



## E1 h1 statische elektriciteit

Auteur	Its Academy
Laatst gewijzigd	08 may 2015
Licentie	CC Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie
Webadres	<a href="https://maken.wikiwijs.nl/51304">https://maken.wikiwijs.nl/51304</a>



Dit lesmateriaal is gemaakt met Wikiwijs van Kennisnet. Wikiwijs is hét onderwijsplatform waar je leermiddelen zoekt, maakt en deelt.

## Inhoudsopgave

1 Statische elektriciteit

1.1 Elektrische lading

1.2 Neutraal of geladen?

1.3 Elektrische krachten

1.4 Neutraal of geladen

1.5 Het elektrische veld

1.6 Proef van Milikan

1.7 Energie en veld

1.8 Veldlijnen

Basiskennistoets hoofdstuk 1

Zelf presenteren

Over dit lesmateriaal

# 1 Statische elektriciteit

---

□

## Leerdoelen

Als je dit hoofdstuk hebt doorgewerkt, heb je het volgende geleerd:

1. Je weet de grootte van de elementaire lading of kunt die opzoeken in BINAS.
2. Je kunt de definitie geven van elektrische stroom.
3. Je kunt de aantrekking van een neutraal voorwerp door een geladen voorwerp verklaren m.b.v. het begrip elektrische influentie.
4. Je kunt het veldlijnenpatroon van een elektrisch veld interpreteren.
5. Je kunt het veldlijnenpatroon van een elektrisch geladen voorwerp schetsen.
6. Je kent de formule voor de elektrische kracht die twee puntladingen op elkaar uitoefenen of kunt hem opzoeken in BINAS.
7. Je kunt de definitie geven van elektrische veldsterkte.
8. Je kunt de relatie uitleggen tussen de formules voor de algemene gravitatie en voor de elektrische kracht die twee puntladingen op elkaar uitoefenen.
9. Je kunt uit de algemene definitie van het elektrische veld de formule voor het elektrische veld van een puntlading afleiden.
10. Je kunt de versnelling uitrekenen van een puntlading in een elektrisch veld.
11. Je kunt de definitie geven van elektrische energie als vorm van potentiële energie en hiermee de opgebouwde kinetische energie uitrekenen bij het versnellen in een elektrisch veld.

## 1.1 Elektrische lading

---

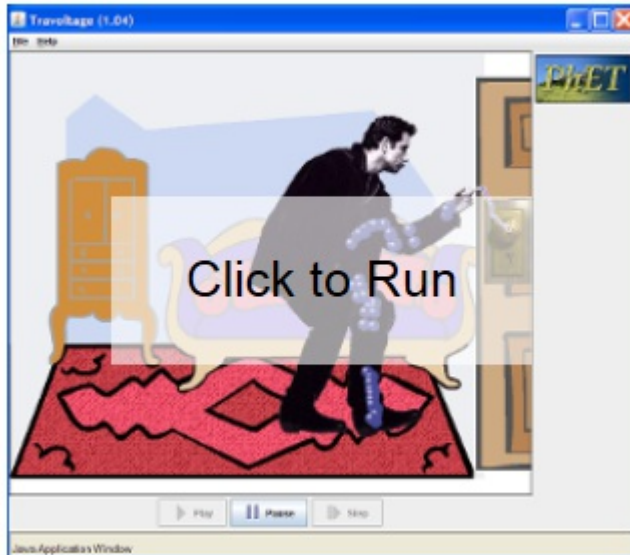
Misschien ken je het volgende proefje wel: je neemt een plastic pen of kam en wrijft deze een paar keer langs je trui. Als je de pen nu in de buurt van een hoopje papiersnippers houdt, zul je zien dat de snippers door het plastic worden aangetrokken.

De oude Grieken hadden iets dergelijks al ontdekt bij het opwrijven van een stuk barnsteen met een wollen doek. Allerlei voorwerpen konden hierna door het barnsteen worden aangetrokken. Wat is dit toch voor mysterieuze kracht? En wat is de functie van het wrijven?

Bekijk de volgende applet.

Je kunt in de simulatie met je muis de voet heen en weer over het vloerkleed laten wrijven. De arm kan op dezelfde manier naar en van de deurknop bewogen worden.

Wrijf met de voet over het vloerkleed en beantwoord de onderstaande vragen.



Klik hier: [http://phet.colorado.edu/sims/travoltage/travoltage\\_en.jnlp](http://phet.colorado.edu/sims/travoltage/travoltage_en.jnlp)

## Vragen

[maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898316](https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898316)



Wat stellen de blauwe ballen voor en welk teken heeft de lading van John dus?

Wat gebeurt er als je even wacht met wrijven?

Als je de vinger zo ver mogelijk van de deurknop verwijdert, kun je er veel lading op aanbrengen. Verklaar dit.

Als je even wacht, zie je ook dat de lading naar bepaalde plaatsen toe gaat. Verklaar dit.

## Aantrekking

De applet van John Travoltage laat zien hoe je een lichaam kunt laden en ontladen en dat daarbij elektrische krachten een rol spelen. Nu naar het verhaal van de papiersnippers en de pen. Elektrische krachten lijken wel een beetje op de gravitatiekracht. Die werkt aantrekkend tussen objecten/voorwerpen met massa, ook als die zich op een afstand van elkaar bevinden. De massa moet echter wel enorm zijn - bijvoorbeeld de aarde of de zon - om iets van die gravitatiekracht te merken.

Tussen pen en papiersnippers is de gravitatiekracht verwaarloosbaar klein, omdat de massa's zo klein zijn. Bovendien werkt er een gravitatiekracht tussen papiersnippers en aarde die tegengesteld gericht is. Blijkbaar is er naast de massa nog 'iets anders' dat een aantrekkende kracht veroorzaakt. Dat 'iets anders' noemen we elektrische lading - of gewoon 'lading'. Dit voorbeeld wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 1.4.

Lading is er in twee soorten: positief en negatief. In tegenstelling tot de gravitatiekracht, kan de elektrische kracht behalve aantrekkend ook afstotend zijn. De algemene regel is:

**Gelijksoortige ladingen stoten elkaar af, ongelijksoortige trekken elkaar aan.**

Bovendien kan lading in tegenstelling tot massa van het ene voorwerp naar het andere stromen, als de voorwerpen met elkaar in contact komen. Aantrekken kan dan veranderen in afstoten.

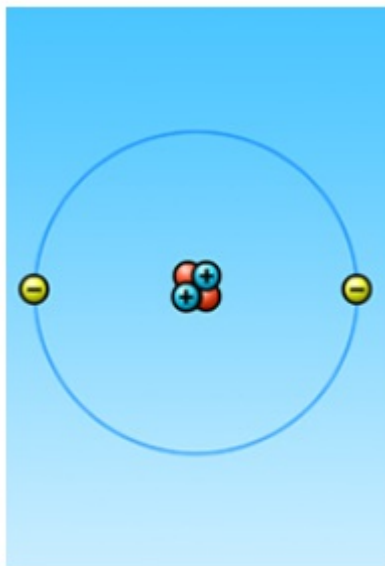
Net als massa en andere natuurkundige grootheden, heeft ook lading een eenheid: de Coulomb (C).

Lading geven we aan met de letter  $q$ . Een lading van  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C wordt de elementaire lading genoemd. Deze lading heeft zijn eigen symbool ( $e$ ) gekregen en is gelijk aan de lading van een proton:

$$q_{\text{proton}} = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

Ook elektronen bezitten de elementaire lading, maar dan negatief:

$$q_{\text{elektron}} = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$



Figuur 1.1.1

In figuur 1.1.1 is schematisch het heliumatoom getekend.

Kijkend naar de algemene regel voor elektrische krachten, kunnen we concluderen dat protonen en

elektronen elkaar aantrekken. Het is dan ook de elektrische kracht die elektronen in hun baan rond de atoomkern houdt!

## 1.2 Neutraal of geladen?

---

Tussen voorwerpen zijn lang niet altijd elektrische krachten aanwezig. De reden hiervoor is dat gelijke hoeveelheden positieve en negatieve lading elkaar als het ware opheffen. Aangezien een atoom in principe evenveel protonen als elektronen bevat, heeft het als geheel geen netto lading. En aangezien een voorwerp is opgebouwd uit atomen, heeft het gehele voorwerp evenmin een netto lading. We noemen dit ook wel elektrisch neutraal. Neutrale voorwerpen oefenen geen elektrische kracht op elkaar uit.

