

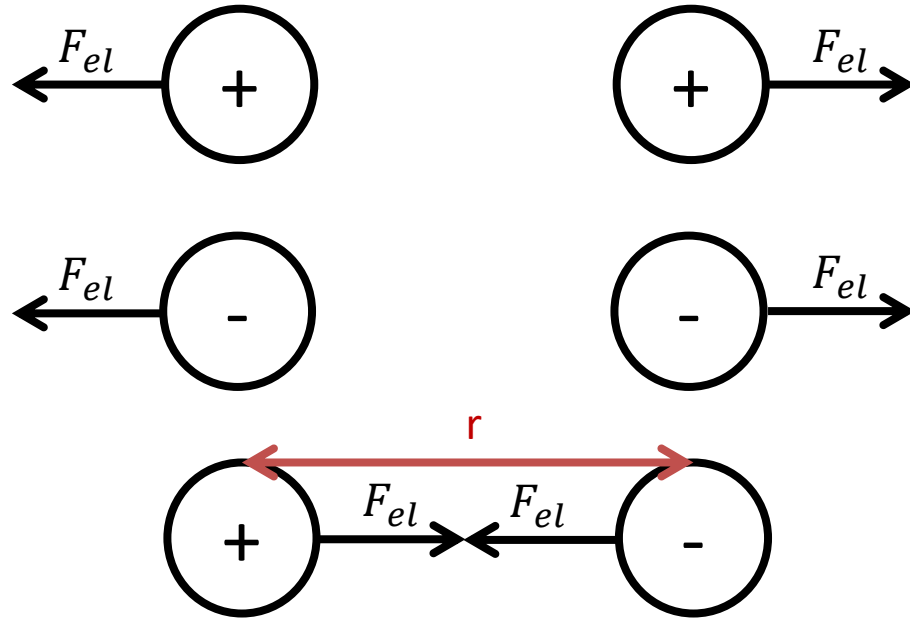
Hoofdstuk 12

Elektrische velden

Gemaakt als toevoeging op methode "Overal Natuurkunde"

12.1 Elektrische kracht en lading

Elektrische krachten





De wet van Coulomb

$$F_{el} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

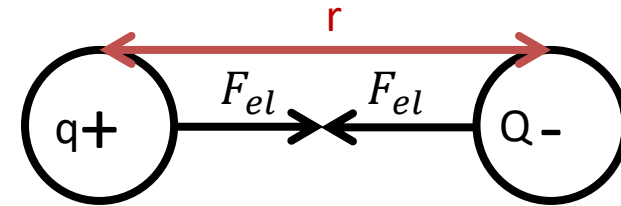
Met:

F_{el} de elektrische kracht tussen twee **puntladingen** in newton (N)

f de constante uit de wet van Coulomb: $8,98755 \cdot 10^9 N m^2 C^{-2}$

q en Q de ladingen in coulomb (C)

r de afstand tussen twee puntladingen in meter (m)



Lading

Lading bestaat uit meerdere elektronen, een elektron heeft een lading van $1,60218 \cdot 10^{-19} C$.

De lading is hier dus altijd een veelvoud van.



10 seconden vraag

Als twee positieve puntladingen 2x zo ver van elkaar af staan, dan ...

- A. is de afstotende kracht twee keer zo groot.
- B. is de afstotende kracht vier keer zo groot.
- C. is de afstotende kracht twee keer zo klein.
-  D. is de afstotende kracht vier keer zo klein.

$$F_{el} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

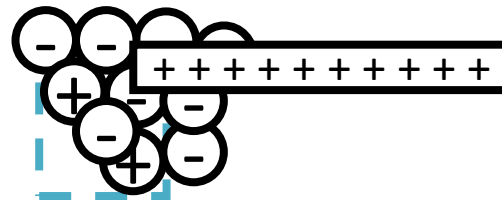
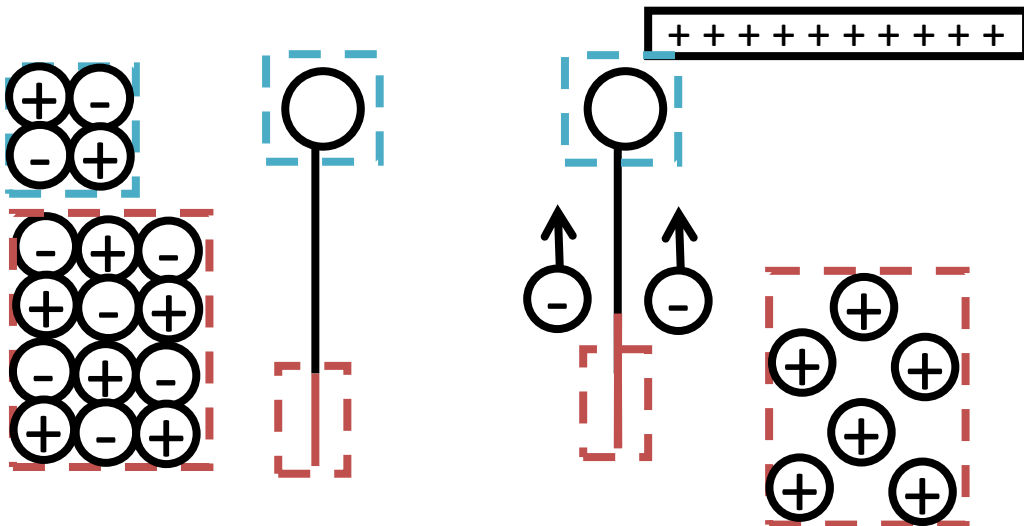
10



Elektrische influentie

=Het verschijnsel dat de lading in een voorwerp verandert, omdat er een geladen voorwerp in de buurt is.

Voorbeeld: de elektroscoop

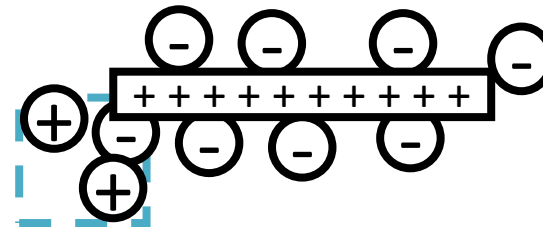
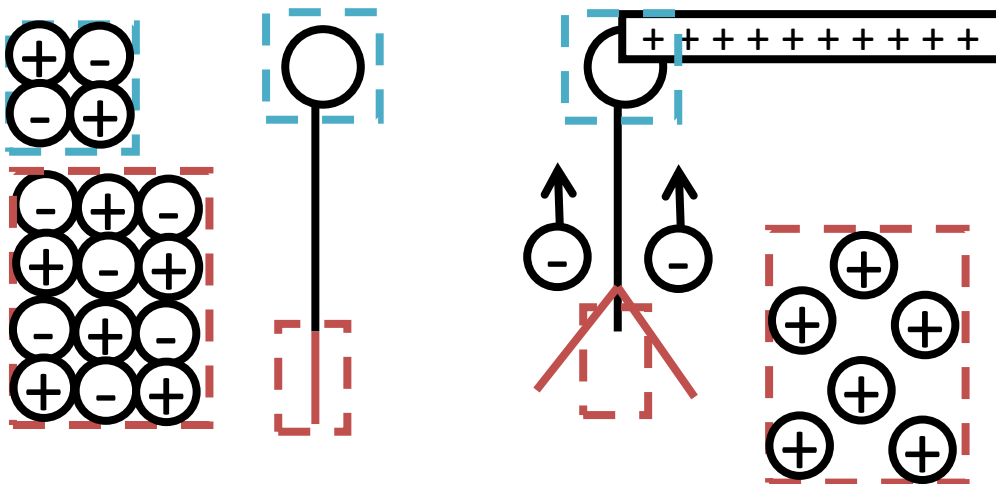




Elektrische influentie

=Het verschijnsel dat de lading in een voorwerp verandert, omdat er een geladen voorwerp in de buurt is.

Voorbeeld: de electroscoop



De electroscoop houd nu een positieve lading!



Wat heb je geleerd?

- Je kent de wet van Coulomb en kunt hiermee rekenen.
- Je weet wat elektrische influentie is.
- Je kunt uitleggen hoe een elektroscop werkt.

