

Versuch 351

Fourier- Analyse und Sythese

Stefanie Hilgers
Stefanie.Hilgers@tu-dortmund.de

Lara Nollen
Lara.Nollen@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.11.2018

Abgabe: 21.11.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Kathodenstrahlröhre	3
2.2	Ablenkung im elektrischen Feld	4
2.3	Kathodenstrahl-Oszillograph	4
2.4	Ablenkung im magnetischen Feld	4
3	Durchführung	5
3.1	Ablenkung im elektrischen Feld	5
3.2	Ablenkung im magnetischen Feld	6
4	Auswertung	7
5	Diskussion	7

1 Zielsetzung

Bei diesen Experimenten soll das Ablenkverhalten eines Elektronenstrahls in einem elektrischen und einem magnetischen Feld untersucht werden. Zudem soll mittels Ablenkung in einem magnetischen Feld die spezifische Elektronenladung sowie das Magnetfeld der Erde am Ort der Messung bestimmt werden.

2 Theorie

2.1 Kathodenstrahlröhre

Da freie Elektronen üblicherweise mit Luftmolekülen wechselwirken würden, lässt sich dieses Experiment nur im Hochvakuum durchführen, was in diesem Fall durch eine weitgehend evakuierte Kathodenstrahlröhre realisiert wird, welche in Abbildung 1 schematisch dargestellt ist.

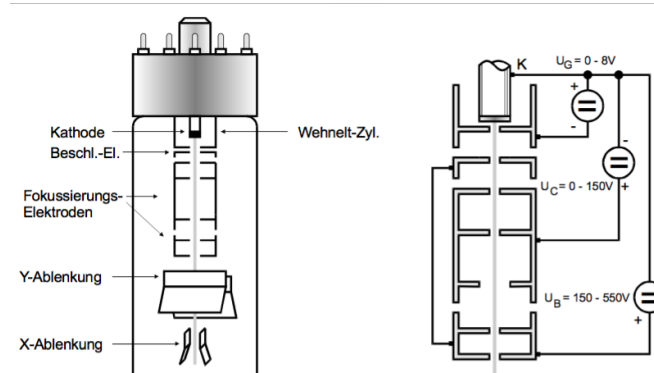


Abbildung 1: Aufbau einer Kathodenstrahlröhre [skript1].

In dieser treten zunächst Elektronen aus der sogenannten Kathode aus, was auf dem glühelektrischen Effekt beruht. Die Kathode ist dabei von einem Wehnelt-Zylinder umgeben, über welchen sich durch das negative Potential bezüglich der Kathode die Intensität des Strahls regulieren lässt.

Besitzen die Elektronen genug Energie um die Potentialdifferenz zu überwinden, treten diese durch eine Bohrung aus dem Zylinder aus und werden durch eine Beschleunigungsspannung U_B auf eine Geschwindigkeit von

$$v_z = \sqrt{\frac{2e_0 \cdot U_B}{m_0}} \quad (1)$$

beschleunigt, welche sich aus dem Energiesatz ergibt. Hierbei bezeichnet e_0 die Elementarladung und m_0 die Elektronenmasse. Anschließend wird der Elektronenstrahl durch eine elektronische Linse mittels inhomogener Felder fokussiert. Daraufhin durchläuft er zwei elektrisch aufladbare Plattenpaare, welche den Strahl aus seiner ursprünglichen Bahn

ablenken und somit den Auftreffpunkt verschieben. Dieser Auftreffpunkt wird mittels Lichtquantenemission auf dem Schirm sichtbar gemacht.

2.2 Ablenkung im elektrischen Feld

Das Prinzip der Ablenkung des Elektronenstrahls ist in Abbildung 2 dargestellt.

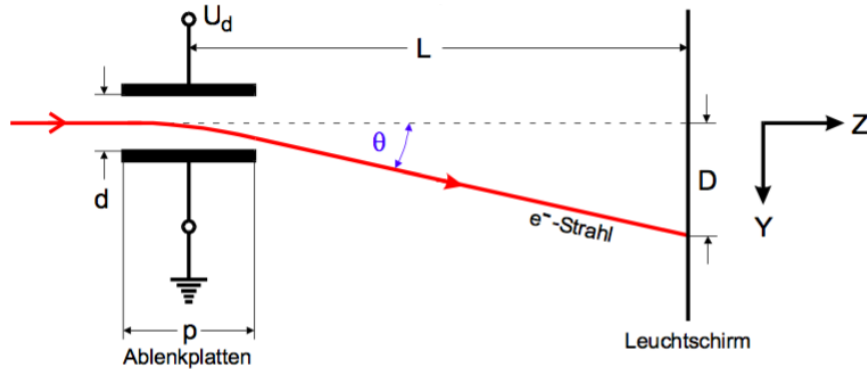


Abbildung 2: Ablenkung des Elektronenstrahls im elektrischen Feld [skript1].

