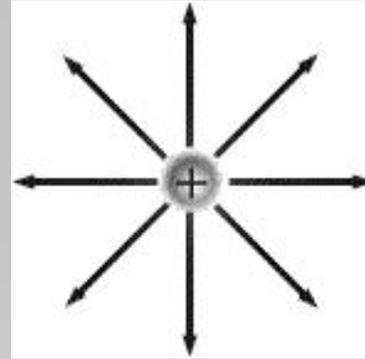
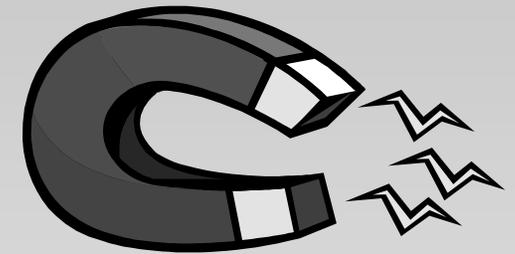


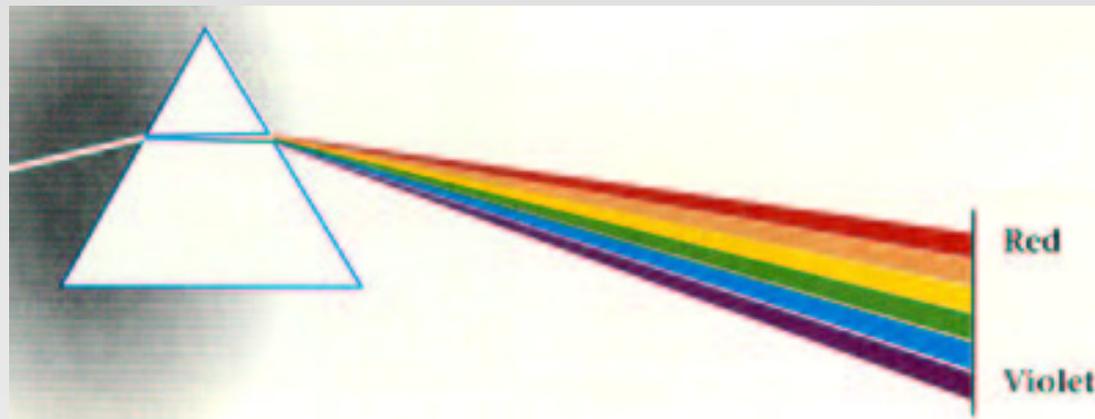
→ Elektrostatica



Magnetostatica



Elektromagnetisme \Rightarrow Licht



Web lokaties (voorlopig)

Leuke animaties:

http://www.colorado.edu/physics/2000/waves_particles/wavpart2.html

Goede cursussen:

<http://academic.mu.edu/phys/matthysd/web004/lectures.htm>

<http://www.sciencejoywagon.com/physicszone/lesson/07elecst/>

<http://www.sciencejoywagon.com/physicszone/lesson/08magnet/default.htm>

Hoe dingen werken (bliksem, microwave, ...):

<http://www.howstuffworks.com>

Web site: www.nikhef.nl/~jo

The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer browser window with the title "Home Page of Jo van den Brand - Microsoft Internet Explorer". The address bar contains "http://www.nikhef.nl/~jo/". The main content area features the following text:

Home Page of Prof.dr Ing. J.F.J. van den Brand

at [NIKHEF](#), P.O. Box 41882, 1009 DB Amsterdam, The Netherlands
phone: (+31 20) 592 2015/5000, fax: (+31 20) 592 5155, email: jo@nikhef.nl
at [Vrije Universiteit Amsterdam](#)
Faculteit der Exacte Wetenschappen, de Boelelaan 1081, 1081 HV, Amsterdam, Rm. T 2.69.
email: jo@nat.vu.nl
Tel: +31 20 444 7900 / 7459
GSM: +31 620 539 484

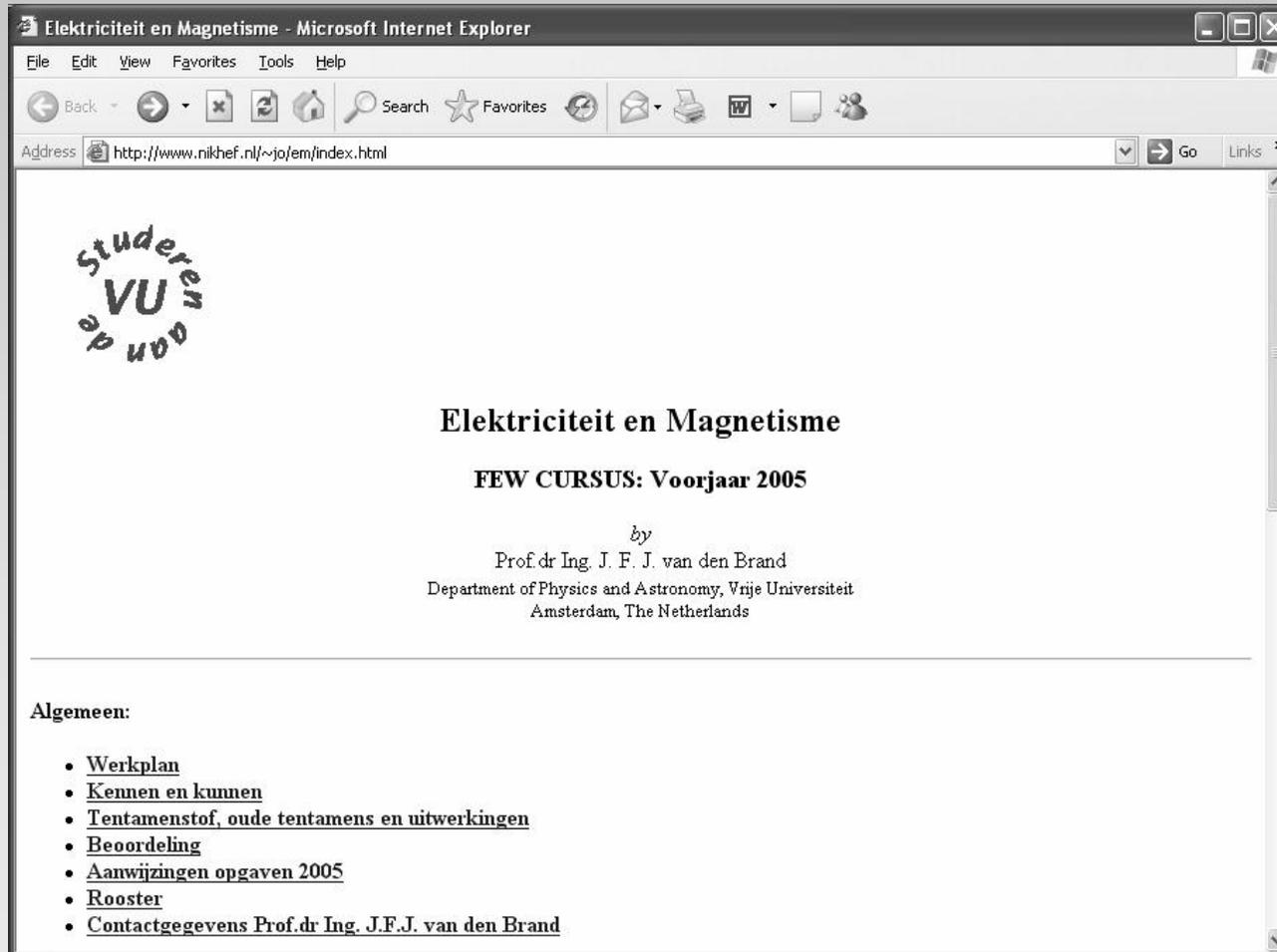
To the right of the text is a large image of a starry night sky with a bright star in the upper right.

Below the text is a smaller image of a galaxy cluster with the text "Click here!" next to it. Below this is the text "Presentatie VU Studiedag 9-10-2003: Elementary Particle Physics - Perspectives" and a bullet point: "• [Download powerpoint presentation](#)".

At the bottom left is a small image of a galaxy. On the right side of the page is a vertical sidebar containing a logo with the letters "LHO" and three spheres, the text "Google Ask Jeeves", and the letters "Stu" at the bottom.

The browser's status bar at the bottom shows "Internet".

www.nikhef.nl/~jo/em



Elektriciteit en Magnetisme - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Forward Stop Home Search Favorites

Address <http://www.nikhef.nl/~jo/em/index.html> Go Links

Studeren aan de VU

Elektriciteit en Magnetisme

FEW CURSUS: Voorjaar 2005

by
Prof. dr Ing. J. F. J. van den Brand
Department of Physics and Astronomy, Vrije Universiteit
Amsterdam, The Netherlands

Algemeen:

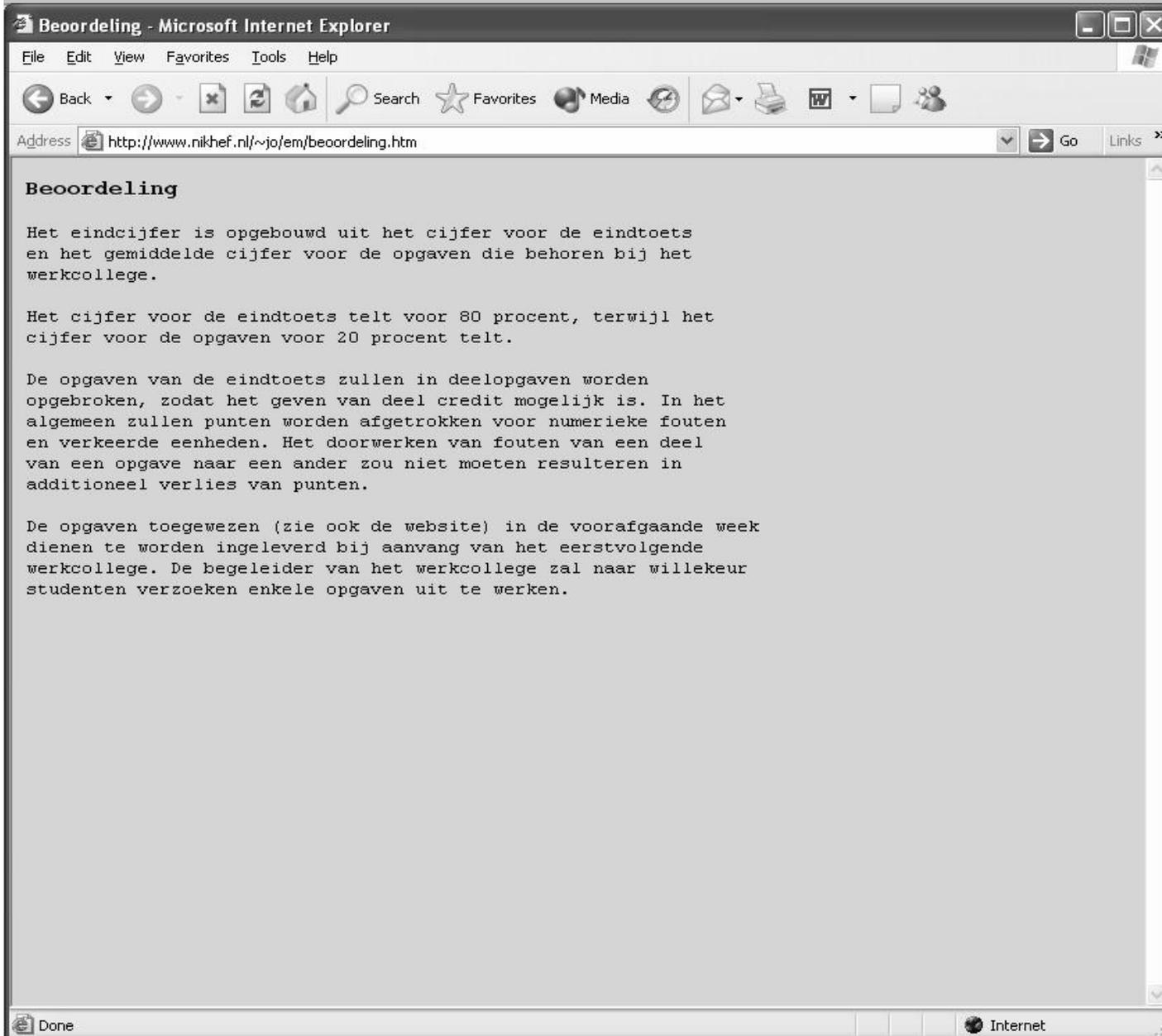
- [Werkplan](#)
- [Kennen en kunnen](#)
- [Tentamenstof, oude tentamens en uitwerkingen](#)
- [Beoordeling](#)
- [Aanwijzingen opgaven 2005](#)
- [Rooster](#)
- [Contactgegevens Prof. dr Ing. J.F.J. van den Brand](#)

Spreekuur:
jo@nikhef.nl
0620 539 484

Werkplan

To be done...