Hoofdstuk 12

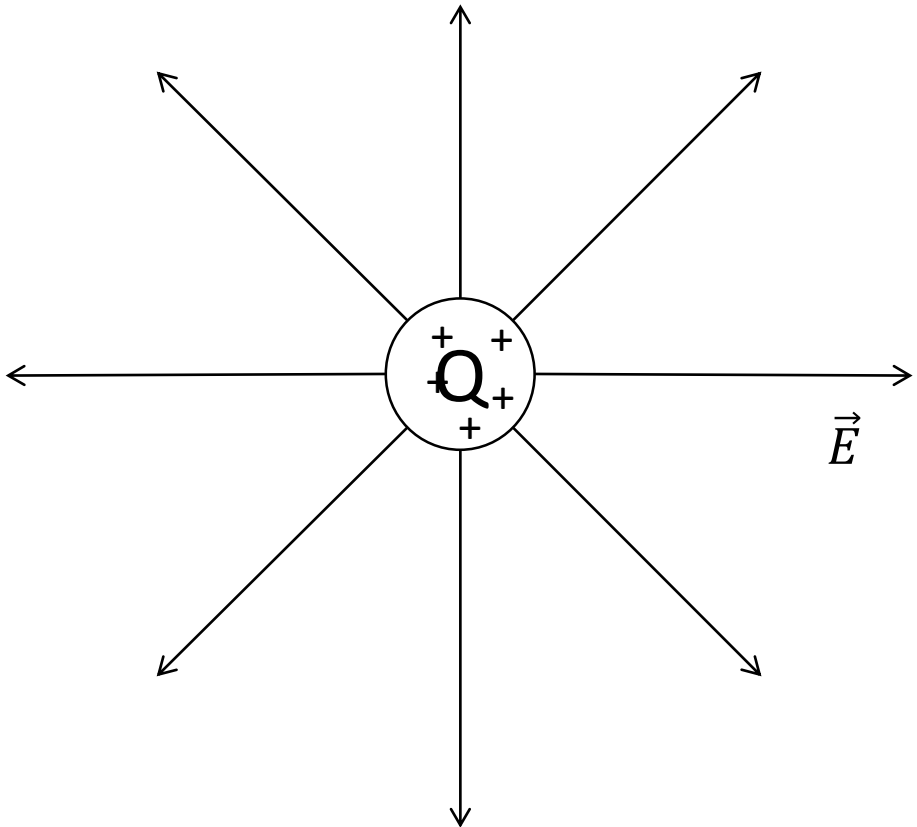
Elektrische velden

Gemaakt als toevoeging op methode "Overal Natuurkunde"

12.2 Elektrisch veld



Elektrische veld \vec{E}



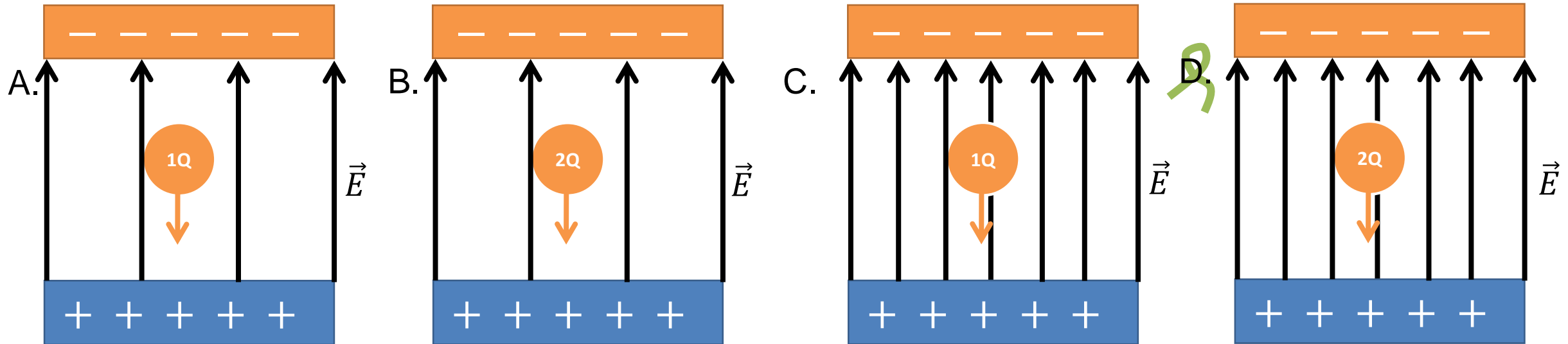
Elektrische veldlijnen:

- Geven in elk punt de richting van de kracht weer op een positieve (proef)lading
- Gaan van + naar –
- Als er veel veldlijnen bij elkaar zijn is het veld sterk en F_{el} groot
- Snijden elkaar nooit
- Staan altijd loodrecht op de geleiders.




10 seconden vraag

In welk van de onderstaande tekeningen is de elektrische kracht het grootst?



10

Elektrische veldsterkte

$$F_{el} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$


$$\vec{E}_p = \frac{\vec{F}_{el,p}}{q} = \frac{f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}}{q} = \frac{f \cdot Q}{r^2}$$

Met:

\vec{E}_p de elektrische veldsterkte in punt P in newton per coulomb (N/C)

$\vec{F}_{el,p}$ de grootte van de elektrische kracht die in punt P op de testlading werkt in newton (N)

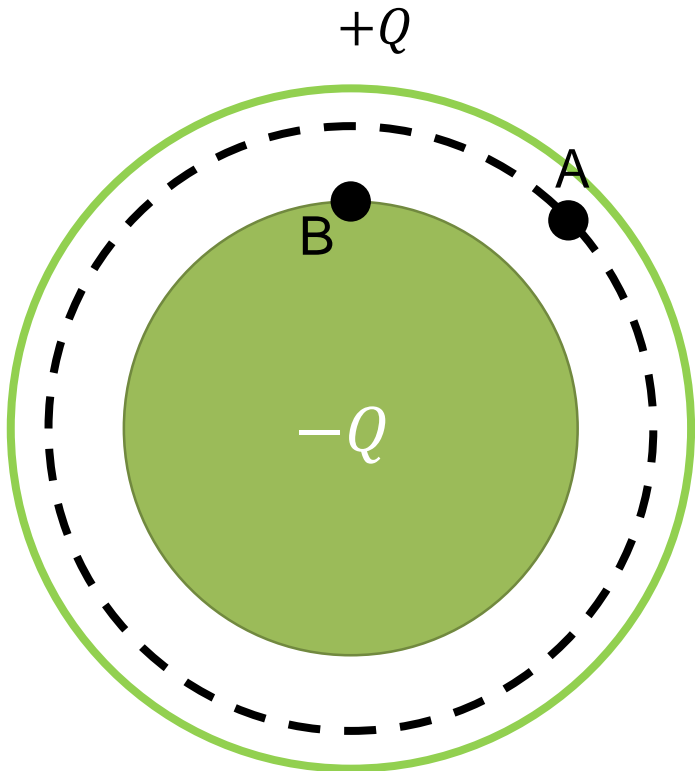
q de grootte van de testlading in coulomb (C)

Voor puntladingen, maar ook
radiale velden als $r \geq R_{bol}$



Rekenvoorbeeld veldlijnen bij aarde

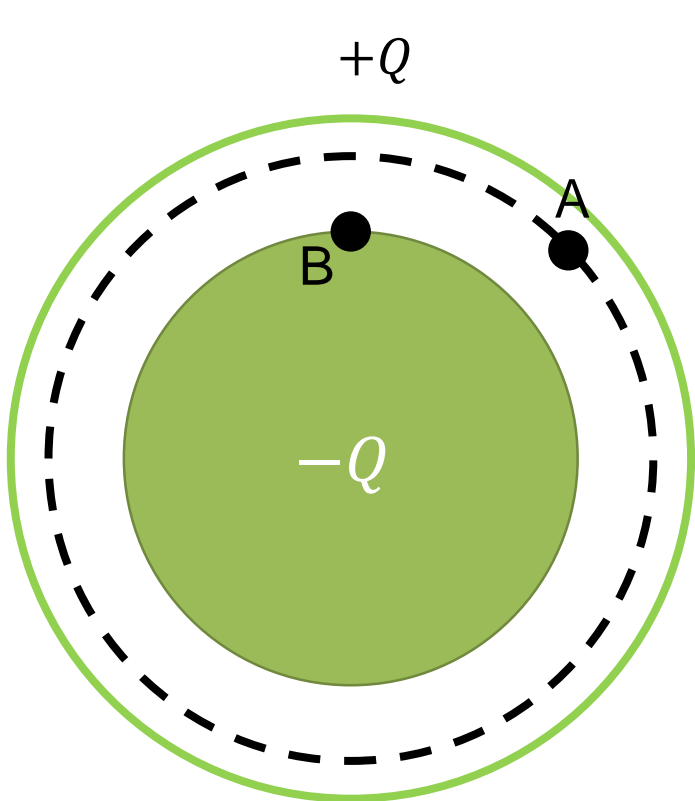
Hieronder is de aarde geschetst met lading $-Q$ getekend met punt B op het oppervlak van de bol en een isolerende luchtlaag met punt A 70km erboven. Buiten de aarde zit een bol met lading $+Q$. In punt B is de elektrische veldsterkte 140N/C . Bereken de elektrische veldsterkte in punt A.





