

3.3. Normaler Zeeman-Effekt



H-Atom im äußeren Magnetfeld \vec{B}

$B = 0$
3-D Drehsymmetrie im Raum

$B \neq 0$
1-D Drehsymmetrie um z-Achse

partielle Symmetriebrechung

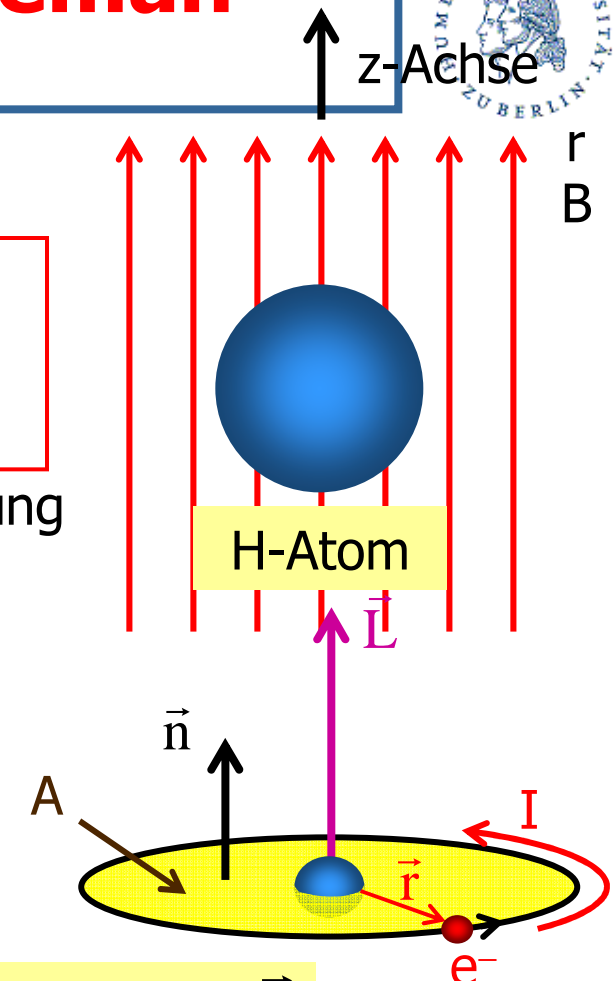
Störpotential (klassisch):

e-Bahnbewegung \Rightarrow magnetisches Moment $\vec{\mu}_e$

$$\left. \begin{aligned} \vec{\mu}_e &= I \vec{A} = I A \vec{n} \\ I &= -e v = -e \frac{v}{2\pi r} \\ A &= \pi r^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \vec{\mu}_e = -\frac{1}{2} e v r \vec{n}$$

Bahndrehimpuls: $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = m_e r v \vec{n} \Rightarrow \vec{\mu}_e = -\frac{e}{2m_e} \vec{L}$

Störpotential: $V = -\vec{\mu}_e \cdot \vec{B} = \frac{e}{2m_e} \vec{L} \cdot \vec{B} = \frac{e}{2m_e} L_z B$



3.3. Normaler Zeeman Effekt

Klassisches Störpotential:

$$V = \frac{e}{2m_e} L_z B$$



Quantenmechanisch:

$$\hat{V} = \frac{eB}{2m_e} \hat{L}_z$$

Störungsrechnung 1. Ordnung \Rightarrow

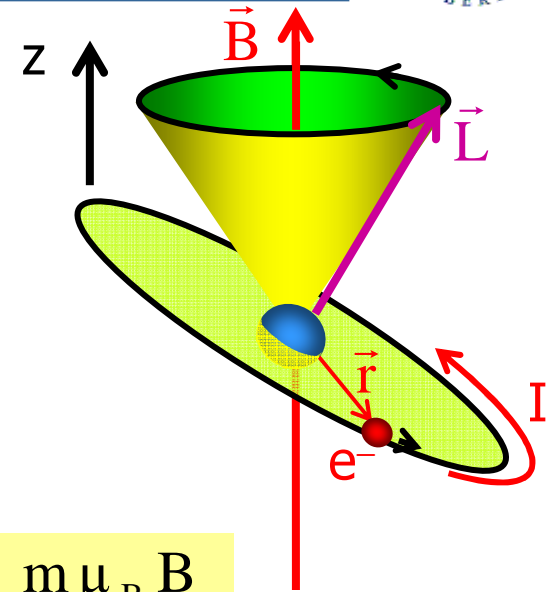
$$\delta E_{n\ell m} = \frac{eB}{2m_e} \langle \hat{L}_z \rangle_{n\ell m} = m \frac{e\hbar}{2m_e} B$$

