

Eðlisfræði II:

Rafhleðsla og rafsvið

Kaflí 1

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

2. vika vor 2016

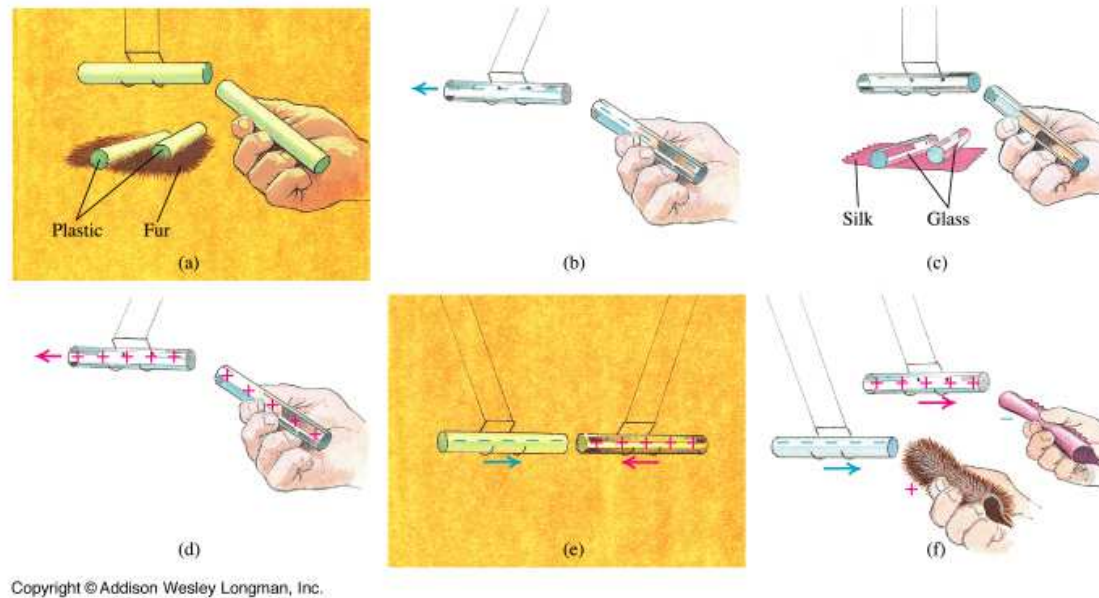
Rafsegulkraftar

- **Rafsegulvíxlverkun** verður á milli agna sem hafa **rafhleðslu**
- Eins og hlutir sem hafa massa verða fyrir hröðun vegna þyngdarkrafta, verða rafhlaðnir hlutir fyrir hröðun vegna **rafkrafta**
- **Rafstraumur** er einfaldlega straumur hlaðinna agna sem flæðir vegna áhrifa rafkrafta
- Þegar hleðslur eru í hvíld í viðmiðunarkerfi okkar, þá verkar **rafstöðukraftar** á milli þeirra
- Rafsegulkraftar halda efnun saman

Rafsegulkraftar

- Sterki kjarnakrafturinn heldur kjarna atóma saman (mjög skammdrægur) en atóm tengjast saman vegna rafsegulkrafta
- Rafsegulkraftur er miklu sterkari en þyngdarkrafturinn en skýling dregur úr áhrifum rafkrafta
- Við þurfum að skoða smásæja eiginleika efnis til að útskýra rafkrafta

