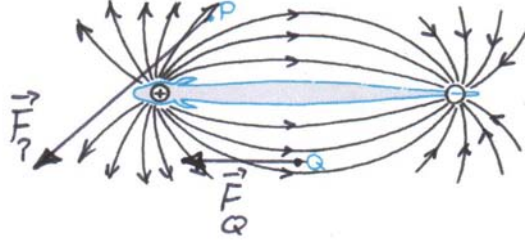

Opgaven 9.1 – Statische elektriciteit

1	a	Jij bent positief geworden. Er stromen elektronen door je voeten vanuit de aarde.	-
2	-	De ballon is (bijvoorbeeld negatief) geladen door het wrijven langs je mouw. Door het aanraken van het strookje plastic is dat ook negatief genomen. De twee gelijke ladingen op ballon en strookje plastic stoten elkaar af.	-
3	a	De staaf duwt als het ware de elektronen zo ver mogelijk van zich vandaan. De elektronen stromen dus door je vinger naar de aarde.	-
	b	De elektroscoop wordt positief.	-
4	-	De kracht op de negatieve elektronen is tegengesteld gericht aan de veldlijnen. $F_P > F_Q$.	-
			-
5	-	1, 2 4 en 5 draaien zodat ze dezelfde richting krijgen als 3. Het veld is homogeen (gegeven), dus na het draaien komen ze niet meer van hun plaats.	-
6	a	1 is fout omdat de richting verkeerd is. 2 is goed / het snijden met 11 komt daar wel aan de orde. 3 heeft de verkeerde richting. 4 is goed. 5 is goed. 6 is fout omdat hij niet loodrecht op de bol staat. 7 is fout omdat hij niet doorloopt tot op de andere bol. 8 is fout omdat er geen pijlpunt in staat. 9 is fout omdat hij een gesloten lus is. 10 is goed. 11 is fout want hij snijdt 2. 12 is fout omdat hij niet op de linker bol begint. 13 is fout omdat zijn richting fout is. 14 is fout omdat zijn richting fout is.	-
	b	De scheve kracht die het gevolg is van de scheve veldlijn kan niet voor een beweging zorgen.	-
7	a	Het omhulsel zorgt voor een kooi van Faraday. Daardoor kunnen er geen storende velden bij de signaaldraad komen.	-
	b	De lading die je van binnen aanbrengt stroomt naar buiten. Lading die je van buiten aanbrengt zal nieuwe lading proberen af te stoten.	-
8	-	De massa van een zakje is vast 1 gram. De overblijvende massa's zijn veelvoud van 4 g. Eén knikker zal dus wel 4 g wegen.	4 g
9	a	De kracht wijst van + naar -, net als het veld. De lading is dus positief.	-
	b	In een homogeen veld zijn de krachten even groot, dus ook 0,30 N	0,30 N
10	a	De elektrische kracht op de negatieve bolletjes is omhoog tegen \vec{F}_z in. Het elektrisch veld wijst dus omlaag. De bovenste plaat is dus positief geladen.	-
	b	$F_z = F_e \Rightarrow m \cdot g = q \cdot E$ $5,0 \cdot 10^{-15} \cdot 9,81 = q \cdot 6,2 \cdot 10^4 \Rightarrow q = 7,9 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ deel door $e \Rightarrow n = 4,9 = 5$	5

