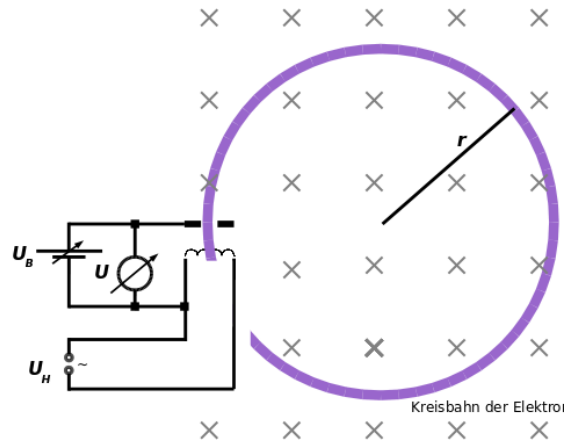


**Aufgabe 1: Kräfte auf bewegte Ladungen in magnetischen Feldern (50 Punkte)**

Bewegt sich ein geladenes Teilchen in einem magnetischen Feld, so wirkt die Lorentzkraft auf das Teilchen. Sie ist nach dem niederländischen Mathematiker und Physiker Hendrik Antoon Lorentz benannt. In Magnetfeldern ist sie am größten, wenn die Bewegungsrichtung der Ladungen senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfelds verläuft. Ist die Bewegungsrichtung der Ladungen parallel zu den Feldlinien, tritt keine Lorentzkraft auf. Die Lorentzkraft wirkt immer senkrecht zur Bewegungsrichtung der Ladungen und den Magnetfeldlinien. Ihre Wirkungsrichtung kann mit der 3-Finger-Regel bestimmt werden. Für negative Ladungen verwendet man die linke, für positive Ladungen die rechte Hand.



Das historische Experiment des Fadenstrahlrohrs erlaubte die Bestimmung der spezifischen Ladung von Elektronen. Das Verfahren wurde 1884 erstmalig von Schuster angegeben, um das Verhältnis von Ladung zur Masse der Kathodenstrahlteilchen, welche bei Gasentladungen entstehen, zu messen. Damals war noch nicht bekannt, dass es sich dabei um Elektronen handelt. Erste einwandfreie Messungen nach dieser Methode führte 1897 Thomson und Schuster durch. Das als homogen anzunehmende Magnetfeld wird dabei durch Helmholtzspulen (nicht eingezeichnet) erzeugt. Zur besseren Übersicht wurde der Wehnelt-Zylinder zur Fokussierung ebenfalls weggelassen.

- Erläutere den Versuchsaufbau anhand obiger Skizze. Begründe, dass die Elektronen („Kathodenstrahlteilchen“) auf eine Kreisbahn gebracht werden und dabei der Betrag der Geschwindigkeit konstant bleibt. (12P)
- Berechne die benötigte Beschleunigungsspannung  $U_B$ , um die Elektronen auf eine Geschwindigkeit von  $v=33.000\text{km/sec}$  zu bringen. (3P)
- Die Elektronen aus b) treten nun senkrecht zu den Feldlinien in ein homogenes magnetisches Feld der Stärke  $B=2,5\text{mT}$  ein. Der Radius der Kreisbahn wird zu  $7,5\text{cm}$  bestimmt. Leite die Beziehung  $m \cdot v = e \cdot B \cdot r$  für diese Anordnung her und berechne daraus die spezifische Ladung  $e/m$  der Elektronen unter korrekter Umformung der Einheiten. (8P)
- Durch geschickte Kombinationen aus elektrischen und magnetischen Feldern werden zahlreiche Anwendungen möglich. Eine der wichtigsten ist die Selektion von Teilchen mit gleicher Geschwindigkeit durch den so genannten „Wien’schen Geschwindigkeitsfilter“, auch als Methode der „gekreuzten Felder“ bezeichnet.
  - Skizziere dessen Aufbau und beschreibe die Wirkungsweise. (7P)
  - Berechne die benötigte elektrische Feldstärke  $E_{\text{Wien}}$ , um in einem Magnetfeld der Stärke  $B_{\text{Wien}}=2\text{mT}$  Protonen der Geschwindigkeit  $6.000\text{km/sec}$  herauszufiltern. Leite die dafür benötigte Beziehung kommentiert her. (8P)

