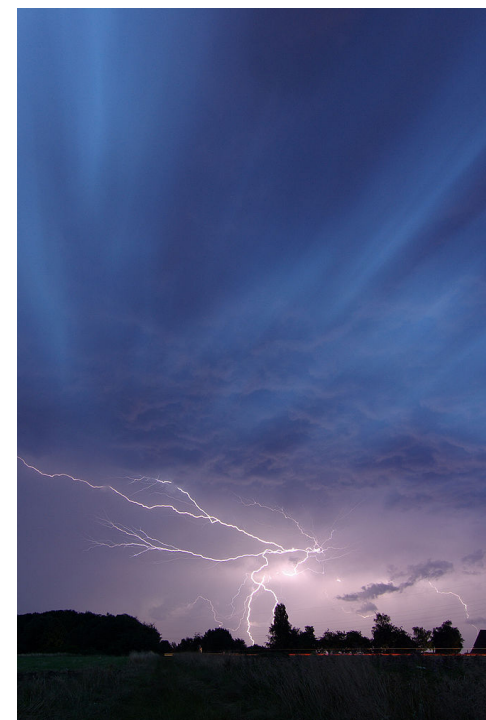


Ellära

Uppdaterad: 240117

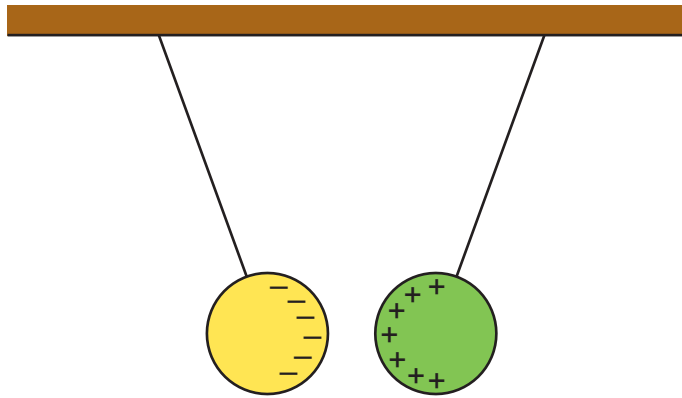
Har jag använt någon bild som jag inte får använda? Låt mig veta så tar jag bort den.
christian.karlsson@ckfysik.se

- | | |
|--------------------------------------|---|
| [1] Elektrisk laddning | [15] Potential |
| [2] Gnidningselektricitet | [16] Potential |
| [3] Jordning | [17] Från parallella plattor till enkel elektrisk krets |
| [4] Olika ämnen har olika ... | [18] Spänningskällor |
| [5] Laddningsmätning | [19] Ström |
| [6] Elektriska krafter / | [20] Mätning av spänning och ström |
| [7] Elektriska fält | [21] Resistans |
| [8] Elektriska fält | [22] Resistivitet / |
| [9] Elektriska fält – några typfall | [23] Serie- och parallellkoppling |
| [10] Filosofiska rutan | [24] Ersättningsresistans |
| [11] Elektrisk energi | [25] Mätning av spänning och ström |
| [12] El. energi och grav.lägesenergi | [26] Kirchhoffs lagar |
| [13] Elektrisk spänning | [27] Allmänt om fysik |
| [14] Elektrisk spänning / | [28] Elektrisk effekt / |



Elektrisk laddning

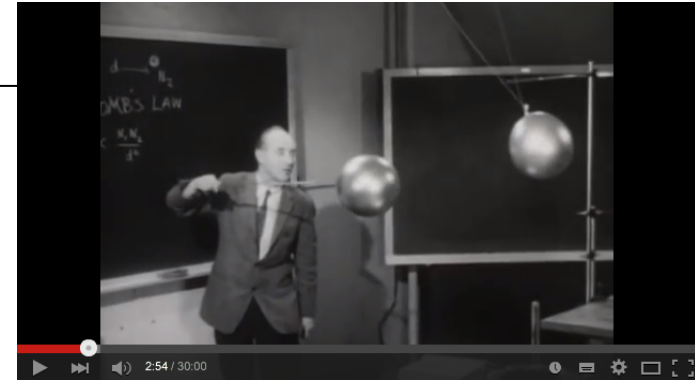
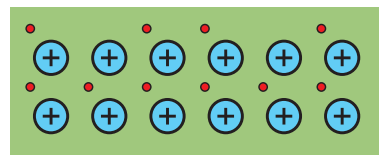
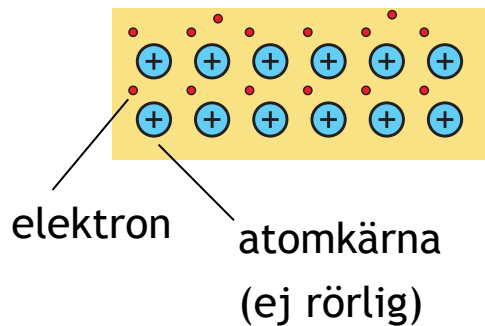
Ex: Laddade ballonger



Överskott av elektroner
(**negativt** laddad)

Underskott av elektroner
(**positivt** laddad)

Schematiskt:



[1]

- 1) - + attraktion
- 2) + + repulsion
- 3) - - repulsion

(Egentligen omges varje kärna större än väte av flera elektroner.)

Gnidningselektricitet



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/travoltage>



+

Glas

Människohår

Nylon

Ull

Silke

Papper

Bomull

Trä

Gummi

Rayon (kläder)

Polyetylen (förpackningar)

PVC

Teflon (stekpannor)

—

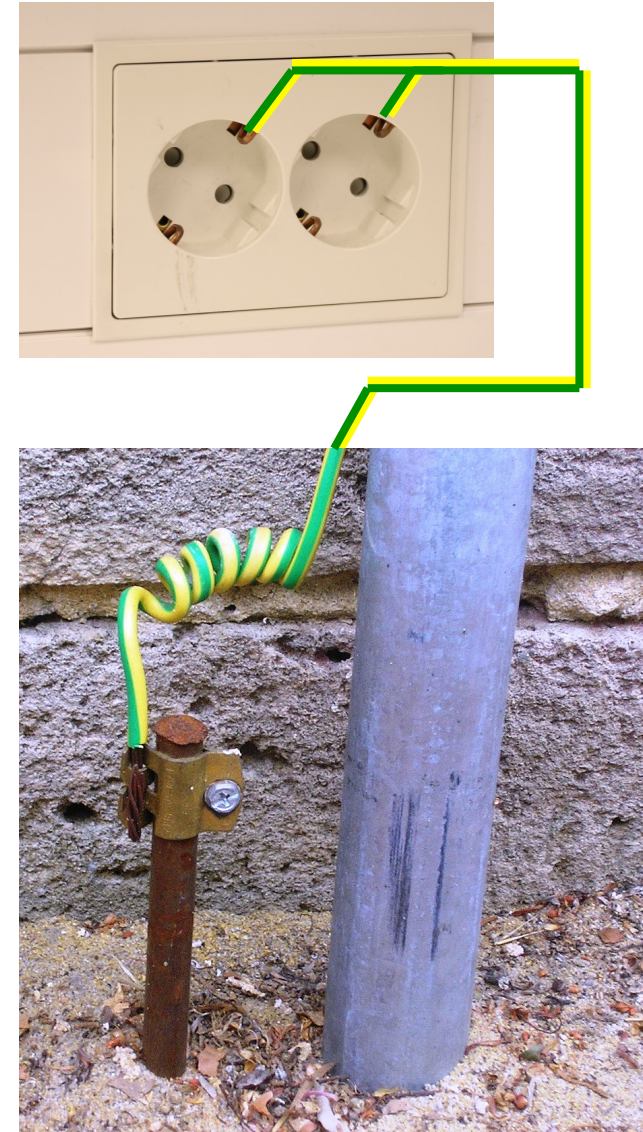
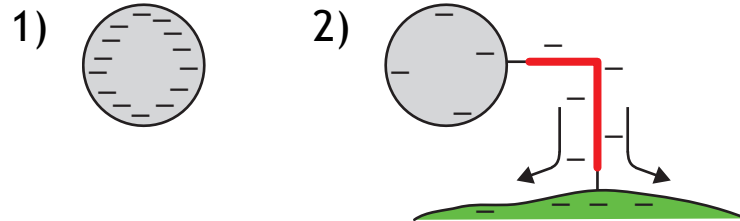
[3]

[2]

Jordning

Jordning: anslutning till jordytan

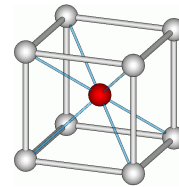
Föremål kan laddas ur genom jordning:



Olika ämnen har olika elektriska egenskaper

Ledare: Ämnen i vilka laddningar kan förflyttas

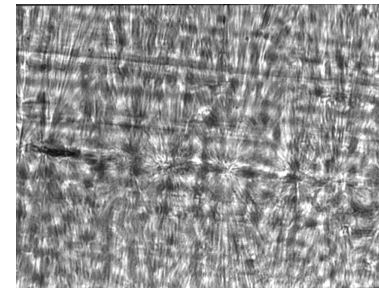
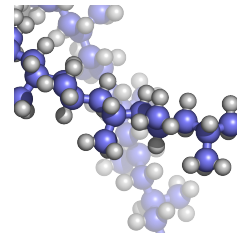
Metaller är goda ledare (har fria ledningselektroner)



[4]

Isolatorer: Ämnen i vilka laddningar *inte* kan förflyttas

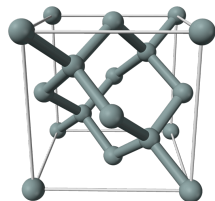
Plaster är i allmänhet isolatorer



[5]

Halvledare (t.ex. Si, Ge, GaAs): Isolatorer i kristallin, ren form.

Dopning förändrar ledningsförmågan.