Rafhleðsla

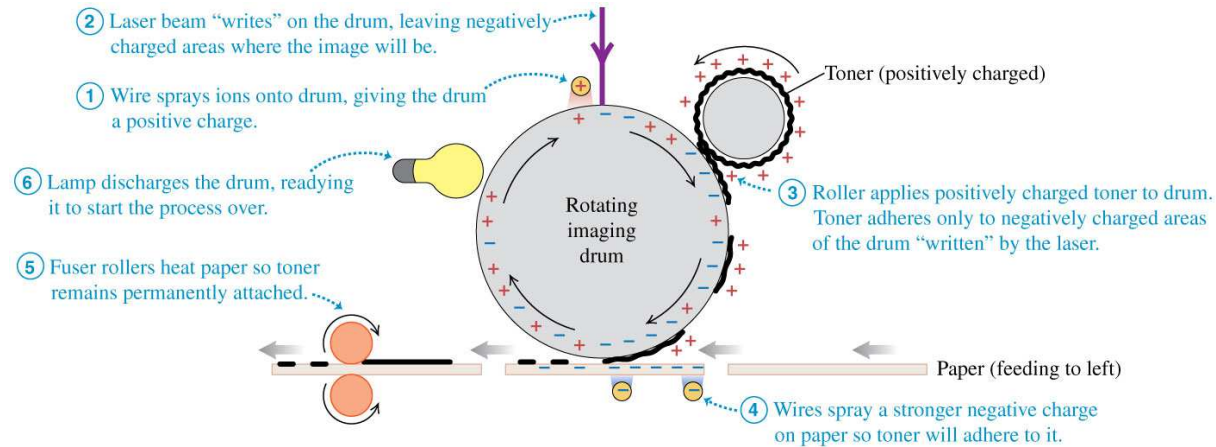


- Grikkir þekktu til rafhleðslu um 600 árum fyrir Krist
 - ef rafi (amber – steingerð trjákvöða) er nuddað saman við ull þá dregur það til sín aðra hluti

Rafhleðsla

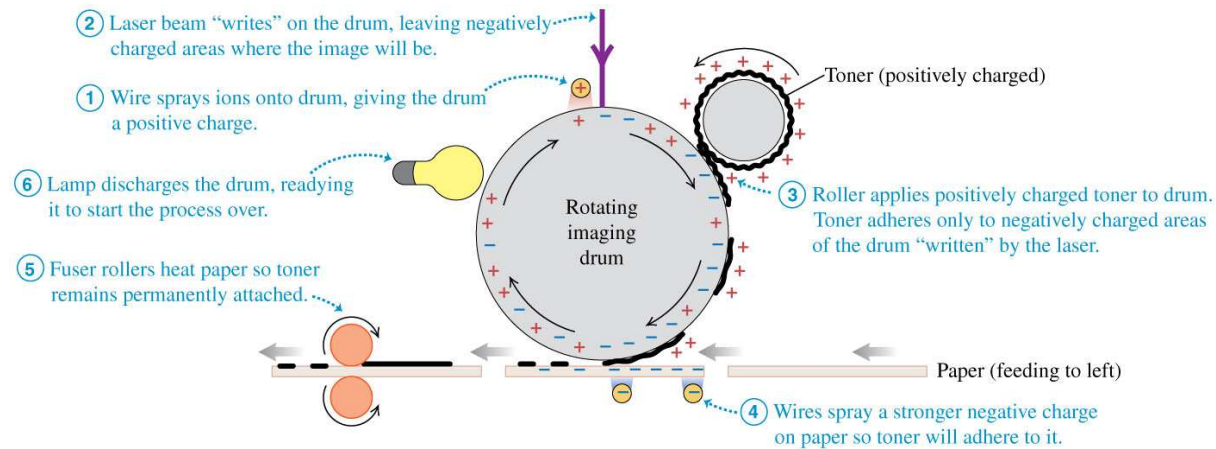
- Rafhleðsla varðveitist, eyðist ekki
- Forngríska orðið fyrir raf er elektron og þaðan kemur orðið electron
- Hvernig hleðst efni upp við snertingu ?
 - rafeindir í efninu færast frá öðru efninu yfir á hitt
 - yfirleitt er nettóhleðslan lítið brot ($< 10^{-12}$) af heildarhleðslu efnisins (rafeinda og róteinda)

Rafhleðsla



- Leysiprentari notar krafta milli hlaðinna hluta
- Ljósnaemt yfirborð tromlunar er hlaðið jákvæðri hleðslu
- Þegar tromlan snýst er skrifar leysigeisli á valin svæði á yfirborði tromlunnar og gerir þau neikvætt hlaðin

Rafhleðsla



© 2012 Pearson Education, Inc.

