

III. B Anomales magnetisches Moment

S. A. Goudsmit, G. E. Uhlenbeck (1925) : Elektronen-Spin
(Vorschlag) (Eigendrehimpuls)

B.1 Experimentelle Evidenz

a) Stern - Gerlach - Experiment (1921-22)

Versuch zum Nachweis der Richtungsquantelung
Ag - Atomstrahl, Vakuum besser als 10^{-6} mbar z.B.

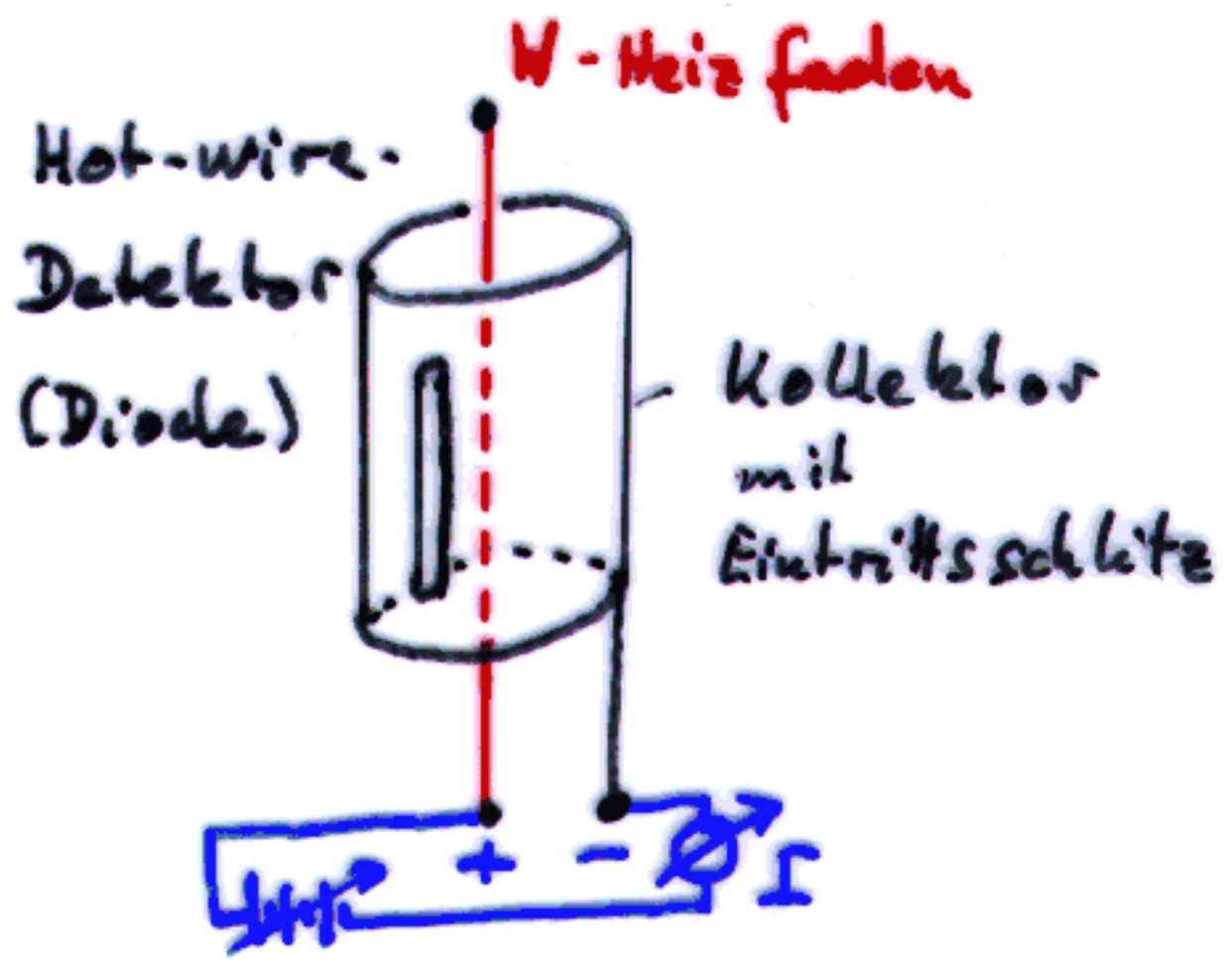
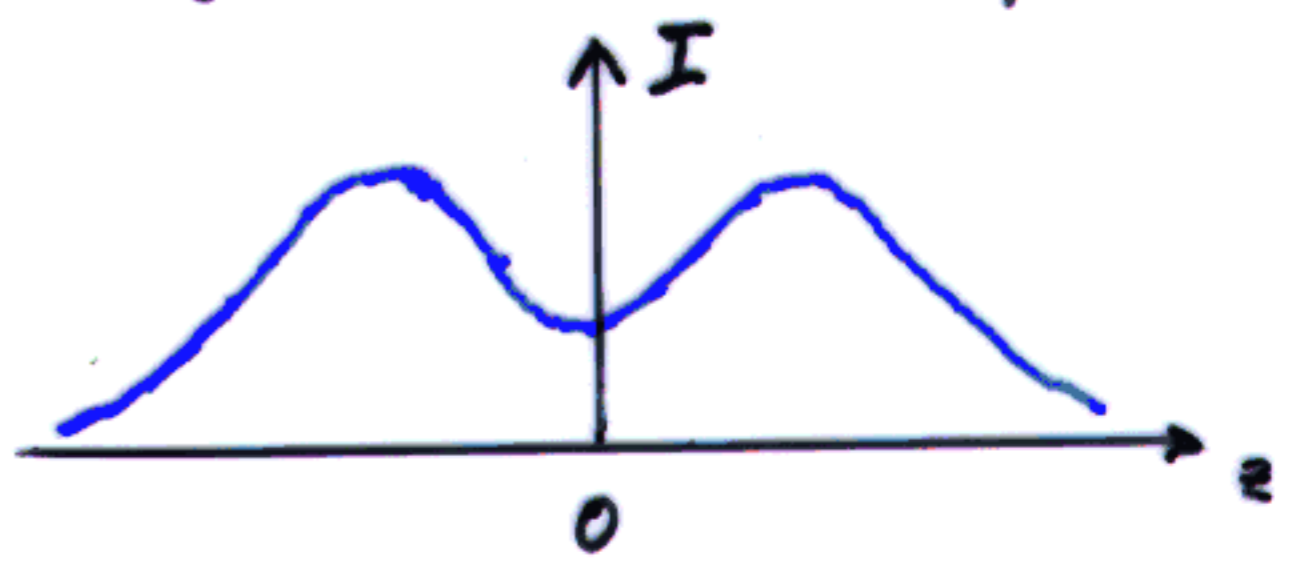
