

---

Opgave 1

---

Ja. Benjamin Franklin koos ervoor de lading op glas positief te noemen, andere materialen zoals hars, waarmee je de glaslading kon neutraliseren, noemde hij negatief. Dit was willekeurig. Had hij de lading op het glas negatief genoemd dan was het elektron nu positief geweest.

---

Opgave 2

---

In een vlam komen ionen voor. Verbranding is een chemische reactie. De bindende elektronen blijven daarbij niet op hun plaats. Door de vrije lading is een vlam een goede geleider en kan gemakkelijk statische lading verplaatsen.

De vlamionisatiedetector (FID) in een gaschromatograaf maakt hier gebruik van.

---

Opgave 3

---

Neutraal. De totale lading moet nul zijn.

---

Opgave 4

---

0 Coulomb. Ook in het heelal moet de totale lading nul zijn.

---

Opgave 5

---

De lading zou gaan bewegen langs de veldlijnen van het elektrisch veld en dus rond blijven gaan. Zonder afremming zou de lading steeds sneller bewegen. Gratis stroom! Dat kan dus niet (wet van behoud van energie).

---

Opgave 6

---

Een dipool is een voorwerp - meestal bedoelen we hiermee een molecuul (of antenne) - met een positieve en een negatieve kant. Dat wil zeggen dat de lading in het molecuul enigszins gescheiden is door verschil in aantrekking van elektronen en atomen. Het ene atoom trekt harder aan de bindende elektronen dan het andere atoom.

---

Opgave 7

---

Afscherming van elektrische velden. Een metalen omhulling geeft een 'kooi van Faraday' elektrische velden (en ook magnetische) kunnen daar niet binnen komen.

---

Opgave 8

---

Het elektrisch veld blijft binnen de metalen kooi. Omdat het een sterk veld is zou dit invloed kunnen hebben op de andere functies in het apparaat.

---

### Opgave 9

---

Isolatoren: alle kunststoffen, maar ook glas, porselein, steen, marmer, hout.

Geleiders: alle metalen maar ook: grafiet en halfgeleiders bij hoge temperatuur.

---

### Opgave 10

---

Zuiver water (gedeïoniseerd) heeft geen vrije elektronen en is dus een heel slechte geleider. Maar oppassen met *drinkwater* of erger: *zeewater*, hierin zijn ionen opgelost en die maken het water geleidend.

---

### Opgave 11

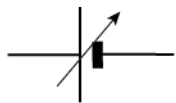
---

Zuiver water heeft geen vrije elektronen en is dus een heel slechte geleider. Ionen in een oplossing maken de oplossing geleidend. Elektriciteit is immers bewegende lading. Ionen zijn geladen en kunnen dus voor de stroomdoorvoer zorgen.

---

### Opgave 12

---



gelijkspanningsbron  
regelbaar



wisselspanningsbron

---

### Opgave 13

---

Gelijkspanningsbronnen:

- batterij
- accu
- elektrische voeding aangesloten op 230 V wisselspanning
- galvanische cel (eigenlijk hetzelfde als batterij)

wisselspanningsbronnen:

- dynamo
- windturbine
- elektriciteitscentrale
- elektrische voeding voor wisselspanning aangesloten op 230 V wisselspanning

Wisselspanning ontstaat eigenlijk altijd uit een dynamo (generator).

---

### Opgave 14

---

De officiële definitie van spanning is: *elektrische energie per hoeveelheid lading*. Tussen

twee punten in een elektrisch veld verandert de potentiële energie van een lading die tussen die punten beweegt. Die energie (per eenheid van lading) noemen we de 'spanning'.

---

Opgave 15

---

$$E = q \cdot U \rightarrow E = -1,8 \text{ C} \times 12 \text{ V} = -2,2 \text{ J}$$

Dit is het bedrag aan energie dat de accu verliest.

De energie die de accu levert is dan: **+2,2 J**.

---

Opgave 16

---

Een lamp zet elektrische energie om in:

-zichtbare straling (licht),

-warmte: direct aan de omgeving en warmtestraling (infrarood).

---

Opgave 17

---

In een stroomcircuit loopt de stroom van de **pluspool** naar de **minpool**. De elektronen stromen van de **minpool** naar de **pluspool**.

---

Opgave 18

---

$I$  is gelijk aan de som van de aankomende stromen:  $500 \text{ mA} + 750 \text{ mA} = \mathbf{1250 \text{ mA}}$ .

$I_1$  volgt uit:  $250 \text{ mA} + 600 \text{ mA} + I_1 = 1250 \text{ mA} \rightarrow I_1 = 1250 - 600 - 250 = \mathbf{400 \text{ mA}}$ .

---

Opgave 19

---

$I = 0,100 \text{ A}$ , gedurende één uur (= 3600 s).

$$I = q/t \rightarrow q = I \cdot t \rightarrow q = 0,100 \text{ A} \times 3600 \text{ s} = \mathbf{360 \text{ C}}$$

---

Opgave 20

---

Gegeven:  $R = 120 \Omega$ ,  $I = 100 \text{ mA}$ .

Gevraagd:  $U$

Oplossing:  $U = I \cdot R \rightarrow U = 0,100 \text{ A} \times 120 \Omega = \mathbf{12,0 \text{ V}}$

---

Opgave 21

---

Gegeven:  $R = 56 \Omega$ ,  $U = 4,5 \text{ V}$ .

Gevraagd:  $I$

Oplossing:  $U = I \cdot R \rightarrow I = U/R \rightarrow I = 4,5 \text{ V}/56 \Omega = \mathbf{0,080 \text{ A} (80 \text{ mA})}$

---

Opgave 22

---

Gegeven:  $I = 54 \text{ mA}$ ,  $U = 29 \text{ V}$ .

Gevraagd:  $R$

Oplossing:  $U = I \cdot R \rightarrow R = U / I \rightarrow R = 29 \text{ V} / 0,054 \text{ A} = 537 \Omega \rightarrow \mathbf{0,54 \text{ k}\Omega}$

---

Opgave 23

---

Gegeven:  $I = 0,50 \text{ A}$ ,  $U = 230 \text{ V}$ .

