Ellära

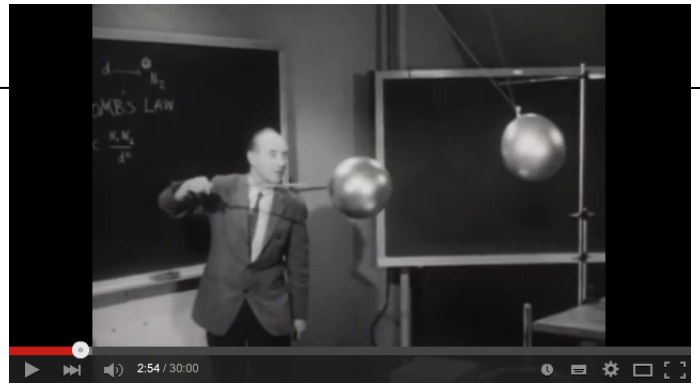
Uppdaterad: 191022

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

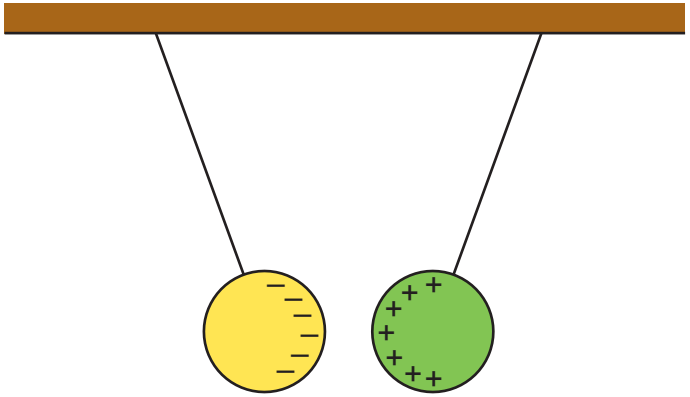
[7]

Elektrisk laddning



[1]

Ex: Laddade ballonger

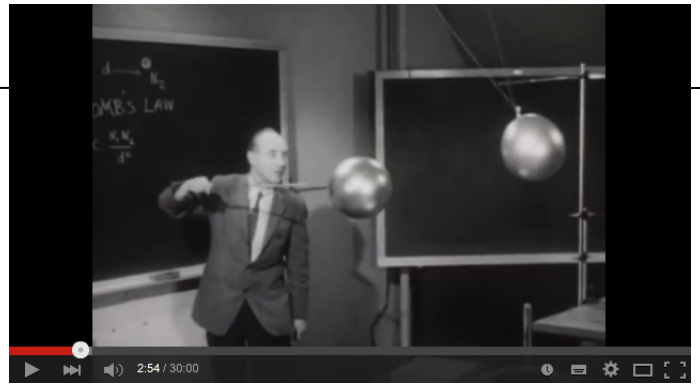


Överskott av elektroner
(negativt laddad)

Underskott av elektroner
(positivt laddad)

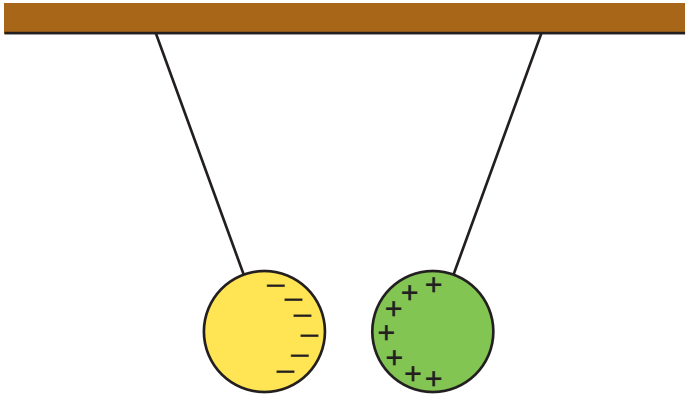
1)	-	+	attraktion
2)	+	+	repulsion
3)	-	-	repulsion

Elektrisk laddning



[1]

Ex: Laddade ballonger

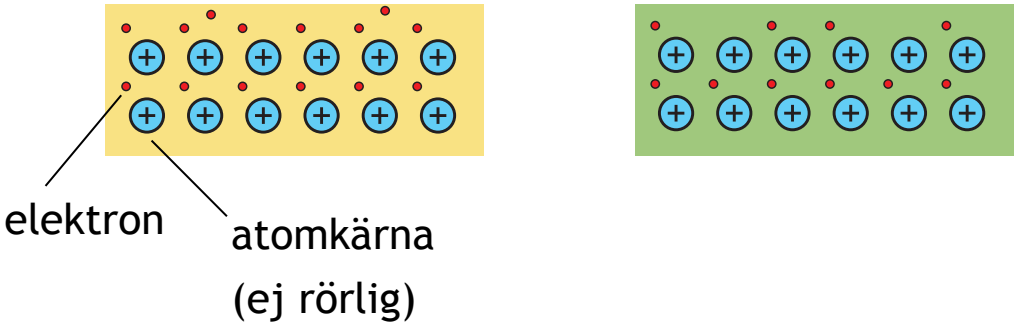


Överskott av elektroner
(negativt laddad)

Underskott av elektroner
(positivt laddad)

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

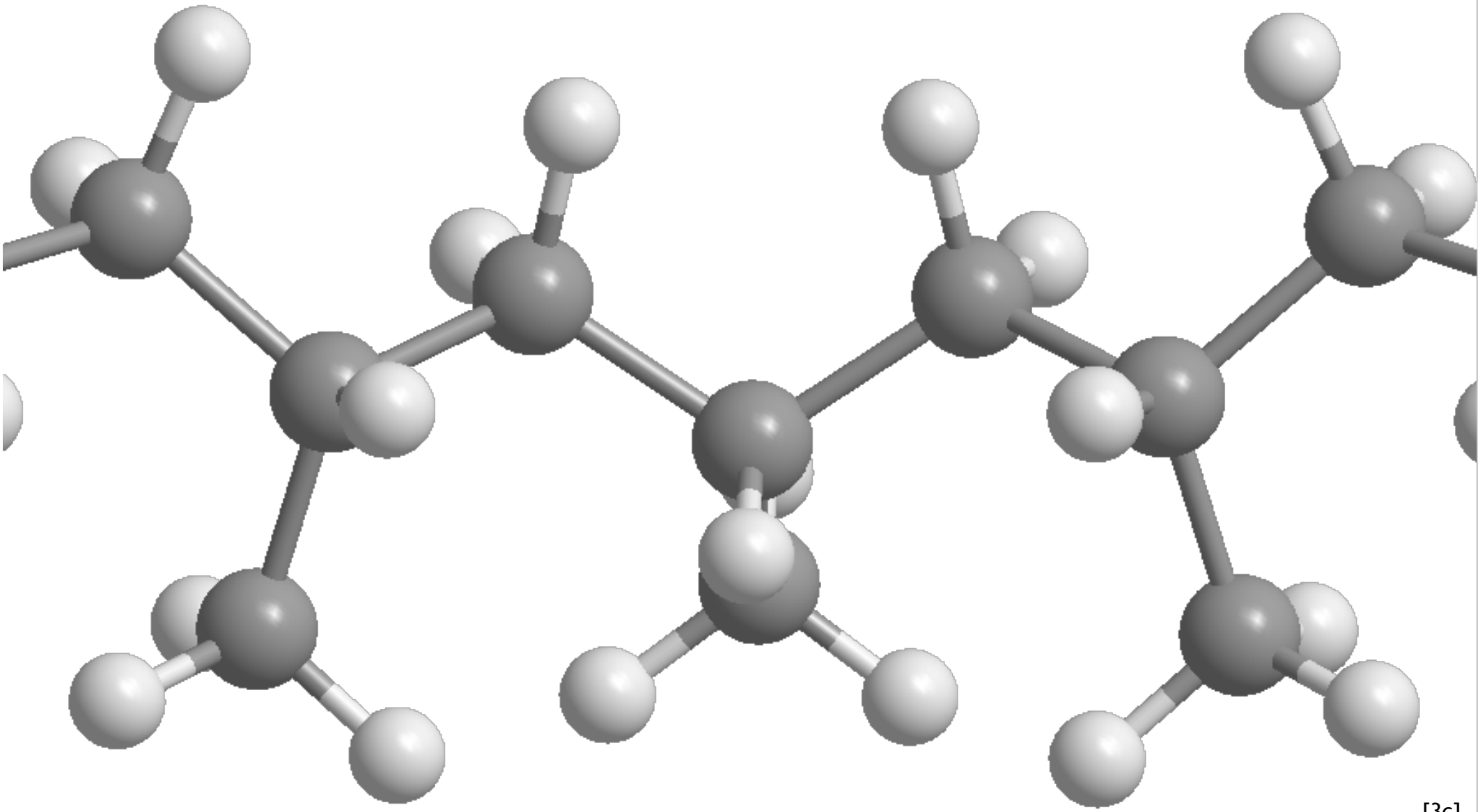
Schematiskt:



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

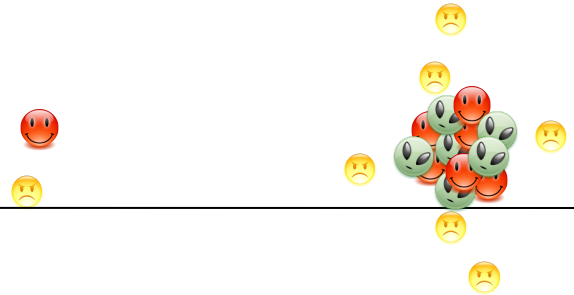
Elektrisk laddning

Lite mindre schematiskt (polypropen):

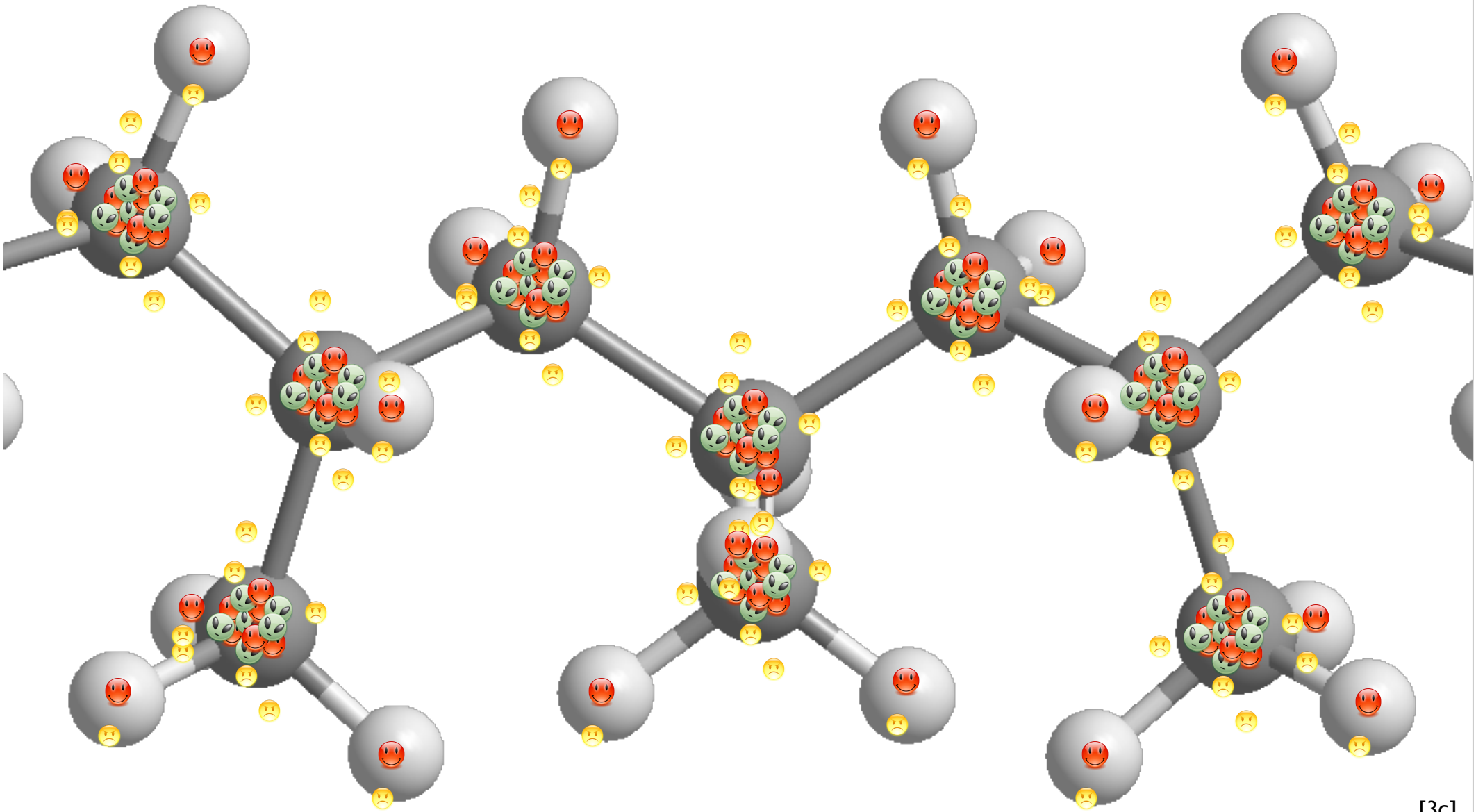


[3c]

Elektrisk laddning

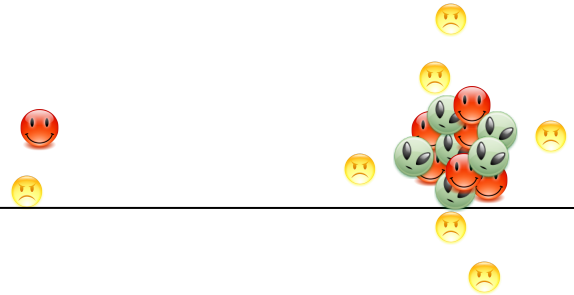


Lite mindre schematiskt (polypropen):

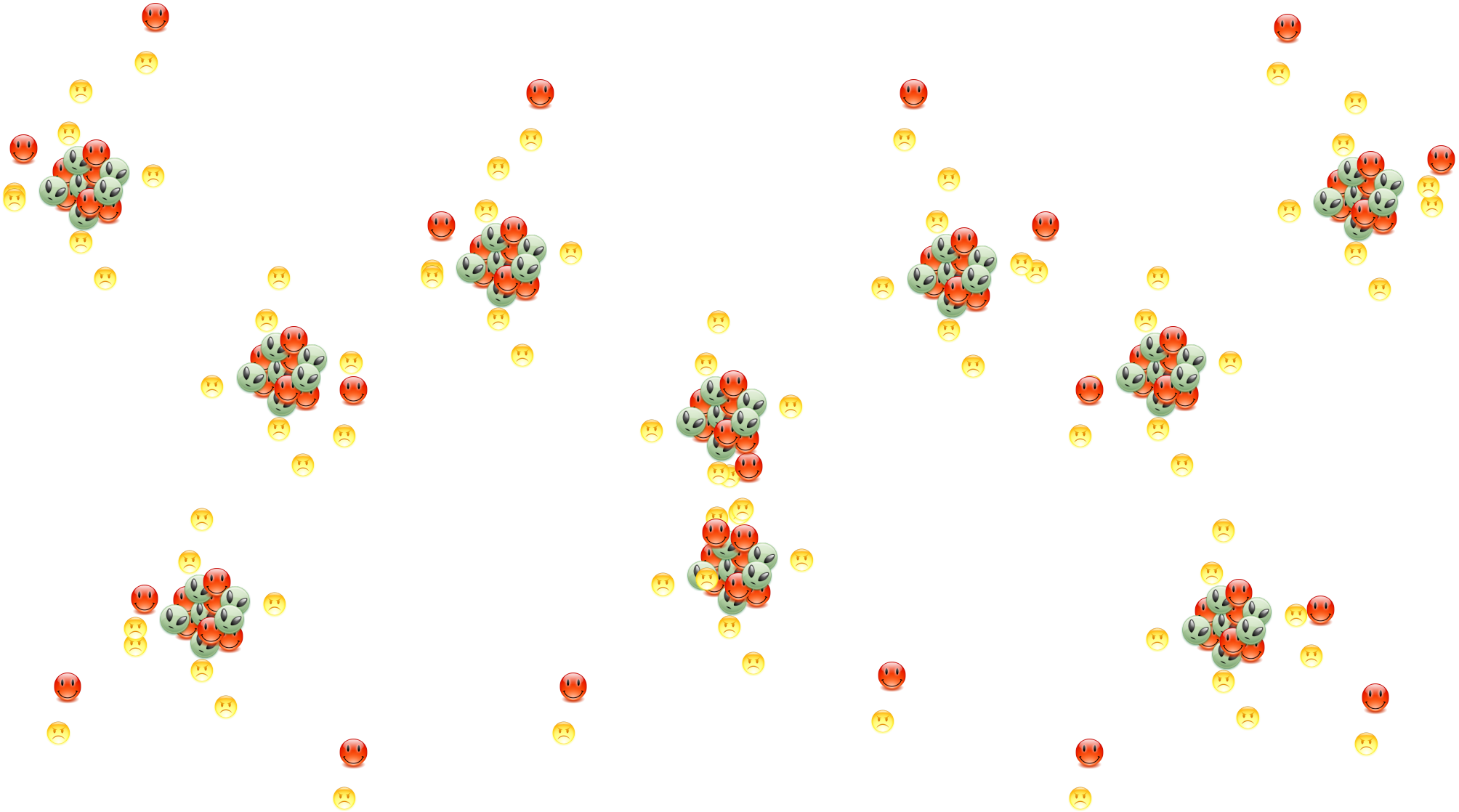


[3c]

Elektrisk laddning



Lite mindre schematiskt (polypropen):



Gnidningselektricitet

[2]

Gnidningselektricitet

[2b]

[2]

Gnidningselektricitet

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

[2]

Gnidningselektricitet

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

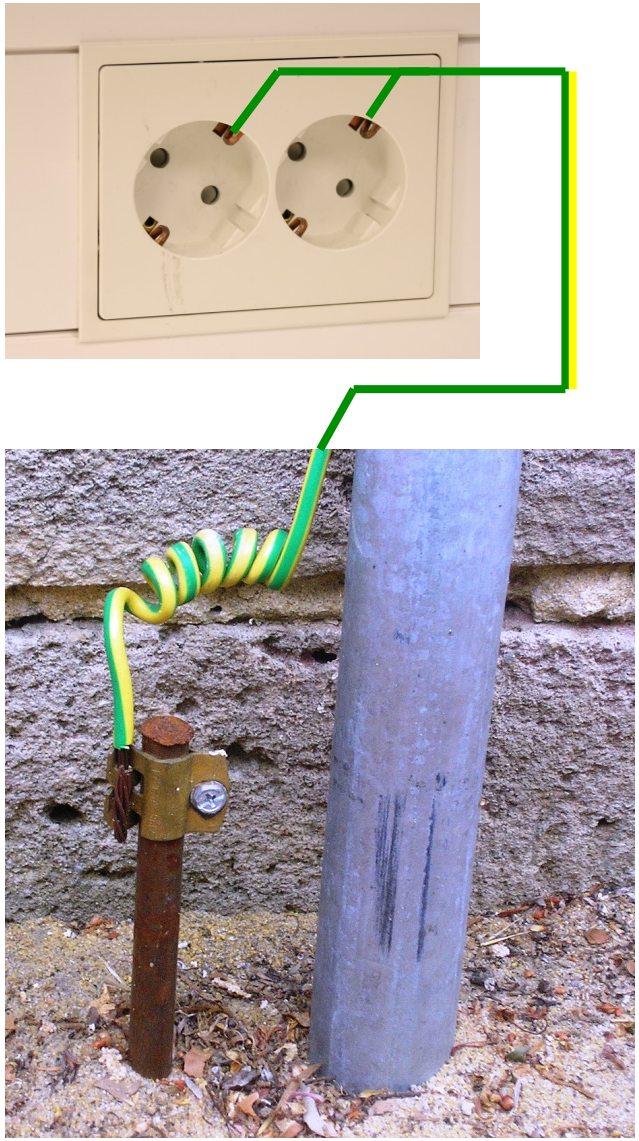
+
Glas
Människohår
Nylon
Ull
Silke
Papper
Bomull
Trä
Gummi
Rayon (kläder)
Polyetylen (förpackningar)
PVC
Teflon (stekpannor)
–

[3]

[2]

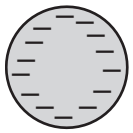
Jordning

Jordning: anslutning till jordytan

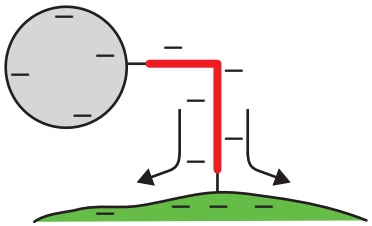


Föremål kan laddas ur genom jordning:

1)



2)

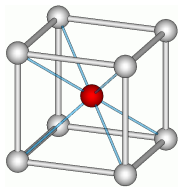


[3a]

Olika ämnen har olika elektriska egenskaper

Ledare: Ämnen i vilka laddningar kan förflyttas

Metaller är goda ledare (har fria ledningselektroner)



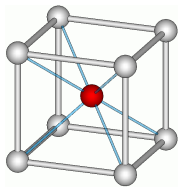
[4]

Olika ämnen har olika elektriska egenskaper

Ledare: Ämnen i vilka laddningar kan förflyttas

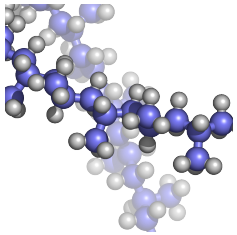
Metaller är goda ledare (har fria ledningselektroner)

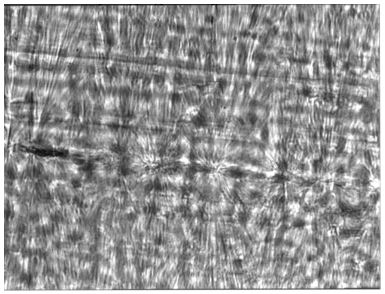
[4]



Isolatorer: Ämnen i vilka laddningar *inte* kan förflyttas

Plaster är i allmänhet isolatorer



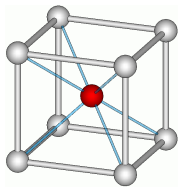


[5]

Olika ämnen har olika elektriska egenskaper

Ledare: Ämnen i vilka laddningar kan förflyttas

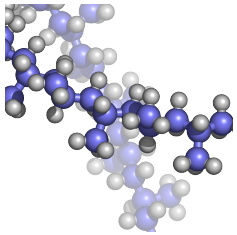
Metaller är goda ledare (har fria ledningselektroner)

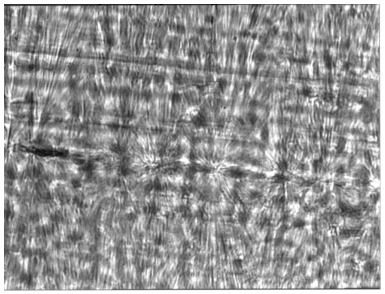


[4]

Isolatorer: Ämnen i vilka laddningar *inte* kan förflyttas

Plaster är i allmänhet isolatorer



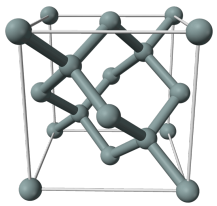


[5]

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

Dopning förändrar ledningsförmågan.

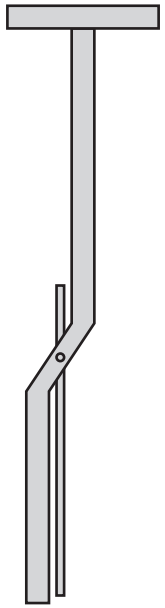
Utbyte av några Si-atomer mot t.ex. B- eller P-atomer.