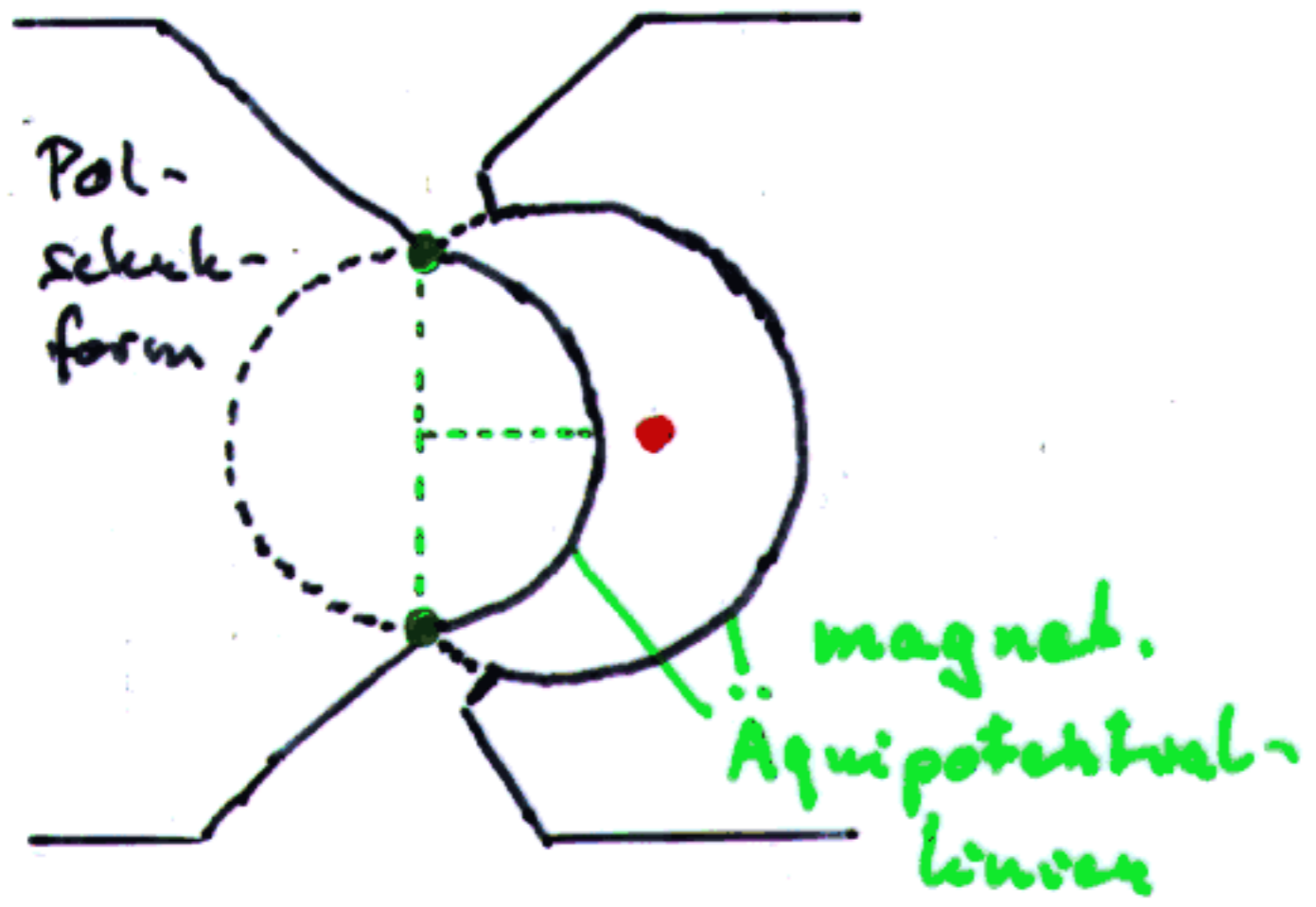
$$F_z = |\vec{\mu}| \cdot \frac{\partial B_z}{\partial z} \cdot \cos \vartheta \rightarrow F_z = -m_l \mu_B \frac{\partial B_z}{\partial z}$$