Gevraagd:  $R$

Oplossing:  $U = I \cdot R \rightarrow R = U / I \rightarrow R = 230 \text{ V} / 0,50 \text{ A} = 460 \Omega \rightarrow \mathbf{0,46 \text{ k}\Omega}$

---

Opgave 24

---

Gegeven:  $R = 125 \Omega$ ,  $I = 2,00 \text{ A}$ .

Gevraagd:  $U$

Oplossing:  $U = I \cdot R \rightarrow U = 2,00 \text{ A} \times 125 \Omega = \mathbf{250 \text{ V}}$

---

Opgave 25

---

$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

a  $35 \text{ kWh} = 35 \times 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 1,26 \cdot 10^8 \text{ Ws} \rightarrow \mathbf{1,3 \cdot 10^8 \text{ J}}$

b  $357 \text{ kJ} = 357 \times 1000 \text{ W} \cdot \text{s} / 3600 \text{ s} = 99,2 \text{ Wh} \rightarrow \mathbf{0,0992 \text{ kWh}}$

c  $4500 \text{ kWs} = 4,500 \cdot 10^6 \text{ Ws} = 4,500 \cdot 10^6 \text{ J}$

$4,500 \cdot 10^6 \text{ Ws} = 4,500 \cdot 10^6 \text{ Ws} / 3600 \text{ s} = 1250 \text{ Wh} \rightarrow \mathbf{1,250 \text{ kWh}}$

---

Opgave 26

---

a Gegeven:  $E = 400 \text{ kWh}$ ,  $t = 4,0 \text{ uur}$ .

Gevraagd:  $P$ .

Oplossing:  $E = P \cdot t \rightarrow P = E / t$

$P$  in Watt  $\rightarrow P = E / t \rightarrow P = 4,00 \cdot 10^5 \text{ Wh} / 4,0 \text{ h} = \mathbf{1,00 \cdot 10^5 \text{ W}}$

b Gegeven:  $P = 40 \text{ W}$ ,  $t = 100 \text{ minuten}$ . Bereken  $E$  (in J en in (k)Wh).

Gevraagd:  $E$  (in J en in (k)Wh) .

Oplossing:  $E = P \cdot t \rightarrow E = 40 \text{ W} \times 100 \times 60 \text{ s} = 2,4 \cdot 10^5 \text{ Ws} \rightarrow \mathbf{2,4 \cdot 10^5 \text{ J}}$

$2,4 \cdot 10^5 \text{ Ws} = 2,4 \cdot 10^5 \text{ Ws} / 3600 \text{ s} = \mathbf{67 \text{ Wh}}$  (0,067 kWh)

c Gegeven:  $I = 2,0 \text{ A}$ ,  $U = 230 \text{ V}$ ,  $t = 3,0 \text{ uur}$ .

Gevraagd:  $E$  (in J en in (k)Wh)

Oplossing:  $E = P \cdot t$  en  $P = U \cdot I$  en dus:  $E = U \cdot I \cdot t$

$$E = 230 \times 2,0 \times 3,0 = 1,38 \cdot 10^3 \text{ Wh} \rightarrow$$

$$1,38 \cdot 10^3 \times 3600 = 4,97 \cdot 10^6 \text{ Ws} \rightarrow \mathbf{5,0 \cdot 10^6 \text{ J}}$$

$$1,38 \cdot 10^3 \text{ Wh} = \mathbf{1,4 \text{ kWh}}$$

d Gegeven:  $R = 50 \Omega$ ,  $U = 200 \text{ V}$ ,  $t = 50$  minuten.

Gevraagd:  $E$  (in J en in (k)Wh)

Oplossing:  $E = U \cdot I \cdot t$  waarbij:  $I = U/R \rightarrow E = U^2 \cdot t/R$

$$E = U^2 \cdot t/R \rightarrow E = 200^2 \times 50 \times 60 / 50 = \mathbf{2,4 \cdot 10^6 \text{ J}}$$

$$2,4 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{s} = 2,4 \cdot 10^6 / 3600 = 667 \text{ Wh} = \mathbf{0,67 \text{ kWh}}$$

Of eerst met de wet van Ohm  $I$  uitrekenen en daarna invullen:  $E = U \cdot I \cdot t$

e Gegeven:  $I = 200 \text{ mA}$ ,  $R = 500 \Omega$ ,  $t = 200 \text{ s}$ .

Gevraagd:  $E$  (in J en in (k)Wh)

Oplossing:  $E = U \cdot I \cdot t$  waarbij:  $U = I \cdot R \rightarrow E = I^2 \cdot R \cdot t$

$$E = I^2 \cdot R \cdot t \rightarrow E = 0,200^2 \times 500 \times 200 = \mathbf{4,00 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

$$4,00 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{s} = 4,00 \cdot 10^3 / 3600 = \mathbf{1,11 \text{ Wh}}$$

Of eerst met de wet van Ohm  $U$  uitrekenen en daarna invullen:  $E = U \cdot I \cdot t$

---

### Opgave 27

---

Gegeven:  $P = 15 \text{ W}$ ,  $U = 230 \text{ V}$ ,  $t = 10$  uur.

Gevraagd: a)  $E$  (in J en in (k)Wh)

b)  $I$

Oplossing: a)  $E = P \cdot t \rightarrow E = 15 \times 10 = 150 \text{ Wh} \rightarrow 150 \times 3600 = \mathbf{5,4 \cdot 10^5 \text{ J}}$

150 Wh is **0,15 kWh**

b)  $P = U \cdot I \rightarrow I = P/U \rightarrow I = 15 / 230 = 0,065 \text{ A} \rightarrow \mathbf{65 \text{ mA}}$

---

### Opgave 28

---

Gegeven:  $P = 20 \text{ W}$ ,  $U = 230 \text{ V}$ ,  $t = 4,0$  uur, 1 kWh kost € 0,25.