Voorwerpen zullen elektrisch geladen moeten zijn om elektrische krachten op andere voorwerpen uit te oefenen. Het wrijven van een pen langs je mouw is een manier om de pen (en je mouw!) te laden. Door de wrijving 'springen' elektronen van je mouw naar de pen, waardoor de pen een netto negatieve lading krijgt. Je mouw blijft achter met een elektronentekort en raakt daardoor positief geladen.

Een elektrisch geladen voorwerp is dus niks anders dan een voorwerp met een overschot of tekort aan elektronen. Vanzelfsprekend geldt: twee positief geladen voorwerpen stoten elkaar af, evenals twee negatief geladen voorwerpen. Een positief en een negatief geladen voorwerp trekken elkaar aan.

Maak de onderstaande vragen en opdrachten.

### Opgave 1)

Elektrische stroom is in feite de hoeveelheid lading die per seconde bij een bepaald punt "langsstroomt":

$$I = \frac{q}{t}$$

Bekijk de onderstaande schakeling.



- Schrijf de Coulomb in een combinatie van enkele van de 7 SI-eenheden.
- Bereken de stroomsterkte door de weerstanden. Zoek eventueel in je Binas op welk formule je ookalweer moet gebruiken.
- Bereken het aantal elektronen dat de batterij in 1 minuut door de schakeling stuurt.

### Opgave 2)

Waarom is het onmogelijk dat een voorwerp een netto lading van  $2,5 \cdot 10^{-19}$  C heeft?

### Opgave 3)

Stel dat je kam een netto lading van  $-4,8 \cdot 10^{-9}$  C krijgt als je hem door je haar haalt.

- Hoe groot is dan de lading van jouw lichaam?
- Leg uit hoe de kam aan zijn lading is gekomen.
- Bereken hoeveel gram de kam in massa is toegenomen.

#### Opgave 4)

Na verloop van tijd raakt een geladen voorwerp zijn netto lading weer kwijt. We noemen dit ontladen. Ontlading kunnen we sneller laten verlopen door het geladen voorwerp in contact te brengen met een ander voorwerp; bij voorkeur een elektrische geleider (iets van metaal bijvoorbeeld).

- Leg uit wat er gebeurt als je een negatief geladen voorwerp in contact brengt met een elektrische geleider.
- Hoe kan het dat je soms een schokje voelt bij het aanraken van een metalen deurklink?

Ontlading zonder contact met een geleider vindt voornamelijk plaats via watermoleculen in de lucht.

- Leg uit dat de proef met de pen en papiersnippers niet snel zal lukken in een vochtige omgeving.

### 1.3 Elektrische krachten

---

In paragraaf 1.1 hebben we de elektrische kracht al vergeleken met de gravitatiekracht. De vergelijking is misschien nog wel treffender wanneer we de krachten in formulevorm gaan bekijken. Herinner je dat de gravitatiewet van Newton zegt:

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Waarbij  $F_g$  de gravitatiekracht is die (bolvormige) massa  $m_1$  op  $m_2$  uitoefent en  $r$  de onderlinge afstand.  $G$  is de gravitatieconstante. (Natuurlijk is  $F_g$  ook de gravitatiekracht die massa  $m_2$  uitoefent op  $m_1$ : actie = reactie!)

De Franse wetenschapper Coulomb heeft onderzocht hoe groot de elektrische kracht  $F_e$  is, die een (bolvormige) lading  $q_1$  op een andere lading  $q_2$  uitoefent, bij verschillende onderlinge afstanden  $r$ . Zijn bevindingen zijn samengevat in de *Wet van Coulomb*:

$$F_e = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

Net als de gravitatiekracht neemt de elektrische kracht kwadratisch af met de afstand. Verder is de kracht evenredig met de ladingen, zoals de gravitatiekracht evenredig is met de massa's. *De constante van Coulomb*  $k$  heeft een waarde van  $8,988 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ . (En natuurlijk geldt ook hier dat  $F_e$  tevens de kracht is die  $q_2$  op  $q_1$  uitoefent.)

Nog twee opmerkingen:

- Wanneer we hierboven spreken van "een lading", bedoelen we eigenlijk "een voorwerp met een netto elektrische lading," net zoals we met "een massa" eigenlijk "een voorwerp met massa" bedoelen.
- De tweede vergelijking hierboven, voor  $F_e$ , geeft alleen de grootte van de elektrische kracht. De richting - aantrekkend of afstotend - kun je bepalen met de algemene regel voor elektrische krachten.

Bekijk de volgende simulatie.

Zorg dat de ladingen zichtbaar zijn, breng de ballon met de muis naar de trui en wrijf met de ballon langs de trui.



Klik hier: [http://phet.colorado.edu/sims/balloons/balloons\\_en.jnlp](http://phet.colorado.edu/sims/balloons/balloons_en.jnlp)

## Vragen

[maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898317](https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898317)



Leg uit wat er in de simulatie gebeurt als je de ballon langs de trui wrijft.

Plak de ballon aan de wand en leg uit hoe een geladen ballon aan een ongeladen wand kan blijven hangen.

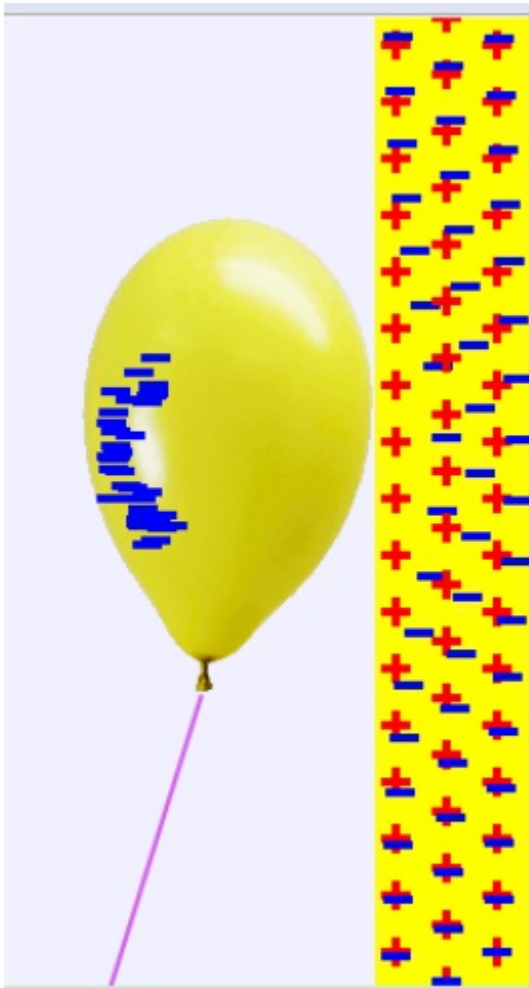
Stel dat je de trui zoveel mogelijk positief wil laden, door met de ballon zoveel mogelijk elektronen uit de trui te verwijderen. Hoe kun je dat op de gemakkelijkste manier doen?

## 1.4 Neutraal of geladen



In de vorige paragraaf heb je kennisgemaakt met het aantrekken van neutrale voorwerpen door geladen voorwerpen. De ballon en de wand zijn hier een voorbeeld van. De ballon is geladen, maar de wand is neutraal. Toch trekken de ballon en de wand elkaar aan.

We kunnen dit begrijpen door te bedenken dat de wand - hoewel deze als geheel neutraal blijft - wel is opgebouwd uit geladen deeltjes: protonen en elektronen. Deze deeltjes "voelen" de invloed van de (negatief) geladen ballon als die in de buurt gebracht wordt. De negatief geladen deeltjes zullen een klein beetje opschuiven, dieper de wand in, zoals in figuur 1.4.



figuur 1.4

Het gevolg is dat de positieve ladingen van de wand dichterbij de ballon zitten dan de negatieve ladingen van de wand; de ballon en de wand trekken elkaar daardoor aan.

Maak nu de volgende opgaven.

### Opgave 5)

Het eenvoudigste atoom, het waterstofatoom, bestaat uit een proton met daaromheen cirkelend een elektron.

a. Bereken de elektrische kracht die het atoom bij elkaar houdt, als het elektron zich op een afstand van  $5,3 \cdot 10^{-2}$  nm van het proton bevindt.

