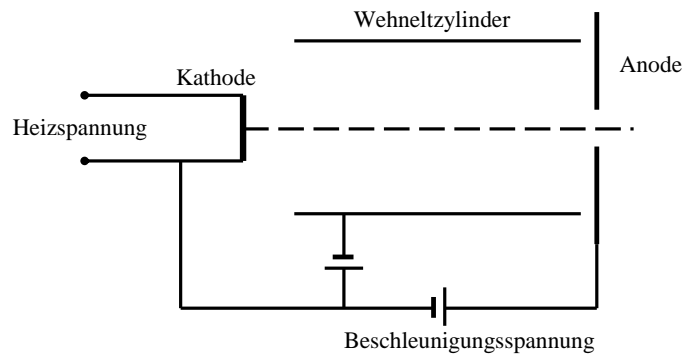


- a)
- Durch den glühelektrischen Effekt werden Elektronen aus der Glühkathode herausgelöst. Diese werden zu positiv geladenen Anode hin beschleunigt, zwischen der Kathode und der Anode wird die entsprechend gepolte Beschleunigungsspannung angelegt. Die Anode besitzt ein Loch, damit die Elektronen durch dieses hindurch treten können. Zur Fokussierung der Elektronen wird ein negativ geladener Wehneltzylinder verwendet.

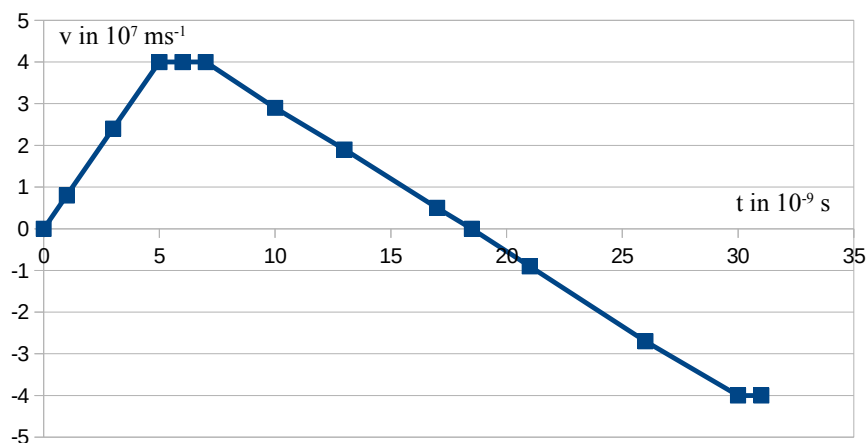


- Die Beschleunigungsspannung erhält man aus dem Energieerhaltungssatz:

$$e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$$

$$U = \frac{m \cdot v_0^2}{2 \cdot e} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (4 \cdot 10^7)^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ V} \approx 4555 \text{ V}$$

- Das t - v -Diagramm:



- $0 \text{ ns} < t < 5 \text{ ns}$ Zunächst werden die Elektronen gleichmäßig auf die Geschwindigkeit v_0 beschleunigt (linearer anstieg im Diagramm).
- $5 \text{ ns} < t < 7 \text{ ns}$ Die Elektronen fliegen mit der Geschwindigkeit v_0 bis zum Eintrittspunkt R zum Würfel.
- $7 \text{ ns} < t < 18,5 \text{ ns}$ Die Elektronen werden mit einer konstanten Kraft abgebremst, bis sie zum Stillstand kommen, es befindet sich also an der rechten Seite des Würfels ein Minuspol und die Feldlinien verlaufen im Würfel somit von links nach rechts.

- $18,5 \text{ ns} < t < 30 \text{ ns}$ Die Elektronen kehren ihre Bewegungsrichtung um und werden gleichmäßig nach links beschleunigt im Austrittspunkt haben sie die Geschwindigkeit $-v_0$.
- $30 \text{ ns} < t < 31 \text{ ns}$ Die Elektronen verlassen bei R den Würfel mit der Geschwindigkeit $-v_0$.

- b)
- Damit die Elektronen gerade mit konstanter Geschwindigkeit durch die Blackbox fliegen muss die resultierende Kraft auf diese verschwinden. Die B - und E -Felder müssen also so angeordnet sein, dass die Kraft des elektrischen Feldes der Lorentzkraft gerade entgegengerichtet ist und die beiden Kräfte betragsmäßig gleich groß sind. Da die Lorentzkraft immer senkrecht auf der Bewegungsrichtung und magnetischer Flussdichte steht, gibt es zwei Möglichkeiten E und B -Feld zu orientieren. Ist die obere Platte positiv geladen, so erfahren die Elektronen durch das elektrische Feld eine Kraft nach oben, welche durch die Lorentzkraft kompensiert werden muss. Die Richtung der magnetischen Flussdichte lässt sich mit der dreifingerregel der linken Hand bestimmen.
 - Der Daumen zeigt in Bewegungsrichtung, also nach rechts.
 - Der Mittelfinger gibt die Richtung der Lorentzkraft an, diese soll nach unten wirken, er zeigt also nach unten.
 - Der Zeigefinger gibt dann die Richtung der magnetischen Flussdichte an. Diese zeigt in die Zeichenebene hinein.

