Eðlisfræði II:

Uppsprettur segulsviðs

Kafli 8

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

7. vika vor 2016

Inngangur

- Við vitum að hleðsla leiðir til rafsviðs og að rafsvið veldur því að kraftur verkar á hleðslu
- En segulsvið veldur krafti sem aðeins verkar á hleðslur sem eru á hreyfingu
- Á sama hátt sjáum við að aðeins hleðslur sem eru á hreyfingu leiða til segulsviðs

Segulsvið frá hleðslu á hreyfingu

- Skoðum nú segulsviði frá einni punkthleðslu q sem ferðast með föstum hraða $\mathbf{v}$
- Við nefnum staðsetningu hleðslunnar á hverju augnabliki uppsprettu og punktinn P þar sem við finnum sviðið sviðspunkt
- Tilraunir sýna að styrkur segulsviðsins $\mathbf{B}$ er í réttu hlutfalli við q og í öfugu hlutfalli við r^2
- Stefna segulsviðsins er hins vegar ekki í stefnuna frá uppsprettu til sviðspunktsins
- Þess í stað er $\mathbf{B}$ hornrétt á planið sem inniheldur þessa línu og hraðavigur hleðslunnar

Segulsvið frá hleðslu á hreyfingu

- Að auki er segulsviðið B líka í réttu hlutfalli við hraða hleðslunnar v og sinus af horninu ϕ
- Segulsviðsstyrkurinn í punktinum P er þá

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{|q| v \sin \phi}{r^2}$$

- Stærðin μ_0 er nefnd **segulstuðull** (e. magnetic constant)

Segulsvið frá hleðslu á hreyfingu

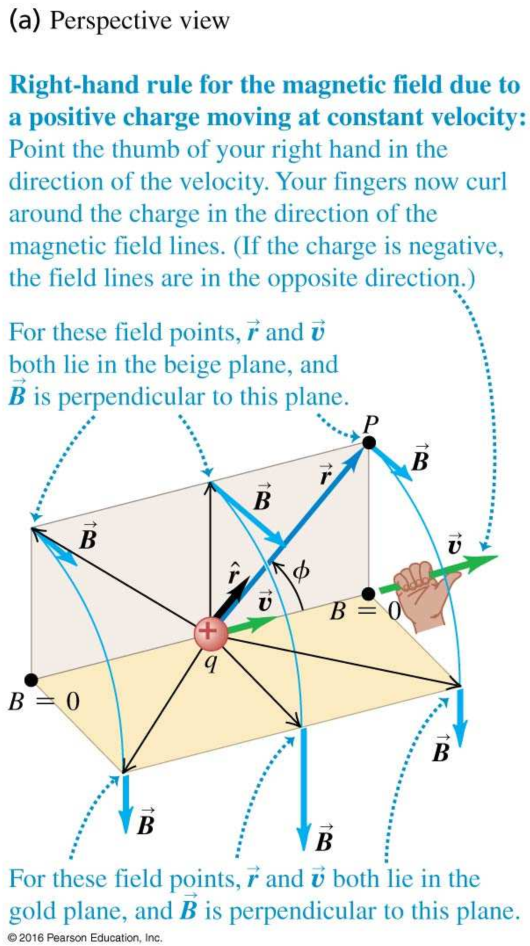
- Við getum sett þetta fram á vigurformi
- Við innleiðum vigurinn $\hat{\mathbf{r}}$ sem bendir frá uppsprettunni til sviðspunktsins

$$\hat{\mathbf{r}} = \frac{\mathbf{r}}{r}$$

- Þá er

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\mathbf{v} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Segulsvið frá hleðslu á hreyfingu



Segulsvið frá hleðslu á hreyfingu

- Einingin á segulsviðinu B er tesla [T]

$$1\ \mathrm{T} = 1\ \mathrm{Ns/Cm} = 1\ \mathrm{N/Am}$$

- Ef að við notum þetta getum við fundið eininguna á segulstuðlinum μ_0

$$1\ \mathrm{Ns^2/C^2} = 1\ \mathrm{N/A^2} = 1\ \mathrm{Wb/Am} = 1\ \mathrm{Tm/A}$$

- Í SI einingum er

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{Ns^2/C^2} = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{Wb/Am} = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{Tm/A}$$

- Fastinn $1/4\pi\epsilon_0$ er tengdur ljóshraðanum c samkvæmt

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = (10^{-7}\ \mathrm{Ns^2/C^2})c^2$$

Segulsvið frá hleðslu á hreyfingu

- Síðar þegar við skoðum rafsegulbylgjur finnum við að útbreiðsluhraði þeirra í lofttæmi er hinn sami og ljóshraðinn eða