- e) Die Protonen aus Teil d) treten nun durch eine seitliche Öffnung in ein Zyklotron ein und werden dort durch ein Magnetfeld der Stärke 400mT auf eine Kreisbahn gebracht. Berechne die Umlaufdauer  $T$  und zeige, dass diese von  $v$  unabhängig ist, solange  $m_P = \text{konstant}$  (also nicht-relativistisch) gilt. (7P)
- f) Bei jedem Umlauf durch das Zyklotron werden die Protonen zusätzlich (!) zu ihrer Anfangsgeschwindigkeit noch zweimal (!) durch ein elektrisches Feld beschleunigt. Die Spannung beträgt jedes Mal 3000V. Berechne den Bahnradius nach 30 Umläufen. (5P)

### **Aufgabe 2: Elektromagnetische Wellen (50P)**

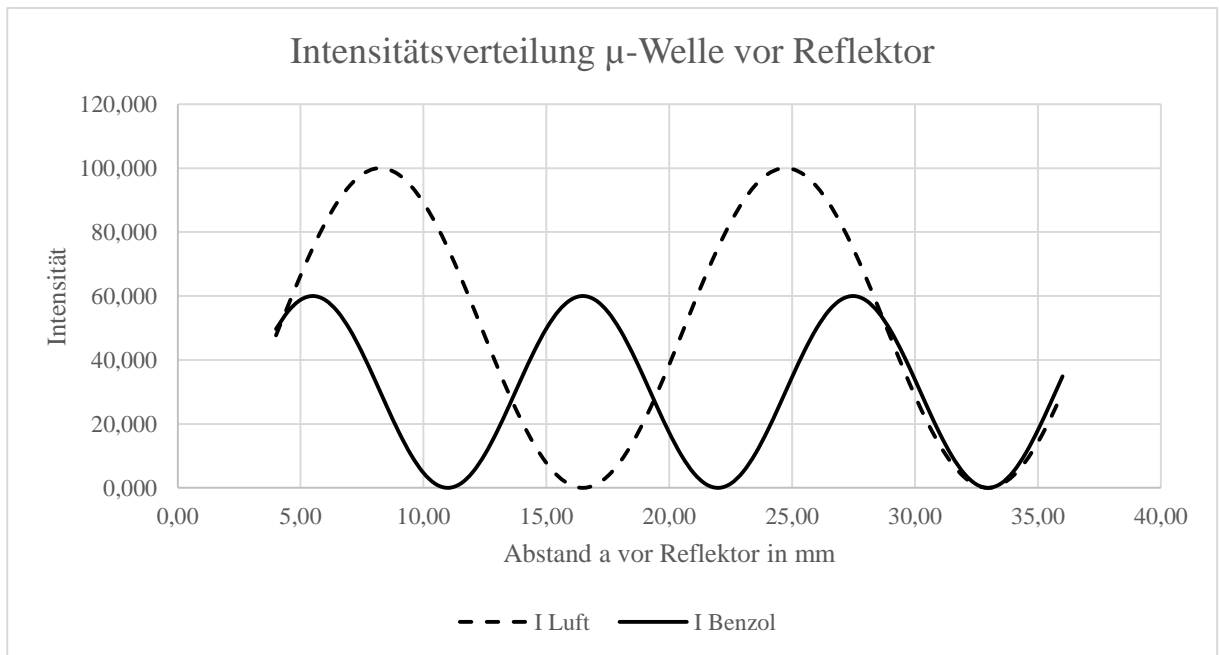
Heinrich Rudolf Hertz (1857 bis 1894) war ein deutscher Physiker. Insbesondere aufgrund seiner Arbeiten zum experimentellen Nachweis elektromagnetischer Wellen gilt Hertz als einer der bedeutendsten Physiker des 19. Jahrhunderts.

