

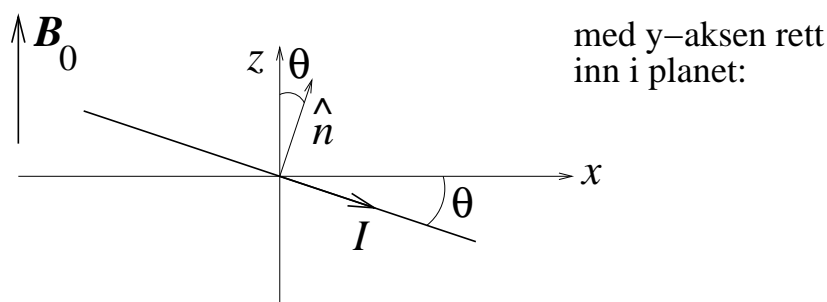
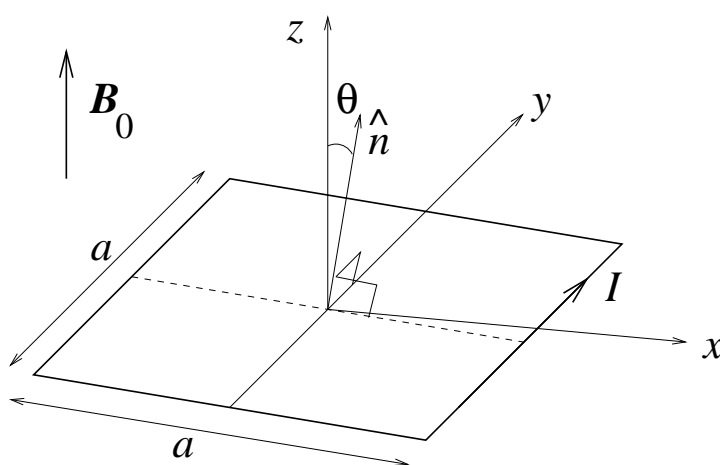
TFY4104 Fysikk. Institutt for fysikk, NTNU. Høsten 2017.  
Øving 13.

Oppgave 1

I forelesningene viste vi at atomer kan oppfattes som små strømsløyfer, dvs som små magnetiske dipoler med magnetisk dipolmoment  $\mathbf{m} = I\mathbf{A}$  der strømmen  $I$  går i en bane som omslutter et (plant) areal  $A$ . ("Vektorarealet" er da  $\mathbf{A} = A \hat{n}$ , der  $\hat{n}$  er en enhetsvektor normalt til den omsluttete flaten, med positiv retning bestemt ved høyrehåndsregelen.)

Her skal vi bruke ei kvadratisk strømsløyfe som modell for en slik atomær magnetisk dipol og se nærmere på hvordan den vil oppføre seg i et "ytre" magnetfelt  $\mathbf{B}$ . (Vi kunne også ha brukt ei sirkulær strømsløyfe, men den kvadratiske er litt enklere å regne på.)

Strømsløyfa har sidekanter med lengde  $a$  og fører altså en strøm  $I$ . Den er plassert i et homogent magnetfelt  $\mathbf{B} = B \hat{z}$  og kan rotere fritt omkring  $y$ -aksen, som her går gjennom strømsløyfas sentrum som vist i figuren:

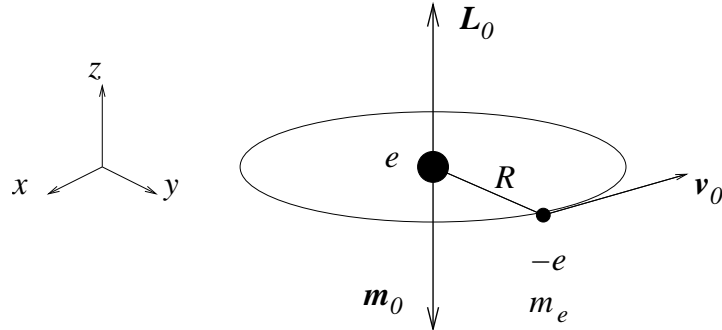


Orienteringen av strømsløyfa er definert ved vinkelen  $\theta$  mellom  $z$ -aksen og flatenormalen  $\hat{n}$ . (Positiv  $\theta$  med klokka, som vist i figuren.)

- Hva blir strømsløyfas magnetiske dipolmoment  $\mathbf{m}$ ? Hva blir den totale kraften fra  $\mathbf{B}$  på strømsløyfa?
- Beregn dreiemomentet  $\boldsymbol{\tau}$  på sløyfa omkring  $y$ -aksen og vis at det kan uttrykkes på formen  $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$ . [Tips: Finn kraften på hver av de fire rette lederstykkene og bruk at dreiemoment = "arm ganger kraft".]
- Bestem den potensielle energien  $U(\theta)$  til en slik magnetisk dipol i feltet  $\mathbf{B}$ . Skisser  $U(\theta)$ . Hva slags orientering av dipolen i forhold til  $\mathbf{B}$  representerer henholdsvis en stabil og en ustabil likevekt? [Tips:  $\tau = -dU/d\theta$ , jfr øving 9.]

## Oppgave 2

I denne oppgaven skal vi, med utgangspunkt i en klassisk atommodell, se nærmere på hvordan et ytre magnetfelt  $\mathbf{B}$  vil påvirke elektronets banebevegelse rundt atomkjernen. En slik *diamagnetisk effekt* får vi i alle atomer. Her kan vi for enkelhets skyld ha et hydrogenatom i tankene, med ett elektron med ladning  $-e$  i sirkulær bane (i  $xy$ -planet) med radius  $R$  rundt en kjerne med ladning  $+e$ .