Durch die Relation $d \ll p$ lässt sich das Elektrische Feld zwischen den Platten zu

$$E = \frac{U_d}{d} \quad (2)$$

nähern, wobei das Feld außerhalb der Platten praktisch Null ist. Durch die komponentenweise Betrachtung der Geschwindigkeit sowie der Betrachtung des Winkels der Ablenkung lässt sich durch Umformungen folgende Gleichung für die Verschiebung D herleiten:

$$D = \frac{L \cdot p \cdot U_d}{2 d c \cdot U_B} \quad (3)$$

Es lässt sich somit eine Proportionalität von D und U_d feststellen.

2.3 Kathodenstrahl-Oszillograph

Ein weiterer Verwendungszweck der Kathodenstrahlröhre ist der Kathodenstrahl-Oszillograph. Hierzu wird an eines der beiden ablenkenden Plattenpaare eine Sägezahnspannung angeschlossen und an das senkrecht dazu stehende Plattenpaar die zu untersuchende Wechselspannung. Dadurch lässt sich der zeitliche Verlauf der zu untersuchenden Spannung auf dem Leuchtschirm optisch darstellen, sobald die beiden Frequenzen in einem geeigneten rationalen Verhältniss zueinander stehen.

2.4 Ablenkung im magnetischen Feld

In einem magnetischen Feld wirkt nur auf relativ zu dem Feld bewegten Ladungen die sogenannte Lorentzkraft

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}, \quad (4)$$

welche stets senkrecht auf der Bewegungsrichtung der Ladungen sowie dem magnetischen Feld steht und in diesem Experiment für die Ablenkung des Elektronenstrahls sorgt. Aus der Bedingung des Gleichgewichts von Lorentzkraft und Zentrifugalkraft in Verbindung mit dem Energiesatz folgt, dass der Strahl hierdurch einen Kreis mit Radius

$$r = \frac{m_0 \cdot v_0}{m_0} \cdot B \quad (5)$$

beschreibt. Die konstante Geschwindigkeit der Elektronen v_0 lässt sich mithilfe des Energiesatzes zu

$$v_0 = \sqrt{2U_B \cdot e_0/m_0} \quad (6)$$

bestimmen.

Die tatsächlich messbare Verschiebung des Auftreffpunkts auf dem Leuchtschirm ergibt sich somit durch die Gleichungen 5 und 6 und die geometrischen Beziehungen, welche in Abbildung 3 dargestellt sind zu

$$\frac{D}{D^2 + L^2} = \frac{1}{\sqrt{8U_B}} \sqrt{\frac{e_0}{m_0}} \cdot B. \quad (7)$$

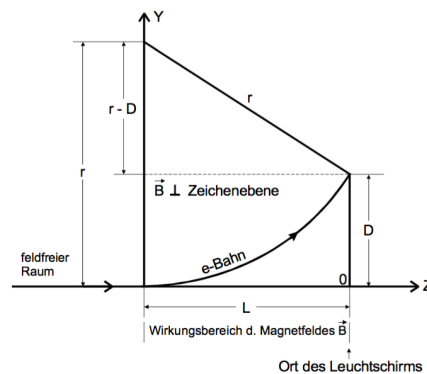


Abbildung 3: Ablenkung des Elektronenstrahls im magnetischen Feld [skript2].

Hieraus kann man zum Beispiel die spezifische Ladung $\frac{e_0}{m_0}$ der Elektronen bestimmen.

3 Durchführung

3.1 Ablenkung im elektrischen Feld

Vor Beginn der Messung muss die Kathodenstrahlröhre zunächst mindestens 1 Minute geheizt werden. Dann wird zuerst die Proportionalität zwischen Verschiebung und Spannung untersucht, indem für fünf verschiedene Beschleunigungsspannungen U_B zwischen 180 und 500 V die Ablenkspannung so eingestellt wird, dass der Auftreffpunkt jeweils

auf einer der 9 äquidistanten Linien des Schirms liegt. Die zu verwendende Schaltung ist hierbei in Abbildung 4 dargestellt.