$$c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$$

- Þið sjáið hér að rafsvið og segulsvið tengjast náið í eiginleikum ljóss

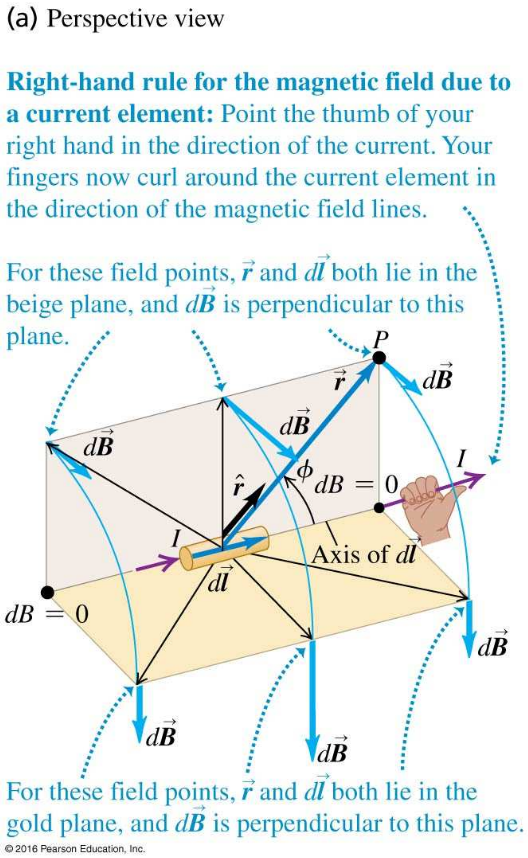
$\Longrightarrow$ Dæmi 8.1.

Segulsvið og straumur

- Heildar segulsviðið sem stafar af nokkrum hleðslum á hreyfingu er vigursumma sviðins sem stafar frá öllum hleðslunum
- Við byrjum á því að skoða segulsviðið sem stafar frá straumberandi leiðarabút af lengd $\mathrm{d}\ell$
- Rúmmál bútsins er $A\mathrm{d}\ell$, þar sem A er þverskurðarflatarmál leiðarans
- Ef það eru n hlaðar agnir á hreyfingu á rúmmálseiningu sem sérhver hefur hleðsluna q þá er heildar hleðslan sem er á hreyfingu

$$\mathrm{d}Q = nqA\mathrm{d}\ell$$

Segulsvið og straumur



Segulsvið og straumur

- Hleðsluhreyfingin í þessu bút svarar til þess að ein hleðsla $\mathrm{d}Q$ ferðist með rekhraðanum $\mathbf{v}_\mathrm{d}$
- Þetta veldur segulsviði

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{|\mathrm{d}Q|v_\mathrm{d}\sin\phi}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{n|q|v_\mathrm{d}A\mathrm{d}\ell\sin\phi}{r^2}$$

  í sérhverjum sviðspunkti P

- Við vitum að $n|q|v_\mathrm{d}A = I$ svarar til straumsins í bútnum svo að

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\ell\sin\phi}{r^2}$$

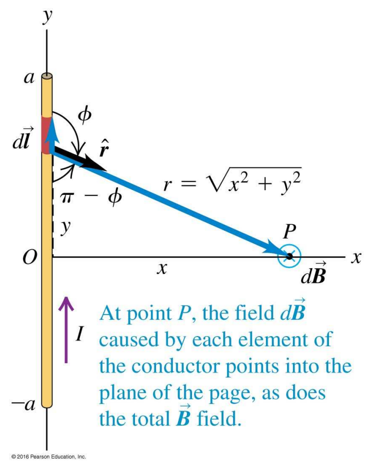
Segulsvið og straumur

- Á vigurformi er þetta
$$\mathrm{d}\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \mathrm{d}\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{r}}{r^2}$$
þar sem $\mathrm{d}\boldsymbol{\ell}$ er vigur af lengd $\mathrm{d}\ell$ sem er í stefnu straumsins

- Þessi jafna er nefnd **lögmál Biot og Savart**

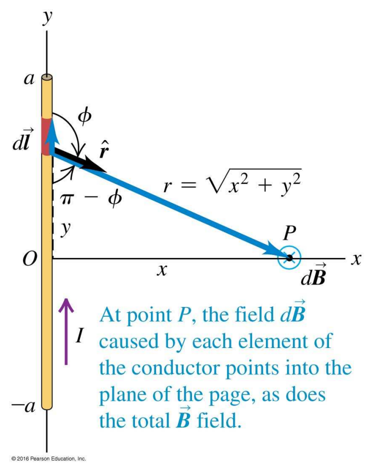
- Við getum notað þetta lögmál til að finna heildar segulsviðsins með því að tegra yfir alla bútana $\mathrm{d}\ell$ sem bera strauminn
$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I \mathrm{d}\boldsymbol{\ell} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Segulsvið umhverfis straumberandi leiðara



- Beitum nú lögmáli Biot og Savart til að finna segulsviðið myndað umhverfis beinan straumberandi leiðara
- Slíkur leiðari af lengd $2a$ er sýndur á myndinni og hann ber strauminn I
- Við finnum segulsviðið $\mathbf{B}$ í staðsetningunni x frá leiðaranum

Segulsvið umhverfis straumberandi leiðara



- Fyrst finnum við sviðið $\mathrm{d}\mathbf{B}$ sem stafar örsmæð leiðarans af lengd $\mathrm{d}\ell = \mathrm{d}y$
- Við sjáum að $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ og að $\sin\phi = \sin(\pi - \phi) = x/\sqrt{x^2 + y^2}$
- Stefnan á $\mathrm{d}\mathbf{B}$ er inn í plan myndarinnar hornrétt á planið og allar örsmæðirnar $\mathrm{d}\mathbf{B}$ hafa sömu stefnu