Gevraagd: a)  $R$  b)  $I$  c) kosten

Oplossing:

a)  $P = U \cdot I \rightarrow I = P/U$

$U = I \cdot R \rightarrow R = U/I \rightarrow$  substitueer  $I$ :  $R = U \cdot U/P \rightarrow R = 230 \times 230 / 20 = \mathbf{2,6 \text{ k}\Omega}$

Maar je kan natuurlijk ook eerst  $I$  uitrekenen. Zoals bij antwoord b.

En dan met de wet van Ohm:

$$U = I \cdot R \rightarrow R = U / I \rightarrow R = 230 / 0,0896 = 2567 \Omega \rightarrow \mathbf{2,6 \text{ k} \Omega}$$

b  $P = U \cdot I \rightarrow I = P / U \rightarrow I = 20 / 230 = 0,0896 \text{ A} \rightarrow \mathbf{90 \text{ mA}}$

c  $E = P \cdot t \rightarrow E = 20 \times 4,0 = 100 \text{ Wh} \rightarrow 0,10 \text{ kWh}$   
met € 0,25 per kWh wordt dat:  $0,10 \times 0,25 = \text{€ } 0,025 \rightarrow \mathbf{2,5 \text{ cent}}$

---

### Opgave 29

---

Televisie.

Gegeven:  $P = 100 \text{ W}$ ,  $U = 230 \text{ V}$ ,  $t = 4,0 \text{ uur}$ , 1 kWh kost € 0,25.

Gevraagd: kosten

Oplossing:  $E = P \cdot t \rightarrow E = 100 \times 4,0 = 400 \text{ Wh} \rightarrow 0,400 \text{ kWh}$   
met € 0,25 per kWh wordt dat:  $0,400 \times 0,25 = \text{€ } 0,10 \rightarrow \mathbf{10 \text{ cent}}$

---

### Opgave 30

---

Energieverbruik in huis.

Gegeven:  $P = 10 + 15 + 20 + 25 + 500 + 1500 \text{ W}$ ,  $U = 230 \text{ V}$ ,

Gevraagd: a)  $P_{\text{totaal}}$ , b)  $I_{\text{totaal}}$

Oplossing:

a  $P = 10 + 15 + 20 + 25 + 500 + 1500 \text{ W} = \mathbf{2070 \text{ W}}$

b  $P = U \cdot I \rightarrow I = P / U \rightarrow I = 2070 / 230 = \mathbf{9,0 \text{ A}}$

---

### Opgave 31

---

Zekering in huis.

a Een zekering (automatisch of smeltveiligheid) van 16 A kan een vermogen toestaan van:

$$P = U \cdot I \quad P = 230 \text{ V} \times 16 \text{ A} = 3680 \text{ W} \rightarrow \mathbf{3,7 \text{ kW}}$$

b Wasdroger met 3 kW is nog te doen maar 1 kW meer kan niet met de zekering van 16 A. Dan schakelt deze de stroom uit of smelt.

c Hoge stroomverbruikers als een fornuis en kookplaten hebben een zwaardere zekering dan 16 A nodig. Of werken via krachtstroom (400 V).

Met krachtstroom wordt de stroomsterkte:  $5000 \text{ W} / 400 \text{ V} = \mathbf{12,5 \text{ A}}$ .

---

### Opgave 32

---

Gloeilampje 6 V 0,2 A.

a  $P = U \cdot I \rightarrow P = 6 \text{ V} \times 0,2 \text{ A} = \mathbf{1,2 \text{ W}}$ .

b Met 15 V op het lampje wordt de stroomsterkte 15 / 6 maal zo groot: 0,50 A.

Goede kans dat het lampje te heet wordt en doorbrandt.

---

### Opgave 33

---

Elektrische geleider 30 m lengte en 3,5  $\Omega$ .

Gegeven: lengte = 30 m,  $R = 3,5 \Omega$ ,  $I = 5,0 \text{ A}$ ,  $t = \text{één week}$ , dus:  $7 \times 24 \times 3600 = \mathbf{6,05 \cdot 10^5 \text{ s}}$ , 1kWh = € 0,22.

Gevraagd: a) Energieverlies b) kosten.

Oplossing:

Het gaat hier dus om stroomverbruik voor een verder niet genoemd doel. In de verbindingdraad wordt warmte ontwikkeld, deze energie ben je kwijt.

$$E = P \cdot t \text{ en } P = U \cdot I \text{ en } U = I \cdot R$$

a We kunnen eerst  $U$  berekenen:  $U = 5,0 \times 3,5 = \mathbf{17,5 \text{ V}}$

Dan  $P$ :  $P = \mathbf{17,5} \times 5,0 = \mathbf{87,5 \text{ W}}$

Dan  $E = \mathbf{87,5} \times \mathbf{6,05 \cdot 10^5} = \mathbf{5,3 \cdot 10^7 \text{ Ws (J)}}$

Andere mogelijkheid: eerst de formules omwerken tot:  $P = I \cdot I \cdot R \cdot t \rightarrow$

$$P = 5,0 \times 5,0 \times 3,5 \times \mathbf{6,05 \cdot 10^5} = \mathbf{5,3 \cdot 10^7 \text{ Ws (J)}}$$

Dat is het energieverlies in de draad gedurende één week.

b De kosten gaan per kWh, dus:  $5,3 \cdot 10^7 \text{ Ws}$  is  $5,3 \cdot 10^7 / 3600 = 1,47 \cdot 10^4 \text{ Wh}$   
 $1,47 \cdot 10^4 \text{ Wh} = 1,47 \cdot 10^4 / 1000 = 15 \text{ kWh}$

$$15 \times 0,22 = \mathbf{\text{€ } 3,30} \text{ (zonder eerst af te ronden: 3,24 euro)}$$

---

### Opgave 34

---

Relatieve permittiviteit van:

a papier: 2,1

b glycerol: 43

c lucht: 1,00056

Relatieve permittiviteit of relatieve diëlektrische constante.