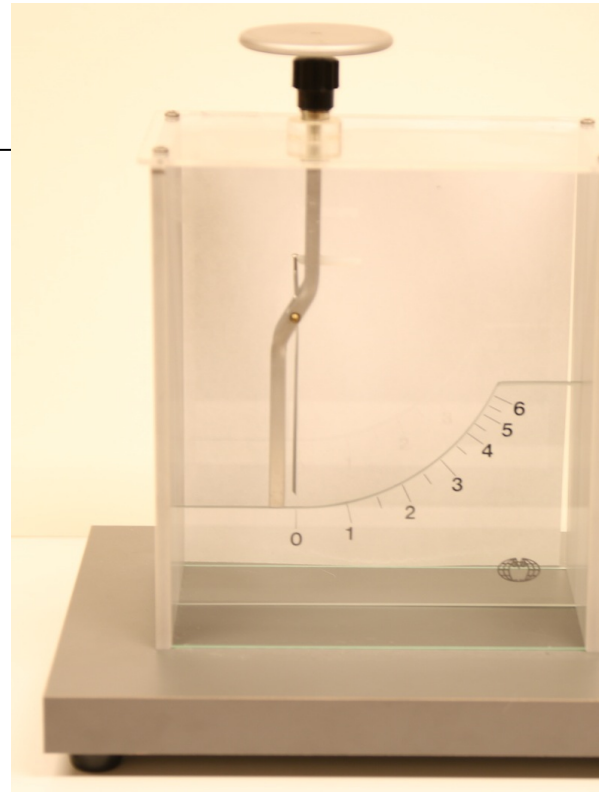
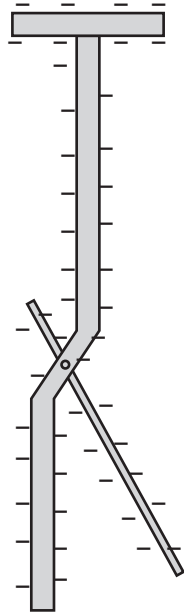


[6]

Utbyte av några Si-atomer mot t.ex. B- eller P-atomer.

Laddningsmätning

Elektroskop



Elektrisk laddning (Q , q) mäts i SI-enheten coulomb (C)

En elektron (e^-) har laddningen $q = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ($= -e$)

Ex: Huvudurladdningen i en blix: 5 C

elementarladdningen

(laddningen hos
en proton)

Elektrisk laddning är *kvantiserad*
(förekommer bara i bestämda mängder)



Q	F
C	N

Elektriska krafter

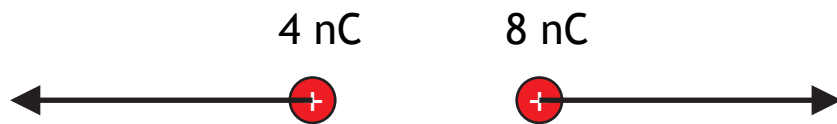
Elektriskt laddade partiklar/föremål påverkas av elektriska krafter



Elektrisk kraft på vänstra kulan från högra kulan

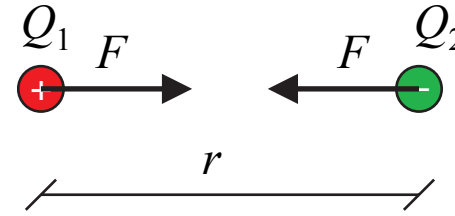
... på högra kulan från vänstra kulan

Krafterna är lika stora, motsatt riktade!



(mellan två punktformiga laddade föremål)

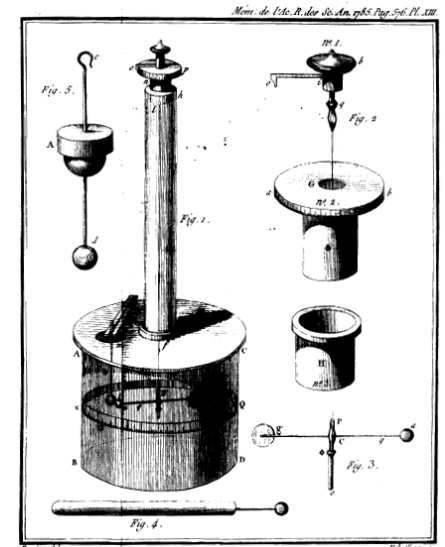
Elektriska kraftens storlek:



$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

(Coulombs lag)

$$k = 8,988 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

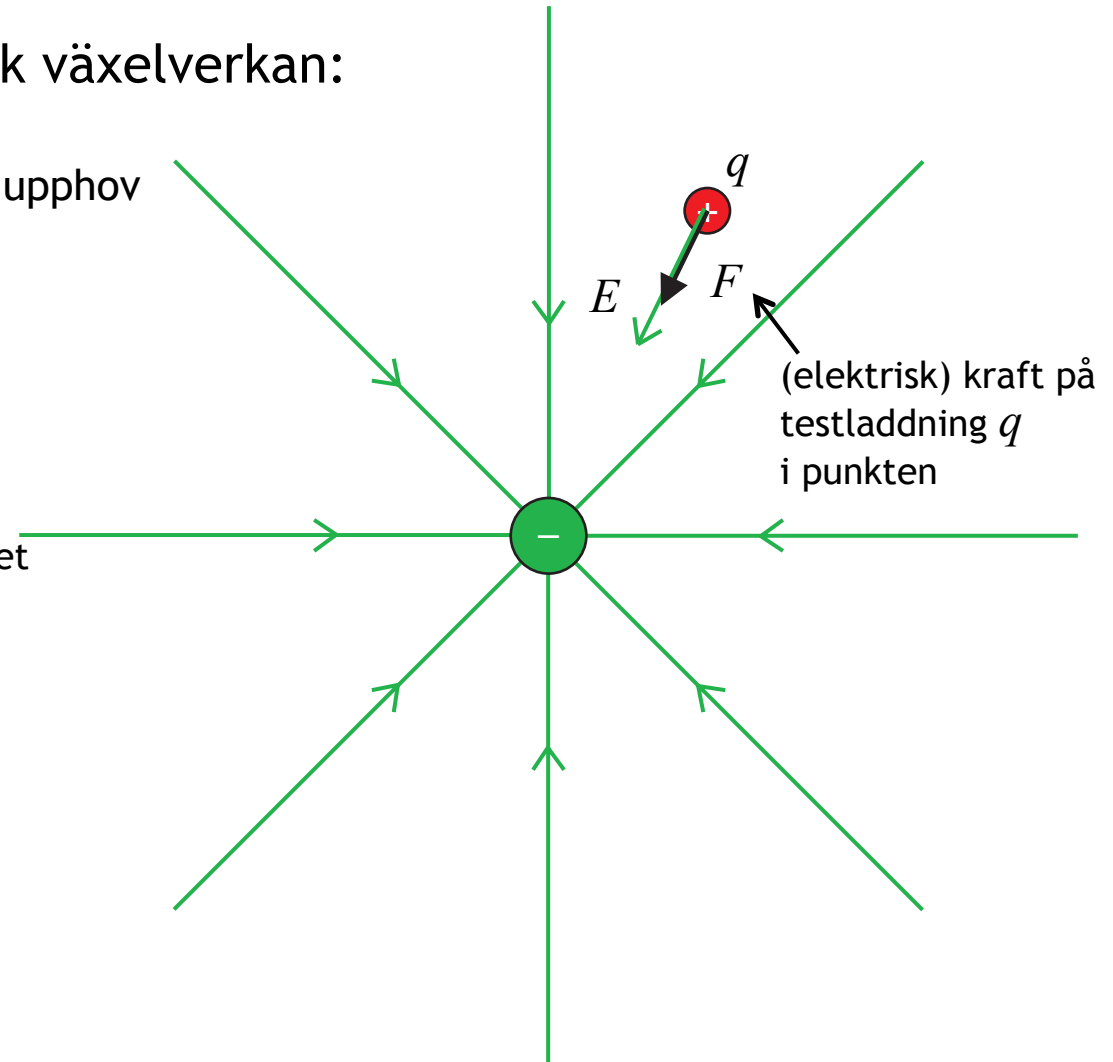


Q	F	E
C	N	N/C
		V/m

Elektriska fält

Ett sätt att förstå beskriva elektrisk växelverkan:

- 1) Ett (eller flera) **föremål** med laddning ger upphov till och omges av ett **elektriskt fält**.
- 2) Ett annat **föremål** med laddning i fältet påverkas av en **elektrisk kraft**.



← storhet som beskriver fältet

Elektriska fältstyrkan i en punkt:

$$\boxed{E = \frac{F}{q}} \Rightarrow F = qE$$

SI-enhet: 1 N/C

(Egentligen: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$)

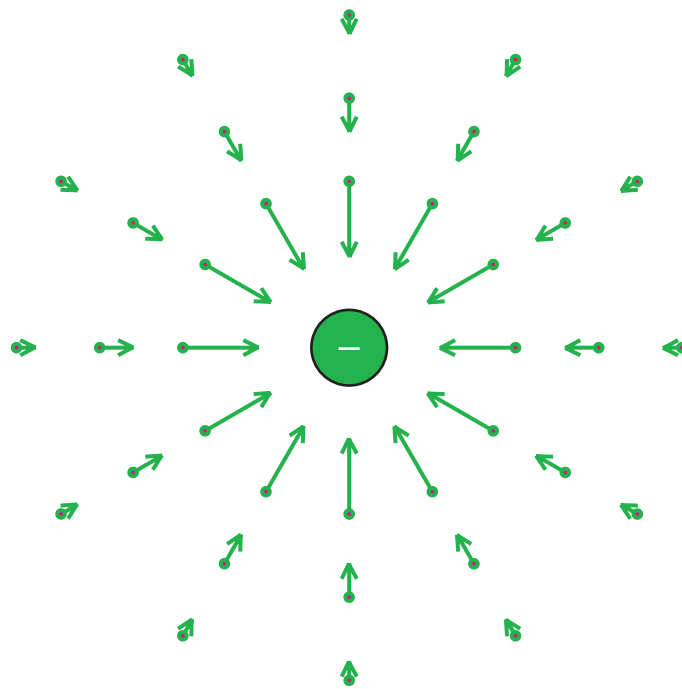
- Elektriska fält kan åskådliggöras genom att rita fältlinjer.
- Elektriska fältlinjer anger riktningen för elektriska kraften på en positiv laddning för elektriska fältstyrkan (E).