Segulsvið umhverfis straumberandi leiðara

- Styrkur heildar segulsviðsins er þá

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-a}^{a} \frac{x\mathrm{d}y}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$$

sem er tegrað

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{2a}{x\sqrt{x^2 + a^2}}$$

- Þegar lengd leiðarans $2a$ er mun stærri en fjarlægðin x frá punktinum P, þá má gera ráð fyrir að hann sé óendanlega langur

- Þegar $a \gg x$ er $\sqrt{x^2 + a^2} \approx a$, eða þegar $a \longrightarrow \infty$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

Segulsvið umhverfis straumberandi leiðara

- Það má líka rita
$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}y}{r^2}\sin\phi$$
sem oft er hentugra að rita með θ þannig að
$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}y}{r^2}\cos\theta$$
- Til þess að tegra megi yfir allar örsmæðir þurfum við að tengja breyturnar θ, r, og y
- Þá er
$$y = x\tan\theta$$

Segulsvið umhverfis straumberandi leiðara

- Þar með höfum við að

$$\mathrm{d}y = x\frac{1}{\cos^2\theta}\mathrm{d}\theta = x\frac{r^2}{x^2}\mathrm{d}\theta = \frac{r^2}{x}\mathrm{d}\theta$$

  þar sem við notum $1/\cos\theta = r/x$

- Þannig að við höfum

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{r^2}\frac{r^2\mathrm{d}\theta}{x}\cos\theta = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{x}\cos\theta\mathrm{d}\theta$$

Segulsvið umhverfis straumberandi leiðara

- Tegrið er tekið frá $\theta = \theta_1$ til $\theta = \theta_2$ þannig að

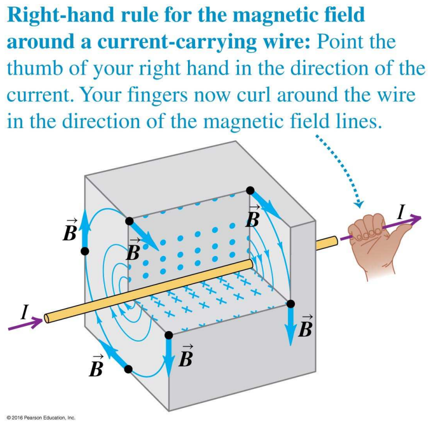
$$B = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{x} \cos\theta \mathrm{d}\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{x} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \cos\theta \mathrm{d}\theta$$

og þá

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{x} (\sin\theta_2 - \sin\theta_1)$$

$\Longrightarrow$ Dæmi 8.2.

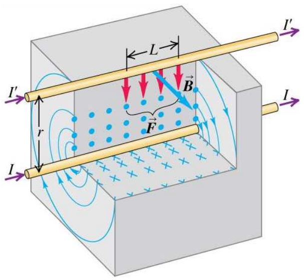
Segulsvið umhverfis straumberandi leiðara

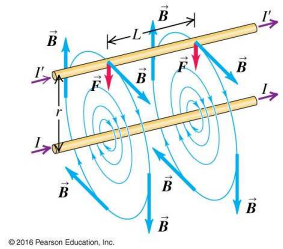


- Þetta segir að vegna samhverfu um y-ás sé segulsviðsstyrkurinn sá sami á hring umhverfis leiðara og stefnan á $\mathbf{B}$ er snertill við þennan hring
- Það er í öllum punktum hrings af radía r umhverfis leiðara er

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Kraftar milli samsíða leiðara





- Gerum ráð fyrir tveimur samsíða leiðurum sem eru aðskildir með vegalengdinni r og bera straumana I og I' sem renna í sömu stefnu
- Hvor leiðari liggur í segulsviðinu frá hinum svo að það verkar kraftur á milli þeirra
- Neðri leiðarinn á myndinni myndar segulsviðið $\mathbf{B}$ sem í staðsetningu efri leiðarans er

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Kraftar milli samsíða leiðara

- Krafturinn sem þetta svið veldur á leiðara af lengd L er

$$\mathbf{F} = I'\mathbf{L} \times \mathbf{B}$$

  þar sem vigurinn $\mathbf{L}$ er í stefnu straumsins I' og stærð L

- Þar sem $\mathbf{B}$ er hornréttur á leiðarann og þar með á $\mathbf{L}$, er stærð kraftsins

$$F = I'LB = \frac{\mu_0 I I' L}{2\pi r}$$

  og krafturinn á lengdareiningu er

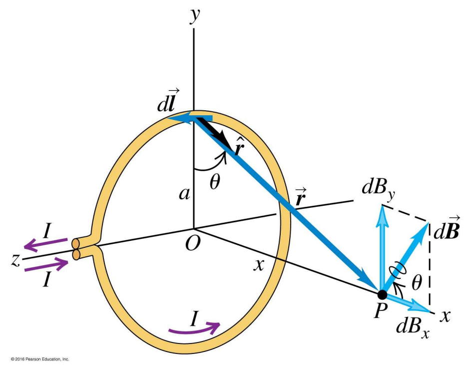
$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I I'}{2\pi r}$$

  og krafturinn sem verkar á efri leiðarann er niðurávið

Kraftar milli samsíða leiðara

- Samsíða leiðarar þar sem straumstefnan er sú sama dragast hvor að öðrum
- Samsíða leiðarar þar sem straumstefnurnar eru andstæðar hrinda hvor að öðrum frá sér
- Þessi kraftur sem verkar á milli samsíða leiðara er grunnurinn að skilgreiningunni á SI einingunni ampere
  - Eitt ampere er straumurinn sem, ef hann rennur um tvo óendanlega samsíða leiðara sem eru í 1 m fjarlægð hvor frá öðrum þá verkar kraftur sem nemur 2×10^{-7} newton á hvern lengdarmetra