↑ 3 Werte für $l=1$
keine Aufspaltung f. $l=0$

→ 2 Orientierungsmöglichkeiten
 $(2S+1) = 2 \rightarrow S = 1/2$

Details:

Versmierung wegen Maxwell'scher Geschwindigkeitsverteilung



berechenbarer Magnetfeld-Gradient

b) Richardson - Einstein - de Haas - Experiment

$\rightarrow \gamma \approx 2 \cdot \gamma_L$

z.B.

B.2 Spin \vec{S} des Elektrons

a) Quantisierung
analog zu Bahndrehimpuls

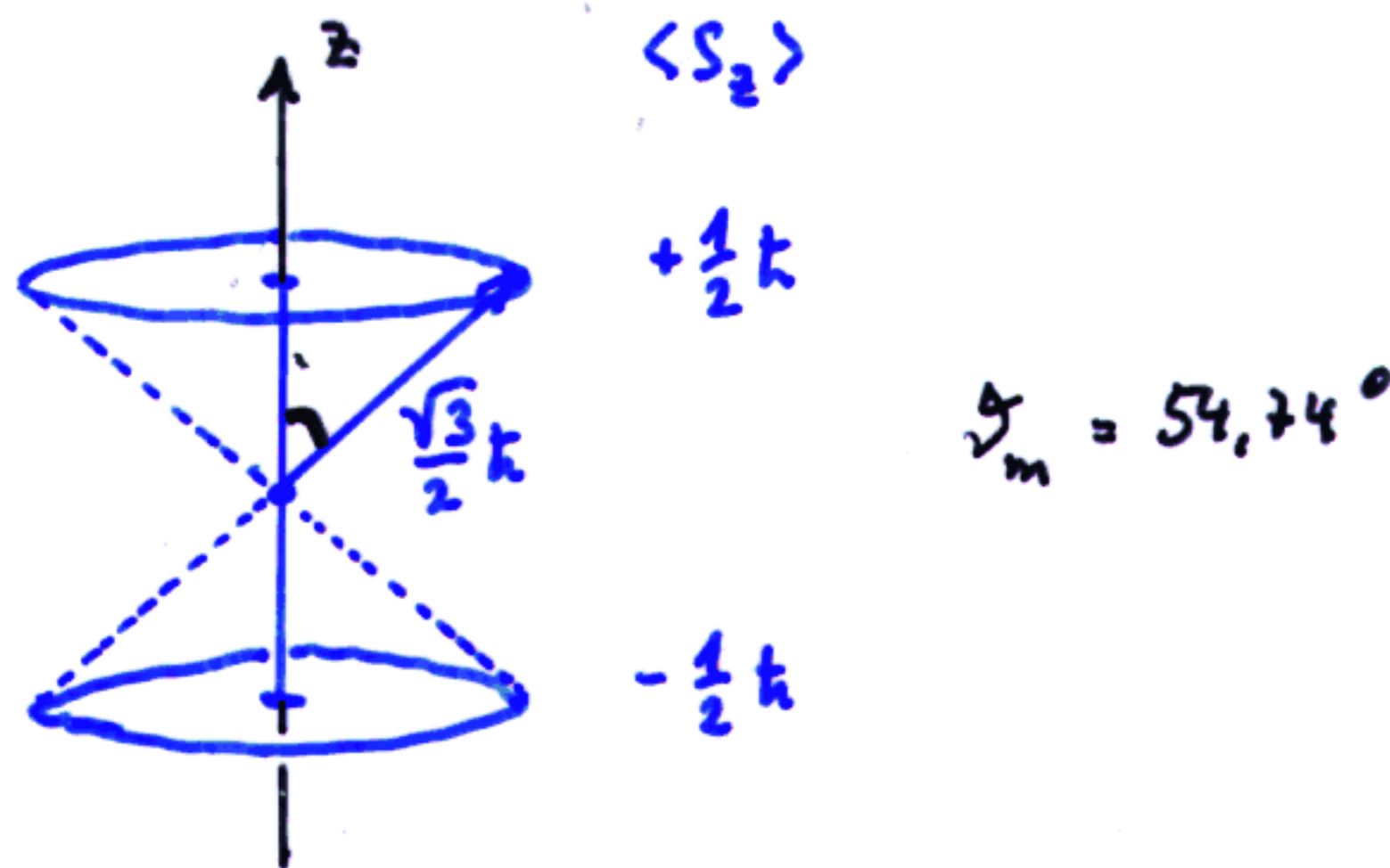
$s = 1/2$ Spinquantenzahl

$\langle \vec{S} \rangle = \sqrt{s(s+1)} \hbar = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar$	Betrag
--	--------

$\langle S_z \rangle = m_s \hbar = \pm \frac{1}{2} \hbar$	Richtungsquantisierung
---	------------------------