Uitwerking rekenvoorbeeld veldlijnen bij aarde

Hieronder is de aarde geschetst met lading $-Q$ getekend met punt B op het oppervlak van de bol en een isolerende luchtlaag met punt A 70km erboven. Buiten de aarde zit een bol met lading $+Q$. In punt B is de elektrische veldsterkte 140N/C . Bereken de elektrische veldsterkte in punt A.



$$\vec{E} \sim \frac{N}{A}$$

Met:

N het aantal veldlijnen

A de oppervlakte waardoor alle veldlijnen gaan

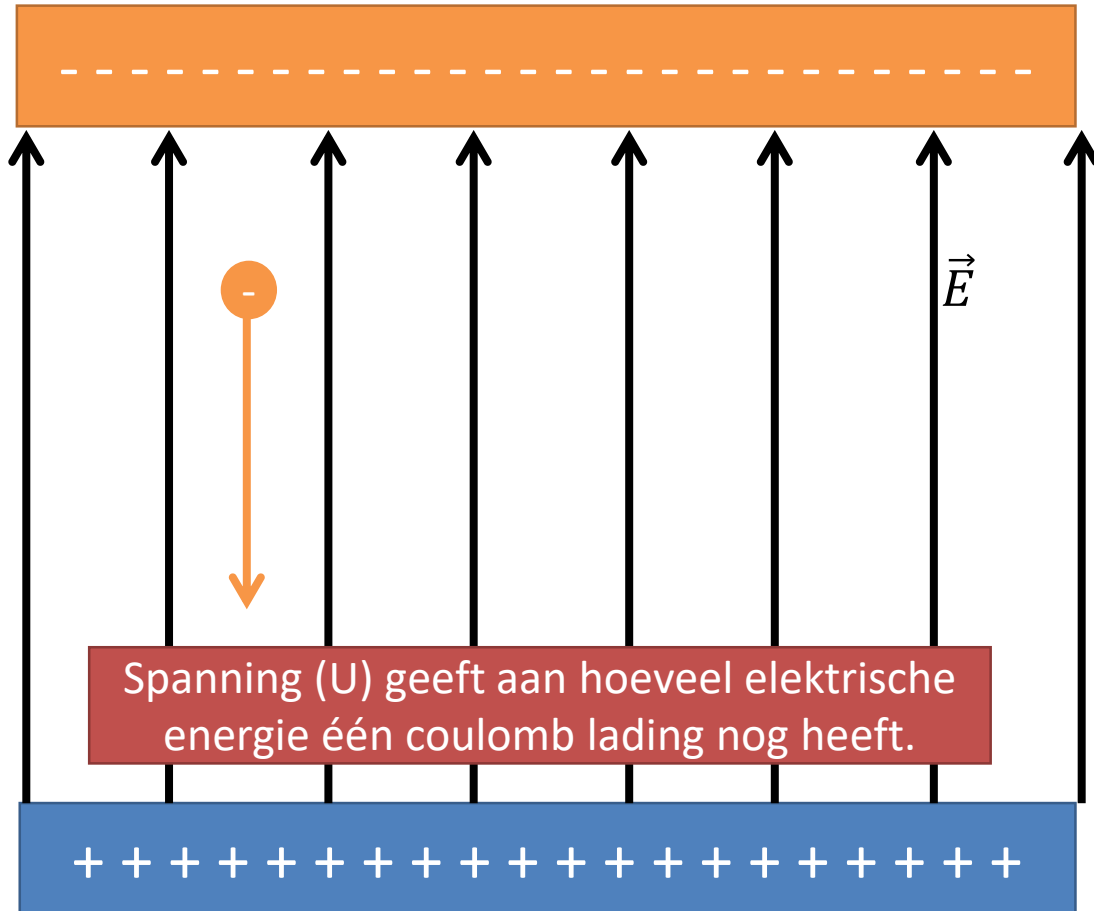
$$\vec{E}_B \sim \frac{N}{4\pi r_B^2} \quad \vec{E}_A \sim \frac{N}{4\pi r_A^2}$$

$$\frac{E_A}{E_B} = \frac{4\pi r_A^2}{4\pi r_B^2} = \frac{r_B^2}{r_A^2}$$

$$\vec{E}_A = \vec{E}_B \cdot \frac{r_B^2}{r_A^2} = 140 \cdot \left(\frac{6,371}{6,441} \right)^2 \approx 137\text{N/C}$$