Segulsvið um hringlaga straumlykkju



- Myndin sýnir hringlaga leiðara af radía a
- Straum er veitt inn og út úr lykkjunni með löngum leiðara
- Við beitum lögmáli Biot og Savat til að finna stærð segulsviðsins í punktinum P á ás lykkjunnar í fjarlægð x frá miðjunni
- Eins og myndin sýnir eru $\mathrm{d}\ell$ og $\hat{\mathbf{r}}$ hornréttar, og stefna sviðsins $\mathrm{d}\mathbf{B}$ vegna þessarar örsmæðar $\mathrm{d}\ell$ liggur í $xy-$planinu

Segulsvið um hringlaga straumlykkju

- Þar sem $r^2 = x^2 + a^2$, er stærð $\mathrm{d}\mathbf{B}$ vegna $\mathrm{d}\ell$ gefin með

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\mathrm{d}\ell}{x^2 + a^2}$$

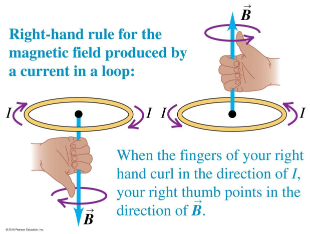
- Þættir vigursins $\mathrm{d}\mathbf{B}$ eru

$$\mathrm{d}B_x = \mathrm{d}B \cos\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\mathrm{d}\ell}{x^2 + a^2} \frac{a}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

$$\mathrm{d}B_y = \mathrm{d}B \sin\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\mathrm{d}\ell}{x^2 + a^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

- Heildar sviðið $\mathbf{B}$ hefur aðeins $x-$þátt, vegna þess að fyrir sérhverja örsmæð $\mathrm{d}\ell$ er annar þáttur af andstæðri stefnu sem eyðir $y-$þættinum

Segulsvið um hringlaga straumlykkju



- Til að finna $x-$þáttinn af heildar segulsviðinu er tegrað

$$B_x = \int \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{a d\ell}{(x^2+a^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I a}{4\pi(x^2+a^2)^{3/2}} \int d\ell$$

- Tegrunin er framkvæmd umhverfis hringinn

$$\int d\ell = 2\pi a$$

svo að

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2+a^2)^{3/2}}$$

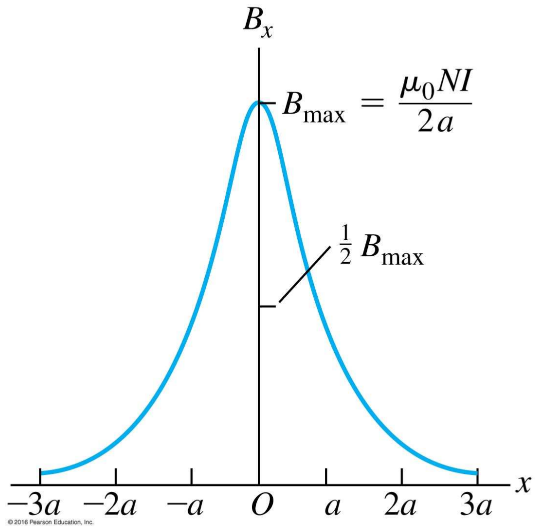
Segulsvið um hringlaga straumlykkju

- Gerum nú ráð fyrir að í stað einnar lykkju séum við með spólu sem samanstendur af N lykkjum sem allar hafa sama radía
- Ef þær eru allar á mikilli nálægð hvor við aðra, það er í sömu fjarlægð x frá punktinum P, þá er

$$B_x = \frac{\mu_0 N I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

- Þessi jafna er ástæðan fyrir að spóla en ekki ein lykkja er notuð til að mynda sterkt segulsvið

Segulsvið um hringlaga straumlykkju



- Myndin sýnir B_x sem fall af x, stærsta gildið er við $x = 0$

$$B_x = \frac{\mu_0 NI}{2a}$$

Lögmál Ampere

- Lögmál Gauss fyrir segulsvið segir að flæði segulsviðsins um lokað yfirborð er alltaf núll, óhað því hvort það er straumur um yfirborðið
- Þetta þýðir að lögmál Gauss fyrri segulsvið er ekki hægt að nota til ákvarða segulsvið sem er myndað með tiltekinni straumdreifingu
- Lögmál Ampere varðar ekki segulflæði en er línutegur af $\mathbf{B}$ um lokaða braut