---

### Opgave 35

---

Hoe verandert de Coulombkracht?

$$F_c = \left| \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \right|$$

Dus:

- a als  $r$  vijfmaal zo groot wordt, dan wordt  $F_c$ : **25 maal zo klein**, want in de formule wordt gedeeld door  $r^2$ ,
- b als één lading viermaal zo groot wordt, dan wordt  $F_c$  ook **viermaal zo groot**,
- c als de ladingen in alcohol staan i. p. v. lucht, dan wordt  $F_c$  **21 maal zo klein** want voor alcohol is  $\epsilon_r$  (de relatieve permittiviteit) 21.

---

### Opgave 36

---

*Elektrolyten (stoffen die in ionen uiteenvallen zoals sterke zuren en zouten) lossen beter op in alcohol dan in toluen. Hoe kunnen we dat verklaren met de wet van Coulomb?*

De relatieve permittiviteit van toluen: 2,4 en van ethanol 25.

De Coulombkracht tussen tegengesteld geladen ionen is in alcohol dan ruim 10 maal zo klein als in toluen. De ionen laten elkaar dus gemakkelijker los in alcohol dan in toluen. Zo lossen elektrolyten beter op in alcohol. Als ionen!

Sommige elektrolyten kunnen ook als moleculen oplossen, maar dat wordt hier niet bedoeld.

---

### Opgave 37

---

*Gegeven:*  $q_1 = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C,  $q_2 = 6,4 \cdot 10^{-19}$  C,  $r = 15$  nm ( $1,5 \cdot 10^{-8}$  m),

*Gevraagd:*  $F_c$  in lucht.

*Oplossing:*

$$F_c = \left| \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \right|$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m,  $\epsilon_{r,\text{lucht}} = 1,000$

invullen:

$$F_c = \left| \frac{1}{4\pi \times 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \times 6,4 \cdot 10^{-19}}{(1,5 \cdot 10^{-8})^2} \right|$$

=  **$4,1 \cdot 10^{-12}$  N**

Bij het uitrekenen kan er gemakkelijk iets misgaan. Controleer eventueel de tussenstappen:

$$F_c = \left| \frac{1}{1,11 \cdot 10^{-10}} \cdot \frac{1,024 \cdot 10^{-37}}{2,25 \cdot 10^{-16}} \right|$$

---

### Opgave 38

---

- a Het  $\text{Na}^+$ -ion heeft een elementaire positieve lading:  $+ 1,60 \cdot 10^{-19}$  C  
Het  $\text{Cl}^-$ -ion heeft een elementaire negatieve lading:  $- 1,60 \cdot 10^{-19}$  C



b Als  $r = 12 \text{ nm}$ , dat is  $1,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}$ , hoe groot is dan  $F_c$  in lucht?

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}, \epsilon_{r,\text{lucht}} = 1,000$$

$$F_c = \left| \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \right|$$

invullen:

$$F_c = \left| \frac{1}{4\pi \times 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{-1,6 \cdot 10^{-19} \times 1,6 \cdot 10^{-19}}{(1,2 \cdot 10^{-8})^2} \right|$$

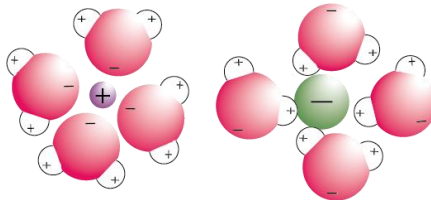
$$= 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

c In water is  $\epsilon_{r,\text{water}} = 80$

De Coulombkracht tussen de ionen is dan 80 maal zo klein. Want  $\epsilon_r$  staat in de berekening onder de streep. Dus:  $F_c = 1,6 \cdot 10^{-12} / 80 = 2,0 \cdot 10^{-14} \text{ N}$

d De aantrekkingskracht tussen de ionen in water is veel kleiner dan in lucht. De ionen laten elkaar dan gemakkelijker los en lossen dan ook gemakkelijker op, als ionen.

e De dipolen vormen een watermantel rond een ion. De positieve kant richt zich naar het negatieve ion de negatieve kant richt zich naar het positieve ion. Het elektrisch veld van elk ion wordt hierdoor verzwakt.




---

### Opgave 39

---

Waterstofatoom.

Gegeven: elektron:  $q_1 = -1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , proton:  $q_2 = +1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ ,  
 $\epsilon_{r,\text{lucht}} = 1,000$ ,  $r = 0,10 \text{ nm}$  ( $1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ )

Gevraagd:  $F_c$

Oplossing:

$$F_c = \left| \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \right|$$

invullen:

$$F_c = \left| \frac{1}{4\pi \times 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{-1,6 \cdot 10^{-19} \times 1,6 \cdot 10^{-19}}{(1,0 \cdot 10^{-10})^2} \right|$$

$$= 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

Opgave 40

Gegeven:  $q_1 = q_2$ ,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m,  $\epsilon_{r,\text{lucht}} = 1,000$ ,  $r = 36$  nm ( $3,6 \cdot 10^{-8}$  m),

$$F_c = 7,1 \cdot 10^{-13} \text{ N}$$

Gevraagd:  $q_1$

Oplossing:

$$F_c = \left| \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \right|$$

invullen:

$$7,1 \cdot 10^{-13} = \left| \frac{1}{4\pi \times 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{q^2}{(3,6 \cdot 10^{-8})^2} \right|$$

$$q^2 = 1,44 \cdot 10^{-25} \times 7,1 \cdot 10^{-13} = 1,02 \cdot 10^{-37}$$

$$q = \mathbf{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}}$$

Opgave 41

Gegeven: elektron:  $q_1 = -1,60 \cdot 10^{-19}$  C,  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg,  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>,

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}, \epsilon_{r,\text{lucht}} = 1,000.$$