$2s+1 = 2$

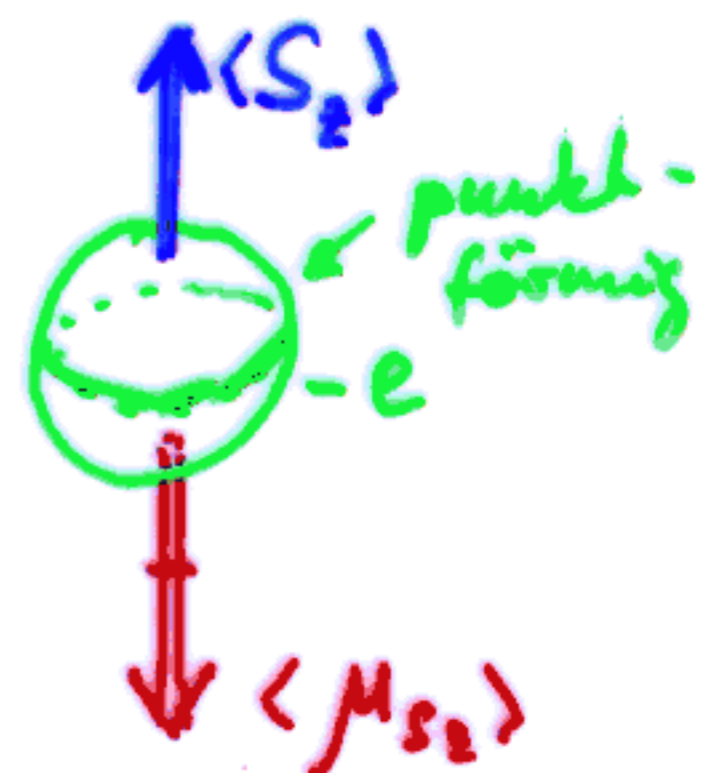
Einstellungen



b) Anomalie des magnetischen Spin-Moments (exp)

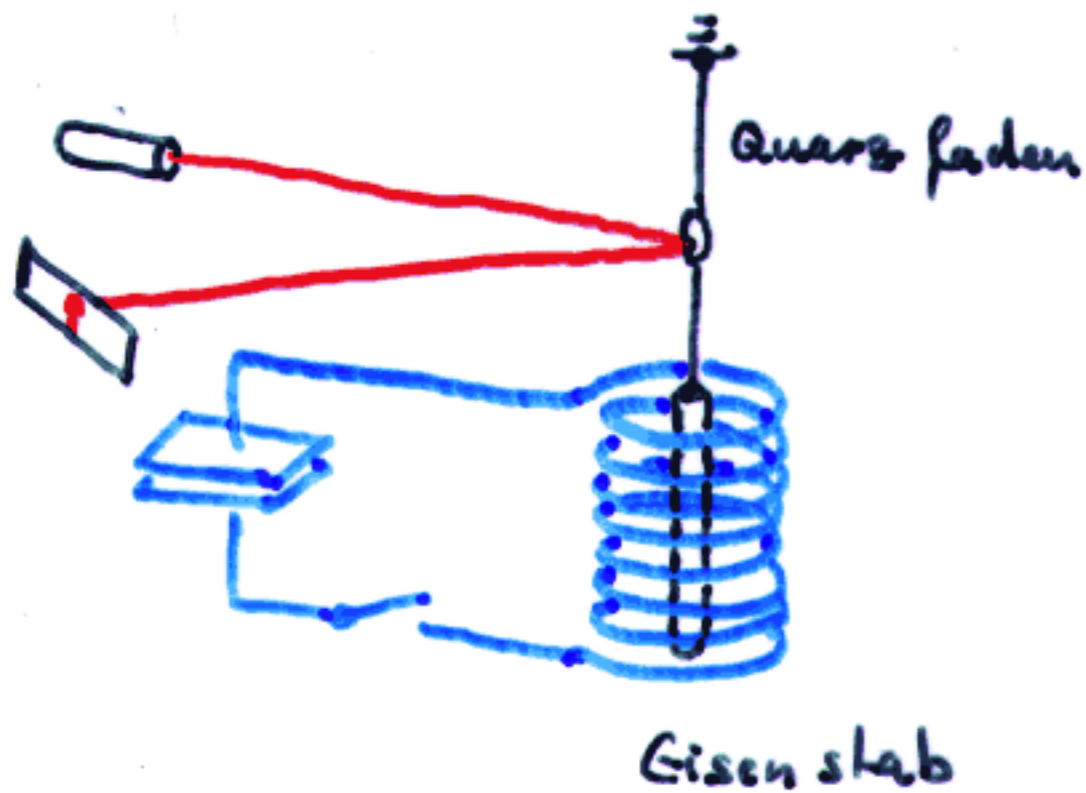