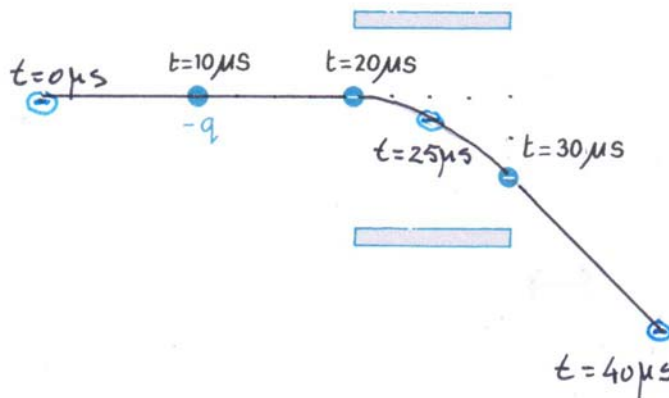
11	-	$F_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,4 \cdot 10^4 = 2,24 \cdot 10^{-15} \text{ N}$ $F_z = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9,81 = 8,93 \cdot 10^{-30} \text{ N} \Rightarrow F_e = 2,5 \cdot 10^{14} \cdot F_z$	$2,5 \cdot 10^{14} \times$
12	a	$F_e = q \cdot E \Rightarrow E = \frac{0,090}{6,0 \cdot 10^{-6}} \cdot 1,5 \cdot 10^4 \text{ N/C}$	$1,5 \cdot 10^4 \text{ N/C}$
	b	$E \sim U \Rightarrow U_2 = \frac{0,120}{0,090} \cdot 3000 = 4000 \text{ V}$	4000 V
13	a	Het lange streepje van de spanningsbron is de +, Op het ion werkt de elektrische kracht omhoog en op het elektron omlaag.	-
	b	$q_{\text{ion}} = e$ en $q_{\text{elektron}} = -e$ $F = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^5 = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ N}$	$1,6 \cdot 10^{-14} \text{ N}$
14	a ¹	In een condensator geldt: $E = \frac{u_{AB}}{d} \Rightarrow [E] = \frac{\text{V}}{\text{m}}$	-
	a ²	$U_{AB} = 4,0 \cdot 10^4 \cdot 1 \cdot 10^{-2} = 400 \text{ V}$	400 V
	b	$F = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,0 \cdot 10^4 = 6,4 \cdot 10^{-15} \text{ N}$	$6,4 \cdot 10^{-15} \text{ N}$
	c	$W = F \cdot d = 6,4 \cdot 10^{-15} \cdot 1,0 \cdot 10^{-2} = 6,4 \cdot 10^{-17} \text{ J}$	$6,4 \cdot 10^{-17} \text{ J}$
	d ¹	$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
	d ²	$\frac{1}{2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2 = 6,4 \cdot 10^{-17} \Rightarrow v = 1,2 \cdot 10^7 \text{ m/s}$	$1,2 \cdot 10^7 \text{ m/s}$