Beoordeling



The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer browser window. The title bar reads "Beoordeling - Microsoft Internet Explorer". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Favorites", "Tools", and "Help". The address bar contains the URL "http://www.nikhef.nl/~jo/em/beoordeling.htm". The main content area displays the following text:

Beoordeling

Het eindcijfer is opgebouwd uit het cijfer voor de eindtoets en het gemiddelde cijfer voor de opgaven die behoren bij het werkcollege.

Het cijfer voor de eindtoets telt voor 80 procent, terwijl het cijfer voor de opgaven voor 20 procent telt.

De opgaven van de eindtoets zullen in deelopgaven worden opgebroken, zodat het geven van deel credit mogelijk is. In het algemeen zullen punten worden afgetrokken voor numerieke fouten en verkeerde eenheden. Het doorwerken van fouten van een deel van een opgave naar een ander zou niet moeten resulteren in additioneel verlies van punten.

De opgaven toegewezen (zie ook de website) in de voorafgaande week dienen te worden ingeleverd bij aanvang van het eerstvolgende werkcollege. De begeleider van het werkcollege zal naar willekeur studenten verzoeken enkele opgaven uit te werken.

The status bar at the bottom shows "Done" on the left and "Internet" on the right.

Kennen en kunnen...

Niet volledig overzicht, bedoeld als voorbeeld, van wat je moet kennen/kunnen - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address <http://www.nikhef.nl/~jo/em/kennenkunnen.htm> Go Links

Niet volledig overzicht, bedoeld als voorbeeld, van wat je moet kennen/kunnen na het College Elektriciteit en Magnetisme, voorjaar 2004

Hoofdstuk 2.

Hoe luidt de wet van Coulomb (incl. vector karakter)?

Wat betekent het superpositiebeginsel in de elektriciteitsleer? Geef een simpel voorbeeld van hoe je het gebruikt.

Hoe is het elektrische veld gedefinieerd?

Het E-veld bij gegeven ladingsverdeling kunnen berekenen mbv de wet van Coulomb.

Definitie van lijnlading, oppervlakte lading en ruimtelading.

Wat versta je onder de flux van het elektrische veld?

Hoe luidt de stelling van Gauss in integraal en differentiaal vorm?

Mbv Gauss in integraal vorm het elektrische veld in gebruik makend van bepaalde symmetrieën.

To be updated...

Welke formules gelden voor de kringintegraal en rotatie van E?

Hoe is de elektrische potentiaal gedefinieerd?

Hoe kun je V berekenen bij gegeven ladingsverdeling?

V kunnen uitrekenen vanuit E in aantal gevallen.

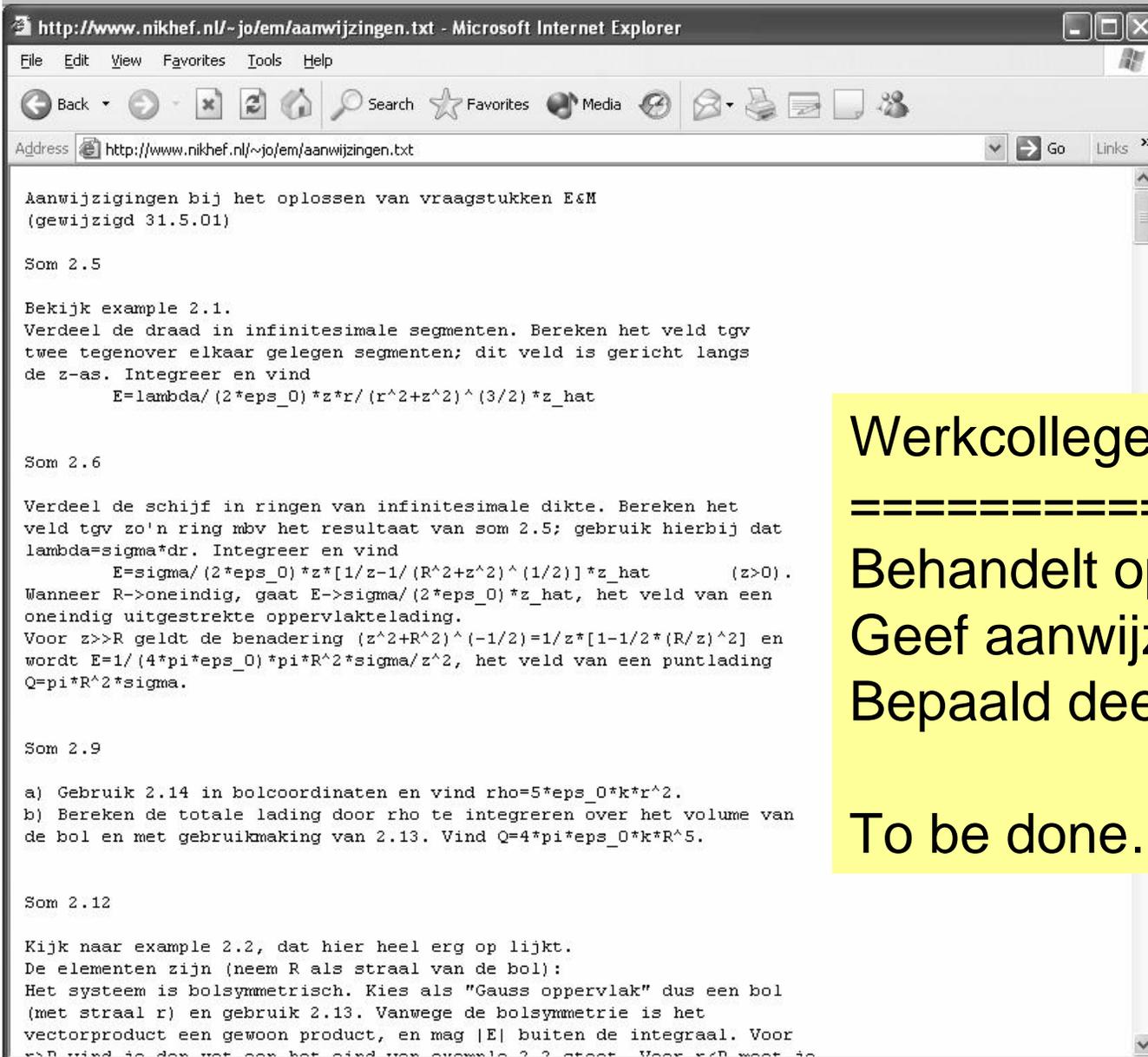
Hoe luiden de vergelijkingen van Poisson en Laplace? Kun je ze afleiden?

Hoe luiden de randcondities voor E?

Hoe bereken je verrichte arbeid in een elektrisch veld?

Done Internet

Aanwijzingen...



Werkcollege: Roel Zinkstok

=====

Behandelt opgaven

Geef aanwijzingen

Bepaald deel van cijfer

To be done...

Rooster...

http://www.nikhef.nl/~jo/em/rooster.htm - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Forward Stop Home Search Favorites Media Print Mail

Address http://www.nikhef.nl/~jo/em/rooster.htm Go Links

Datum	Tijd	Plaats	Vorm
Colleges 2004			
di 30-3	14:45 - 16:30	P0.46	hoorcollege
do 1-4	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
di 6-4	14:45 - 16:30	P0.46	hoorcollege
do 8-4	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
di 13-4	14:45 - 16:30	P0.46	hoorcollege
do 15-4	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
di 20-4	14:45 - 16:30	P0.46	hoorcollege
do 22-4	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
di 27-4	14:45 - 16:30	P0.46	hoorcollege
do 29-4	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
di 4-5	14:45 - 16:30	P0.46	hoorcollege
do 6-5	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
di 11-5	14:45 - 16:30	P0.46	hoorcollege
do 13-5	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
di 18-3	12:45 - 14:30	P0.46	hoorcollege
do 27-5	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
di 1-6	9:45 - 11:30	R2.23	hoorcollege
do 3-6	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
di 8-6	9:45 - 11:30	S1.11	hoorcollege
do 10-6	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
di 15-6	9:45 - 11:30	S1.11	hoorcollege
do 17-6	10:45 - 12:30	S2.01	werkcollege
Tentamens 2004			
vrij 25-6	13:30 - 16:30	KC159	
do 26-8	9:30 - 12:30	Q105	

Done Internet

Tentamenstof...

The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer browser window. The title bar reads 'Elektriciteit en Magnetisme - Microsoft Internet Explorer'. The address bar contains the URL 'http://www.nikhef.nl/~jo/em/tentamen.html'. The main content area displays the following text:

by
Prof. dr. Ing. J. F. J. van den Brand
Department of Physics and Astronomy, Vrije Universiteit
Amsterdam, The Netherlands

Algemeen

- Tentamenstof 2004

Tentamens en uitwerkingen

- Tentamen Juni 2003
- Tentamen Juni 2003 Antwoorden
- Tentamen Augustus 2003
- Tentamen Augustus 2003 Antwoorden

Tentamens in pdf formaat

- Tentamen Juni 2003 (pdf)
- Tentamen Juni 2003 Antwoorden (pdf)
- Tentamen Augustus 2003 (pdf)
- Tentamen Augustus 2003 Antwoorden (pdf)

Jo van den Brand
2004-03-29

The status bar at the bottom shows 'Done' on the left and 'Internet' on the right. A yellow highlight box is placed over the text 'Tentamenstof 2004' in the 'Algemeen' section.

Tentamenstof...

Tentamenstof College Elektriciteit en Magnetisme, voorjaar 2004

Het tentamen bestaat de hoofdstukken 2-6 van Griffiths, incl. de op het werkcollege gemaakte vraagstukken, met de volgende kanttekeningen:

De stof die in de powerpoint presentaties behandeld is, maakt volledig deel uit van de te kennen tentamenstof.

Ingewikkelde afleidingen () en formules hoeft je niet uit het hoofd te kennen. Bekijk wel de 'fy To be done...' 'Eenvoudige' formules moet je natuurlijk wel kennen. 'Examples' zijn nuttig als toepassing van de 'theorie'; bestudeer ze dus goed. Sommige hoeft je alleen door te lezen of mag je overslaan.

2.3.4. example 2.7 alleen doorlezen

2.5.3. alleen doorlezen

3.1.2 - 3.1.4. alleen doorlezen; het gaat om de 'properties' 1 en 2 en de definitie van de Laplace vergelijking

3.1.5 - 3.1.6. overslaan

3.2.4 overslaan

3.4.3. alleen doorlezen

3.4.4. niet de formules

Done Internet

Het Boek:

"Physics for Scientists and Engineers Extended Version"

Paul A. Tipler and Gene Mosca

Te gebruiken bij ("good value for money!"):

- ❖ 1^e jaars college "Mechanica" (dit college)
- ❖ 2^e jaars college "Elektriciteit en Magnetisme"

Hoofdstukken uit PFSAE voor deze inleidende & oriënterende cursus:

- # 21 The electric field: discrete charge distributions
- # 22 The electric field: continuous charge distributions
- # 23 Electric potential
- # 24 Electrostatic energy and capacitance
- # 25 Electric current and DC circuits
- # 26 The magnetic field
- # 27 Sources of the magnetic field
- # 28 Magnetic induction
- # 29 AC circuits
- # 30 Maxwell's equations and electromagnetic waves

Als je de werkcollege opgaven beheerst dan zit je riant voor het tentamen.

