



minelabs

# De Coulombkracht

in samenwerking met

KLA

pito  
STABROEK



Universiteit  
Antwerpen

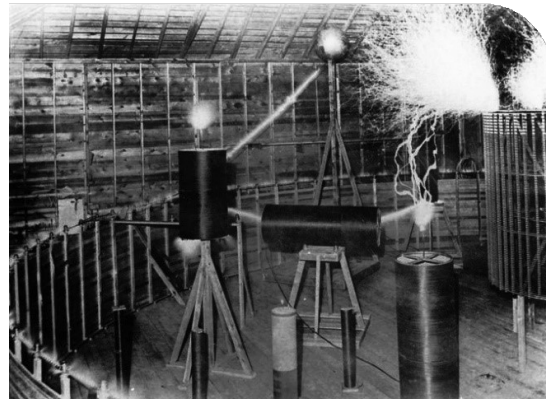
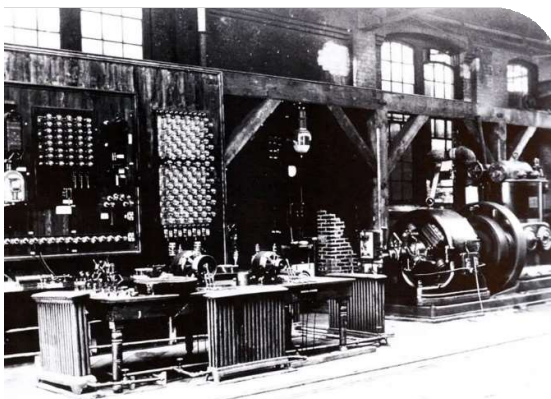
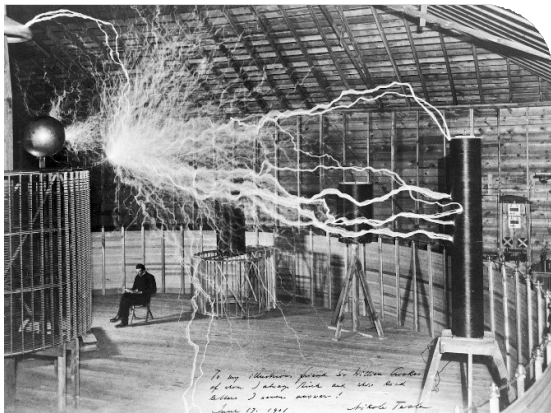
umec

De Coulombkracht zorgt ervoor dat elektrische ladingen elkaar aantrekken of afstoten, gelijkaardig aan hoe magneten elkaar kunnen aantrekken of afstoten. De Coulombkracht is ontzettend belangrijk in ons dagelijks leven. Ze zorgt ervoor dat atomen bestaan doordat elektronen bij een atoomkern blijven, en zorgt ervoor dat atomen bij elkaar blijven waardoor ze materie vormen. Zonder de Coulombkracht zou er geen materie zijn - geen water, geen lucht, zelfs geen mensen!

## Het Minelabs laboratorium: Tesla's Wardencllyffe tower

Welkom in het laboratorium van Nikola Tesla! Tesla, die rond 1900 leefde, is één van de grootste ingenieurs en uitvinders aller tijden. Hij ontwikkelde en verbeterde veel elektrische componenten. Met de Wardencllyffe toren wilde Tesla elektriciteit door de lucht transporteren. Maar het stroomverbruik was niet te meten, waardoor de meeste investeerders afhaakten. Jammer, anders hadden wij misschien gratis draadloze stroom.

Je kan dit laboratorium vinden door het **gele pad** te volgen vanuit het station.



## A. Mysterieuze effecten

1. Neem uit de linker kist in het laboratorium subatomaire deeltjes. Dat zijn deeltjes die kleiner zijn dan een atoom, namelijk protonen, neutronen en elektronen, maar ook neutrino's, pionen, positronen, anti-protonen, anti-neutronen en anti-neutrino's.
2. Plaats de deeltjes op de vloer (plaats maximaal 30 deeltjes). Kan je de deeltjes indelen in drie groepen, op basis van hun bewegingen?