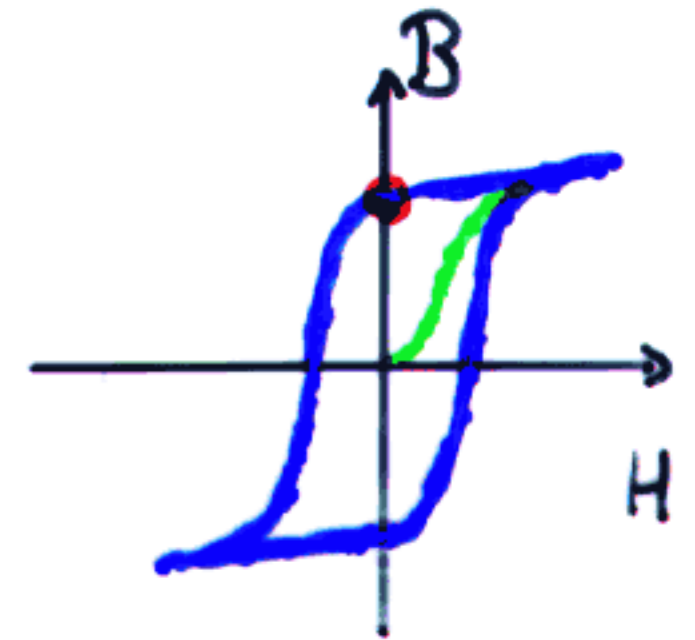
$\langle \vec{\mu}_s \rangle = 2 \sqrt{s(s+1)} \mu_B = \sqrt{3} \mu_B$	$= \sqrt{3} \mu_B$
$\langle \mu_{s_z} \rangle = -2 m_s \mu_B = -1 \mu_B$	$= -1 \mu_B$