Gevraagd: a)  $F_{z,\text{elektron}}$       b)  $r$  als  $F_c$  (tussen 2 elektronen) =  $F_z$

Oplossing:

$$\text{a} \quad F_z = m \cdot g \rightarrow F_{z,\text{elektron}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \times 9,81 = \mathbf{8,94 \cdot 10^{-30} \text{ N}}$$

$$\text{b} \quad F_c = \left| \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \right|$$

invullen:

$$8,94 \cdot 10^{-30} = \left| \frac{1}{4\pi \times 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{-1,6 \cdot 10^{-19} \times 1,6 \cdot 10^{-19}}{r^2} \right|$$

$$r^2 = 2,56 \cdot 10^{-38} / (8,94 \cdot 10^{-30} \times 1,11 \cdot 10^{-10}) = 25,8 \rightarrow r = \sqrt{25,8} = \mathbf{5,1 \text{ m}}$$

Opgave 42

Kracht in het voorbeeld in A naar links gericht.

Beide ladingen zijn negatief, stoten elkaar af. De kracht  $F_c$  is in feite de resultante van de kracht van  $Q_1$  op  $Q_2$  en de kracht van  $Q_2$  op  $Q_1$ .  $Q_2$  levert de grootste kracht want  $Q_2$  heeft de grootste lading. De veldsterkte die  $Q_2$  veroorzaakt is groter dan die van  $Q_1$ .

Opgave 43

Gegeven:  $q = -2,6 \text{ mC} (= -2,6 \cdot 10^{-3} \text{ C})$ ,  $F_{\text{punt P}} = 0,14 \text{ N}$

Gevraagd:  $E_{\text{P}}$

Oplossing:  $E = \frac{F}{q} \rightarrow E_{\text{P}} = 0,14 / -2,6 \cdot 10^{-3} = -54 \text{ N/C}$

Opgave 44

Gegeven:  $q = 4,8 \text{ } \mu\text{C} (= 4,8 \cdot 10^{-6} \text{ C})$ ,  $E = 40 \text{ N/C}$

Gevraagd:  $F_{\text{q}}$

Oplossing:  $E = \frac{F}{q} \rightarrow F_{\text{q}} = 40 \times 4,8 \cdot 10^{-6} = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ N}$

Opgave 45

Gegeven: Waterstofatoomkern (= proton).  $r = 0,20 \text{ nm} (2,0 \cdot 10^{-10} \text{ m})$

Gevraagd:  $E$

Oplossing:  $Q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  (elementair lading),  $f = 8,99 \cdot 10^9 \text{ F/m}$

$$E = \left| f \cdot \frac{Q}{r^2} \right|$$

Invullen:  $E = 8,99 \cdot 10^9 \times 1,6 \cdot 10^{-19} / (2,0 \cdot 10^{-10})^2 \rightarrow E = 3,6 \cdot 10^{10} \text{ N/C}$

Opgave 46

Gegeven:  $q_1 = 60 \text{ } \mu\text{C} (= 6,0 \cdot 10^{-5} \text{ C})$ ,  $q_2 = 30 \text{ } \mu\text{C} (= 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ C})$ ,  $r = 50 \text{ cm} (0,50 \text{ m})$



Gevraagd: a)  $F_{q_1 \text{ op } q_2}$  b)  $E_{\text{A}}$

Oplossing:

a

$$F_c = \left| \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \right|$$

$$F_{c,A} = \left| \frac{1}{4\pi \times 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{6,0 \cdot 10^{-5} \times 3,0 \cdot 10^{-5}}{0,50^2} \right| = 65 \text{ N}$$

b  $E = \frac{F}{q} \rightarrow E_{\text{A}} = 65 / 3,0 \cdot 10^{-5} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ N/C}$

Opgave 47

Afbeelding met ladingen.

Gegeven:  $q_1 = 2,0 \mu\text{C}$  ( $2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ),  $q_2 = -3,0 \mu\text{C}$  ( $-3,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ), afbeelding met punt A en B.

Gevraagd: a)  $E_A$  b)  $E_B$  c)  $F_A$  voor 25 nC d)  $F_B$  voor 25 nC

Oplissing:

a In punt A wordt de veldsterkte bepaald door 2 ladingen  $q_1 = 2,0 \mu\text{C}$  en  $q_2 = -3,0 \mu\text{C}$ .

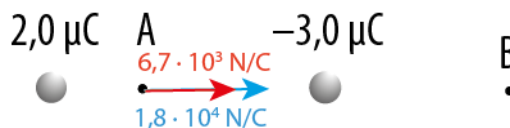
We berekenen voor iedere lading zijn veldsterkte en bepalen daarna de resultante:

$$E = \left| f \cdot \frac{Q}{r^2} \right|$$

$$E_{q_1,A} = 8,99 \cdot 10^9 \times 2,0 \cdot 10^{-6} / 1^2 \rightarrow E_{q_1,A} = 1,8 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_{q_2,A} = 8,99 \cdot 10^9 \times 3,0 \cdot 10^{-6} / 2^2 \rightarrow E_{q_2,A} = 6,7 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

$q_2$  is negatief, de veldlijnen lopen van + naar min:



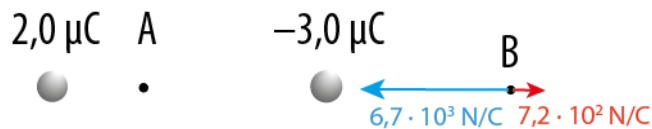
De resultante is dan  $6,7 \cdot 10^3 + 1,8 \cdot 10^4 = 2,5 \cdot 10^4 \text{ N/C}$

Deze wijst naar rechts.

b Voor punt B verloopt de berekening overeenkomstig.

$$E_{q_1,B} = 8,99 \cdot 10^9 \times 2,0 \cdot 10^{-6} / 5^2 \rightarrow E_{q_1,B} = 7,2 \cdot 10^2 \text{ N/C naar rechts}$$

$$E_{q_2,B} = 8,99 \cdot 10^9 \times 3,0 \cdot 10^{-6} / 2^2 \rightarrow E_{q_2,B} = 6,7 \cdot 10^3 \text{ N/C naar links}$$