Opgaven 9.2 – Versnellen

15	a	$\Delta E_k = q \cdot U \quad 1 \cdot 10^{-8} = 3 \cdot 10^{-12} \cdot U \Rightarrow U = 3 \cdot 10^3 \text{ V}$	3 kV
	b	$\frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 10^{-8} \cdot v^2 = 1 \cdot 10^{-8} \Rightarrow v = 0,6 \text{ m/s}$	0,6 m/s
16	a	$E_{k,2+} = 2 \cdot 150 = 300 \text{ eV} = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 150 = 4,8 \cdot 10^{-17} \text{ J}$ $E_{k,3+} = 3 \cdot 150 = 450 \text{ eV} = 3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 150 = 7,2 \cdot 10^{-17} \text{ J}$	4,8 · 10 ⁻¹⁷ J 300 eV 7,2 · 10 ⁻¹⁷ J 450 eV
	b	$E_k = \frac{1}{2} \cdot 9,3 \cdot 10^{-26} \cdot v^2 \Rightarrow v_{2+} = 3,2 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ en $v_{3+} = 3,9 \cdot 10^4 \text{ m/s}$	3,2 · 10 ⁴ m/s 3,9 · 10 ⁴ m/s
17	a	$\frac{1}{2} m v^2 = qU$ dezelfde spanning $\Rightarrow v^2$ is <u>omgekeerd</u> evenredig met $m \Rightarrow$ v is omgekeerd evenredig met \sqrt{m} $v_{\text{el}} : v_{\text{ion}} = \sqrt{3 \cdot 10^4} : 1 = 1,7 \cdot 10^2 : 1$	1,7 · 10 ² : 1
	b	$\frac{1}{2} m v^2 = qU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} \Rightarrow$ v is evenredig met \sqrt{U} en omgekeerd evenredig met \sqrt{m} $v_{\text{el}} : v_{\text{ion}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3 \cdot 10^4} : 1 = 3,0 \cdot 10^2 : 1$	3,0 · 10 ² : 1
18	a	Tussen de platen gaat het elektron van de positieve naar de negatieve plaat.	–
	b	$\frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} m v_1^2 - e \cdot 9 \quad m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ en $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \Rightarrow 9,1 \cdot 10^5 \text{ m/s}$	9,1 · 10 ⁵ m/s
	c	$v_2 = 0 \Rightarrow \frac{1}{2} m \cdot (2,0 \cdot 10^6)^2 = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot U \Rightarrow U = 11,4 \text{ V}$	11,4 V
	d	Het elektron keert na het tot stilstand komen om.	–
19	-	$q \cdot 20 \cdot 10^3 = 0,40 \cdot 10^{-3} \cdot 5,0^2 \Rightarrow q = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$	2,5 · 10 ⁻⁷ C
20	a	Dan heb je 0,025 MV = 25 kV nodig.	25 kV
	b ¹	$\frac{1}{2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2 = 0,025 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \Rightarrow v = 9,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$	9,4 · 10 ⁷ m/s
	b ²	Deze snelheid zit al vrij dicht bij de lichtsnelheid 3 · 10 ⁸ m/s. Er zal dus wel enige correctie nodig zijn. Zie Extra . Als je de grafiek van p. 212 uitleest bij 25 kV dan vind je $v = 9,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.	–
21	a	$\frac{1}{2} \cdot 6,6 \cdot 10^{-27} \cdot v^2 = 4,2 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \Rightarrow v = 1,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$	1,4 · 10 ⁷ m/s
	b	Je hebt een remspanning nodig van 2,1 MV.	2,1 MV
22	a	$P = I \cdot U = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^3 = 3,2 \cdot 10^2 \text{ W}$	0,32 kW
	b ¹	$c = 0,135 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	–
	b ²	$c \cdot m \cdot \Delta T = \eta \cdot P \cdot \Delta t$ invullen geeft $\Delta T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$	12 °C
	c	$Q = I \cdot \Delta t = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ C} \Rightarrow n = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{16} \text{ elektronen}$	5 · 10 ¹⁸
	d	Deze snelheid zit zo dicht bij de lichtsnelheid 3 · 10 ⁸ dat correctie zeker nodig zal zijn. De werkelijke snelheid is kleiner. Uitlezen van de grafiek op p. 212 geeft 1,12 · 10 ⁸ m/s.	–

Opgaven 9.3 – Afbuigen in velden

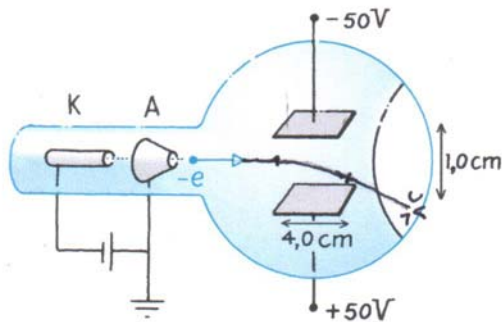
23 a
b



De figuur bestaat uit twee rechte lijnen met daartussen een parabool.