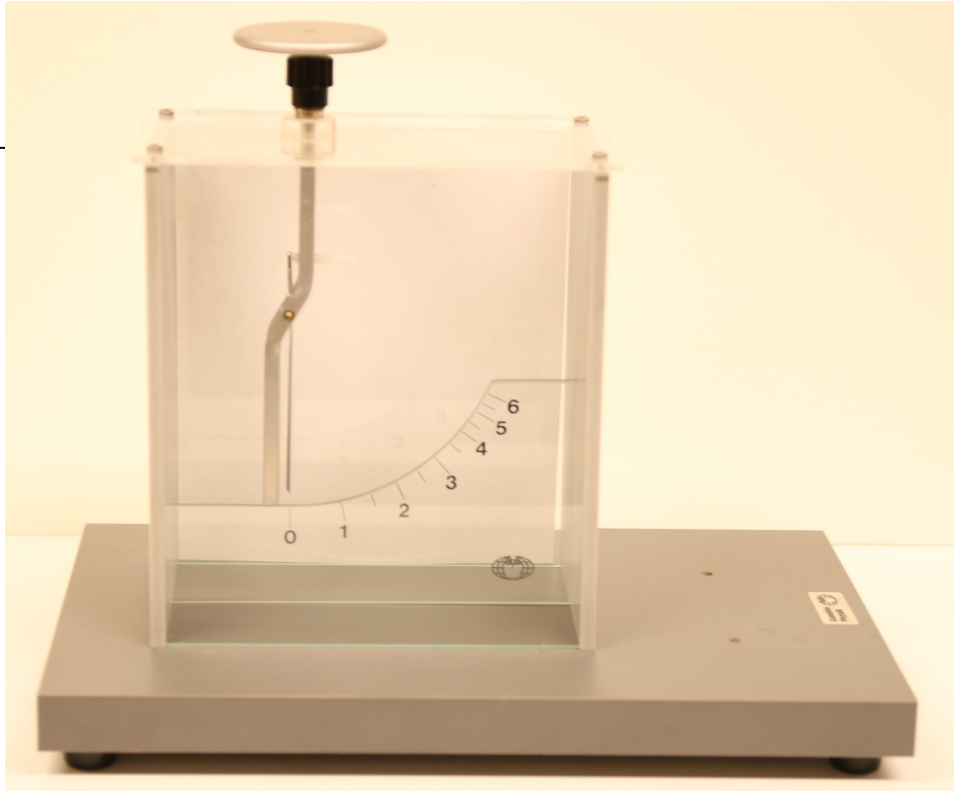


[6]

Laddningsmätning

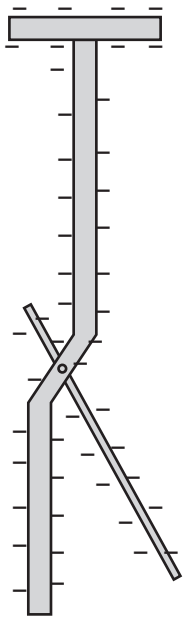
Elektroskop

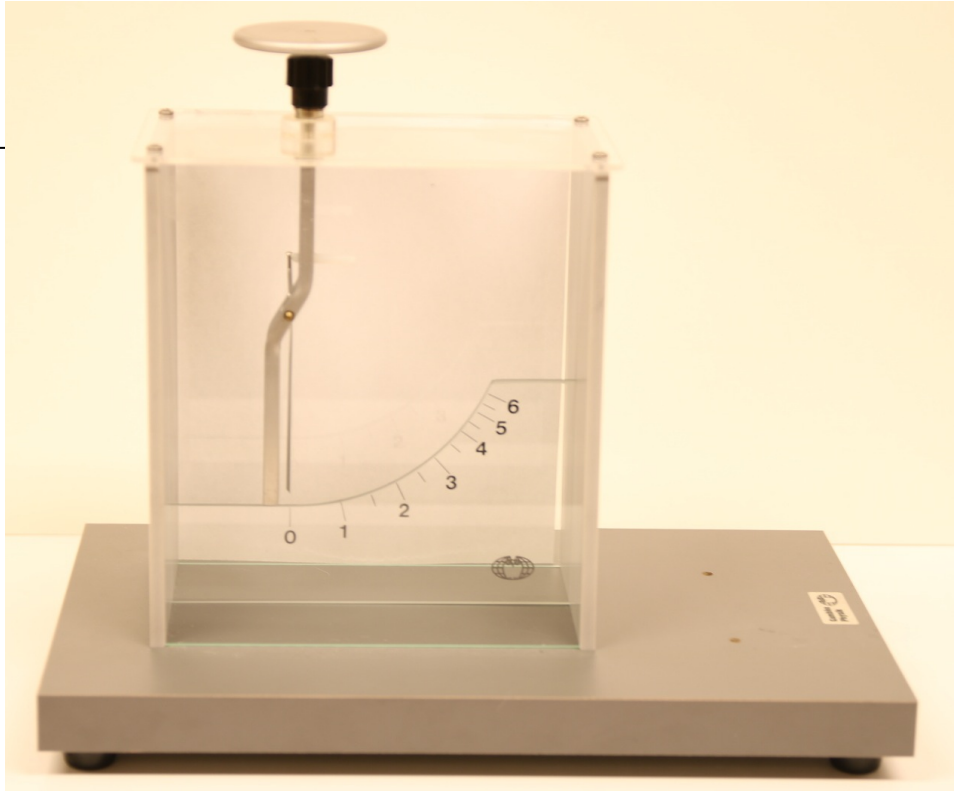




Laddningsmätning

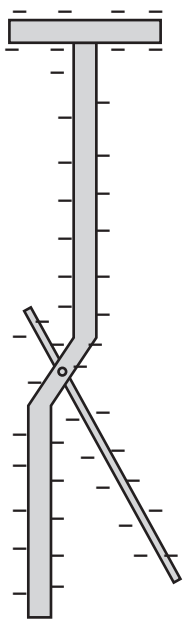
Elektroskop

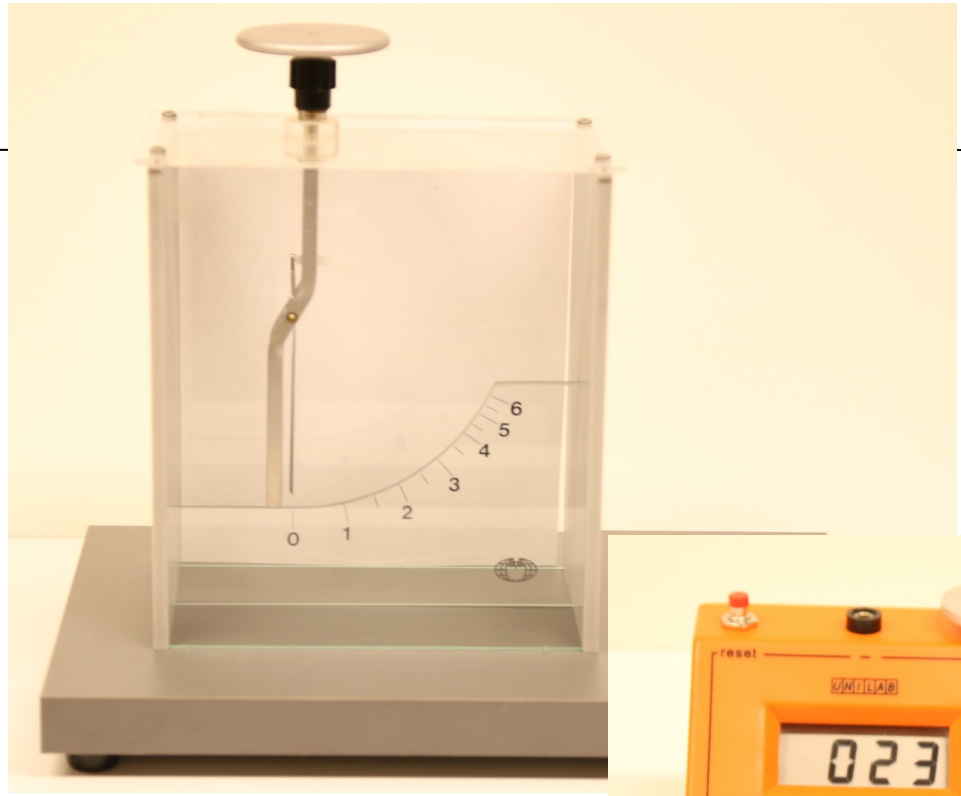




Laddningsmätning

Elektroskop





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

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

elementarladdningen (laddningen hos en proton)

Huvudurladdningen i en blixt: 5 C

[7]

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

[7]

[9]

Q	F
C	N

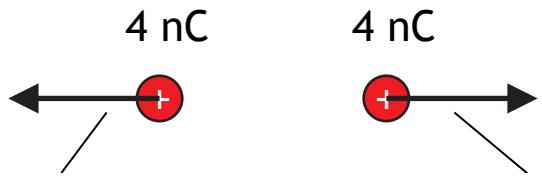
Elektriska krafter

Elektriskt laddade partiklar/föremål
påverkas av elektriska krafter

Q	F
C	N

Elektriska krafter

Elektriskt laddade partiklar/föremål
påverkas av elektriska krafter



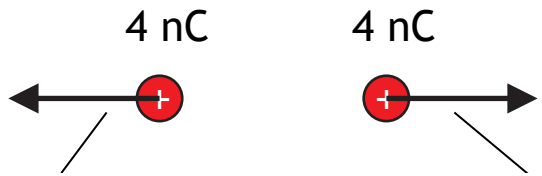
Elektrisk kraft på vänstra kulan
från högra kulan

... på högra kulan
från vänstra kulan

Q	F
C	N

Elektriska krafter

Elektriskt laddade partiklar/föremål
påverkas av elektriska krafter



Elektrisk kraft på vänstra kulan
från högra kulan

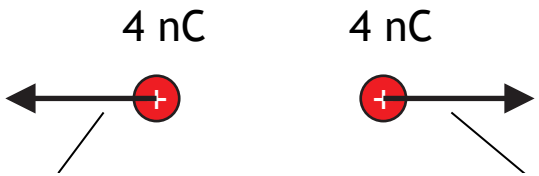
... på högra kulan
från vänstra kulan

Krafterna är lika stora, motsatt riktade!

Q	F
C	N

Elektriska krafter

Elektriskt laddade partiklar/föremål
påverkas av elektriska krafter



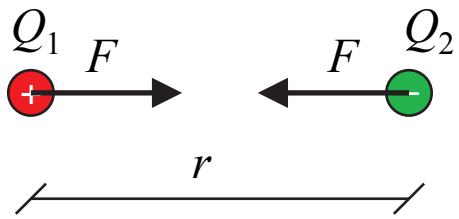
Elektrisk kraft på vänstra kulan från högra kulan

... på högra kulan från vänstra kulan

Krafterna är lika stora, motsatt riktade!

(mellan två punktformiga laddade föremål)

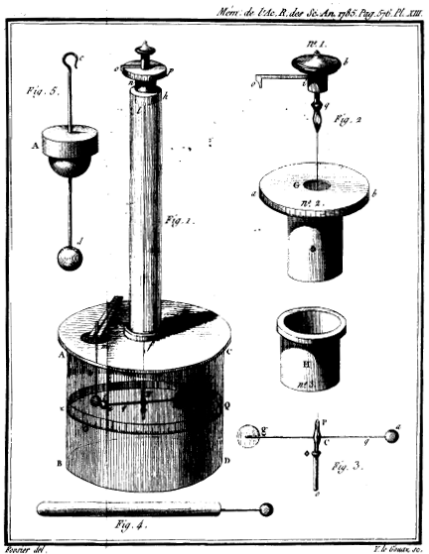
Elektriska kraftens storlek:



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

(Coulombs lag)

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



[9b]

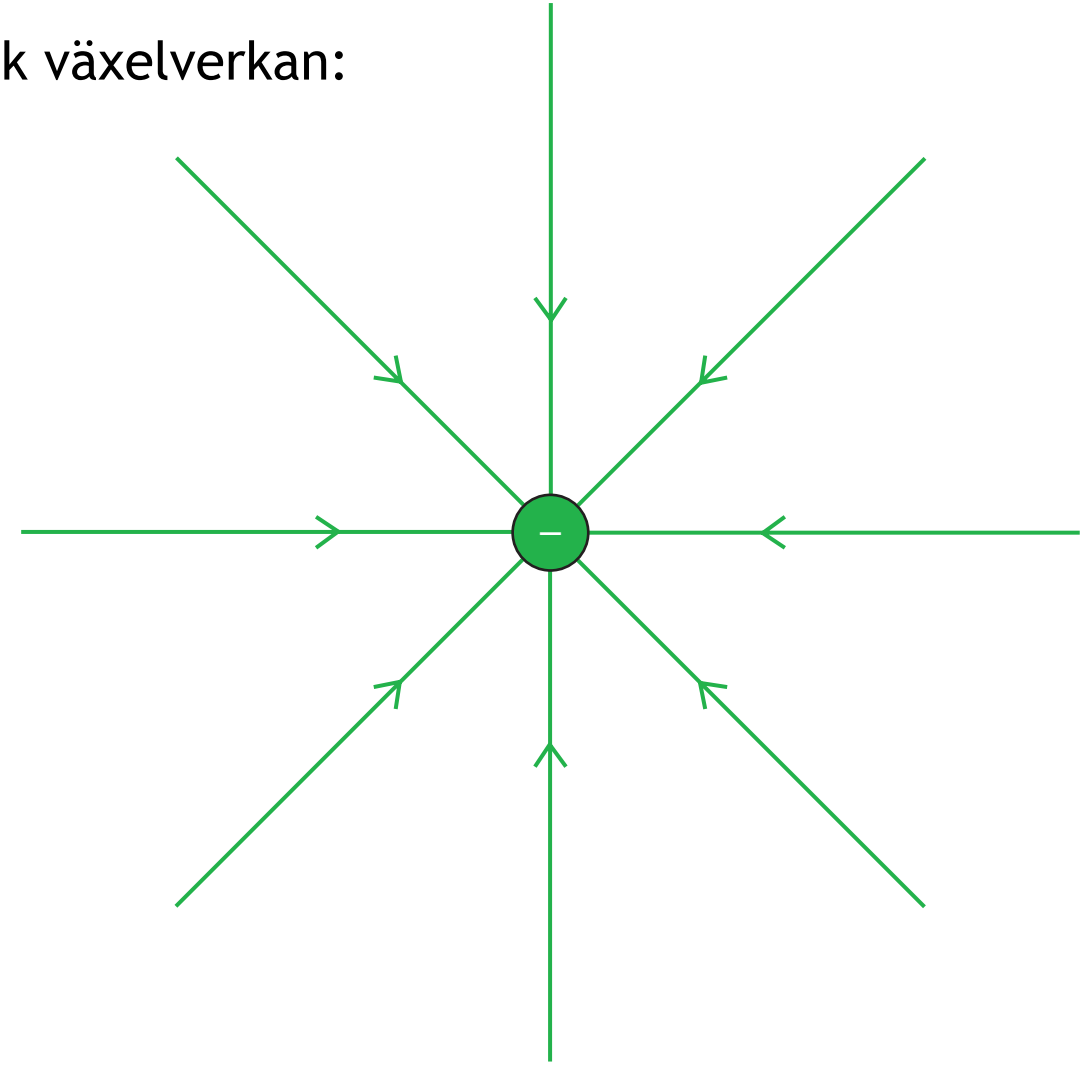
Elektriska fält

Ett sätt att ~~förstå~~ beskriva elektrisk växelverkan:

Elektriska fält

Ett sätt att ~~förstå~~ beskriva elektrisk växelverkan:

1) Ett föremål med laddning ger upphov till och omges av ett elektriskt fält.

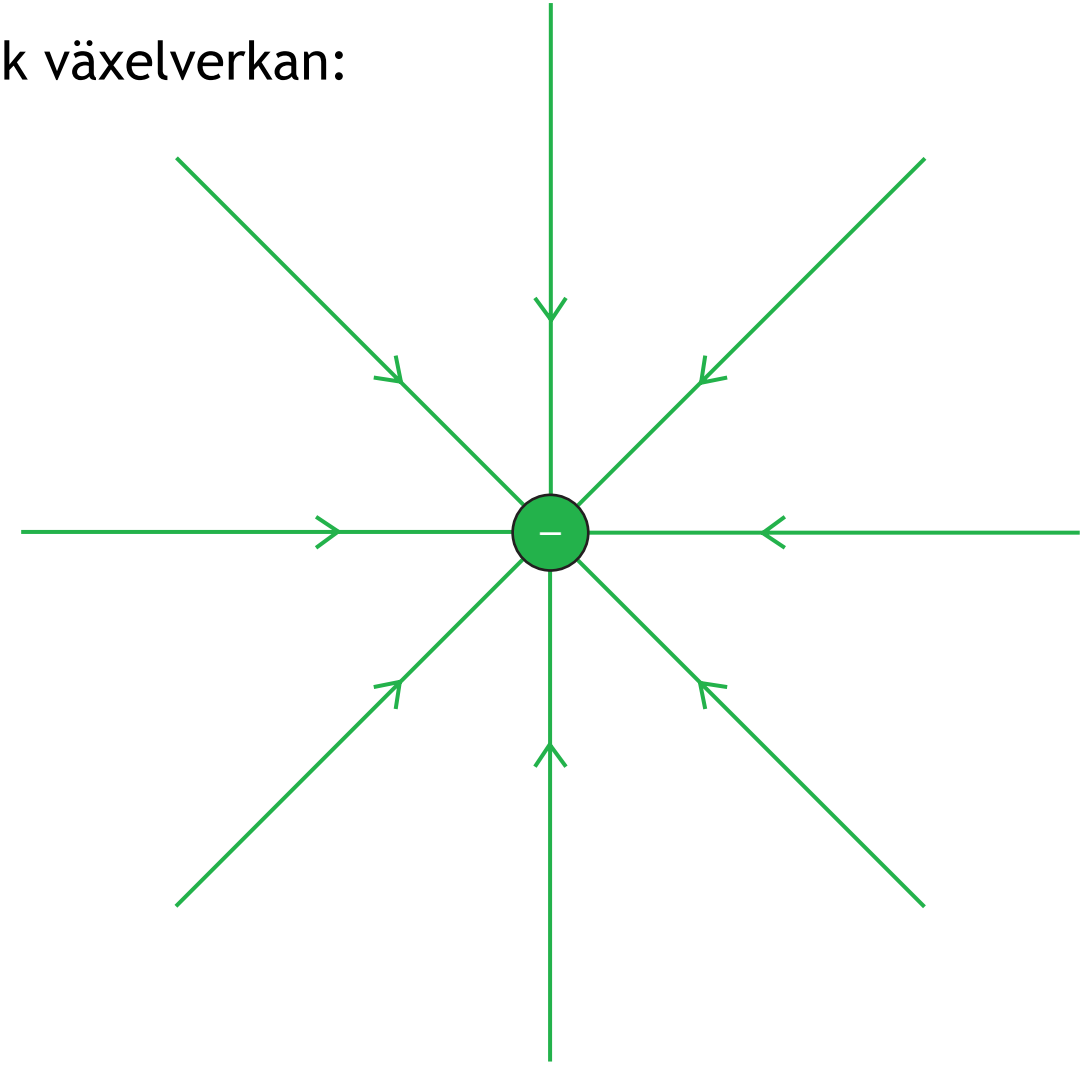


• Elektriska fält kan åskådliggöras genom att rita fältlinjer.

Elektriska fält

Ett sätt att ~~förstå~~ beskriva elektrisk växelverkan:

1) Ett föremål med laddning ger upphov till och omges av ett elektriskt fält.



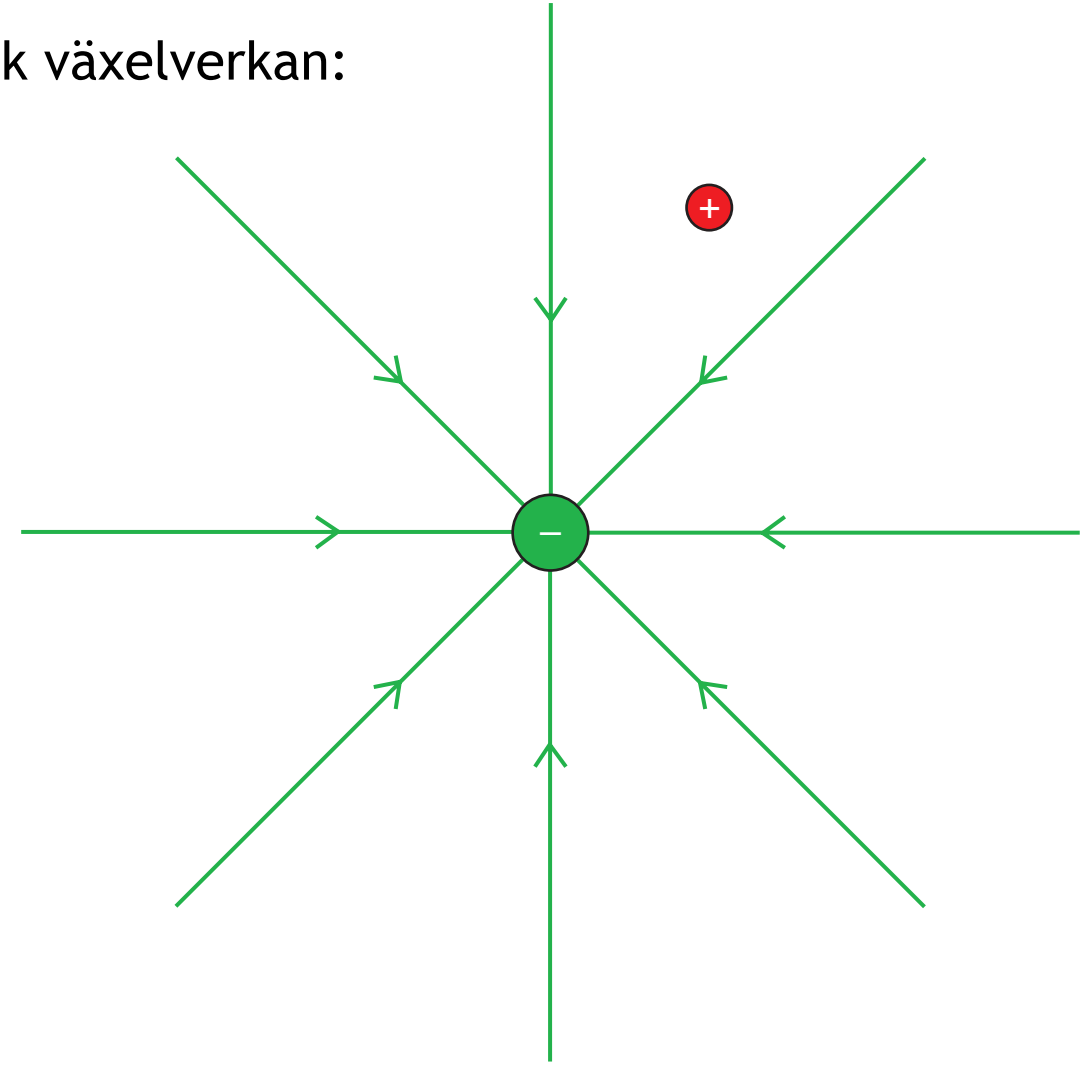
• Elektriska fält kan åskådliggöras genom att rita fältlinjer.

Elektriska fält

Ett sätt att ~~förstå~~ beskriva elektrisk växelverkan:

1) Ett föremål med laddning ger upphov till och omges av ett elektriskt fält.

2) Ett annat föremål med laddning i fältet



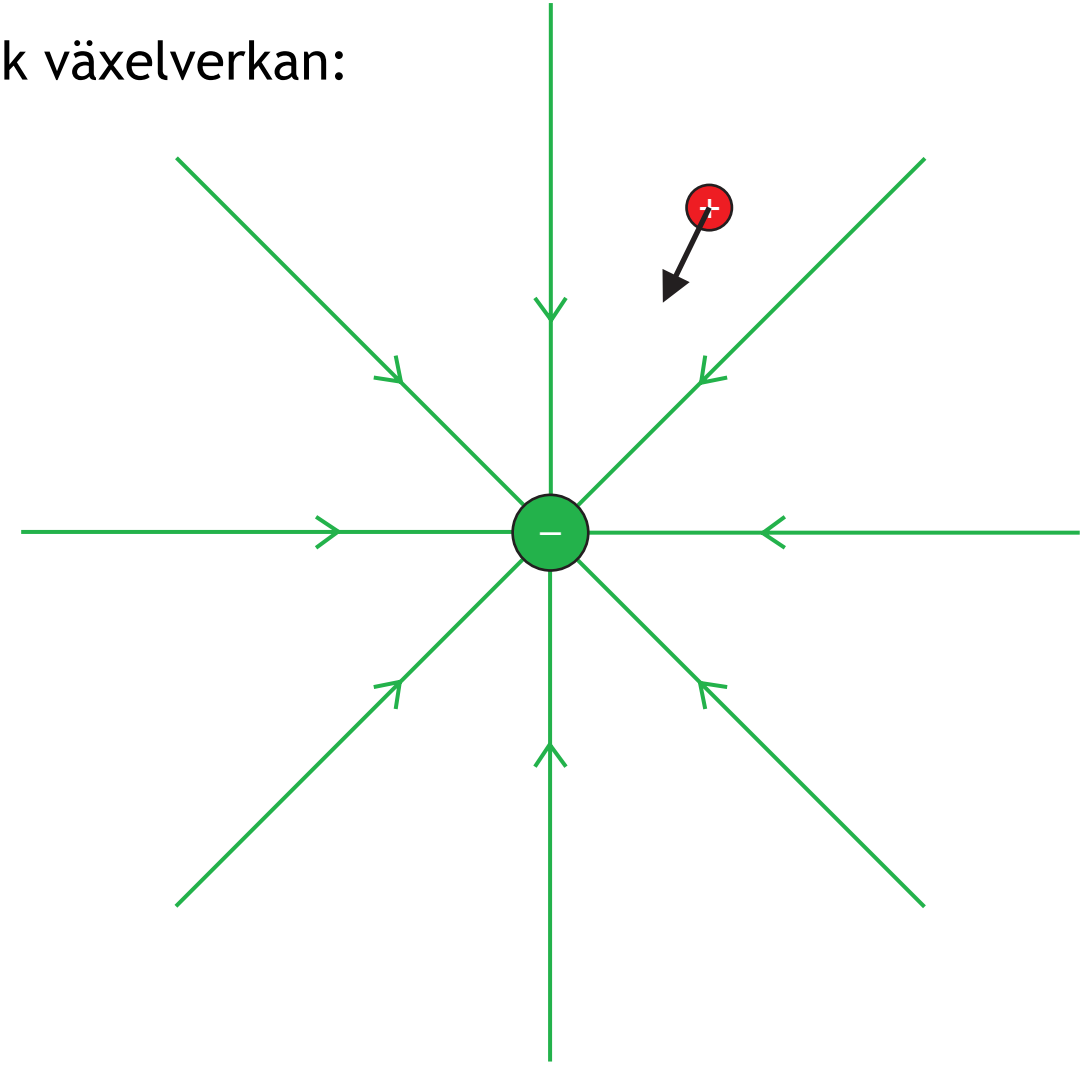
• Elektriska fält kan åskådliggöras genom att rita fältlinjer.

Elektriska fält

Ett sätt att ~~förstå~~ beskriva elektrisk växelverkan:

1) Ett 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.



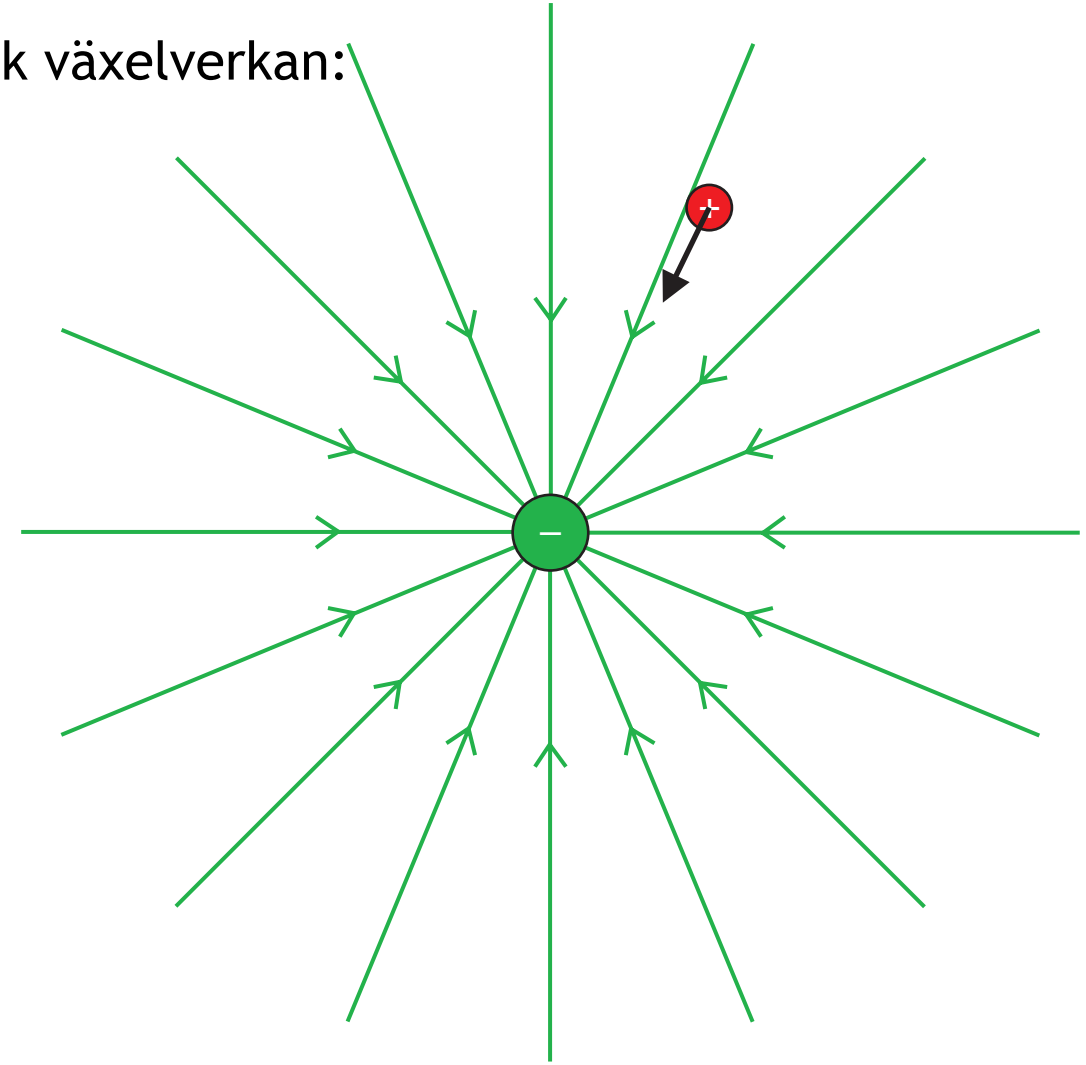
- Elektriska fält kan åskådliggöras genom att rita fältlinjer.
- Elektriska fältlinjer anger riktningen för elektriska kraften på en *positiv* laddning.

Elektriska fält

Ett sätt att ~~förstå~~ beskriva elektrisk växelverkan:

1) Ett föremål med laddning ger upphov till och omges av ett elektriskt fält.

