer gegenseitig neutralisieren, beträgt in diesem Fall die Gesamtkraft 0N.

Teil b) der Aufgabe beschäftigte sich mit dem Fall, dass die Quadratfläche parallel zum B-Feld läge und somit je zwei Seiten parallel zu dessen Feldlinien. Hierbei würden Lorentzkräfte nur auf die beiden Seiten, welche nicht parallel zu den Feldlinien liegen, wirken, was ein Drehmoment in die unter a) angegebene Ausgangslage zur Folge hätte.

Im letzten Teil der Aufgabe wurde das Quadrat durch ein Dreieck von 10 cm Seitenlänge ersetzt und erneut nach der auf es wirkenden Gesamtkraft gefragt. Da jeweils zwei Seiten einen Winkel von 120° einschlossen und die an jeder Seite angreifende Kraft gleich groß war, ergab sich wieder eine Gesamtkraftwirkung von 0N auf das Drahtdreieck.

Aufgabe 5, S. 65:

Gegeben ist eine 100m lange, horizontale Leitung, welche von Ost nach West verläuft und einen Strom von 1000A führt. Teil a) fragt nach der durch das Erdfeld auf die Leitung wirkenden Kraft und deren Richtung. Nach $F = I \cdot B \cdot s$ beträgt diese Kraft 5N. Sie wirkt im Winkel 24° (90° minus Inklinationswinkel von 66°) nach oben.

Teil b) lässt nun die Leitung von Norden nach Süden bzw. senkrecht verlaufen. Zu berechnen sind erneut Kräfte und Richtungen. An dieser Stelle wurde ein kurzer Einschub mit zwei wichtigen Anmerkungen gemacht:

1. Der geographische Nordpol der Erde entspricht dem magnetische Südpol und umgekehrt.
2. Ist im Buch von einem Stromfluss die Rede, so ist (falls nicht anders angegeben) immer die konservative Stromrichtung gemeint.

Um die korrekten Ergebnisse zu erhalten, ist eine Komponentenzerlegung der wirkenden Kraft durchzuführen. Somit kommt man auf 4,57N für die Nord-Süd-Leitung und 2,05N für die Senkrechte.

Hiermit war die Bearbeitung der Hausaufgaben abgeschlossen.

Im weiteren Verlauf der Stunde wurde auf eine Aufgabe aus der Kursarbeit zurückgegriffen. Hierbei sollte eine Probeladung von $3 \cdot 10^{-12} \text{C}$ mit der Masse 210^{-9}kg in einem Kondensator mit vertikal verlaufenden Feldlinien, dessen Plattenabstand $5 \cdot 10^{-2} \text{m}$ beträgt und an den eine Spannung von 1000V angelegt ist, innerhalb dieses Kondensators von der unteren zur oberen Platte gezogen werden. Zunächst wurde die elektrische Feldkraft auf die Probeladung berechnet:

$$\begin{aligned} F_{El} &= q \cdot E \\ &= q \cdot \frac{U}{d} \\ &= 6 \cdot 10^{-8} \text{N} \end{aligned}$$

Danach folgte die Berechnung der Gravitationskraft auf die Probeladung mittels der newtonschen Grundgleichung:

$$\begin{aligned} F &= a \cdot m \\ &= g \cdot m \\ &= 1,96 \cdot 10^{-8} \text{N} \end{aligned}$$