Q	F	E
C	N	N/C

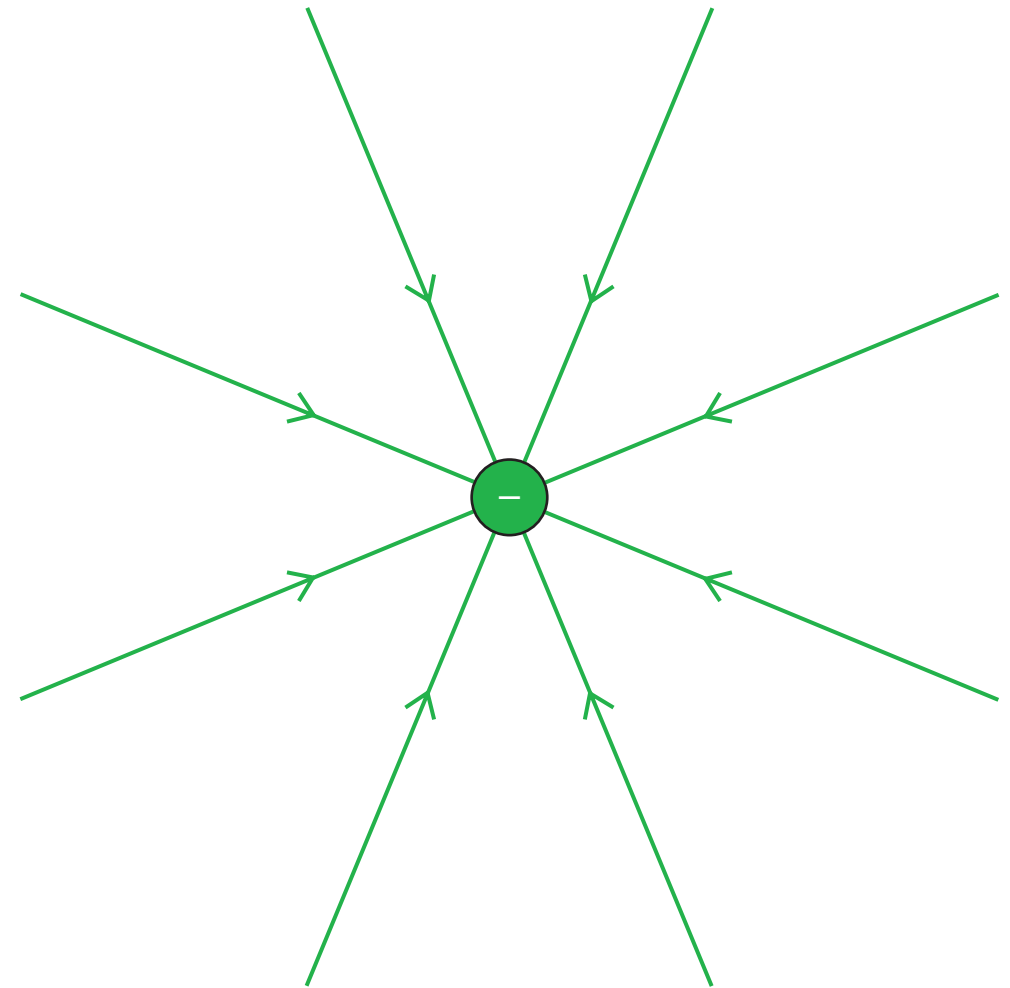
V/m

Elektriska fält

Två olika sätt att åskådliggöra elektriska fält:

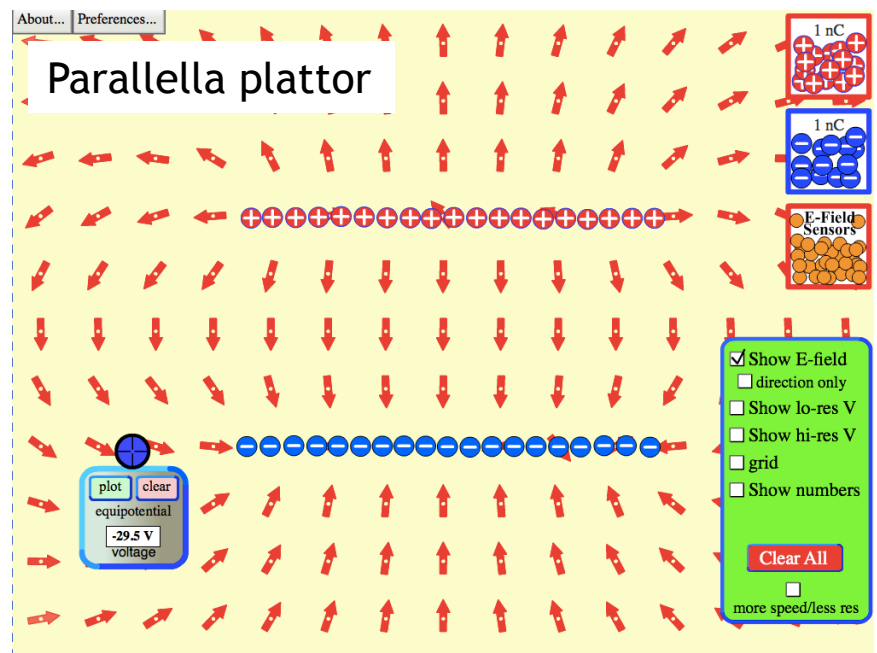
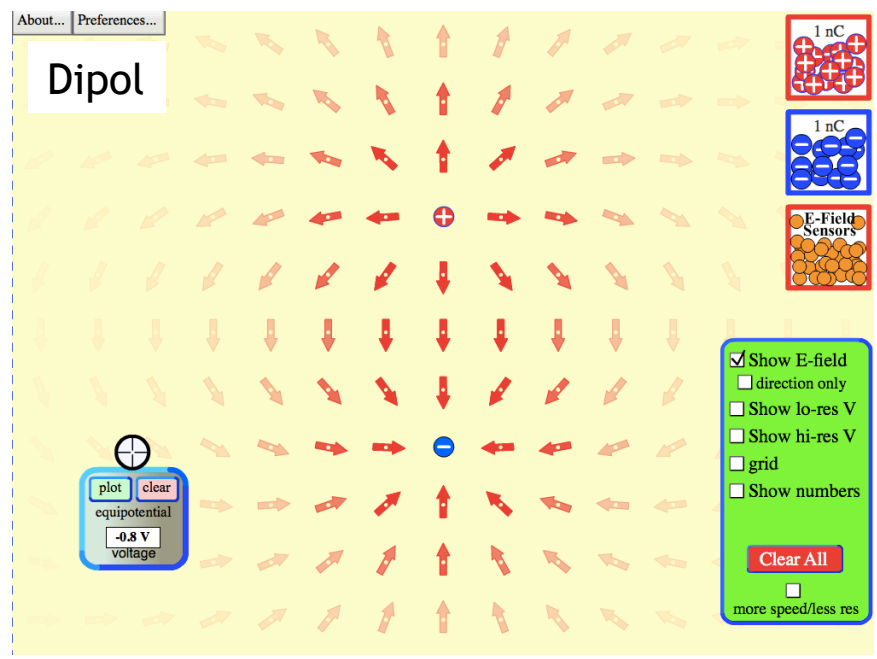


Genom att rita elektriska fältstyrka-vektorer
(i några utvalda punkter)



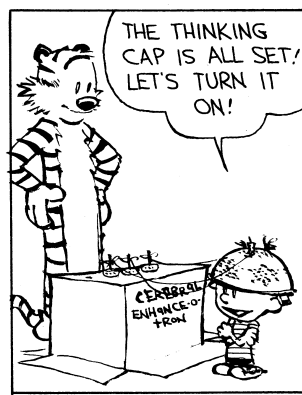
Genom att rita (några) (elektriska) fält-linjer

Elektriska fält - några typfall



Filosofiska rutan

Finns elektriska fält?



[10]

(för det första, vad menar vi med "finns"?)

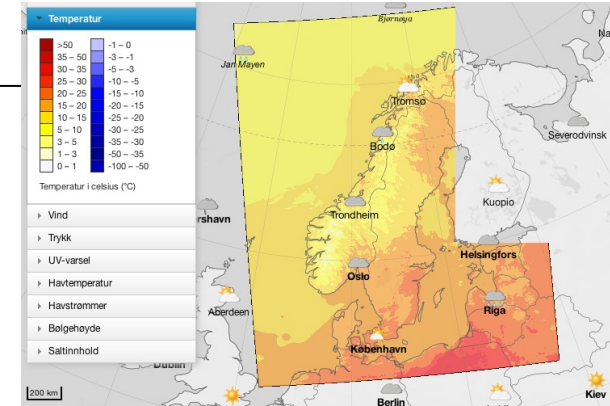
Det kan man nog diskutera länge om man vill, men jag rekommenderar följande hållning:

Precis som **materia** finns (och kan beskrivas med storheter som massa, temperatur, etc.)
 finns **elektriska fält** (och kan beskrivas med storheten elektrisk fältstyrka)

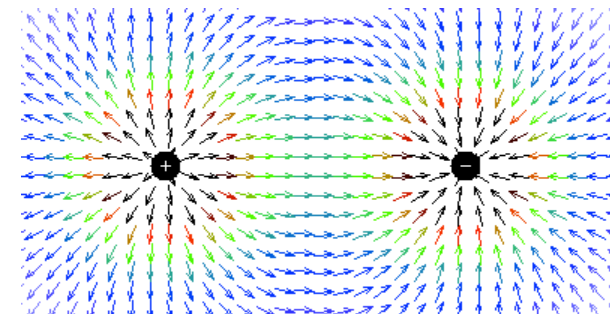
Alltså: Svar JA!

(kan beskrivas matematiskt med temperaturfält)

(kan beskrivas matematiskt med elektrisk fältstyrka-fält) elektriska fält



[11]

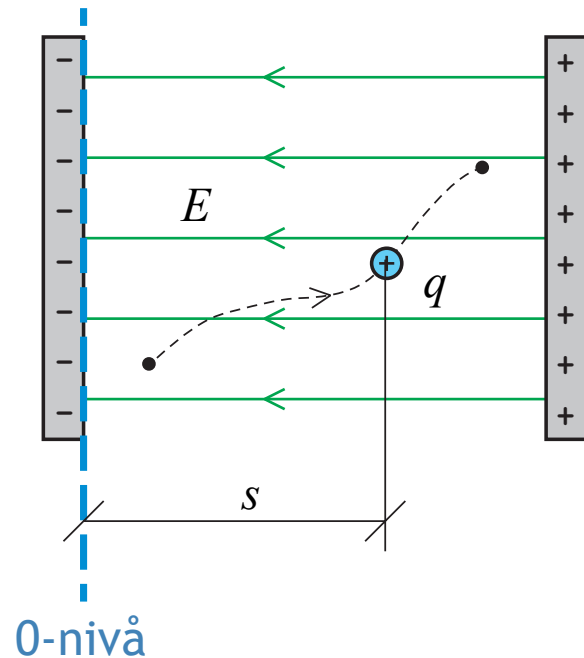


[12]

Q	F	E	W_e
C	N	N/C	J

Elektrisk energi

En partikel med laddning i ett elektriskt fält har olika stor elektrisk (läges-) energi beroende på var den är.