De resultante is dan  $7,2 \cdot 10^2 - 6,7 \cdot 10^3 = 6,0 \cdot 10^3 \text{ N/C}$

Deze wijst naar links.

c  $q = 25 \text{ nC}$  in A:  $2,5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

$$E = \frac{F}{q} \rightarrow F_{q,A} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ N/C} \times 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ C} = 6,2 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

Naar rechts een positieve lading krijgt een kracht in de richting van het veld (van de + af)

d  $q = 25 \text{ nC}$  in B:  $2,5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

$$E = \frac{F}{q} \rightarrow F_{q,B} = 6,0 \cdot 10^3 \text{ N/C} \times 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ C} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

Naar links een negatieve lading krijgt een kracht tegen de richting van het veld (van de - af)

Opgave 48

Soortelijke weerstand van (dit zijn de Binas-waarden):

- a goud  $22 \cdot 10^{-9} \Omega\text{m}$
- b kwik  $960 \cdot 10^{-9} \Omega\text{m}$
- c ijzer  $105 \cdot 10^{-9} \Omega\text{m}$
- d nichroom  $1,10 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$
- e mica  $1 \cdot 10^{14} \Omega\text{m}$
- f papier  $1 \cdot 10^{10} \Omega\text{m}$

---

Opgave 49

De laagste soortelijke weerstand is voor zilver:  $16 \cdot 10^{-9} \Omega\text{m}$ .

Zilver is duur en het verschil met koper ( $17 \cdot 10^{-9} \Omega\text{m}$ ) is niet zo groot.

---

Opgave 50

2,00 m koperdraad.

*Gegeven:* Koperdraad,  $l = 2,00 \text{ km}$ , diameter:  $1,0 \text{ mm}$ .

*Gevraagd:*  $R$

*Oplossing:*  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$

$$A = d^2 \cdot \pi / 4 \rightarrow (1,0 \cdot 10^{-3})^2 \times \pi / 4 = 7,85 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2.$$

$$R = 1,7 \cdot 10^{-8} \times 2000 / 7,85 \cdot 10^{-7} = \mathbf{43 \Omega}$$

---

Opgave 51

Soortelijke weerstand van een draad, meting.

*Gegeven:* Draad,  $l = 50,0 \text{ cm}$ , diameter:  $0,259 \text{ mm}$ ,  $U = 215 \text{ mV}$ ,  $I = 50,0 \text{ mA}$ .

*Gevraagd:* a)  $\rho$  b) welk materiaal?

*Oplossing:*  $R = \rho \cdot \frac{l}{A} \rightarrow \rho = R \cdot A / l$

$$\text{a } A = d^2 \cdot \pi / 4 \rightarrow (2,59 \cdot 10^{-4})^2 \times \pi / 4 = 5,27 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2.$$

$$L = 0,50 \text{ m}$$

$$R = U / I \rightarrow R = 0,215 / 0,050 = 4,30 \Omega$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \rightarrow \rho = R \cdot A / l \rightarrow \rho = 4,30 \times 5,27 \cdot 10^{-8} / 0,50 = \mathbf{4,53 \cdot 10^{-7} \Omega\text{m}}$$

b) Waarschijnlijk constantaan,  $\rho_{\text{Binas}} = 4,5 \cdot 10^{-7} \Omega\text{m}$ .

Opgave 52

IJzerdraad.

*Gegeven:* IJzerdraad,  $l = 50,0$  cm, doorsnede:  $0,173$  mm<sup>2</sup>,  $\rho_{\text{Binas}} = 1,05 \cdot 10^{-7}$  Ωm.

*Gevraagd:*  $R$

*Oplossing:*  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$

$$A = 0,173 \text{ mm}^2 \rightarrow 1,73 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$R = 1,05 \cdot 10^{-7} \times 0,500 / 1,73 \cdot 10^{-7} = \mathbf{0,303 \Omega}.$$

Opgave 53

Weerstandstemperatuurcoëfficiënt van (Binas-waarden):

a	koper	$4,3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
b	nikkel	$6,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
c	ijzer	$6,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
d	messing	$2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
e	nichroom	$0,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
f	constantaan	$0,05 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Opgave 54

IJzer en constantaan.

*Gegeven:* IJzer,  $R_{20} = 15,7 \Omega$ ,  $\alpha = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Constantaan,  $R_{20} = 15,7 \Omega$ ,  $\alpha = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

*Gevraagd:*  $R$  bij  $50 \text{ }^\circ\text{C}$

*Oplossing:*  $\Delta R = R \cdot \alpha \cdot \Delta T$

a Fe:  $\Delta R = 15,7 \times 6,5 \cdot 10^{-3} \times (50 - 20) = 3,1 \Omega \rightarrow R \text{ bij } 50 \text{ }^\circ\text{C} = 15,7 + 3,1 = \mathbf{18,8 \Omega}$

b Constantaan:  $\Delta R = 15,7 \times 0,05 \cdot 10^{-3} \times 30 = 0,024 \Omega \rightarrow R_{50} = 15,7 + 0,024 = \mathbf{15,7 \Omega}$

De weerstand van constantaan verandert nauwelijks bij verwarmen.