Die Feldkraft ist also etwa 3x so groß, wie die Gravitationskraft, weshalb sich die Probeladung innerhalb des Feldes nach oben bewegen muss. Die beschleunigende Kraft ist also die Differenz aus Feld- und Gravitationskraft. Sie beträgt $4,04 \cdot 10^{-8} \text{ N}$ und wird erneut in die newtonsche Grundgleichung eingesetzt, welche nach a aufgelöst die Beschleunigung der Probeladung ($20,19 \text{ m/s}^2$) ergibt. Somit lässt sich auch die Zeit t , die für das Heben der Ladung gebraucht wird, bestimmen. Sie beträgt $7,04 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ und kann durch die Formel $v = a \cdot t$ zum Errechnen der Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Auftreffens auf der oberen Platte ($1,42 \text{ m/s}$) dienen. Betrachtet man nun die wirkenden Energien, so stellt man fest, dass zwischen der Feldenergie, berechnet nach $W_F = U \cdot Q$, von $3 \cdot 10^{-9} \text{ J}$ und der Hubarbeit an der Probeladung ($W_H = m \cdot g \cdot h$), welche $9,81 \cdot 10^{-10} \text{ J}$ beträgt, ein erheblicher Unterschied besteht. Zieht man jedoch noch die kinetische Energie ($W_{\text{Kin}} = m/2 \cdot v^2$), durch welche die Ladung beschleunigt wird, hinzu, so ergänzt sie sich mit der Hubarbeit zur Feldenergie, womit die Gültigkeit der Energiesätze gewahrt bleibt. Das Ergebnis, auf welches diese Berechnungen hinführten, liegt in einer wichtigen Formel für Kondensatoren mit horizontal verlaufenden Feldlinien. Es gilt dort:

$$W_F = U \cdot q$$

und

$$W_{\text{Kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2,$$

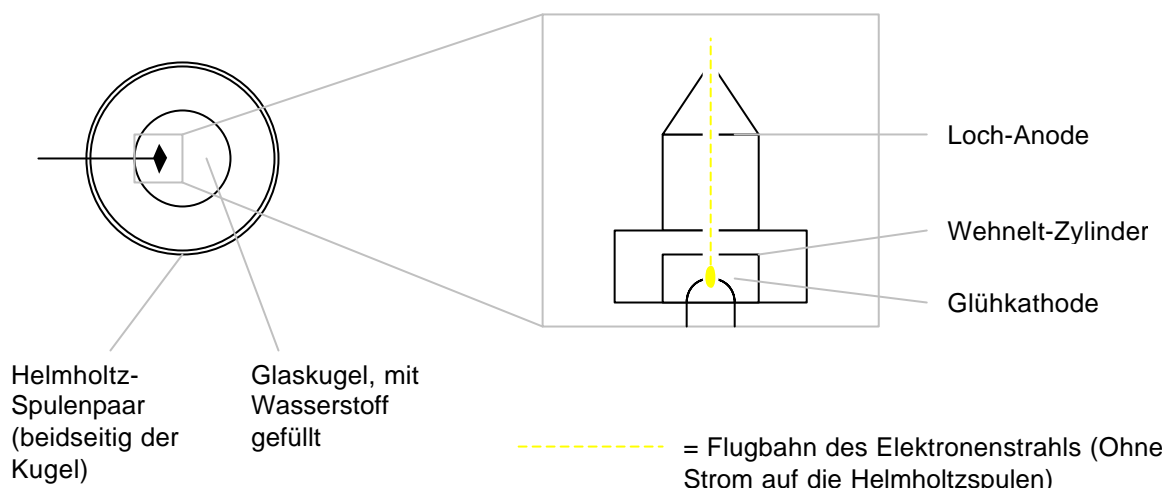
somit auch

$$U \cdot q = \frac{1}{2} m \cdot v^2.$$

Weiterhin lässt sich nun die Geschwindigkeit von Teilchen im E-Feld berechnen:

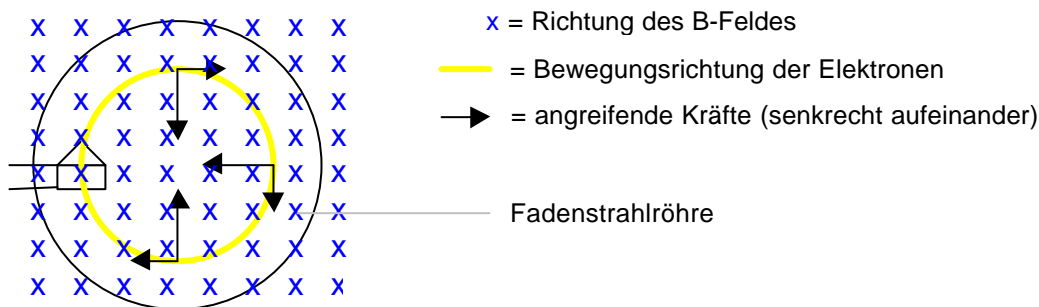
$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{q}{m} \cdot U}$$