Für die umgekehrte Polung des elektrischen Feldes ist zeigt mit analoger Argumentationsweise, die magnetische Flussdichte aus der Zeichenebene heraus.

- Da es sich im prinzip um einen Plattenkondensator handelt lässt sich der Betrag der elektrischen Feldstärke mittels $E = \frac{U}{d}$ bestimmen:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{1500 \text{ V}}{0,6 \text{ m}} = 2500 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Damit die resultierende Kraft verschwindet, muss der Betrag der Lorentzkraft gleich dem Betrag der Kraft des elektrischen Feldes sein:

$$e \cdot v_0 \cdot B = e \cdot E$$

$$B = \frac{E}{v_0} = \frac{2500}{4 \cdot 10^7} \text{ T} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ T}.$$

- Steht die magnetische Flussdichte senkrecht auf der Bewegungsrichtung, so werden die Elektronen auf eine Kreisbahn gezwungen. Steht die magnetische Flussdichte schräg auf der Bewegungsrichtung, so werden die Elektronen auf eine Schraubenbahn gezwungen. Die Bewegung der Elektronen wird nur nicht beeinflusst, wenn die magnetische Flussdichte parallel zur Bewegungsrichtung, also in, oder entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung, gerichtet ist.
 - Da in diesem Fall keine Kraft auf die Elektronen wirkt, wird weder die Richtung noch der Betrag der Geschwindigkeit beeinflusst.
- c)
- Damit die Elektronen in T den Würfel senkrecht verlassen, müssen diese einen Viertelkreis beschreiben. Dies ist der Fall, wenn der Würfel von einem Magnetfeld durchsetzt wird, welches aus der Zeichenebene heraus zeigt. Es wirkt die Lorentzkraft als Zentripetalkraft und die Elektronen werden auf eine Kreisbahn in der Zeichenebene gezwungen. Wählt man die Magnetische Flussdichte geeignet, so beschreiben die Elektronen den gesuchten Viertelkreis.

- Wird der Würfel von einem elektrischen Feld durchsetzt (Pluspol oben), so werden die Elektronen nach oben beschleunigt und beschreiben eine Parabelbahn.
- Für die Bewegung parallel zu den Kondensatorplatten gilt:

$$x(t) = v_0 \cdot t.$$

entsprechend gilt für die Bewegung senkrecht dazu:

$$y(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2.$$

Löst man (1) nach t auf und setzt es in (2) ein, erhält man:

$$y(x) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{x^2}{v_0^2}.$$

Für die Beschleunigung a gilt:

$$F_{\text{el}} = e \cdot E = m \cdot a \quad \Rightarrow \quad a = \frac{e \cdot E}{m}$$

Weiter verläuft die Parabelbahn durch den Punkt $(0,3 \text{ m} \mid 0,3 \text{ m})$ zusammen erhält man dann die elektrische Feldstärke:

$$\begin{aligned} y &= \frac{1}{2} \cdot \frac{e \cdot E}{m} \cdot \frac{x^2}{v_0^2} \\ E &= \frac{2 \cdot y \cdot v_0^2 \cdot m}{e \cdot x^2} \\ &= \frac{2 \cdot 0,3 \cdot (4 \cdot 10^7)^2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ V}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,3^2} \frac{\text{V}}{\text{m}} \\ &\approx 60\,700 \frac{\text{V}}{\text{m}} \end{aligned}$$

- d) • Die Elektronen beschreiben hier eine Kreisbahn, die Kraft des elektrischen Feldes wirkt hierbei als Zentripetalkraft, durchlaufen die Elektronen eine Kreisbahn, so muss ein Kräftegleichgewicht aus elektrischer und Zentripetalkraft gelten.

$$\begin{aligned} e \cdot E &= \frac{m \cdot v_0^2}{r} \\ r &= \frac{m \cdot v_0^2}{e \cdot E} \\ &= \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (4 \cdot 10^7)^2}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6\,000} \text{ m} \approx 1,52 \text{ m} \end{aligned}$$

- Da der Radius proportional zur Masse der Elektronen ist, und mit zunehmender Geschwindigkeit die Masse dieser zunimmt (relativistische Massenzunahme), nimmt der Radius der Elektronenbahn zu.