Deze kracht levert de middelpuntzoekende kracht.

b. Bereken de snelheid waarmee het elektron beweegt.

Stel dat het elektron met dezelfde snelheid beweegt, maar dat het atoom slechts door de gravitatiekracht bij elkaar gehouden wordt.

c. Bereken de afstand waarop het elektron zich in dit geval van het proton zou moeten bevinden.

**Opgave 6)**

Waardoor zijn de buitenste elektronen van een atoom gemakkelijker te verwijderen dan de binnenste? Geef twee oorzaken.

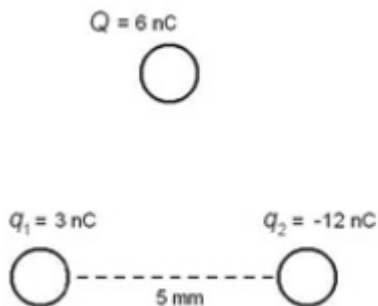
**Opgave 7)**



figuur 1.4.2

In figuur 1.4.2 zie je twee ladingen getekend.

a. Neem de figuur over en teken de elektrische kracht op lading  $q_2$  met de juiste grootte en richting.



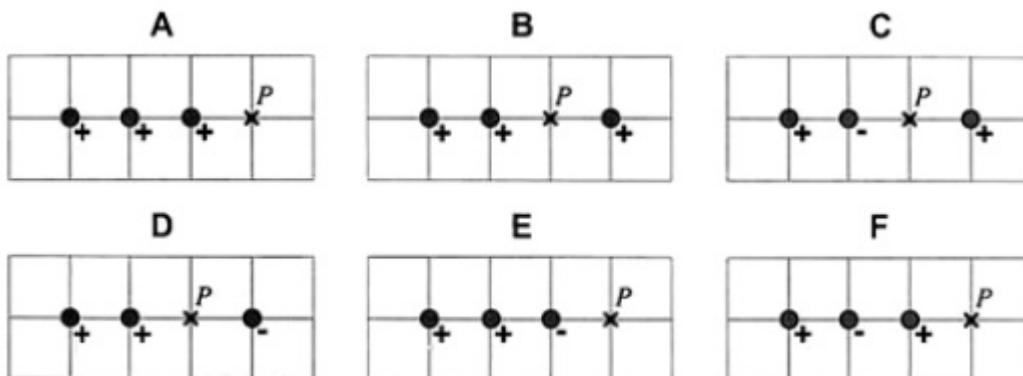
figuur 1.4.3

Bekijk figuur 1.4.3 De ladingen zitten op de hoekpunten van een denkbeeldige gelijkzijdige driehoek met zijden van  $5 \text{ mm}$ . Op tijdstip  $t = 0$  laten we de ladingen vrij om te bewegen. b. Neem de figuur over en geef de richting aan waarin lading  $Q$  op  $t = 0$  zal gaan bewegen. Denk hierbij aan wat je bij mechanica geleerd hebt over het optellen van krachten.

Lading  $Q$  heeft een massa van  $2,0 \text{ g}$ .

c. Bereken de versnelling van lading  $Q$  op  $t = 0$ .

**Opgave 8)**



In de figuur hierboven zijn telkens drie puntladingen getekend en een punt  $P$ . De ladingen zijn even groot, maar hebben soms een verschillend teken. Ze liggen op een rechte lijn op telkens dezelfde onderlinge afstand. Er zijn geen andere ladingen dan de getekende. Orden de situaties A, B, ..., F naar

de grootte van de kracht op een denkbeeldige puntlading in P.

Grootste kracht ..., ..., ..., ..., ..., ... kleinste kracht.

In situatie(s) ..., ..., ..., ..., ..., ... is de kracht even groot.

Leg telkens duidelijk uit hoe je tot het antwoord komt.

### Opgave 9)



In de figuur hierboven zie je een elektroscoop. Met dit apparaat kan gecontroleerd worden of een voorwerp geladen is, door het tegen het bolvormige uitsteeksel van de elektroscoop aan te houden.

- De blaadjes in de elektroscoop zijn elektrisch geleidend. Leg uit dat de blaadjes uit elkaar gaan wanneer het voorwerp geladen is.
- Kun je uitmaken of het voorwerp positief of negatief geladen is?
- Leg uit waarom het eigenlijk al voldoende is om het voorwerp in de buurt van de elektroscoop te houden.

### Opgave 10)

Denk terug aan het proefje met de plastic pen en de papiersnippers. Leg uit waardoor de meeste papiersnippers vrijwel meteen na aanraking met de pen weer "wegspringen".

## 1.5 Het elektrische veld

---

Uit de formule voor  $F_e$  en ervaringen met bijvoorbeeld de geladen pen en papiersnippers, blijkt dat elektrische krachten op afstand merkbaar zijn. Iets soortgelijks geldt voor magnetische krachten en gravitatiekrachten. Om deze krachtwerking op afstand te kunnen beschrijven, is het begrip *veld* ingevoerd. Zo kennen we elektrische, magnetische en gravitatievelden.

Een elektrisch veld ontstaat waar ladingen aanwezig zijn. Zo heeft een (bolvormige) lading  $q_1$  een elektrisch veld met sterkte  $E$  om zich heen, waarvoor op afstand  $r$  van de lading geldt:

$$E = k \frac{|q_1|}{r^2}$$

Een elektrisch veld heeft invloed op andere ladingen. Zodra een lading  $q_2$  zich in een elektrisch veld  $E$  bevindt, ondervindt deze namelijk een elektrische kracht  $F_e$  waarvoor geldt:

$$F_e = |q_2|E$$

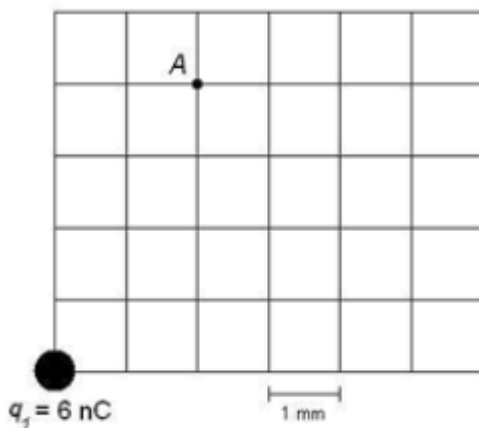
Wanneer we vergelijkingen 1 en 2 combineren, dan zien we dat de kracht die  $q_2$  ondervindt in het veld van  $q_1$  gelijk is aan de elektrische kracht van  $q_1$  op  $q_2$  volgens vergelijking 1. Precies wat we verwachten!

Andersom heeft  $q_2$  natuurlijk ook zijn "eigen" elektrisch veld, waarin  $q_1$  zich bevindt en een kracht  $F_e$  ondervindt. Velden houden dus keurig rekening met Newtons wet: actie = reactie.

Net als kracht is de elektrische veldsterkte een vector: een grootheid met grootte en richting. Als afspraak geldt: de richting van het veld in een bepaald punt is gelijk aan de richting waarin een positieve lading in dat punt zou bewegen.

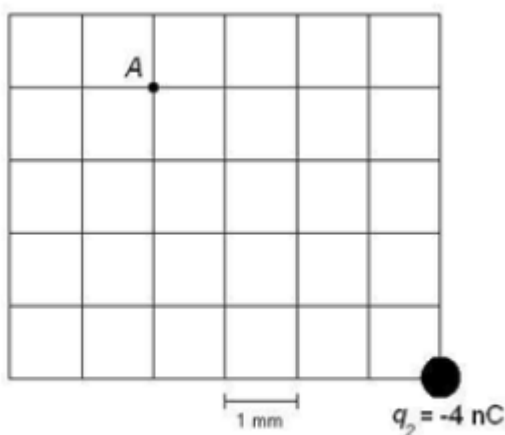
Tot slot: misschien lijken velden op het eerste gezicht alleen een wiskundig trucje om de krachtwerking op afstand te kunnen beschrijven. Dat is niet zo. In de loop der jaren is men ervan overtuigd geraakt dat velden echt bestaan. Ondanks dat we ze niet kunnen zien, ruiken, horen, proeven of aanraken...