Ein Studium der Ingenieurwissenschaften brach er nach dem ersten Semester ab, weil ihn dort lediglich die Mathematikvorlesungen begeistern konnten. Er begann deshalb an der TH München Mathematik und Physik zu studieren. Kurz darauf wechselte er 1878 an die Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin. Er wurde schon im Alter von 23 Jahren mit einer Arbeit über die Rotation von Metallkugeln in einem Magnetfeld promoviert und blieb für zwei Jahre als Forschungs- und Vorlesungsassistent bei Hermann von Helmholtz in Berlin.

Hertz gab eine theoretische Lösung der elektromagnetischen Feldtheorie eines oszillierenden punktförmigen elektrischen Dipols an, siehe „Hertzscher Oszillator“. Sein Hauptverdienst lag dabei in der experimentellen Bestätigung von Maxwells elektromagnetischer Theorie des Lichts 1886. Hertz arbeitete in Karlsruhe und erforschte nicht sichtbare elektromagnetische Wellen (Radiowellen). Er wies nach, dass sie sich auf die gleiche Art und mit der gleichen Geschwindigkeit ausbreiten wie Lichtwellen.

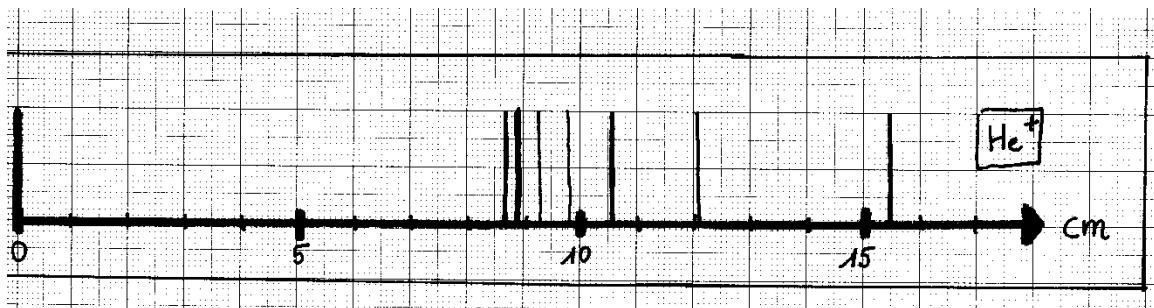
Betrachte nun für die folgenden Aufgaben einen Mikrowellensender, welcher in einem Resonator TEM („Transversale Elektromagnetische Wellen“) der Frequenz  $f=9.0\text{GHz}$  erzeugt und mittels einer Hornantenne in den Raum abstrahlt.

- a) Erläutere den Begriff „TEM-Welle“ anhand der Vektoren  $\vec{k}$ ,  $\vec{E}$  und  $\vec{B}$ . (6P)
- b) Berechne für die erzeugte Welle in Luft ( $\mu_R \approx 1$ ) die Größen  $\lambda$ ,  $\omega$ ,  $T$  und  $k$ . (8P)
- c) Vor den Sender wird in etwa 1m Abstand eine große Metallplatte montiert. Zwischen dem Sender und diesem Reflektor wird mittels eines beweglichen Detektors die Intensität der resultierenden Welle untersucht. In einem zweiten Versuchsteil wird der gesamte Versuchsaufbau geflutet. Die Senderfrequenz bleibt dabei konstant, die Welle breitet sich nun in Benzol aus. Beide Messungen sind im folgenden Diagramm graphisch dargestellt. Interpretiere beide Messungen und bestimme den Brechungsindex von Benzol. (14P)



- d) Erläutere das Zustandekommen eines Beugungsbildes bei einem Gitter, welches mit Licht diskreter Wellenlängen beleuchtet wird. Werte das folgende Gitterspektrum aus, indem Du die 7 einzelnen Wellenlängen aus dem Beugungsbild berechnest und tabellarisch darstellst. (22P)

Achtung: Die Näherung  $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha)$  ist hier nicht mehr erfüllt!



Verkleinertes Beugungsbild des He<sup>+</sup> Linienspektrums (historisch auf Schwarz-weiß-Film abgebildet, daher ohne Farbinformation!). Gezeigt ist nur die eine Seite des Spektrums. Die Gitterkonstante beträgt 800 Striche pro mm, die Photoplate ist 25cm vom Gitter entfernt.