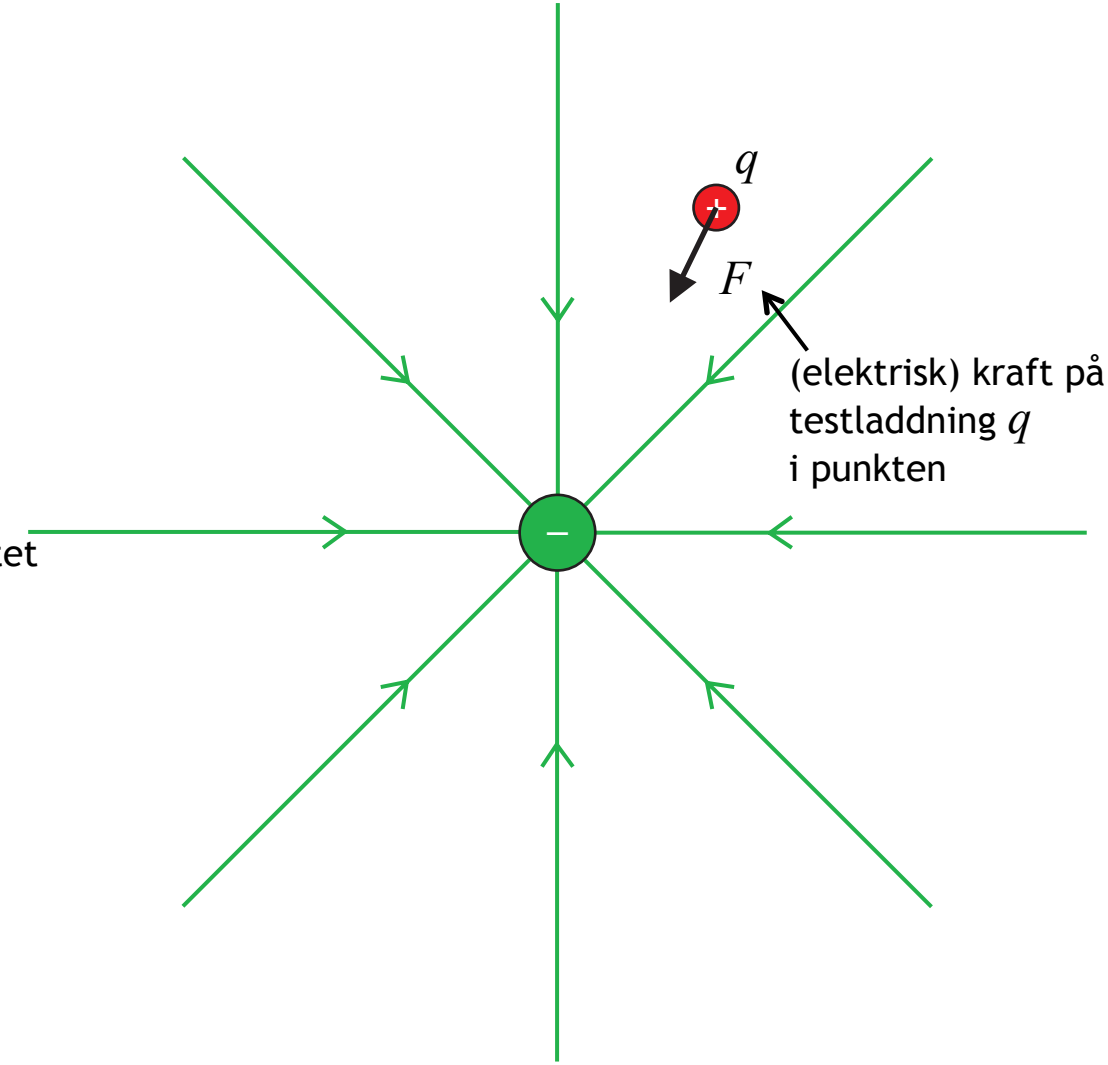
2) Ett annat föremål med laddning i fältet påverkas av en elektrisk kraft.



- Elektriska fält kan åskådliggöras genom att rita fältlinjer.
- Elektriska fältlinjer anger riktningen för elektriska kraften på en *positiv* laddning.

Q	F	E
C	N	N/C

Elektriska fält



storhet som beskriver fältet

Elektriska fältstyrkan i en punkt:

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

SI-enhet: 1 N/C

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

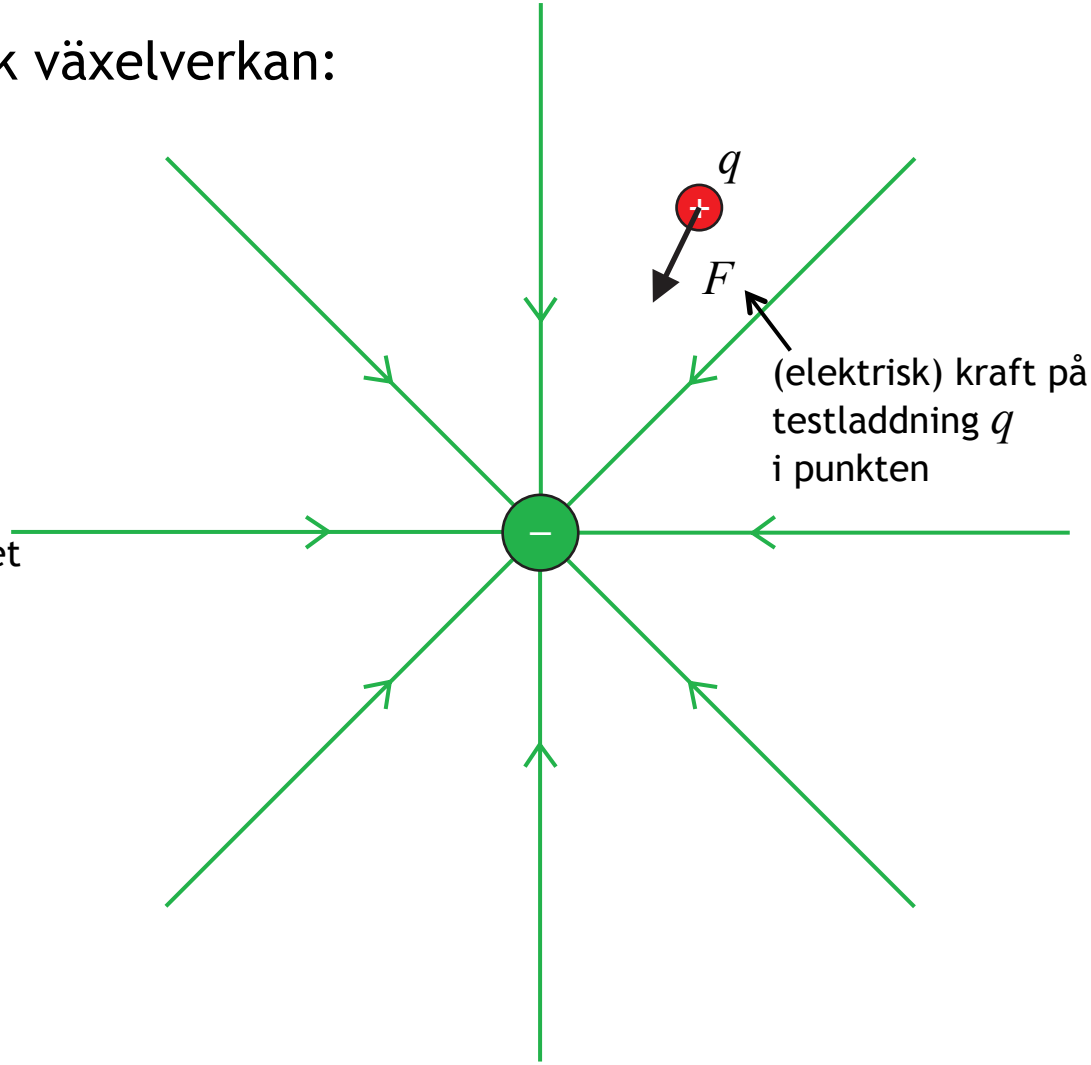
Q	F	E
C	N	N/C
		V/m

Elektriska fält

Ett sätt att ~~förstå~~ beskriva elektrisk växelverkan:

1) Ett 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:

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

SI-enhet: 1 N/C

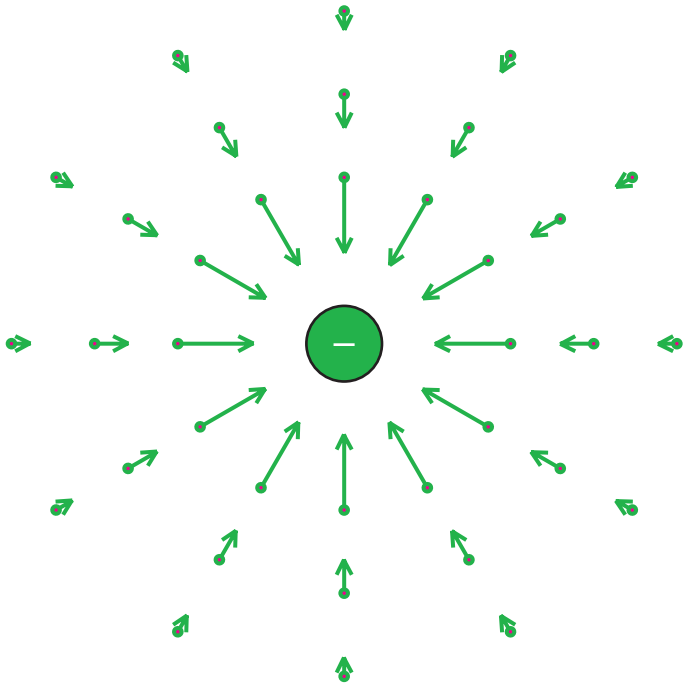
$$\left(\text{Egentligen: } \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}\right)$$

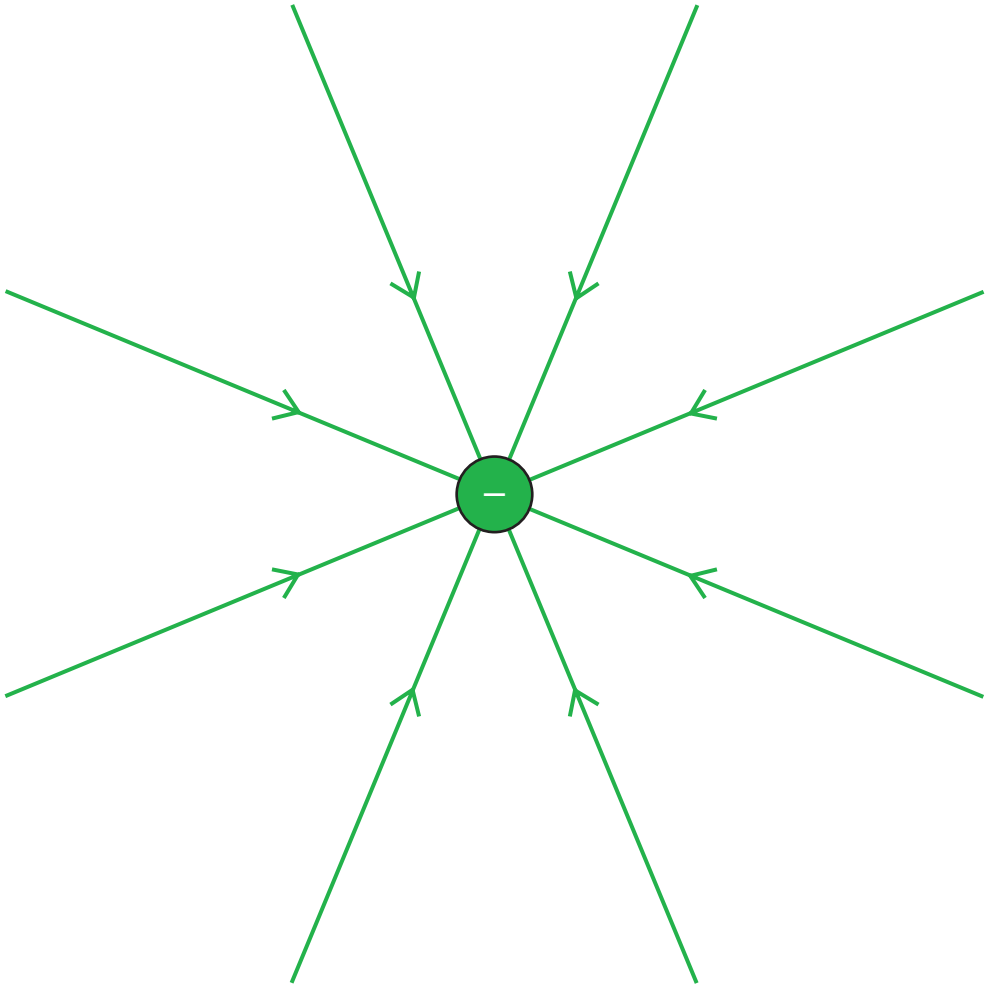
- Elektriska fält kan åskådliggöras genom att rita fältlinjer.
- Elektriska fältlinjer anger riktningen för elektriska kraften på en *positiv* laddning för elektriska fältstyrkan (E).

Q	F	E
C	N	N/C
		V/m

Elektriska fält

Två olika sätt att åskådliggöra elektriska fält:





Genom att rita elektriska fältstyrka-vektorer

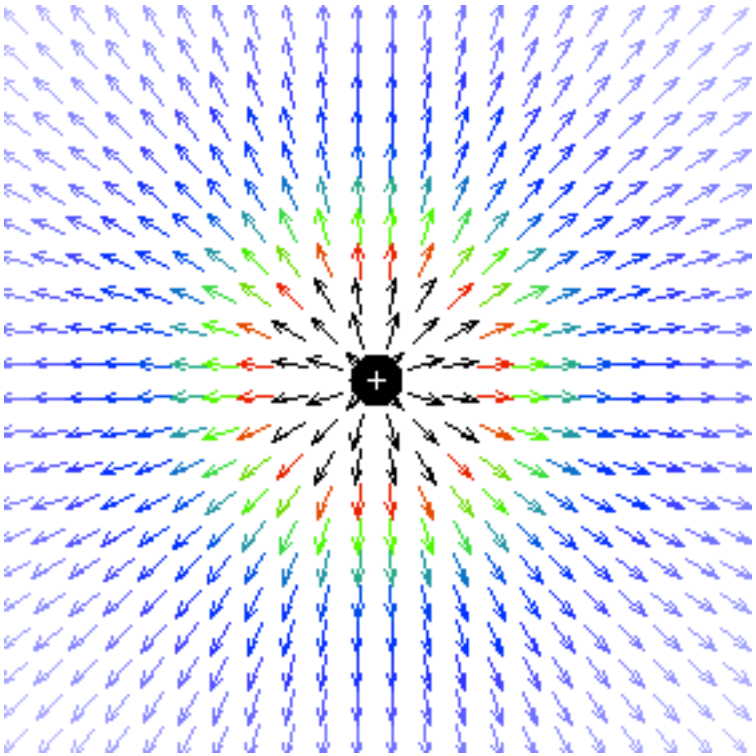
Genom att rita (elektriska) fält-linjer

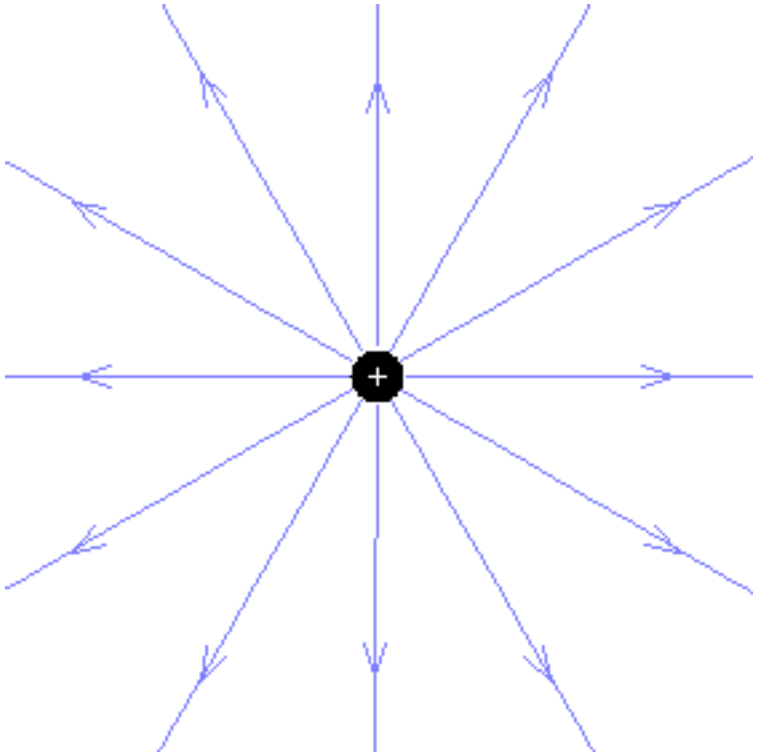
Q	F	E
C	N	N/C
		V/m

X

Elektriska fält

Två olika sätt att åskådliggöra elektriska fält:



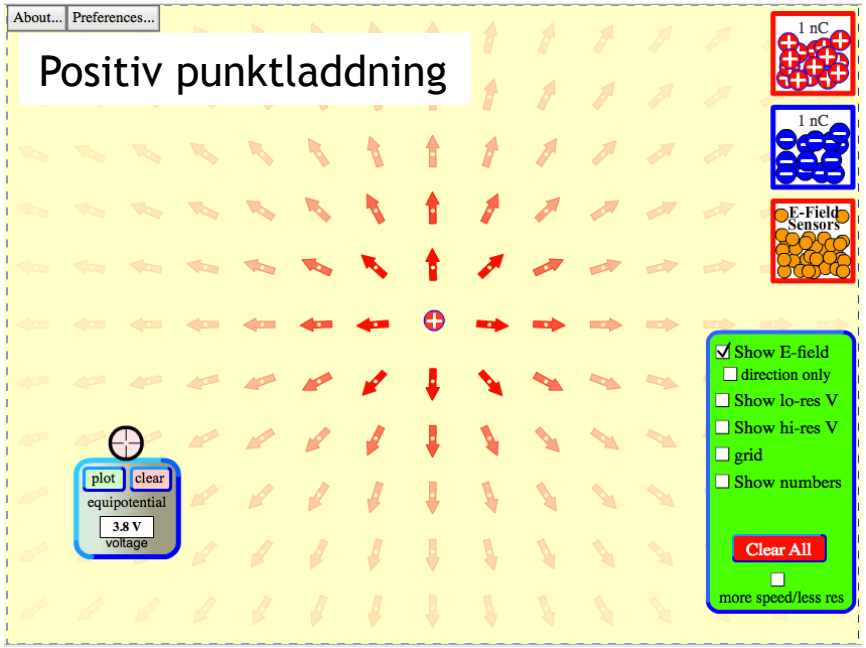


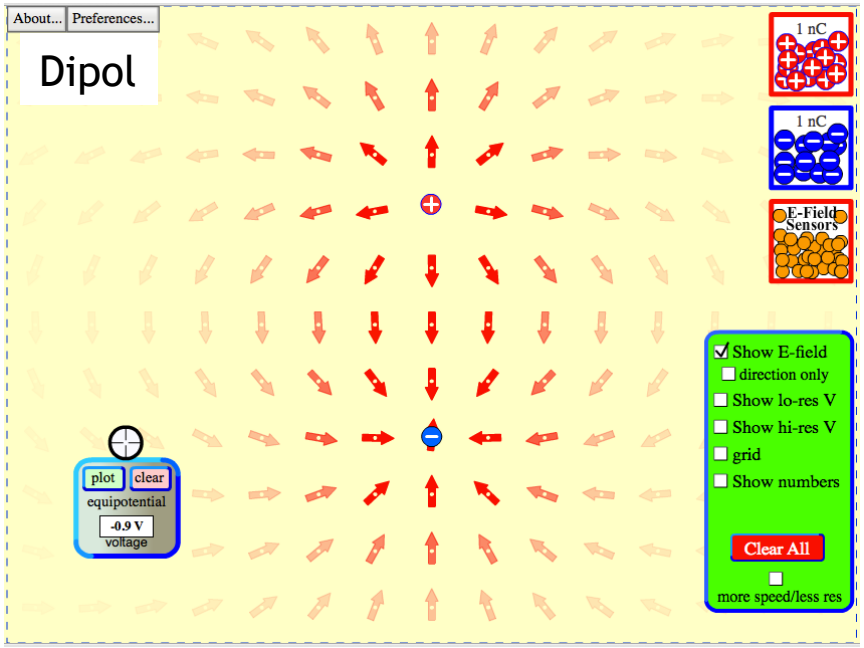
[12]

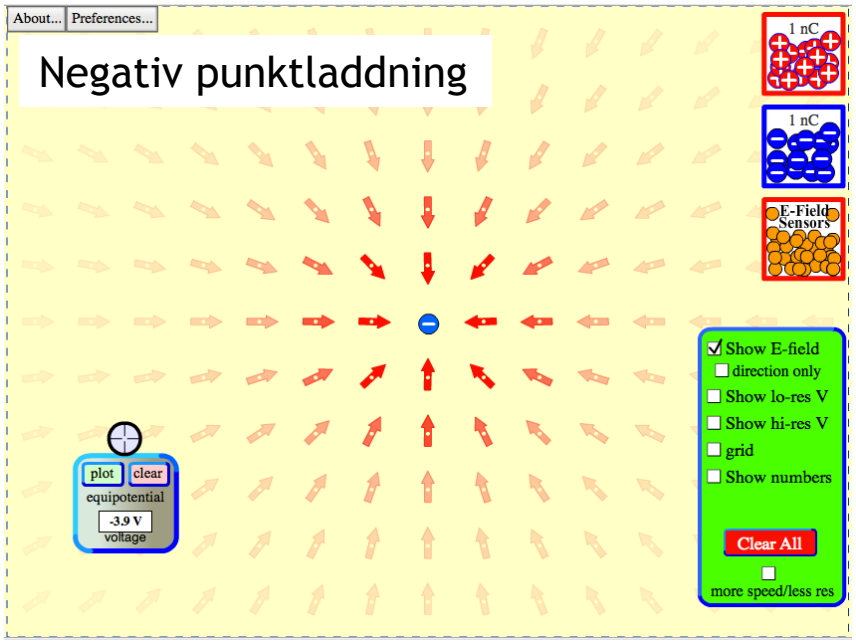
Genom att rita elektriska fältstyrka-vektorer

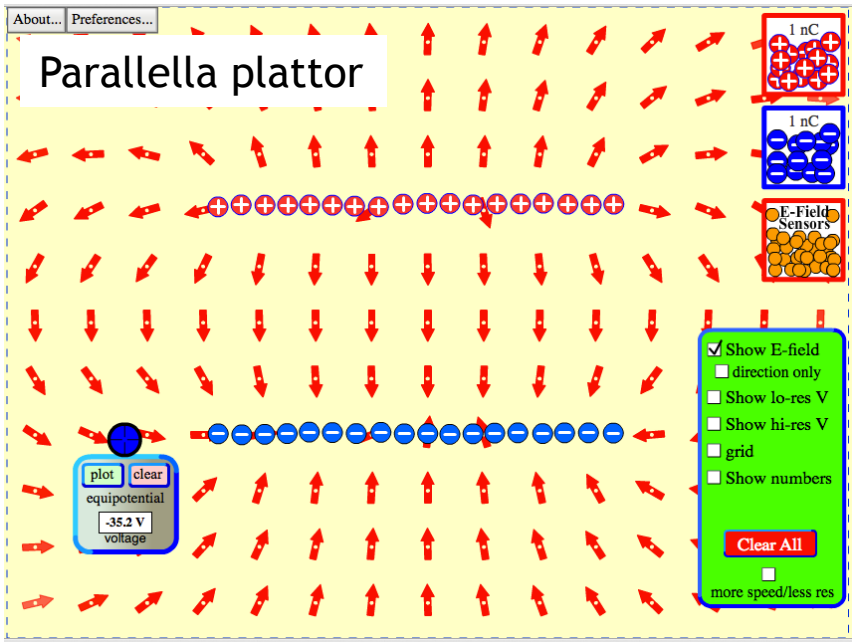
Genom att rita (elektriska) fält-linjer

Elektriska fält – några typfall



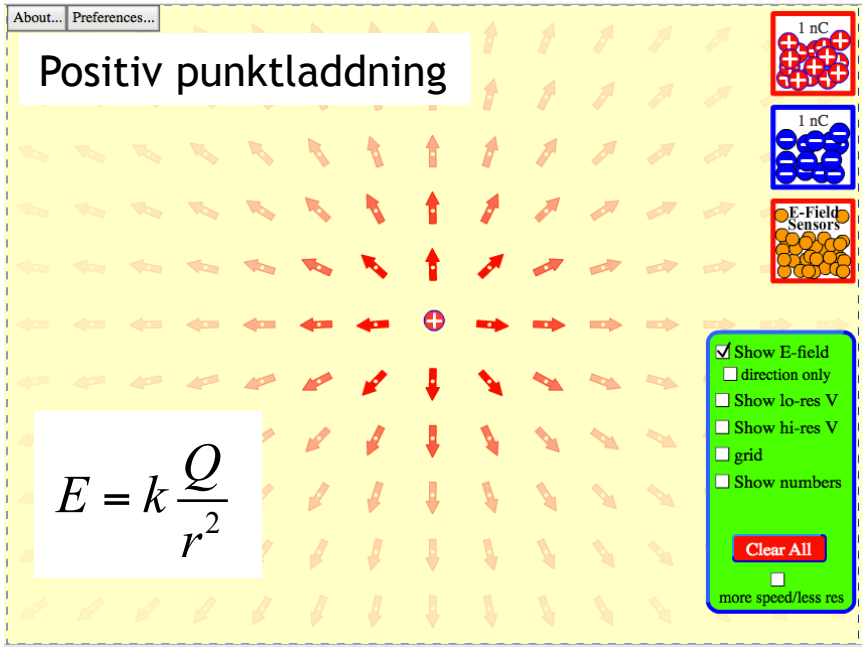




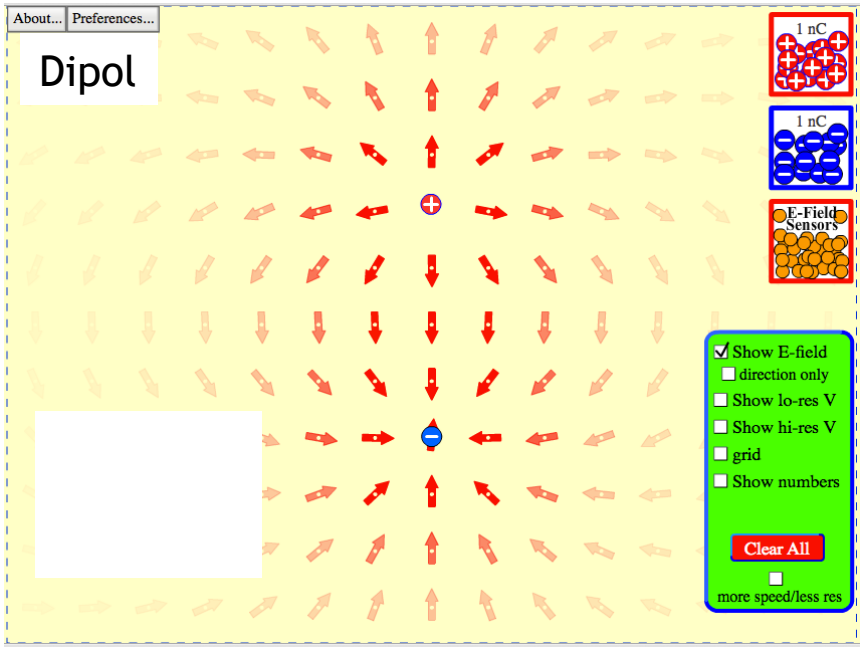


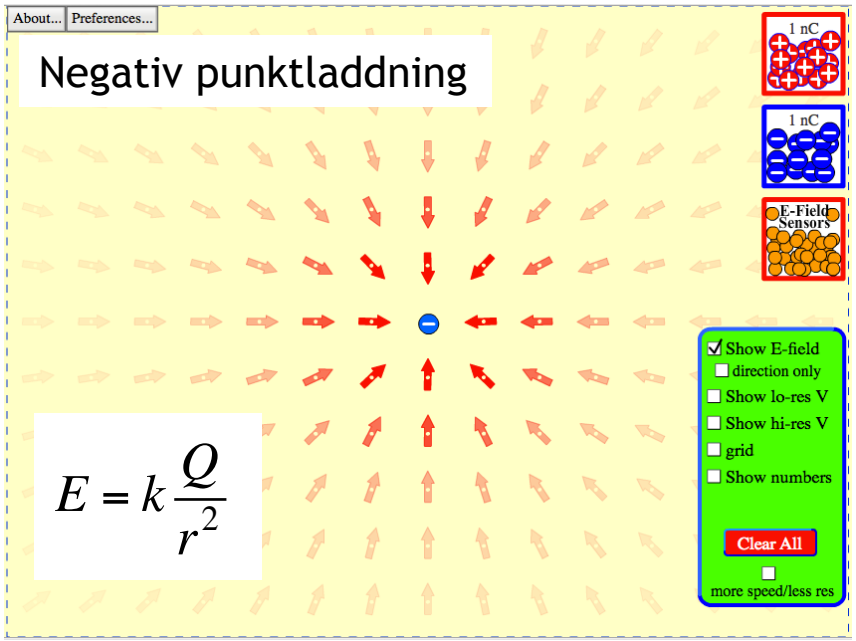
http://phet.colorado.edu/en/simulation/charges-and-fields

Elektriska fält – några typfall

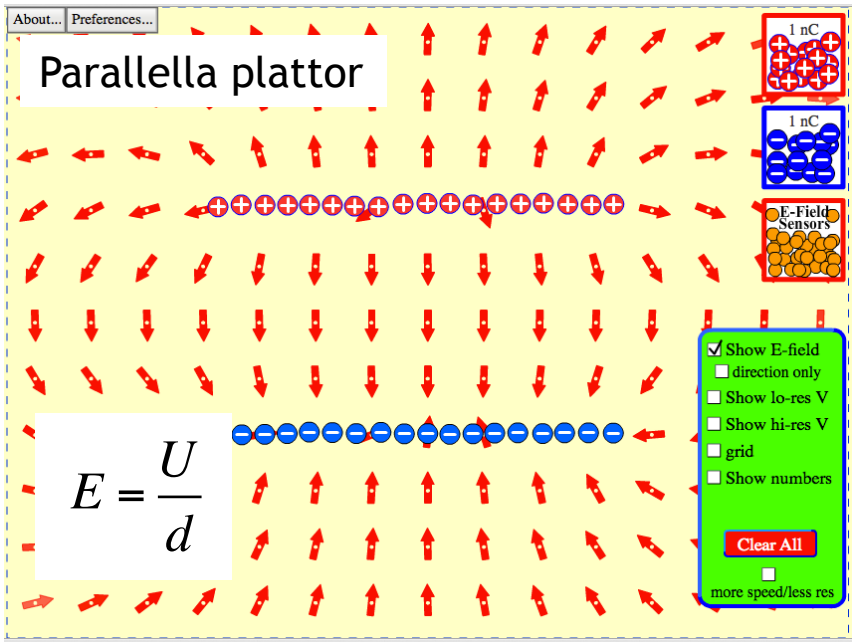


$$E = k\frac{Q}{r^2}$$





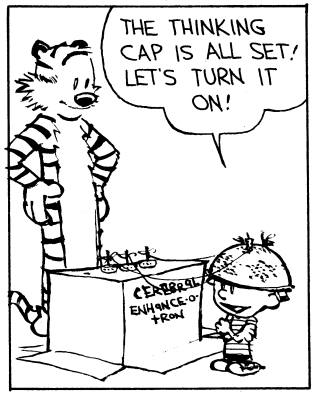
$$E = k\frac{Q}{r^2}$$



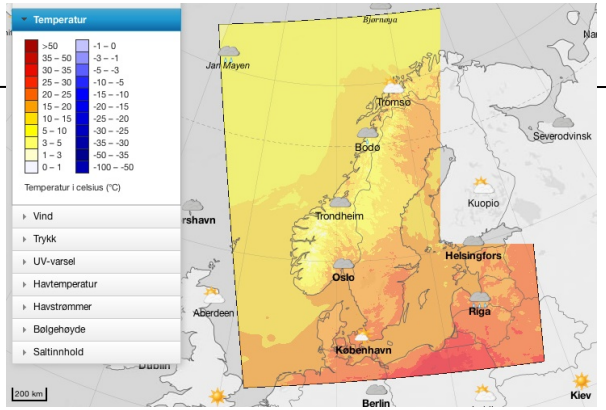
$$E = \frac{U}{d}$$

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

Filosofiska rutan



[10]



[11]

<u>Finns</u> elektriska fält?