### Opgave 12)



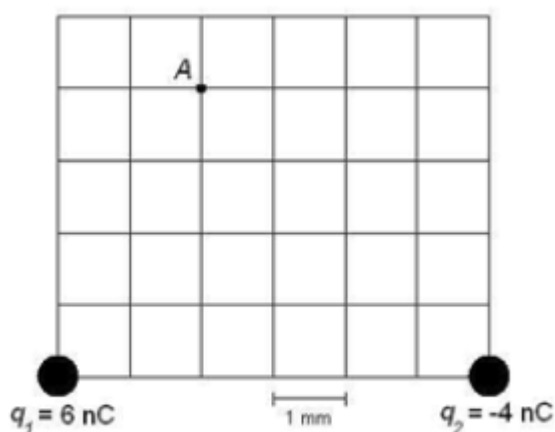
figuur 1.5.1

- Bereken de sterkte van het elektrisch veld in punt A.
- Neem de figuur over en geef met een pijl de richting van het elektrisch veld in punt A aan.



figuur 1.5.2

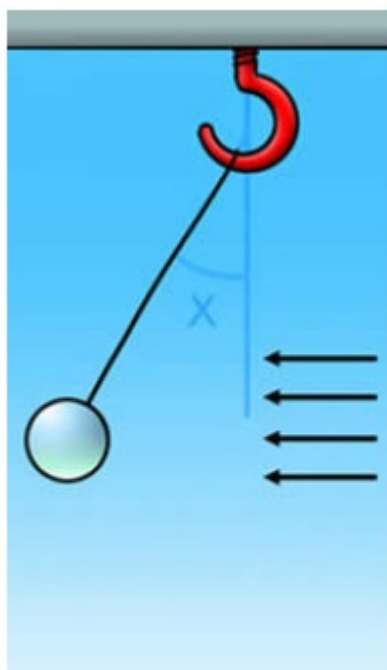
c. Bekijk figuur 1.5.2 en beantwoord dezelfde vragen als hierboven.



figuur 1.5.3

Ten slotte combineren we de twee ladingen (figuur 1.5.3). d. Leg uit hoe je in dit geval de grootte en richting van het elektrisch veld in punt A kunt bepalen (je hoeft de bepaling zelf niet te doen).

**Opgave 13)**



figuur 1.5.4

Een elektrisch geladen bolletje hangt aan een draad in een uniform elektrisch veld - een veld dat overal even sterk is - waarvan de richting door pijlen wordt aangegeven. Zie figuur 1.5.4. Er heerst zwaartekracht. In de tabel staan zes combinaties van massa en lading:

situatie **massa (g)** **lading (nC)**

A	3	8
B	6	4
C	9	2
D	3	2
E	6	8
F	9	4

Het bolletje zal telkens een hoek  $X$  met de verticaal maken.

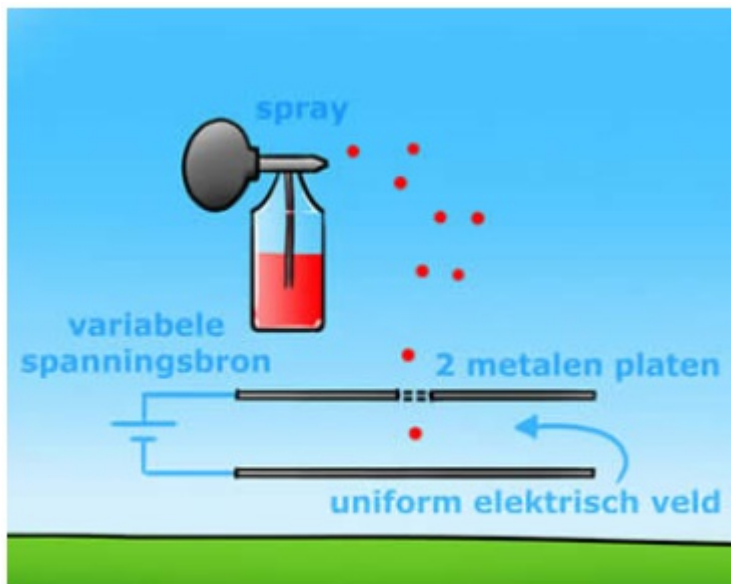
Orden de situaties A, B, ..., F naar de grootte van de hoek  $X$  met de verticaal.

Grootste  $X$  ..., ..., ..., kleinste  $X$ . In situatie(s) ..., ..., ..., is  $X$  even groot.

Leg telkens duidelijk uit hoe je tot het antwoord komt.

## 1.6 Proef van Millikan

De Amerikaanse wetenschapper Robert Millikan bepaalde aan het begin van de 20e eeuw de lading van het elektron met een verrassend simpel experiment. In figuur 1.6.1 zie je een vereenvoudigde weergave van zijn opstelling.



figuur 1.6.1

Met een sproeier ("spray" in het plaatje) spoot Millikan oliedruppeltjes in een ruimte. Door wrijving met de sproeier raakten de druppels een beetje negatief geladen. Het ene druppeltje kreeg bijvoorbeeld een overschot van 2 elektronen, een andere van 3, enzovoort.

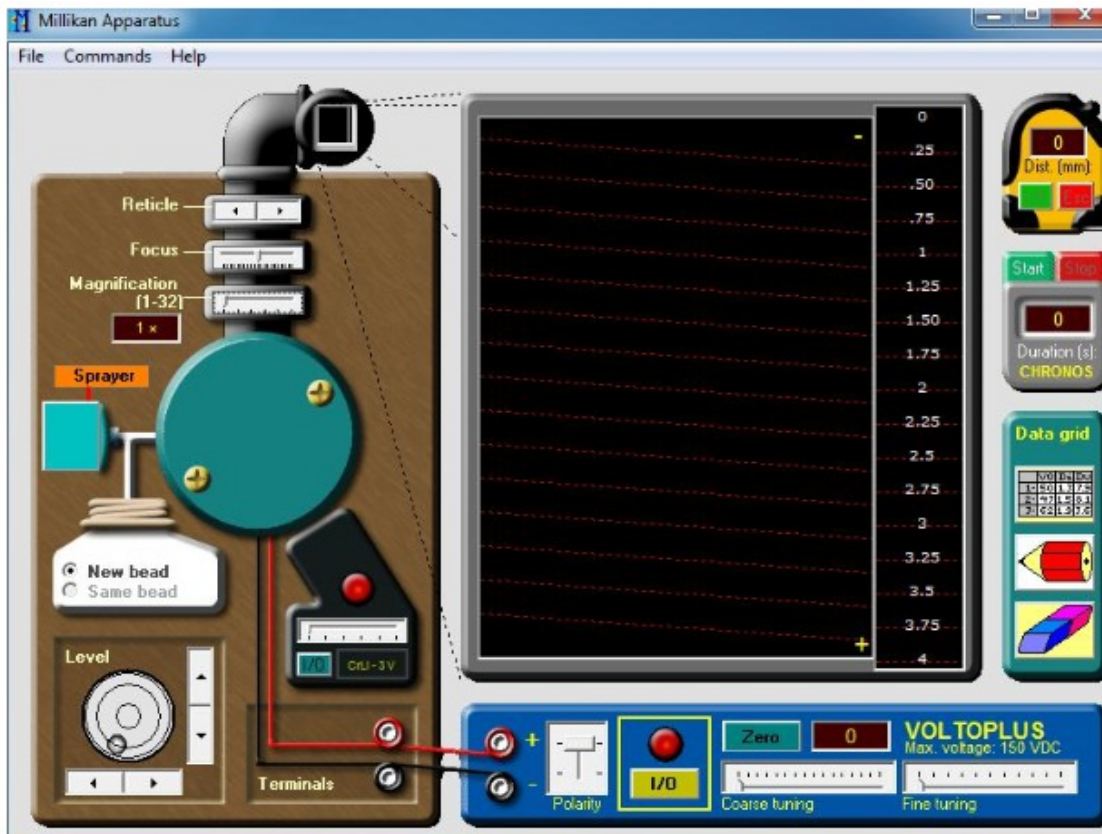
Onder invloed van de zwaartekracht zakten de druppeltjes langzaam naar beneden. Sommige druppeltjes kwamen hierdoor tussen de twee metalen platen terecht. Deze platen waren aangesloten op een variabele spanningsbron. Een spanningsbron zorgt ervoor dat er tussen twee platen een vrijwel uniform elektrisch veld ontstaat, waarvoor geldt:

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

Hierin is  $U$  de bronspanning (in V) en  $d$  de afstand tussen de platen (in m). Met een microscoop hield Millikan een druppeltje in de gaten, terwijl hij de bronspanning aanpaste. Bij een bepaalde spanning bleef het druppeltje zweven. Er is dan evenwicht tussen de krachten omhoog en de zwaartekracht omlaag. Teken maar eens een krachtendiagram van de krachten op het druppeltje. De opwaartse kracht van de lucht kan niet verwaarloosd worden!