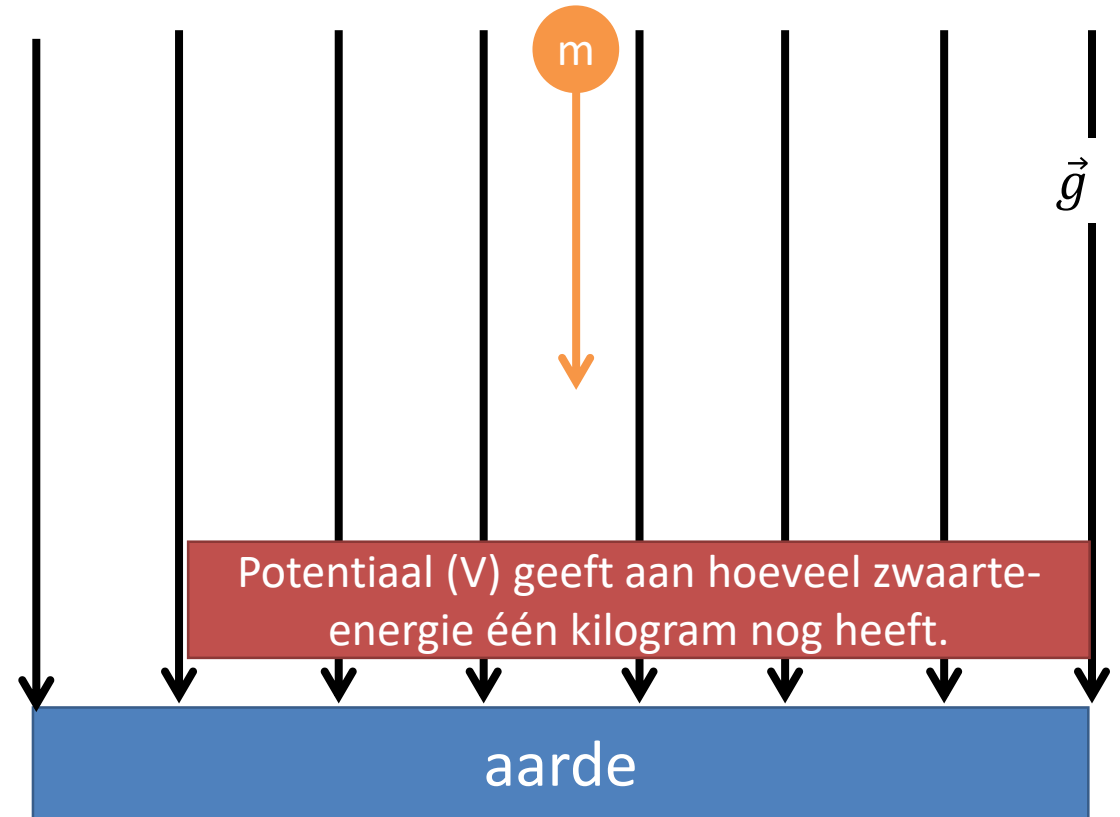


Elektrische kracht versus zwaartekracht



$$\vec{F}_{el} = \vec{E} \cdot q \quad \Delta E_{el} = -W_{el}$$

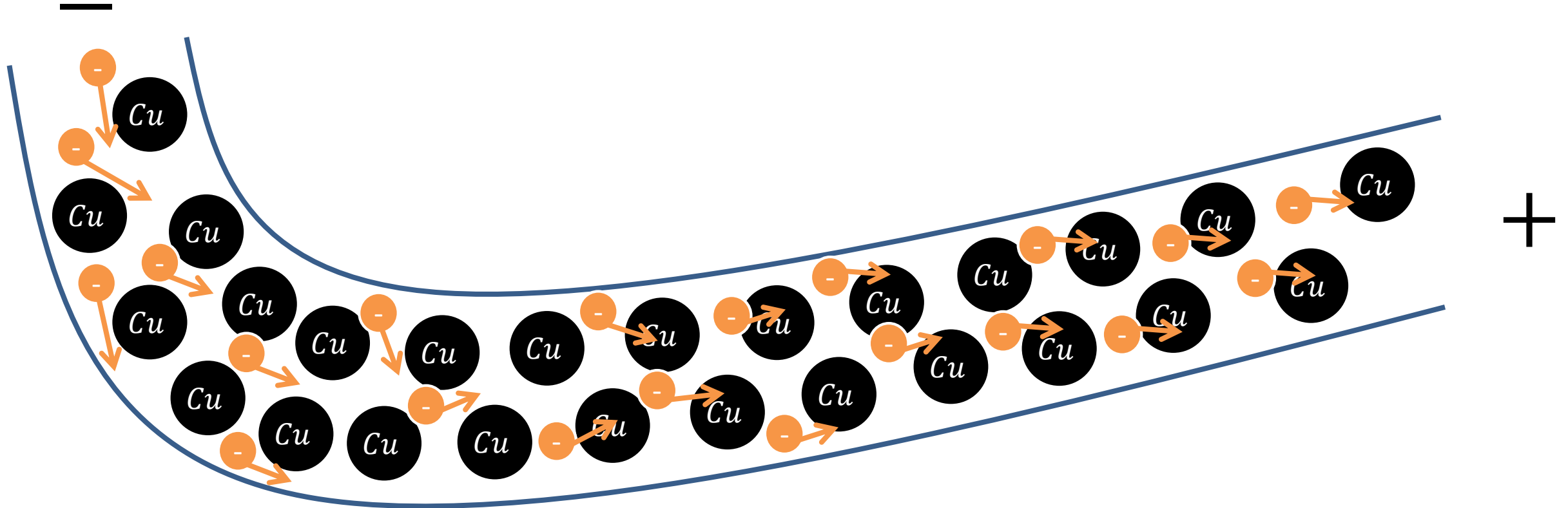
$$W_{el} = \vec{F}_{el} \cdot \vec{s} \quad \Delta U = \frac{\Delta E_{el}}{q}$$



$$\vec{F}_z = m \cdot \vec{g} \quad \Delta E_z = -W_z$$

$$W_z = \vec{F}_z \cdot \vec{s} \quad \Delta V = \frac{\Delta E_z}{m} = gh$$

Elektrisch veld in een stroomdraad





Wat heb je geleerd?

- Je weet wat een elektrisch veld en elektrische veldsterkte is.
- Je kunt de elektrische veldsterkte en elektrische kracht uitrekenen.
- Je kunt de elektrische veldlijnen tekenen en herkennen waar een veld het sterkst is.
- Je weet dat spanning een maat is voor de elektrische energie die een lading heeft.

Hoofdstuk 12

Elektrische velden

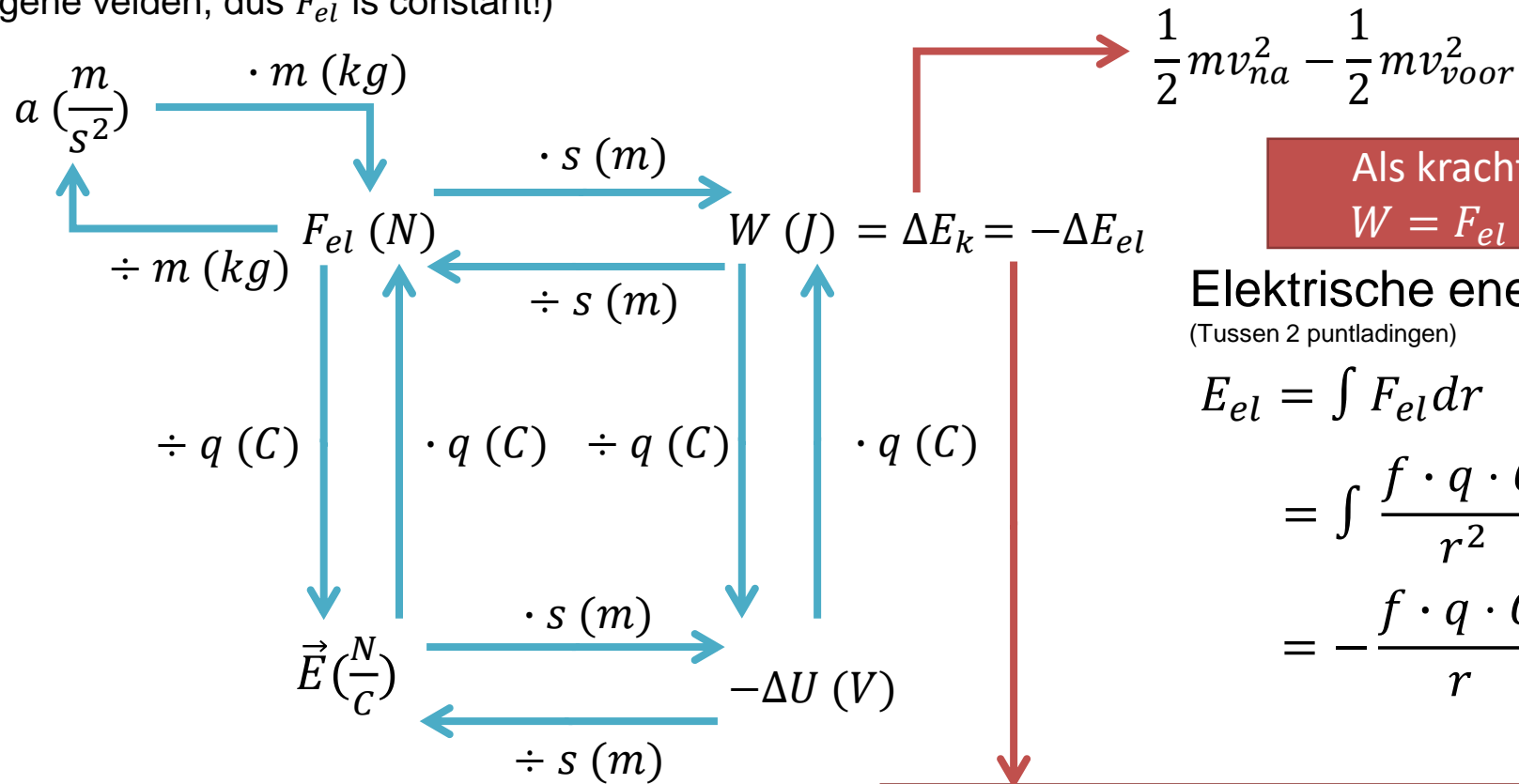
Gemaakt als toevoeging op methode "Overal Natuurkunde"



12.3 Elektrische energie en spanning

Samenvatting van alle formules dit hoofdstuk

(homogene velden, dus F_{el} is constant!)



$$\frac{1}{2}mv_{na}^2 - \frac{1}{2}mv_{voor}^2$$

Als kracht niet constant is, geldt $W = F_{el} \cdot s$ niet! → integreren!

Elektrische energie
(Tussen 2 puntladingen)

$$E_{el} = \int F_{el} dr$$

$$= \int \frac{f \cdot q \cdot Q}{r^2} dr$$

$$= -\frac{f \cdot q \cdot Q}{r}$$

Gravitatie energie

$$E_g = \int F_g dr$$

$$= \int \frac{G \cdot m \cdot M}{r^2} dr$$

$$= -\frac{G \cdot m \cdot M}{r}$$

Toename kinetische energie is gelijk aan de afname elektrische energie.



Rekenvoorbeeld homogeen veld

= Een veld dat overal even sterk is.

- 1) Teken het elektrische veld.
- 2) Teken de kracht die werkt op het positron en het elektron.