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\ell$$

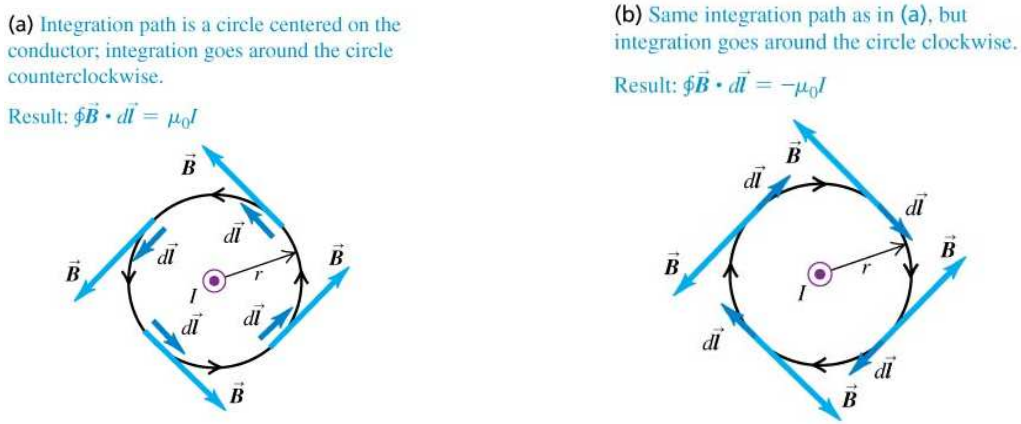
- Til að framkvæma þetta tegur skiptum við brautinni í örsmæðirnar $d\ell$, og reiknum innfeldi fyrir sérhverja örsmæð $\mathbf{B} \cdot d\ell$ og summum þær upp

Lögmál Ampere

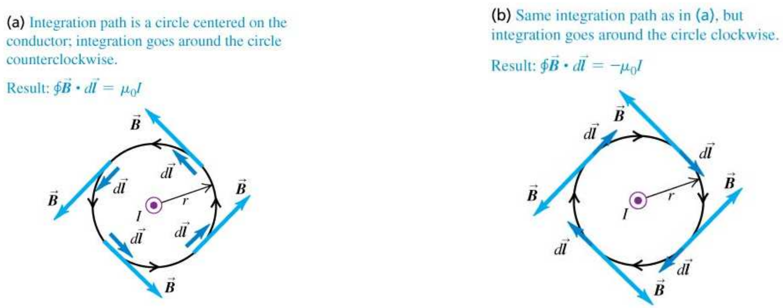
- Beitum þessu nú á langan beinan leiðara sem ber strauminn I
- Við höfum áður fundið að í fjarlægðinni r frá leiðaranum er segulsviðsstyrkurinn

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

- Segulsviðslínurnar eru hringir með miðjuna á leiðaranum
- Tökum nú línutegur um hring af radía a



Lögmál Ampere



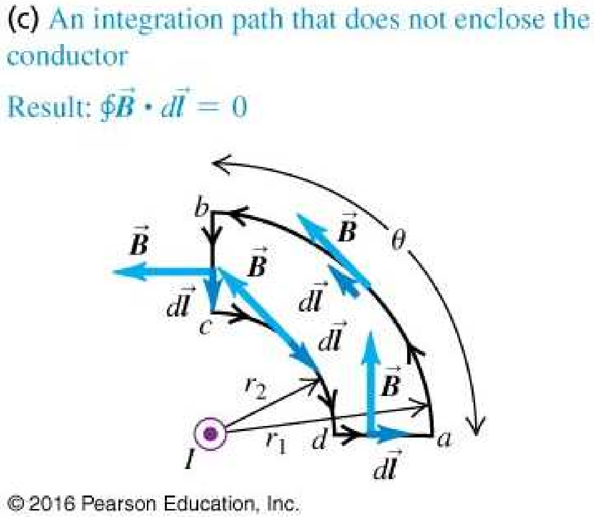
- Í sérhverjum punkti á hringnum er $\mathbf{B}$ og $\mathrm{d}\ell$ eru samsíða svo $\mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\ell = B\mathrm{d}\ell$, þar sem B er fasti um hringinn og r er líka fasti og við getum tekið B út fyrir tegrið

$$\oint \mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\ell = \oint B_{\|}\mathrm{d}\ell = B \cdot \mathrm{d}\ell = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}(2\pi r) = \mu_o I$$

  sem er óháð radía hringsins

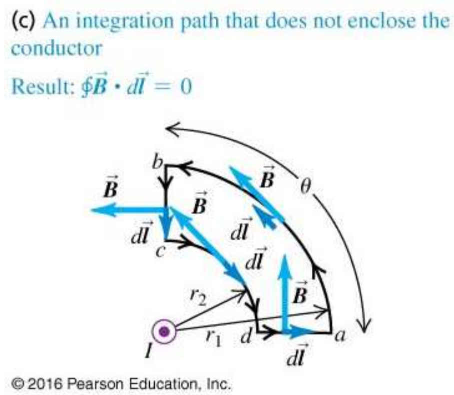
- Á mynd b) er línutegrið tekið í andstæða stefnu, $\mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\ell = -B\mathrm{d}\ell$, og niðurstaðan ú línutegrinu $-\mu_o I$

Lögmál Ampere



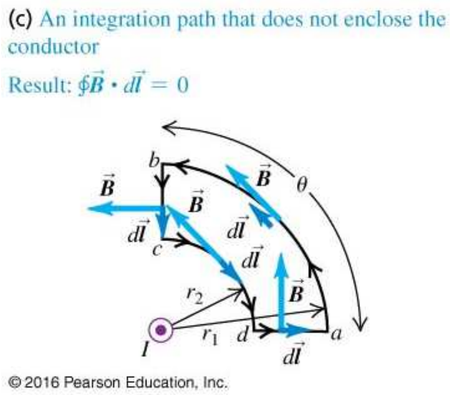
- Við sjáum tegurbraut sem ekki umlykur leiðarann hér að ofan
- Eftir boganum ab sem hefur radía r_1, eru $\mathbf{B}$ og $\mathrm{d}\ell$ samsíða og $B_{\|} = B_1 = \mu_0 I/2\pi r_1$,