- Jákvætt hlaðnar agnir tónersins loða aðeins við þau svæði á yfirborði tromlunnar þar sem skrifað hefur verið með leysinum
- Þegar pappír kemst í snertingu við tromluna þá festast agnir tónersins við pappírinn

Rafhleðsla

- Rafeindir ferðast umhverfis þéttan kjarna sem samanstendur af róteindum (jákvætt hlaðnar) og nifteindum

- Hleðsla rafeindar er

$$-e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

- Hleðsla róteindar er

$$+e = +1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

- Orka rafeindanna (og hverfipungi) er skömmtuð og þær fylgja ákveðnum brautum (líkindadreifing) umhverfis kjarnana
- Þessar brautir kallast **hvel**, **svigrúm** eða **hvolf**

Rafhleðsla

- Rafeindir á brautum fjærst kjarna eru lausast bundnar við kjarnann og geta í sumum tilvikum flust á milli atóma
- Í föstum efnum eru það rafeindirnar sem binda saman atómin með svokölluðum efnatengjum
- Mismunandi tegundir slíkra tengja eru t.d.: **jónatengi** ($\text{Na}^+ \text{Cl}^-$), **málmtengi** og **samgild tengi** (e. covalent bonding)

Rafhleðsla

- Dæmi um þetta er demantur sem samanstendur af kolefnisatómum
 - kolefnisatóm hefur 6 rafeindir C: $1s^2 2s^2 2p^2$
 - rafeindir á svigrúmum $2s$ og $2p$ taka þátt í efnatengjum (samgild tengi)
 - hvert C atóm tengist fjórum grönnum með tvítengi
 - hvert C atóm leggur til eina rafeind til hvers tvítengis
 - rafeindir á svigrúmi $1s$ eru fast bundnar við sína atómkjarna og taka ekki þátt í efnatengjum
- Í demanti eru allar rafeindir bundnar við sín atóm eða í efnatengjum á milli þeirra
- Engar frjálsar rafeindir eru í demantkristalli þ.e. hann leiðir ekki straum og er því einangrari (e. insulator)

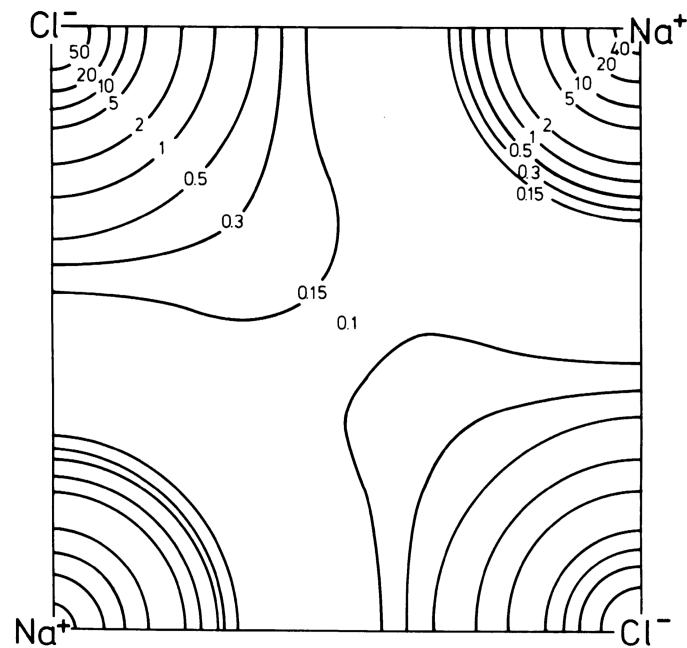
Rafhleðsla

- Samgildu tengin í demanti eru mjög sterk og hátt hitastig þarf til að rjúfa þau
- Aðrir einangrarar eru: gler (SiO_2) og ýmis plastefni
- Í leiðurum koma ekki allar rafeindir á ystu svigrúmum við sögu í efnatengjum, sem kölluð eru **málmtengi**
- Einhverjar rafeindir á ystu hvelum eru þess vegna laust bundnar við sín atóm og ferðast óhindrað um efnið
- Dæmi um málleiðni eru málmar eins og Fe, Cu Al, Ag, Au,....

Rafhleðsla

- Hálfleiðarar: Hreinir **hálfleiðarar** leiða ekki rafstraum og svipar til einangrara (líkt og demantur)
- Efnatengin eru á formi samgildra tengja
- Hins vegar er hægt að stýra leiðnini þeirra með íbót (e. doping)
- Íbætur breyta rafeindaskipan efnisins á þann hátt að hægt er að stýra leiðninni um ~ 12 stærðarþrep frá einangrara til leiðara
- Dæmi eru Si, GaAs, GaN, grafín ...