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

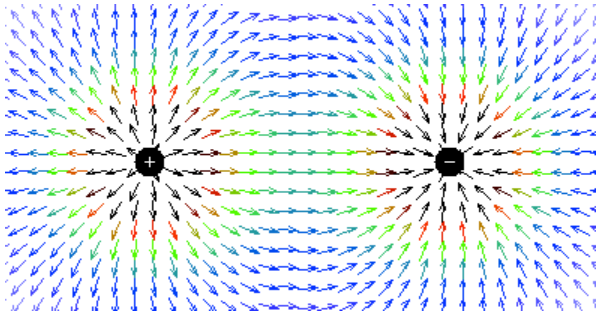
Det kan man nog diskutera länge om man vill,
men jag rekommenderar följande hållning:

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

(kan beskrivas matematiskt
med temperaturfält)

Alltså: Svar JA!

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

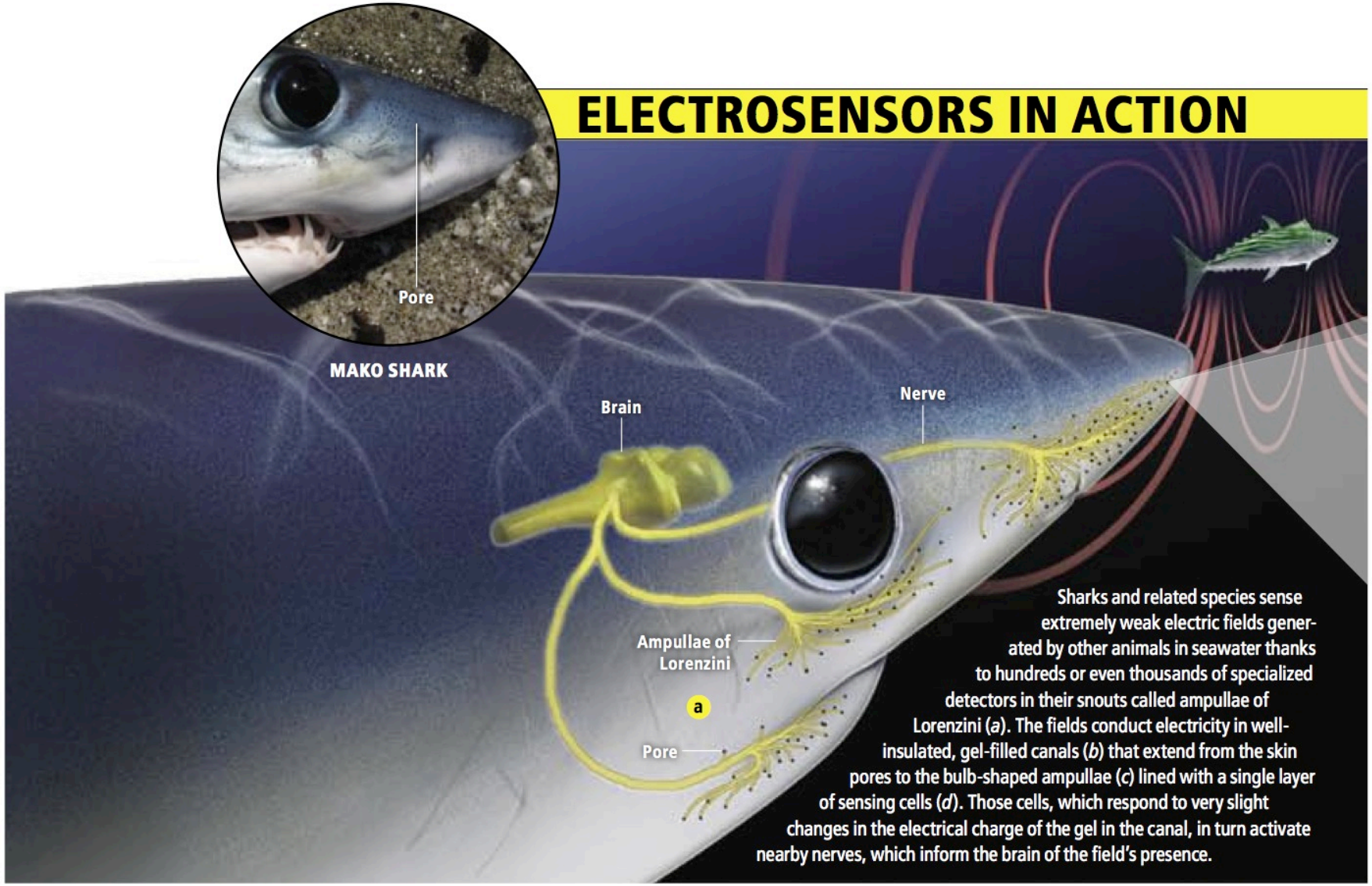


[12]

Q	*F*	*E*
C	N	N/C

X

Elektriska fält



Scientific American aug 2007

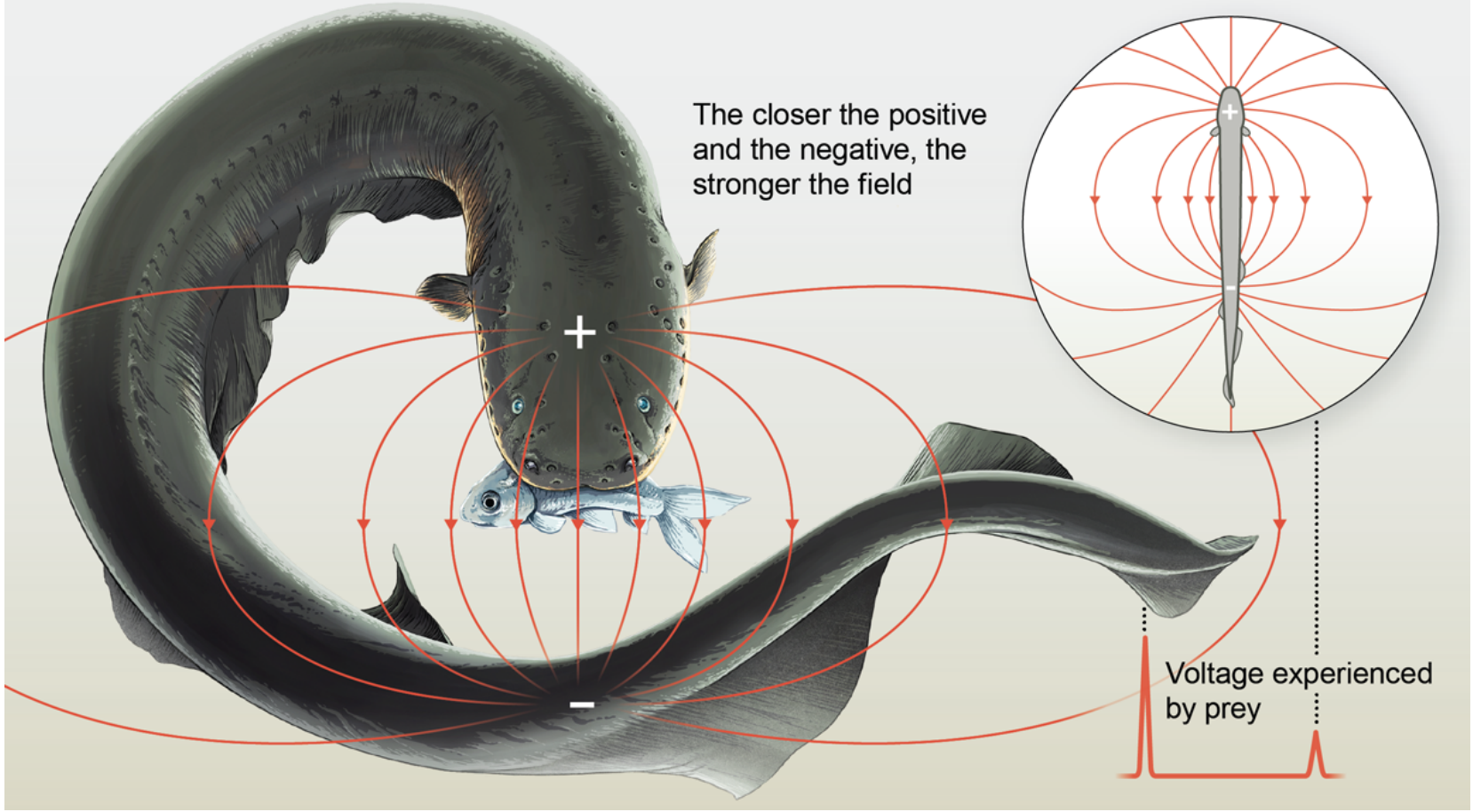
Q	F	E
C	N	N/C

X

Elektriska fält

Focused Intensity

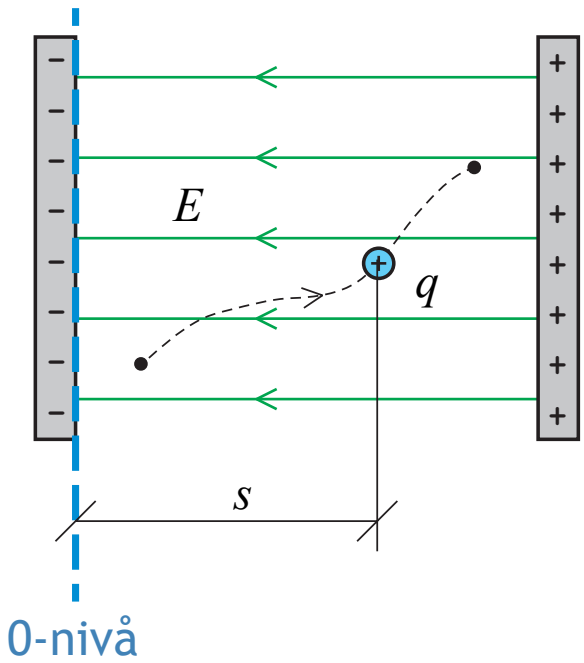
Eel's electric field is what physicists term a dipole: lines representing forces on a positive charge originate from the positive head of the eel and end on the negative tail. The density of lines indicates the strength of the electric field at any given point. Bringing the positive pole closer to the negative pole increases the field strength between them. The eel does this by curling its tail around the prey gripped in its mouth before zapping it.



Scientific American apr 2019

Elektrisk energi

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



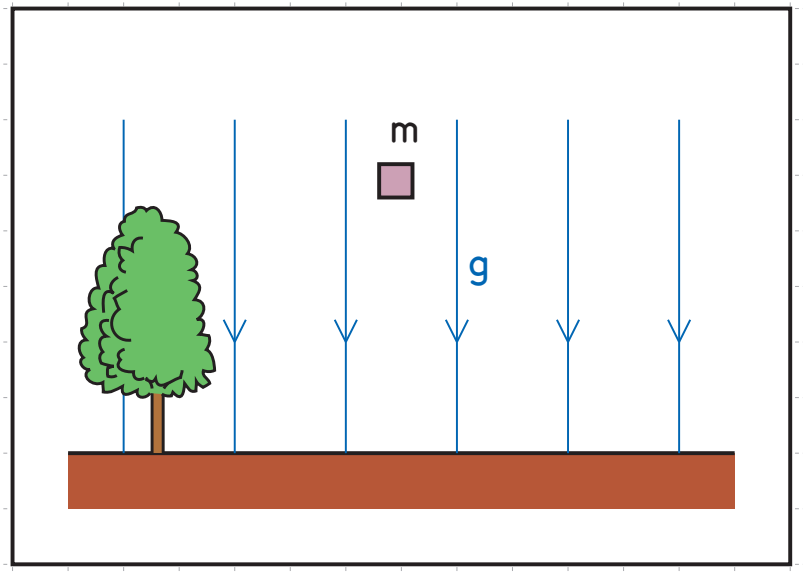
Elektrisk energi och gravitationslägesenergi

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

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

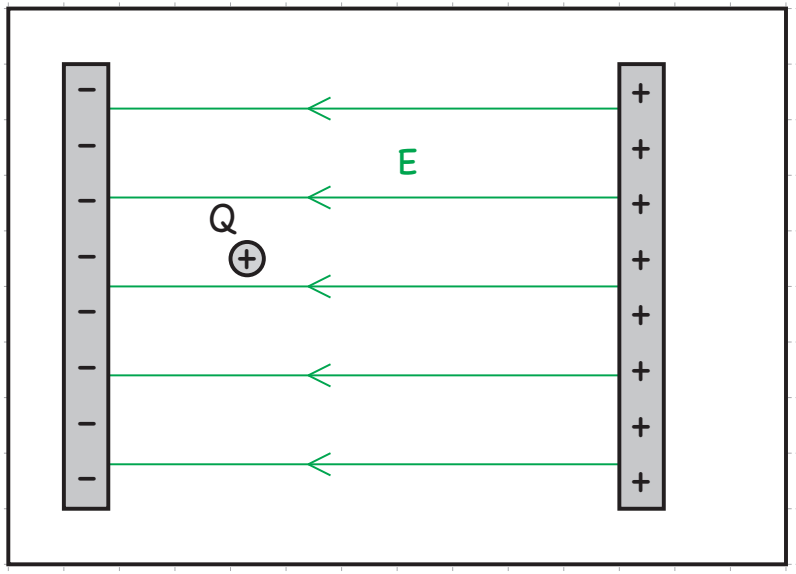
(nära jordytan)

Homogent gravitationsfält:



(mellan två laddade metallplattor)

Homogent elektriskt fält:



$$W_p = \pm mgh$$

h är avståndet från vald 0-nivå

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

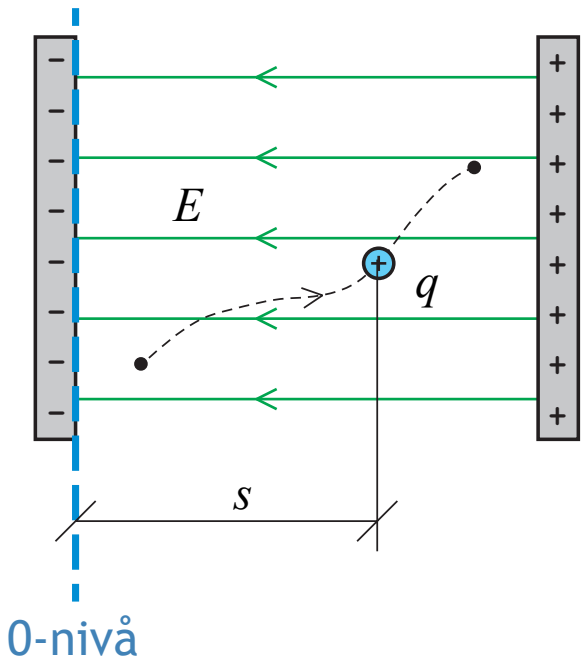
$$W_e = \pm QEs$$

s är avståndet från vald 0-nivå

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

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:

$$\boxed{W_e = \pm qEs}$$

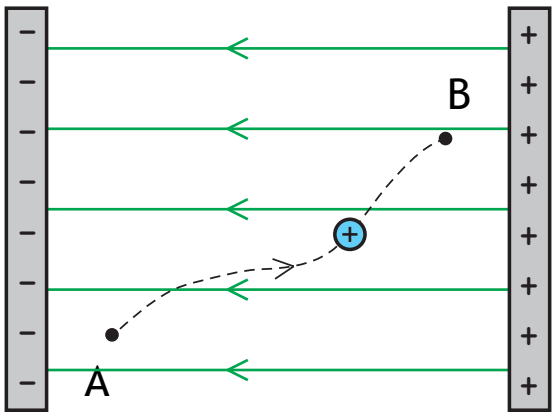
avståndet från vald 0-nivå

elektriska fältstyrkan

tecken beror på om lägesenergin är större (+) eller mindre (-) än vid 0-nivån

Q	F	E	W_e
C	N	N/C	J

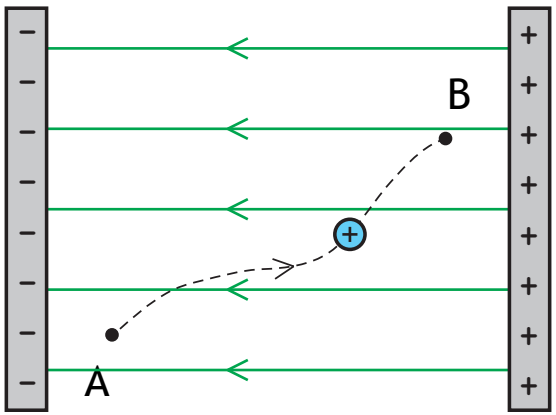
Elektrisk spänning



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

Q	F	E	W_e
C	N	N/C	J

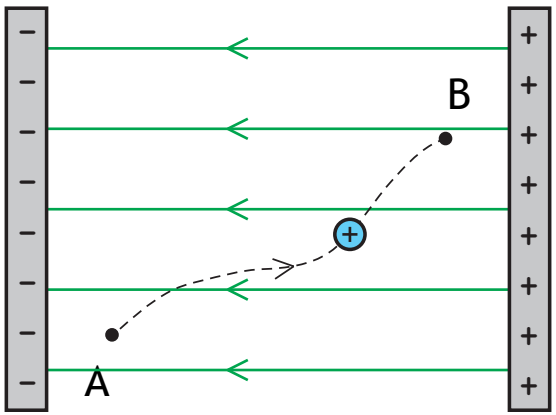
Elektrisk spänning



Ex: Laddningen $Q = 10\ \mathrm{nC}$ flyttas från A till B.
Antag att elektriska energin ökar med $\Delta W = 4{,}0\ \mathrm{nJ}$.

Q	F	E	W_e
C	N	N/C	J

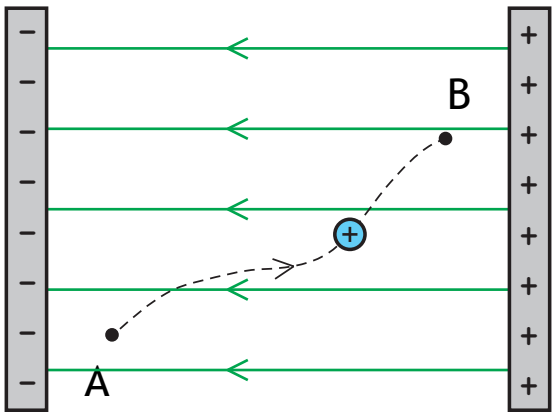
Elektrisk spänning



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

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

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

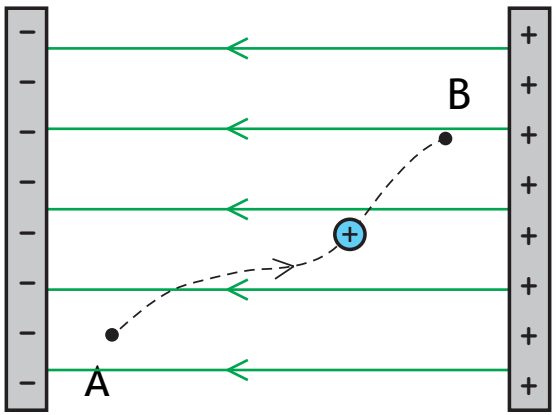
$$U = \frac{\Delta W}{Q} = \frac{4{,}0\ \text{nJ}}{10\ \text{nC}} = 0{,}40\ \text{V}$$

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

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

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

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

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

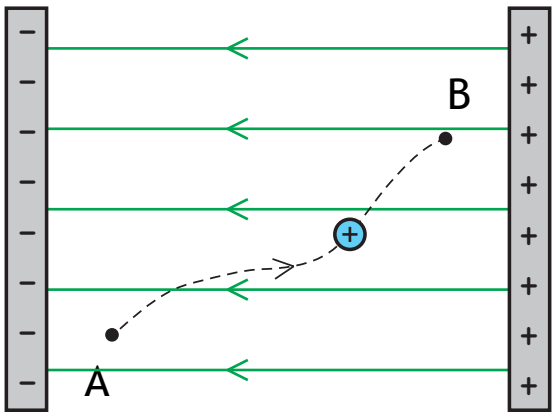
$$\boxed{U = \frac{\Delta W}{Q}} = \frac{W}{Q} \qquad (\Rightarrow \Delta W = QU)$$

SI-enhet: 1 J/C = 1 V (volt)

[13]

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

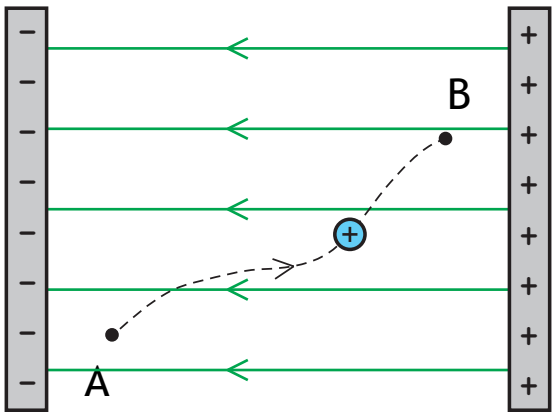
$$\boxed{U = \frac{\Delta W}{Q}} = \frac{W}{Q} \qquad (\Rightarrow \Delta W = QU)$$

SI-enhet: 1 J/C = 1 V (volt)

[13]

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

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

SI-enhet: 1 J/C = 1 V (volt)

[14]

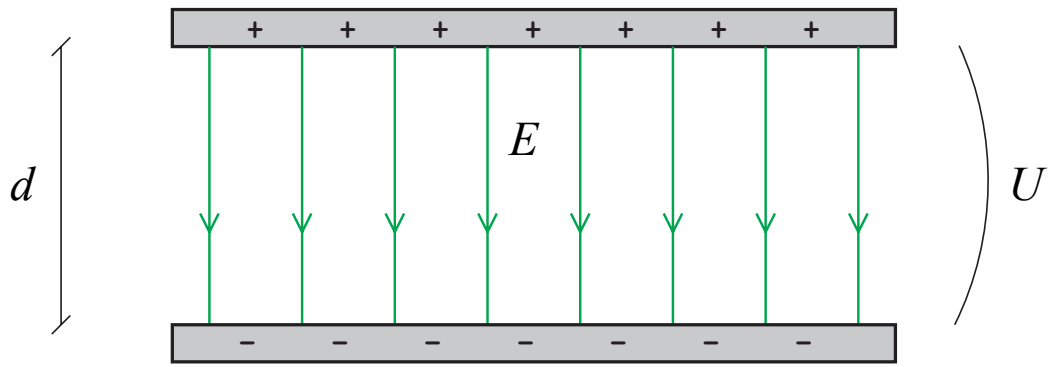
[13]

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

Elektrisk spänning

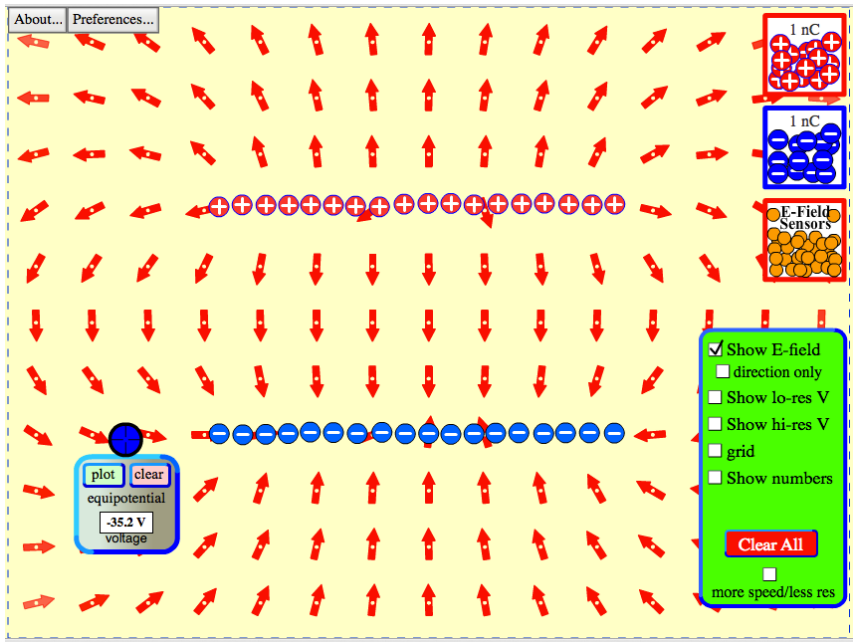
Ett behändigt samband

Homogent fält mellan två stora, parallella plattor



Då gäller

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



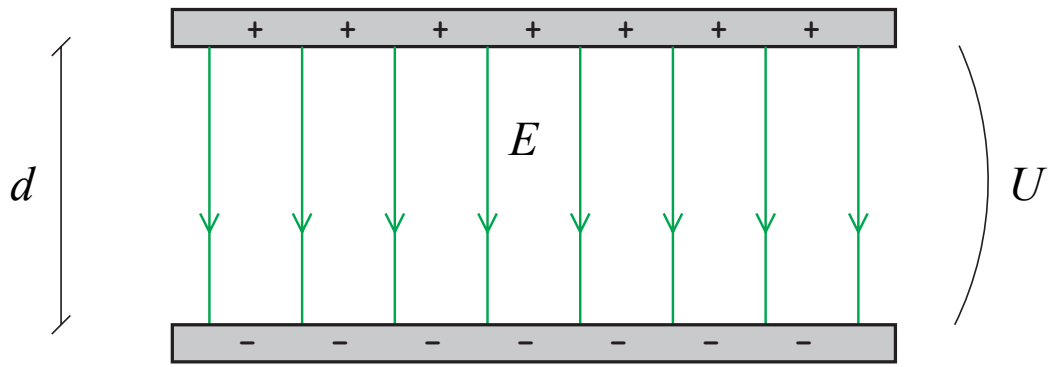
Q	F	E	W_e	U
C	N	N/C	J	V
		V/m		J/C

Elektrisk spänning

Observera!

