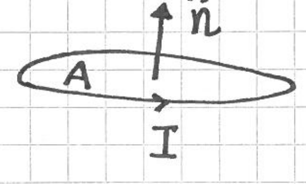
Effekter av magnetfelt $\begin{pmatrix} \text{PCH } 8, 14 \\ \text{YF } 41.4, 27.7 \end{pmatrix}$

Magnetiske dipoler og magnetisk moment

Magn. dipol = strømsløyfe :

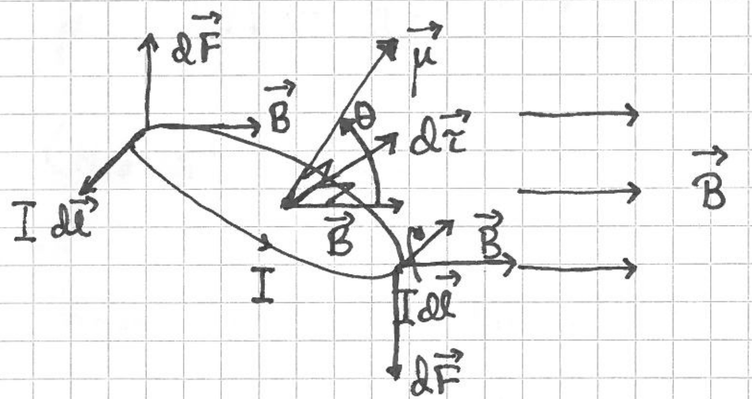


Magn. moment : $\vec{\mu} = I\vec{A} = IA\hat{n}$

A = areal omsluttet av strøm I

$\hat{n}$ = enhetsvektor $\perp$ omsluttet areal

Magn. dipol $\vec{\mu}$ i magnetfelt $\vec{B}$: $\begin{pmatrix} \vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \\ \Rightarrow d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} \end{pmatrix}$



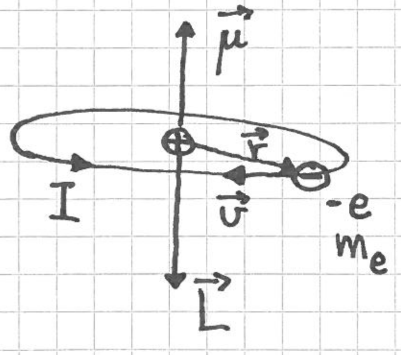
Dreiemoment på $\vec{\mu}$: $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{\mu}$

$= -\mu B \sin\theta$

$\Rightarrow$ Tendens til innretting av $\vec{\mu}$ langs $\vec{B}$;
minst pot. energi når $\vec{\mu} \parallel \vec{B}$, størst med $\vec{\mu} \parallel -\vec{B}$:

$$\boxed{V(\theta) = -\int^{\theta} \tau(\alpha)\, d\alpha = -\mu B \cos\theta = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}}$$

Atom (a la Bohr):



$$I = \frac{q}{T} = \frac{-e}{(2\pi r/v)} = -\frac{ev}{2\pi r}$$

(T = omløpstid)

Dreieimpuls:

$$L = |\vec{L}| = |\vec{r} \times \vec{p}_e| = |\vec{r} \times m_e \vec{v}| = m_e v r$$

Magn. moment:

$$\mu = IA = \frac{ev}{2\pi r} \cdot \pi r^2 = \frac{evr}{2} = \frac{e}{2m_e} L$$

(Negativt ladd partikkel $\Rightarrow$ $\vec{\mu} = -\frac{e}{2m_e}\vec{L}$)

Bohr: $L = n\hbar$ $(n = 1, 2, 3, \ldots)$ (Feil..!)

$$\Rightarrow \mu = \frac{e\hbar}{2m_e} \cdot n \quad \text{(i Bohrs modell)}$$

Bohr magneton: $\mu_B \equiv \frac{e\hbar}{2m_e} \approx 9.27 \cdot 10^{-24}$ $A \cdot m^2$