Elektriska (läges-) energin för partikel med laddning q i **homogent** elektriskt fält:

$$W_e = \pm qEs$$

avståndet från vald 0-nivå

elektriska fältstyrkan

tecken beror på om lägesenergin

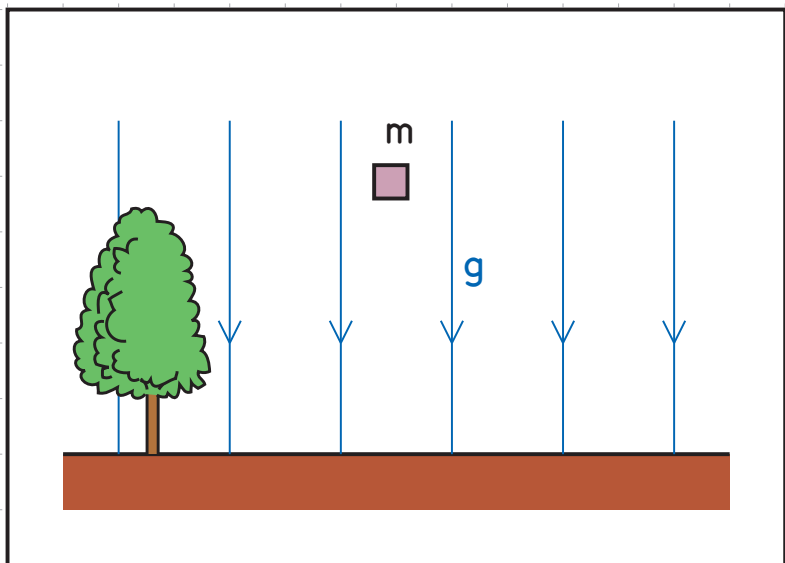
är större (+) eller mindre (-) än vid 0-nivån

Elektrisk energi och gravitationslägesenergi

Partikel med massa
i ett gravitationsfält
har olika stor (gravitations-) lägesenergi
beroende på var den är.

(nära jordytan)

Homogent gravitationsfält:



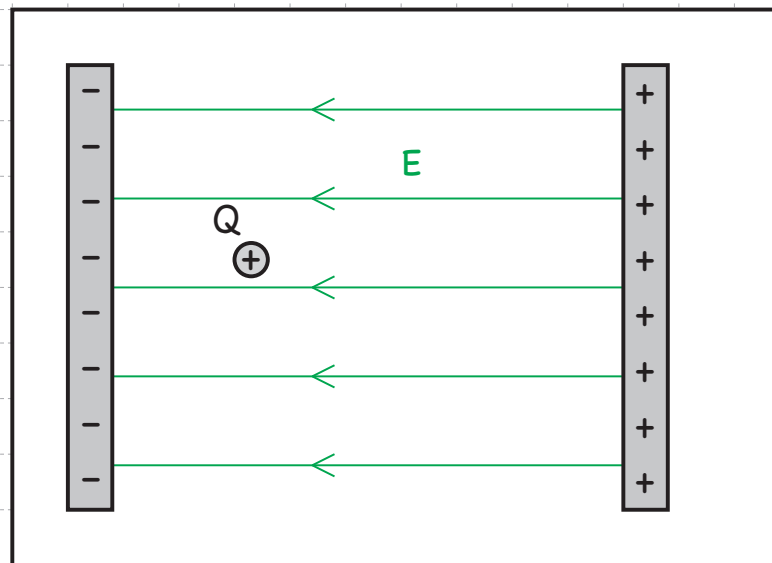
$W_p = \pm mgh$ ← h är avståndet från
vald 0-nivå

+ om högre lägesenergi än vid 0-nivån,
- om lägre lägesenergi än vid 0-nivån

Partikel med laddning
i ett elektriskt fält
har olika stor elektrisk (läges)energi
beroende på var den är.

(mellan två laddade metallplattor)

Homogent elektriskt fält:

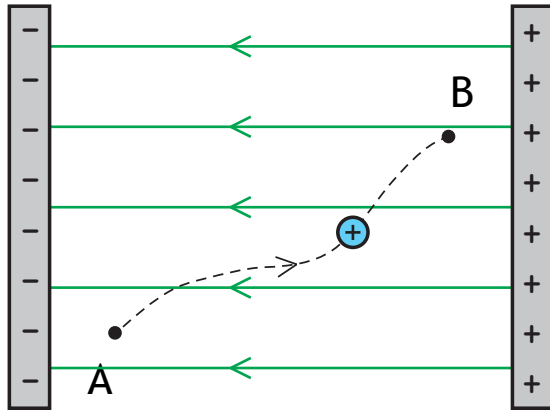


$W_e = \pm QEs$ ← s är avståndet
från vald 0-nivå

+ om högre lägesenergi än vid 0-nivån,
- om lägre lägesenergi än vid 0-nivån

Q	F	E	W_e	U
C	N	N/C	J	V
				J/C

Elektrisk spänning



Ex: Laddningen $Q = 10 \text{ nC}$ flyttas från A till B.

Antag att elektriska energin ökar med $\Delta W = 4,0 \text{ nJ}$.

Spänningen mellan A och B är då

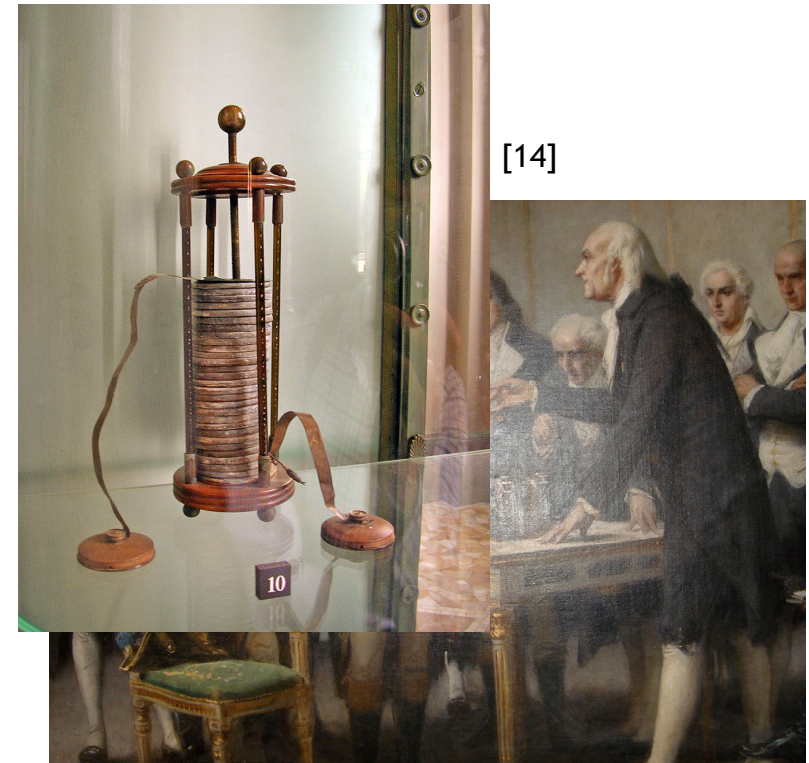
$$U = \frac{\Delta W}{Q} = \frac{4,0 \text{ nJ}}{10 \text{ nC}} = 0,40 \text{ V}$$

(energimängden W omvandlas)

Om förändringen i elektrisk energi är ΔW
när laddningsmängden Q flyttas från A till B
så är **spänningen mellan A och B**

$$U = \frac{\Delta W}{Q} = \frac{W}{Q} \quad (\Rightarrow \Delta W = QU)$$

SI-enhet: $1 \text{ J/C} = 1 \text{ V}$ (volt)

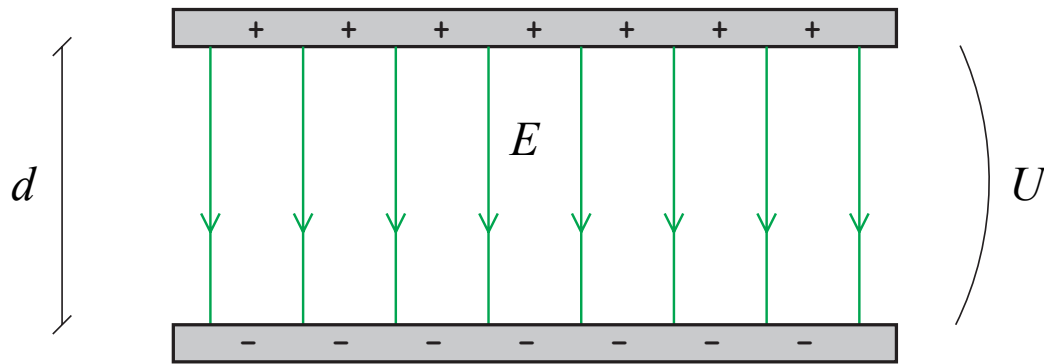


Q	F	E	W_e	U
C	N	N/C	J	V
		V/m		J/C

Elektrisk spänning

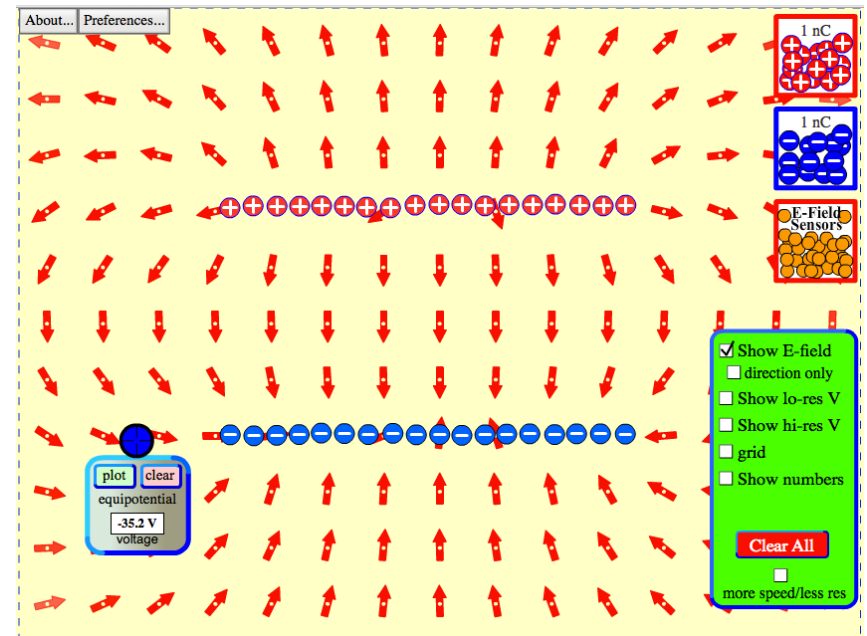
Ett behändigt samband

Homogent fält mellan två stora, parallella plattor



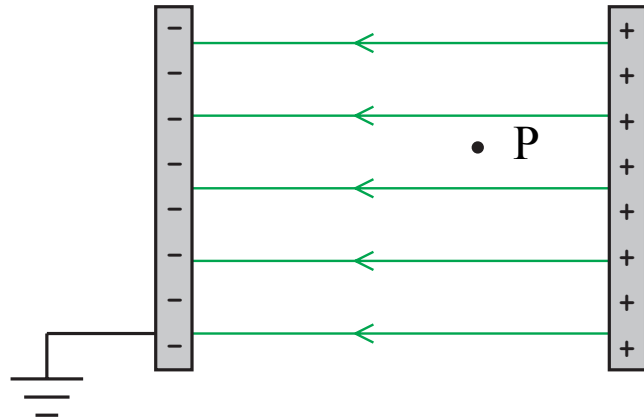
Då gäller

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



Q	F	E	W_e	U	V_P
C	N	N/C	J	V	V
		V/m		J/C	

Potential



Vänstra plattan är jordad
(i kontakt med jorden)