24 a
b

$\frac{1}{2}mv^2 = eU_{AK} \Rightarrow U_{AK} = 1,1 \text{ kV}$ 1,1 kV



De figuur bestaat uit twee rechte lijnen met daartussen een parabool.

c Ze leggen $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ af met $2,0 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ want v_x verandert niet $\Rightarrow t = 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ s}$ 2,0 · 10⁻⁹ s

d 10 mm in de y-richting komt overeen met 100 eV, dus 3,5 mm komt overeen met 35 eV. 35 eV

25 -

De passeertijden zijn voor alle ionen gelijk. $y = \frac{1}{2}at^2$ dus $y \sim a$

$a = \frac{F_e}{m} = \frac{q \cdot E}{m} \Rightarrow a \sim q$ dus $y \sim q$ 1 : 2 : 3

$y_+ : y_{2+} : y_{3+} = 1 : 2 : 3$

26 -

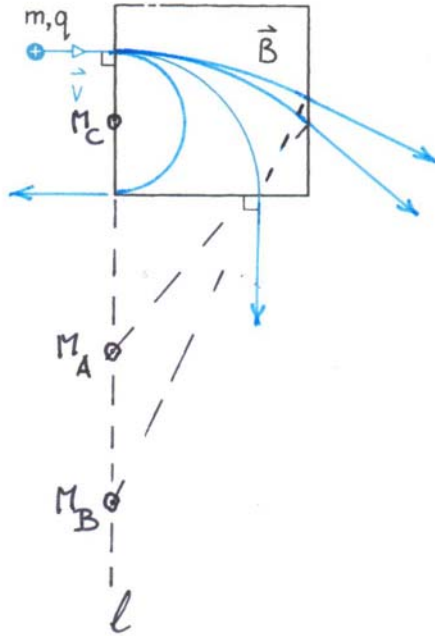
In een magnetisch veld staat \vec{F}_L loodrecht op \vec{v} dus wordt er geen arbeid verricht en dus verandert E_k niet. -

27 -

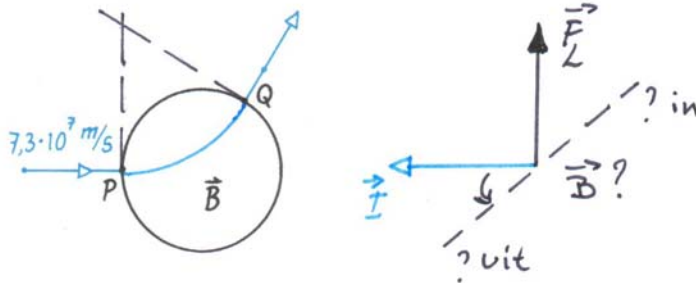
$F_L = F_c \Rightarrow Bqv = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{Bq} \Rightarrow r \sim \frac{1}{q} \Rightarrow$ 6 : 3 : 2

$r_+ : r_{2+} : r_{3+} = \frac{1}{1} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} = 6 : 3 : 2$

- 28 a $r = \frac{mv}{Bq}$ Zie opgave 27.
 b
 c a $m \ 2\times \Rightarrow r \ 2\times$
 b $v \ 3\times \Rightarrow r \ 3\times$
 c $q \ 2\times \Rightarrow r \ 1/2\times$



- 29 a
 b

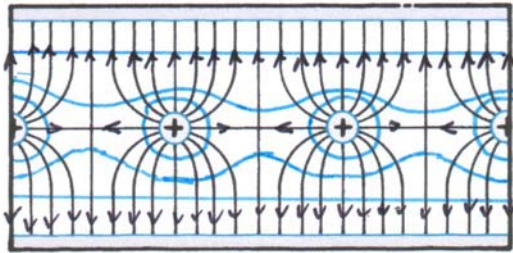


\vec{B} komt het papier uit.

- c¹ $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ -
- c² $F_c = \frac{mv^2}{r}$ invullen geeft: $F_c = 9,7 \cdot 10^{-14} \text{ N}$ 9,7 · 10⁻¹⁴ N
- d $Bev = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow B = \frac{mv}{er}$ invullen geeft: $B = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ 8,3 · 10⁻³ T

Opgaven hoofdstuk 9

30 a
b



-

31 a

Een proton verblijft steeds een halve periode in een buis. $t = \frac{1}{2}T =$

$$t = \frac{1}{2} \cdot T = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{f} = \frac{1}{2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ s} = 25 \text{ ns}$$