$([B] = T \text{ (tesla)} \Rightarrow [\mu] = J/T)$

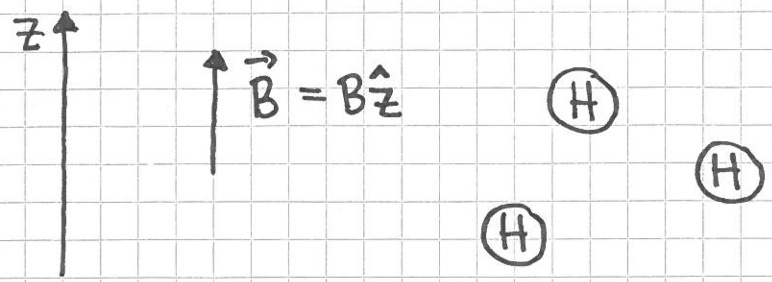
Schrödinger (Korrekt, ikke-rel.):

$L = \sqrt{\ell(\ell+1)}\,\hbar$ $(\ell = 0, 1, 2, \cdots, n-1)$

$L_z = m_\ell \hbar$ $(m_\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots, \pm \ell)$

Zeeman-effekten (YF 41.4

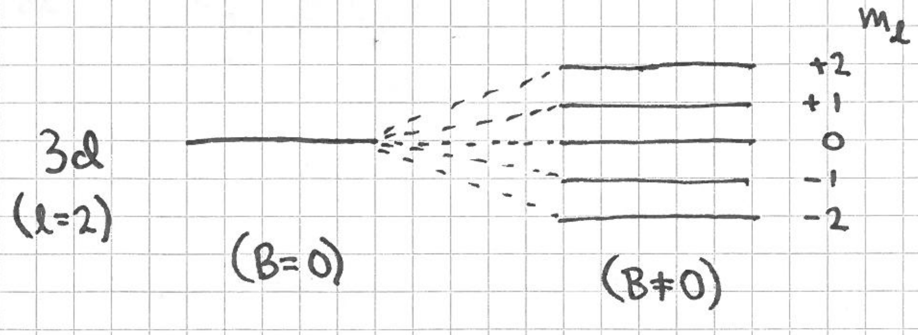
= oppsplitting av atomære energinivåer i $\vec{B}$-felt

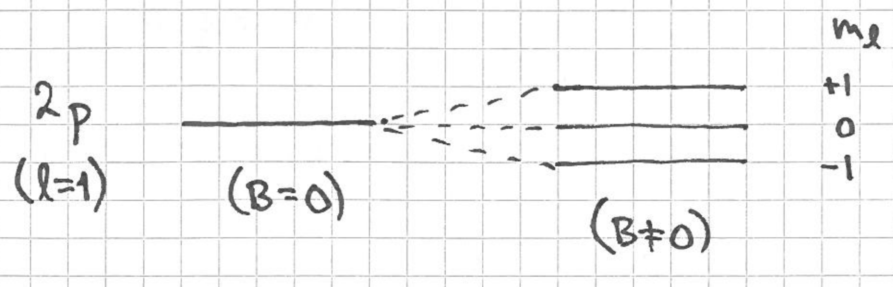


$$V = -\vec{\mu}\cdot\vec{B} = -\mu_z B$$

$$\vec{\mu} = -\frac{e}{2m_e}\vec{L} \Rightarrow \mu_z = -\frac{e}{2m_e}L_z = -m_\ell\frac{e\hbar}{2m_e}$$

$$\Rightarrow V = m_\ell\frac{e\hbar}{2m_e}B = m_\ell\mu_B B \qquad (m_\ell = 0, \pm 1, \cdots, \pm\ell)$$





Dvs: Oppsplitting i $2\ell+1$ nivåer med $\Delta E = \mu_B B$

<u>Utvalgsregler</u> for overgang mellom energinivåer, med emisjon eller absorpsjon av foton:

$$\boxed{\Delta l = \pm 1 \quad ; \quad \Delta m_l = 0, \pm 1}$$ Tillatte overganger

Eks: 9 mulige overganger mellom 3d og 2p, men bare 3 ulike foton-energier:

$$\Delta E = E_{3d} - E_{2p} + \begin{cases} \mu_B B \\ 0 \\ -\mu_B B \end{cases}$$

$$\mu_B = 9.27 \cdot 10^{-24}\ J/T$$

$$\Rightarrow \mu_B B \sim 10^{-23}\ J \quad \text{hvis} \quad B \sim 1T \quad \text{(som er ganske sterkt)}$$