d.h. nicht anschaulich



gyromagnetischer Effekt

Richardson - Einstein - de Haas - Effekt



$$\frac{M_{\text{reman.}}}{I_{\text{stab}} \cdot \omega_0} = \frac{N \cdot \mu}{N \cdot L} = 1,76 \cdot 10^8 \frac{\text{As}}{\text{g}}$$
$$= \frac{e_0}{m_0} = 2 \cdot \gamma_L$$

g-Faktor (hier nur Abkürzung)

$$\vec{\mu}_z = -g_z \cdot \frac{\mu_B}{\hbar} \vec{J}$$

(für $\langle |\vec{J}| \rangle$ wie $\langle J_z \rangle$)
(Operator-Gleichung)

mit

$g_L = 1$ für $\vec{J} = \vec{L}$, Bahnmagnetismus
 $g_S = 2$ für $\vec{J} = \vec{S}$, Spinnmagnetismus

1928 Dirac-Gleichung, relativistische Quantenmechanik
 → Spin und magn. Moment als Nebenprodukt!

Quantenelektrodynamik

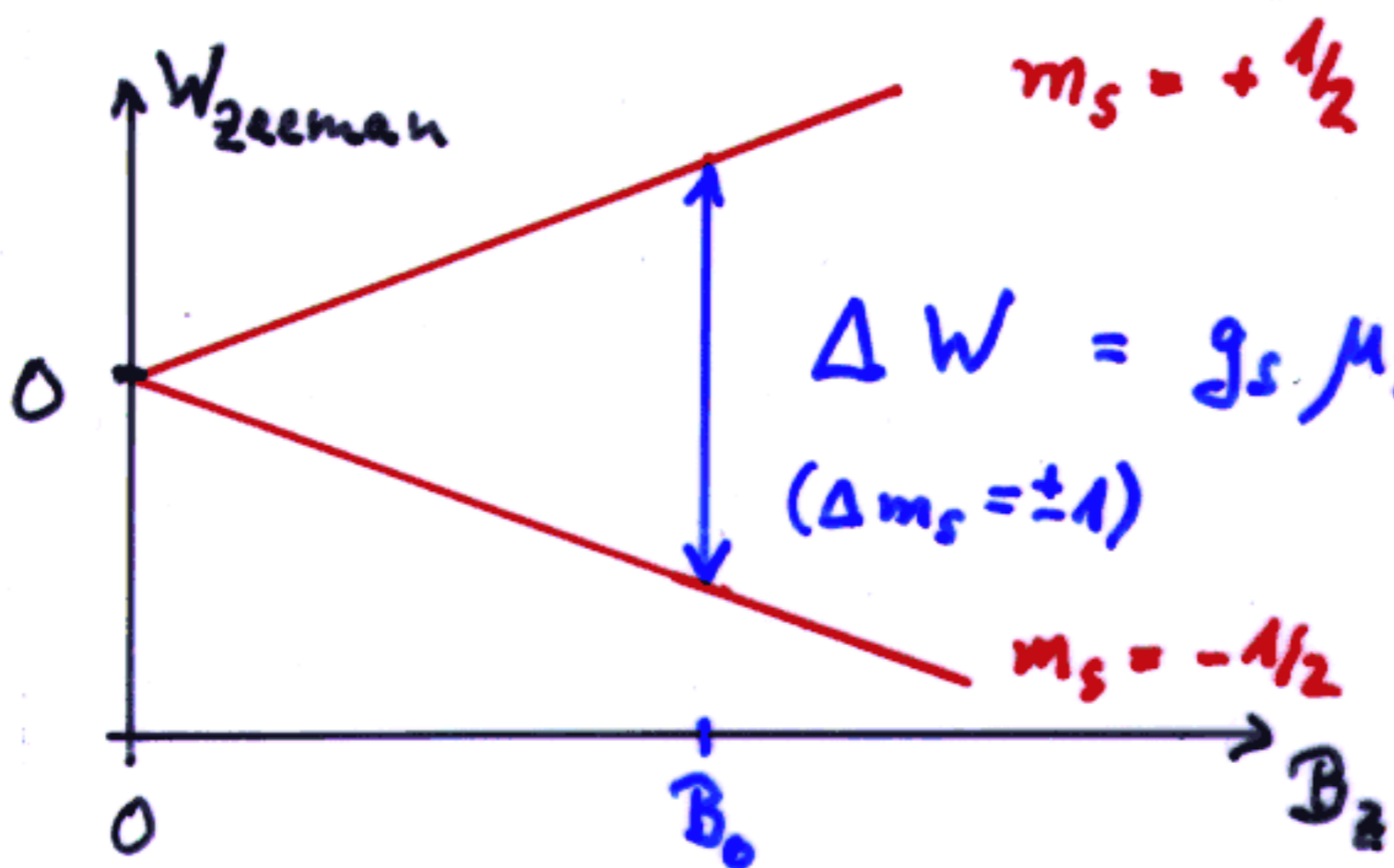
("photon-dressed e^- ")
(Nullpunktschw.)

exp.: $g_S = 2,002\ 319\ 304\ 3737$ (PD)

($\pm 4 \cdot 10^{-12}$)

QED: $g_S = 2 \left(1 + \frac{\alpha}{2\pi} - \left[\frac{\alpha^2}{\pi^2} \right] + \dots \right)$