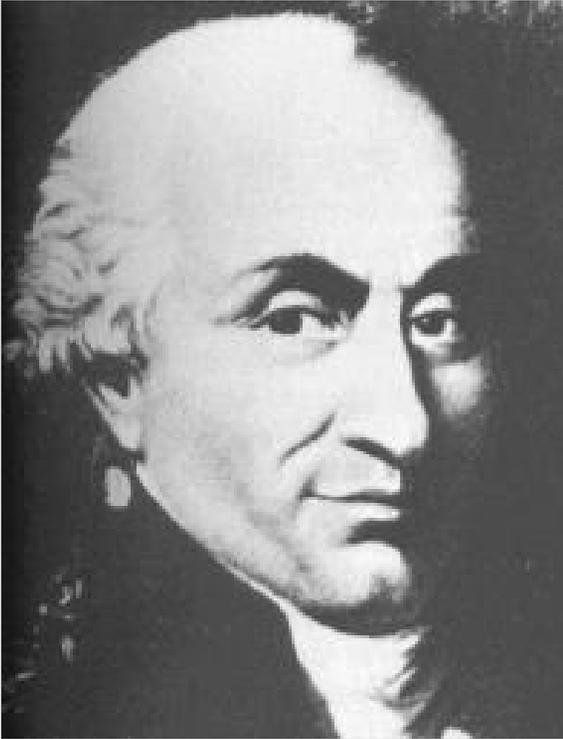
Inhoud

Elektrostatica

- 1. Wet van Coulomb: vergelijking voor elektrische kracht
- 2. Wet van Gauss: vergelijking voor elektrisch veld
- 3. Elektrische potentiaal
- 4. Veldvergelijkingen nader bekeken: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$ & $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \rho / \epsilon_0$
- 5. Elektrische velden in materie: Geleiders
- 6. Potentiaal vergelijkingen
- 7. Elektrische velden in materie: Isolatoren

PFSAE:

- Vektor: §1.1 m.u.v. §1.1.5
- Wet van Coulomb: §2.1



Wet van Coulomb

De elektrische lading

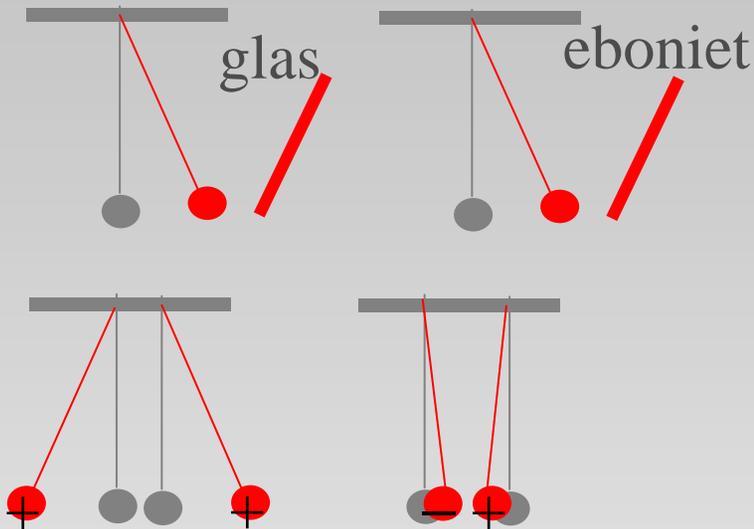
De elektrische kracht

De elektrische veldsterkte

Voorbeelden

Elektrostatica: experiment

+/- lading



nieuwe kracht:

$F_{\text{elektrisch}} \gg F_{\text{gravitatie}}$

positief: + & negatief: -

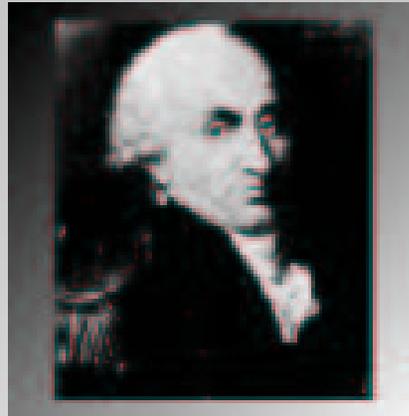
++ & --: afstotend

+ - & - +: aantrekkend

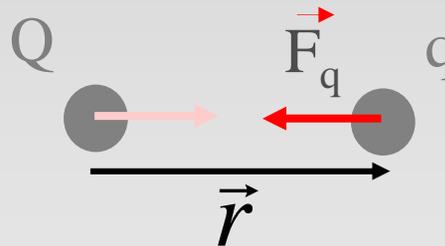
quantisatie: q_{elektron}

ladingsbehoud: $\Sigma q = \text{constant}$

krachtwet

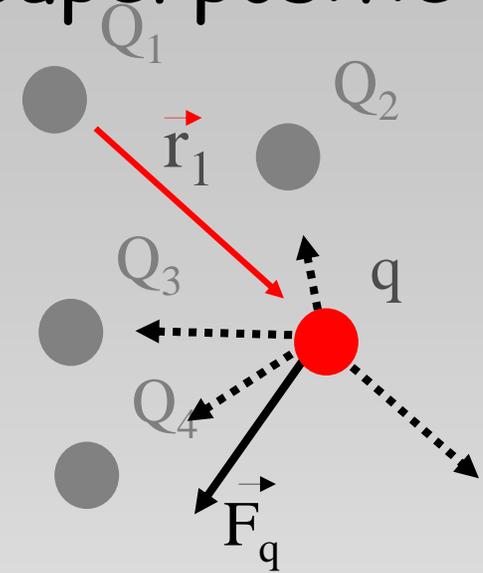


1777: C. de Coulomb



$$\vec{F}_q \propto \frac{qQ}{r^2} \hat{r}$$

superpositie



$$\vec{F}_q \propto \frac{qQ_1}{r_1^2} \hat{r}_1 + \frac{qQ_2}{r_2^2} \hat{r}_2 + \dots$$

$$= q \left\{ \frac{Q_1}{r_1^2} \hat{r}_1 + \frac{Q_2}{r_2^2} \hat{r}_2 + \dots \right\}$$

$$\equiv q\vec{E}$$

Kracht \Rightarrow Wet van Coulomb

$$\vec{F}_q \equiv K_e \frac{qQ}{r^2} \hat{r} \equiv 10^{-7} c^2 \frac{qQ}{r^2} \hat{r} \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^3} \vec{r}$$

Eenheden:

- Lengte [l]: meter m
- Tijd [t]: seconde s
- Massa [m]: kilogram kg
- Lading [q]: Coulomb C

Constanten:

- eenheidslading:

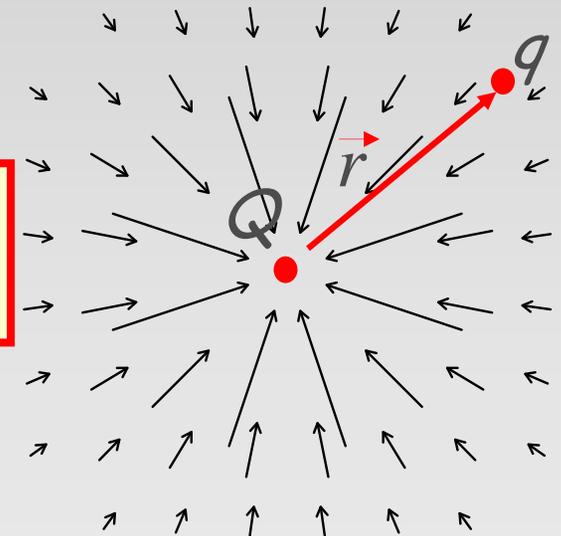
$$q_{\text{elektron}} \approx -1.60 * 10^{-19} \text{ C}$$

- permittiviteit:

$$\epsilon_0 \equiv \frac{1}{4\pi * 10^{-7} c^2} \approx 8.85 * 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$$

Kracht:

$$\vec{F}_q = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \hat{r}$$

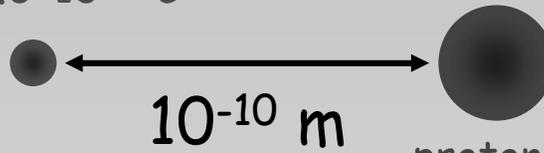


$F_{\text{Elektrisch}} \leftrightarrow F_{\text{Gravitatie}}$

$$|\vec{F}_E| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

$$\approx 2.3 * 10^{-8} N$$

elektron
 $m=9.1*10^{-31} \text{ kg}$
 $q=-1.6*10^{-19} \text{ C}$



proton
 $m=1.7*10^{-27} \text{ kg}$
 $q=+1.6*10^{-19} \text{ C}$

$$|\vec{F}_G| = G \frac{m_e m_p}{r^2}$$

$$\approx 1.0 * 10^{-47} N$$

($G=6.673*10^{-11} \frac{m^3}{kg s^2}$)

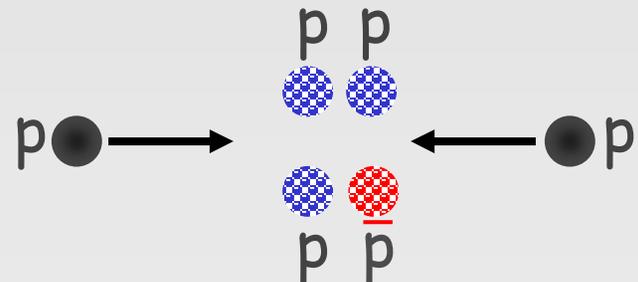
V.b. behoud van lading

anti-proton ($p^- \equiv \bar{p}$) ontdekking (1955):

reactie:

wel: $p^+ p^+ \rightarrow p^+ p^+ p^+ p^-$

niet: $p^+ p^+ \rightarrow p^+ p^-$



Quantisatie elektrische lading

<http://www.bun.falkenberg.se/gymnasium/amnen/fysik/millikaneng.html>

Beweging oliedruppeltjes in:

- constant elektrisch veld E : $[E]=N/C$ ($\equiv V/m$; zie later)
- constant gravitatie veld $g \approx 10 \text{ m/s}^2$: $[g]=m/s^2=N/kg$

Veronderstel voor ieder oliedruppeltje:

Massa: $1 \cdot 10^{-16} \text{ kg}$ $\Rightarrow F_g \approx 10^{-15} \text{ Newton}$

Lading: $N e \approx N \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $\Rightarrow F_E \approx EN \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Newton}$

Indien $E=0$: alle oliedruppeltjes vallen omlaag

Indien $E \neq 0$: beweging oliedruppeltjes afhankelijk lading:

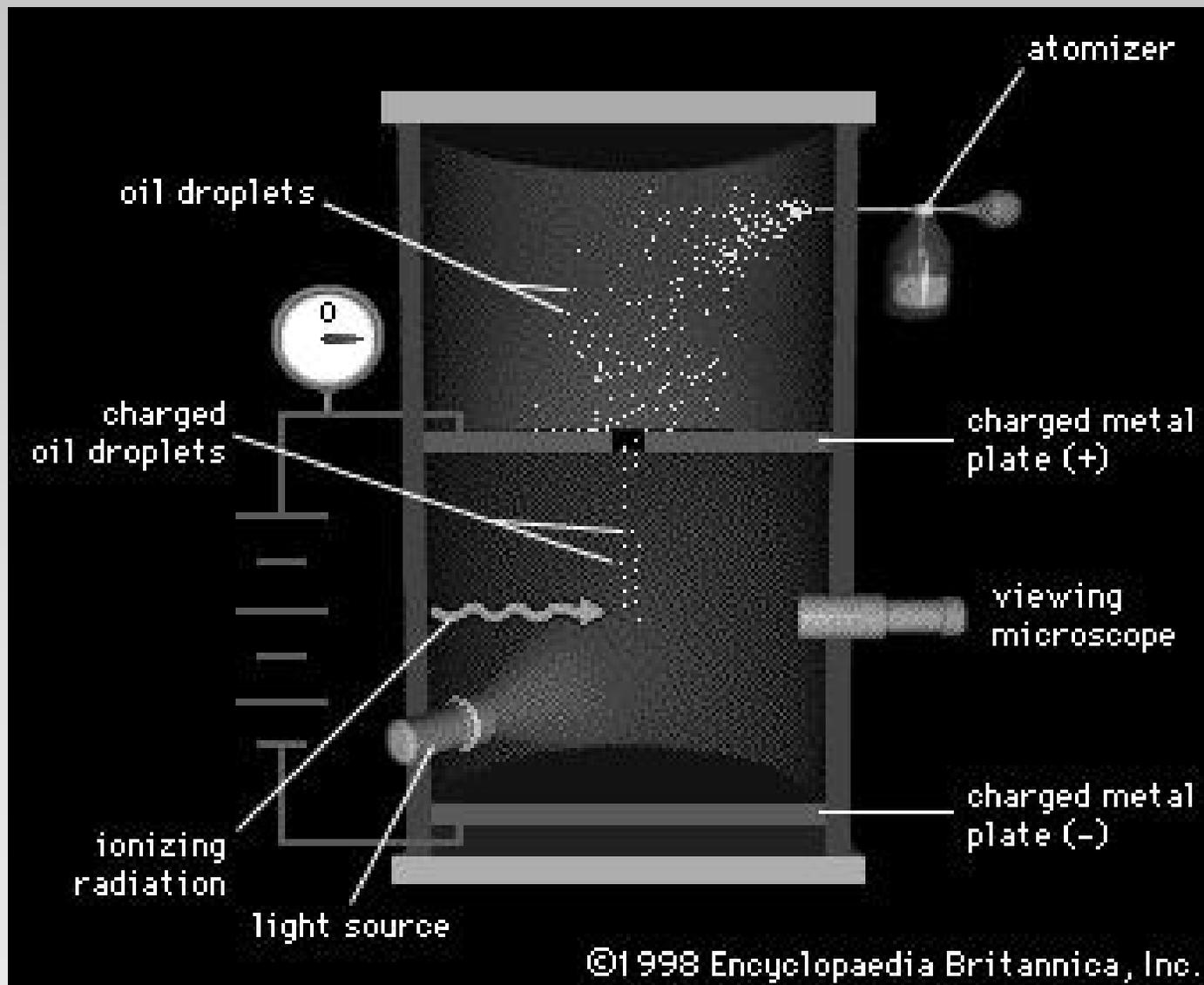
Lading $N < 6250/E$: beweegt omlaag

Lading $N = 6250/E$: staat stil

Lading $N > 6250/E$: beweegt omhoog

Quantisatie elektrische lading

<http://www.sciencejoywagon.com/physicszone/lesson/07elecst/millikan/millikan.htm>