De Universiteit van Saint-Boniface in Winnipeg, Canada heeft voor zijn studenten een computerpracticum ontwikkeld van de proef van Millikan.

Wij gaan dit practicum ook doen. In de afbeelding hieronder zie je vast de meetopstelling.



Ga naar [de site van de Universiteit van Saint-Boniface](#) en download het programma 'Millikan Apparatus'.

Open het programma en bekijk de proefopstelling eens wat nauwkeuriger. Je ziet het volgende:

- Het scherm is wat je te zien krijgt, als je in de microscoop kijkt.
- Het linker deel is het meetapparaat met de kamer waar de druppeltjes in worden geschoten, de microscoop, de waterpas ("Level"), de lamp en het raster met lijnen dat ook zichtbaar is door de microscoop.
- Het blauwe gedeelte bevat de spanningsbron. Met de twee schuiven kan het spanningsverschil (grof en fijn) worden geregeld en ook kan de spanning worden omgepoold.

### Ga als volgt te werk:

1 .Stel het apparaat in.

- Zorg met level dat het apparaat precies horizontaal staat. Dat doe je door te zorgen dat de luchtbel precies in het midden komt. Zodra dit het geval is, wordt dat gemeld.
- Lijn daarna het grid uit, met de knop "reticle". Ook hier krijg je een melding als de instelling juist is.
- Zet vervolgens de lamp aan. Zet met behulp van de schuif de sterkte van de lamp op maximaal.
- Zet tot slot de spanningsbron aan, maar houd de spanning op nul.

### Pas nu kun je gaan meten!

2. Spray een druppeltje in de stand "New bead".

Zet de sprayer daarna in de stand "Same bead". Er wordt nu voor gezorgd dat je steeds hetzelfde druppeltje ziet, dat je telkens opnieuw kunt laten bewegen.

3. Varieer de spanning totdat het druppeltje zweeft.

Dit laatste vergt veel oefening. Let op: stel eerst de spanning grof in.

Heb je dat gedaan, maak dan gebruik van de mogelijkheid om het beeld te vergroten.

Je zult zien dat de druppel toch nog beweegt. Je moet met de fijnregeling de druppel weer stil zien te krijgen.

4. Is dat gelukt, sla dan de uiteindelijke spanning op in het datagrid.

5. Spuit een nieuw druppeltje ("New bead") in en herhaal de meting.

6. Herhaal dit tot je zoveel data hebt dat er een duidelijk patroon zichtbaar is. Vraag hulp aan je PAL/leraar als je niet zeker bent of je al voldoende data hebt. Zoek eens uit hoe je de verzamelde data met behulp van het datagrid kunt opslaan.

7. Je kunt nu de ladingen berekenen met de volgende formule:

$$q = \frac{4\pi r^3 (\rho - \rho_l) \cdot g}{3E}$$

met:  $\rho$  = dichtheid olie

$\rho_l$  = dichtheid lucht

$r$  = straal oliedruppel

$g$  = valversnelling

$E$  = veldsterkte n.b. realiseer je dat geldt:  $E = U/d$

Klik op Help voor de benodigde gegevens.

8. Rangschik de ladingen naar opklimmende grootte.

9. Probeer de eenheidslading te bepalen.



Probeer de formule:

$$q = \frac{4\pi r^3 (\rho - \rho_l) \cdot g}{3E}$$

af te leiden.

Aanwijzing:

Bedenk dat op de druppel door de lucht een opwaartse kracht wordt uitgeoefend die gelijk is aan de grootte van de zwaartekracht werkend op de verplaatste hoeveelheid lucht.

[Klik hier](#)

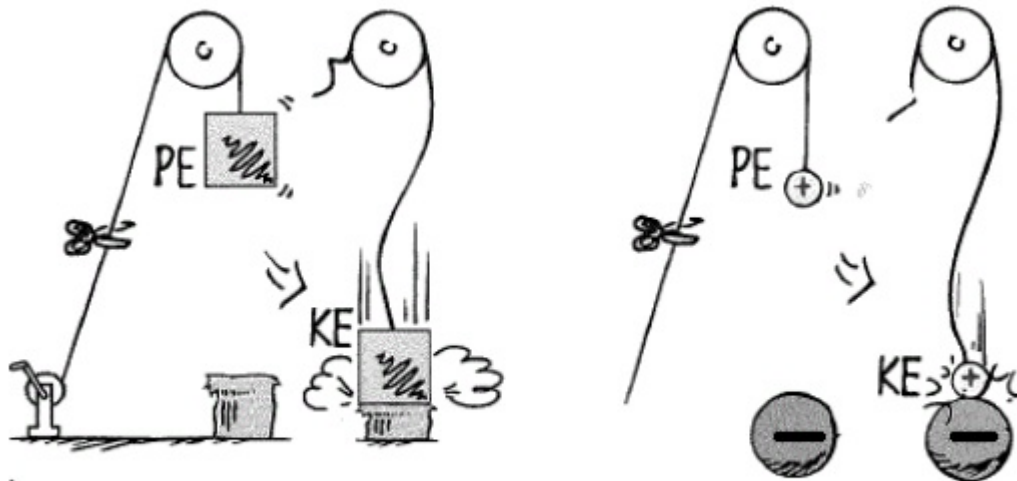
## 1.7 Energie en veld

---

Een massa aan een touwtje boven een andere massa (bijvoorbeeld de aarde) heeft potentiële energie (PE). Die energie kan omgezet worden in kinetische energie (KE).

Je kunt dit vergelijken met twee ladingen bij elkaar in de buurt. Een positieve lading op zekere afstand van een negatieve lading aan een touwtje bezit ook potentiële energie (PE), die in dit geval ook kan worden omgezet in kinetische energie (KE) (Zie figuur 1.7.1).





figuur 1.7.1

Als je hier langer over nadenkt, is het toch wat vreemd. Hoe kan zo'n kracht nu eigenlijk op afstand werken? Als een voetballer tegen een bal schopt is er een direct contact tussen de voet en de bal. Maar ladingen en massa's oefenen kennelijk krachten op elkaar uit, terwijl ze elkaar niet direct aanraken. Best geheimzinnig eigenlijk. Zowel een lading als een massa hebben een *krachtveld* om zich heen. Een *massa* is de bron van een *gravitatieveld* en een *lading* is de bron van een *elektrisch veld*.

In paragraaf 1.5 heb je al naar elektrische velden gekeken; in deze paragraaf gaan we eens kijken hoe het precies zit met energie en krachten in zo'n veld. Even herhalen: het *elektrisch veld*  $E$  is een ruimte waarin een geladen deeltje een kracht ondervindt.

$$E = \frac{F_e}{q}$$

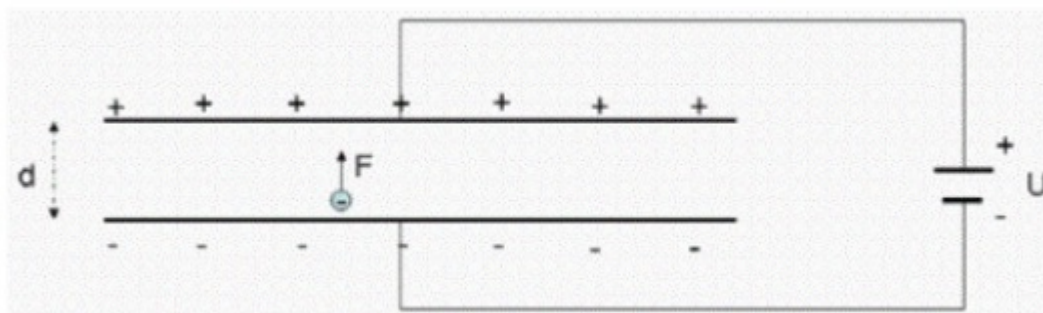
In woorden: veldsterkte is de *kracht per ladingseenheid* [N/C].