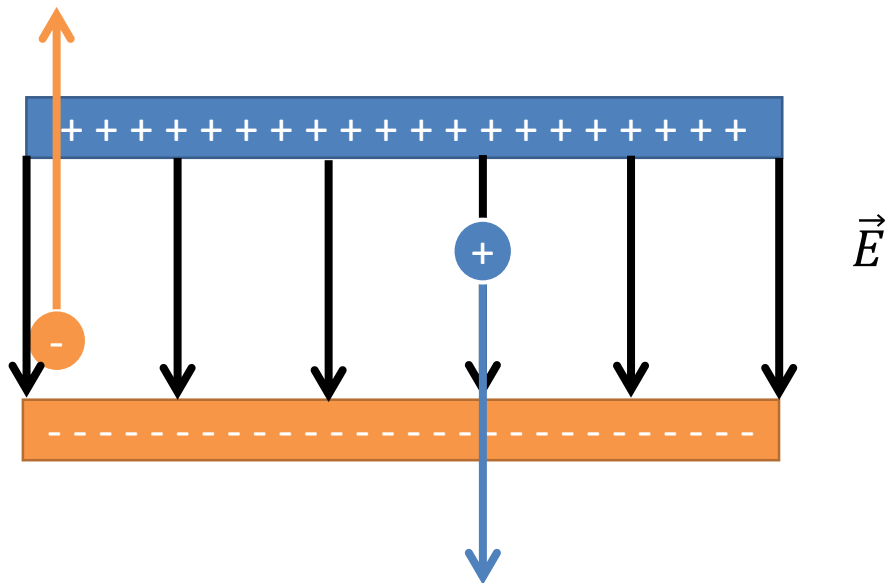




Uitwerking rekenvoorbeeld homogeen veld

= Een veld dat overal even sterk is.

- 1) Teken het elektrische veld.
- 2) Teken de kracht die werkt op het positron en het elektron.

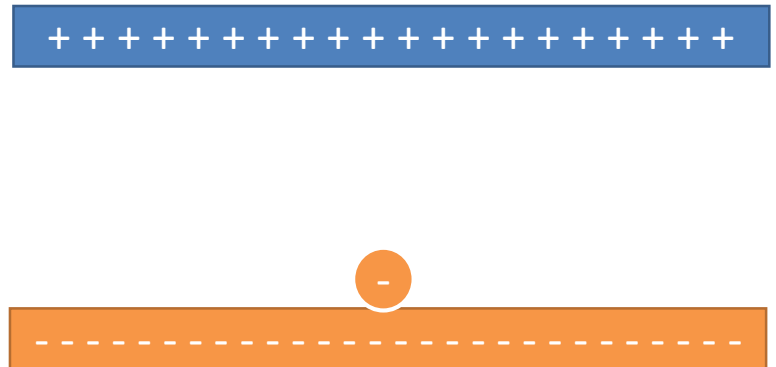




Rekenvoorbeeld condensator

Een elektron bevindt zich tussen 2 condensatorplaten en ondervindt daarin een kracht van $2,0 \cdot 10^{-15} \text{ N}$. De condensatorplaten staan 4,0cm van elkaar af.

- Bereken de elektrische veldsterkte.
- Bereken de versnelling die het elektron ondervindt.
- Bereken de arbeid die de elektrische kracht verricht als het elektron van de negatieve plaat oversteeft naar de positieve plaat.
- Bereken de snelheid waarmee het elektron de positieve plaat bereikt.
- Bereken de oversteektijd.
- Bereken de spanning.
- Bereken de elektrische veldsterkte.





Uitwerking rekenvoorbeeld condensator

Een elektron bevindt zich tussen 2 condensatorplaten en ondervindt daarin een kracht van $2,0 \cdot 10^{-15} \text{ N}$. De condensatorplaten staan 4,0cm van elkaar af.

a) Bereken de elektrische veldsterkte.

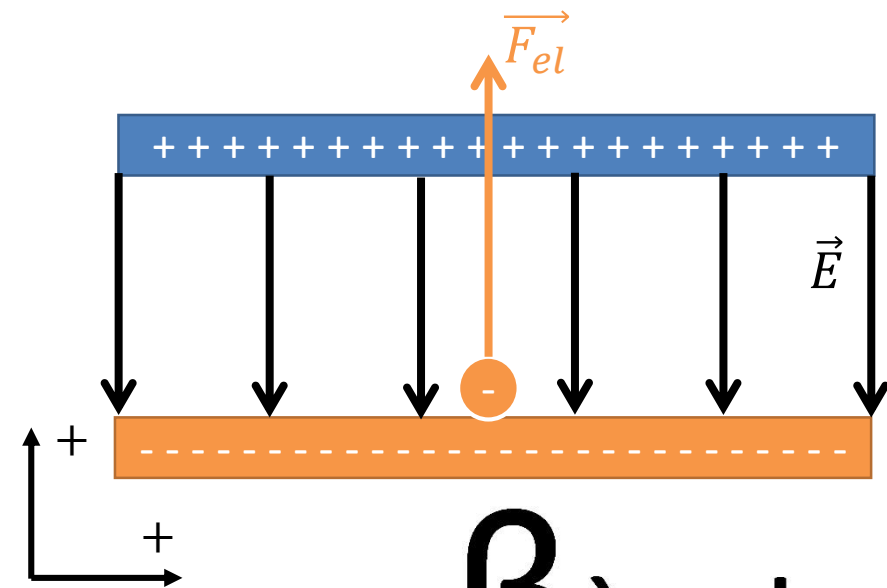
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q} = \frac{2,0 \cdot 10^{-15}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 1,3 \cdot 10^4 \text{ NC}^{-1}$$

b) Bereken de versnelling die het elektron ondervindt.

$$F_{el} = m \cdot a$$

$$2,0 \cdot 10^{-15} = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot a$$

$$a = 2,2 \cdot 10^{15} \text{ ms}^{-2}$$





Uitwerking rekenvoorbeeld condensator

Een elektron bevindt zich tussen 2 condensatorplaten en ondervindt daarin een kracht van $2,0 \cdot 10^{-15} \text{ N}$. De condensatorplaten staan 4,0cm van elkaar af.

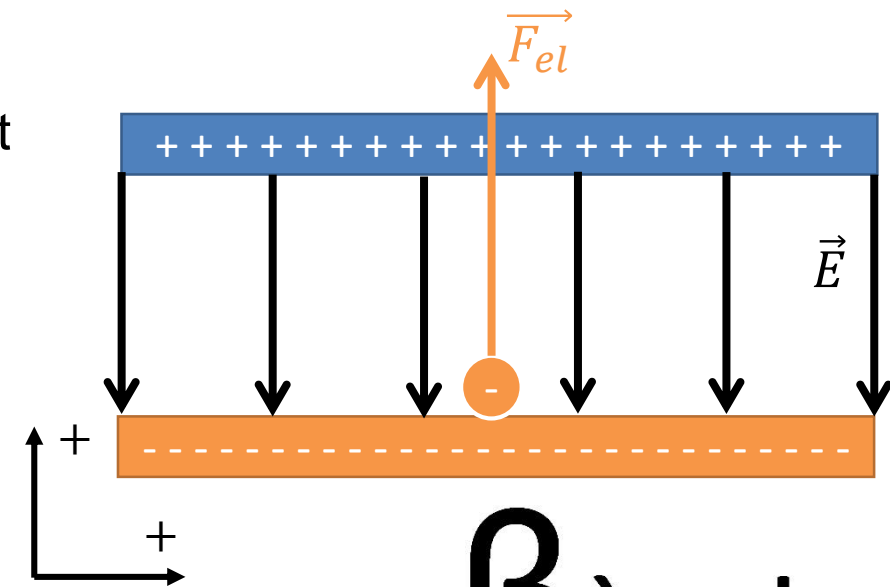
- c) Bereken de arbeid die de elektrische kracht verricht als het elektron van de negatieve plaat oversteeft naar de positieve plaat.

$$\begin{aligned} W &= F \cdot s \cdot \cos(\alpha) \\ &= 2,0 \cdot 10^{15} \cdot 4,0 \cdot 10^{-2} \cdot \cos(0) \\ &= 8,0 \cdot 10^{-17} \text{ J} \end{aligned}$$

- d) Bereken de snelheid waarmee het elektron de positieve plaat bereikt.

$$\begin{aligned} W &= \Delta E_k \\ 8,0 \cdot 10^{-17} &= \frac{1}{2} m v_{na}^2 - \frac{1}{2} m v_{voor}^2 \\ 8,0 \cdot 10^{-17} &= \frac{1}{2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} v_{na}^2 - 0 \\ v_{na} &= 1,3 \cdot 10^4 \text{ km s}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{E} &= 1,3 \cdot 10^4 \text{ N/C} \\ a &= 2,2 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$





Uitwerking rekenvoorbeeld condensator

Een elektron bevindt zich tussen 2 condensatorplaten en ondervindt daarin een kracht van $2,0 \cdot 10^{-15} \text{ N}$. De condensatorplaten staan 4,0cm van elkaar af.

e) Bereken de oversteektijd.