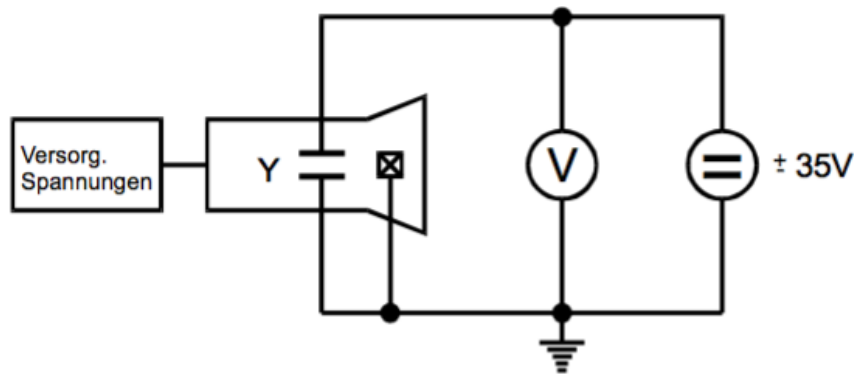


Abbildung 4: Schaltung zur Untersuchung der Proportionalität [skript1].

Um mittels der Methode des Kathodenstrahl-Oszillographen eine Sinusspannung zu untersuchen, wird die Schaltung aus Abbildung 5 verwendet.

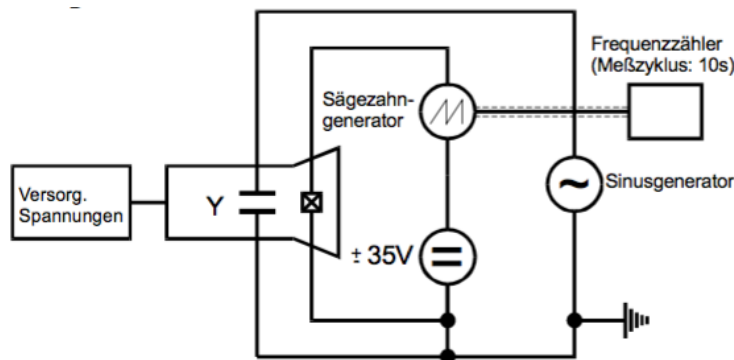


Abbildung 5: Schaltung zur Untersuchung des Kathodenstrahl-Oszillographen [skript1].

Zur Versuchsdurchführung wird die anglegte Sägezahnspannung solange variiert, bis auf dem Leuchtschirm eine stehende Welle zu erkennen ist. Dies soll für verschiedene rationale Verhältnisse der beiden Spannungen realisiert werden. Schlussendlich muss noch die maximale Auslenkung durch die zu untersuchende Spannung ausgemessen werden.

3.2 Ablenkung im magnetischen Feld

Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Verschiebung des Auftreffpunktes von dem magnetischen Feld wird eine Helmholtzpule verwendet, in deren Mitte das magnetische Feld durch die Formel

$$B = \mu_0 \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{IN}{R} \quad (8)$$

gegeben ist, wobei μ_0 die magnetische Feldkonstante bezeichnet, I den Spulenstrom, N die Windungszahl und R den Spulenradius. Zunächst wird bei abgeschaltetem Magnetfeld die Kathodenstrahlröhre in die Richtung der Horizontalkomponente ausgerichtet, welche mit einem speziellen Kompass, dem sogenannten Deklinatorium-Inklinatorium ermittelt wurde. Anschließend wird der Auftreffpunkt mittels Verschiebung durch elektrische Felder auf die unterste Linie gelegt. Nun wird bei Beschleunigungsspannungen von einmal 250 V und einmal 350 V die Helmholtzspule angeschaltet und der Spulenstrom und somit das Magnetfeld so variiert, dass der Leuchtfleck jeweils auf den äquidistanten Linien liegt. Zur Bestimmung des Erdmagnetfelds wird die Kathodenstrahlröhre zunächst in Richtung der Nord-Süd-Achse ausgerichtet, welche erneut mit dem Deklinatorium-Inklinatorium ermittelt wird. Der Auftreffpunkt wird dann notiert. Nun wird die Kathodenstrahlröhre in Ost-West-Richtung ausgerichtet, sodass sich durch das somit veränderte Magnetfeld eine Verschiebung ergibt, welche anschließend durch ein mit der Helmholtzspule erzeugtes Gegenfeld genau wieder ausgeglichen wird. Der hierzu verwendete Spulenstrom wird dabei notiert. Zuletzt muss noch mit dem Deklinatorium-Inklinatorium der sogenannte Inklinationswinkel φ bestimmt werden.

4 Auswertung

Test

5 Diskussion