Lögmál Ampere



- Eftir boganum cd sem hefur radía r_2, eru $\mathbf{B}$ og $\mathrm{d}\boldsymbol{\ell}$ andsamsíða og $B_{\|} = -B_2 = -\mu_0 I/2\pi r_2$
- Á beinu köflunum bc og da eru $\mathbf{B}$ og $\mathrm{d}\boldsymbol{\ell}$ hornréttir hvor á annan svo $B_{\|} = 0$

Lögmál Ampere

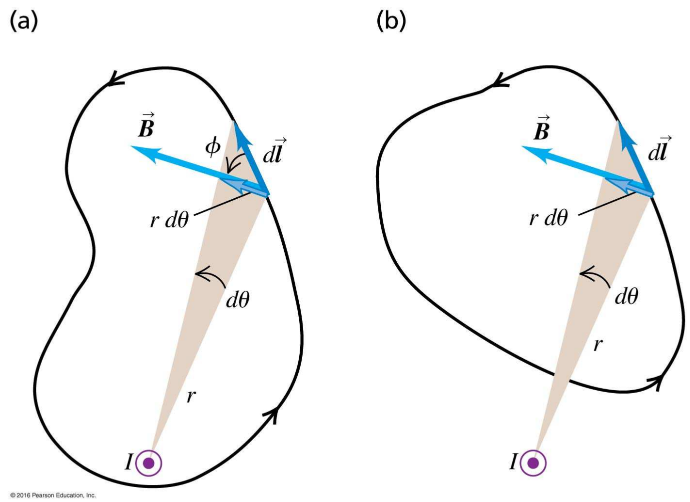


- Heildartegrið er þá

$$\oint \mathbf{B}\cdot \mathrm{d}\ell = \oint B_{\|}\mathrm{d}\ell = B_1 \int_a^b \mathrm{d}\ell + (0) \int_b^c \mathrm{d}\ell + (-B_2) \int_c^d \mathrm{d}\ell + (0) \int_d^a \mathrm{d}\ell$$

$$= \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1}(r_1\theta) + 0 - \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}(r_2\theta) + 0 = 0$$

Lögmál Ampere



- Þetta má líka setja fram fyrir almenna braut
- Við örsmæðina $\mathrm{d}\ell$ er hornið milli $\mathrm{d}\ell$ og $\mathbf{B}$ gefið með ϕ og

$$\mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\ell = B\mathrm{d}\ell \cos\phi$$

Lögmál Ampere

- Við vitum að $\mathrm{d}\ell \cos\phi = r\mathrm{d}\theta$ og því

$$\oint \mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\ell = \oint \frac{\mu_0 I}{2\pi r} r\mathrm{d}\theta = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \oint \mathrm{d}\theta$$

- Við vitum að

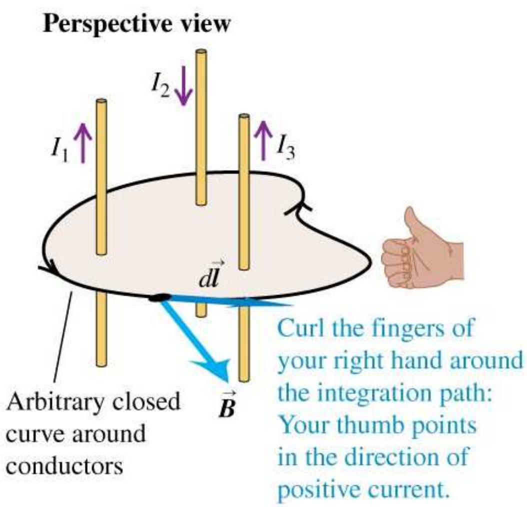
$$\oint \mathrm{d}\theta = 2\pi$$

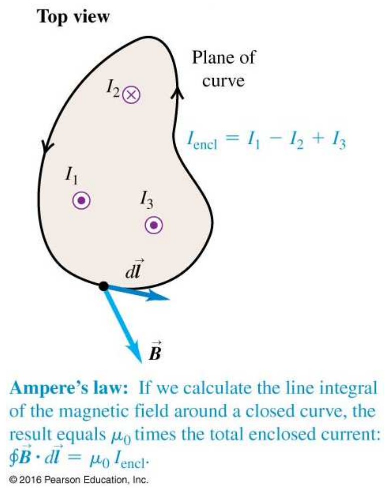
þannig að við finnum

$$\oint \mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\ell = \mu_0 I$$

sem er óháð lögun tegurbrautarinnar eða staðsetningu vírsins innan hennar

Lögmál Ampere





- Gerum nú ráð fyrir nokkrum löngum beinum leiðurum sem fara um flöt sem er innan tegurbrautarinnar
- Þá getum við skipt á I og I_{encl}, sem er summa alls straumsins sem er umlykinn af tegurbrautinni

Lögmál Ampere

- Þá er lögmál Ampere

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\ell = \mu_0 I_{\text{encl}}$$

  sem er reyndar gild jafna fyrir leiðara af hvaða lögun sem vera vill

- Það að $\oint \mathbf{B} \cdot d\ell = 0$ þarf ekki að þýða að $\mathbf{B} = 0$ alls staðar eftir brautinni, aðeins það að heildar straumurinn um flöt sem er afmarkaður af brautinni er núll

$\Longrightarrow$ Dæmi 8.3.