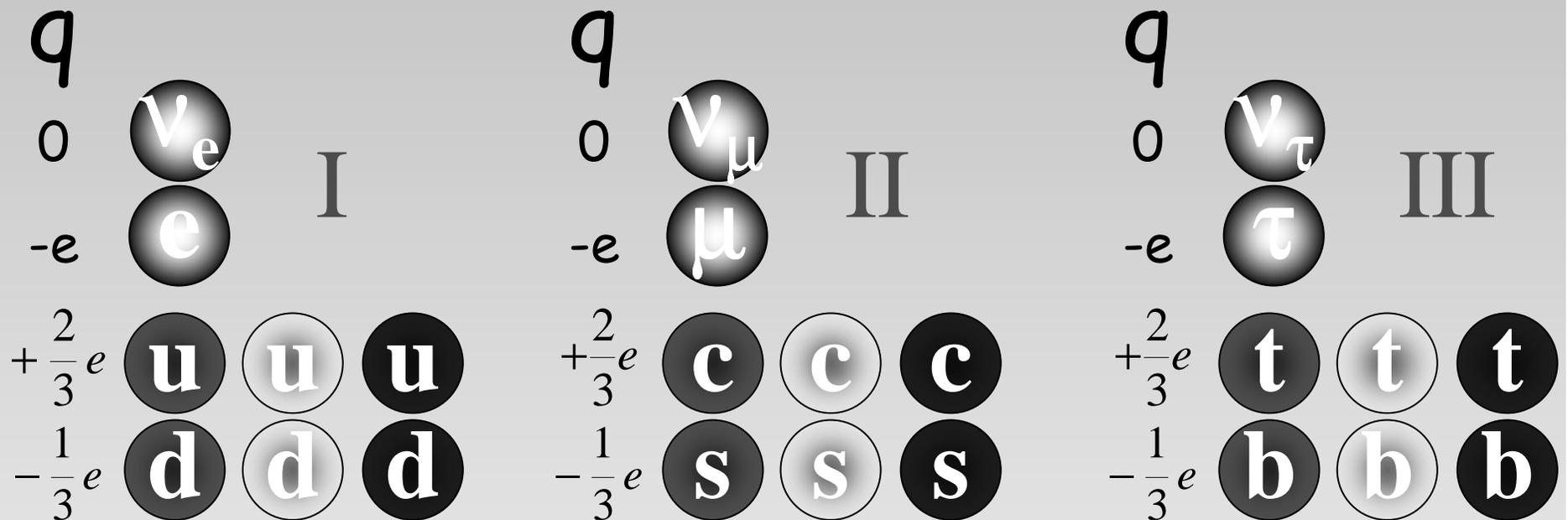


Millikan Experiment

Millikan oil-drop experiment,

First direct and compelling measurement of the electric charge of a single electron. It was performed originally in 1909 by the American physicist Robert Millikan, who devised a straightforward method of measuring the minute electric charge that is present on many of the droplets in an oil mist. The force on any electric charge in an electric field is equal to the product of the charge and the electric field. Millikan was able to measure both the amount of electric force and magnitude of electric field on the tiny charge of an isolated oil droplet and from the data determine the magnitude of the charge itself. Millikan's original experiment or any modified version, such as the following, is called the oil-drop experiment. The apparatus associated with Millikan's oil-drop experiment is shown in the Figure. A closed chamber with transparent sides is fitted with two parallel metal plates, which acquire a positive or negative charge when an electric current is applied. At the start of the experiment, an atomizer sprays a fine mist of oil droplets into the upper portion of the chamber. Under the influence of gravity and air resistance, some of the oil droplets fall through a small hole cut in the top metal plate. When the space between the metal plates is ionized by radiation (*e.g.*, X rays), electrons from the air attach themselves to the falling oil droplets, causing them to acquire a negative charge. A light source, set at right angles to a viewing microscope, illuminates the oil droplets and makes them appear as bright stars while they fall. The mass of a single charged droplet can be calculated by observing how fast it falls. By adjusting the potential difference, or voltage, between the metal plates, the speed of the droplet's motion can be increased or decreased; when the amount of upward electric force equals the known downward gravitational force, the charged droplet remains stationary. The amount of voltage needed to suspend a droplet is used along with its mass to determine the overall electric charge on the droplet. Through repeated application of this method, the values of the electric charge on individual oil drops are always whole-number multiples of a lowest value--that value being the elementary electric charge itself (about 1.602×10^{-19} coulomb). From the time of Millikan's original experiment, this method offered convincing proof that electric charge exists in basic natural units. All subsequent distinct methods of measuring the basic unit of electric charge point to its having the same fundamental value.

De elementaire deeltjes



Opmerking: ieder quark komt voor in drie "kleuren:

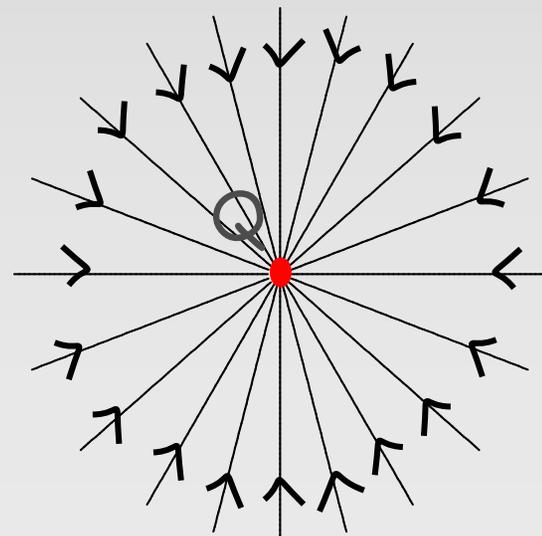
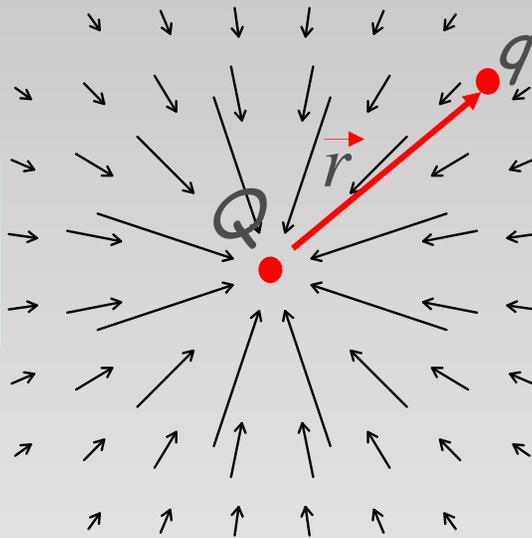
rood
geel
blauw

Kracht & veld

$$\vec{F}_q \equiv K_e \frac{qQ}{r^2} \hat{r} \equiv 10^{-7} c^2 \frac{qQ}{r^2} \hat{r} \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^3} \vec{r}$$

Kracht:

$$\vec{F}_q = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \hat{r}$$



Veld:

$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}_q}{q}$$

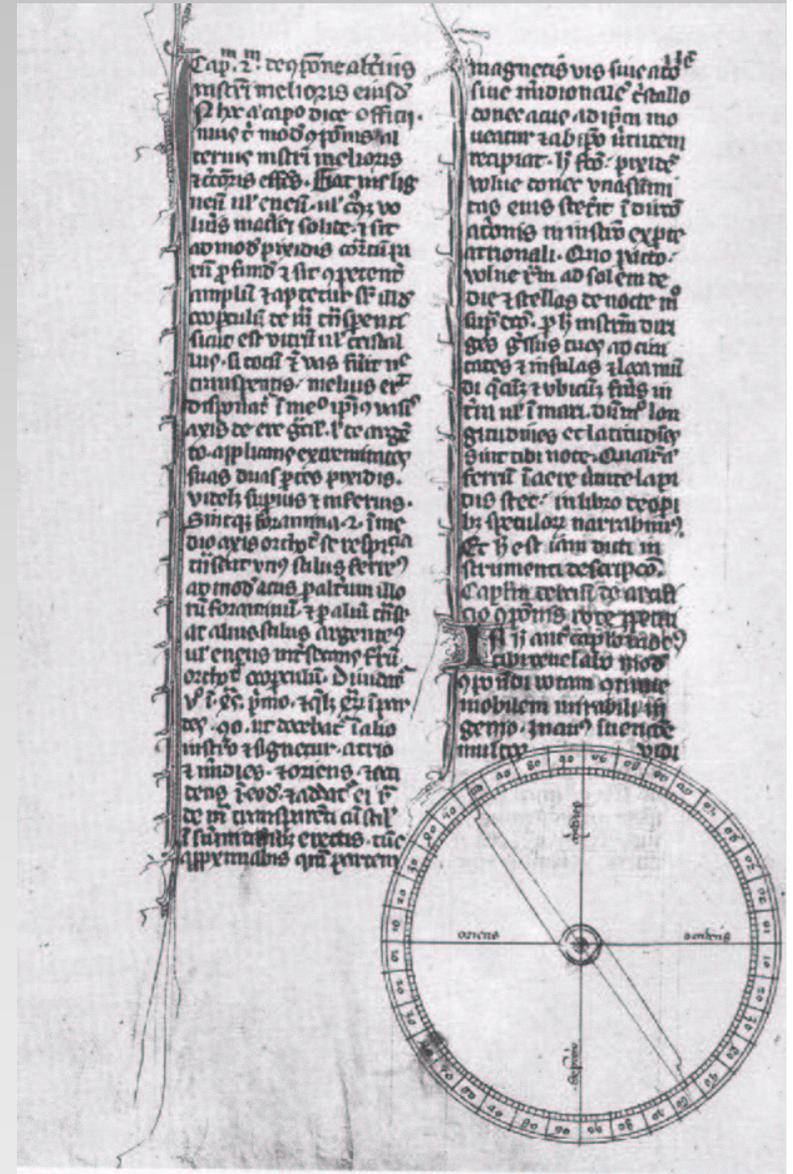
Concept van een veld

Veld - een gebied onder de invloed van een fysische grootheid...

Petrus Peregrinus de
Maricourt - 1269
Epistola ... de Magnete

Franse kruisridder

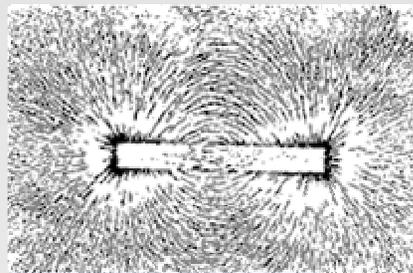
- magnetische polen
- kompas
- er is een veld geassocieerd met een kracht



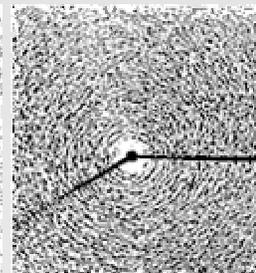
Michael Faraday

- Werkte als boekbinder
- Leefde van 1791 tot 1851
- Assistant van Prof. Davy
- Royal Institution 1813
- Uitvinder van
 - de veldentheorie
 - elektromagnetisch inductie
 - ...
- Energie is niet gelokaliseerd in deeltjes maar in de ruimte er omheen...
- Realiteit: objecten die in tijd en ruimte veranderen
- Veld: de 'mediator' tussen de objecten
- Ether...