Een geladen deeltje is zelf de bron van een elektrisch veld, en de veldsterkte  $E$  is afhankelijk van de lading  $q$ [C] en de afstand tot deze lading  $r$ [m].

$$E = k \frac{q}{r^2}$$

Hier is  $k$  de constante van Coulomb (zie ook paragraaf 1.3).

We kunnen in de praktijk een mooi homogeen elektrisch veld maken door twee metalen platen parallel op te stellen (geïsoleerd en het liefst in vacuüm) en een spanningsbron met potentiaalverschil  $U$  op de platen aan te sluiten.



Er verzamelt zich nu een overschot aan elektronen op de plaat die op de negatieve pool is aangesloten, en er ontstaat een tekort aan elektronen op de andere plaat. Tussen de platen ontstaat nu een elektrisch veld  $E$ . Ook hier zijn dus nog steeds *ladingen* de bron van het *elektrische veld*. De sterkte van het elektrisch veld tussen de platen is nu

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

met  $d$  de afstand tussen de platen. Als je goed naar deze formule kijkt zie je dat het elektrische veld dus hier als eenheid [V/m] heeft, terwijl formule 1 [N/C] als eenheid heeft. Deze laatste formule hebben we al bij de proef van Millikan gebruikt, in de vorige paragraaf.

Kennelijk is een [V/m] hetzelfde als een [N/C]. Dat klinkt misschien gek, maar het is echt zo. Kijk maar:

$$\frac{V}{m} = \frac{J}{Cm} = \frac{Nm}{Cm} = \frac{N}{C}$$

Een geladen deeltje bezit dus potentiële energie (PE) in dit veld. De potentiële energie neemt toe naarmate een (negatief) positief deeltje dichter tegen de (negatieve) positieve plaat aanzit. Als we het deeltje loslaten, dan versnelt het richting tegenoverliggende plaat: potentiële energie (PE) wordt dan omgezet in kinetische energie (KE).

#### Voorbeeld

We nemen een spanningsbron  $U = 100$  Volt en sluiten deze aan op twee parallel opgestelde metalen platen in vacuüm. De afstand tussen de platen is  $d = 1,00$  cm.

We stellen onszelf nu de volgende vier vragen:

## Vragen

[maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898318](https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898318)



Hoe groot is nu de elektrische veldsterkte tussen de platen?

Hoe groot is de kracht op een elektron tussen de platen?

Welke versnelling ondervindt dit elektron?

Hoe groot is de kinetische energie (KE) als het elektron aan de andere kant de positieve plaat treft?

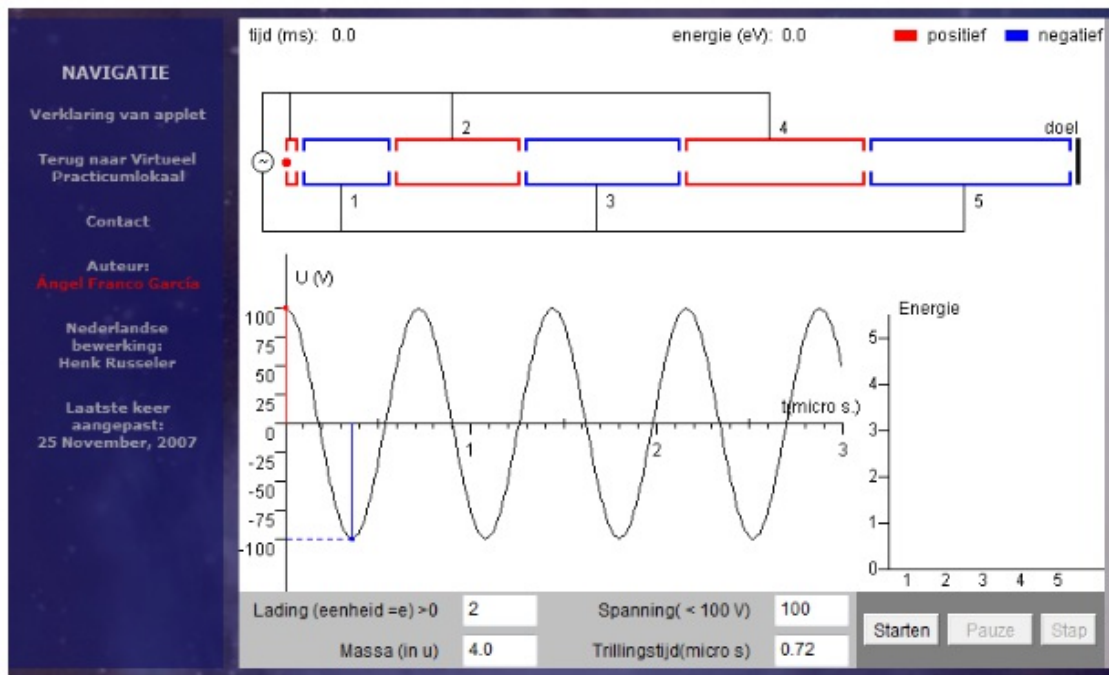
### Opgave 14)

Een oliedruppeltje met een massa van  $1,0 \cdot 10^{-16}$  g is tweevoudig positief geladen ( $Q = +2e$ ) en bevindt zich in een elektrisch veld  $E$  veroorzaakt door een potentiaalverschil tussen twee platen. Het druppeltje ondervindt een versnelling  $a = 1,0 \cdot 10^4$   $\text{ms}^{-2}$  en het geheel bevindt zich in vacuüm. De zwaartekracht is niet verwaarloosbaar. De elektrische kracht is in deze opgave precies tegengesteld aan de zwaartekracht.

- Wat is de afstand tussen de platen als het potentiaalverschil 100 Volt bedraagt?
- Wat is de energie die de druppel erbij krijgt (in eV) als deze van de ene plaat naar de andere beweegt?

### De lineaire versneller

Bij dit apparaat wordt gebruik gemaakt van het herhaald versnellen van een geladen deeltje met dezelfde waarde van de versnelspanning.



Bekijk het volgende applet:

[http://virtueelpracticumlokaal.nl/lineaireversneller\\_nl/linversneller\\_nl.html](http://virtueelpracticumlokaal.nl/lineaireversneller_nl/linversneller_nl.html)

### Vragen en opdrachten

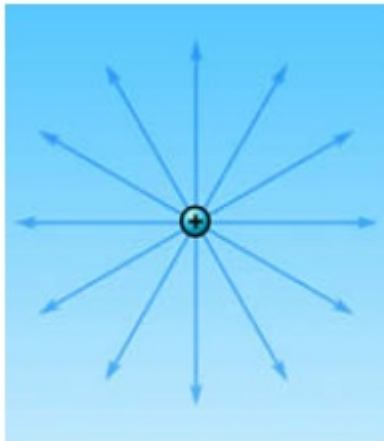
- A) Bepaal voor een proton en voor een alphadeeltje bij 100 V topspanning en bij 50 V topspanning de juiste waarde van de periodetijd.
- B) Vergelijk deze waarden en probeer de verschillen te verklaren.

## 1.8 Veldlijnen

---

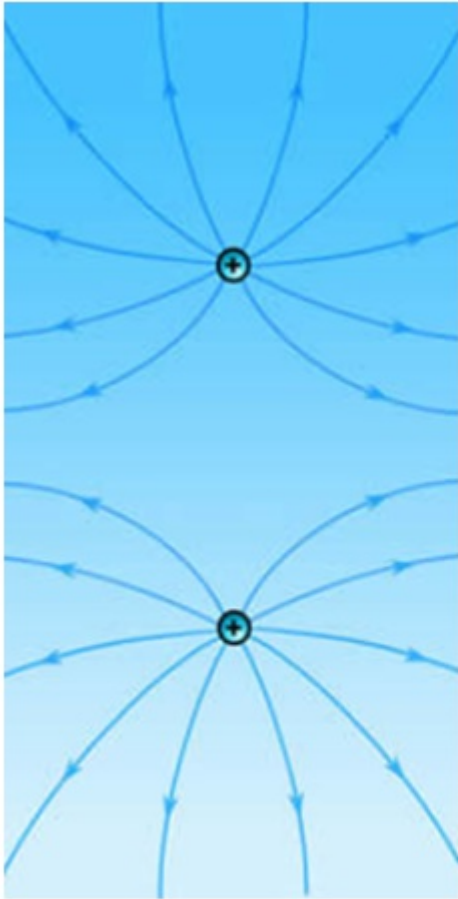
### Veldlijnen tekenen

Om meer grip op het "onzichtbare" elektrisch veld te krijgen, is nagedacht over een manier om het veld te kunnen visualiseren. We gebruiken daarvoor de constructie van veldlijnen. Bekijk bijvoorbeeld de positieve lading  $q$  in figuur 1.8.1.

