

Problem 1: Die Parabelmethode von Joseph John Thomson

Bei einer Internetrecherche für eine Arbeit über Isotope haben Sie den folgenden Artikel von J. J. Thomson gefunden, der in den „Proceedings of The Royal Society“ im Jahre 1913 veröffentlicht wurde.

PROCEEDINGS OF
THE ROYAL SOCIETY.

SECTION A.—MATHEMATICAL AND PHYSICAL SCIENCES.

BAKERIAN LECTURE :—*Rays of Positive Electricity.*

By Prof. Sir J. J. THOMSON, O.M., F.R.S.

(Lecture delivered May 22,—MS. received June 4, 1913.)

[PLATES 1—3.]

In 1886, Goldstein observed that when the cathode in a vacuum tube was pierced with holes, the electrical discharge did not stop at the cathode; behind the cathode, beams of light could be seen streaming through the holes in the way represented in fig. 1. He ascribed these pencils of light to rays

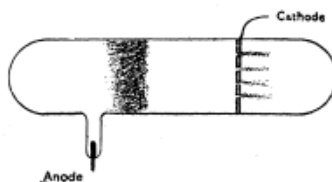
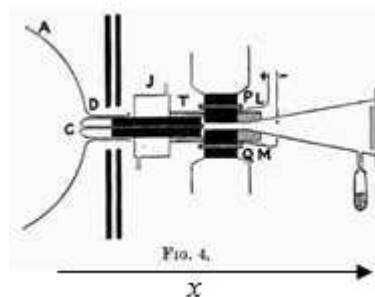


FIG. 1.

passing through the holes into the gas behind the cathode; and from their

Das Experiment, auf das sich der Artikel bezieht, kann als eines der wichtigsten Experimente des 20. Jahrhunderts für den Übergang von der sogenannten Klassischen Physik zur Modernen Physik, genauer gesagt zur Subatomaren Physik, angesehen werden. Im Artikel beschreibt Thomson seine Beobachtungen der sogenannten „Kanalstrahlen“ (wir nennen ihre Bestandteile heute Ionen), wenn diese ein gleichförmiges elektrisches Feld \vec{E} und ein ebenfalls gleichförmiges magnetisches Feld \vec{B} durchqueren. Die beiden Felder sind parallel zueinander und senkrecht zur Geschwindigkeit \vec{v} der Teilchen.

In der nebenstehenden Abbildung, die dem Originalartikel entnommen ist, treten die Teilchen durch die Düse C ein und durchqueren mit zueinander parallelen Geschwindigkeiten das elektrische und das magnetische Feld im Bereich, der durch die Buchstaben PLQM gekennzeichnet ist. Die Felder sind zueinander parallel und senkrecht zur Ebene dieser Seite.



Im Artikel schreibt Thomson:

„Nimm an, dass sich ein Strahl dieser Teilchen parallel zur x -Achse bewegt und dabei eine

fluoreszierende, zu ihrem Weg senkrechte Ebene in einem Punkt O trifft. Wirkt vor dem Erreichen der Ebene ein elektrisches Feld, das parallel zur y -Achse ist, auf die Teilchen ein, so wird der Punkt, in dem die Teilchen die Ebene treffen, parallel zur y -Achse um eine Distanz von

$$y = \frac{q}{mv_0^2} A_1$$

verschoben. Dabei sind q die Ladung, m die Masse und v_0 die Geschwindigkeit der Teilchen. A_1 ist eine Konstante, die vom elektrischen Feld und vom Weg des Teilchens abhängt, aber unabhängig von q , m und v_0 ist. Wenn hingegen ein Magnetfeld, das auch parallel zur y -Achse ist, auf die Teilchen wirkt, so werden diese parallel zur z -Achse abgelenkt und der Punkt, an dem die Teilchen die Ebene treffen, ist parallel zur z -Achse um eine Distanz von

$$z = \frac{q}{mv_0} A_2$$

verschoben. A_2 ist eine Konstante, die vom Magnetfeld und vom Weg des Teilchens abhängt, jedoch unabhängig von q , m und v_0 .“

Und weiter fährt er fort: „So treffen alle Teilchen mit dem gleichen Verhältnis q/m bei Anwesenheit eines elektrischen und magnetischen Feldes die Ebene auf einer Parabel, die sichtbar gemacht werden kann, indem man die Teilchen auf eine Fotoplatte einfallen lässt.“

Und weiter: „Da die Parabel, die dem Atom des Wasserstoffs entspricht, in praktisch allen Fotos vorkommt und sofort erkennbar ist, [...] ist es sehr einfach, den Wert von q/m für alle anderen zu finden.“

Ein Beispiel dieser Fotos ist in Abbildung 1 dargestellt und

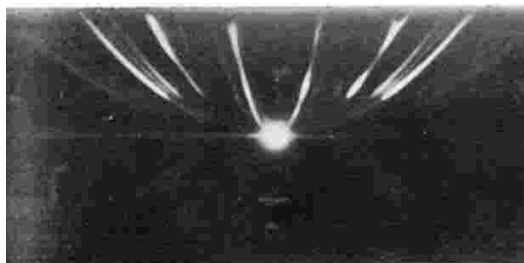


Abbildung 1

in der Abbildung 2, vergrößert und als Negativ.