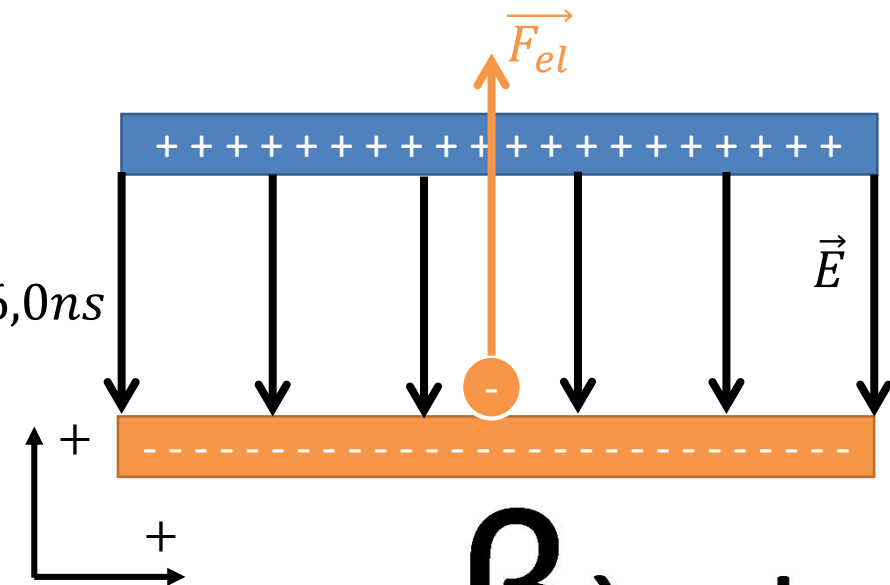
$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{1,3 \cdot 10^7}{2,2 \cdot 10^{15}} = 6,0 \cdot 10^{-9} = 6,0 \text{ ns}$$

$$s = \frac{1}{2} at^2 \quad t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,04}{2,2 \cdot 10^{15}}} = 6,0 \cdot 10^{-9} = 6,0 \text{ ns}$$

$$v_{gem} = \frac{v_{eind} + v_{begin}}{2} \quad t = \frac{s}{v_{gem}} = \frac{0,04}{6,5 \cdot 10^6} = 6,0 \cdot 10^{-9} = 6,0 \text{ ns}$$

$$v_{gem} = \frac{1,3 \cdot 10^7 + 0}{2} = 6,5 \cdot 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \vec{E} &= 1,3 \cdot 10^4 \text{ N/C} \\ a &= 2,2 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2 \\ W &= 8,0 \cdot 10^{-17} \text{ J} \\ v_{na} &= 1,3 \cdot 10^4 \text{ km/s} \end{aligned}$$





Uitwerking rekenvoorbeeld condensator

Een elektron bevindt zich tussen 2 condensatorplaten en ondervindt daarin een kracht van $2,0 \cdot 10^{-15} \text{ N}$. De condensatorplaten staan 4,0cm van elkaar af.

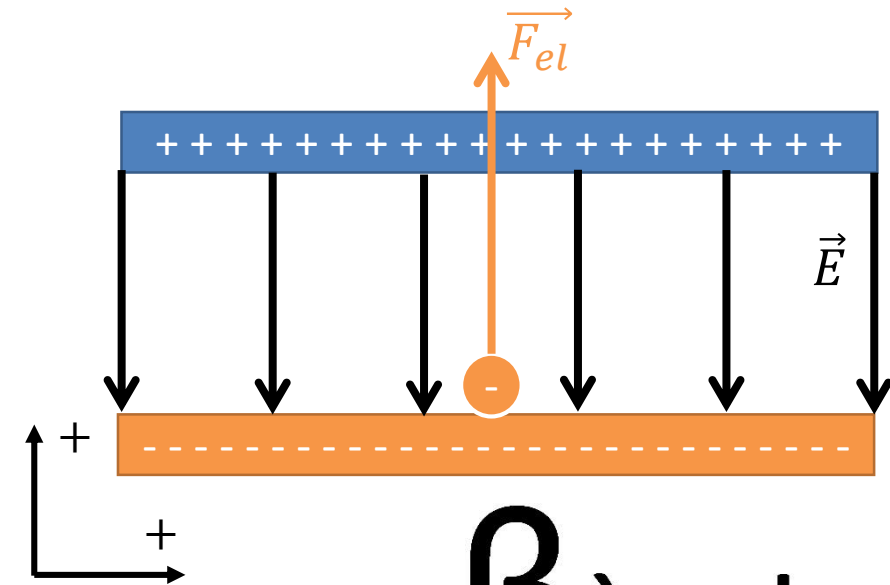
f) Bereken de spanning.

$$-\Delta U = \frac{W}{q} = \frac{8,0 \cdot 10^{-17}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 500 \quad \Delta U = -5,0 \cdot 10^2 \text{ V}$$

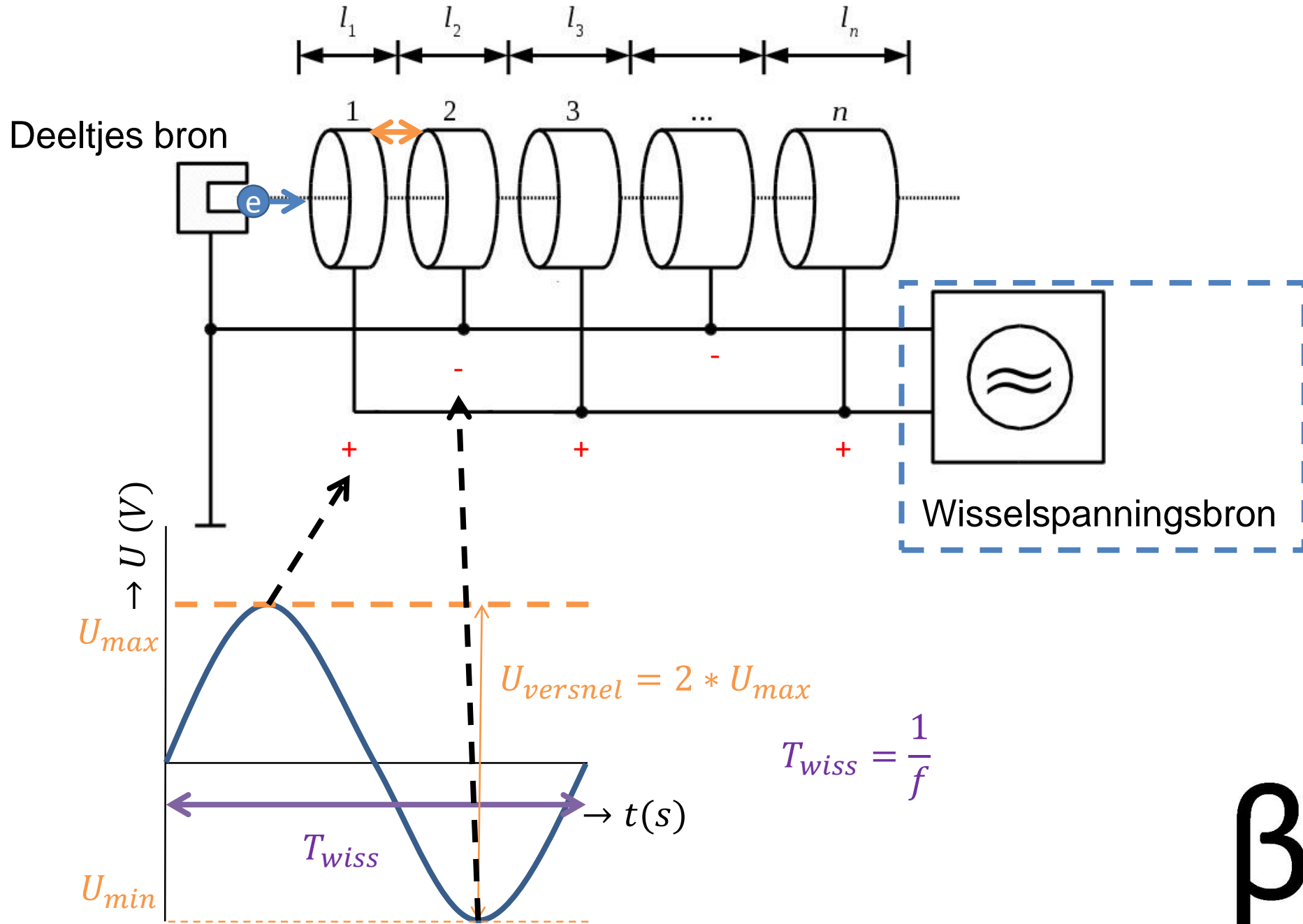
g) Bereken de elektrische veldsterkte.