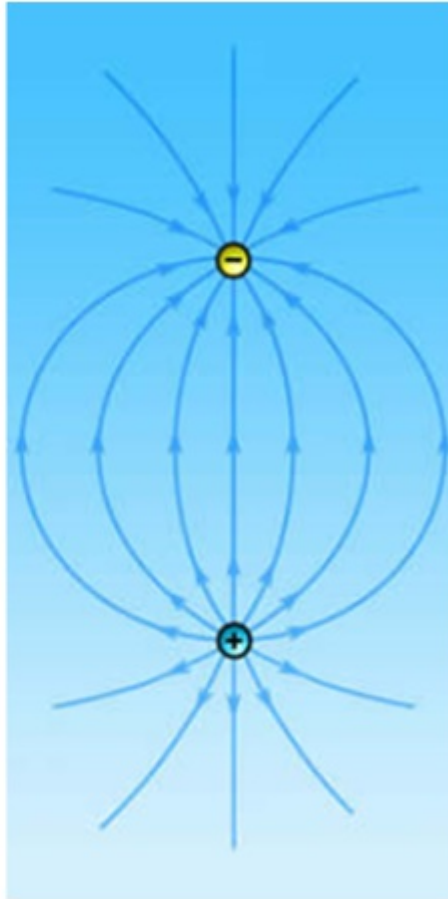


figuur 1.8.1

Om de lading heen zie je enkele veldlijnen getekend. Een veldlijn geeft het pad aan waarlangs een lading zou gaan bewegen, als deze in het veld geplaatst wordt. In dit geval dus in een *rechte lijn* - naar  $q$  toe als het een negatieve lading is, of van  $q$  vandaan als het een positieve lading is. Een pijlpunt in de veldlijnen geeft aan wat de richting van het elektrisch veld is, volgens de afspraak zoals die in paragraaf 1.5 is uitgelegd.



figuur 1.8.2



figuur 1.8.3

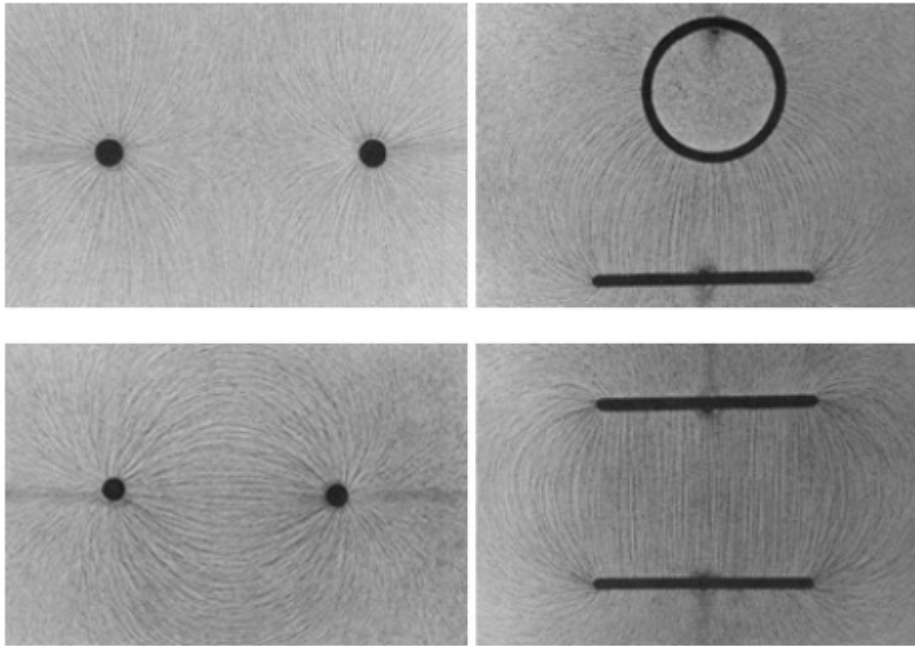
Het elektrische veld van twee of meer ladingen is in feite samengesteld uit de losse velden van de afzonderlijke ladingen. In figuur 1.8.2 zie je bijvoorbeeld het veldlijnenpatroon van twee positieve ladingen. Dat van een negatieve en een positieve lading staat in figuur 1.8.3.

Al met al is er een viertal 'regels' waaraan een elektrisch veldlijnenpatroon moet voldoen:

1. De richting van veldlijnen is altijd van positieve lading naar negatieve lading.
2. Veldlijnen snijden elkaar nooit.
3. Veldlijnen staan loodrecht op het oppervlak van een lading.
4. Hoe dichter de veldlijnen op elkaar staan, des te sterker het veld daar is.

Het aantal veldlijnen dat je tekent, is niet bijzonder van belang. Zolang ze maar een goed beeld geven van het veld en natuurlijk aan de bovenstaande regels voldoen.

In figuur 1.8.4 zie je een aantal veldlijnenpatronen. Deze patronen zijn gemaakt met behulp van geladen griesmeeldeeltes in een vloeistof, die zich richten in een elektrisch veld.



figuur 1.8.4

### IJshockey met ladingen

Bekijk het onderstaande applet.



Klik hier: [http://phet.colorado.edu/sims/electric-hockey/electric-hockey\\_en.jnlp](http://phet.colorado.edu/sims/electric-hockey/electric-hockey_en.jnlp)

Je kan positieve (rode) en negatieve (blauwe) ladingen met je muis binnen het veld schuiven, waardoor de zwarte puck resp. afgestoten en aangetrokken wordt.

Verricht de volgende handelingen en kijk wat er gebeurt:

1. Begin met de eenvoudigste situatie ("practice") en breng door het plaatsen van 1 positieve lading de zwarte puck in de goal.
2. Ga na wat er met de krachtvector gebeurt als gevolg van de afstand van jouw lading tot de puck. Hoeveel keer langer wordt de vector als je de afstand tussen de ladingen halveert?
3. Let tijdens de beweging van de puck op zijn versnelling.
4. Zet nu ook het veld (=field) aan.
5. Wat valt op als je 2 tegengestelde ladingen op een afstandje van elkaar loslaat en ze even volgt?

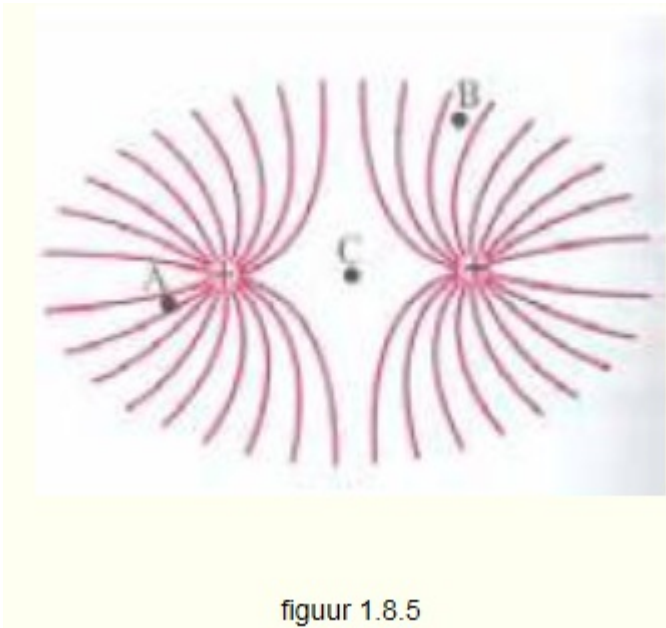
### Opgave 15)

Bereideneer waarom het onmogelijk is dat veldlijnen elkaar snijden.