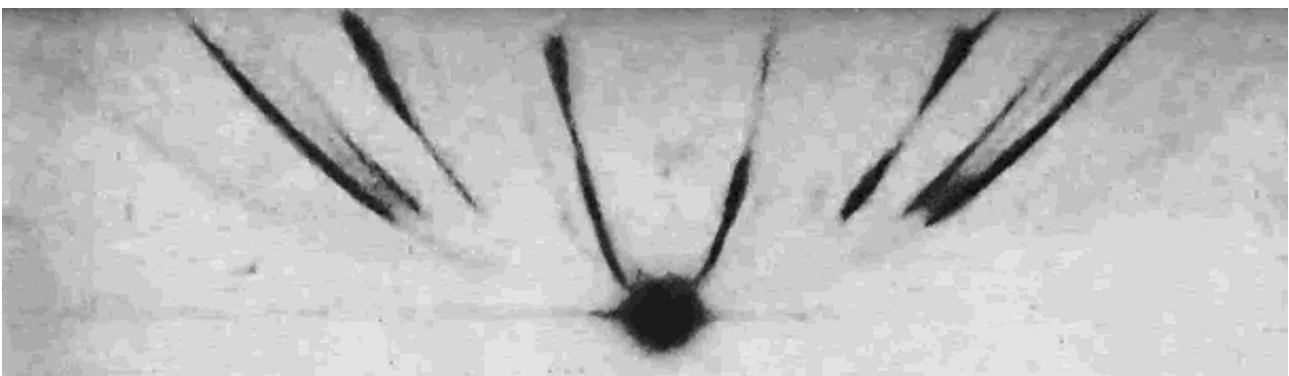


Abbildung 2

1. Legen Sie ein Bezugssystem fest, dessen Ursprung im Punkt O liegt, in dem die Teilchen in Abwesenheit des elektrischen und magnetischen Feldes auf die fluoreszierende Ebene treffen, dessen x -Achse in die Bewegungsrichtung der Teilchen und dessen y -Achse in die gemeinsamen Richtung des elektrischen und magnetischen Feldes zeigen. Zeigen Sie auf der Grundlage der gegebenen Informationen die Gültigkeit der Formeln von Thomson für die Ablenkungen, die vom elektrischen und magnetischen Feld in die Richtungen y und z hervorgerufen werden.
Nehmen Sie für den Nachweis an, dass Randeffekte vernachlässigbar sind und dass die Lorentz-Kraft stets in z -Richtung zeigt.
2. Zeigen Sie, dass die Teilchen mit dem gleichen Verhältnis q/m auf der Ebene $x = 0$ eine Parabel bilden, wenn gleichzeitig sowohl das elektrische als auch das magnetische Feld vorhanden sind. Bestimmen Sie die Gleichung der Parabel in Funktion des Verhältnisses q/m und der Parameter A_1 und A_2 .
3. Die Wasserstoffionen haben das größte Verhältnis q/m : Bestimmen Sie die Parabel, die durch die Wasserstoffionen erzeugt wird! Wählen Sie dann aus den Fotos eine andere Parabel und bestimmen Sie das dazugehörige Verhältnis q/m , in Einheiten des Verhältnisses q/m für Wasserstoff. Beschreiben Sie Ihre Vorgangsweise detailliert.
4. Stellen Sie sich nun vor, das elektrische Feld so zu drehen, dass es derart in z -Richtung zeigt, dass die Ablenkung der Teilchen in entgegengesetzte Richtung zur Ablenkung erfolgt, die das Magnetfeld hervorruft. Zeichnen Sie die Richtung und Orientierung des elektrischen und jene des magnetischen Feldes, so dass sie wie beschrieben wirken. Bestimmen Sie die Bedingung, die erfüllt werden muss, damit die Gesamtablenkung gleich null ist. Nehmen Sie an, die Vorrichtung wird als Messinstrument verwendet: Welche Größe könnte damit gemessen werden?