25 ns

b

$$\frac{1}{2}mv^2 = 10 \cdot e \cdot 100 \cdot 10^3 \Rightarrow v = 1,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

$1,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$

c

$$l = v \cdot t = 1,4 \cdot 10^7 \cdot 25 \cdot 10^{-9} = 0,35 \text{ m}$$

0,35 m

32 a

De winst aan E_k is 21 eV. Bij 50 mm hoort $\Delta E_k = 100 \text{ eV} \Rightarrow y = \frac{21}{100} 50 = 10,5 \text{ mm}$

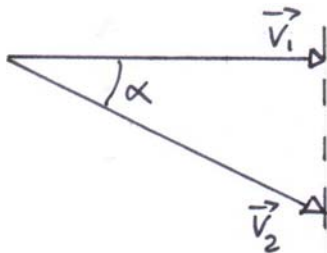
10,5 mm

b¹

$$E_{k,1} : E_{k,2} = 100 : 121 \Rightarrow v_1^2 : v_2^2 = 100 : 121 \Rightarrow v_1 : v_2 = 10 : 11$$

-

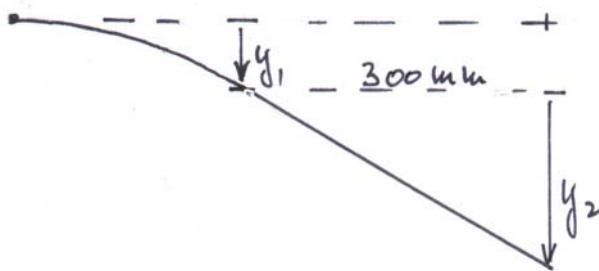
b²



-

$$\cos \alpha = \frac{v_1}{v_2} = \frac{10}{11} = 0,909.. \Rightarrow \alpha = 24,6^\circ = 25^\circ$$

c

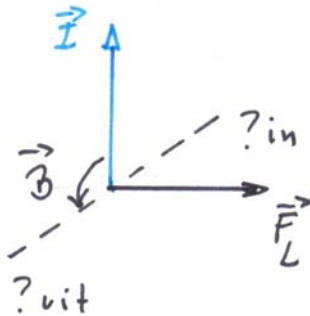


148 mm

De afbuiging y bestaat uit twee delen : y_1 tussen de platen en y_2 daarna.

$$y = y_1 + y_2 = 10,5 + 300 \cdot \tan 24,6^\circ = 10,5 + 137,5 = 148 \text{ mm}$$

33 a



\vec{B} komt het papier uit.

b Bij 0,25 A heb je de meeste elektronen $\Rightarrow B = 0,05 \cdot 0,25 = 1,25 \cdot 10^{-2}$ T
 $r = 2,0$ cm = 0,020 m

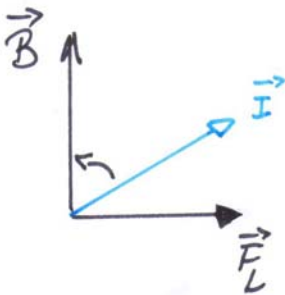
$$Bev = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v = \frac{Ber}{m} \text{ invullen geeft: } v = 4,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

4,4 · 10⁷ m/s

c De snelste elektronen horen bij het sterkste B-veld: $B = 0,05 \cdot 1,00 = 0,05$ T
 Invullen geeft: $v = 1,76 \cdot 10^8$ m/s $\Rightarrow E_k = 1,4 \cdot 10^{-14}$ J = 88 keV
 Eigenlijk moet je U aflezen in de grafiek van p. 212. Je vindt dan 124 keV.

1,4 · 10⁻¹⁴ J
 88 keV

34 a \vec{F}_e wijst omhoog want er de lading is positief en \vec{E} wijst van + naar -.