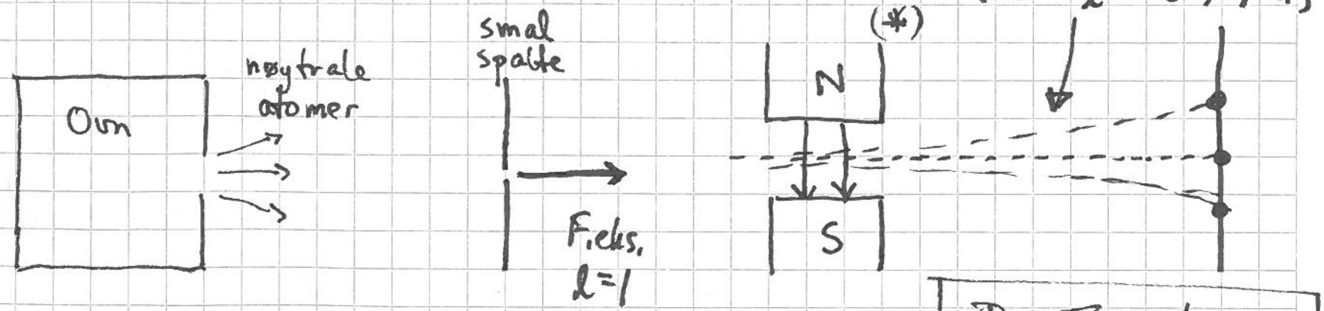
$$\sim \underline{6 \cdot 10^{-5}\ eV}$$

$$\lll E_{3d} - E_{2p} = 13.6\,eV \left\{ \frac{1}{3^2} - \frac{1}{2^2} \right\} \sim \underline{2\ eV}$$

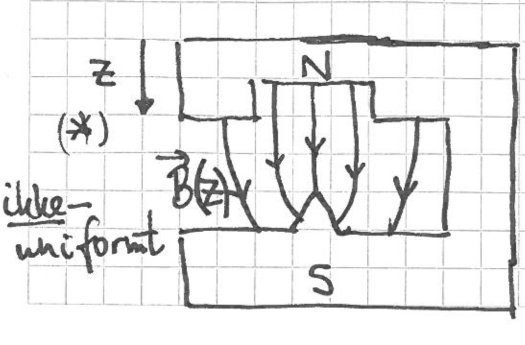
Spinn (YF 41.5)

Stern-Gerlach-eksp: (1922)

Forventet hvis $\mu_z = m_l \hbar = \{\hbar, 0, -\hbar\}$



Dvs: Forventer <u>odde</u> antall I_{max}



$\Rightarrow$ <u>Netto kraft på atomene</u> pga $\vec{B}(z)$:

$$\vec{F} = -\nabla V = -\nabla\left(-\mu_z B_z(z)\right)$$

Hvis (bane-) dreieimpuls er "det hele", forventes $\underline{2l+1}$ ulike I_{max} på skjermen.

Exp: Noen ganger et <u>like</u> antall I_{max} !? Og noen ganger $\underline{\underline{2}}$!

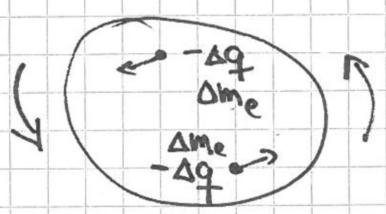
Tyder på <u>halvtallig</u> kvantetall j $\left(\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots\right)$

"total dreieimpuls", slik at antallet mulige verdier for m_j, $2j+1$, blir et <u>partall</u> !

Goudsmidt & Uhlenbeck (1925):

Elektroner oppfører seg som <u>spinn</u>ende kuler med ladning

⇒ indre dreieimpuls m/ tilhørende magnetisk moment!



⇒ indre dreieimpuls $\vec{S}$

og magn. moment

$$\vec{\mu}_s = g_s \frac{(-e)}{2m_e} \vec{S}$$

g_s ← gyromagnetisk faktor

Dirac-ligningen (relativistisk) gir $g_s = 2$.

Mer presis teori (og eksp!) : $g_s \approx 2 \cdot 1.00115965$
(QED)

[2006: $g_s^{exp} \approx 2{,}00231930436170 \approx g_s^{teori}$]

!!!