Groep I:	Groep II:	Groep III:
Deeltjes:	Deeltjes:	Deeltjes:

Kruis aan wat van toepassing is en vul aan

- Deeltjes uit groep I     bewegen niet  
                                    bewegen weg van deeltjes uit groep .....  
                                    bewegen naar deeltjes uit groep .....
- Deeltjes uit groep II     bewegen niet  
                                    bewegen weg van deeltjes uit groep .....  
                                    bewegen naar deeltjes uit groep .....
- Deeltjes uit groep III     bewegen niet  
                                    bewegen weg van deeltjes uit groep .....  
                                    bewegen naar deeltjes uit groep .....
3. Deze beweging is te wijten aan een eigenschap van de deeltjes. We noemen deze eigenschap de **elektrische lading**. Omdat er drie groepen zijn, noemen wetenschappers de elektrische lading **positief (+), neutraal (0) of negatief (-)**.
  4. Schrijf in tabel A.2 bij de groepen of het gaat over positief geladen deeltjes, neutrale deeltjes of negatief geladen deeltjes. Dit kan je afleiden op basis van de naam en het prentje van de deeltjes

## Extra

Jou is misschien opgevallen dat de deeltjes niet enkel bewegen maar soms ook veranderen of verdwijnen in een lichtflits. Hier hoef je op deze moment nog geen aandacht aan te besteden, maar de natuur werkt nu eenmaal zo. Als je nieuwsgierig bent, kan je hier wat meer informatie vinden:

- Sommige deeltjes zijn niet stabiel. Zo'n instabiel deeltje zal na verloop van tijd veranderen in een ander deeltje. Hierbij verschijnt een zwak boson. Bijvoorbeeld zal een neutron na een tijdje veranderen in een proton, waarbij een zwak boson verschijnt. Dit fenomeen is de basis van radioactief verval (Zie daarvoor het werkblad over radioactiviteit).
- Ieder deeltje heeft een anti-deeltje. Wanneer een deeltje en een anti-deeltje elkaar raken, verdwijnen ze met een lichtflits. Zij annihileren elkaar. (Zie daarvoor het werkblad over radioactiviteit).

## B. Kracht, snelheid en versnelling

1. Een elektrisch geladen deeltje kan een ander geladen deeltje vanop afstand doen bewegen. Deze kracht op afstand noemt men **de Coulombkracht**. Het geladen deeltje oefent de Coulombkracht uit op het ander deeltje.
2. Wanneer een deeltje beweegt, toont de zwarte pijl de grootte, richting en zin van de snelheid van het deeltje. We noemen dit de **snelheidsvector**.
3. Neem uit de rechterkist in het laboratorium een 'krachtbril'. Als je de krachtbril opzet, zie je een andere vector, namelijk de **krachtvector**. Deze wijst de grootte, richting en zin aan van de Coulombkracht die het deeltje ondervindt.
4. **De kracht op het deeltje beïnvloedt de snelheid van het deeltje**. Dus zolang er een krachtvector te zien is, verandert de snelheid van het deeltje. Men zegt dat het deeltje een **versnelling** krijgt door de kracht. Maar vergis je niet, door de versnelling kan het deeltje versnellen, vertragen of van richting veranderen.
5. Wanneer er geen kracht meer op het deeltje inwerkt (en er geen krachtvector meer te zien is) blijft het deeltje stilstaan of aan dezelfde snelheid voortbewegen. Doordat het deeltje **wrijving** ondervindt zal het na een tijdje toch stil blijven staan.