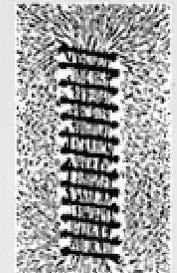
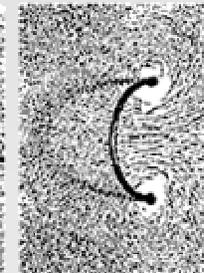
"By magnetic curves I mean lines of magnetic forces which would be depicted by iron filings." notes 1831



staafmagneet



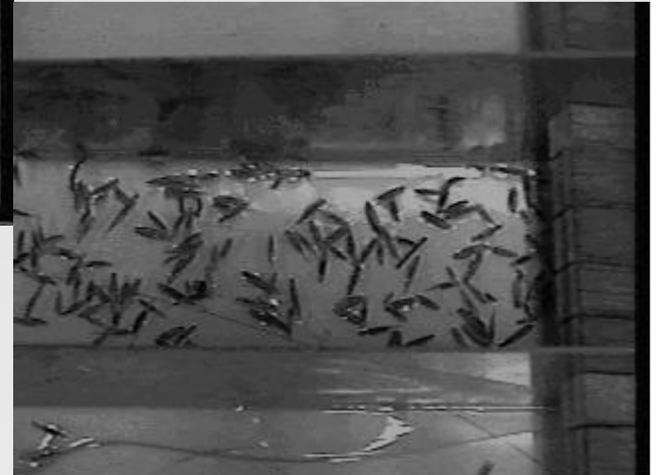
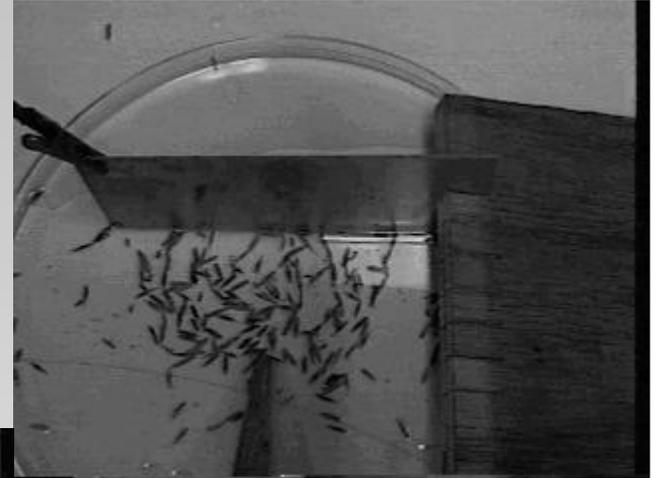
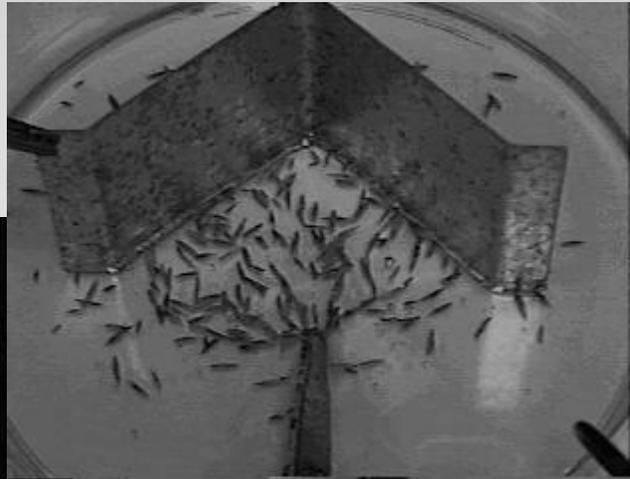
draad



strooimuis solenoïde

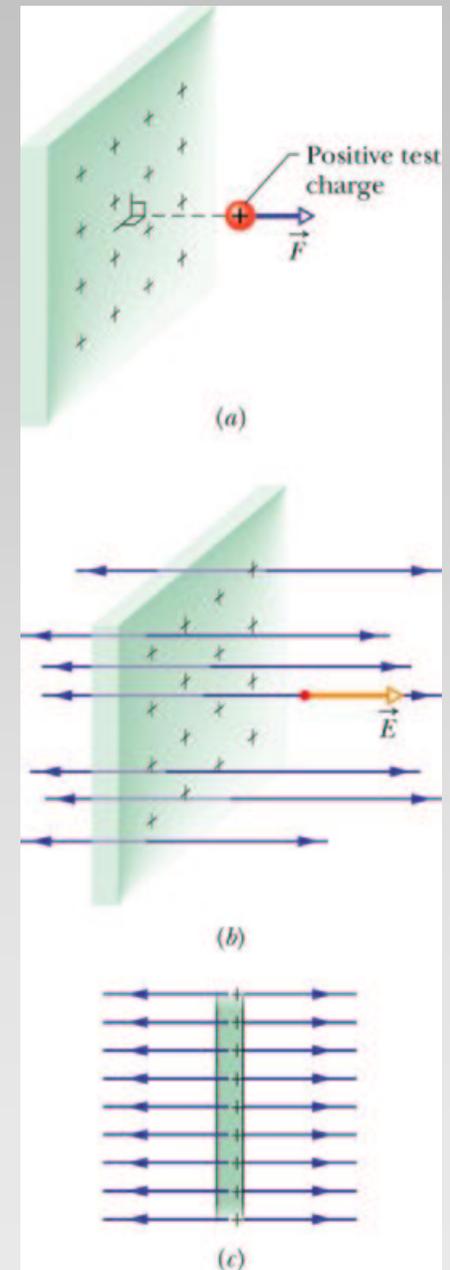
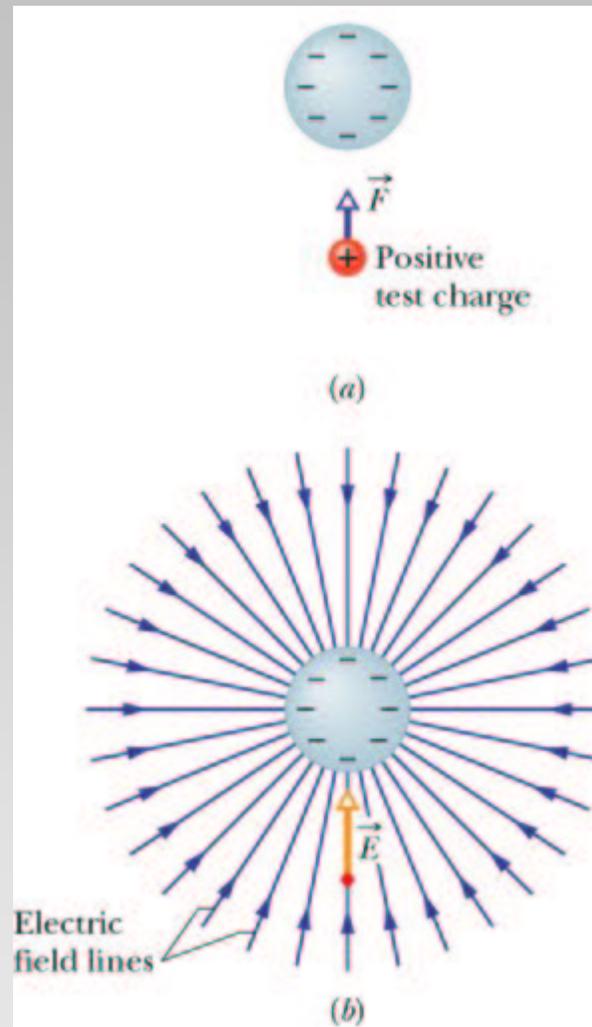
Virtuele demonstratie

- Petri schaal gevuld met olie
- Graszaad erin
- Elektrisch veld aanzetten



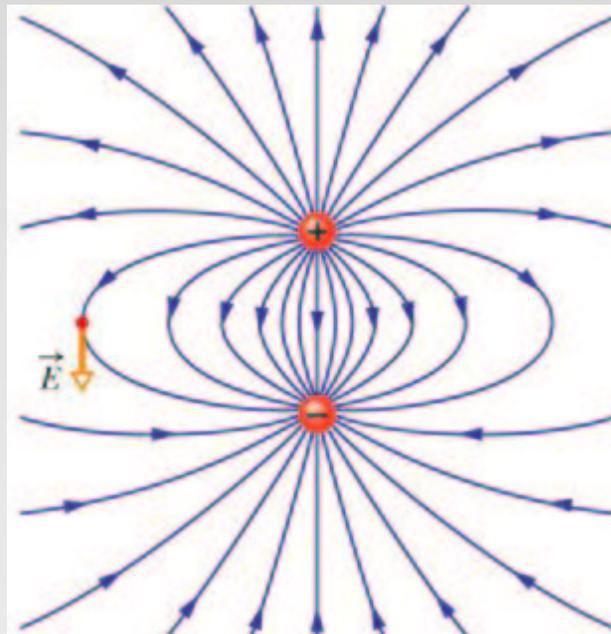
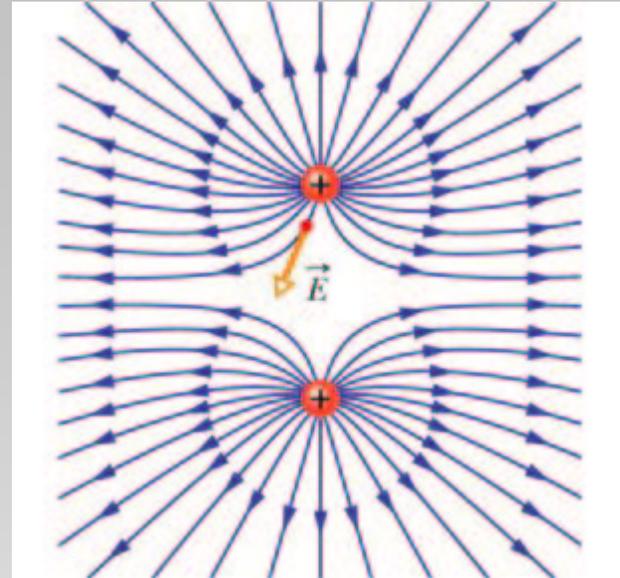
elektrisch veld

- Kracht is gericht langs de verbindinglijn.
- Rechter figuur geeft de situatie voor een oneindig grote niet geleidende plaat.
- De kracht is loodrecht vanwege symmetrie



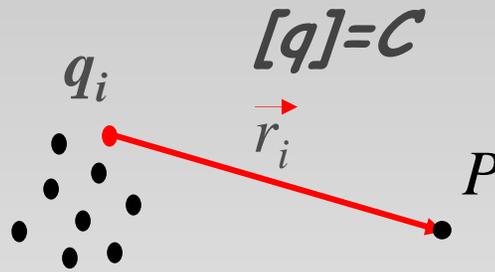
Twee ladingen: elektrisch veld

- Rotatie symmetrie rond een lijn door de twee ladingen. De lijn ligt in het vlak van de tekening.
- Kun je de aantrekking en afstoting voor je zien?
- De tweede figuur geeft een weergave van een elektrische dipool.



Ladingsverdeling \Rightarrow E-veld

Diskreet:

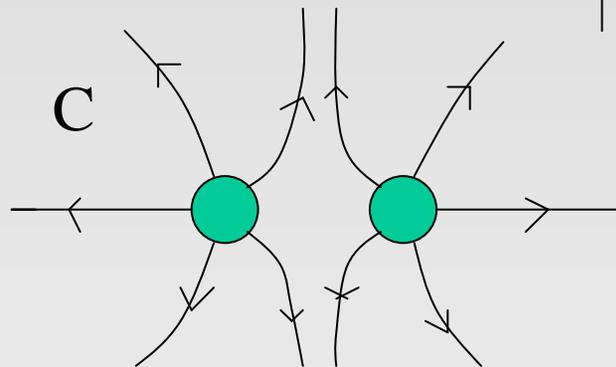
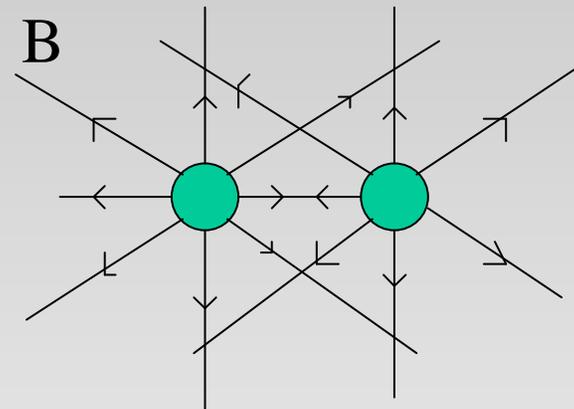
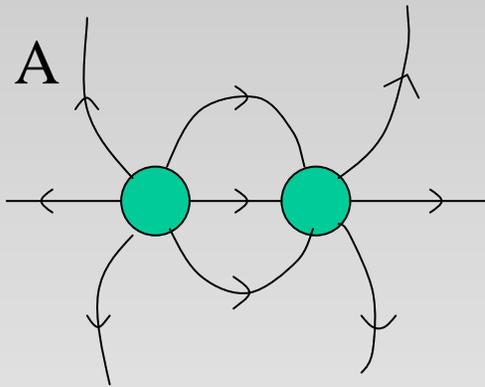


$$\vec{E}_P \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

In principe zijn alle ladingen in de natuur discreet verdeeld; in elementaire deeltjes