\vec{F}_L wijst naar rechts.

b¹ In het (y,z)-vlak werkt de elektrische kracht. Dat levert een parabolische baan op.

b² In het (x,y)-vlak werkt de lorentzkracht. Dat levert een stuk van een cirkelbaan op.

c $z = \frac{1}{2}at^2$ met $t = \ell/v$ dus grote v geeft kleine afbuiging z .

$$r = \frac{mv}{Bq} \text{ grote } v \text{ geeft grote } r \text{ dus weinig afbuiging in de x-richting.}$$

De snelste ionen treffen het scherm dus het dichtste bij de oorsprong van het getekende assenstelsel.

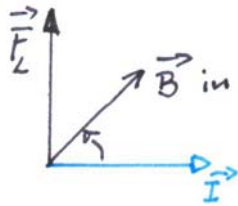
35 a $\frac{1}{2}mv^2 = e \cdot U_1$ Invullen geeft: $U_1 = 3,8$ kV

3,8 kV

b¹ Dan zijn \vec{F}_e en \vec{F}_L tegengesteld gericht en even groot, dus: $eE = Bev \Rightarrow E = Bv$

$$\text{Verder geldt: } E = \frac{U_2}{d} \text{ dus } U_2 = Bvd.$$

b² \vec{B} gaat het papier in; \vec{v} en dus \vec{l} zijn naar rechts gericht, dus \vec{F}_L wijst omhoog.

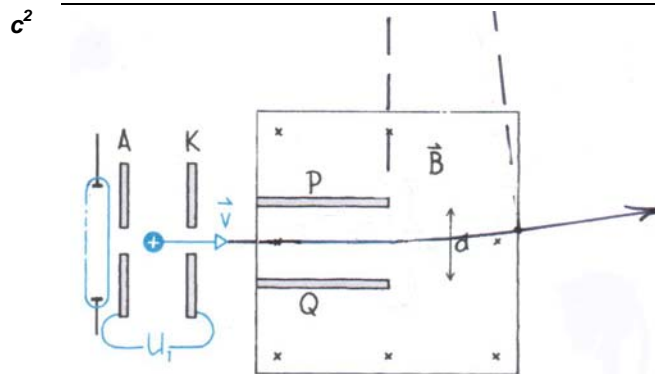


-

\vec{F}_e is dus omlaag gericht; q is positief \Rightarrow P is de positieve plaat.

b³ $U_2 = Bvd = 0,50 \cdot 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ V}$ 5,0 · 10² V

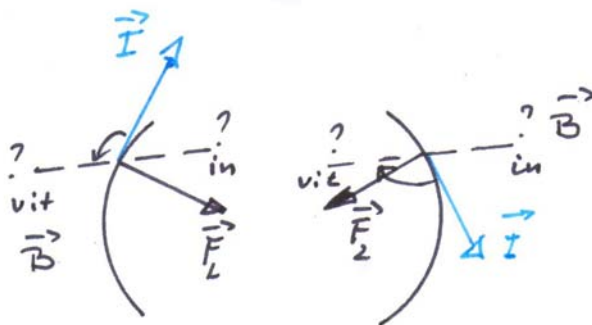
c¹ $r = \frac{mv}{Bq}$ invullen geeft: $r = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 75 \text{ mm}$ 75 mm



-

Het middelpunt van de cirkel ligt op de twee stippelijnen.

36 a Dit is een bovenaanzicht. De vectoren \vec{l} en \vec{F}_L liggen op het papier en \vec{B} staat er loodrecht op. \vec{B} wijst omhoog.



-

b \vec{F}_L staat loodrecht op de magnetische veldlijnen en wijst naar binnen.

Als een ion onder het centrale vlak komt, krijgt \vec{F}_L een component omhoog en als het boven het centrale vlak komt, krijgt \vec{F}_L een component omlaag. Daardoor worden afgedwaalde ionen weer naar het centrale vlak gedreven.