$$\vec{E} = \frac{F_{el}}{q} = \frac{-\Delta U}{s} = \frac{500}{0,04} = 1,3 \cdot 10^4 \text{ V m}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \vec{E} &= 1,3 \cdot 10^4 \text{ N/C} \\ a &= 2,2 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2 \\ W &= 8,0 \cdot 10^{-17} \text{ J} \\ v_{na} &= 1,3 \cdot 10^4 \text{ km/s} \\ \Delta t &= 6,0 \text{ ns} \end{aligned}$$



Linac






10 seconden vraag

Hoelang bevindt een elektron zich in één buisje in de Linac?

A. $0,2T_{wiss}$

 B. $0,5T_{wiss}$

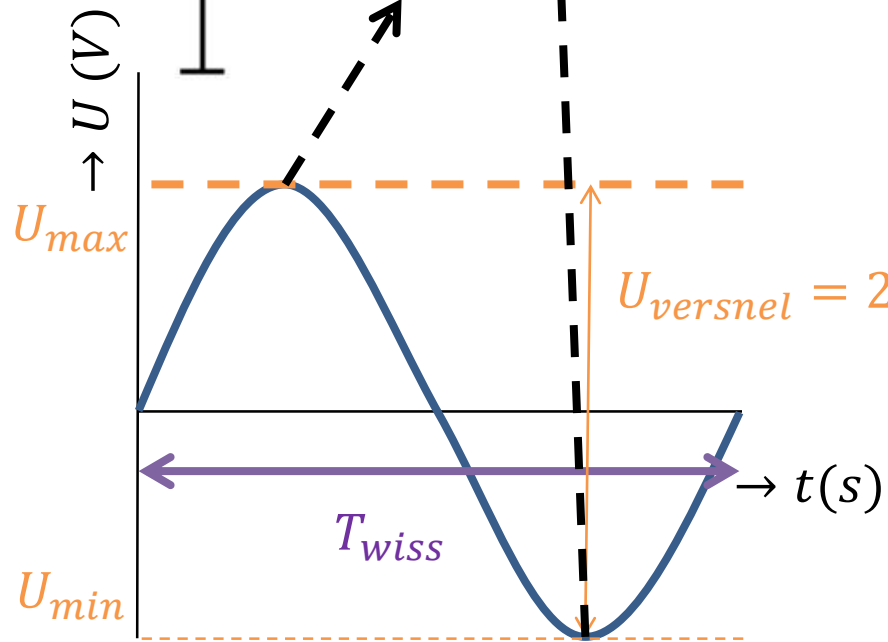
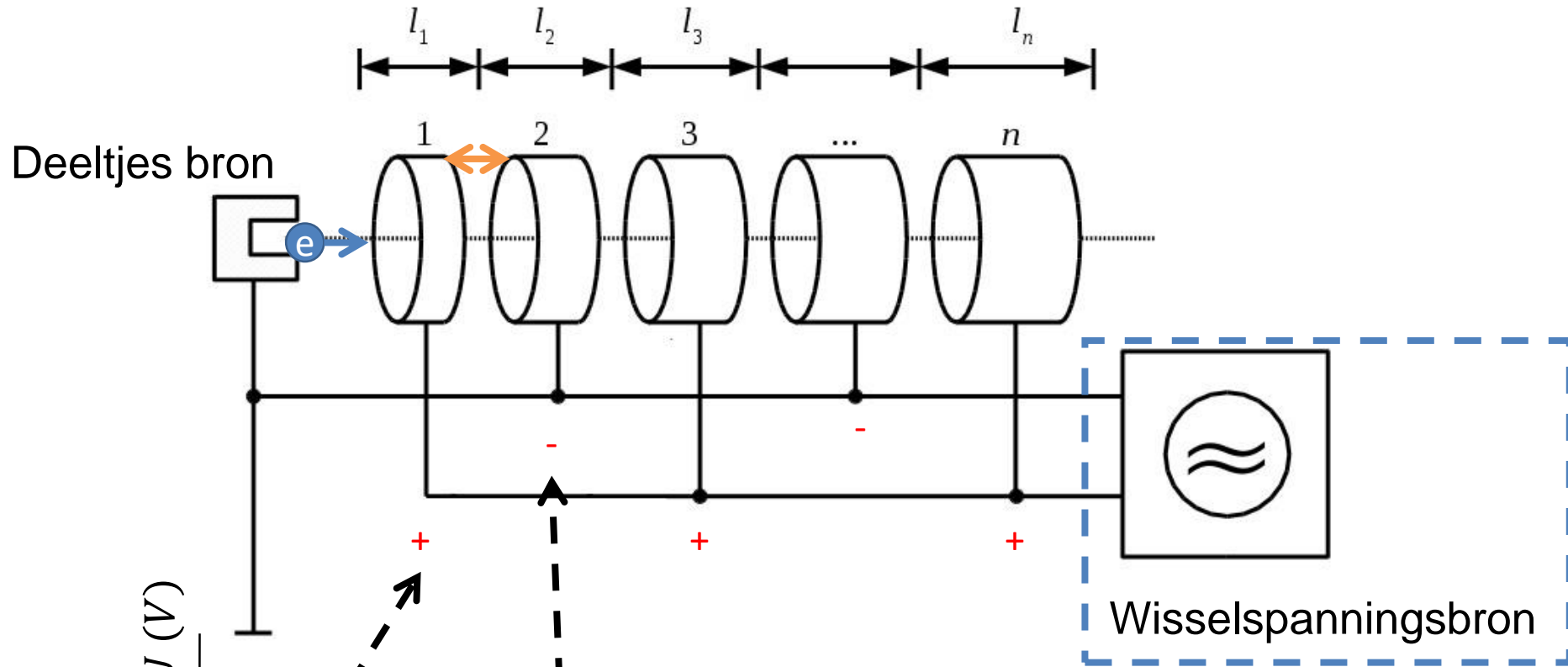
C. $0,8T_{wiss}$

D. T_{wiss}

E. Dat verschilt per buisje.

10

Linac



$$T_{wiss} = \frac{1}{f}$$

De doorlooptijd, ofwel de tijd dat het deeltje in het buisje zit, is gelijk aan $\frac{1}{2} T_{wiss}$



Rekenvoorbeeld Linac

Een Linac werkt met een wisselspanningsfrequentie van 40MHz en een U_{max} van 200kV. Met de Linac wil men protonen versnellen tot 80% van de lichtsnelheid.