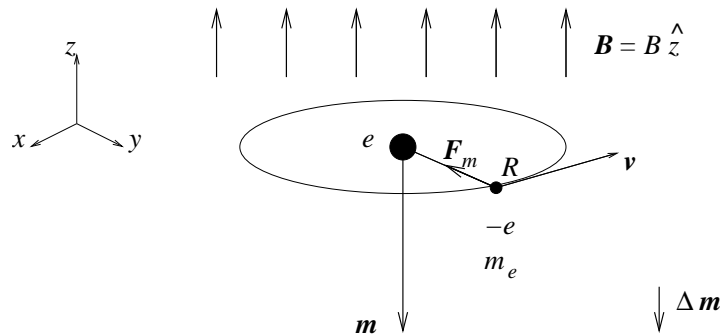
a) Uten et ytre magnetfelt til stede er elektronets hastighet  $v_0$ . Vis at uniform sirkelbevegelse i Coulombfeltet fra atomkjernen da resulterer i en baneradius

$$R = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e v_0^2}.$$

Vis at atomets magnetiske dipolmoment (gitt ved produktet av strøm og omsluttet areal) er

$$\mathbf{m}_0 = -\frac{1}{2}ev_0R\hat{z}.$$

b) Vi skrur nå på et ytre magnetfelt  $\mathbf{B} = B\hat{z}$ , for enkelhets skyld rettet normalt på elektronets sirkulære bane:



Elektronet påvirkes nå, i tillegg til Coulombkraften fra kjernen, av en magnetisk kraft  $\mathbf{F}_m = -e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$  slik at bevegelsesligningen (dvs Newtons 2. lov) endres. Resultatet blir en endret sammenheng mellom elektronets hastighet  $v$  og banens radius  $R$ . Anta at magnetfeltet kun endrer hastigheten, og ikke banens radius  $R$ , og bestem den nye hastigheten  $v$ . Bestem også det nye magnetiske dipolmomentet  $\mathbf{m}$ , og vis at *endringen*

$$\Delta\mathbf{m} = \mathbf{m} - \mathbf{m}_0$$

er *motsatt rettet* det ytre magnetfeltet  $\mathbf{B}$ . Argumenter kvalitativt for at endringen  $\Delta\mathbf{m}$  vil være motsatt rettet  $\mathbf{B}$  også dersom  $\mathbf{B}$  peker i motsatt retning (dvs i negativ  $z$ -retning).

Kommentarer:

- Vi har tidligere konkludert med at et statisk magnetfelt aldri utfører noe arbeid på en ladning i bevegelse ettersom  $\mathbf{F}_m \perp \mathbf{v}$ . Et statisk magnetfelt kan altså ikke endre ladningens hastighet (i absoluttverdi), tilsynelatende i konflikt med det vi har funnet ovenfor. Poenget er imidlertid at vi starter med  $B = 0$  og *skrur på* et magnetfelt. Dermed har vi ikke hele tiden et statisk magnetfelt, men et felt som i løpet av en viss tid må endre seg fra null til sin endelige verdi. Og som vi har diskutert i forelesningene, vil et tidsavhengig magnetfelt skape ("indusere") et elektrisk felt (Faradays induksjonslov), og et elektrisk felt kan som kjent endre hastigheten til et elektron.
- Fortegnet på den diamagnetiske responsen er et uttrykk for *Lenz' lov*: Systemets "respons" er slik at den påtrykte endringen *motvirkes*.
- Strengt tatt er det nødvendig med en *kvantemekanisk* beskrivelse for å forklare diamagnetisme "skikkelig". Likevel gir denne enkle klassiske modellen med ett atom et brukbart kvalitativt bilde av effekten.

### Oppgave 3

---

a) Dersom antall viklinger på en spole fordobles, øker spolens induktans med en faktor

A 2      B 4      C 8      D 16

---

b) Hvor mye (magnetisk) energi er lagret i en lang, tettviklet spole med 400 viklinger fordelt over en lengde 10 cm, tverrsnitt 4 cm<sup>2</sup>, og strømstyrke 3.0 A i spoletråden? (Sånn omtrent!)

A ca 3 μJ      B ca 3 mJ      C ca 3 J      D ca 3 kJ

---

c) Dersom en vekselspenningskilde  $V_0 \cos \omega t$  kobles til en kondensator med kapasitans  $C$ , vil strømmen i kretsen ha amplitude

A null      B  $V_0/\omega C$       C  $V_0 C/\omega$       D  $V_0 \omega C$

---

d) Dersom en vekselspenningskilde  $V_0 \cos \omega t$  kobles til en spole med induktans  $L$ , vil strømmen i kretsen ha amplitude

A null      B  $V_0/\omega L$       C  $V_0 L/\omega$       D  $V_0 \omega L$

---

e) Dersom en vekselspenningskilde  $V_0 \cos \omega t$  kobles til en motstand med resistans  $R$ , vil strømmen i kretsen ha amplitude

A null      B  $V_0/R$       C  $V_0 R/\omega$       D  $V_0/\omega R$

---

f) Hvem forbinder du først og fremst med hhv krefter mellom elektriske ladninger, induisert spenning fra tidsavhengig magnetisk fluks, og naturens iboende motstand mot påtvungne endringer?

A Hhv Lenz, Coulomb og Faraday  
B Hhv Coulomb, Faraday og Lenz  
C Hhv Faraday, Lenz og Coulomb  
D Hhv Coulomb, Lenz og Faraday