

# Faraday-Rotation

I. Rückmann, H. Bieker, P. Kruse

Universität Bremen

Bad Honnef 2014



# Faraday-Rotation

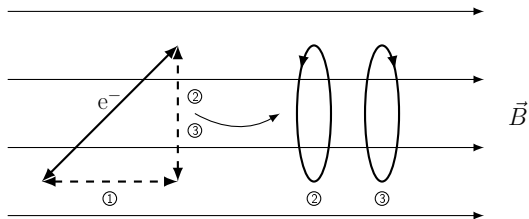
- magnetfeldinduzierte Doppelbrechung
- transparentes Medium (dielektrisch, nicht magnetisch)
- Drehung der Polarisationssebene beim Durchgang

$$\theta = V \cdot B \cdot L$$

Anwendung:

- Faraday Isolator
- Bestimmung der effektiven Masse in Halbleitern

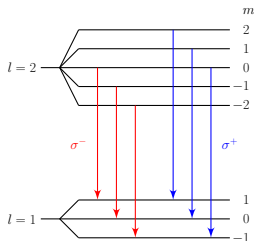
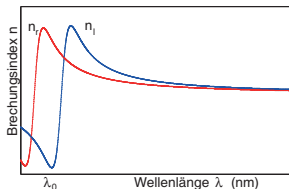
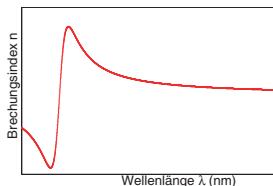
# Zeeman-Aufspaltung im Axialfeld



- klassische Erklärung:  
3 Ersatzelektronen,  $\omega_0$
- normaler Zeeman-Effekt

- Axialfeld:
  - 2.+3. Ersatzelektron
  - $\Delta\omega_{\text{Zeeman}} = \pm\mu_B B/\hbar$
- Frequenzunterschied  $\sigma^-$ ,  $\sigma^+$ -Emissionen:
  - $2\Delta\omega_{\text{Zeeman}} = 2\mu_B B/\hbar$

Alle hochenergetischen Übergänge  $\rightarrow$  Modellresonanz



$$\Delta \tilde{E} = 2\Delta W_{\text{Zeeman}} = \frac{e\hbar}{m_e^*} B$$

$$\Delta \lambda = -\frac{\lambda^2}{hc} \frac{e\hbar}{m_e^*} B$$

$$\Delta m = \pm 1$$

$\rightarrow$  Brechungsunterschied  $n_l$  und  $n_r$  im transparenten Bereich

## Zerlegung $\sigma^-$ und $\sigma^+$ -Welle im Medium

$$E = E_r + E_l = \frac{E_0}{2} \exp i(\omega t - k_r z) + \frac{E_0}{2} \exp -i(\omega t - k_l z)$$

$$E_{z=L} = E_0 \exp i \left( \frac{\omega}{2c} (n_l - n_r) L \right) \cos \left( \omega t - \frac{k_l + k_r}{2} L \right)$$

Drehwinkel:

$$\theta = \frac{\omega}{2c} (n_l - n_r) L = \frac{2\pi f}{2c} (n_l - n_r) L = \frac{\pi}{\lambda} (n_l - n_r) L = \frac{\pi}{\lambda} \Delta n \frac{dn}{d\lambda} L$$

$$\theta = \underbrace{-\frac{1}{2} \frac{e}{m_e^* c}}_{\text{Verdet-Konstante}} \lambda \frac{dn}{d\lambda} \cdot B \cdot L$$

Verdet-Konstante

# Effektive Oszillatormasse und Dispersion

Dispersionselektronen im Glas:

$$m_e^* \ddot{\vec{x}} + D\vec{x} = -e \left( \vec{E} + \vec{v} \times B\vec{e}_z \right)$$

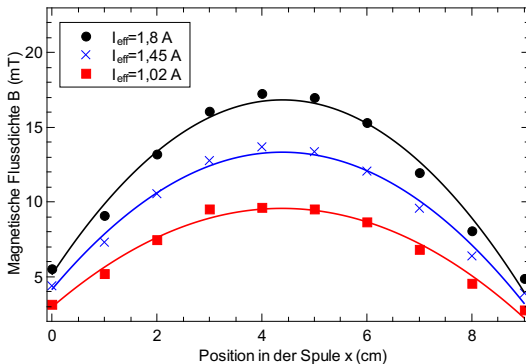
$$n_{1,r}^2 = \varepsilon_{1,r} = 1 + \frac{Ne^2}{m_e^* \varepsilon_0} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 \mp \omega \frac{eB}{m_e^*}}$$

...

$$V = \frac{\omega^2 Ne^3}{2cnm_e^* \varepsilon_0} \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2}$$

$$\frac{1}{n^2 - 1} = \frac{4\pi^2 c^2 m_e^* \varepsilon_0}{Ne^2} \left( \frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda^2} \right) \quad \text{Sellmeier}$$