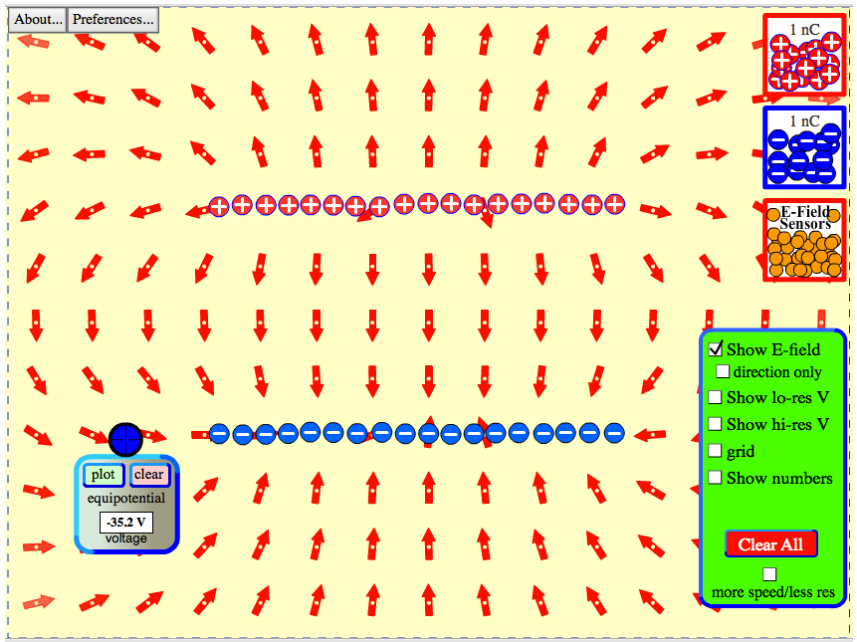
Ett behändigt samband

Homogent fält mellan två stora, parallella plattor



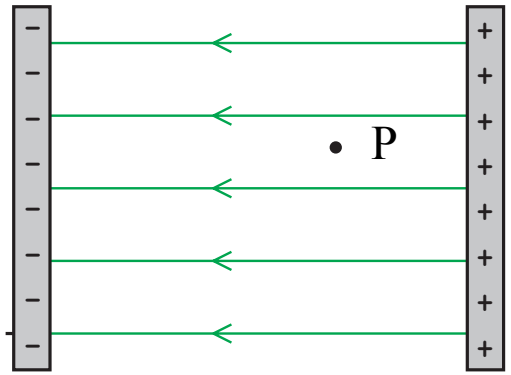
Då gäller

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

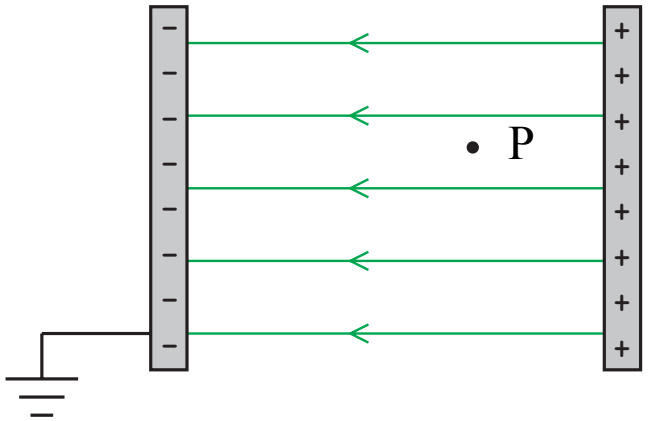


Q	F	E	W_e	U
C	N	N/C	J	V
		V/m		J/C

Potential



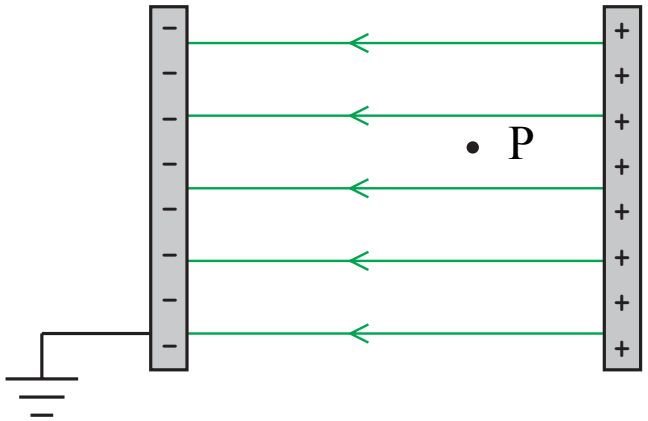
Potential



Vänstra plattan är jordad
(i kontakt med jorden)

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)

Potentialen i en punkt:

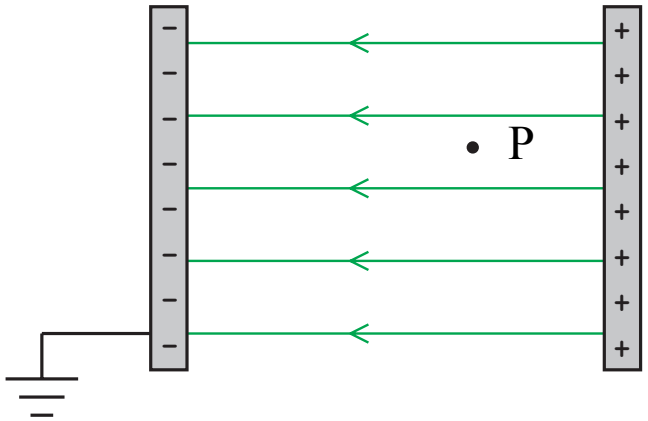
$$\boxed{V_P = \frac{W_P}{Q}}$$

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

SI-enhet: 1 J/C = 1 V

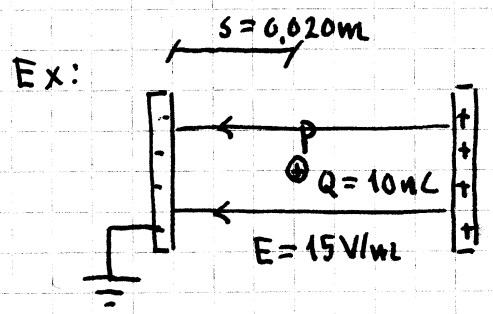
Q	F	E	W_e	U	V_P
C	N	N/C	J	V	V
		V/m		J/C	

Potential



Vänstra plattan är jordad
(i kontakt med jorden)

Ex:



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:

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

Potentialen i en punkt:

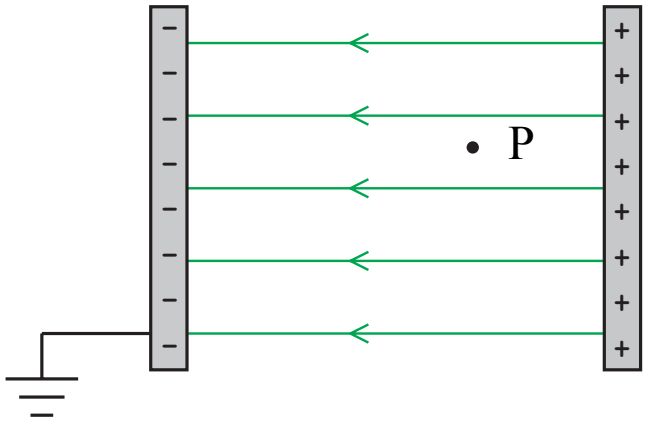
$$\boxed{V_P = \frac{W_P}{Q}}$$

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

SI-enhet: 1 J/C = 1 V

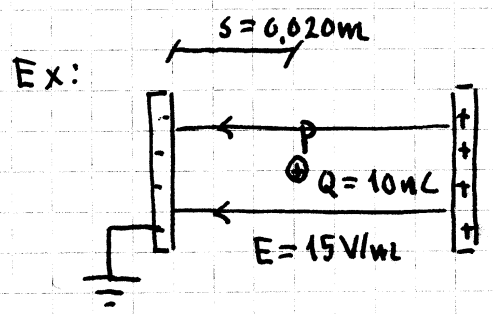
Q	F	E	W_e	U	V_P
C	N	N/C	J	V	V
		V/m		J/C	

Potential



Vänstra plattan är jordad
(i kontakt med jorden)

Ex:



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:

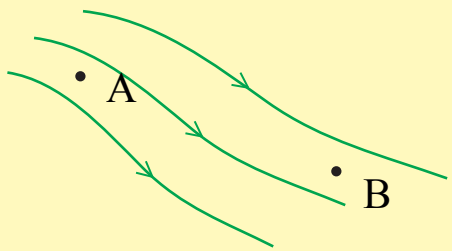
$$V_p = \frac{W_p}{Q} = \frac{3{,}0 \cdot 10^{-9}\ \text{J}}{10 \cdot 10^{-9}\ \text{C}} = 0{,}30\ \text{V} \qquad \left(= \frac{QEs}{Q} = Es\right)$$

Potentialen i en punkt:

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

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

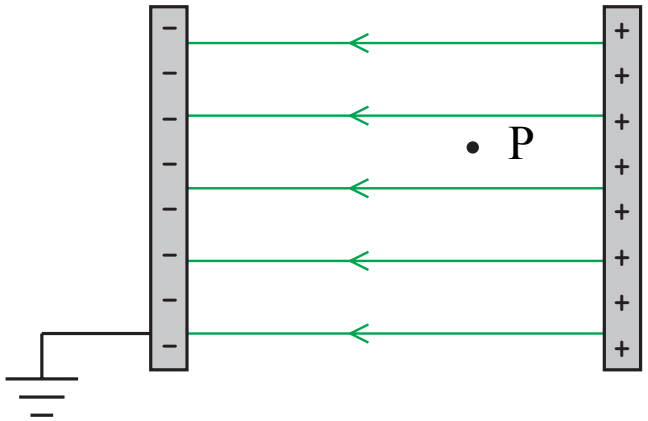
SI-enhet: 1 J/C = 1 V



$$V_B - V_A =$$

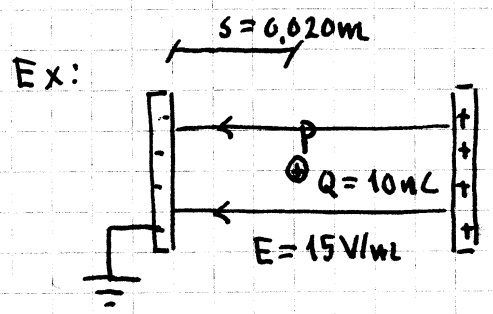
Q	F	E	W_e	U	V_P
C	N	N/C	J	V	V
		V/m		J/C	

Potential



Vänstra plattan är jordad
(i kontakt med jorden)

Ex:



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:

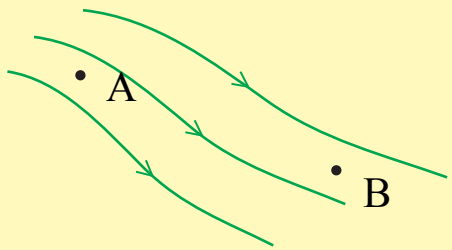
$$V_P = \frac{W_P}{Q} = \frac{3{,}0 \cdot 10^{-9}\,\text{J}}{10 \cdot 10^{-9}\,\text{C}} = 0{,}30\,\text{V} \qquad \left(= \frac{QEs}{Q} = Es\right)$$

Potentialen i en punkt:

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

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

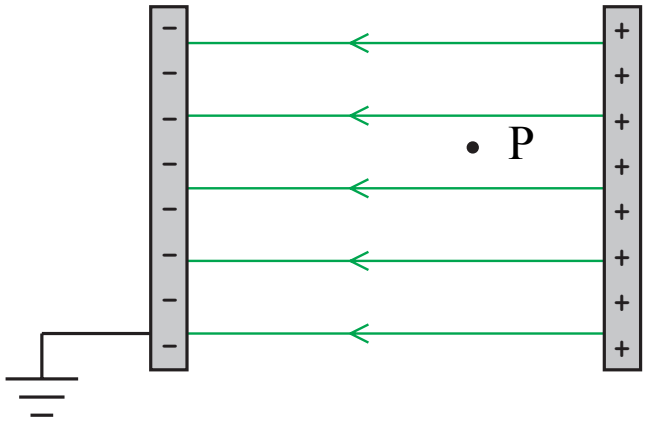
SI-enhet: 1 J/C = 1 V



$$V_B - V_A = \frac{W_B}{Q} - \frac{W_A}{Q}$$

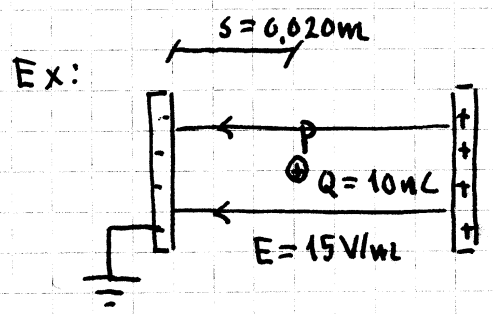
Q	F	E	W_e	U	V_P
C	N	N/C	J	V	V
		V/m		J/C	

Potential



Vänstra plattan är jordad
(i kontakt med jorden)

Ex:



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:

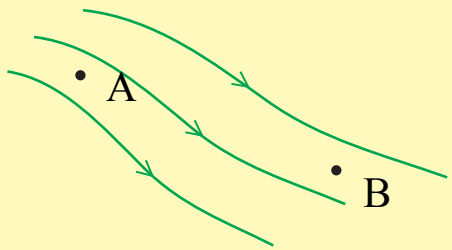
$$V_P = \frac{W_P}{Q} = \frac{3{,}0 \cdot 10^{-9}\,\text{J}}{10 \cdot 10^{-9}\,\text{C}} = 0{,}30\,\text{V} \qquad \left(= \frac{QEs}{Q} = Es\right)$$

Potentialen i en punkt:

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

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

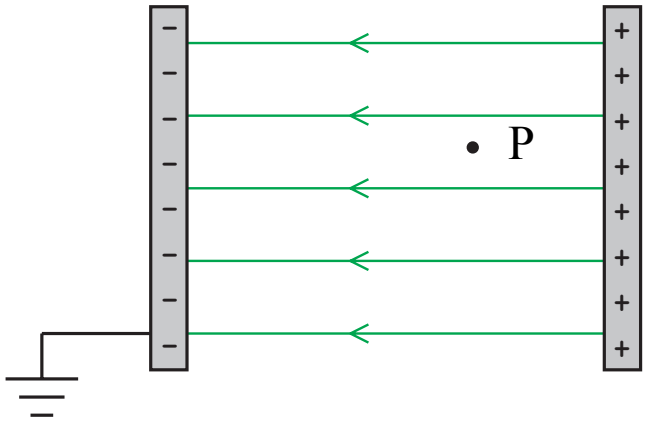
SI-enhet: 1 J/C = 1 V



$$V_B - V_A = \frac{W_B}{Q} - \frac{W_A}{Q} = \frac{W_B - W_A}{Q}$$

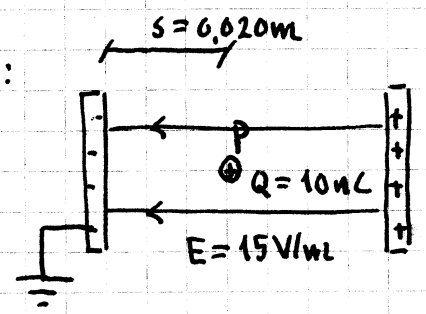
Q	F	E	W_e	U	V_P
C	N	N/C	J	V	V
		V/m		J/C	

Potential



Vänstra plattan är jordad
(i kontakt med jorden)

Ex:



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:

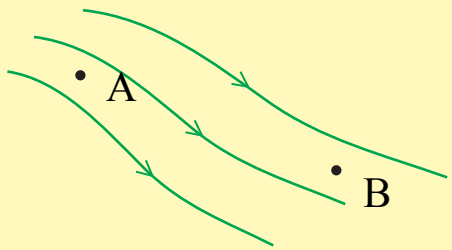
$$V_p = \frac{W_p}{Q} = \frac{3{,}0 \cdot 10^{-9}\,\text{J}}{10 \cdot 10^{-9}\,\text{C}} = 0{,}30\,\text{V} \qquad \left(= \frac{QEs}{Q} = Es\right)$$

Potentialen i en punkt:

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

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

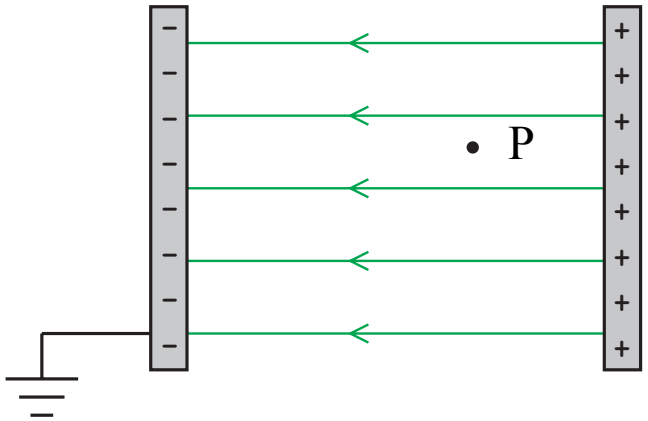
SI-enhet: 1 J/C = 1 V



$$V_B - V_A = \frac{W_B}{Q} - \frac{W_A}{Q} = \frac{W_B - W_A}{Q} = \frac{\Delta W}{Q}$$

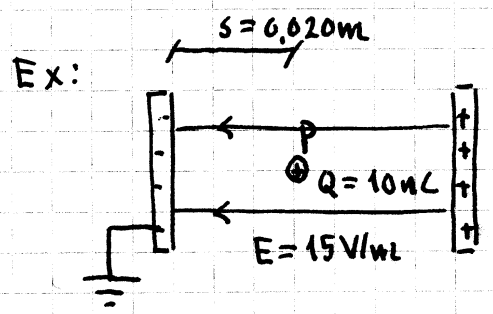
Q	F	E	W_e	U	V_P
C	N	N/C	J	V	V
		V/m		J/C	

Potential



Vänstra plattan är jordad
(i kontakt med jorden)

Ex:



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:

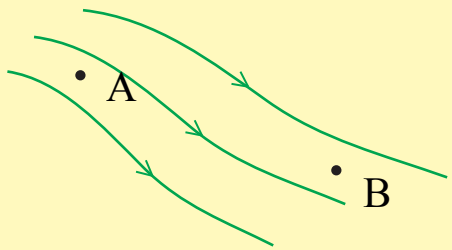
$$V_P = \frac{W_P}{Q} = \frac{3{,}0 \cdot 10^{-9}\,\text{J}}{10 \cdot 10^{-9}\,\text{C}} = 0{,}30\,\text{V} \qquad \left(= \frac{QEs}{Q} = Es\right)$$

Potentialen i en punkt:

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

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

SI-enhet: 1 J/C = 1 V



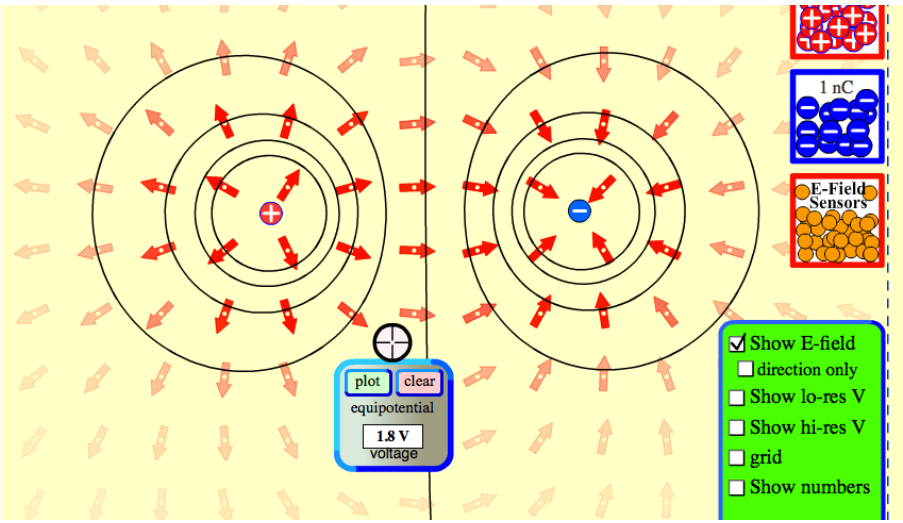
$$V_B - V_A = \frac{W_B}{Q} - \frac{W_A}{Q} = \frac{W_B - W_A}{Q} = \frac{\Delta W}{Q} = U_{BA}$$

spänningen mellan två punkter = potentialskillnaden

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:

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

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

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

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

X

Potential

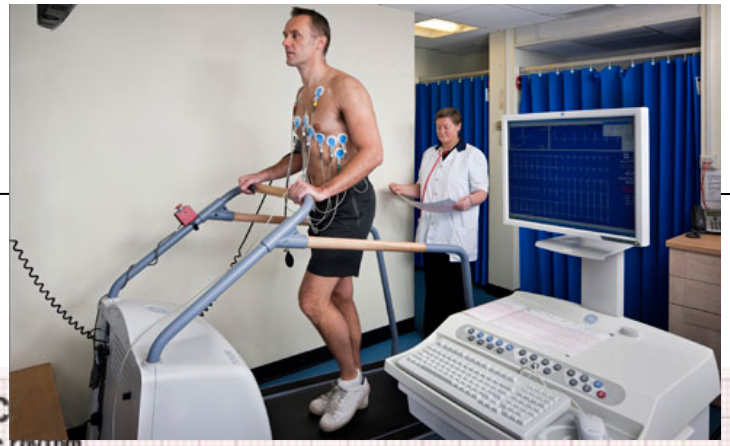
Kanske nåt om att potential kan mätas med en voltmeter

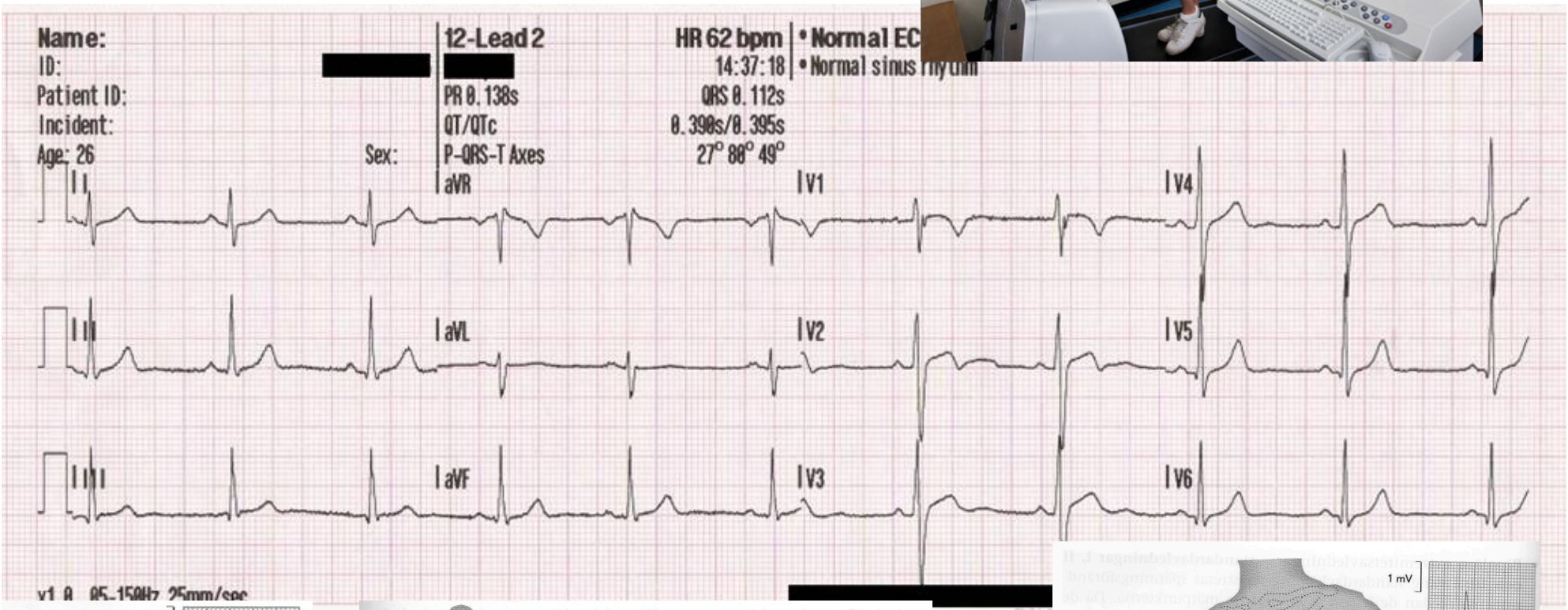
Potential är en egenskap hos det elektriska fältet.

