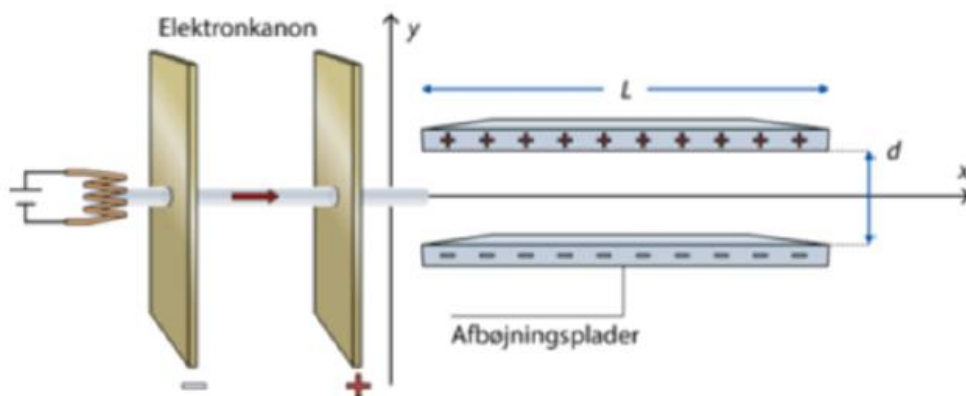


Opgave 7 Elektriske og magnetiske felter opgave med elevbesvarelse

Ikke en eksamensopgave, men det kunne det have været...

Opgave 5

En stråle af elektroner accelereres i en elektronkanon af et spændingsfald U . I elektronkanonen frigøres elektroner fra en glødetråd pga. termiske bevægelser. De frie elektroner accelereres nu hen imod og gennem hullet i en positivt ladet plade.



Figur 9.4.3 Jakob Strandberg

- Beregn den kinetiske energi, elektronerne opnår i elektronkanonen, idet spændingsfaldet er -500 V .
- Hvilken fart opnår elektronerne?

Herefter passerer elektronerne ind mellem to afbøjningsplader opladet til et spændingsfald af størrelsen $15,0\text{ V}$. Pladernes længde L er $4,0\text{ cm}$, og afstanden d mellem pladerne er $2,0\text{ cm}$. På figuren er indlagt et koordinatsystem, hvor x -aksen er parallel med afbøjningspladerne, således at elektronerne kommer ind i mellemrummet mellem pladerne langs med x -aksen.

- Hvilken type baneurve vil elektronerne følge mellem afbøjningspladerne? Vil de afbøjes opad eller nedad?
- Beregn den elektriske feltstyrke mellem afbøjningspladerne.
- Find kraften (størrelse og retning) på en elektron inde i feltet.
- Hvor lang tid vil det tage en elektron at passere gennem feltet mellem afbøjningspladerne?
- Med hvilken hastighed (størrelse og retning) forlader elektronen feltet mellem afbøjningspladerne?

Elembesvarelse

a)

Vi skal beregne den kinetiske energi, elektronerne opnår i elektronkanonen, idet spændingsfaldet er -500V . Vi har at gøre med en homogent elektrisk felt, hvor formelen for den kinetiske energi er

$$\Delta E_{\text{kin}} = U \cdot q$$

Spændingsfaldet er -500V , og da det er en elektronkanon er ladningen -1 e .

$$E_{\text{kin}} = -500 \cdot \text{V} \cdot -1 \cdot \text{e} \rightarrow E_{\text{kin}} = 8.01088\text{E-}17 \cdot \text{J}$$

Elektronerne opnår en kinetisk energi på $8,01 \cdot 10^{-17}\text{ J}$ i elektronkanonen, idet spændingsfaldet er -500V .

b)

Vi skal beregne, hvilken fart elektronerne opnår. Det gør vi med den sædvanlige formel for kinetisk energi

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin}}}{m}}$$

Vi kender den kinetiske energi, og m er en elektronmasse $m_e \rightarrow 9.10938\text{E-}31 \cdot \text{kg}$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 8.01088\text{E-}17 \cdot \text{J}}{m_e}} \rightarrow v = 1.3262\text{E}7 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Elektronerne opnår en fart på $1,33 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

c)

Vi skal bestemme elektronernes banekurve, og om elektronerne vil afbøjes opad eller nedad, når de kommer til afbøjningspladerne.

De er påvirket af den konstante acceleration

$$a = \frac{q \cdot E}{m}$$

og vil derfor følge en parabelbue, ligesom bevægelsen ved skråt kast uden luftmodstand.

Elektroner er negativt ladede, og de vil dermed frastødes af den nederste plade, da den også er negativt ladet. Samtidig vil de negativt ladede elektroner tiltrækkes af den øverste plade, da den er positivt ladet, og modsatte ladninger tiltrækker hinanden.

Elektronerne vil altså afbøjes opad og vil følge en parabelbue.

d)

Vi skal beregne den elektriske feltstyrke mellem afbøjningspladerne.

Formlen for feltstyrken er

$$|E| = \frac{U}{d}$$

Det bliver oplyst, at $U=15\text{V}$ og $d=2,0\text{cm}$.

$$|E| = \frac{15 \cdot \text{V}}{2 \cdot \text{cm}} \rightarrow |E| = 750 \cdot \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Da retningen af den elektriske feltstyrke går mod den negative plade, er feltstyrken negativ, pga. sådan som y-aksen er lagt ind. Altså er feltstyrken negativ.