Problem Nr. 2: Ein überarbeitetes Gerät

Während einer Unterrichtseinheit über den Magnetismus entdecken Sie in einer Ecke des Physiklabors ein altes Gerät, das Sie bereits vor ein paar Jahren zur Untersuchung der gleichmäßig beschleunigten Bewegung benutzt haben (Abbildung 1):

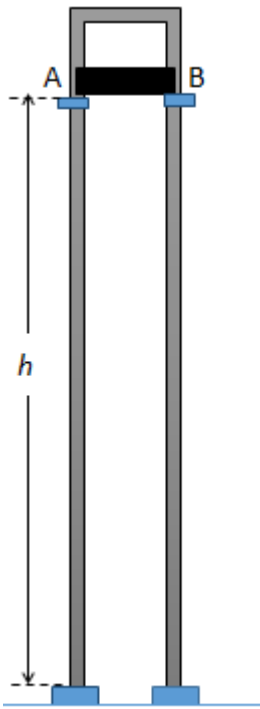


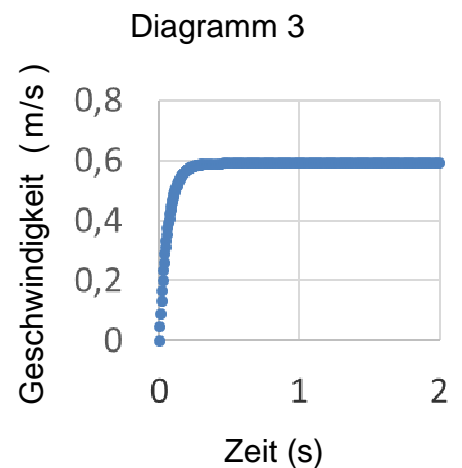
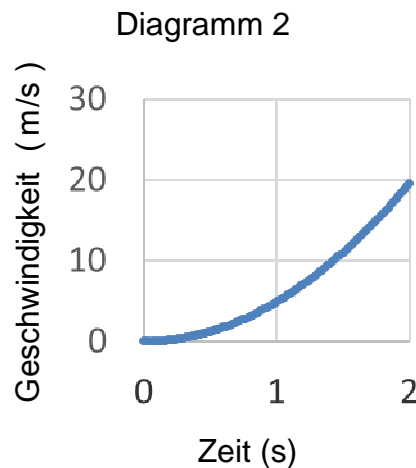
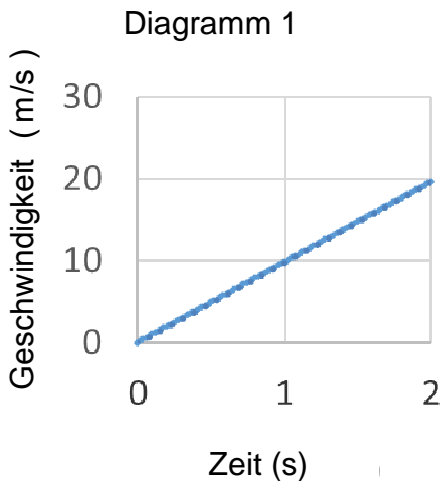
Abbildung 1

Ein Metallstab ruht auf zwei Blöcken A und B, die auf einer U-förmigen, ebenfalls metallischen Führungsschiene verankert sind; die Führungsschiene befindet sich in einer Ebene senkrecht zum Boden und hat zwei Füße aus isolierendem Material. Der Metallstab befindet sich in einer Höhe h über dem Boden. Sobald die Blöcke weggenommen werden, gleitet der Stab mit vernachlässigbarer Reibung entlang der Führungsschienen nach unten.

Sie denken darüber nach, was Sie kurz vorher gelernt haben und da haben Sie folgende Idee: Sie wollen das Gerät dazu verwenden, um Messungen in einem magnetischen Feld vorzunehmen. Sie stellen sich dazu vor, das Gerät vollständig in ein gleichförmiges Magnetfeld zu stellen, das senkrecht zur Ebene der Führungsschienen ist.

Dies vorausgesetzt:

1. Stellen Sie die neue Situation dar und untersuchen Sie diese! Beschreiben Sie die physikalischen Phänomene, die hier eine Rolle spielen und die Kräfte, denen der Stab bei seiner Bewegung nach unten ausgesetzt ist!
2. Bestimmen Sie, welches der folgenden Diagramme den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit des Stabes darstellt und begründen Sie die getroffene Wahl.



3. Berechnen Sie den Wert v_{MAX} der maximalen Geschwindigkeit des Stabes! Nehmen Sie hierfür an: Masse des Stabes 30 g, Länge 40 cm, elektrischer Widerstand 2,0 Ω (der elektrische Widerstand der U-förmigen Führungsschiene ist vernachlässigbar), magnetische Flussdichte (magnetische Induktion) des wirkenden Magnetfeldes 2,5 T.
4. Bestimmen Sie die Gleichung, die die Bewegung des Stabes beschreibt und zeigen Sie, dass die Funktion $v(t) = v_{\text{MAX}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$, mit $\tau = \frac{v_{\text{MAX}}}{g}$ Lösung der Gleichung ist. Erklären Sie die Bedeutung der in der Funktion vorkommenden Symbole. Nutzen Sie hierzu eventuell eine Grafik.