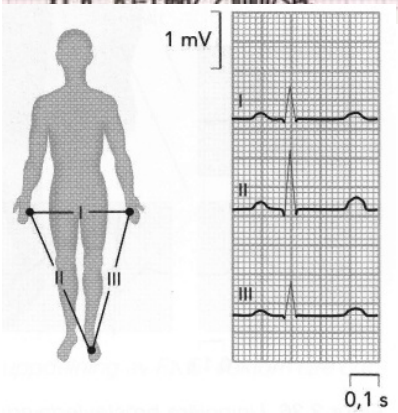
$$\boxed{\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = q\vec{E}$$

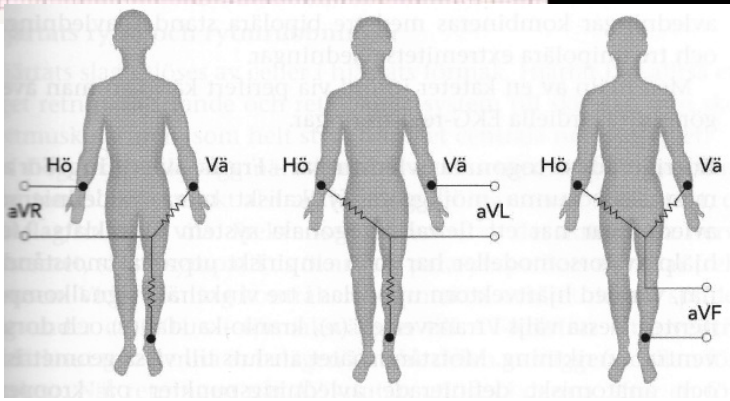
Potential

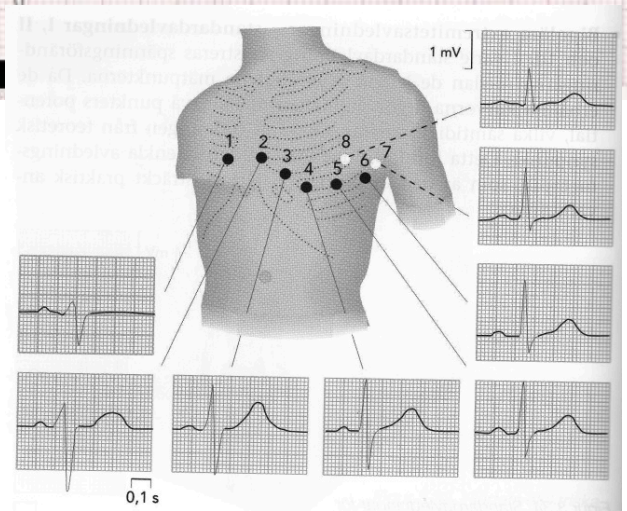
Elektrokardiografi (EKG)











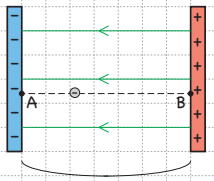
Från parallella plattor till enkel elektrisk krets

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).

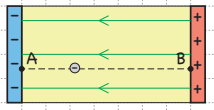


U_{AB} = 1,5 V

2) En elektron flyttas från A till B (i en ledare där elektronen krockar 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.*)

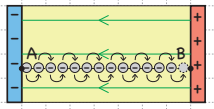


U_{AB} = 1,5 V

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

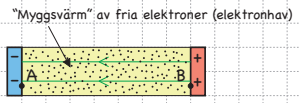
0,24 aJ elektrisk energi omvandlas till inre energi och strålningsenergi.

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



U_{AB} = 1,5 V

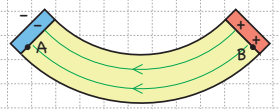
4) Ändra fom på ledaren.



U_{AB} = 1,5 V

5) Ändra fom 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).

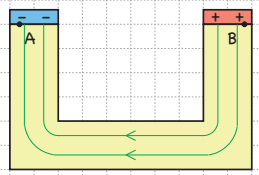
E-fältet knuffar elektronhavet från - till +, och laddning flyttas därmed från A till B. När en elektronladdning flyttas från A till B omvandlas energimängden 0,24 aJ.



U_{AB} = 1,5 V

Demoblad

6) Ändra form på ledaren.

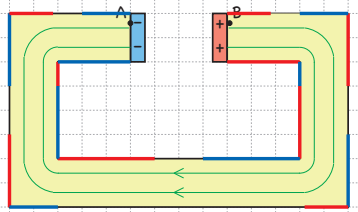


U_{AB} = 1,5 V

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.

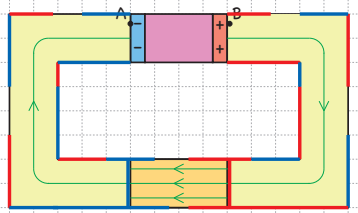


U_{AB} = 1,5 V

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

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

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

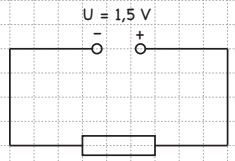


U_{AB} = 1,5 V

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

Ofta ritar man en sådan krets så här:

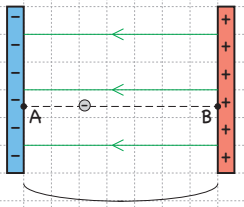
Nu är vi redo för elektriska kretsar!



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).

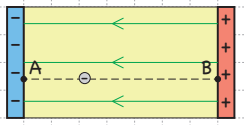


U_{AB} = 1,5 V

2) En elektron flyttas från A till B (i en ledare där elektronen krockar 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.*)

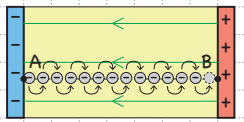


U_{AB} = 1,5 V

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

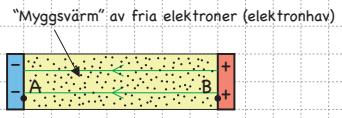
0,24 aJ elektrisk energi omvandlas till inre energi och strålningsenergi.

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



U_{AB} = 1,5 V

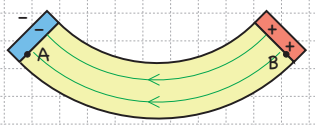
4) Ändra fom på ledaren.



U_{AB} = 1,5 V

5) Ändra fom 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).

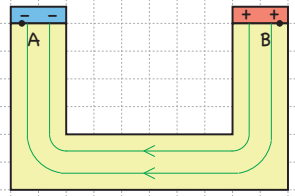
E-fältet knuffar elektronhavet från - till +, och laddning flyttas därmed från A till B. När en elektronladdning flyttas från A till B omvandlas energimängden 0,24 aJ.



U_{AB} = 1,5 V

Demoblad

6) Ändra form på ledaren.

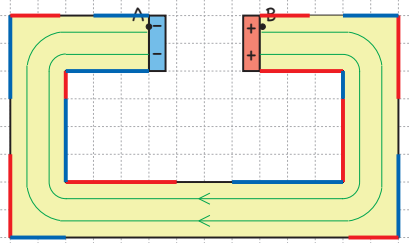


U_{AB} = 1,5 V

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 energi-mängden 0,24 aJ.

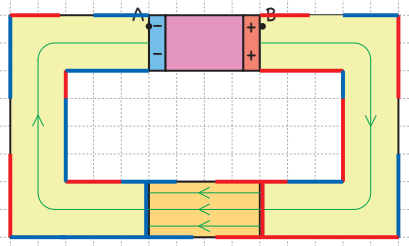


U_{AB} = 1,5 V

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

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

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

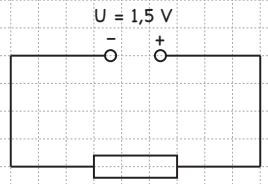


U_{AB} = 1,5 V

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

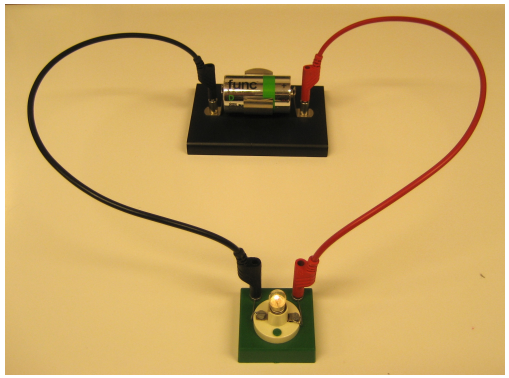
Ofta ritar man en sådan krets så här:

Nu är vi redo för elektriska kretsar!



Spänningskällor

[15]

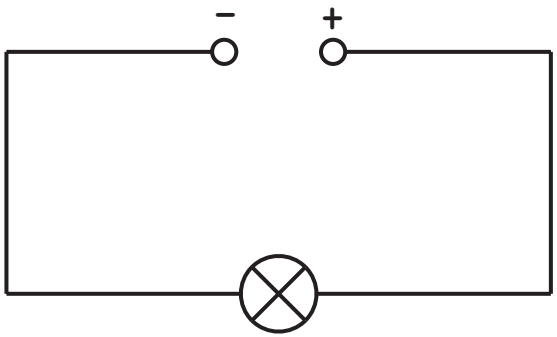


Batteri: “Laddningspump”

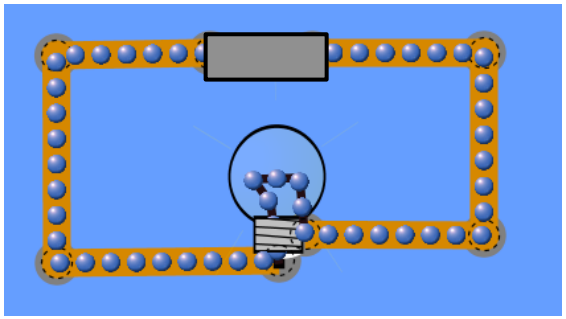
När laddningsmängden Q pumpas runt
omsätts energimängden $W = U\,Q$

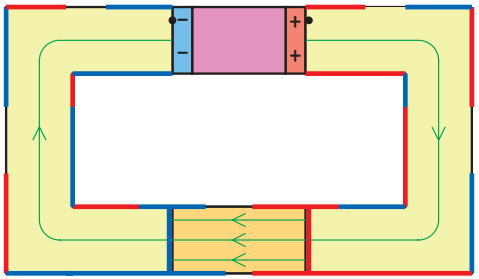
batteriets polspänning

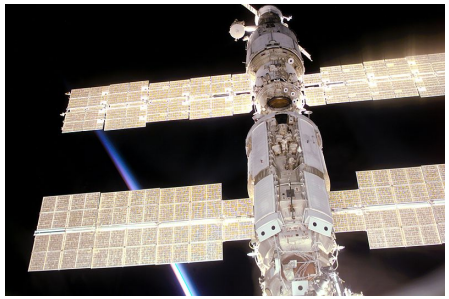
$U = 1{,}5$ V



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



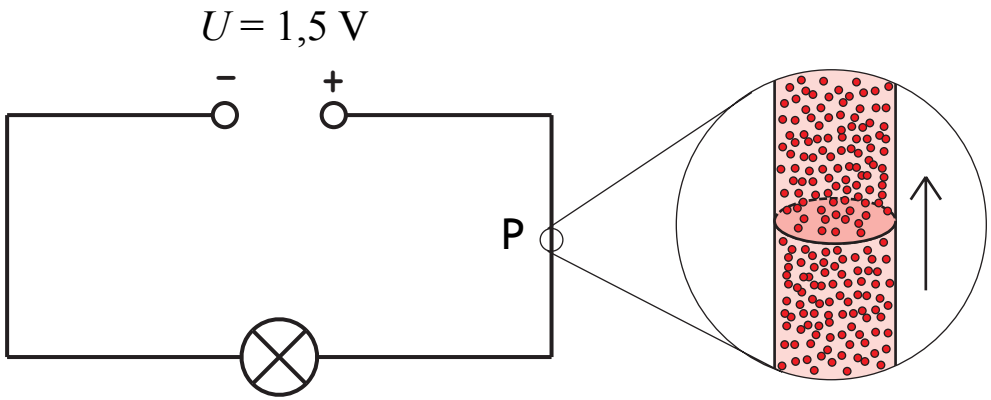




Observera att det finns andra spänningskällor än batterier, t.ex. solceller.

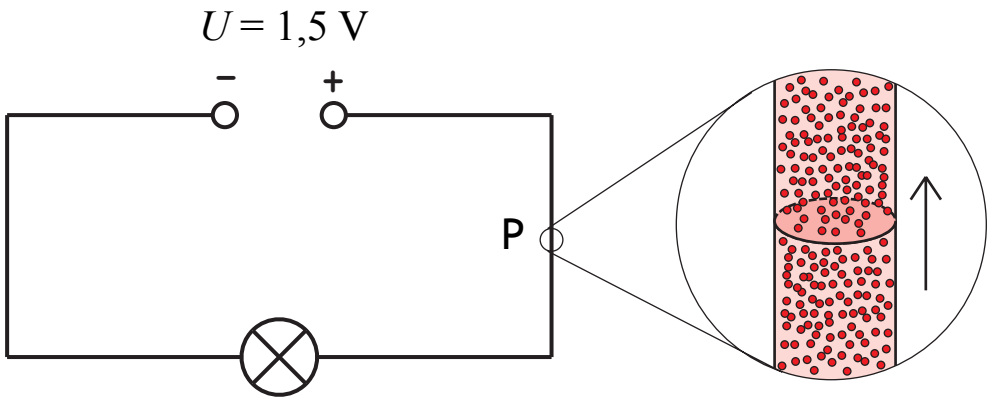
http://phet.colorado.edu/en/simulation/circuit-construction-kit-dc

Ström



Ex: Laddningen $Q = 12$ C passerar ett tvärsnitt vid P på tiden $t = 60$ s.

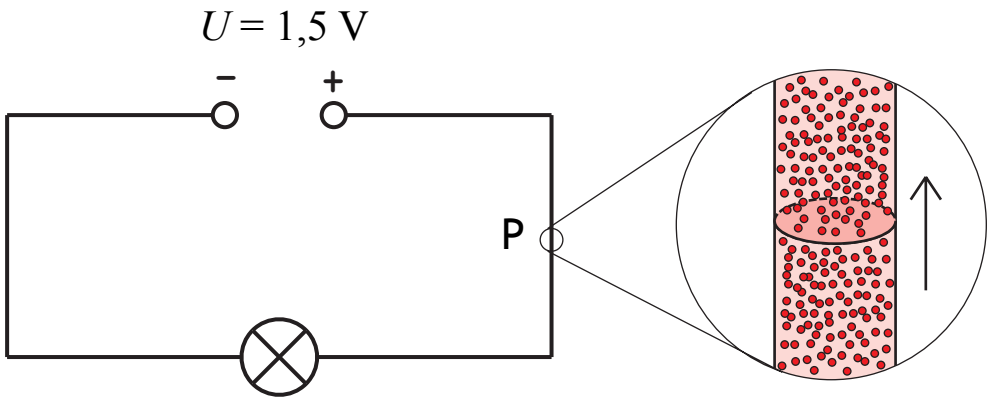
Ström



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

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

Ström



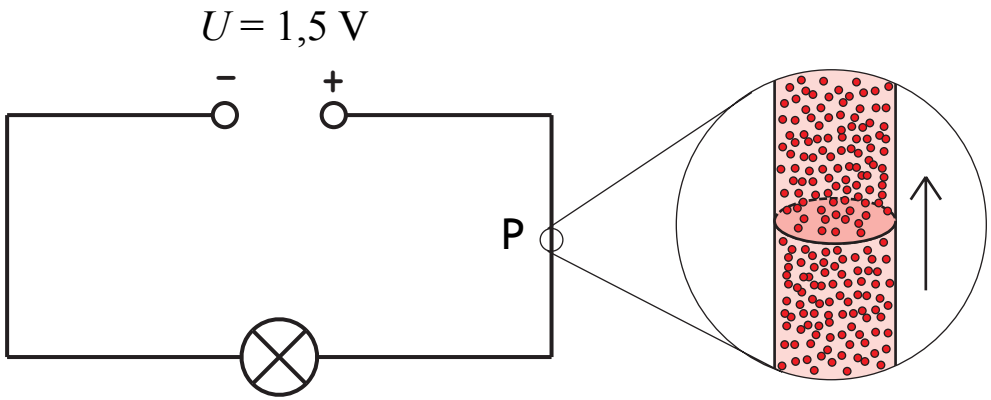
Ex: Laddningen $Q = 12$ C passerar ett tvärsnitt vid P på tiden $t = 60$ s. Strömmen i ledaren (genom P) är då

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

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

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

Ström



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

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

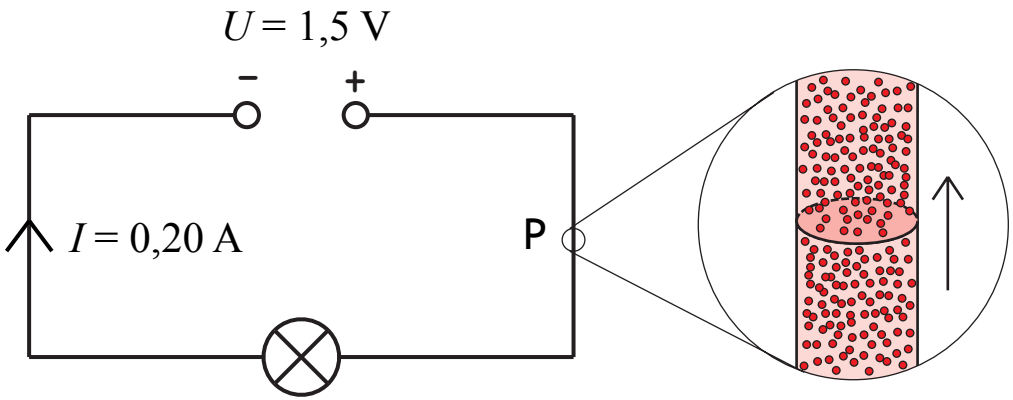
Om laddningsmängden Q passerar ett tvärsnitt av en ledare på tiden t så är strömmen i ledaren:

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

SI-enhet: 1 C/s = 1 A (ampere)

[16]

Ström



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

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

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

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

SI-enhet: 1 C/s = 1 A (ampere)

[16]

Obs! Ström går från + till – (men e^- rör sig från – till +)

(strömriktningen är den riktning i vilken positiv laddning rör sig)

Laddningsenheten Ah

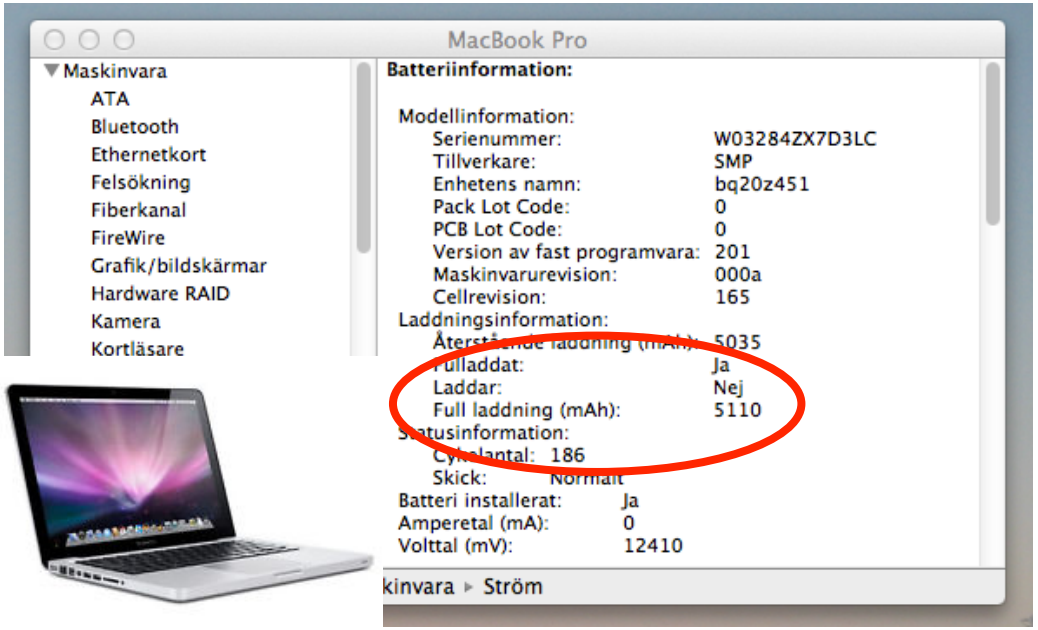
1 Ah = 3600 C

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

X

Laddningsenheten Ah

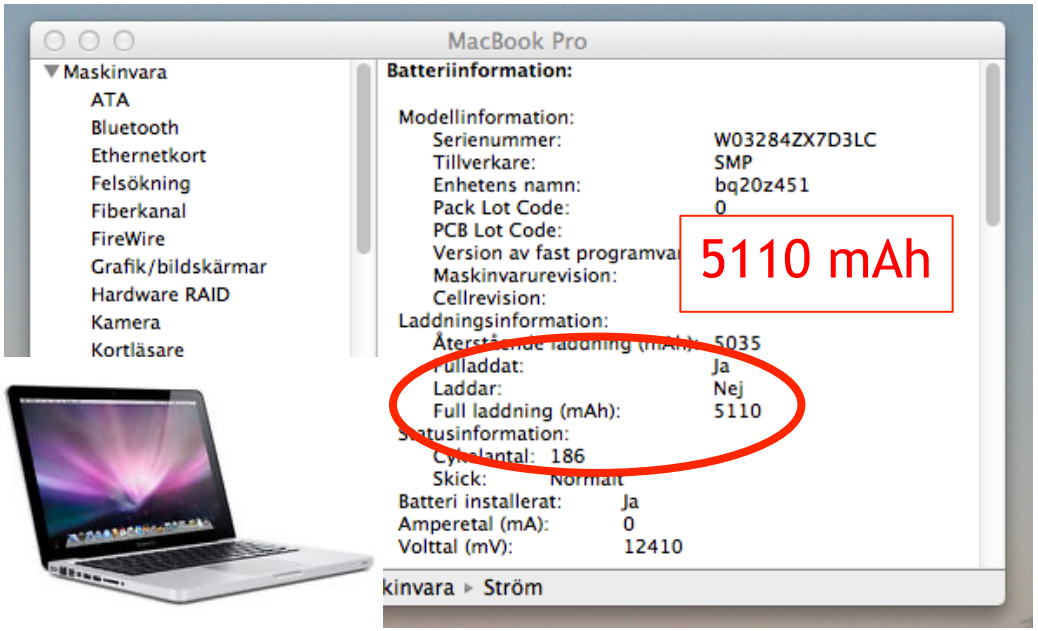
1 Ah = 3600 C



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

X

Laddningsenheten Ah



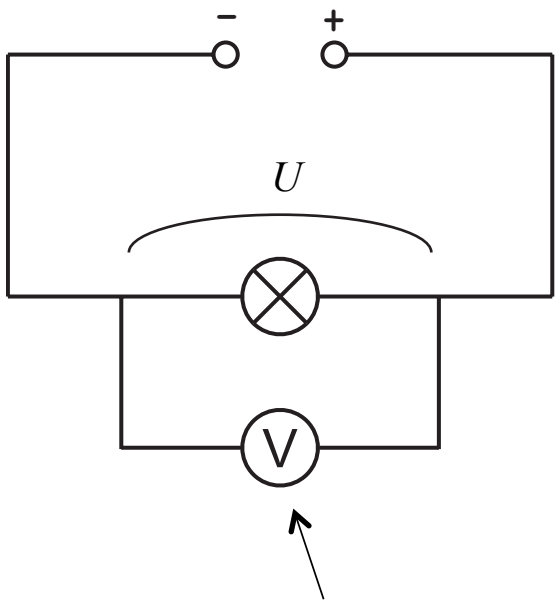
1 Ah = 3600 C

Mätning av spänning och ström

Se upp vid inkoppling av mätinstrument!

Mätning av spänning och ström

Se upp vid inkoppling av mätinstrument!



Voltmeter

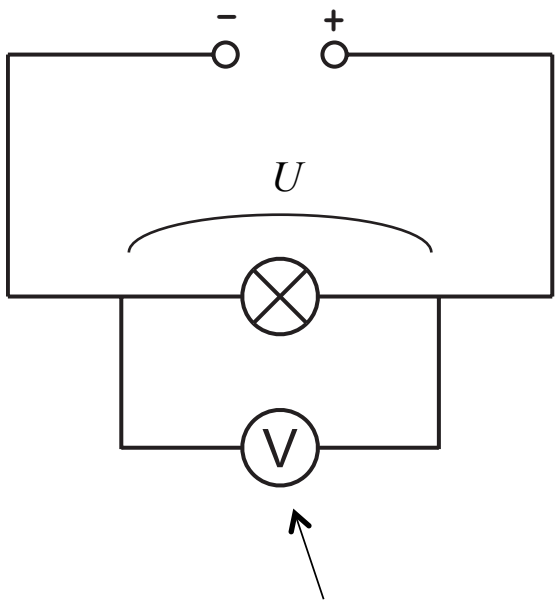
Mäter spänningen *över* lampan.

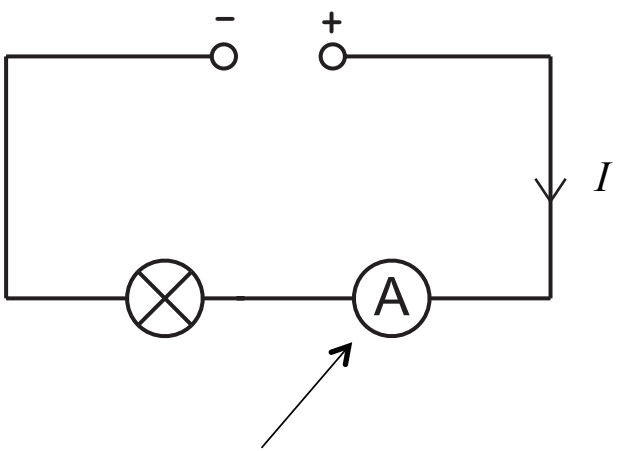
Kopplas *parallellt*

med mätobjektet.

Mätning av spänning och ström

Se upp vid inkoppling av mätinstrument!





Voltmeter

Mäter spänningen *över* lampan.

Kopplas *parallellt*

med mätobjektet.

Amperemeter

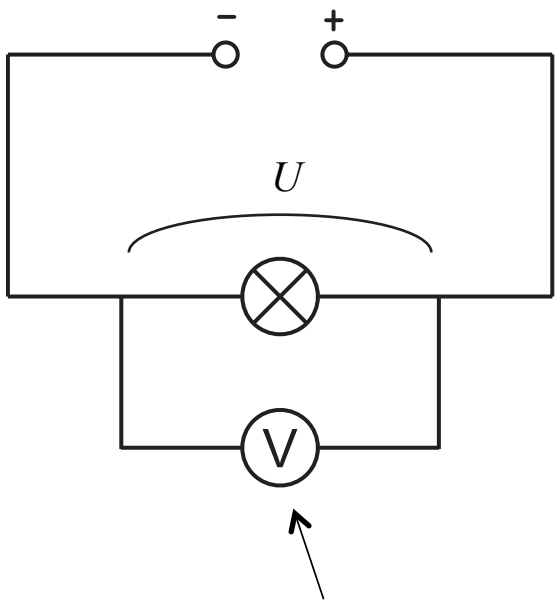
Mäter strömmen *genom* lampan.

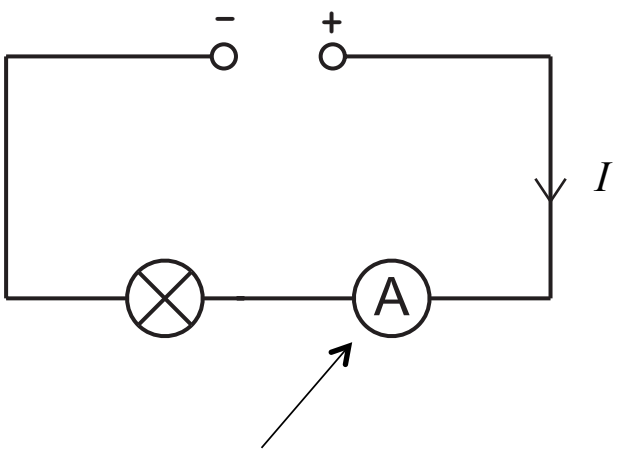
Kopplas *i serie*

med mätobjektet.

Mätning av spänning och ström

Se upp vid inkoppling av mätinstrument!





Voltmeter

Mäter spänningen *över* lampan.

Kopplas *parallellt*

med mätobjektet.

Amperemeter

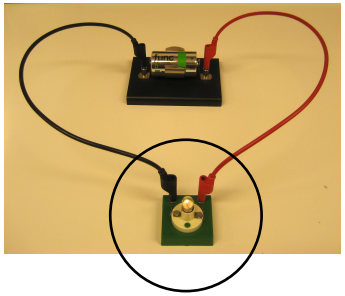
Mäter strömmen *genom* lampan.

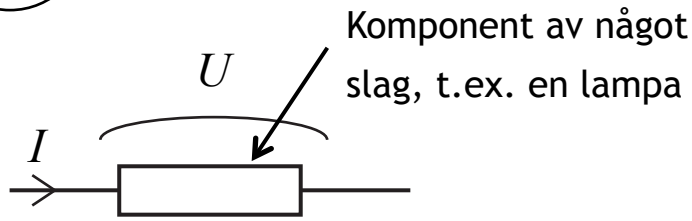
Kopplas *i serie*

med mätobjektet.