Ex: $s = 0,020\text{m}$

Elektrisk energi i P (med jord som 0-nivå):

$$W_p = QEs = 10 \cdot 10^{-9} \cdot 15 \cdot 0,020 \text{ J} = 3,0 \cdot 10^{-9} \text{ J}$$

Potentialen i P:

$$V_p = \frac{W_p}{Q} = \frac{3,0 \cdot 10^{-9} \text{ J}}{10 \cdot 10^{-9} \text{ C}} = 0,30 \text{ V} \quad (= \frac{QEs}{Q} = Es)$$

Potentialen i en punkt:

$$V_P = \frac{W_P}{Q}$$

elektriska lägesenergin
för positiv testladdning Q
i punkten (med jord
som 0-nivå)

SI-enhet: $1 \text{ J/C} = 1 \text{ V}$

innebär att $V_p = 0$
i jordade punkter

$$|V_B - V_A| = \left| \frac{W_B}{Q} - \frac{W_A}{Q} \right| = \frac{|W_B - W_A|}{Q} = \frac{\Delta W}{Q} = U_{(BA)}$$

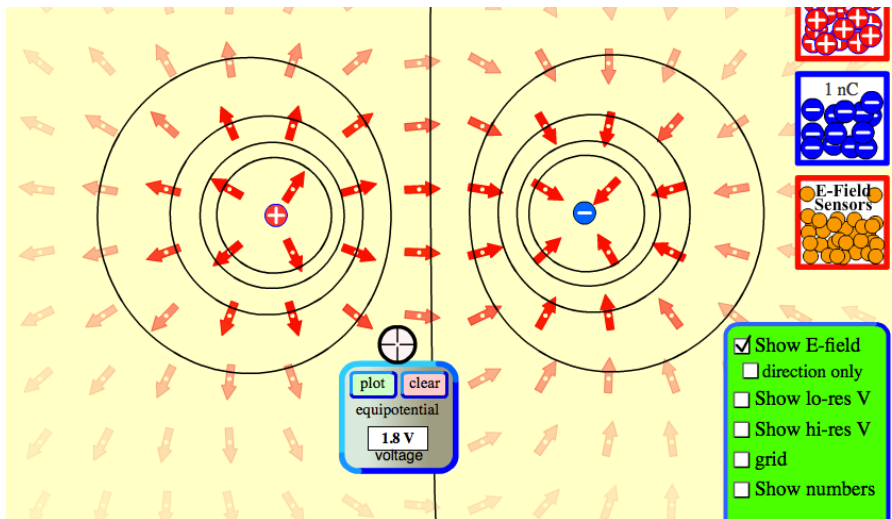
spänningen mellan två punkter = |potentialskillnaden|

Q	F	E	W_e	U	V_P
C	N	N/C	J	V	V
		V/m		J/C	

Potential

Vad säger potentialen?

Potential är en egenskap hos det elektriska fältet.



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/charges-and-fields>

(här är 0-nivån vald oändligt långt bort)
 (d.v.s. testladdningens elektriska lägesenergi är 0
 när testladdningen är väldigt långt bort från de två
 laddningarna som orsakar fältet)

Om vi vet **potentialen** i en punkt
 kan vi bestämma den elektriska lägesenergin
 för en laddad partikel i punkten:

$$V_P = \frac{W_P}{Q} \quad \Rightarrow \quad W_P = QV_P$$

Om vi vet **elektriska fältstyrkan** i en punkt
 kan vi bestämma den elektriska kraften
 på en laddad partikel i punkten:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = q\vec{E}$$

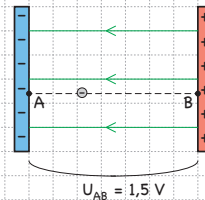
Från parallella plattor till enkel elektrisk krets

Demoblad

Från parallella plattor till enkel elektrisk krets

- 1) En elektron flyttas från A till B (i vakuum).

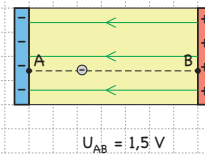
0,24 aJ elektrisk energi omvandlas till rörelseenergi (som sedan omvandlas till inre energi när elektronen kraschar in i plattan vid B).



- 2) En elektron flyttas från A till B (i en ledare där elektronen krokar längs vägen och lämnar av energi).

0,24 aJ elektrisk energi omvandlas till inre energi och strålningsenergi.

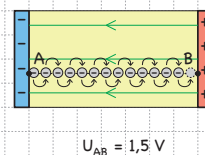
(Från och med nu tänker vi oss att elektroner som lämnar minusplattan omedelbart ersätts av nya utifrån, och att elektroner som kommer till plusplattan omedelbart förs bort.*)



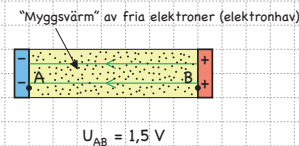
- 3) En elektronladdning flyttas från A till B (i en ledare med ett hav av elektroner som krokar längs vägen och lämnar av energi).

0,24 aJ elektrisk energi omvandlas till inre energi och strålningsenergi.

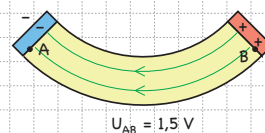
Observera att en elektronladdning kan flyttas från A till B utan att en och samma elektron gör hela resan!



- 4) Ändra form på ledaren.



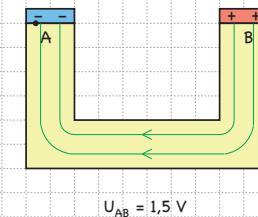
- 5) Ändra form på ledaren. Så länge elektroner tillförs utifrån vid minusplattan och bortförs vid plusplattan (och flyttas däremellan) kommer E-fältet att följa ledaren tack vare små ytladdningar som sätter sig på ledarens ytor (ej utritade).



E-fältet knuffar elektronhavet från - till +, och laddning flyttas därmed från A till B. När en elektronladdning flyttas från A till B omvandlas energimängden 0,24 aJ.

Demoblad

- 6) Ändra form på ledaren.

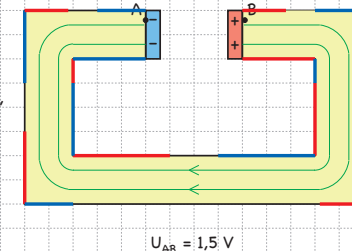


- 7) Ändra form på ledaren.

Precis som innan:

E-fältet knuffar elektronhavet från - till +, och laddning flyttas därmed från A till B.

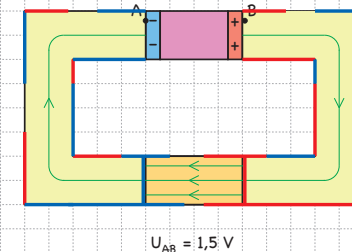
När en elektronladdning flyttas från A till B omvandlas energimängden 0,24 aJ.



- 8) Byt ut en del av ledaren mot sämre ledare (elektroner krokar oftare).

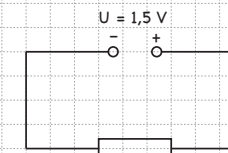
E-fältet inuti ledarna blir som det blir tack vare att ytladdningar sätter sig på ledarens ytor.

*Tillförsel och bortförsel av elektroner vid "plattorna" sker tack vare kemiska reaktioner i ett batteri.



- 9) Det vi har i (8) kan ses som en enkel modell för till exempel en glödlampa ansluten till ett batteri.

Ofta ritas man en sådan krets så här:

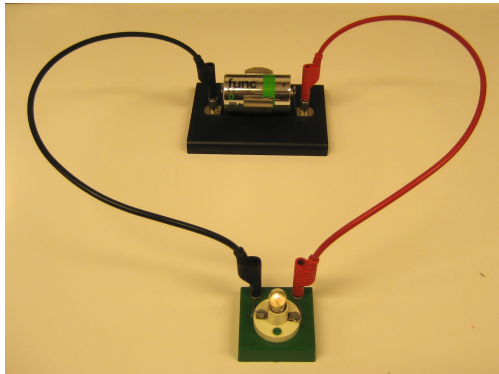


Nu är vi redo för elektriska kretsar!

Spänningskällor



[15]

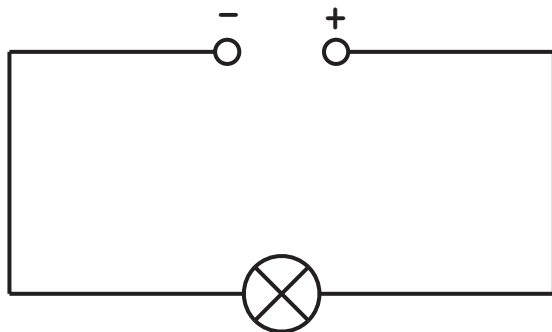


Batteri: "Laddningspump"

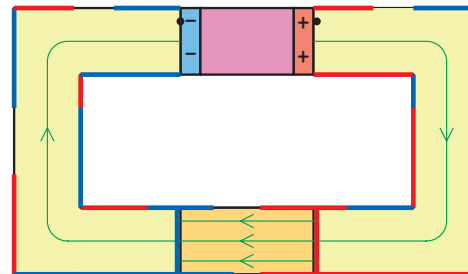
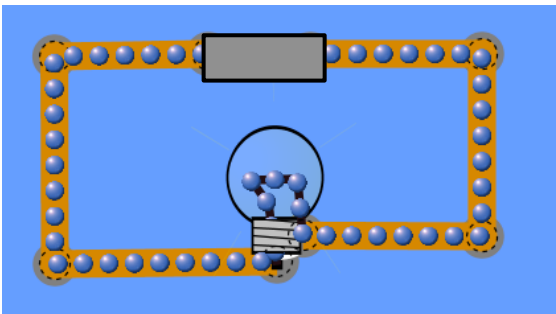
När laddningsmängden Q pumpas runt omsätts energimängden $W = UQ$

U batteriets polspänning

$$U = 1,5 \text{ V}$$



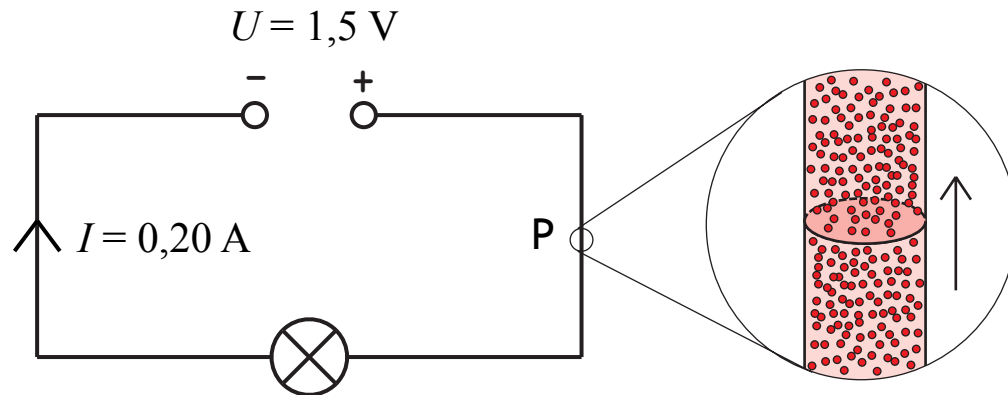
1 C pumpas runt: $1,5 \text{ V} \cdot 1 \text{ C} = 1,5 \text{ J}$
 1 elektronladdning: $1,5 \text{ V} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 2,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$



Observera att det finns andra spänningskällor än batterier, t.ex. solceller.