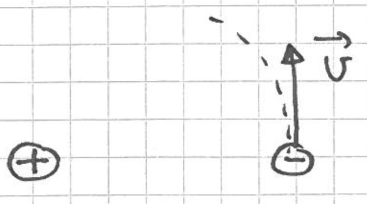
<u>To</u> stk I_{max} i Stern-Gerlach ⇒ $S_z = \pm \frac{1}{2}\hbar$

Dvs: $\boxed{S_z = m_s \hbar \; ; \; m_s = \pm \frac{1}{2}}$ Og $\underline{S} = |\vec{S}| = \sqrt{s(s+1)}\,\hbar = \sqrt{\tfrac{1}{2}(\tfrac{1}{2}+1)}\,\hbar$

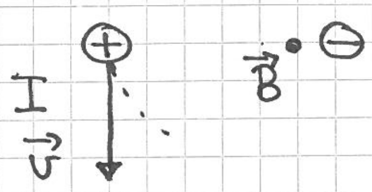
$= \underline{\sqrt{3/4}\,\hbar}$

[I analogi med L_z og $L = |\vec{L}|$!]

Spinn - bane - kobling:



Sett fra ⊖ sitt ståsted:



$\Rightarrow$ ⊖ "ser" ⊕ i bevegelse $\Rightarrow$ strømsløyfe !

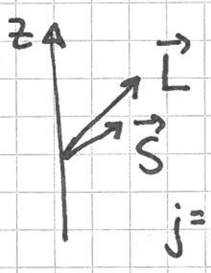
$\Rightarrow$ magnetfelt $\vec{B}$ der ⊖ befinner seg ; $|\vec{B}|$ prop. med $|\vec{L}|$ $(\vec{B} \sim \vec{L})$

$\Rightarrow$ $V \sim \vec{S} \cdot \vec{L}$ $\quad (V \sim -\vec{S}\cdot\vec{B} \sim \vec{S}\cdot\vec{L})$

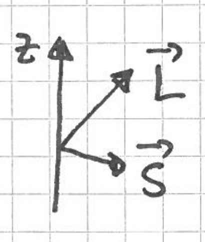
Total dreieimpuls:

$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$; $\quad J = |\vec{J}| = \sqrt{j(j+1)}\,\hbar$

$j = |l \pm 1/2|$



$j = l + 1/2$



$j = l - 1/2$

Eks: $l = 1 \Rightarrow j = \frac{1}{2}$ eller $\frac{3}{2}$

Notasjon $^2P_{1/2}$, $^2P_{3/2}$

2: # spinn-orienteringer

P: tilsv. $l = 1$ (p)

$1/2, 3/2$: j

Generelt: $^{2S+1}L_J$ $\quad$ [H: $S = 1/2$; Andre atomer: $S = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \ldots$]

Pauliprinsippet (W. Pauli, 1925)

To elektroner kan ikke okkupere en gitt QM tilstand,

dvs gitt n, l, m_l og m_s

$[\, n \geq 1 \;;\; 0 \leq l \leq n-1 \;;\; |m_l| \leq l \;;\; m_s = \pm 1/2 \,]$

$\Rightarrow$ Inntil 2 elektroner i K-skallet

$$(\Psi_{100} \cdot \chi_{1/2} \quad \text{og} \quad \Psi_{100}\chi_{-1/2})$$

spinnbølgefunk.

Inntil 8 el. i L-skallet

$$(\Psi_{200}\chi_{1/2},\ \Psi_{200}\chi_{-1/2},\ \Psi_{211}\chi_{1/2},\ \Psi_{211}\chi_{-1/2},$$
$$\Psi_{210}\chi_{1/2},\ \Psi_{210}\chi_{-1/2},\ \Psi_{21-1}\chi_{1/2},\ \Psi_{21-1}\chi_{-1/2})$$

osv.

$\Rightarrow$ Det periodiske system

H : $1s$

He : $1s^2$

Li : $1s^2\,2s$

Be : $1s^2\,2s^2$

B : $1s^2\,2s^2\,2p$

C : $1s^2\,2s^2\,2p^2$

- He, Ne, Ar, ... : Fylt 1s, 2s og 2p, 3s og 3p, ...
  Liten tendens til å avgi/oppta/dele elektroner.
  "Edelgasser"; svært lite reaktive.

- Li, Na, K, ... : Ett svakt bundet elektron i ytterste skall, som lett avgis (til f.eks. F, Cl, Br, ...)

- F, Cl, Br, ... : Mangler ett elektron i ytterste skall; "sterkt ønsket"; høy <u>elektronegativitet</u>.

- $E_{3d} \gtrsim E_{4s}$ (or $\lesssim$) $\Rightarrow$ "uklart bilde" fra $Z = 19$ og oppover

- 21–30, 39–48, ... : overgangsmetaller med delvis fylte 3d og 4s "subshells"