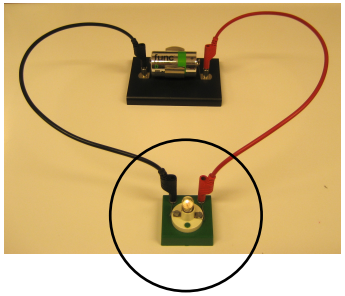
Koppla aldrig in en amperemeter parallellt.

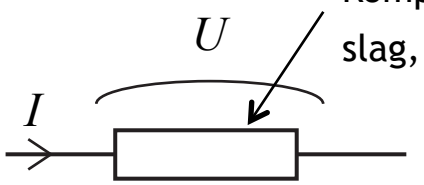
Resistans





Resistans





Komponent av något slag, t.ex. en lampa

mått på förmågan att begränsa ström

En komponents resistans:

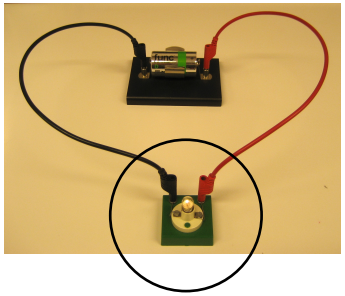
$$R = \frac{U}{I}$$

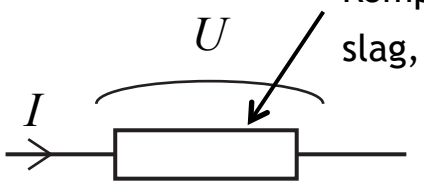
U: spänningen över komponenten

I: strömmen genom komponenten

SI-enhet: 1 V/A = 1 Ω (ohm)

Resistans





Komponent av något slag, t.ex. en lampa

mått på förmågan att begränsa ström

En komponents resistans:

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

spänningen över komponenten

strömmen genom komponenten

SI-enhet: 1 V/A = 1 Ω (ohm)

Om spänningen är given avgör resistansen hur stor strömmen blir! $I = \frac{U}{R}$

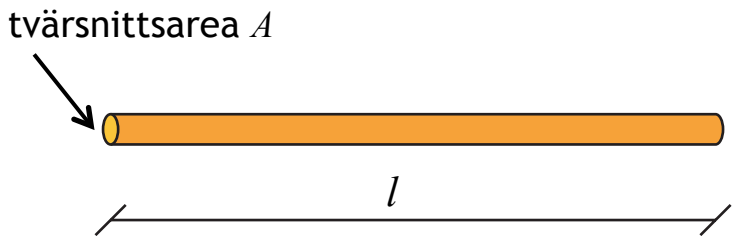
Om en komponents resistans är konstant sägs komponenten följa Ohms lag.

Då gäller $U = RI$, där R konstant.

Resistivitet

En metalltråd med längden l

och tvärsnittsarean A har resistansen



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

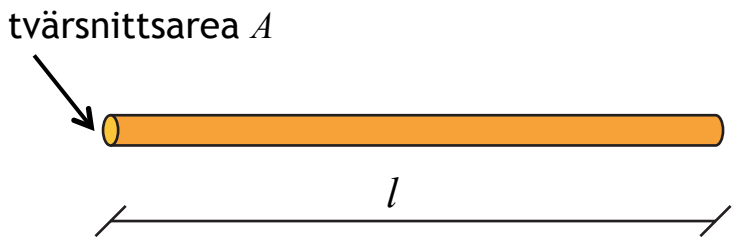
trådmaterialets resistivitet (materialkonstant)

Resistivitet

En metalltråd med längden l
och tvärsnittsarean A har resistansen

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

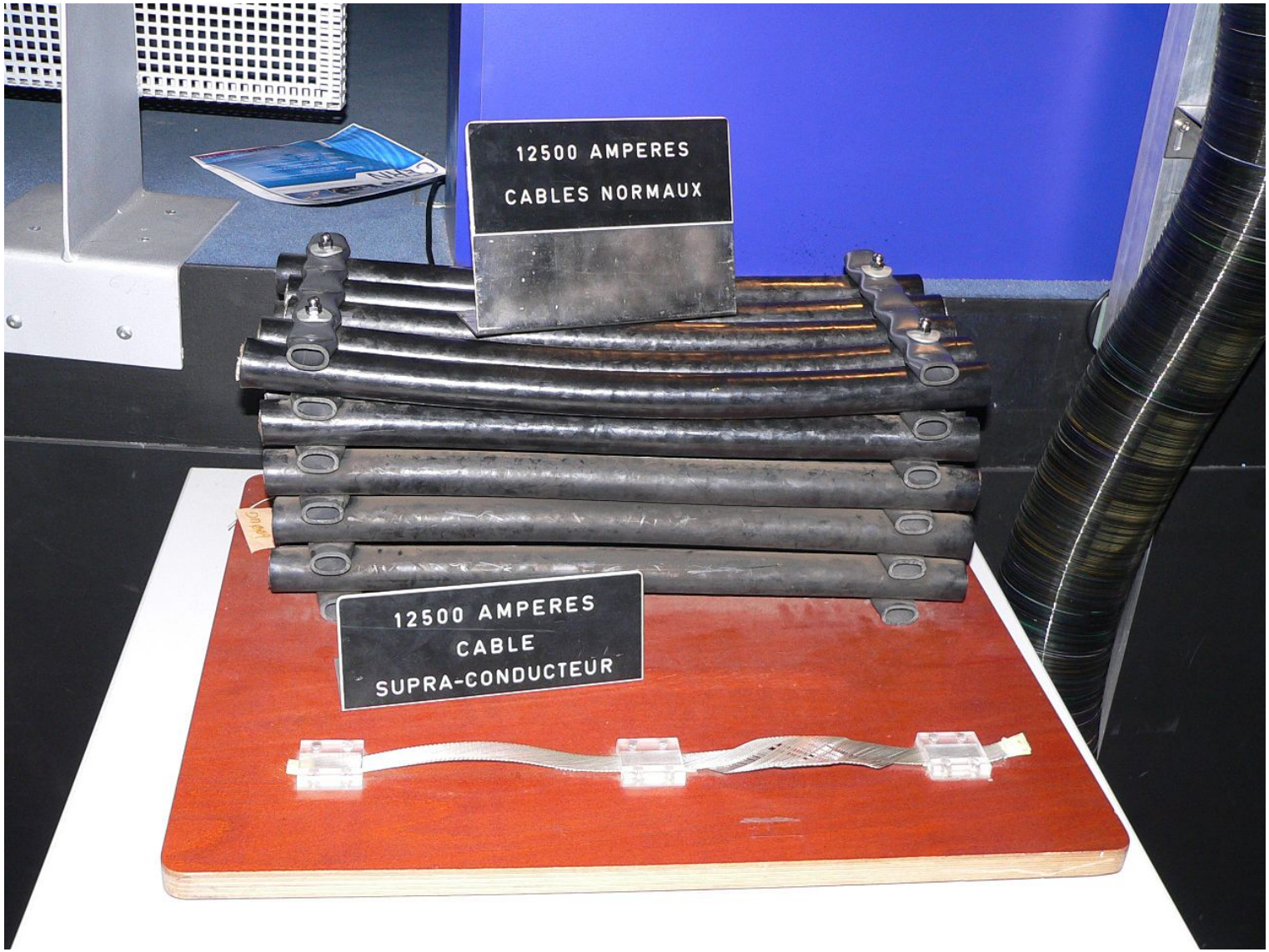
trådmaterialets resistivitet (materialkonstant)



några metaller och metallegeringar

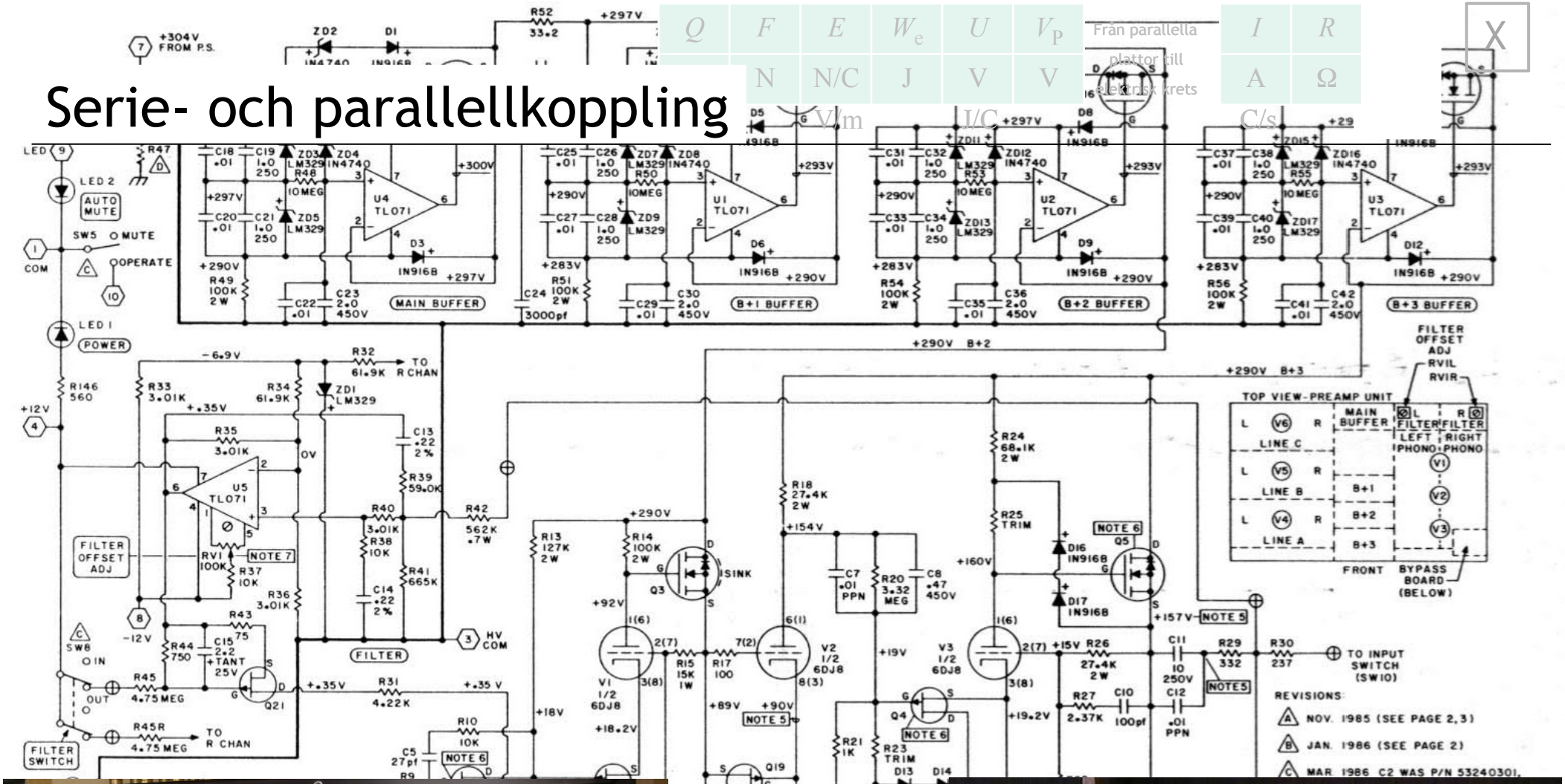
	Ämne	Resistivitet vid 20 °C (10^{-6} Ω·m)	Temperaturkoefficient (10^{-3}/K)
Metaller	Aluminium	0,026	4,29
	Bly	0,21	4,22
	Guld	0,022	3,98
	Järn	0,096	6,57
	Kadmium	0,074	4,26
	Kalcium	0,034	4,0
	Koppar	0,017	4,33
	Kvicksilver	0,96	0,99
	Magnesium	0,044	4,2
	Molybden	0,053	4,7
	Nickel	0,069	6,75
	Platina	0,105	3,92
	Silver	0,0159	4,10
	Tenn	0,126	4,63
	Vismut	1,16	4,45
	Volfram	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	± 0,03
	Kromnickel	1,1	
	Manganin	0,43	
	Mässing	0,065	
	Stål		

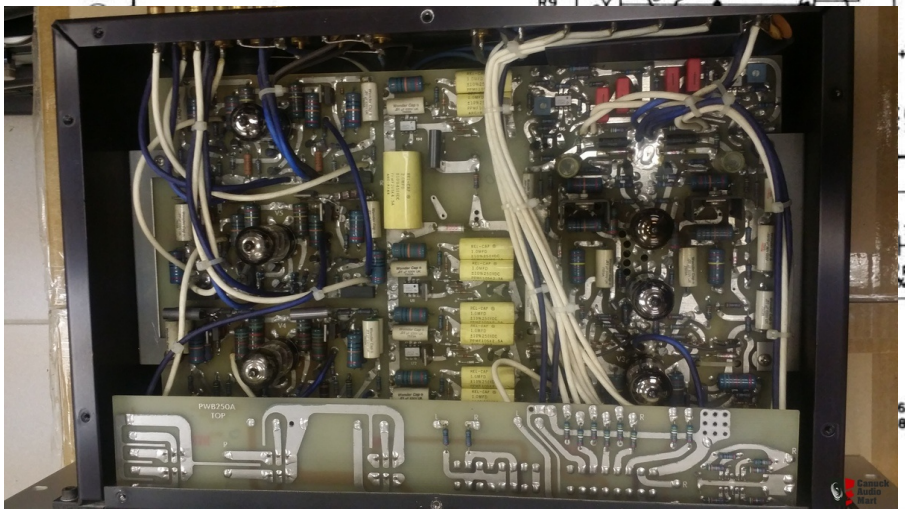
Supraledning



Serie- och parallellkoppling

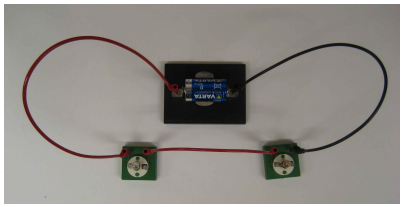
Q	F	E	W_e	U	V_P	Från parallella plattor till elektrisk krets	I	R
N	N/C	J	V	V/m	I/C		C/s	A	Ω

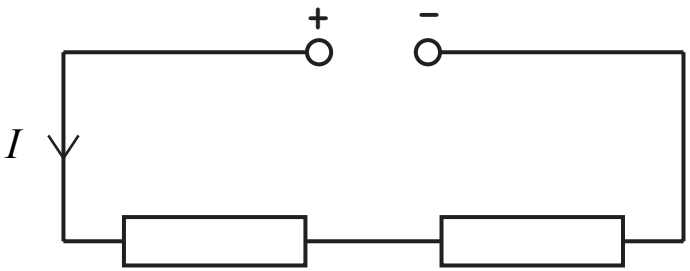




Serie- och parallellkoppling

Seriekoppling

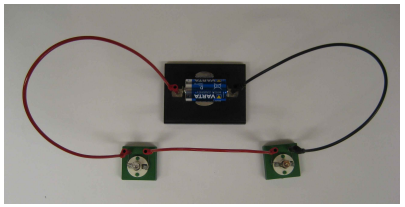


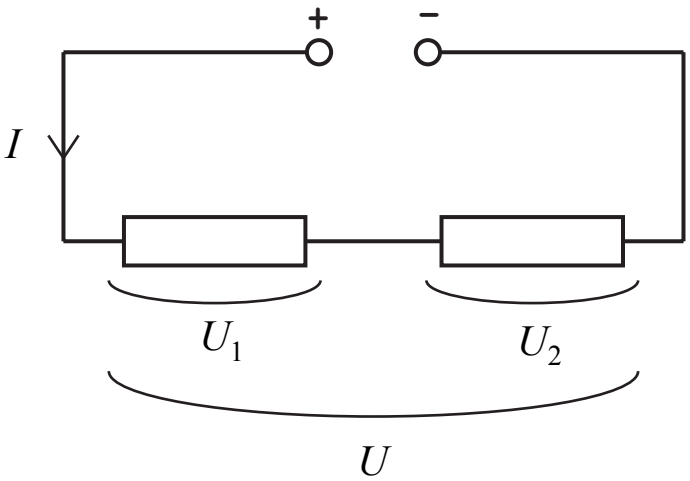


- Samma I

Serie- och parallellkoppling

Seriekoppling

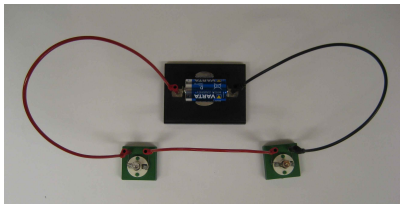


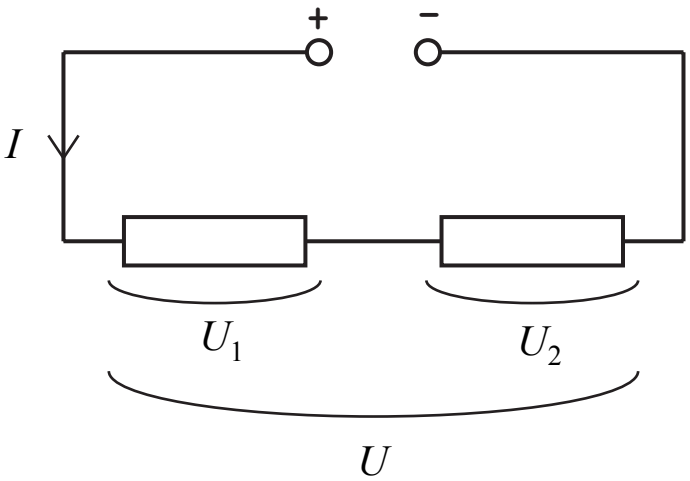


- Samma I
- $U = U_1 + U_2$

Serie- och parallellkoppling

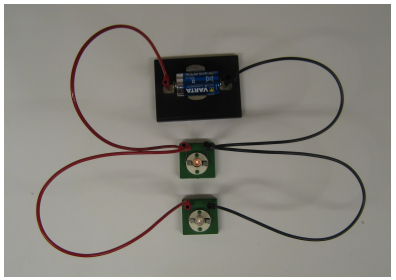
Seriekoppling

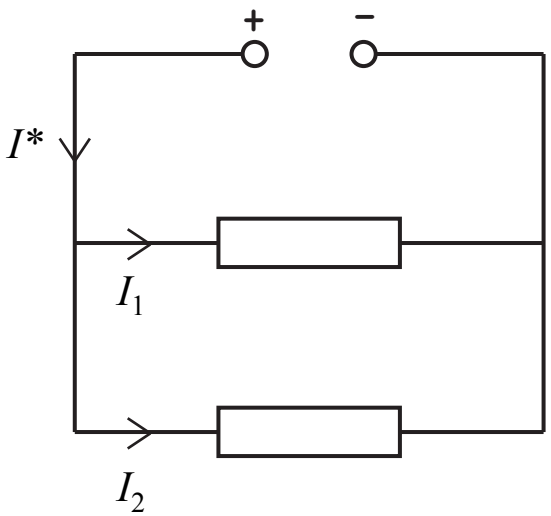




- Samma I
- $U = U_1 + U_2$

Parallellkoppling

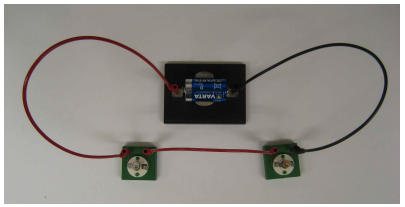


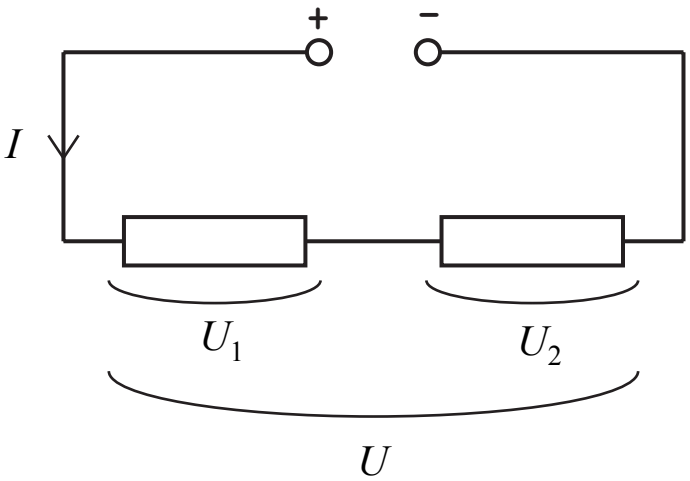


- $I^* = I_1 + I_2$

Serie- och parallellkoppling

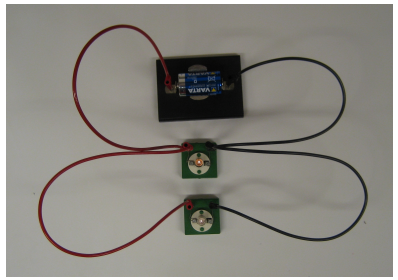
Seriekoppling

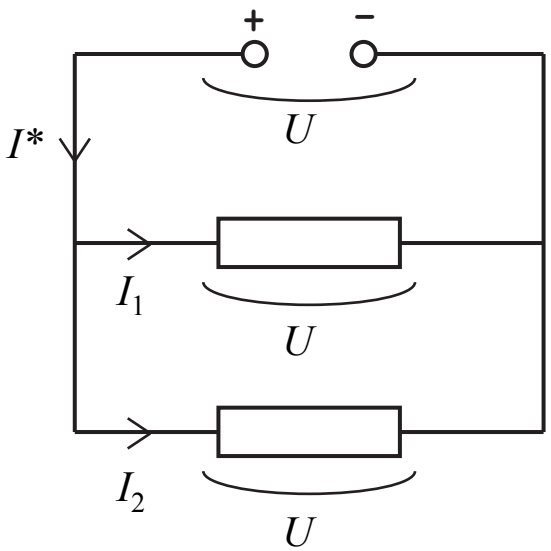




- Samma I
- $U = U_1 + U_2$

Parallellkoppling

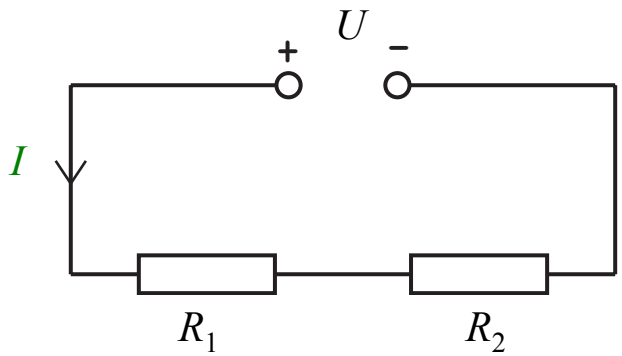




- $I^* = I_1 + I_2$
- Samma U

Ersättningsresistans

1) totala resistansen



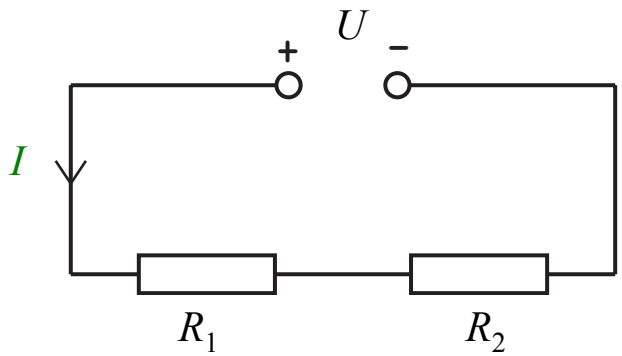
Ersättningsresistans för ett antal motstånd (i en krets)

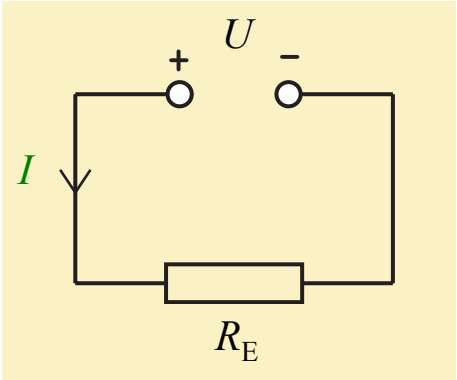
$$R_E = R_1 + R_2$$

(seriekoppling)

Ersättningsresistans

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





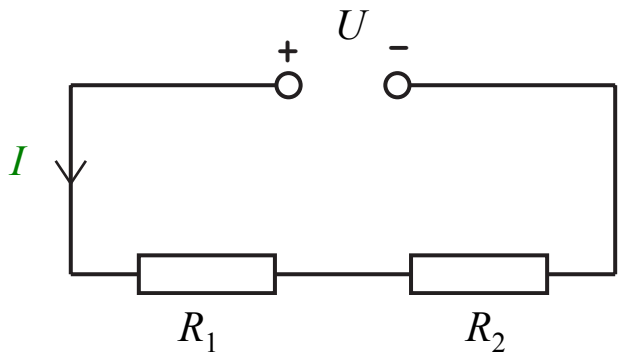
Ersättningsresistans för ett antal motstånd (i en krets)

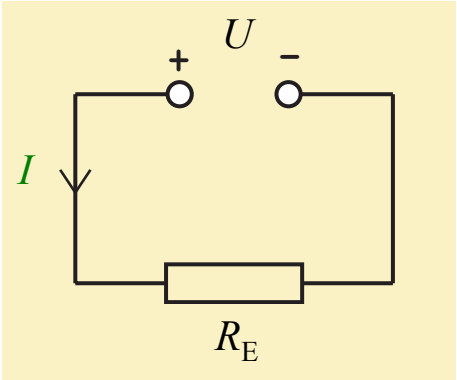
$$R_E = R_1 + R_2$$

(seriekoppling)

Ersättningsresistans

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



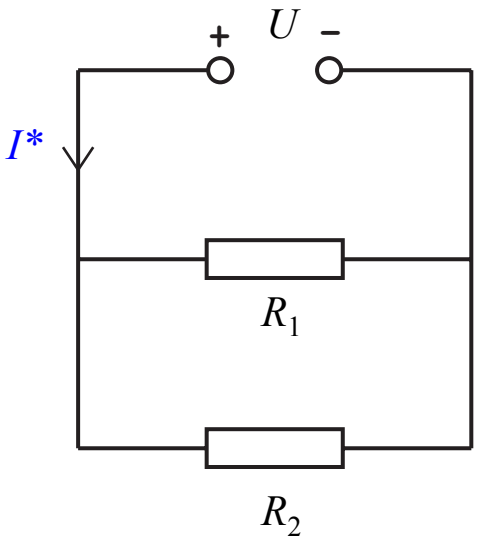


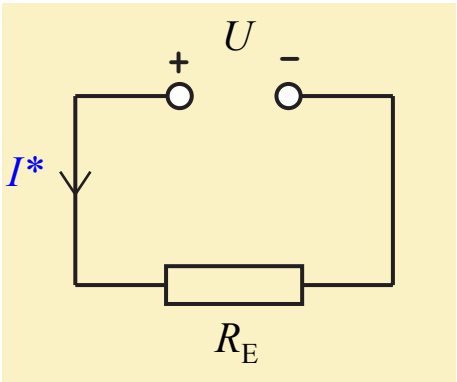
Ersättningsresistans

för ett antal motstånd (i en krets)

$$R_E = R_1 + R_2$$

(seriekoppling)





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

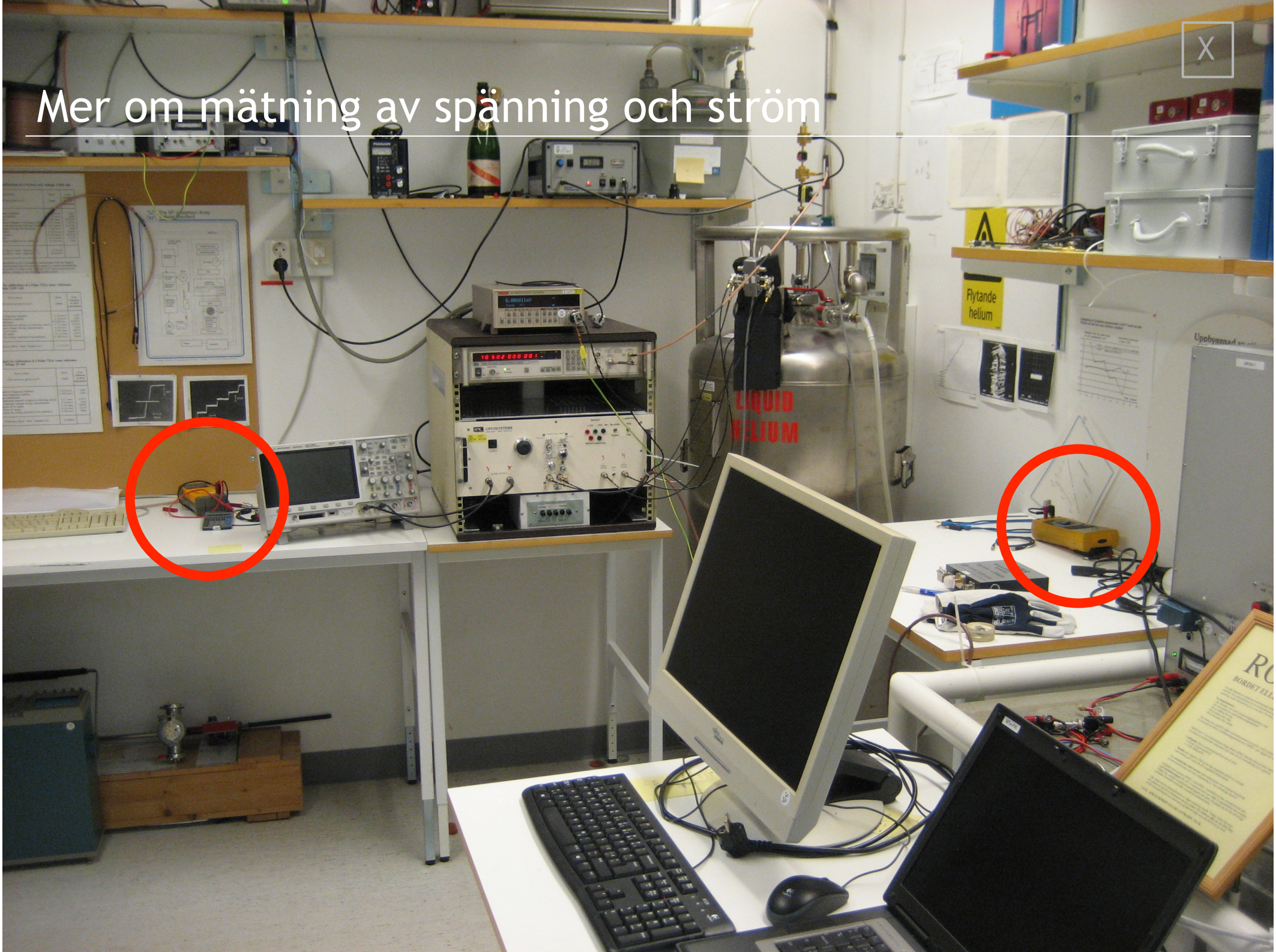
(parallellkoppling)

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

2) Bestäm huvudström I. 3) Bestäm delspänningar.