Q	F	E	W_e	U	V_P	Från parallella plattor till elektrisk krets	I
C	N	N/C	J	V	V		A
		V/m		J/C			C/s

Ström



Ex: Laddningen $Q = 12 \text{ C}$ passerar ett tvärsnitt vid P på tiden $\Delta t = 60 \text{ s}$.
Strömmen i ledaren (genom P) är då

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{12 \text{ C}}{60 \text{ s}} = 0,20 \text{ A}$$

Om laddningsmängden Q passerar ett tvärsnitt av en ledare på tiden t så är **strömmen** i ledaren:

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

SI-enhet: $1 \text{ C/s} = 1 \text{ A}$ (ampere)



[16]

Obs! Ström går från + till - (men e^- rör sig från - till +)
(strömriktningen är den riktning i vilken positiv laddning rör sig)

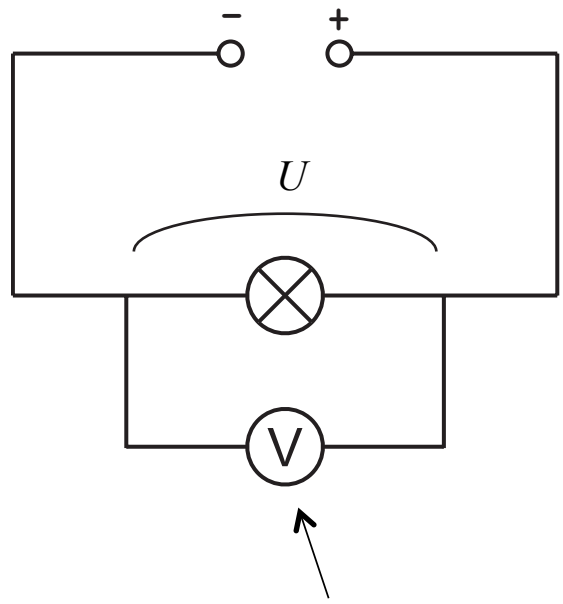
Q	F	E	W_e	U	V_p
		\sqrt{C}	J	V	V
		I/m		J/C	

Från parallella
plattor till
elektrisk krets

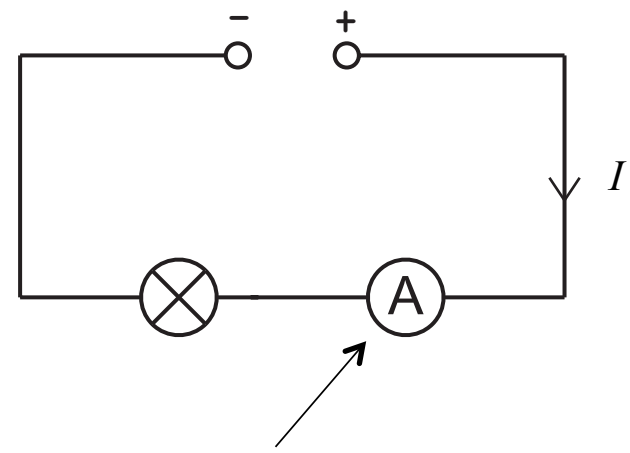
I
A
C/s

Mätning av spänning och ström

Se upp vid inkoppling av mätinstrument!

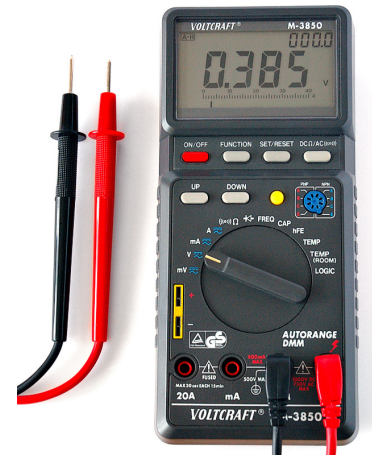


Voltmeter
Mäter spänningen *över* lampan.
Kopplas *parallellt*
med mätobjektet.



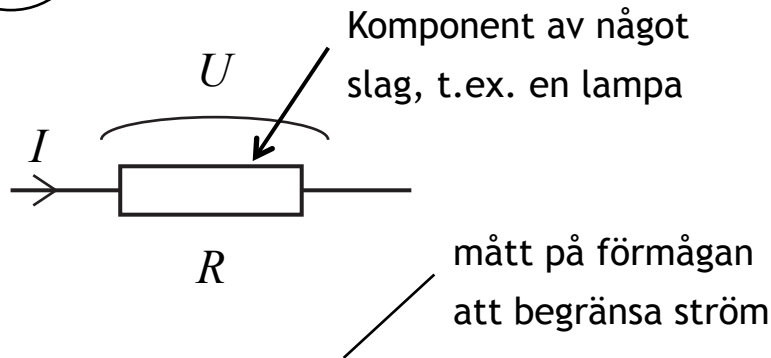
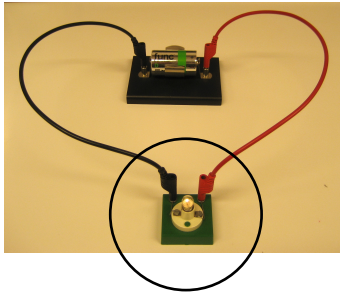
Amperemeter
Mäter strömmen *genom* lampan.
Kopplas *i serie*
med mätobjektet.

Koppla aldrig in en amperemeter parallellt.



Q	F	E	W_e	U	V_p	Från parallella plattor till elektrisk krets	I	R
C	N	N/C	J	V	V		A	Ω
		V/m		J/C			C/s	

Resistans



En komponents **resistans**:

$$R = \frac{U}{I}$$

spänningen över komponenten

strömmen genom komponenten

SI-enhet: $1 \text{ V/A} = 1 \Omega$ (ohm)

Om spänningen är given avgör resistansen hur stor strömmen blir!

$$I = \frac{U}{R}$$

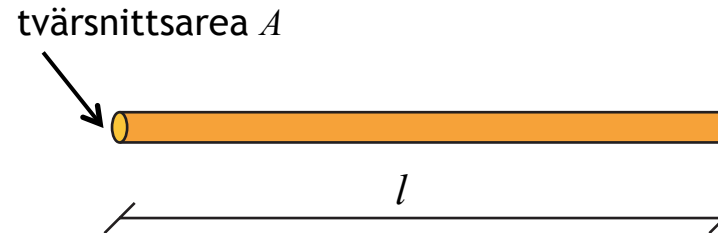
Om en komponents resistans är konstant sägs komponenten följa **Ohms lag**.
Då gäller $U = RI$, där R konstant.



Q	F	E	W_e	U	V_p	Från parallella plattor till elektrisk krets	I	R
C	N	N/C	J	V	V		A	Ω
		V/m		J/C			C/s	

Resistivitet

En metalltråd med längden l
och tvärsnittsarean A har resistansen



$$R = \rho \frac{l}{A}$$

trådmaterialets **resistivitet** (materialkonstant)

Ämne		några metaller och metallegeringar	
Metaller	Ämne	Resistivitet vid 20 °C ($10^{-6} \Omega \cdot m$)	Temperaturkoefficient ($10^{-3}/K$)
	Aluminium		
	Bly	0,026	4,29
	Guld	0,21	4,22
	Järn	0,022	3,98
	Kadmium	0,096	6,57
	Kalcium	0,074	4,26
	Koppar	0,034	4,0
	Kviksilver	0,017	4,33
	Magnesium	0,96	0,99
	Molybden	0,044	4,2
	Nickel	0,053	4,7
	Platina	0,069	6,75
	Silver	0,105	3,92
	Tenn	0,0159	4,10
	Vismut	0,126	4,63
	Volfram	1,16	4,45
	Zink	0,053	4,83
	Zink	0,059	4,2
Metallegeringar	Duraluminium	0,40	2,8
	Invar	0,10	2
	Kanthal A 1	1,45	0,03
	Konstantan	0,50	$\pm 0,03$
	Kromnickel	1,1	
	Manganin	0,43	
	Mässing	0,065	
	Stål		

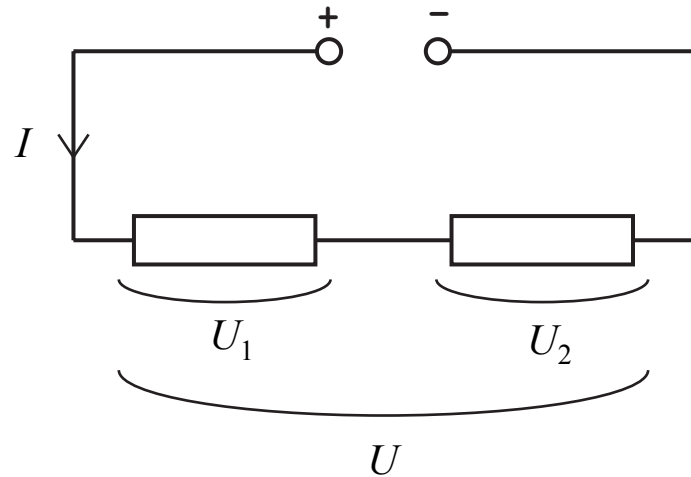
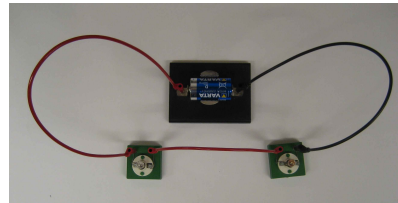
Q	F	E	W_e	U	V_p
	N	N/C	J	V	V
		V/m		J/C	