## C. De Coulombkracht

1. Loop door de achterdeur van het laboratorium en steek de brug over naar de Wardencllyffe toren. Neem de benodigheden uit de kisten net achter de ingang.
2. Om de Coulombkracht te onderzoeken, kan je de **puntlading** gebruiken. Dat is een theoretisch puntobject dat geen volume en geen massa heeft. Je kan de lading aanpassen door enkele deeltjes in de puntlading te plaatsen. De elektrische lading van de puntlading is de van de elektrische ladingen van de deeltjes.
3. Zet de krachtbril op. Het is gemakkelijker de krachtvector te bekijken wanneer de ladingen stilstaan: plaats een time-freeze blok (of gebruik een honingraat op een lading) om de Coulombkracht te bestuderen. We gaan zo over naar het statische regime van de **elektrostatica**.
4. Gebruik twee puntladingen. Varieer hun elektrische ladingen en onderzoek de Coulombkracht die de puntladingen op elkaar uitoefenen. Schrap hieronder wat niet past:
  - a. Wanneer de elektrische ladingen van de puntladingen hetzelfde teken hebben, ondervinden zij een aantrekkende / afstotende kracht.
  - b. Wanneer de elektrische ladingen van de puntladingen een tegengesteld teken hebben, ondervinden zij een aantrekkende / afstotende kracht.
  - c. Wanneer puntlading 1 een grotere lading krijgt, wordt de kracht sterker / zwakker.
  - d. Wanneer puntlading 2 een grotere lading krijgt, wordt de kracht sterker / zwakker.
  - e. Wanneer de afstand tussen de puntladingen groter wordt, wordt de kracht sterker / zwakker.
5. Duid, op basis van de resultaten uit vraag 3, aan welke uitspraken correct zijn. De grootte van de Coulombkracht ...

- is recht evenredig met de grootte van puntlading 1

$$F \sim q_1$$

- is omgekeerd evenredig met de grootte van puntlading 1

$$F \sim \frac{1}{q_1}$$

- is recht evenredig met de grootte van puntlading 2

$$F \sim q_2$$

- is omgekeerd evenredig met de grootte van puntlading 2

$$F \sim \frac{1}{q_2}$$

- is recht evenredig met de grootte van de afstand, en wel

$$F \sim r^2$$

- is omgekeerd evenredig met de grootte van de afstand, en wel

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

6. De evenredigheidsconstante van de Coulombkracht,  $k$ , hangt af van het medium tussen de ladingen (bv. lucht). In vacuüm is **de constante van Coulomb** gelijk aan:

$$k = 8,99 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

7. Duid de correcte formule aan om de grootte van de Coulombkracht te berekenen

$F = k \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot r^2$

$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

$F = k \cdot \frac{r^2}{q_1 \cdot q_2}$

$F = k \cdot \frac{1}{q_1 \cdot q_2 \cdot r^2}$

### Besluiten:

- De wet van Coulomb, genoemd naar de Franse natuurkundige Charles-Augustin de Coulomb, beschrijft de kracht die twee elektrische puntladingen op elkaar uitoefenen.
- De Coulombkracht is ..... evenredig met elk van de ladingen en ..... evenredig met het kwadraat van de onderlinge afstand van de ladingen.
- Als de ladingen beide positief of beide negatief zijn, oefenen de puntladingen een
- ..... kracht op elkaar uit en wordt de kracht als positief gerekend. Zijn de ladingen tegengesteld, dan is er een..... kracht die negatief wordt gerekend.

## D. Het elektrisch veld

1. Ga weer uit de Wardencllyffe toren, steek de brug over en sla rechtsaf richting opdracht D. Volg de trap naar beneden tot je aan de eerste kooi komt. Zet je krachtbril weer af.
2. Plaats een time-freeze blok en een elektrische lading. Neem elektrische veldsensoren en plaats deze in de buurt van de lading. **De veldsensor toont de grootte en de richting van het elektrische veld op de positie.** Plaats vervolgens verspreid nog enkele elektrische ladingen. Wat valt je op?
  - a. De veldsensor wijst weg van / naar negatieve ladingen
  - b. De veldsensor wijst weg van / naar positieve ladingen
  - c. In de buurt van een grotere lading is de veldsensor groter / kleiner dan in de buurt van een kleinere lading
  - d. Dicht bij een lading is de veldsensor kleiner / groter dan ver weg van de lading