B.3 Elektronen-Spin-Resonanz (ESR) ($s = 1/2$)



$$W_{Zeeman} = +g_S \mu_B m_S B_z$$

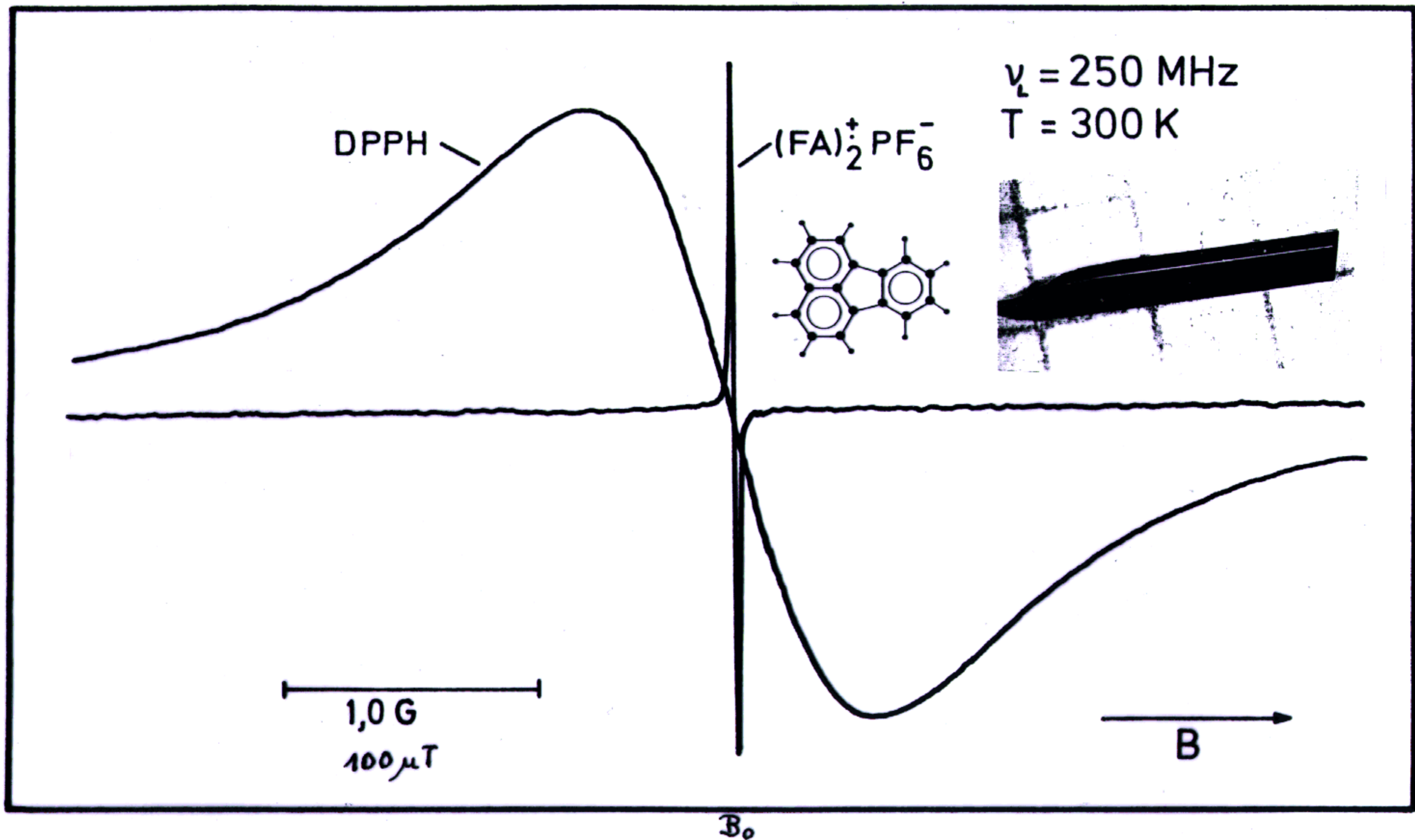
$$\Delta W = g_S \mu_B B_0 \Leftrightarrow h \nu_L = \hbar \omega_{Larmor}$$

$$\frac{\nu_L}{B_0} \approx 28,0 \frac{GHz}{T}$$

(Wechselfeld $\perp B_z$)

z.B.

ESR - Signal (diff.)



$$(FA)_2 PF_6 : \left. \begin{array}{l} g_{zz} = 2,00222 \\ g_{xx} = 2,00226 \\ g_{yy} = 2,00256 \end{array} \right\} \pm 1,5 \cdot 10^{-5}$$