- a) Bereken hoeveel elektroden (=buisjes) de Linac daarvoor moet hebben.
- b) De lengte van de laatste buis.
- c) De totale doorlooptijd.
- d) Schets het (E_k, t) -diagram van een proton
- e) Schets het (v, t) -diagram van een proton



Uitwerking rekenvoorbeeld Linac

Een Linac werkt met een wisselspanningsfrequentie van 40MHz en een U_{max} van 200kV. Met de Linac wil men protonen versnellen tot 80% van de lichtsnelheid.

a) Bereken hoeveel elektroden (=buisjes) de Linac daarvoor moet hebben.

$$v = 0,80c = 0,80 \cdot 3,0 \cdot 10^8 = 2,4 \cdot 10^8 m/s$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot (2,4 \cdot 10^8)^2 = 4,8 \cdot 10^{-11} J$$

$$E_k = \frac{4,8 \cdot 10^{-11}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 3,0 \cdot 10^8 \text{ Ev, ofwel } 3,0 \cdot 10^2 \text{ MeV}$$

$$\Delta U = \frac{-\Delta E_k}{q} = -3,0 \cdot 10^2 \text{ MV}$$

Het aantal elektroden is nu te berekenen met:

$$\frac{U}{U_{versnel}} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{2 \cdot 200 \cdot 10^3} = 750 = 7,5 \cdot 10^2 \text{ stuks}$$



Uitwerking rekenvoorbeeld Linac

Een Linac werkt met een wisselspanningsfrequentie van 40MHz en een U_{max} van 200kV. Met de Linac wil men protonen versnellen tot 80% van de lichtsnelheid.

b) De lengte van de laatste buis.

$$s_{laatste} = v_{eind} \cdot t_{doorloop} \quad t_{doorloop} = \frac{1}{2} T_{wiss}$$

$$s_{laatste} = 2,4 \cdot 10^8 \cdot 1,25 \cdot 10^{-8}$$

$$s_{laatste} = 2,9\text{m}$$

$$T_{wiss} = \frac{1}{f} = \frac{1}{4,0 \cdot 10^7} = 2,5 \cdot 10^{-8}\text{s}$$

c) De totale doorlooptijd

$$t_{tot} = N_{buisjes} \cdot t_{doorloop}$$

$$t_{tot} = 750 \cdot 1,25 \cdot 10^{-8}$$

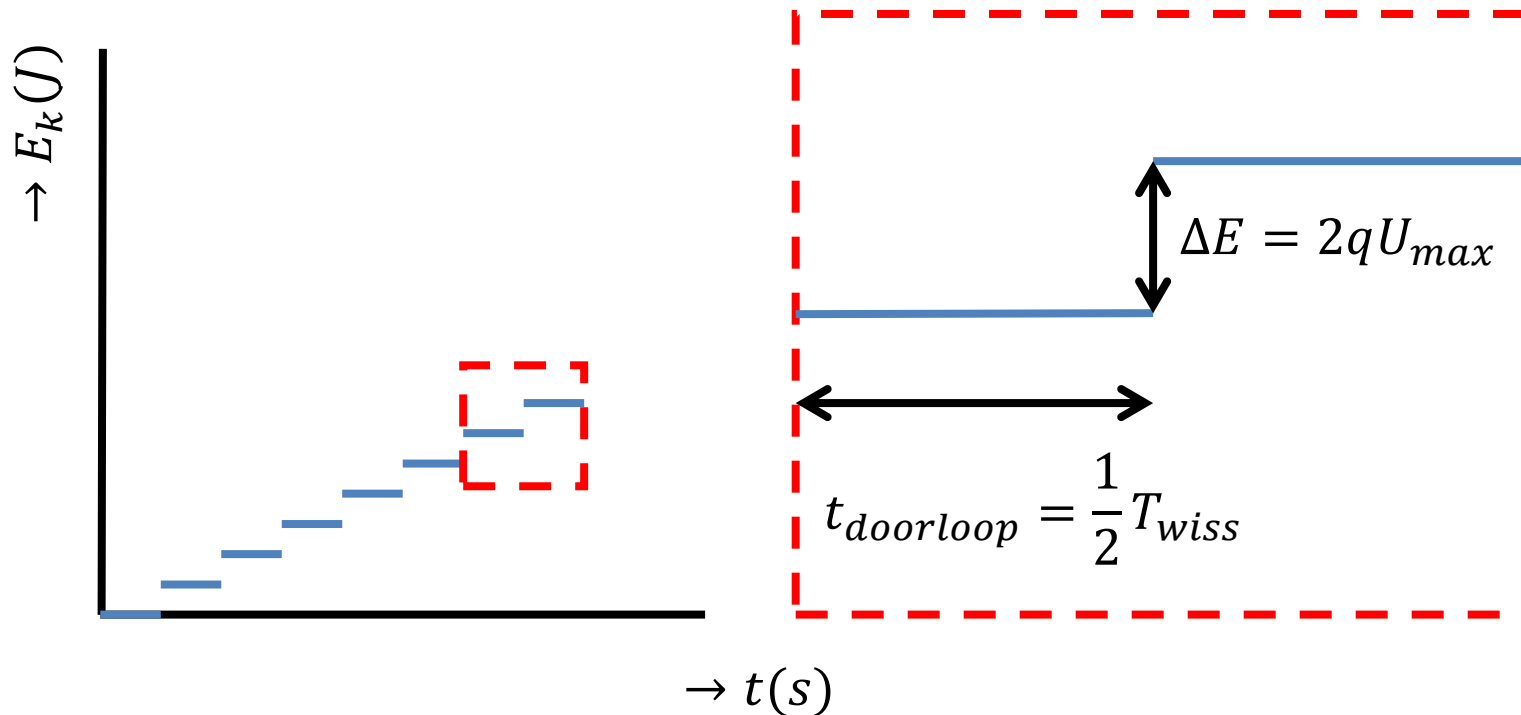
$$t_{tot} = 9,4\mu\text{s}$$



Uitwerking rekenvoorbeeld Linac

Een Linac werkt met een wisselspanningsfrequentie van 40MHz en een U_{max} van 200kV. Met de Linac wil men protonen versnellen tot 80% van de lichtsnelheid.

- d) Schets het (E_k, t) -diagram van een proton
- e) Schets het (v, t) -diagram van een proton

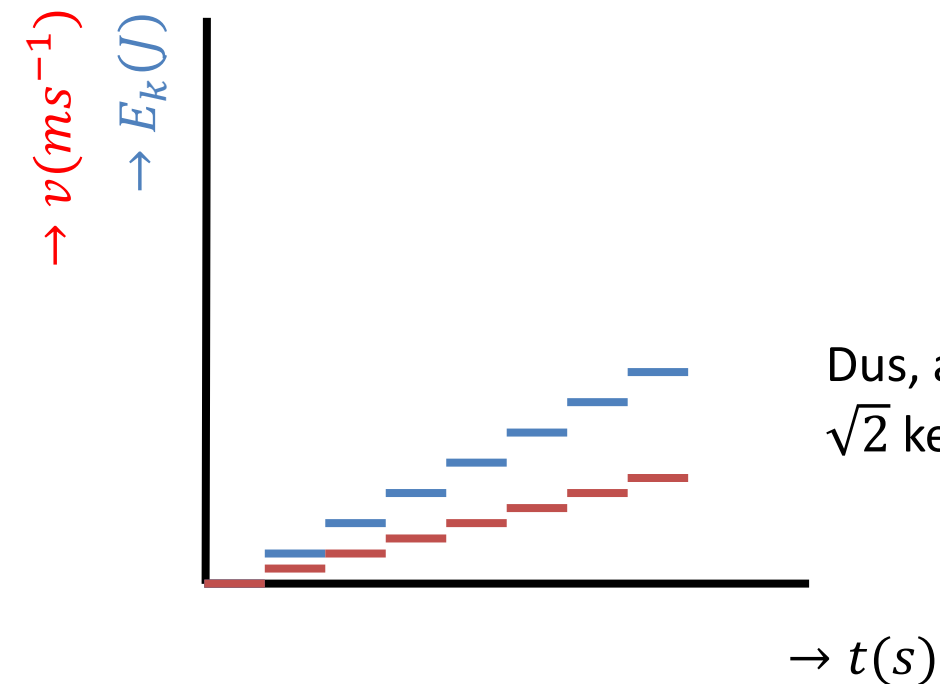




Uitwerking rekenvoorbeeld Linac

Een Linac werkt met een wisselspanningsfrequentie van 40MHz en een U_{max} van 200kV. Met de Linac wil men protonen versnellen tot 80% van de lichtsnelheid.

- d) Schets het (E_k, t) -diagram van een proton
- e) Schets het (v, t) -diagram van een proton



$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m v^2 = 2qU_{max}$$

$$\Delta E_k \sim v^2$$

Dus, als E_k 2x zo groot wordt, wordt v $\sqrt{2}$ keer zo groot.



Wat heb je geleerd?

- Je kunt de analogie tussen zwaarte energie en elektrische energie uitleggen.
- Je kent alle formules van dit hoofdstuk.
- Je kunt uitleggen hoe een lineaire versneller werkt en hieraan rekenen.

Lees zelf door hoe de röntgenbuis werkt!