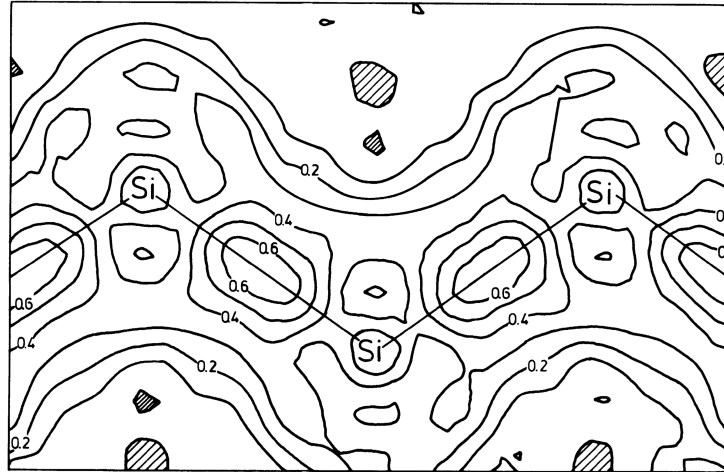
Rafhleðsla



Frá Ibach and Lüth (2009)

- Þéttleiki gildisrafeinda í dæmigerðum jónakristalli (NaCl)
- Rafieindirnar halda sig að mestu umhverfis jónirnar

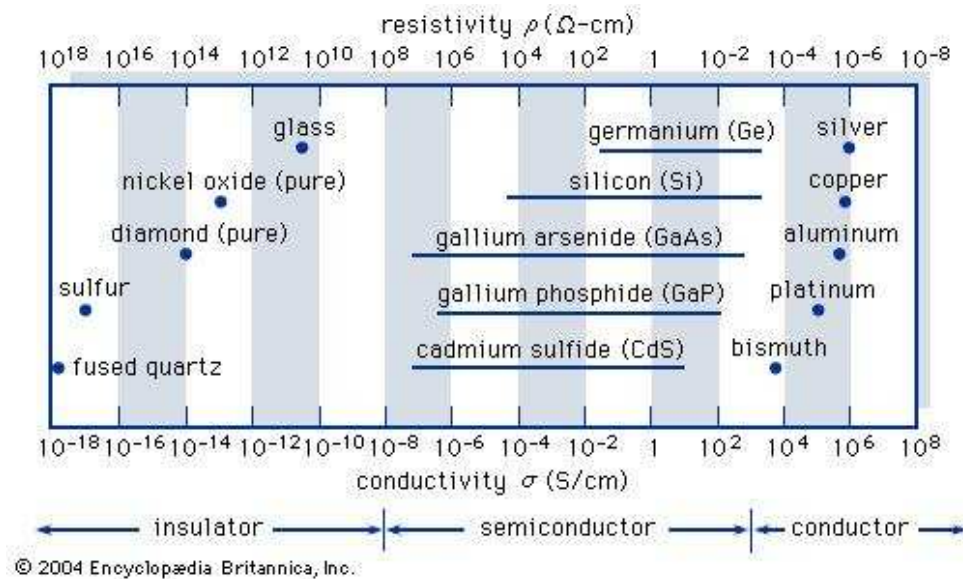
Rafhleðsla



Frá Ibach and Lüth (2009)

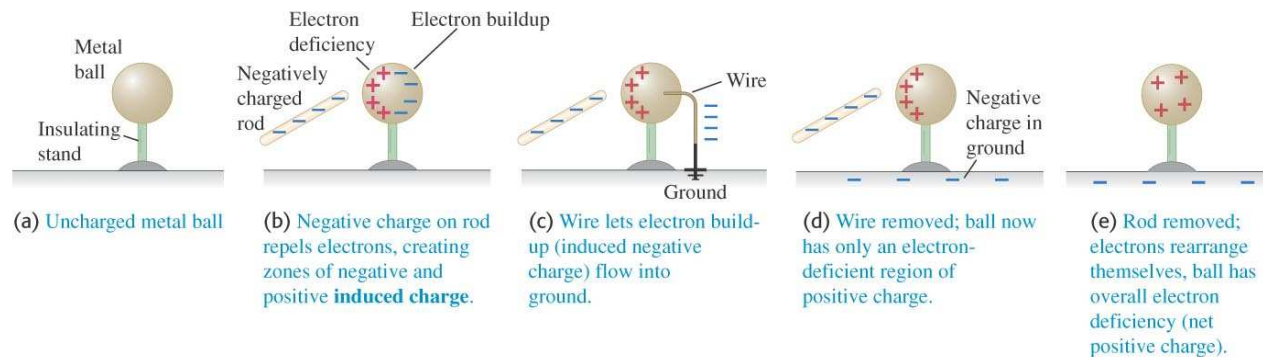
- Þéttleiki gildisrafeinda í dæmigerðum kristalli með samgildum tengjum (Si)
- Rafieindirnar eru á tengjunum á milli atómanna