Opgave 55

Soortelijke weerstand Ni en nichroom bij  $35 \text{ }^\circ\text{C}$

a Ni:  $\rho_{273} = 7,8 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ ,  $\alpha = 6,5 \cdot 10^{-3}$ ,  $\Delta T$  is dan:  $15 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta \rho = \rho \cdot \alpha \cdot \Delta T \rightarrow \Delta \rho = 7,8 \cdot 10^{-8} \times 6,5 \cdot 10^{-3} \times 15 = 7,5 \cdot 10^{-9} \Omega\text{m}$$

$$\rho_{308} = 7,8 \cdot 10^{-8} + 7,5 \cdot 10^{-9} = \mathbf{8,6 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}}$$

b nichroom:  $\rho_{273} = 1,10 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$ ,  $\alpha = 1 \cdot 10^{-4}$ ,  
 $\Delta\rho = \rho \cdot \alpha \cdot \Delta T \rightarrow \Delta\rho = 1,10 \cdot 10^{-6} \times 1 \cdot 10^{-4} \times 15 = 1,6 \cdot 10^{-9} \Omega\text{m}$   
 $\rho_{308} = 1,10 \cdot 10^{-6} + 1,6 \cdot 10^{-9} = \mathbf{1,10 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}}$

De weerstand van nichroom verandert nauwelijks bij verwarmen.

---

### Opgave 56

---

IJzerdraad.

*Gegeven:* IJzerdraad,  $l = 50,0 \text{ cm}$ ,  $A = 0,200 \text{ mm}^2$ ,  $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 1,05 \cdot 10^{-7} \Omega\text{m}$ ,  
 $\alpha = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

*Gevraagd:*  $R$  bij  $40 \text{ }^\circ\text{C}$

*Oplossing:*

De soortelijke weerstand is gegeven bij  $293 \text{ K}$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ). We rekenen eerst de weerstand uit bij  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  en daarna bij  $40 \text{ }^\circ\text{C}$

$$l = 0,500 \text{ m}, A = 2,00 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \rightarrow R = 1,05 \cdot 10^{-7} \times 0,500 / 2,00 \cdot 10^{-7} = 0,263 \Omega$$

$$\Delta R = R \cdot \alpha \cdot \Delta T \rightarrow \Delta R = 0,263 \times 6,5 \cdot 10^{-3} \times 20 = 0,034 \Omega \rightarrow R_{40} = 0,263 + 0,034 = \mathbf{0,30 \Omega}$$

---

### Opgave 57

---

*Gegeven:* Thermokoppel van constantaan en ijzer.  
Koude las:  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , warme las:  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Gevraagd:* Thermospanning

*Oplossing:* Voor het thermokoppel constantaan-ijzer vinden we (Binas):  
spanningstoename:  $55 \cdot 10^{-6} \text{ V/K}$ .

Voor een temperatuurstijging van  $100 \text{ K}$  is dat:  $100 \text{ K} \times 55 \cdot 10^{-6} \text{ V/K} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ V}$

Dat is **5,5 mV**.

---

### Opgave 58

---

*Gegeven:* Thermokoppel van chromel en alumel,  $U = 36,1 \text{ mV}$ .

*Gevraagd:* Temperatuur als koude las is: a)  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  en b)  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Oplossing:* Voor het thermokoppel chromel en alumel vinden we (Binas, 6<sup>e</sup> editie):  
spanningstoename:  $41 \cdot 10^{-6} \text{ V/K}$ .

$36,1 \text{ mV}$  is  $3,61 \cdot 10^{-3} \text{ V}$ , dit levert een temperatuurstijging van  $\Delta T$ .

$$41 \cdot 10^{-6} \text{ V/K} \times \Delta T = 3,61 \cdot 10^{-2} \text{ V} \rightarrow \Delta T = 880 \text{ }^\circ\text{C}$$

a koude las  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , temperatuur: **880 °C**

b koude las  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , temperatuur:  $20 + 880 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{900 \text{ }^\circ\text{C}}$

Opgave 59

Condensator

Gegeven:  $C = 22 \mu\text{F}$ ,  $\Delta U = 10 \text{ V}$ .

Gevraagd:  $Q$

Oplossing:  $C = \frac{Q}{\Delta U} \rightarrow Q = C \cdot \Delta U$

$$C = 22 \mu\text{F} \rightarrow 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ F}$$

$$\Delta U = 10 \text{ V}$$

$$Q = C \cdot \Delta U \rightarrow Q = 2,2 \cdot 10^{-5} \times 10 = \mathbf{2,2 \cdot 10^{-4} \text{ C}}$$

Opgave 60

Condensator

Gegeven:  $C = 100 \mu\text{F}$ ,  $Q = 0,20 \text{ mC}$ .

Gevraagd:  $\Delta U$

Oplossing:  $C = \frac{Q}{\Delta U} \rightarrow Q = C \cdot \Delta U \rightarrow \Delta U = Q / C$

$$C = 100 \mu\text{F} \rightarrow 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ F}$$

$$Q = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

$$\Delta U = Q / C \rightarrow \Delta U = 2,0 \cdot 10^{-4} / 1,00 \cdot 10^{-4} = \mathbf{2,0 \text{ V}}$$

Opgave 61

Een condensator bestaat uit twee geleiders met daartussen isolatie.

Als de isolatie onvoldoende is of de spanning te hoog dan kan het gebeuren dat de lading toch over springt. De condensator 'slaat door'.

Opgave 62

Condensator

Gegeven:  $C = 10 \mu\text{F}$ ,  $U = 20 \text{ V}$ , ontladweerstand:  $330 \text{ k}\Omega$ .

Gevraagd: a)  $U(t = 2,0 \text{ s})$  b)  $t$  als  $U 5,0 \text{ V}$ .

Oplossing:

$$U_t = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

a

$$C = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ F}$$
$$R = 3,30 \cdot 10^5 \Omega$$
$$U_0 = 20 \text{ V}$$

$$\rightarrow U_t = 20 \times e^{-\frac{2,0}{3,30 \cdot 10^5 \times 1 \cdot 10^{-5}}} = \mathbf{11 \text{ V}}$$

b



$$U_t = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

$$\rightarrow 5,0 = 20 \times e^{-\frac{t}{3,30 \cdot 10^{-5} \times 1 \cdot 10^{-5}}} \rightarrow \frac{5,0}{20} = e^{-\frac{t}{3,30}} \rightarrow$$

neem de natuurlijke logaritme (ln):

$$\ln 0,25 = -t / 3,30 \rightarrow \mathbf{t = 4,6 \text{ s}}$$

### Opgave 63

Condensator ontladen.