-

c Na vijf passages geldt: $\frac{1}{2}mv^2 = 5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4250 \Rightarrow v = 5,0 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ 5,0 · 10⁵ m/s

d $Bqv = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v = \frac{Bqr}{m}$
 $v = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi r}{\frac{Bqr}{m}} = \frac{2\pi m}{Bq}$ 0,62 μs

Deze tijd hangt dus niet van v en r af. Invullen geeft: $t = \frac{1}{2}T = 0,62 \mu\text{s}$

-
- e¹** Erratum: de horizontale stukken in de grafiek zijn niet correct getekend, ze hadden even lang moeten zijn. -
Deze stukken horen bij de halve cirkels in de elektroden.
-
- e²** De afstand tussen de elektroden verandert niet en v wordt groter. De tijd Δt om over te steken wordt dus steeds korter. -
-
- f** De snelste ionen maken de oversteek bij Q en worden door een wat zwakker veld versneld.
De traagste ionen maken de oversteek bij R en worden door een wat sterker veld versneld. -
Op die manier raken ze weer in de pas met de ionen die precies op tijd zijn.
-

Toets

1 De proef van Millikan

a¹	Invullen geeft: $E = 1,5 \cdot 10^4 \text{ V/m}$	$1,5 \cdot 10^4 \text{ V/m}$
a²	$mg = qE \Rightarrow q = 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ delen door $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ geeft $n = 4$	4
b	F_z wordt $2 \times$ zo groot en F_e blijft gelijk \Rightarrow Er ontstaat een eenparig versnelde beweging omlaag. $\Sigma F = mg = \Sigma m \cdot a = 2m \cdot a \Rightarrow a = \frac{1}{2}g$	$4,9 \text{ m/s}^2$
c	$y_{\text{max}} = 3,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ en $y = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow t < 0,11 \text{ s}$	$< 0,11 \text{ s}$

2 Snijden met elektronen

a	$\frac{1}{2}mv^2 = eU \Rightarrow U = 4,6 \cdot 10^3 \text{ V}$	4,6 kV
----------	---	--------

b¹

-

b²	In het B-veld verandert v niet, dus $4,0 \cdot 10^7 \text{ m/s}$	$4,0 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
----------------------	--	------------------------------

c¹
c²

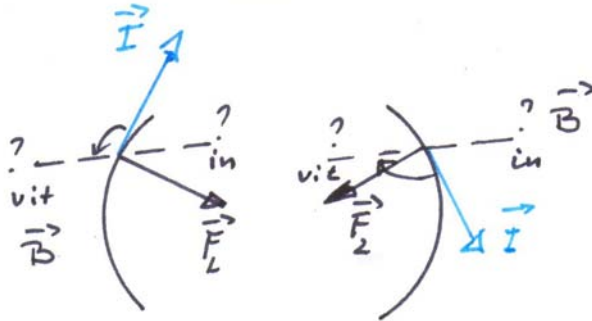
41°

$$Bev = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{Bq} \Rightarrow r = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 23 \text{ mm}$$

$$\sin \alpha = \frac{h}{r} = \frac{15}{23} \Rightarrow \alpha = 41^\circ$$

3 Het cyclotron

- a¹** Dit is een bovenaanzicht. De vectoren \vec{I} en \vec{F}_L liggen op het papier en \vec{B} staat er loodrecht op. \vec{B} wijst omhoog.



- a²** Binnen de elektroden heb je te maken met een kooi van Faraday. Daar is het elektrisch veld nul. -

b¹ $\frac{1}{2}mv^2 = 50 \cdot e \cdot 6,0 \cdot 10^4$ met $m = 1,67262 \cdot 10^{-27}$ kg (tabel 7) $\Rightarrow v = 2,4 \cdot 10^7$ m/s 2,4 · 10⁷ m/s

b² $Bqv = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{Bq}$ invullen geeft: $r = 0,12$ m 0,12 m

c $v = \frac{Bqr}{m}$ en $v = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{Bq} \Rightarrow f = \frac{Bq}{2\pi m}$ -

f hangt dus niet van r en v af; invullen geeft: $f = 1,0 \cdot 10^7$ Hz. Het klopt.