Från parallella
plattor till
elektrisk krets

I	R
A	Ω
C/s	

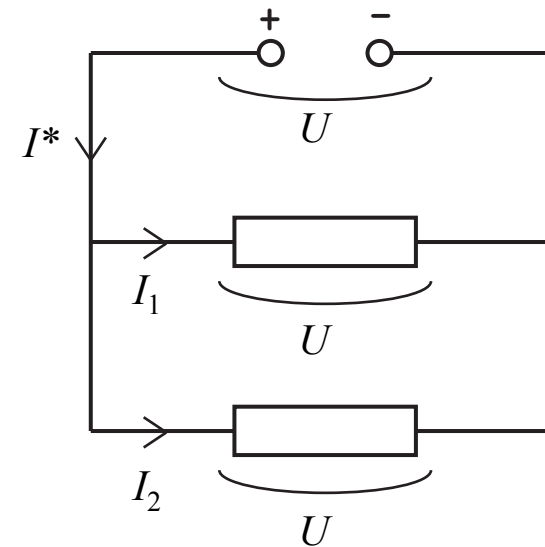
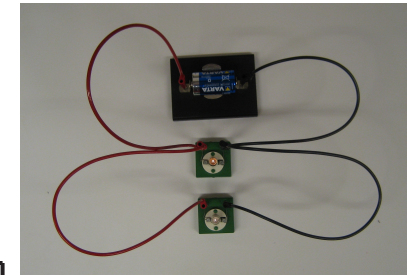
Serie- och parallellkoppling

Seriekoppling



- Samma I
- $U = U_1 + U_2$

Parallellkoppling



- $I^* = I_1 + I_2$
- Samma U

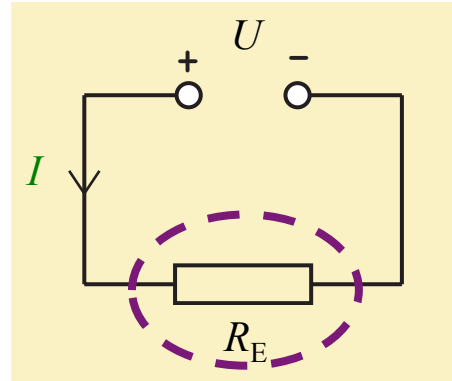
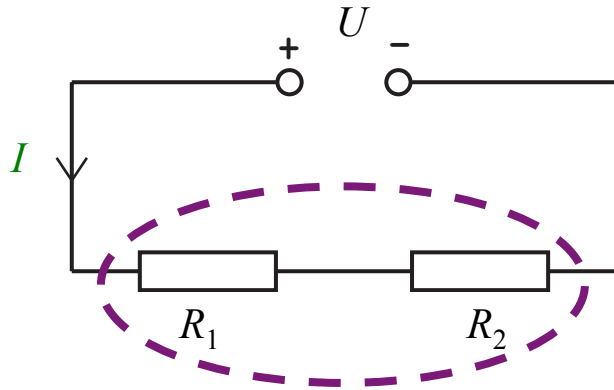
Q	F	E	W_e	U	V_p
C	N	N/C	J	V	V
			V/m	J/C	

Från parallella
plattor till
elektrisk krets

I	R
A	Ω
C/s	

Ersättningsresistans

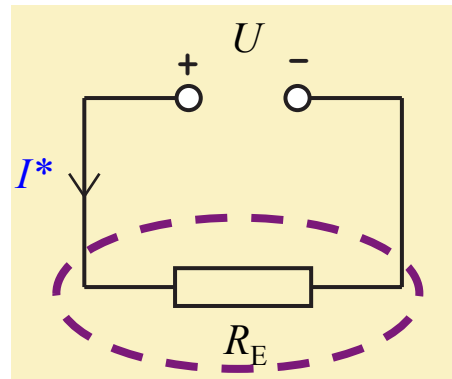
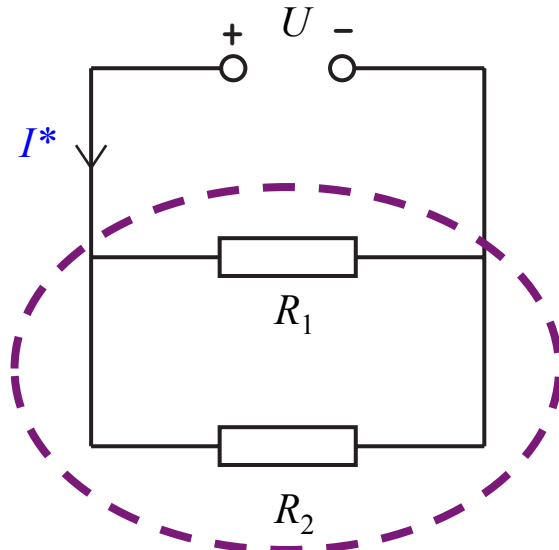
- 1) totala resistansen
- 2) den resistans som ensam ger samma ström (om U samma)



Ersättningsresistans för ett antal motstånd (i en krets)

$$R_E = R_1 + R_2$$

(seriekoppling)



$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

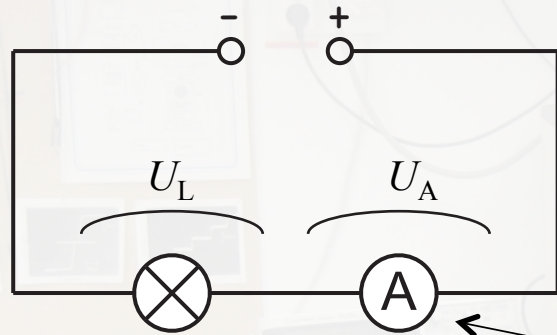
(parallellkoppling)

Användbart vid problemlösning: 1) Bestäm R_E för samtliga motstånd.

2) Bestäm huvudström I . 3) Bestäm delspänningar.

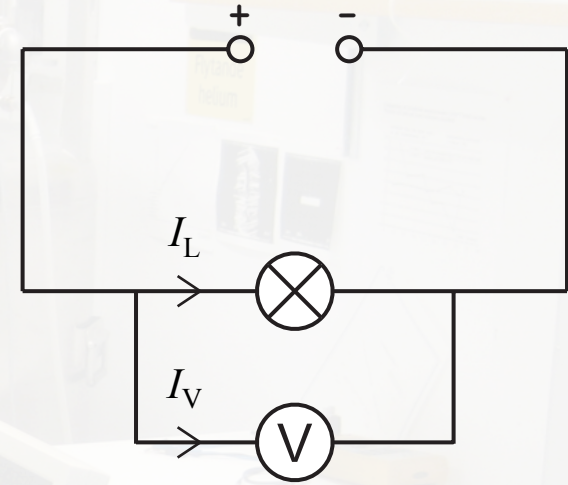
Mer om mätning av spänning och ström

Mätinstrument ska helst inte märkas!



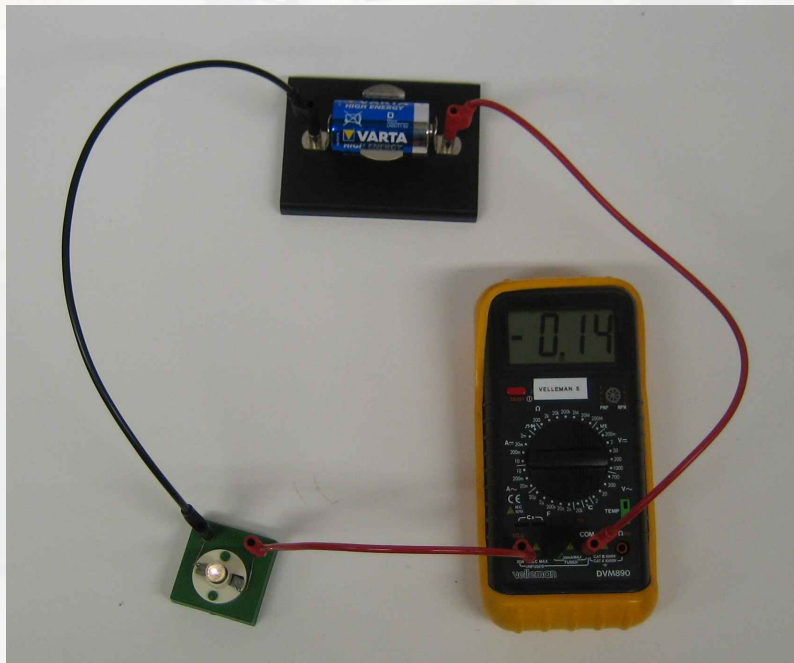
$$(R_E = R_L + R_A)$$

En bra **amperemeter** har **liten** resistans (så att $U_A \approx 0$)



En bra **voltmeter** har **stor** resistans (så att $I_V \approx 0$)

$$\left(\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_V} \right)$$



Vid alla typer av mätningar:
Mäter jag verkligen det som jag tror att jag mäter?

Q	F	E	W_e	U	V_p
C	N	N/C	J	V	V
		V/m		J/C	

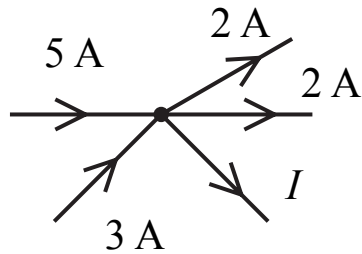
Från parallella
plattor till
elektrisk krets

I	R
A	Ω
C/s	



Kirchhoffs lagar

1. I en förgreningspunkt: “ $\Sigma(\text{ström in}) = \Sigma(\text{ström ut})$ ”



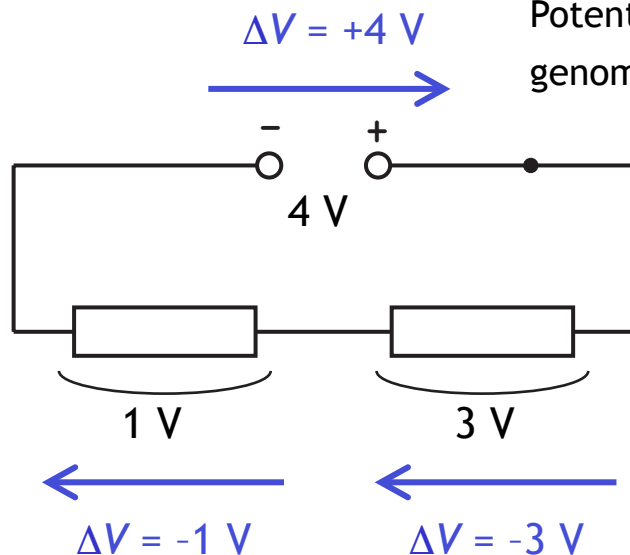
Gustav Robert Kirchhoff

$$I = 4 \text{ A} \quad (= 8 \text{ A} - 2 \text{ A} - 2 \text{ A})$$



[17]

2. I en sluten strömkrets är summan av alla potentialändringar, räknade med tecken, lika med 0.



Potentialen ökar när vi går från minuspol till pluspol genom en spänningskälla (ökningen = polspänningen).