Rafhleðsla



- Þessir mismunandi rafeiginleikar efna eru forsenda allrar rafeindatækni
- Hálfleiðarar, einangrarar og málmar eru notaðir í smárásum

Rafhleðsla



- Hægt er að breyta hleðsluástandi hluta án beinnar rafeindatilfærslu
- Það er nefnt **span** (e. induction)
- Hlaðið efni getur einnig dregið til sín hlut sem er óhlaðinn (og er jafnvel einangrari)
- Sameindir óhlaðna efnisins pólast vegna rafkraftsins frá hlaðna efninu
- Þessi pólung er mismikil og háð efninu sem á í hlut

Lögmál Coulomb

- Rafkrafti á milli tveggja punkthleðslna í fjarlægð r frá hvor annarri er lýst með **lögmáli Coulomb**

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

þar sem

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$$

er rafsvörunarstuðull lofttæmis

- Þá er

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

- Þetta samband gildir í lofttæmi en ekki í efni
- Hins vegar er þetta mjög góð nálgun fyrir andrúmsloft

Lögmál Coulomb

- Samlagningarlögmál
 - Kraftur vegna einnar hleðslu er óháður öðrum hleðslum

⇒ Dæmi 1.1.

⇒ Dæmi 1.2.

⇒ Dæmi 1.3.

Lögmál Coulomb

- Berum nú saman rafkrafta og þyngdarkrafta
- Gerum ráð fyrir α -ögn, He kjarni af massa $m = 6.64 \times 10^{-27}$ kg og hleðslu $q = +2e = 3.2 \times 10^{-19}$ C
- Rafkraftur milli tveggja slíkra agna er

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}$$

og þyngdarkrafur á hvora ögn er

$$F_g = G \frac{m^2}{r^2}$$

þar sem $G = 6.67 \times 10^{-11}$ Nm²/kg² er **þyngdarfastinn**

Lögmál Coulomb

- Við sjáum að

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 G} \frac{q^2}{r^2}$$

eða

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{1}{4\pi \cdot 8.85 \times 10^{-12} \cdot 6.67 \times 10^{-11}} \frac{(3.2 \times 10^{-19})^2}{(6.64 \times 10^{-27})^2} = 3.1 \times 10^{35}$$

- Þyngdarkraftur á milli α -agnanna eru hverfandi
- Þetta gildir fyrir víxlverkun atóma
- Fyrir stærri hluti er heildarhleðslan jafnan mjög lítil og þá eru áhrif þyngdarkrafta meiri
- Athuga að það eru kjarnakraftar sem halda α -ögn saman

Rafsvið og rafkraftar

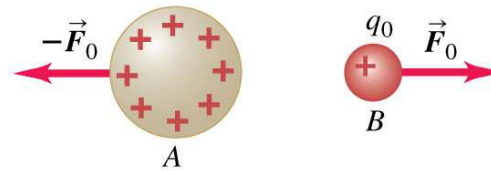
- Rafkrafti á milli hlaðinna agna er jafnan lýst með rafsviði (e. electric field)
- Rafsvið frá hleðslu Q er fundið með hjálp “ímyndaðrar” tilraunahleðslu q_0 (e. test charge)
- Rafsvið frá hleðslu A í punkti P er

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_0}{q_0}$$

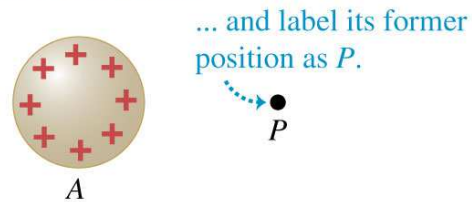
sem er kraftur á hleðslueiningu frá hleðslu A sem verkar á tilraunahleðslu í P

Rafsvið og rafkraftar

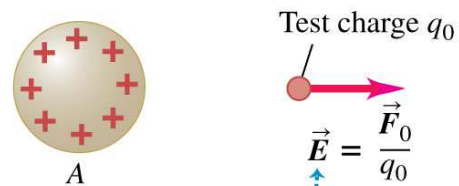
(a) *A* and *B* exert electric forces on each other.