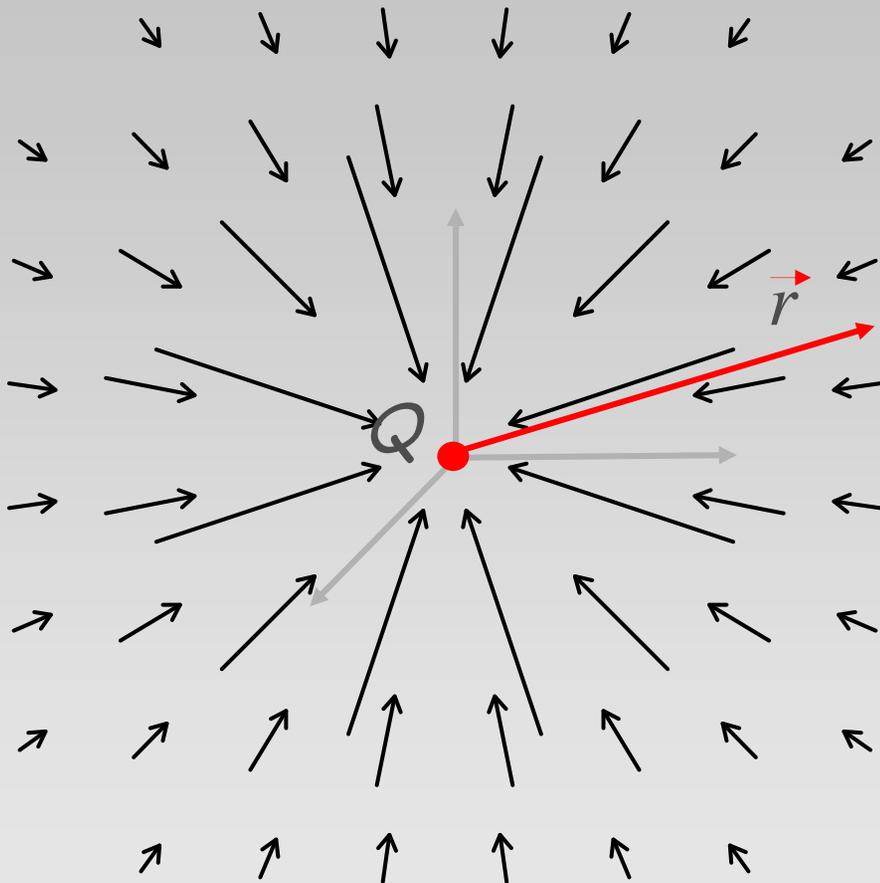
Discussievraag 1

Welk veldlijnenpatroon hoort bij twee gelijke positieve ladingen?

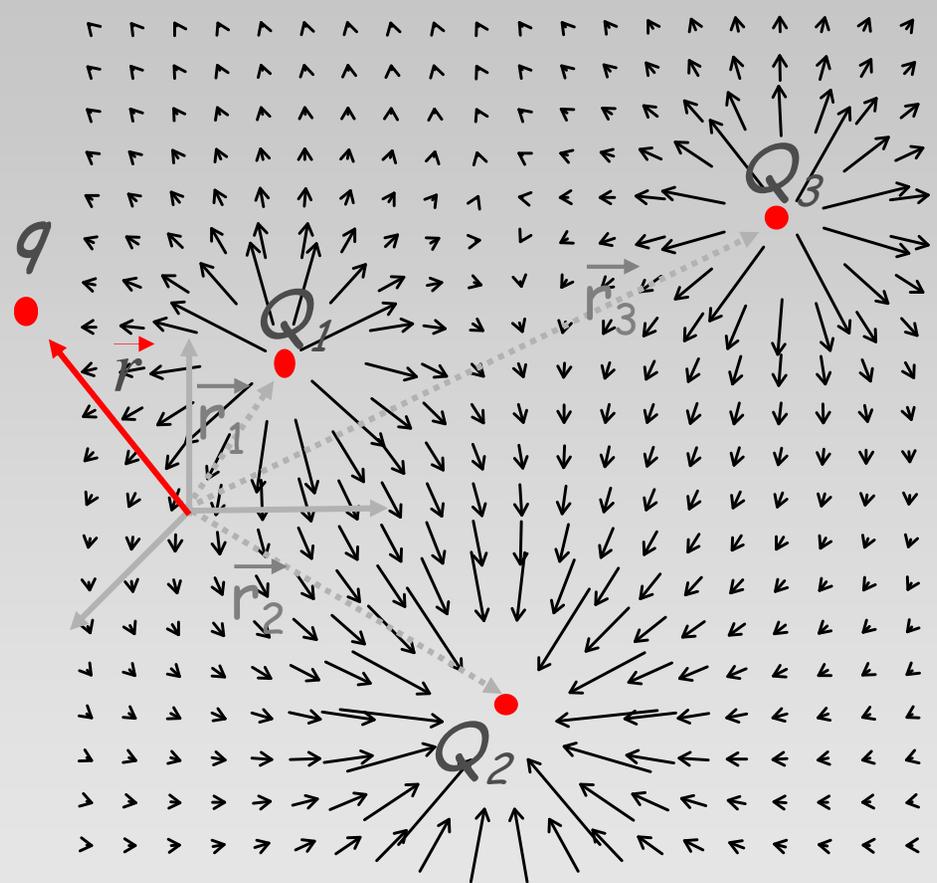


V.b. E-veld puntladingen

Lading Q in oorsprong



Drie ladingen: Q_1 , Q_2 en Q_3

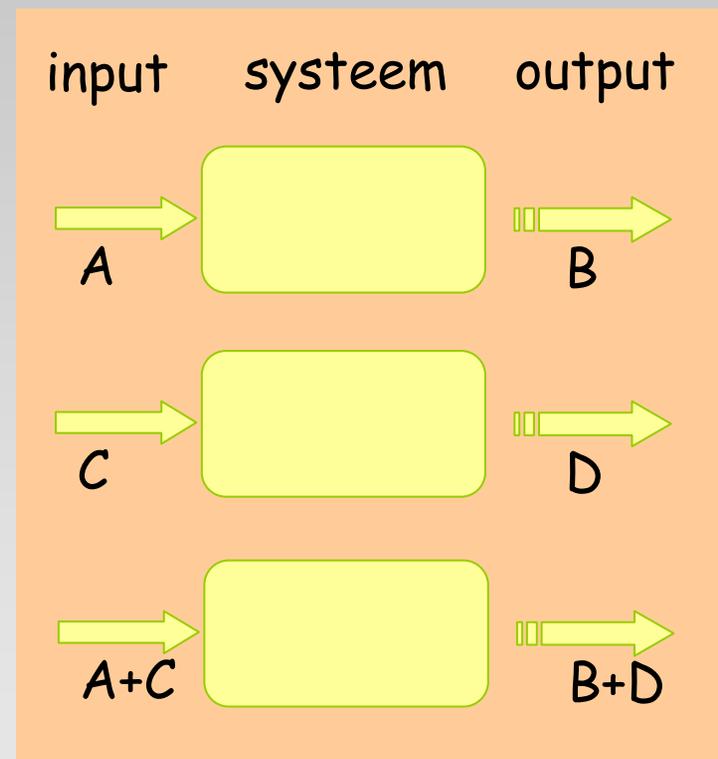


$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\hat{r}}{r^2}$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{\vec{r}-\vec{r}_1}{|\vec{r}-\vec{r}_1|^3} Q_1 + \frac{\vec{r}-\vec{r}_2}{|\vec{r}-\vec{r}_2|^3} Q_2 + \frac{\vec{r}-\vec{r}_3}{|\vec{r}-\vec{r}_3|^3} Q_3 \right\}$$

Superpositieprincipe

- Maxwell vergelijkingen in vacuüm zijn lineair in de velden E en B
- Superpositie op macroscopisch niveau is een experimenteel feit!
- Duizenden telefoongesprekken gelijktijdig door één fiber
- Niet-lineaire effecten in
 - Magnetische materialen
 - Kristallen onder intense laserbundels
- Niet-lineaire effecten voor veldsterkten $> 10^{21}$ V/m (QED)

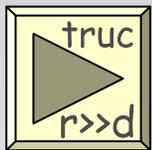
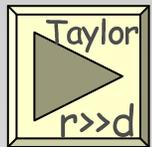


V.b. E-veld dipool

Ladingen $+q$ en $-q$ op afstand $2d$:

Veld langs lijn $\vartheta=0^\circ$

$$|\vec{E}_P(r, \vartheta=0^\circ)| \equiv \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{1}{(r-d)^2} - \frac{1}{(r+d)^2} \right\}$$

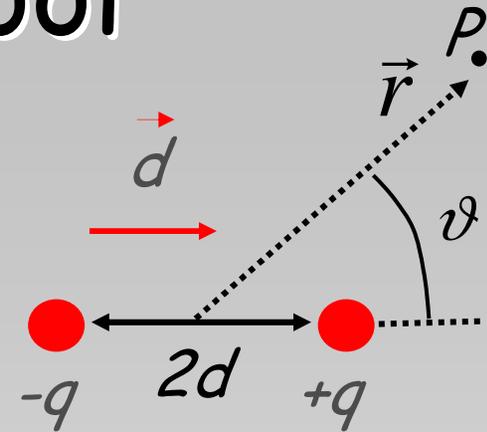


$$\approx \frac{4qd}{4\pi\epsilon_0 r^3} \equiv \frac{2|\vec{p}|}{4\pi\epsilon_0 r^3} = \frac{|\vec{p}|}{2\pi\epsilon_0 r^3}$$

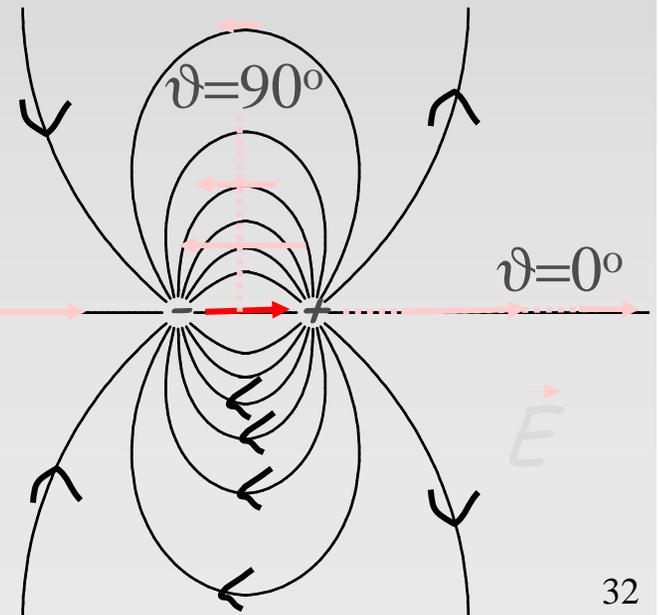
Veld langs lijn $\vartheta=90^\circ$

$$|\vec{E}_P(r, \vartheta=90^\circ)| \equiv \frac{q}{4\pi\epsilon_0 (r^2+d^2)} \left\{ \frac{+d}{\sqrt{d^2+r^2}} - \frac{-d}{\sqrt{d^2+r^2}} \right\}$$

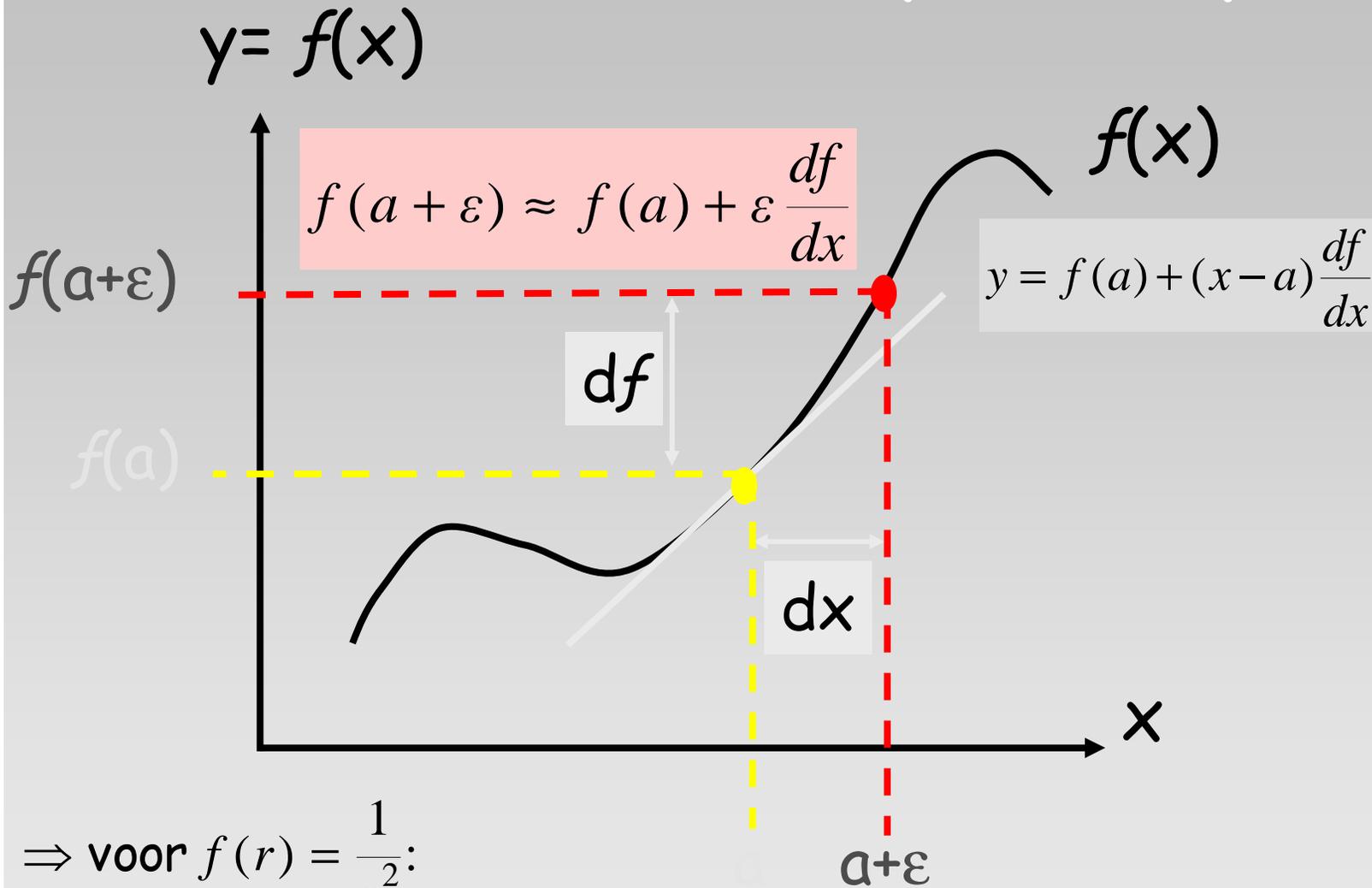
$$\approx \frac{2qd}{4\pi\epsilon_0 r^3} \equiv \frac{|\vec{p}|}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$