\Rightarrow Aufhebung der m-Entartung

$$\delta E_{n\ell m} \equiv \delta E_m = m \mu_B B$$

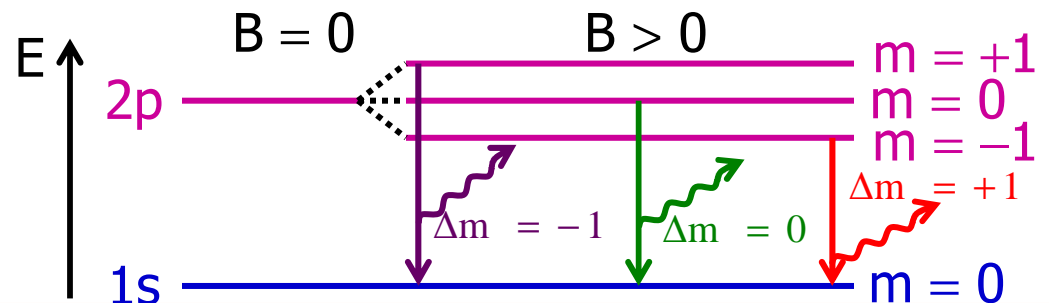
Bohrsches Magneton:

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ JT}^{-1}$$

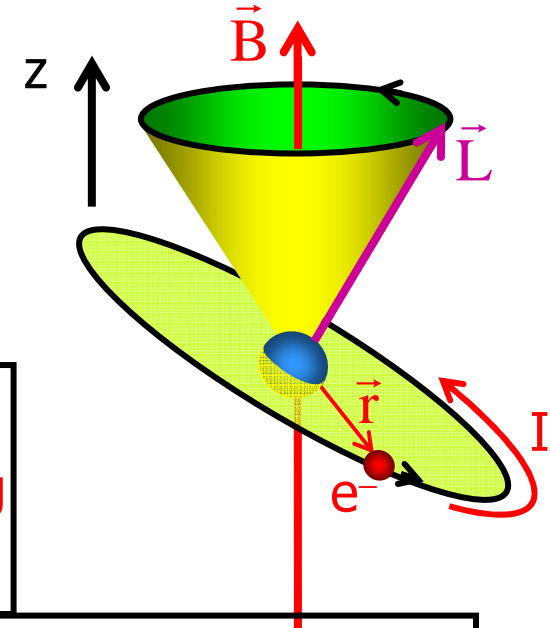
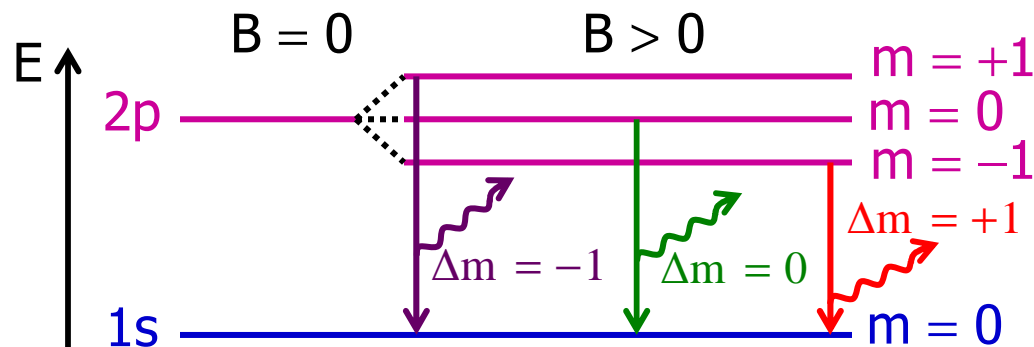


Experimentelle Beobachtung:

Spektrallinien spalten auf!
Problem: Theorie passt quantitativ nur schlecht!