$\Longrightarrow$ Dæmi 8.4.

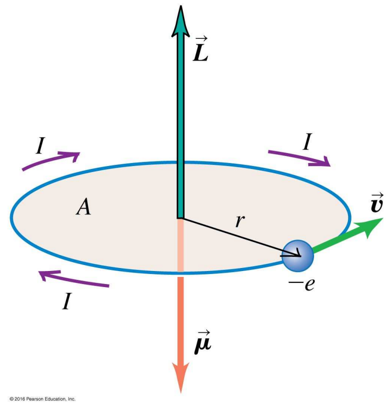
Segulefni

- Hingað til höfum við gert ráð fyrir að leiðarar sé umluktir lofttæmi
- Spólur í spennum, mótorum og spennum hafa gjarnan járnkjarna til að auka segulsviðið og loka það af á ákveðnum svæðum
- Síseglar, segulbönd, og harðir diskar byggja á seguleiginleikum efna
- Seguleiginleikum þéttefnis má lýsa á þrjá vegu, **meðseglun** (e. paramagnetism), **mótseglun** (e. diamagnetism), og **járnseglun** (e. ferromagnetism)

Segulefni

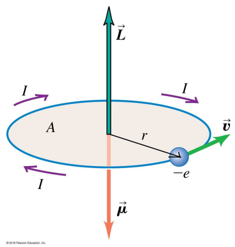
- Atómin sem mynda þéttefni hafa rafeindir sem mynda straumlykkjur sem aftur valda segulsviði
- Í flestum efnum eru þessir straumar tilviljanakenndir og heildar segulsviðið er núll
- Í öðrum efnum getur ytra svið valdið því að þessar lykkjur leggist með sviðinu og bæti þar með við segulsviðið – þá er sagt að efnið sé segulmagnað

Segulefni



- Myndin sýnir einfalt líkan af rafeind á atómi
- Gert er ráð fyrir rafeind sem ferðast eftir hringlaga braut af radía r með hraða v – þetta jafngildir straumlykkju
- Við höfum áður séð að straumlykkja af flatarmáli A og straum I hefur segulvægið $\mu = IA$

Segulefni



- Lotan T er er lengd brautarinnar sem deilt er í með hraðanum v

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

- Jafngildisstraumurinn er heildar hleðslan sem fer hjá, rafeindahleðslan, í einni lotu

$$I = \frac{e}{T} = \frac{ev}{2\pi r}$$

og segulvægið því

$$\mu = \frac{ev}{2\pi r}(\pi r^2) = \frac{evr}{2}$$

Segulefni

- Þetta er oft sett fram sem fall af hverfiþunga $L = mvr$ þannig að

$$\mu = \frac{e}{2m} L$$

- Hverfiþungi atóma er skammtaður, er alltaf heiltölumargfeldi af $h/2\pi$ þar sem h er fasti Planck eða

$$h = 6.626 \times 10^{-34}\ \mathrm{Js}$$

- Í samræmi við þetta má rita segulvægið

$$\mu = \frac{e}{2m}\left(\frac{h}{2\pi}\right) = \frac{eh}{4\pi m}$$

- Þetta er segulvægiseining Bohr gjarnan táknuð með μ_B

$$\mu_\mathrm{B} = 9.274 \times 10^{-24}\ \mathrm{Am}^2 = 9.274 \times 10^{-24}\ \mathrm{J/T}$$

Segulefni–Meðseglun

- Í flestum atómum þá leggjast hverfiþungarnir og spuninn saman þannig útkoman er núll
- En í sumum tilfellum hefur atóm heildar segulvægi sem er af stærðarþrepinu μ_{B}
- Þegar slíku efni er komið fyrir í segulsviði verkar vægi á hvert segulvægi

$$\tau = \mu \times \mathbf{B}$$

- Þetta vægi leitast við að stefna segulvægjunum með sviðinu þannig að þau leggjast með ytra sviðinu

Segulefni–Meðseglun

- Þetta segulsvið sem myndað er með þessum smásæum straumlykkjum er í réttu hlutafalli við heildar segulvægið $\mu_{\rm total}$ á rúmmálseiningu
- Við köllum þessa vigurstærð **segulmögnun**

$$\mathbf{M} = \frac{\mu_{\rm total}}{V}$$

- Segulsviðsaukningin vegna segulmögnunar efnisins er $\mu_0 \mathbf{M}$
- Þegar slíkt efni er umlykur straumberandi leiðara er heildar segulsviðið