Es folgte nun ein umfangreicher Versuch, dessen Auswertung die Berechnung der Masse eines einzelnen Elektrons möglich machen sollte. Hierzu wurde die im Folgenden beschriebene Versuchsanordnung verwandt:



Die oben beschriebene Glaskugel heißt Fadenstrahlröhre und dient zur Erzeugung eines gebündelten Elektronenstrahls. Wo ein Elektron dieses Strahls auf ein Wasserstoffatom trifft, wird letzteres dadurch angeregt, erhält für kurze Zeit etwas mehr Energie und leuchtet daher bläulich. Der Strahl wird durch eine Glühkathode erzeugt und mittels des Wehnelt-Zylinders zentriert, durch die Loch-Anode beschleunigt. Die leicht konischen Helmholtzspulen erzeugen im Inneren der Fadenstrahlröhre ein homogenes B-Feld. Dies hat einen besonderen Effekt zur Folge:

Die magnetische Kraft durch das B-Feld auf die in der Röhre emittierten Elektronen ist an jeder Stelle ihrer Flugbahn senkrecht auf diese und zudem immer gleich groß, sie ist also eine Zentripetalkraft. Sie verrichtet in diesen Fall keine Arbeit, da Weg und Kraft senkrecht aufeinander stehen.



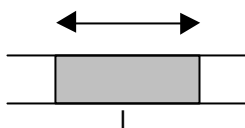
Dies zwingt die Elektronen im Strahl auf eine Kreisbahn, welche durch die Kollision mit den Wasserstoffatomen sichtbar wird.

Nun wird an die Glühkathode eine Wechselspannung von 6,3V, an die Loch-Anode eine Beschleunigungsspannung von 150V (negativ) und an die Helmholtz-Spulen ein Strom von 0,9A angelegt. Der oben beschriebene Effekt des leuchtenden Kreises ist nun bei Dunkelheit gut zu erkennen. Bei Drehung der Spule um die Horizontalachse ändert sich der Winkel, mit dem die Elektronen auf das B-Feld treffen, daher ergibt statt des Kreises eine Spirale. Der Versuch beschränkt sich aber auf das kreisförmige Phänomen. Nun soll unter Zuhilfenahme einer Kerze dessen Durchmesser gemessen werden, wozu vier verschiedene Messungen durchgeführt werden. Sie liefern folgende Ergebnisse:

| Messung | Durchmesser [mm] |
|---------|------------------|
| 1 | 106 |
| 2 | 102 |
| 3 | 105 |
| 4 | 105,5 |

Aufgrund der fortgeschrittenen Zeit wurde eine weitere Messung, mit einer um das erdmagnetische Feld zu neutralisieren um 90° gedrehten Röhre auf die folgende Stunde vertagt.

Zu Ende der Stunde wurde noch einmal kurz auf den Begriff der Driftgeschwindigkeit eines Elektrons bzw. der auf es wirkenden Kraft eingegangen:



In der Zeit Δt fließe die Ladungsmenge Q durch den Leiterquerschnitt I . Sodann gilt:

$$I = v \cdot \Delta t$$

und ebenso

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{\Delta Q}{\Delta t} \\
 &= \frac{n \cdot e}{\Delta t} \\
 &= \frac{n \cdot e \cdot v}{l},
 \end{aligned}$$

wobei n für die Anzahl der Elektronen und e für die Ladung eines einzelnen Elektrons steht.

Somit lässt sich die Formel $F = I \cdot l \cdot B$ (erster Buchstabe hinter dem Gleichheitszeichen ist in kleines L) auf folgende Weise umschreiben:

$$F = l \cdot \frac{n \cdot e \cdot v}{l} \cdot B$$
$$= n \cdot e \cdot v \cdot B$$

Also gilt für die Kraft, welche als Zentripetalkraft auf ein einzelnes Elektron wirkt $F = e \cdot v \cdot B$.

Als neue Hausaufgabe wurden das Lesen der Texte auf S. 66/67 sowie die Bearbeitung von Aufgabe 1 auf Seite 69 mit Hilfe der in der Stunde hergeleiteten Formeln genannt. Damit endete die Doppelstunde.