FRAGESTELLUNGEN¹

Fragestellung 1

Eine Glühlampe, die mit Wechselspannung von 220 V betrieben wird, nimmt eine mittlere elektrische Leistung von $1,0 \cdot 10^2 \text{ W}$ auf und emittiert Licht aufgrund der Erwärmung eines Wolframfadens. Es soll Folgendes gelten:

$$\frac{\text{Durchschnittliche emittierte Lichtleistung}}{\text{Durchschnittliche elektrische Leistungsaufnahme}} = 2,0\%$$

Der Einfachheit halber wird vorausgesetzt, dass die Lampe eine punktförmige Quelle ist, die gleichmäßig in alle Richtungen emittiert, und dass die umgebende Luft einen vernachlässigbaren Einfluss hat. Berechnen Sie für einen Abstand von $d = 2,0 \text{ m}$ von der Lampe:

- die durchschnittliche Lichtintensität
- die Effektivwerte des elektrischen und des magnetischen Feldes

Halten Sie die vereinfachenden Annahmen für die reale Situation als geeignet? Könnten Sie die Unterschiede zwischen der Lösung, die im realen Fall gefunden wird, und jener Lösung, die im Idealfall gefunden wird, qualitativ bewerten?

Fragestellung 2

Ein Kondensator besteht aus zwei ebenen, parallelen, quadratischen Platten mit der Seitenlänge $l = 5,0 \text{ cm}$. Sie sind durch Luft getrennt, haben zum Zeitpunkt $t = 0$ eine Entfernung von $1,0 \text{ mm}$ voneinander und bewegen sich mit einem Zehntel eines Millimeters pro Sekunde voneinander weg. Die Differenz des Potentials zwischen den Platten ist $1,0 \cdot 10^3 \text{ V}$. Berechnen Sie den Verschiebungsstrom, der den Kondensator im Zeitpunkt $t = 0$ durchquert und erklären Sie das angewandte Verfahren.

Fragestellung 3

Ein Radiogerät kann Rundfunkübertragungen empfangen, indem es auf Frequenzen eingestellt wird, die zu einem der drei Bänder gehören: **FM** (Frequency Modulation): 88-108 MHz; **MW** (Medium Waves): 540-1600 kHz; und **SW** (Short Waves): 6,0-18,0 MHz. Welche sind die maximalen und minimalen Wellenlängen der drei Empfangsbänder? In welchem der drei Empfangsbänder wird der Empfang einer elektromagnetischen Welle am geringsten durch die Anwesenheit von Gebäuden beeinflusst?

¹ $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ (Lichtgeschwindigkeit im Vakuum)

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ (dielektrische Konstante im Vakuum)

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ (magnetische Permeabilität im Vakuum)

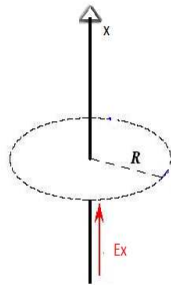
$q = -1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (Elektrische Elementarladung)

Fragestellung 4

Im luftleeren Raum ist ein elektrisches Feld \vec{E}_x , dessen durchschnittliche Veränderung im Laufe der Zeit entlang einer Richtung, die durch die gerichtete Gerade x bestimmt ist, $3,0 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m} \cdot \text{s}}$ beträgt.

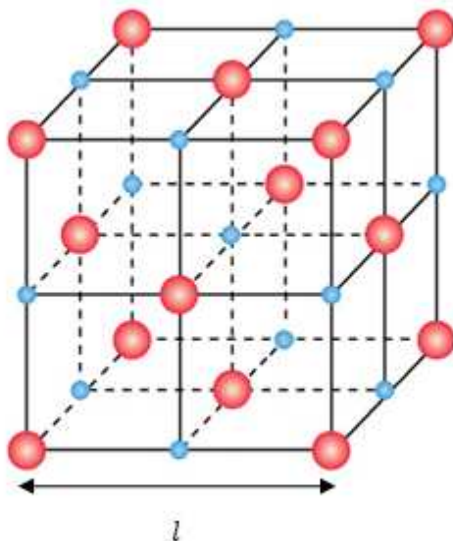
Bestimmen Sie die Intensität des mittleren induzierten Magnetfeldes in einem Abstand $R = 3 \text{ cm}$ von der Geraden x .

Was passiert bei zunehmendem R ?



Fragestellung 5

Im Kochsalzkristall (NaCl) sind die positiven und negativen Ionen Na^+ und Cl^- abwechselnd an den Eckpunkten von kubischen Zellen angeordnet, mit einem Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ionen Na^+ (oder Cl^-) $l = 0,567 \text{ nm}$.



In diesem Kristall ist die Bindungsenergie zum großen Teil durch die Coulomb-Wechselwirkung zwischen den Ionen bedingt.