dipoolmoment : $\vec{p} = q2\vec{d}$

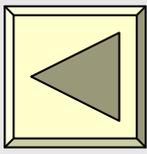


Taylor expansie



\Rightarrow voor $f(r) = \frac{1}{r^2}$:

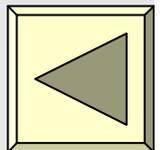
$$\frac{1}{(r+d)^2} \approx \frac{1}{r^2} - \frac{2}{r^3}(+d) = \frac{1}{r^2} - \frac{2d}{r^3} \text{ en } \frac{1}{(r-d)^2} \approx \frac{1}{r^2} - \frac{2}{r^3}(-d) = \frac{1}{r^2} + \frac{2d}{r^3}$$



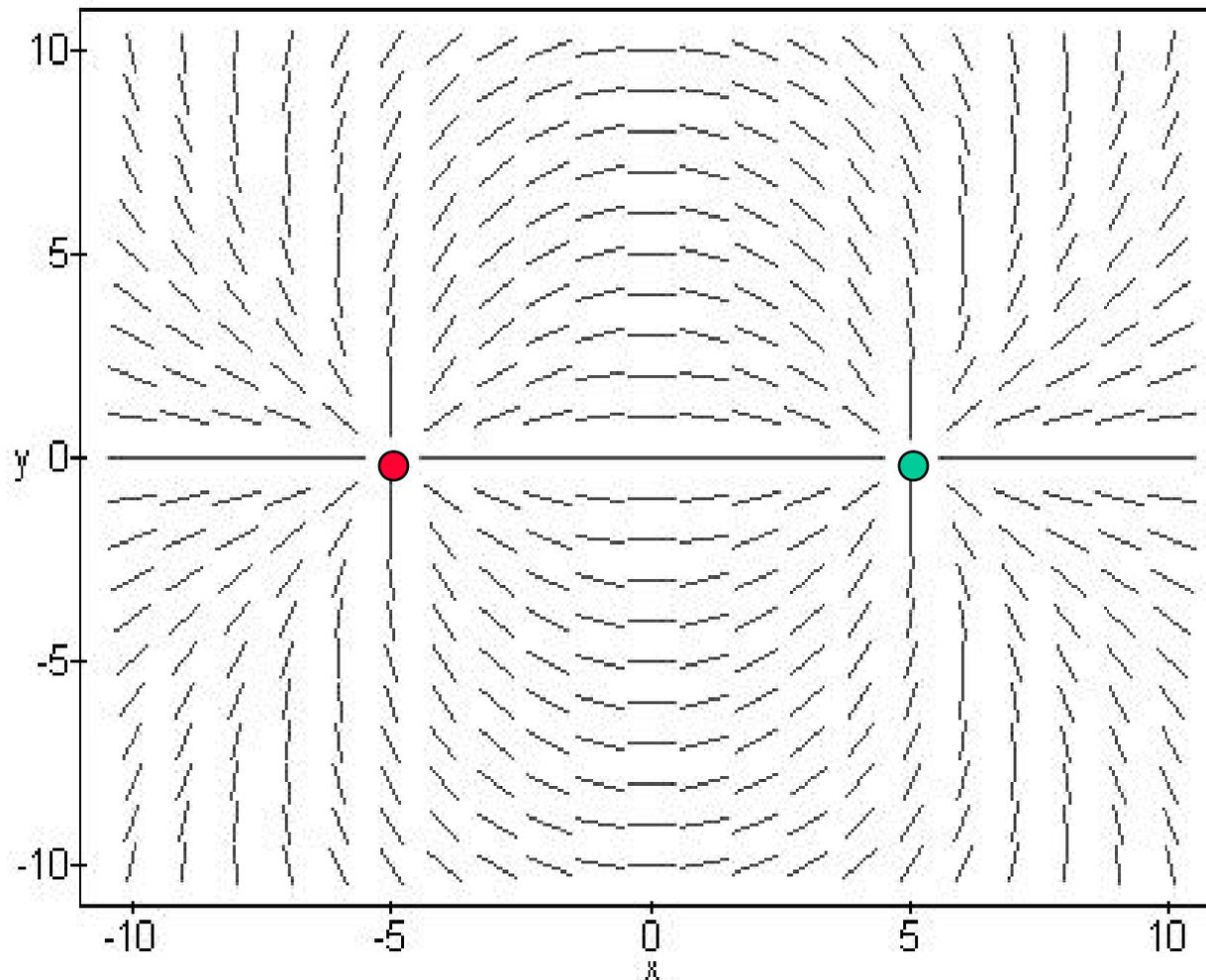
Of via een trucje

$$(r+d) \times (r-d) = r^2 - d^2$$

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{1}{(r-d)^2} - \frac{1}{(r+d)^2} \right\} &= \left\{ \frac{(r+d)^2}{(r+d)^2(r-d)^2} - \frac{(r-d)^2}{(r-d)^2(r+d)^2} \right\} \\ &= \left\{ \frac{(r+d)^2}{(r^2-d^2)^2} - \frac{(r-d)^2}{(r^2-d^2)^2} \right\} \\ &= \left\{ \frac{4rd}{(r^2-d^2)^2} \right\} \approx \frac{4rd}{r^4} = \frac{4d}{r^3} \end{aligned}$$



Mathematische dipool $q, d \rightarrow 0; p = \text{constant}$



Inkjet printer

- Bubble formation
 - *Thermal*
 - *Piezoelectrical*
- Print head, including Ink filled cartridge moves horizontally across paper surface
- Each of 4 cartridges (CMYK) has 50 ink-filled firing chambers
- Droplets: 40 μm diameter
- Speed: 40 m/s

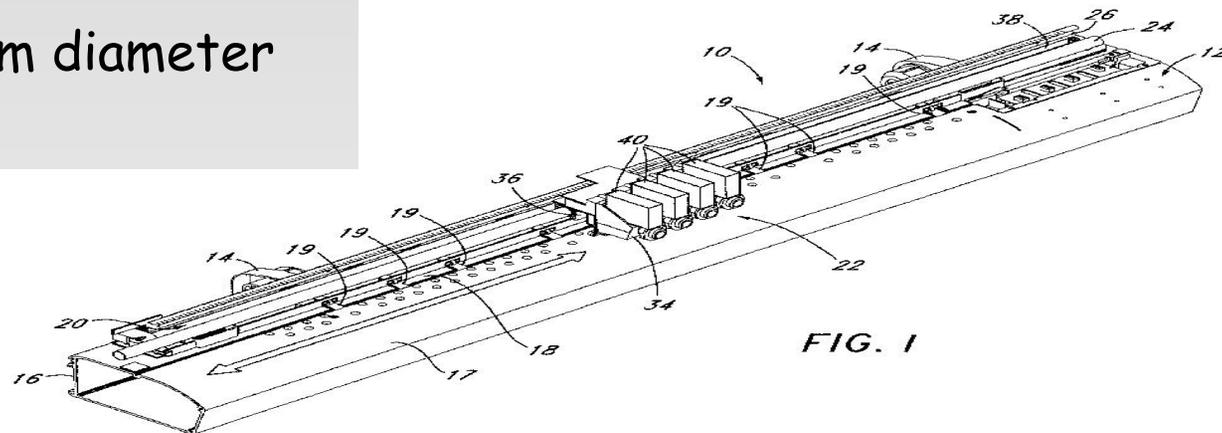
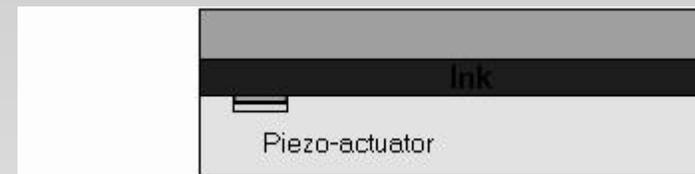


FIG. 1

Inkjet printer - calculate E

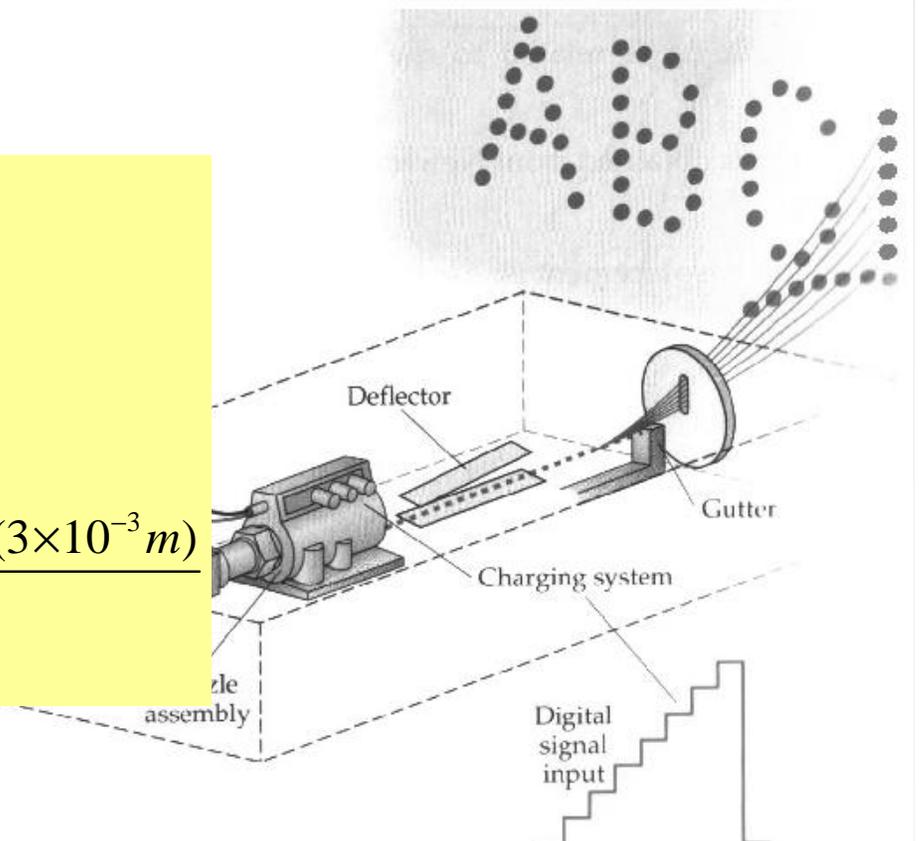
- Vertical displacement: $\Delta y = v_{0y}t + \frac{1}{2}at^2 = 0 + \frac{1}{2}at^2$