(b) Remove body *B* ...



(c) Body *A* sets up an electric field \vec{E} at point *P*.



\vec{E} is the force per unit charge exerted by *A* on a test charge at *P*.

Rafsvið og rafkraftar

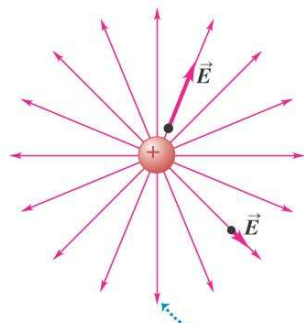
- Rafsvið frá punkthleðslu

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

- Raunverulegar hleðslur má oft nálga sem punkthleðslur ef r er stórt (\gg radíi agnarinnar)
- Samlagningarreglan gildir á sama hátt og fyrir rafkrafta
- Fyrst reiknum rafsvið frá einstökum hleðslum og leggjum síðan saman og fáum heildarrafsviðið

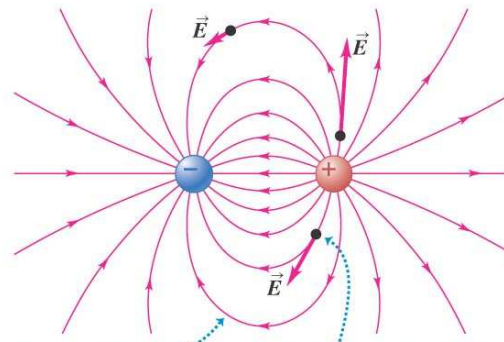
Rafsviðslínur

(a) A single positive charge



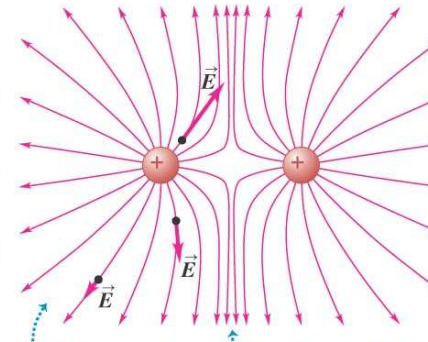
Field lines always point away from (+) charges and toward (-) charges.

(b) Two equal and opposite charges (a dipole)



At each point in space, the electric field vector is tangent to the field line passing through that point.

(c) Two equal positive charges



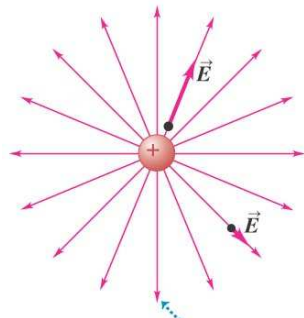
Field lines are close together where the field is strong, farther apart where it is weaker.

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

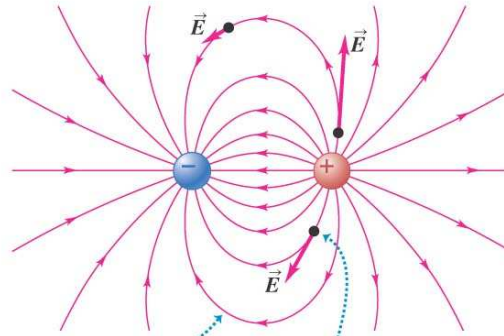
- Rafsvið er oft sýnt myndrænt með **rafsviðslínunum**
- Rafsviðslínurnar eru þá oft teiknaðar frá + hleðslu til - hleðslu

Rafsviðslínur

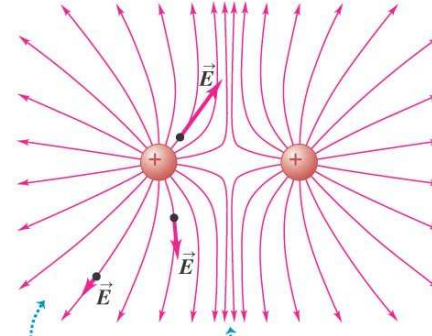
(a) A single positive charge



(b) Two equal and opposite charges (a dipole)



(c) Two equal positive charges



Field lines always point away from (+) charges and toward (-) charges.