### Opgave 16)

Bekijk het veldlijnenpatroon in figuur 1.8.5

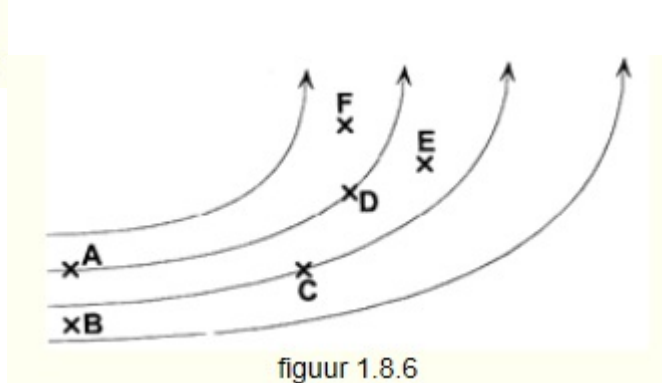


figuur 1.8.5

- Geef aan in welke richting de elektrische kracht op een positieve lading staat als die zich in punt A bevindt. En in punt B en C?
- Rangschik de punten A, B en C in volgorde van aflopende veldsterkte (dus het sterkste veld eerst).



### Opgave 17)



figuur 1.8.6

In figuur 1.8.6 zijn de veldlijnen van een niet-uniform elektrisch veld getekend.

Orden de veldsterkte in de punten A, B, ..., F van de hoogste waarde tot de laagste.

Grootste veldsterkte ..., ..., ..., ..., kleinste veldsterkte.

In situatie(s) ..., ..., ..., ..., ... is de veldsterkte even groot.

Leg telkens duidelijk uit hoe je tot je antwoord komt.

## Basiskennistoets hoofdstuk 1

### Basiskennistoets hoofdstuk 1

Een basiskennistoets is bedoeld om na te gaan of je de belangrijkste onderwerpen uit het hoofdstuk begrepen hebt.

Deze toets test je parate kennis over het hoofdstuk, maar niet meer dan dat. Voor het proefwerk zul je in elk geval ook de opgaven moeten bestuderen.

### Vragen

[maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898321](https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/898321)



1a)

De stroomsterkte door een koperdraad is 0,25 A. De draad heeft een doorsnede van 2,0 mm<sup>2</sup> en een lengte van 50 cm.

Bereken het aantal elektronen dat per minuut door de doorsnede van de draad gaat.

1b)

Voor de gemiddelde snelheid van deze elektronen geldt de formule:

$$v_{gem} = \frac{I \cdot M}{2 \cdot e \cdot N_A \cdot \rho A}$$

Met: M = molaire massa van koper

N<sub>A</sub> = constante van Avagadro

ρ = dichtheid koper

A = doorsnede draad

I = stroomsterkte door de draad

e = elementairlading

Bereken de gemiddelde snelheid van de elektronen in de koperdraad (kies de juiste eenheden!).



2a)

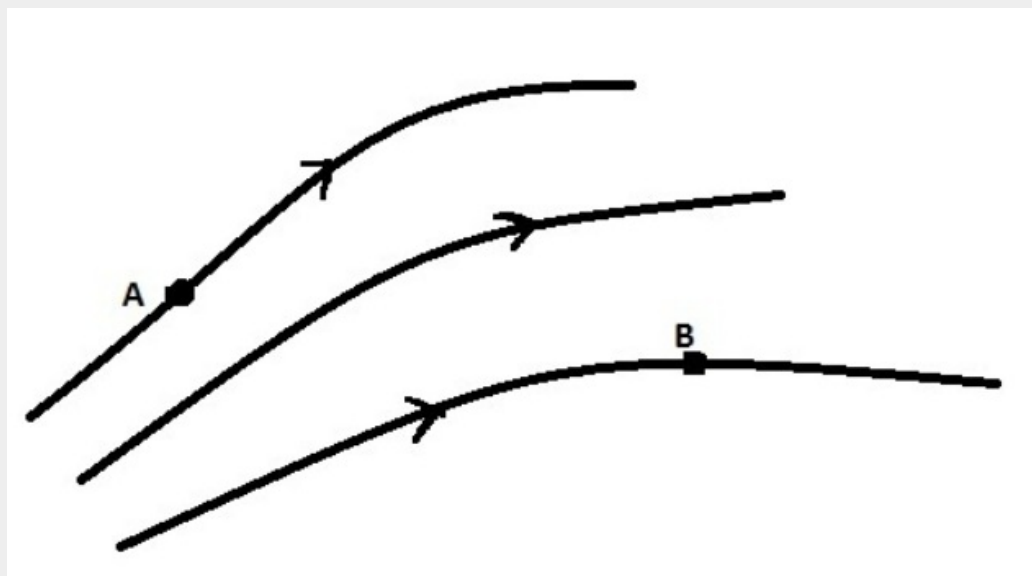
Schets het veldlijnenpatroon van een radiaal veld, veroorzaakt door een negatief geladen bol.

Hoe verandert de situatie als we de bol even sterk positief laden, in plaats van negatief?

Schets het veldlijnenpatroon van een homogeen elektrisch veld tussen de platen van een condensator. Laat duidelijk zien hoe de spanningsbron is aangesloten. Leg uit hoe deze opstelling kan worden gebruikt om geladen deeltjes te versnellen en van welke grootheden de eindsnelheid afhangt.

3a)

Gegeven het volgende veldlijnenpatroon:



Teken in A en B de veldsterktevector.

**3b)**

**Welke vector moet het langst worden getekend, die in A of die in B? Licht je antwoord toe.**

**3c)**

**We brengen in A een elektron. Schets de kracht op het elektron. Licht je antwoord toe.**

## Zelf presenteren

---

Zoek samen met de TOA een proef uit over de stof van dit hoofdstuk. Kies zo mogelijk een proef die

a. een belangrijk principe illustreert dat je in dit hoofdstuk hebt geleerd en

b. verrassend is.

Je bereidt, samen met een andere leerling, de proef in je eigen tijd voor. Samen presenteren jullie de proef aan de klas.

## Over dit lesmateriaal

---

### Colofon

Dit materiaal is achtereenvolgens ontwikkeld en getest in een SURF-project (2008-2011: e-klassen als voertuig voor aansluiting VO-HO) en een IIO-project (2011-2015: e-klassen&PAL-student). In het SURF project zijn in samenwerking met vakdocenten van VO-scholen, universiteiten en hogescholen e-modules ontwikkeld voor Informatica, Wiskunde D en NLT. In het IIO-project (Innovatie Impuls Onderwijs) zijn in samenwerking modules ontwikkeld voor de vakken Biologie, Natuurkunde en Scheikunde (bovenbouw havo/vwo). Meer dan 40 scholen waren bij deze ontwikkeling betrokken. Organisatie en begeleiding van uitvoering en ontwikkeling is gecombineerd vanuit **B&apartners/Its Academy**, een samenwerkingsverband tussen scholen en vervolgopleidingen. Zie ook [www.itsacademy.nl](http://www.itsacademy.nl) De auteurs hebben bij de ontwikkeling van de module gebruik gemaakt van materiaal van derden en daarvoor toestemming verkregen. Bij het achterhalen en voldoen van de rechten op teksten, illustraties, en andere gegevens is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Mochten er desondanks personen of instanties zijn die rechten menen te kunnen doen gelden op tekstgedeeltes, illustraties, enz. van een module, dan worden zij verzocht zich in verbinding te stellen met de programmamanager van de Its Academy (zie website). Gebruiksvoorwaarden: creative commons cc-by sa 3.0 Handleidingen, toetsen en achtergrondmateriaal zijn voor docenten verkrijgbaar via de b&tasteunpunten.

<b>Auteur</b>	Its Academy
<b>Laatst gewijzigd</b>	08 may 2015 om 11:10
<b>Licentie</b>	Dit lesmateriaal is gepubliceerd onder de Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie. Dit houdt in dat je onder de voorwaarde van naamsvermelding en publicatie onder dezelfde licentie vrij bent om: <ul style="list-style-type: none"><li>• het werk te delen - te kopiëren, te verspreiden en door te geven via elk medium of bestandsformaat</li><li>• het werk te bewerken - te remixen, te veranderen en afgeleide werken te maken</li><li>• voor alle doeleinden, inclusief commerciële doeleinden.</li></ul>

[Meer informatie over de CC Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie](#)

### Aanvullende informatie over dit lesmateriaal

Van dit lesmateriaal is de volgende aanvullende informatie beschikbaar:

<b>Leerniveau</b>	;
<b>Leerinhoud en doelen</b>	;
<b>Eindgebruiker</b>	leerling/student
<b>Moeilijkheidsgraad</b>	gemiddeld
<b>Trefwoorden</b>	e-klassen rearrangeerbaar