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mu_0 \mathbf{M}$$

þar sem $\mathbf{B}_0$ er sviðið vegna straumsins í leiðaranum

- Efni sem sýnir þessa hegðan er sagt meðseglandi

Segulefni–Meðseglun

- Segulsviðið í sérhverjum punkti í slíku efni er hærra sem nemur einingarlausa stuðlinum K_{m} en það væri ef lofttæmi væri í stað efnisins
- Stuðullinn K_{m} er nefndur **hlutfallslegur segulsvörunarstuðull** (e. relative permeability)
- **Segulsvörunarstuðull** efnis er gefinn með

$$\mu = K_{\mathrm{m}}\mu_0$$

- **Segulviðtak efnis** (e.magnetic susceptibility) er skilgreint með

$$\chi_{\mathrm{m}} = K_{\mathrm{m}} - 1$$

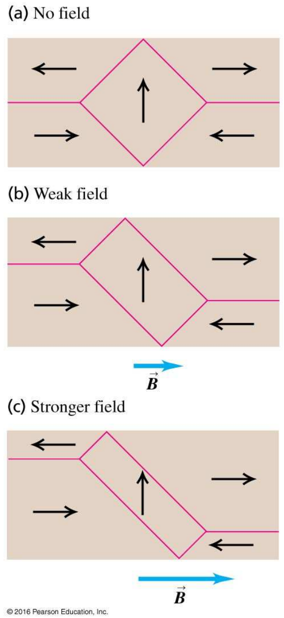
Segulefni–Mótseglun

- Í sumum efnum er heldar segulvægi vegna straumlykkjanna frá öllum atómunum núll þegar ekkert ytra segulsvið er til staðar
- Í þessum efnum verkar segulsviðið sem myndast þegar ytra segulsvið er lagt á á móti ytra sviðinu
- Slík efni eru sögð **mótseglandi**
- Segulviðtak þessara efna er neikvætt

Segulefni–Járnseglun

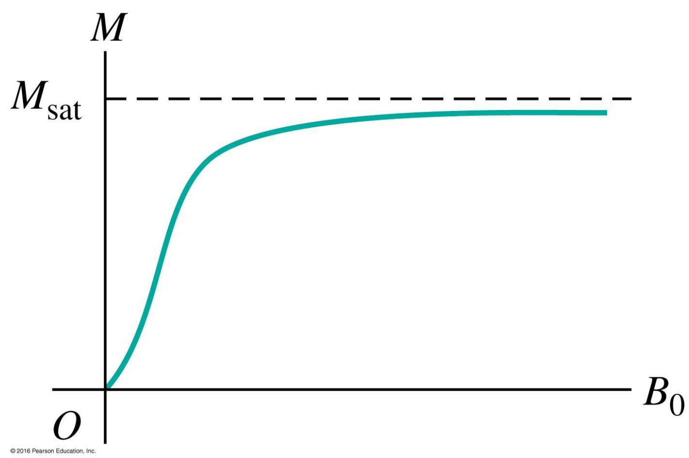
- Þriðji flokkur efna er nefndur járnseglandi, og innihledur járn, nikkel, cobalt og melmi sem innihalda þessi frumefni
- Það er sterk víxlverkun milli segulvægja atómsins sem valda því að þau raðast upp samsíða á svæðum sem nefnd eru **segulóðöl** (e. magnetic domains) jafnvel þó ekkert sé ytra sviðið
- Innan sérhverðs segulóðals eru nær öll segulvægi atóma samsíða

Segulefni–Járnseglun



- Þegar ekkert ytra svið er til staðar raðast segulóðölin tilviljanakennt
- Þegar ytra svið $\mathbf{B}_0$ er lagt á leitast óðölin við að liggja samsíða sviðinu
- Mörk seguló ðallanna riðlast líka – þau sem eru samsíða sviðinu stækka og þau sem eru í aðrar stefnur minnka

Segulefni–Járnseglun

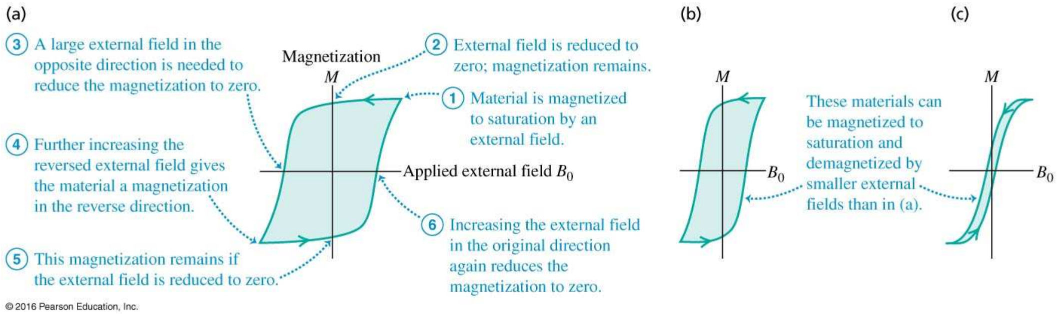


- Þegar ytra sviðið er aukið kemur að því að nánast öll segulvægin eru samsíða sviðinu – og talað er um segulmettun
- Myndin sýnir segulmögnun M sem fall af ytra segulsviði B_0

$\Longrightarrow$ Dæmi 8.5.

$\Longrightarrow$ Dæmi 8.6.

Segulefni



- Fyrri mörg járnseglandi efni ræðst samband segulmögnunar og ytra sviðs af því hvort ytra sviðið er vaxandi eða fallandi
- Þegar efnið er segulmagnað til mettunar með auknu ytra segulsviði og síðan er ytra segulsviðið minnkað aftur helst segulmagnið að einhverju leyti
- Þetta er nefnt **segulheldni** (e. hysteresis)

Frekari upplýsingar

- Þessi kafli er að mestu byggður á kafla 28 hjá Young and Freedman (2015).

Heimildir

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