At each point in space, the electric field vector is tangent to the field line passing through that point.

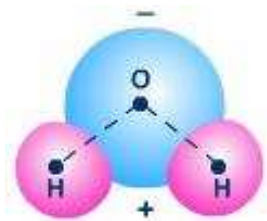
Field lines are close together where the field is strong, farther apart where it is weaker.

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

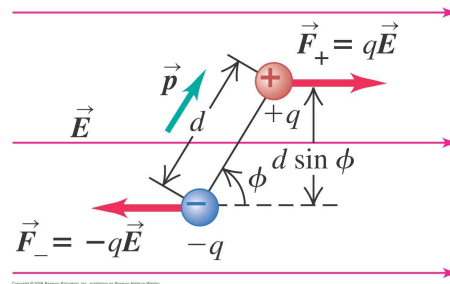
- Stefna rafsviðsins í sérhverjum punkti er snertill (e. tangent) við rafsviðslínuna í gegnum punktinn
- Sviðsstyrkur er í réttu hlutfalli við þéttleika línanna
- Athuga að rafsviðslínur lýsa ekki brautum rafeinda (hlaðinna agna) – þær fylgja almennt ekki rafsviðslínum

Raftvískaut

- Raftvískaut samanstendur af tveimur punkthleðslum sem hafa sama formerki og eru í fjarlægð d frá hvorri annarri
- Hægt er að lýsa rafeiginleikum fjölmargra efna og sameinda með raftvískautum (loftnet eru dæmi um raftvískaut)
- Vatnssameind er dæmi um raftvískaut



Raftvískaut



- Skoðum nú raftvískaut í einsleitu ytra rafsviði E
- heildarkraftur á tvískautið er 0
- Á tvípólin verkar hins vegar kraftvægi sem leitast við að beina tvípólnum í stefnu rafsviðsins – þetta kraftvægi má rita

$$\tau = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$$

þar sem \mathbf{p} er **raftvípólsvægið** og kraftvægið τ stefnir inn í myndina

Raftvískaut

- Raftvípólsvægið er mælt í hleðslu sinnum vegalengd [C m]
- Almennt er rafvípólsvægið vigurstærð \mathbf{p}
- Út frá miðju tvípóls er

$$\tau = pE \sin \phi = qdE \sin \phi$$

- Til samanburðar þá er í aflfræði

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

⇒ Dæmi 1.4.

⇒ Dæmi 1.5.

⇒ Dæmi 1.6.

Raftvískaut

- Örbylgjuofnar byggja á tvíþólshegðun vatnssameinda
- Þá er notast við riðspennu með tíðni 2.45 GHz
- Rafsviðið verkar á vatnssameindina (tvískaut) sem leitast við að lækka mættisorku sína, þ.e. tvíþóllinn leitar í stefnu rafsviðsins hverju sinni
- Sveiflur vatnssameinda auka árekstrartíðni á milli þeirra og orka losnar sem varmi

Raftvískaut

- Rafsvið mælt langt fá upptökum:

- Raftvískaut

$$E \propto r^{-3}$$

- Rafhleðsla

$$E \propto r^{-2}$$

- Löng hleðslulína

$$E \propto r^{-1}$$

- Fyrir stóra plötu er rafsviðið óháð r

- Í rafstöðufræðum ríkir kraftjafnvægi og engar hleðslur eru á hreyfingu
- Ef rafsvið væri innan leiðar myndu hleðslur reka af völdum rafsviðsins
- Í rafstöðufræði er þess vegna $E = 0$ innan leiðara

Frekari upplýsingar

- Þessi kafli er að mestu byggður á kafla 21 hjá Young and Freedman (2015).

Heimildir

Ibach, H. and H. Lüth (2009). *Solid-State Physics: An Introduction to Principles of Materials Science* (4 ed.). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Young, H. D. and R. A. Freedman (2015). *University Physics with Modern Physics* (14 ed.). Harlow, England: Pearson Education.