*Gegeven:*  $U_0 = 30 \text{ V}$ , ontladweerstand:  $1,0 \text{ M}\Omega$ ,  $U_{8,6 \text{ s}} = 10 \text{ V}$

*Gevraagd:*  $C$

*Oplossing:*

$$R = 1,0 \cdot 10^6 \Omega$$

$$U_0 = 30 \text{ V}$$

$$U_{8,6 \text{ s}} = 10 \text{ V}$$

$$U_t = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

invullen:  $10 = 30 \times e^{-\frac{8,6}{1,0 \cdot 10^6 \times C}} \rightarrow \ln(10/30) = -8,6 \cdot 10^{-6} / C \rightarrow$

$$C = -8,6 \cdot 10^{-6} / \ln(1/3) = 7,8 \cdot 10^{-6} \text{ F} \rightarrow \mathbf{7,8 \mu\text{F}}$$

### Opgave 64

Condensator ontladen.

*Gegeven:*  $R = 150 \text{ k}\Omega$ , meetgegevens in tabel

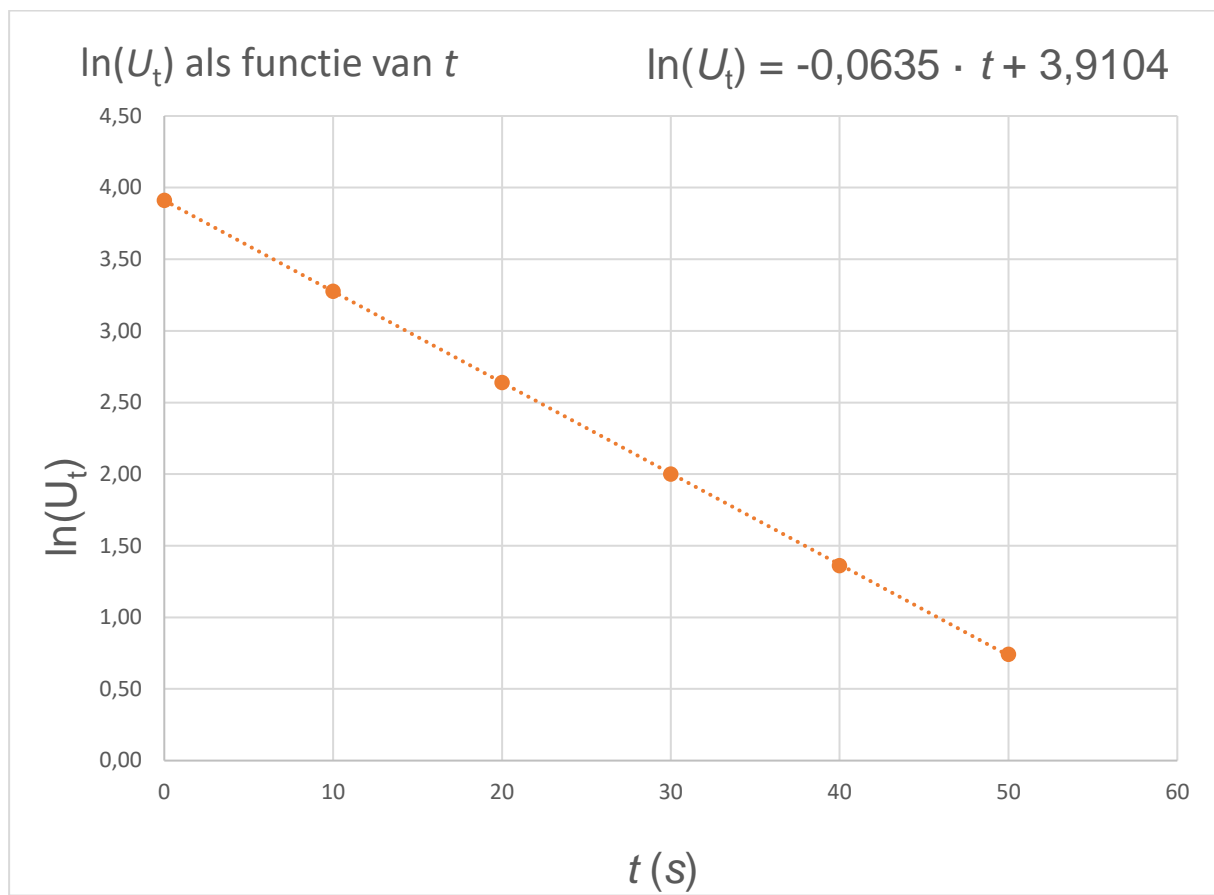
*Gevraagd:* a)  $\ln(U_t)$ - $t$  grafiek    b) richtingscoëfficiënt    c)  $C$

*Oplossing:*

a            Voor de  $\ln(U_t)$ - $t$  grafiek berekenen we de  $\ln(U_t)$  voor elke waarde van  $U_t$ :

$t$ (s)	$U_t$ (V)	$\ln(U_t)$
0	50,0	3,91
10	26,5	3,28
20	14,0	2,64
30	7,4	2,00
40	3,9	1,36
50	2,1	0,74

De grafiek maken we in excel:



- b De richtingscoëfficiënt vinden we door een trendlijn te trekken door de meetpunten. Vervolgens laten we excel het functievoorschrift berekenen:

$$y = -0,0635 \cdot x + 3,9104 \text{ en dus: } \ln(U_t) = -0,0635 \cdot t + 3,9104$$

De richtingscoëfficiënt is  $-0,0635 \text{ s}^{-1}$  en deze is gelijk aan:  $-\frac{1}{R \cdot C}$

Met  $R = 1,50 \cdot 10^5 \Omega$  vinden we:  $0,0635 = 1 / (1,50 \cdot 10^5 \times C) \rightarrow C = 1,05 \cdot 10^{-4} \text{ F}$

**C = 105  $\mu\text{F}$**