3.3. Zeeman Effekt



$\Delta L_z = \Delta m \hbar$ wird vom Photon übernommen

$\Delta m = \pm 1$: e^- -Kreisschwingung $\perp \vec{B}$ \rightarrow σ -Strahlung

$\Delta m = 0$: e^- -Schwingung $\parallel \vec{B}$ \rightarrow π -Strahlung

Beobachtung des Photons in \vec{B} -Richtung

$\Delta m = 0$: existiert nicht (keine Dipolstrahlung entlang Dipolachse)

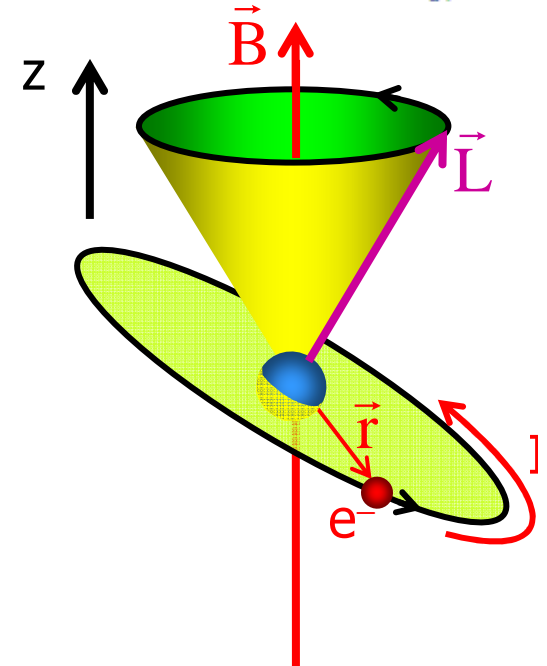
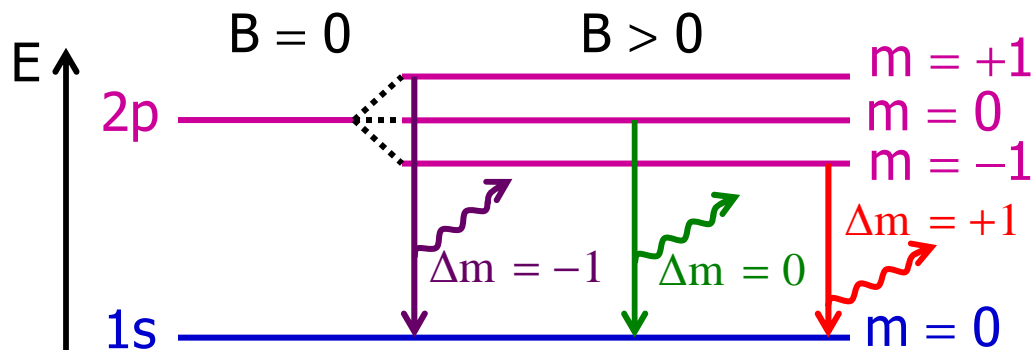
$\Delta m = \pm 1$: Photonen sind rechts / links zirkular polarisiert

Beobachtung des Photons senkrecht zur \vec{B} -Richtung

$\Delta m = 0$: Photonen sind linear polarisiert in \vec{B} -Richtung

$\Delta m = \pm 1$: Photonen sind linear polarisiert senkrecht zur \vec{B} -Richtung

3.3. Zeeman Effekt



$\Delta L_z = \Delta m \hbar$ wird vom Photon übernommen
 $\Delta m = \pm 1$: e^- -Kreisschwingung $\perp \vec{B} \rightarrow \sigma$ -Strahlung
 $\Delta m = 0$: e^- -Schwingung $\parallel \vec{B} \rightarrow \pi$ -Strahlung

Experimenteller Befund: Strahlungsübergänge mit $|\Delta m| > 1$ finden **nicht statt**, bzw. sind stark unterdrückt (höhere Multipolübergänge).

Folgerung: Photonen tragen **Eigendrehimpuls** (\rightarrow Spin) von $\pm \hbar$.

Bemerkung: Spin ist rein quantenmechanisches Konzept.
Es gibt kein klassisches Analogon.