Den elektriske feltstyrke mellem afbøjningspladerne er $-750 \frac{\text{N}}{\text{C}}$

e)

Vi skal finde kraftens størrelse og retning på en elektron inde i feltet.

Det gøres med formelen

$$E = \frac{F_{el}}{q} \Leftrightarrow F_{el} = E \cdot q$$

Vi har lige regnet E ud, og elektronens ladning er stadig $-1 \cdot q \rightarrow -1.60218 \cdot 10^{-19} \cdot \text{C}$

$$F_{el} = -750 \cdot \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot -1 \cdot q \rightarrow F_{el} = 1.20163 \cdot 10^{-16} \cdot \text{N}$$

Den elektriske kraft på en elektron inde i feltet har en størrelse på $1,20 \cdot 10^{-16} \text{ N}$ og retningen parallel med feltlinjerne men modsatrettet.

f)

Vi skal beregne, hvor lang tid det vil tage en elektron at passere gennem feltet mellem afbøjningspladerne. For at gøre det, skal vi bruge partiklens x-koordinat som funktion af tid:

$$x = v_{ox} \cdot t + x_0$$

Vi antager, at $x=0$, når elektronen bliver skudt ud af kanonen ved starten af pladerne. Dermed kan x_0 fjernes. Desuden ved vi, at pladerne er 4cm lange, og vi antager, at elektronen bliver skudt ud lige ved starten. Eftersom vi skal bestemme tiden, når elektronen forlader pladerne, skal x være 4cm. Elektronens starthastighed regnede vi ud tidligere, det er den hastighed, elektronen opnår i elektronkanonen, $1,33 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$. Altså skal vi bestemme

$$x = v_{ox} \cdot t \Leftrightarrow t = \frac{x}{v_{ox}} = \frac{4cm}{1,33 \cdot 10^7 \frac{m}{s}}$$

$$t = \frac{4 \cdot \text{cm}}{1,33 \cdot 10^7 \cdot \frac{m}{s}} \rightarrow t = 3.00752E-9 \cdot s$$

Det vil tage en elektron 3,01ns at passere gennem feltet mellem afbøjningspladerne.

g)

Vi skal bestemme hastigheden, når elektronen forlader feltet mellem afbøjningspladerne. Hastigheden har en komponent i x-retningen og en komponent i y-retningen. Dem kan vi beregne med bevægelsesligningerne for homogene elektriske felter:

$$v_y = \frac{q \cdot E}{m} \cdot t + v_{oy} \text{ og } v_x = v_{ox}$$

Der hvor elektronene forlader kanonen er startpunktet, og der er $v_{oy} = 0$, så vi ser bort fra v_{oy} . Hermed skal vi beregne

$$v_y = \frac{q \cdot E}{m} \cdot t$$

t er den tid, der er gået, når elektronen forlader feltet. Den har vi beregnet til $t = 3,01 \text{ ns}$.

Den elektriske feltstyrke er $-750 \frac{\text{N}}{\text{C}}$. q og m er hhv. en elektrons ladning og masse.

$$v_y = \frac{-q \cdot -750 \cdot \frac{\text{N}}{\text{C}}}{m_e} \cdot 3,00752 \text{E-9} \cdot \text{s} \rightarrow v_y = 396726 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

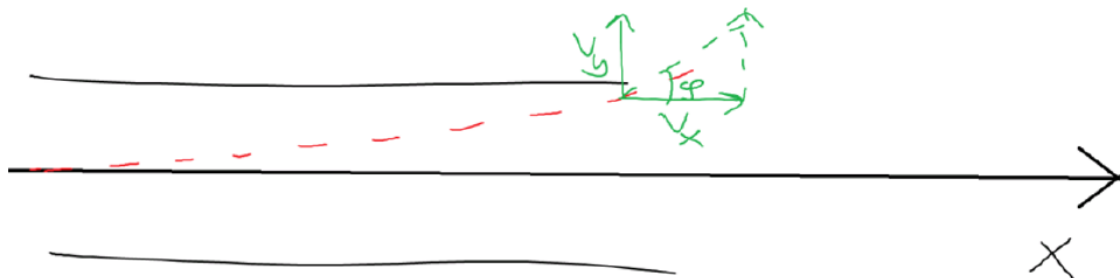
Elektronens hastigheds y-komponent er $396726 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Hastigheden i x-retningen er

$$v_x = v_{ox} = 1,3262 \text{E}7 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Vi har så hastigheden v, som er en vektor. Dermed kan vi bestemme størrelsen af v

$$|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(13262000 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + \left(396726 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} \rightarrow 1,32679 \text{E}7 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Vi kan også beregne den vinkel elektronen kommer ud med i forhold til x-aksen.



Vi har de to kateter v_x og v_y i en retvinklet trekant. Vi vil beregne vinklen ϕ , som gøres med tangensformlen for en retvinklet trekant

$$\tan(\phi) = \frac{\text{mod}}{\text{hos}} \Leftrightarrow \phi = \tan^{-1}\left(\frac{\text{mod}}{\text{hos}}\right)$$