3. **Het elektrische veld in een bepaalde positie toont wat voor Coulombkracht een deeltje met een testlading  $q_2 = +1$  zou ondervinden**, moest het deeltje op die positie geplaatst worden. Het elektrisch veld bevat dus alle informatie van de Coulombkracht, afgezien van de specificaties van de testlading  $q_2$ .

$$E = k \cdot \frac{q_1}{q_2} = \frac{F}{q_2}$$

4. Verwijder de time-freeze blok. De ladingen gaan bewegen. De veldsensoren tonen hoe het elektrisch veld zich aanpast!

### Extra

Nauw verwant met het elektrisch veld is de elektrische potentiaal. De elektrische potentiaal in een bepaalde positie toont de potentiële energie die een testlading krijgt wanneer de testlading naar die positie beweegt, vertrekkende vanuit een punt waar het elektrisch veld nul is.

Er is echter niet zomaar een punt waar het elektrisch veld nul is want vanuit een lading neemt de grootte van het elektrisch veld af volgens  $1/r^2$ . Het elektrisch veld zal dus nooit nul zijn, enkel asymptotisch naderen aan nul. Daarom zegt men: **De elektrische potentiaal,  $V$ , in een bepaalde positie,  $a$ , toont de potentiële energie die een testlading krijgt wanneer de testlading naar die positie beweegt, vertrekkende vanuit oneindig**

$$V = k \int_{\infty}^a \frac{q_1}{r^2} dr$$

5. Ga via de bruggen naar de volgende kooien. Daar bevinden zich enkele ladingsverdelingen. Plaats veldsensoren rond de ladingen. Bekijk het elektrisch veld in 3D en schets het veld hieronder in 2D.

Ladingsverdeling	Elektrisch veld
Puntlading	Dit is een <b>radiaal elektrisch veld</b>

<p>Positieve lading en negatieve lading</p>	<p>Dit is een <b>dipoolveld</b></p>
<p>Negatieve ladingen op één lijn  (een stroomdraad)</p>	
<p>Negatieve ladingen in een vlak en  positieve ladingen in een vlak dat parallel ligt aan het negatief geladen vlak  (een condensator)</p>	<p>Tussen de vlakken is een <b>uniform elektrisch veld</b></p>



## E. Macroscopische ladingen

1. Tot hiertoe heb je gewerkt met ladingen die je tegenkomt op het niveau van de elementaire deeltjes, zoals de elektrische lading van een handjevol elektronen. In het dagelijks leven kom je echter ladingen tegen die worden veroorzaakt door enkele honderdduizenden miljarden elektronen.
2. Een hoeveelheid lading stellen we voor door de grootte  $Q$ . De eenheid voor lading is de Coulomb met als symbool  $C$ .
3. De lading is gekwantiseerd. Dat betekent dat iedere lading een veelvoud is van "de kleinste lading die er bestaat". De kleinst mogelijke lading die er bestaat is deze van het proton en deze van het elektron.

Een proton heeft als lading

$$Q_{\text{proton}} = +1,60 \cdot 10^{-19} C$$

Deze wordt voorgesteld als  $+e$ .

Een elektron heeft als lading

$$Q_{\text{elektron}} = -1,60 \cdot 10^{-19} C$$

Deze is dus  $-e$ .

4. Een macroscopisch object kan geladen worden doordat het elektronen opneemt van een ander object of elektronen afstaat aan een ander object. Bijvoorbeeld als je met een doek over glas wrijft, gaan elektronen van het glas naar het doek. Daardoor wordt het glas positief geladen en het doek negatief geladen. De lading die het glas krijgt is in de grootteorde van  $10^{-6} C$ , dit noemen we microCoulomb.

$$10^{-6} C = 1 \mu C.$$

5. Stel dat het doek een lading van  $-1\mu C$  heeft gekregen. Het aantal elektronen dat van het glas naar het doek is gesprongen, kan je berekenen door de lading die het doek krijgt te delen door de lading van één elektron

$$n_{\text{elektronen}} = \frac{Q_{\text{doek}}}{Q_{\text{elektron}}} = \frac{\dots}{\dots} = \dots$$

Dat zijn zeer veel / weinig elektronen!