- Travel time: $t = \Delta x / v_0$

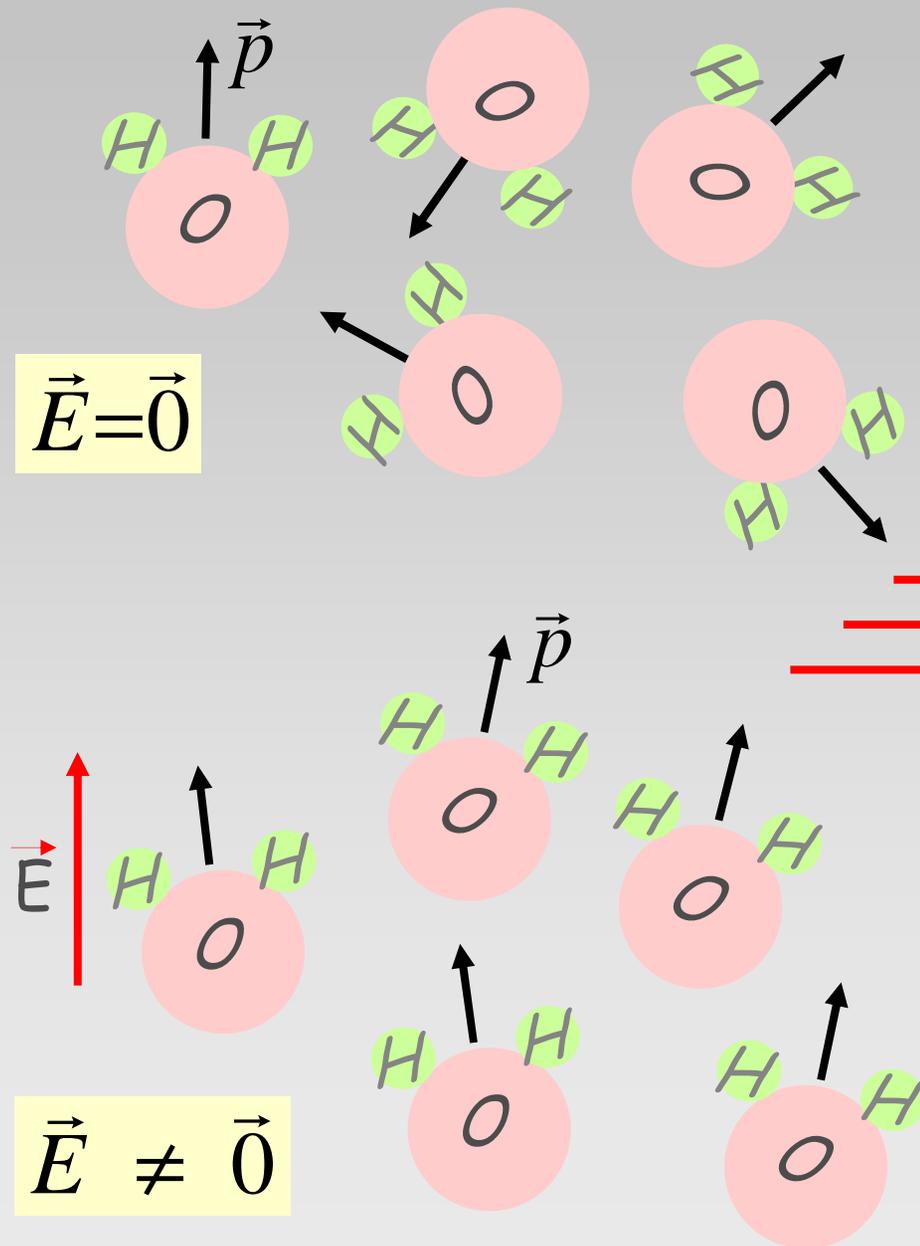
- Acceleration: $a = \frac{2\Delta y}{t^2} = \frac{2\Delta y}{(\Delta x / v_0)^2} = \frac{2v_0^2\Delta y}{(\Delta x)^2}$

- E-field

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{F}{q} = \frac{ma}{q} = \frac{\rho \frac{4}{3}\pi r^3}{q} \frac{2v_0^2\Delta y}{(\Delta x)^2} \\
 &= \frac{8\pi \rho r^3 v_0^2 \Delta y}{3 q (\Delta x)^2} \\
 &= \frac{8\pi (1000 \text{ kg} / \text{m}^3)(20 \times 10^{-6} \text{ m})^3 (40 \text{ m} / \text{s})^2 (3 \times 10^{-3} \text{ m})}{3 (2 \times 10^{-9} \text{ C})(0.01 \text{ m})^2} \\
 &= 1610 \text{ N} / \text{C}
 \end{aligned}$$



Polarisatie polair molecuul



Moleculen intrinsiek dipoolmoment p
 Voor $E=0$: oriëntatie p random
 Voor $E \neq 0$: oriëntatie $p // E$

$\vec{E} = \vec{0}$

$\vec{E} \neq \vec{0}$

$\vec{E} \neq \vec{0}$

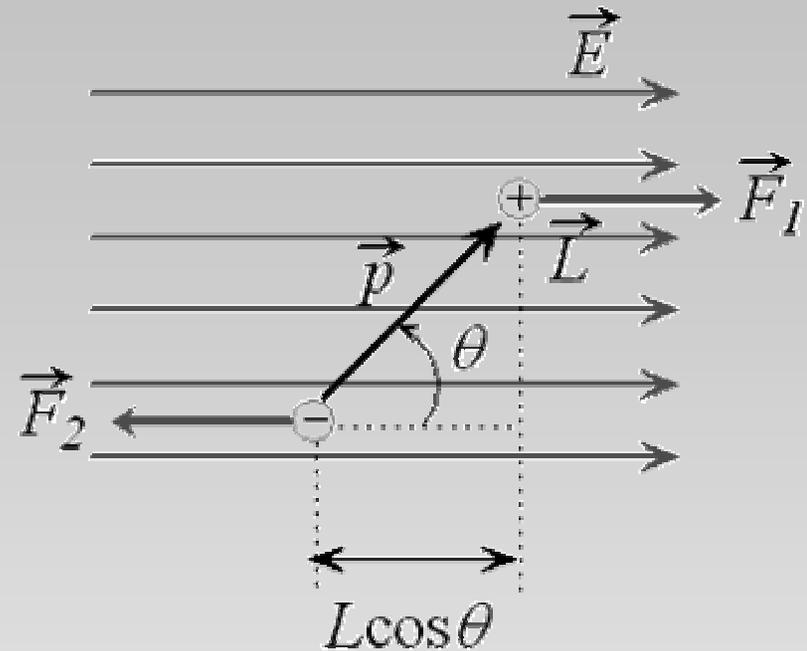
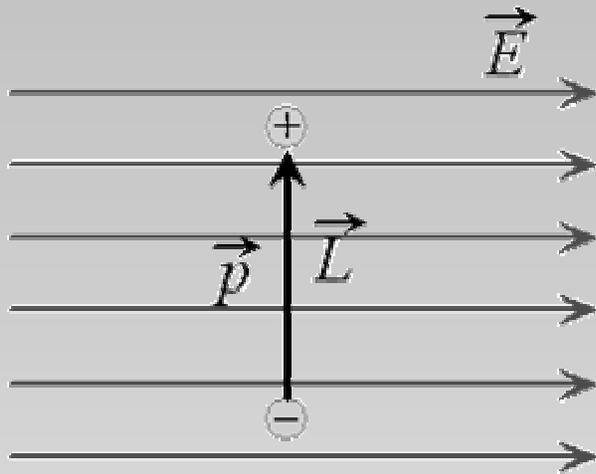
Kracht:

$$\vec{F} = \vec{F}_{+q} + \vec{F}_{-q} = q\vec{E} - q\vec{E} = \vec{0}$$

Moment:

$$\vec{\tau} = \frac{\vec{d}}{2} \times \vec{F}_{+q} - \frac{\vec{d}}{2} \times \vec{F}_{-q} = q\vec{d} \times \vec{E} = \vec{p} \times \vec{E}$$

Potentiële energie polair molecuul



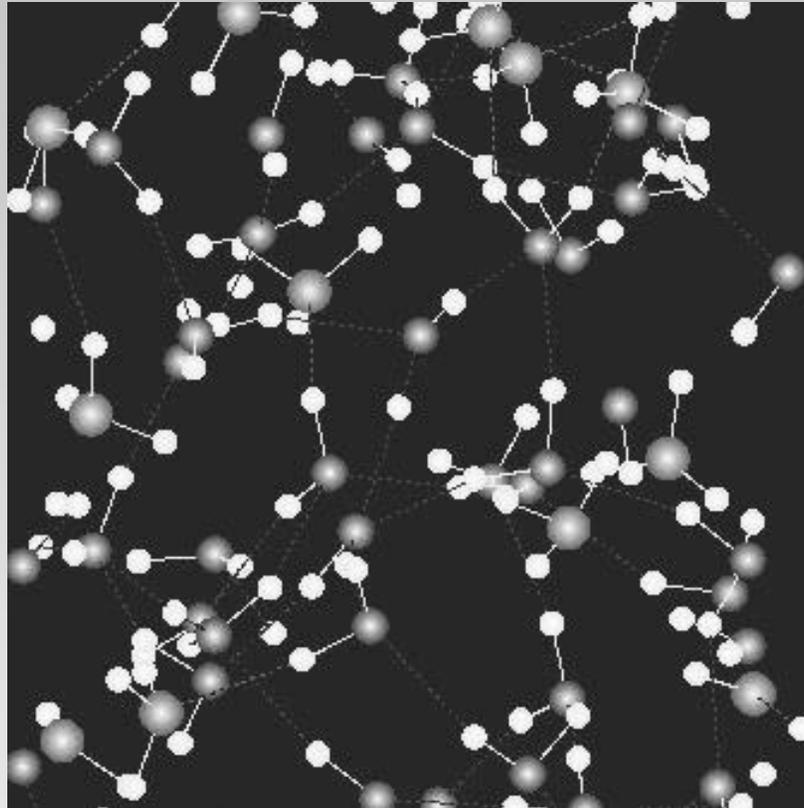
Arbeid:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = qE \times L \cos \theta = pE \cos \theta = \vec{p} \cdot \vec{E}$$

Potentielle energie:

$$U = -W = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

Ammoniak in water

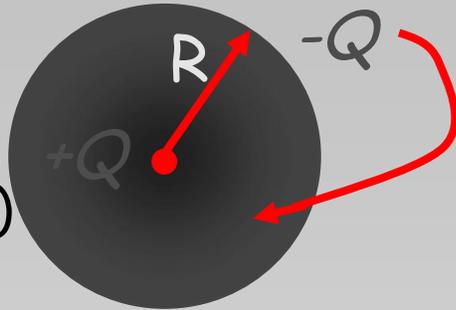


Polaire moleculen

Polarisatie neutraal atoom

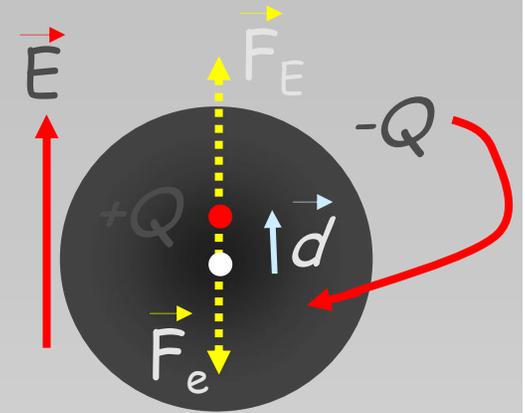
$$\vec{E} = \vec{0}$$

elektronenwolk
uniforme bol (R)



$$\vec{E} \neq \vec{0}$$

bolsymmetrisch
⇒ dipoolmoment



$$\alpha \equiv \text{"polari seerbaarheid"} \quad \vec{p} \equiv Q\vec{d} \propto \vec{E} \quad \text{en} \quad \frac{|\vec{p}|}{|\vec{E}|} \equiv \alpha$$

Bereken verplaatsing van de kern \vec{d}

$$\vec{0} = \vec{F}_Q \equiv \vec{F}_Q^E + \vec{F}_Q^e \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Elektronen: } \vec{F}_Q^e = Q \frac{\rho \vec{d}}{3\epsilon_0} = -Q \frac{Q\vec{d}}{4\pi R^3 \epsilon_0} \\ \text{E-veld: } \vec{F}_Q^E = Q\vec{E} \end{array} \right.$$

Kern
lading

$$\Rightarrow \vec{p} \equiv Q\vec{d} = \vec{E} 4\pi R^3 \epsilon_0 \Rightarrow \alpha = 4\pi R^3 \epsilon_0$$

Element	Z	α/ϵ_0
Helium	2	$3 \times 10^{-30} \text{ m}^3$
Neon	10	$5 \times 10^{-30} \text{ m}^3$
Argon	18	$20 \times 10^{-30} \text{ m}^3$
Waterdamp		$500 \times 10^{-30} \text{ m}^3$

I: Wat heb ik geleerd?

Lading + of - $q_{elektron} \approx -1.6 * 10^{-19} C$ en $\sum q = \text{constant}$

Kracht en \vec{E} -Veld
(Coulomb)

$$\vec{F} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \frac{\hat{r}}{r^2} \text{ en } \vec{E} = \frac{Q\hat{r}}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Veld uit discrete ladingsverdeling