Robert Wilhelm Eberhard Bunsen

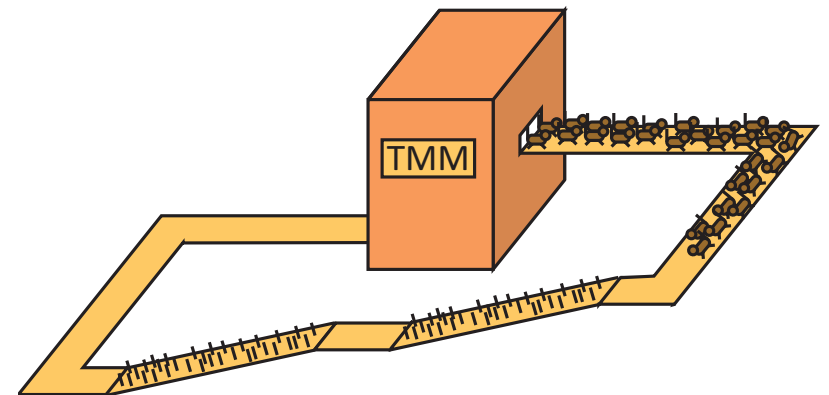
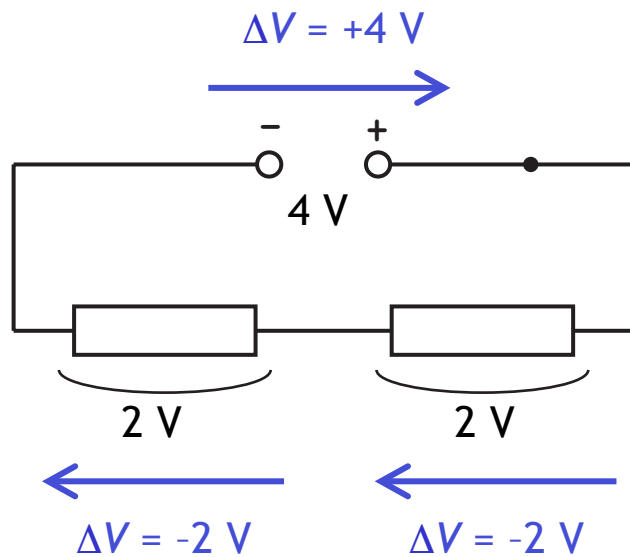
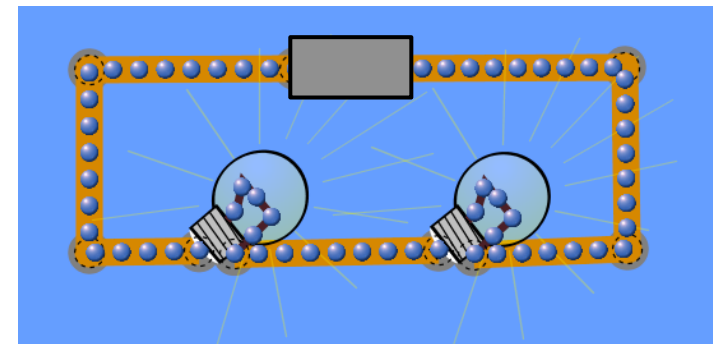
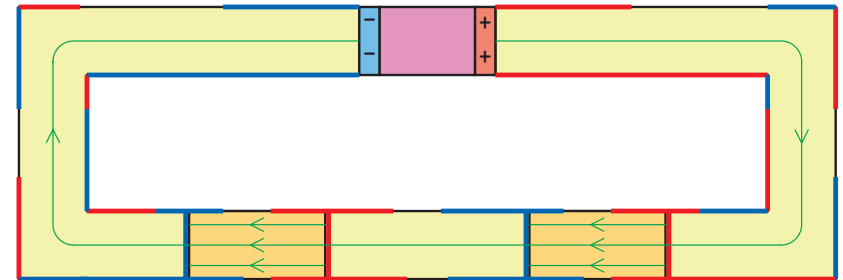
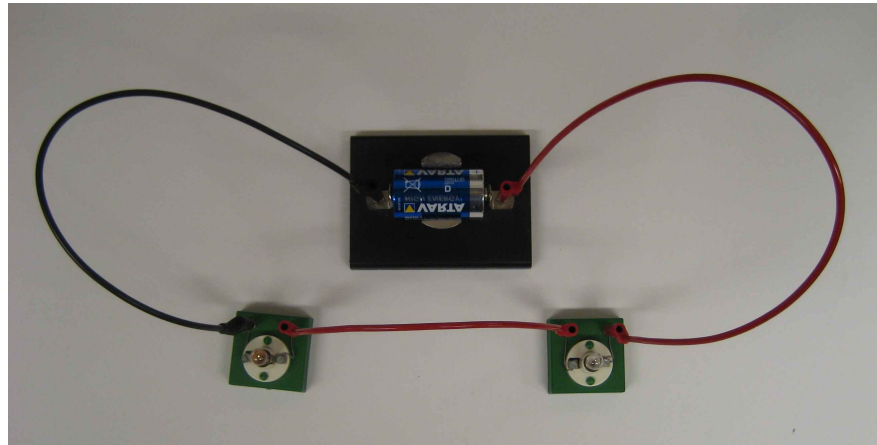
$$-3 \text{ V} - 1 \text{ V} + 4 \text{ V} = 0 \quad \text{Stämmer!}$$

Potentialen minskar när vi går i strömriktningen genom ett motstånd (minskningen = spänningen över motståndet).

Q	F	E	W_e	U	V_p	Från parallella plattor till elektrisk krets	I	R
C	N	N/C	J	V	V		A	Ω
		V/m		J/C			C/s	

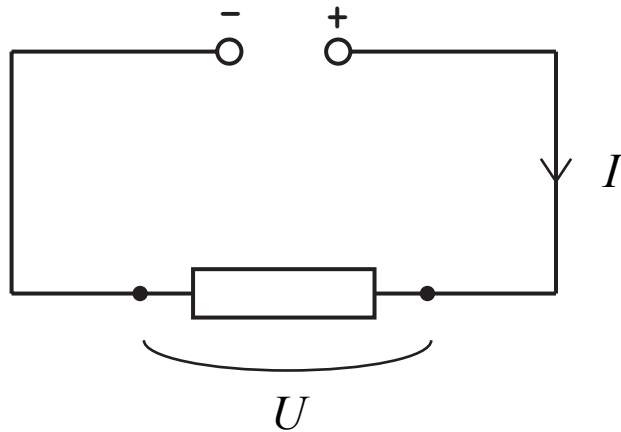
Allmänt om fysik

Komplicerade fenomen kan förstås på olika nivåer



Q	F	E	W_e	U	V_p	Från parallella plattor till elektrisk krets	I	R	P
C	N	N/C	J	V	V		A	Ω	W
			V/m		J/C		C/s		J/s

Elektrisk effekt



Ex: Antag $I = 0,5 \text{ A}$ och $U = 6 \text{ V}$. På tiden $t = 60 \text{ s}$ passerar då laddningsmängden

$$Q = It = 0,5 \cdot 60 \text{ C} = 30 \text{ C}$$

genom motståndet. Energiomsättningen i motståndet är

$$\Delta W = UQ = 6 \cdot 30 \text{ J} = 180 \text{ J}$$

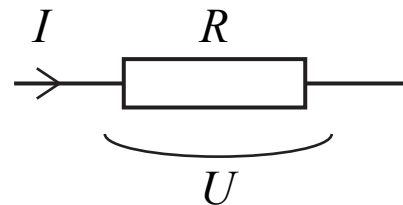
Utvecklad effekt:

$$P = \frac{\Delta W}{t} = \frac{180 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 3 \text{ W} \quad \left(= \frac{UQ}{t} = \frac{U \cdot It}{t} = UI \right)$$

I motståndet: Elektrisk lägesenergi \rightarrow inre energi, strålningsenergi

Utvecklad effekt (i motstånd eller annan komponent):

$P = UI$ ← strömmen genom komponenten
 ↑ spänningen över komponenten



$$P = UI = \left\{ U = RI \right\} = RI^2$$

$$P = UI = \left\{ I = \frac{U}{R} \right\} = \frac{U^2}{R}$$

Källor

Ej färdigt!

- [1] PSSC Coulomb's law (<https://www.youtube.com/watch?v=o1kKGeLE1xl>)
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Static_electricity
- [2b] <https://i2.wp.com/www.heyuguys.com/images/2017/10/paddington-2.jpg?w=1392&ssl=1>
- [2c] <https://www.tumblr.com/search/paddington%20gifs>
https://66.media.tumblr.com/c647cc11ee83ac6bbc5a83b7b2a663df/tumblr_p07vo6Skpr1vmu4bvo3_400.gif
- [3] *Blixt och åska Så fungerar naturens fyrverkeri* av V. Cooray (Hallgren & Fallgren, 2003)
- [3a] [https://en.wikipedia.org/wiki/Ground_\(electricity\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ground_(electricity))
- [3b] Smileys tagna från <http://findicons.com/search/smiley#ajax>
- [3c] <https://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>
- [3d] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_honey_bee_extracts_nectar.jpg
- [4] https://de.wikibooks.org/wiki/Werkstoffkunde_Metall/_Innerer_Aufbau/_Struktur
<https://en.wikipedia.org/wiki/Iron>
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene> (alla tre bilderna)
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon> (alla fyra bilderna)
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Lightning>
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Lightning>
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/Lightning>
- [9b] https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_Coulomb
- [10] Bild tagen från *There's Treasure Everywhere* av B. Watterson (Warner Books, 1996)
(Se också <http://www.gocomics.com/calvinandhobbes/1985/11/22>)
- [11] <http://www.yr.no/kart/#lat=64.5&lon=22.5&zoom=3&laga=temp&baseid=PunktUtlandet%3A2711537&proj=3575>
- [12] http://vnatsci.ltu.edu/s_schneider/physlets/main/efield.shtml
- [12b] <https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Geek3/Gallery>
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Tempio_Voltiano
- [15] [https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_\(electricity\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_(electricity))