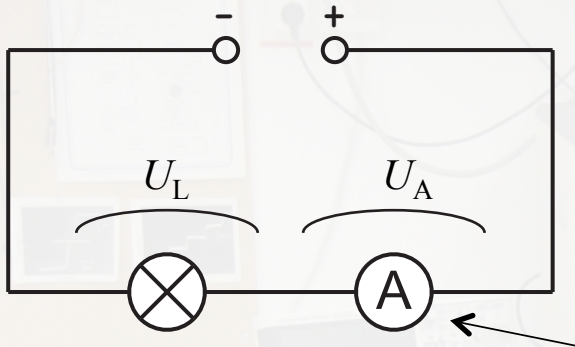
Mer om mätning av spänning och ström

Mer om mätning av spänning och ström

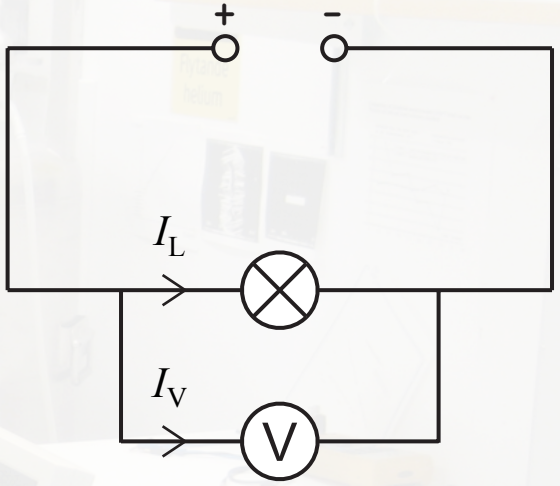


Mer om mätning av spänning och ström

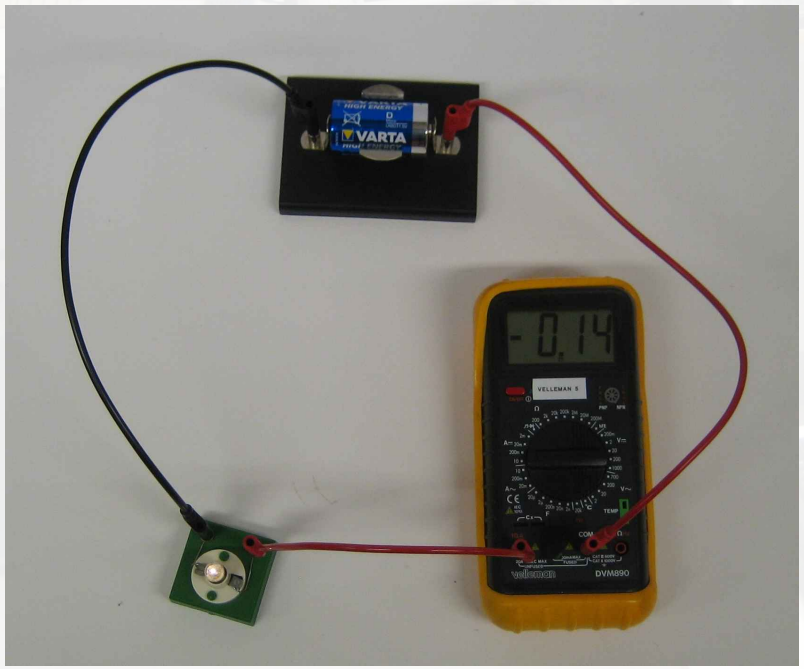
Mätinstrument ska helst inte märkas!



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



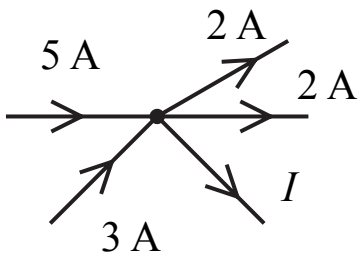
En bra voltmeter har stor resistans (så att $I_V \approx 0$)



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

Kirchhoffs lagar

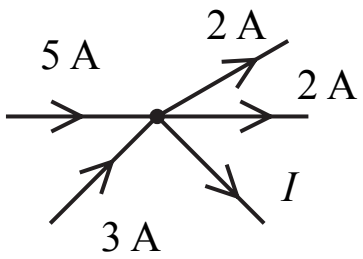
1. I en förgreningspunkt: “Σ(ström in) = Σ(ström ut)”



[17]

Kirchhoffs lagar

1. I en förgreningspunkt: “Σ(ström in) = Σ(ström ut)”

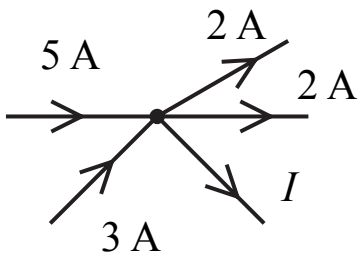


$$I = 4\,\text{A} \quad (= 8\,\text{A} - 2\,\text{A} - 2\text{A})$$

[17]

Kirchhoffs lagar

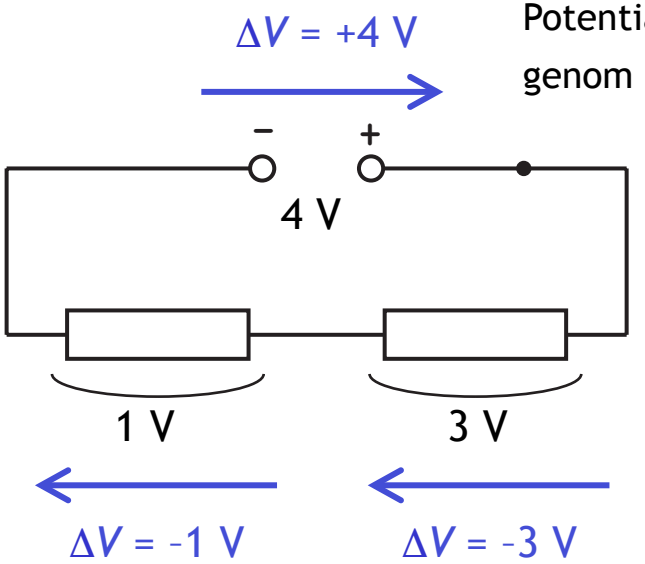
1. I en förgreningspunkt: "Σ(ström in) = Σ(ström ut)"



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

[17]

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



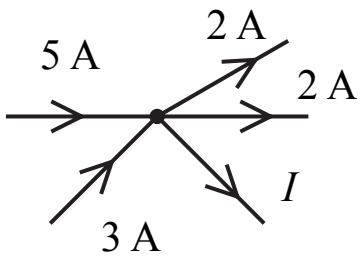
Potentialen *ökar* när vi går *från minuspol till pluspol* genom en spänningskälla (ökningen = polspänningen).

-3 V - 1 V + 4 V = 0 Stämmer!

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

Kirchhoffs lagar

1. I en förgreningspunkt: “Σ(ström in) = Σ(ström ut)”

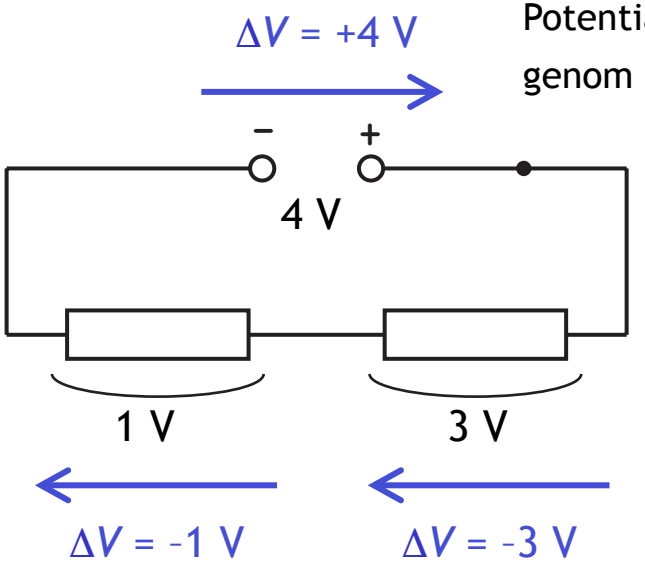


Gustav Robert Kirchhoff

[17]

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

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 V - 1 V + 4 V = 0 Stämmer!

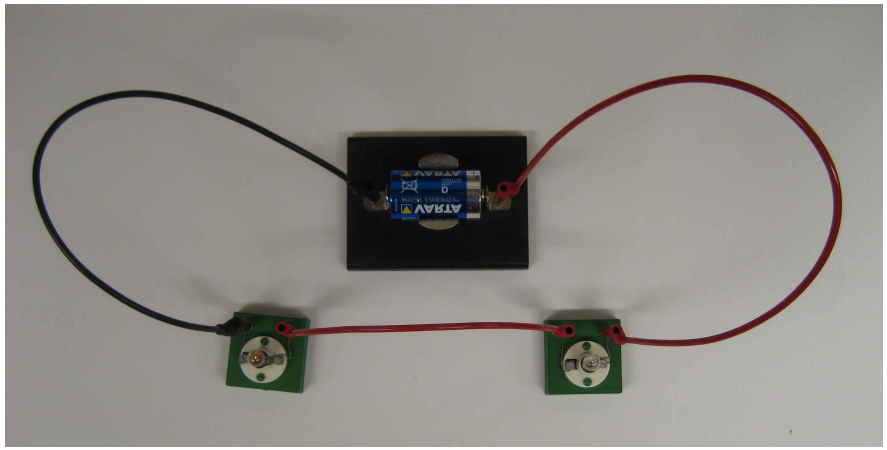
Potentialen *minskar* när vi går *i strömriktningen* genom ett motstånd (minskningen = spänningen över motståndet).

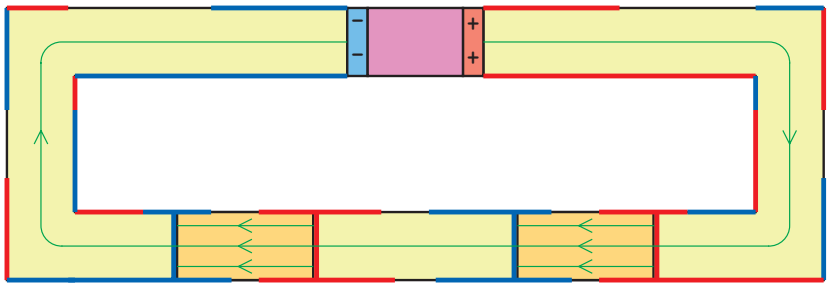
Süßwaren
Gebrannte Mandeln
Magenbrot
Nougat
Fürstenstube
Elektro-Müller

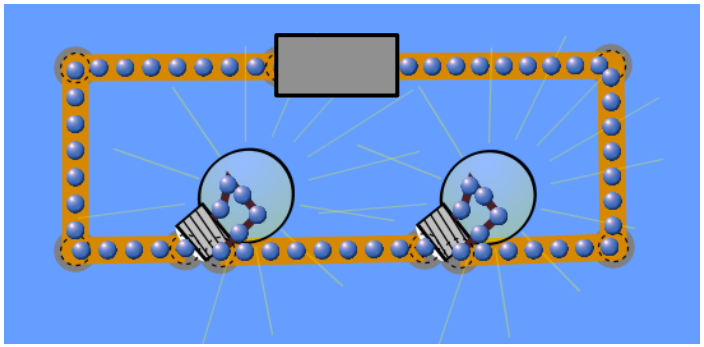
IN DIESEM HAUSE HAT
KIRCHHOFF
1859 SEINE MIT BUNSEN BEGRÜNDETE
SPEKTRALANALYSE
AUF SONNE UND GESTIRNE GEWANDT
UND DAMIT DIE CHEMIE DES WELTALLS
ERSCHLOSSEN

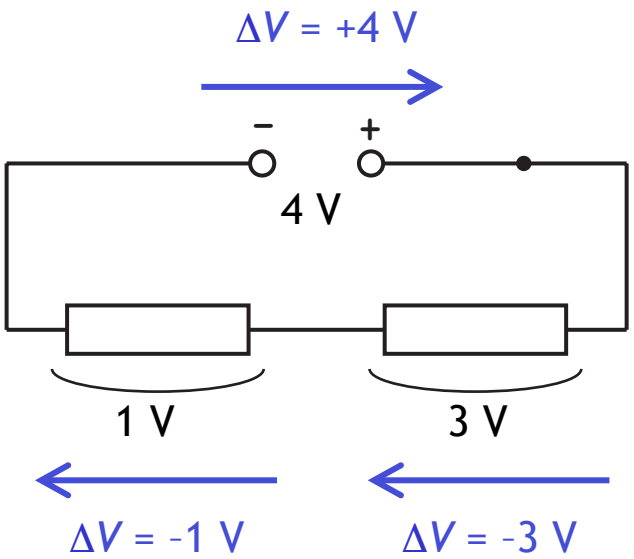
Allmänt om fysik

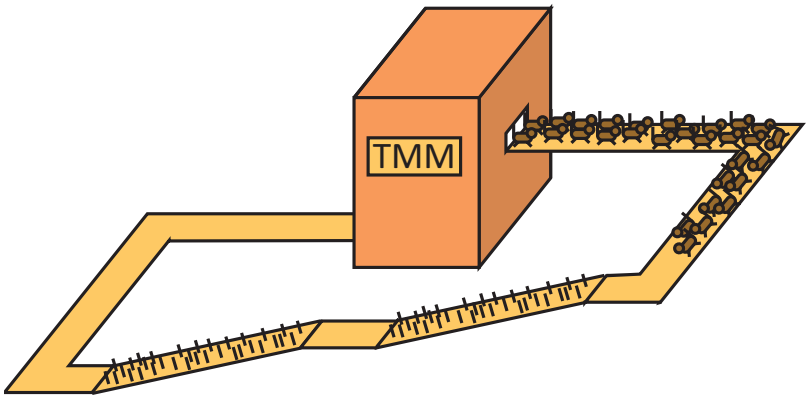
Komplicerade fenomen kan förstås på olika nivåer





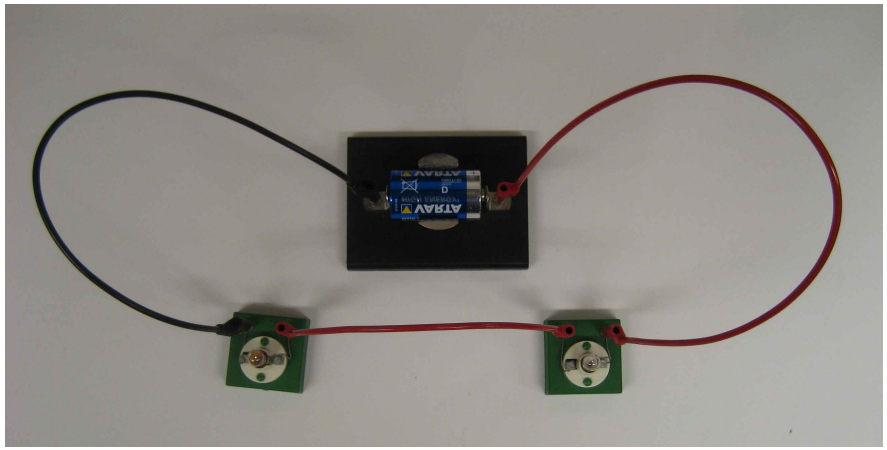


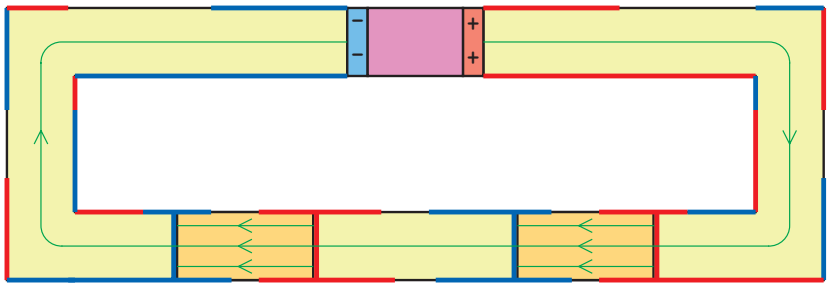


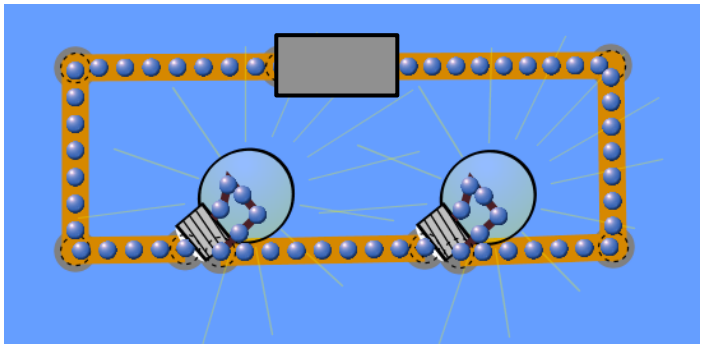


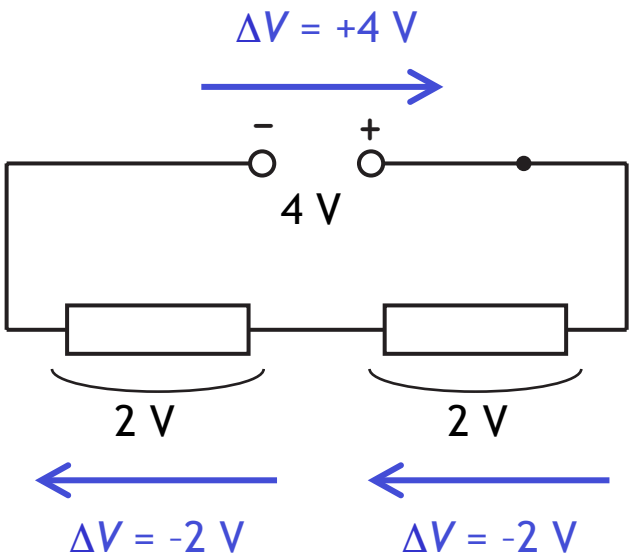
Allmänt om fysik

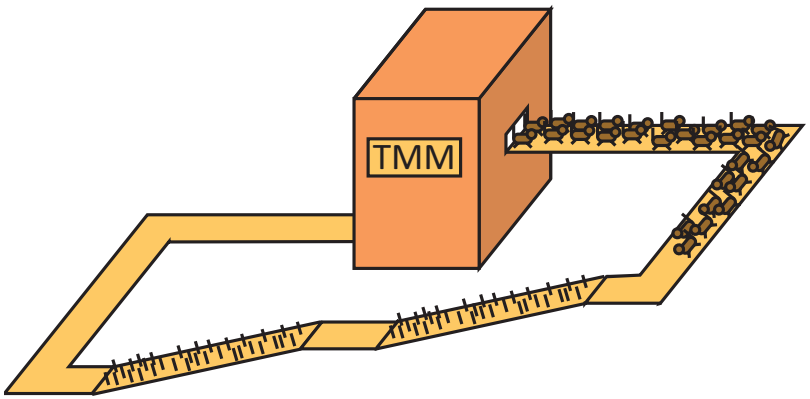
Komplicerade fenomen kan förstås på olika nivåer



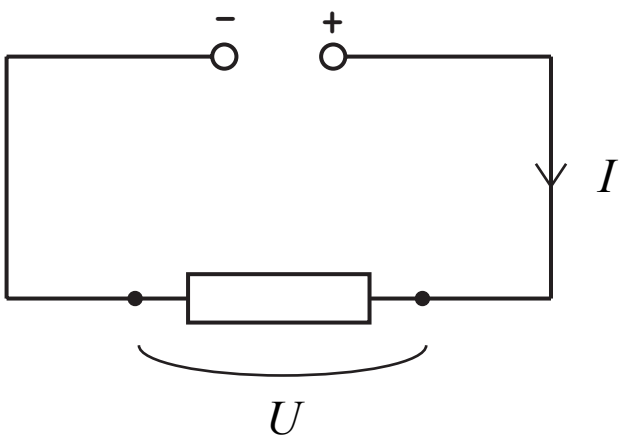








Elektrisk effekt



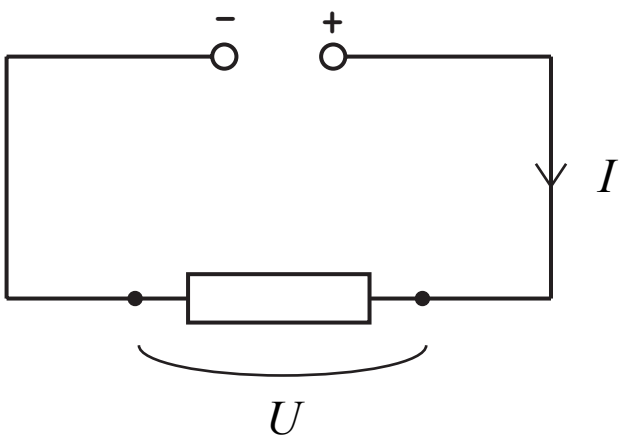
Ex: Antag $I = 0{,}5$ A och $U = 6$ V. På tiden $t = 60$ s passerar då laddningsmängden

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

genom motståndet.

I motståndet: Elektrisk lägesenergi → inre energi, strålningsenergi

Elektrisk effekt



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

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

genom motståndet. Energiomsättningen i motståndet är

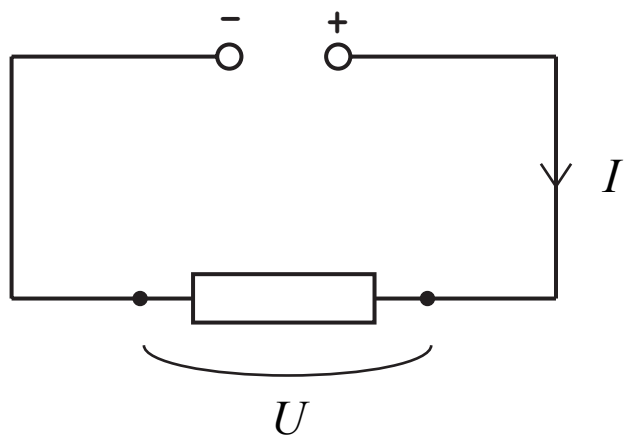
$$\Delta W = UQ = 6 \cdot 30 \text{ J} = 180 \text{ J}$$

Utvecklad effekt:

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

I motståndet: Elektrisk lägesenergi → inre energi, strålningsenergi

Elektrisk effekt



Ex: Antag $I = 0{,}5$ A och $U = 6$ V. På tiden $t = 60$ 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:

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

I motståndet: Elektrisk lägesenergi → inre energi, strålningsenergi

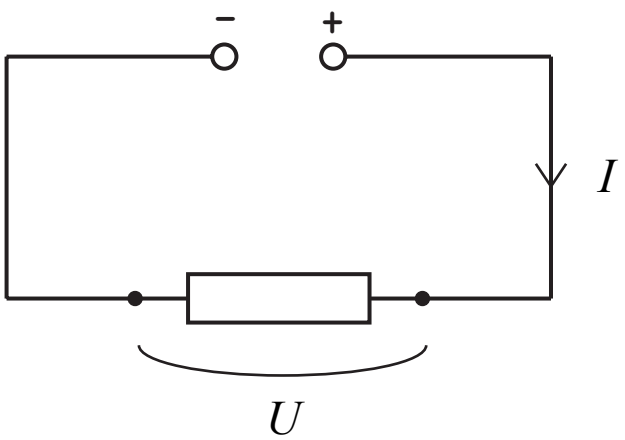
Utvecklad effekt (i motstånd eller annan komponent):

$$\boxed{P = UI}$$

← strömmen genom komponenten

↑ spänningen över komponenten

Elektrisk effekt



Ex: Antag $I = 0{,}5$ A och $U = 6$ V. På tiden $t = 60$ 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:

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

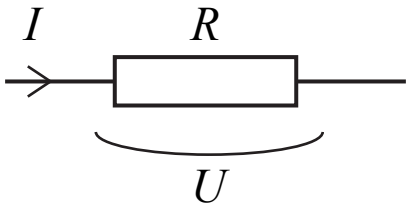
I motståndet: Elektrisk lägesenergi → inre energi, strålningsenergi

Utvecklad effekt (i motstånd eller annan komponent):

$$\boxed{P = UI}$$

← strömmen genom komponenten

↑ spänningen över komponenten



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

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

Källor

Ej färdigt!

[1] PSSC Coulomb's law (https://www.youtube.com/watch?v=o1kKGeLE1xI)
[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)
[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
[13] https://en.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta
[14] https://en.wikipedia.org/wiki/Tempio_Voltiano
[15] https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_(electricity)
[16] https://en.wikipedia.org/wiki/André-Marie_Ampère