# Axiales Magnetfeld einer endlichen Spule



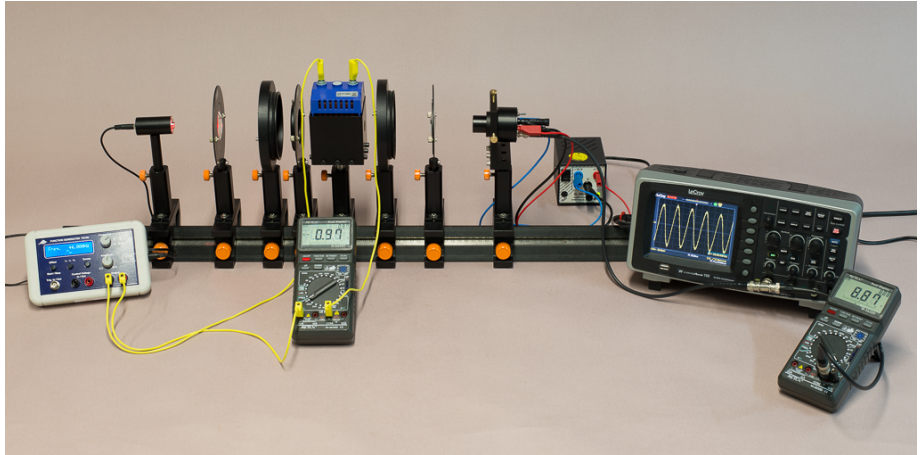
$$\bar{B} = \int_0^L B dl$$

# Modulationsverfahren

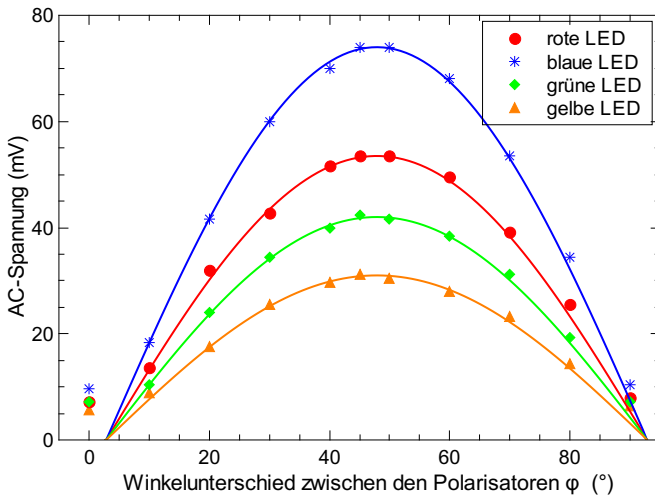
- Malus  $I = I_0 \cos^2 \varphi$
- größter Anstieg bei  $\varphi = 45^\circ$
- $I = I_0 \cos^2 (45^\circ \pm \theta) = 0,5I_0 (1 \mp 2 \cos \theta \sin \theta)$   
 $\approx I_0 \left(\frac{1}{2} \mp \theta_B\right)$
- Modulationsfrequenz  $\Omega$   
 $I(t) = I_0 \left(\frac{1}{2} + \theta_B \sin \Omega t\right) = I_{DC} + I_{AC}$   
 $\theta_B = \frac{I_{SS}}{4I_{DC}}$
- spektrale Funktionen heben sich auf



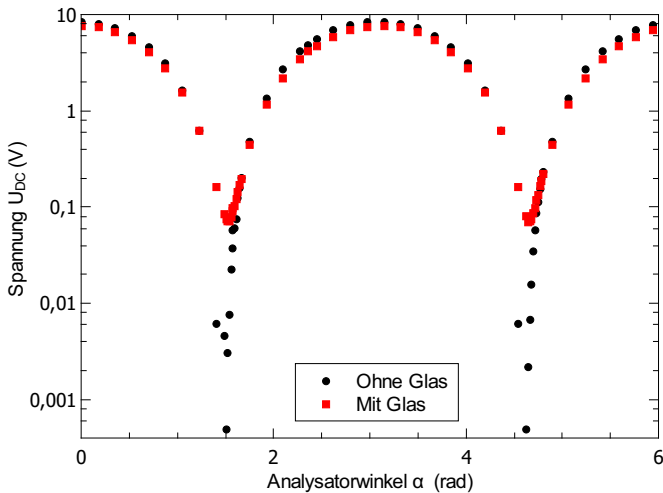
# Versuchsaufbau



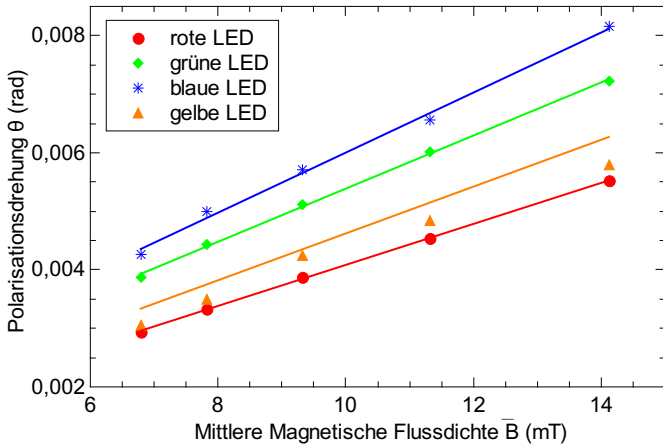
# Maximale Modulation



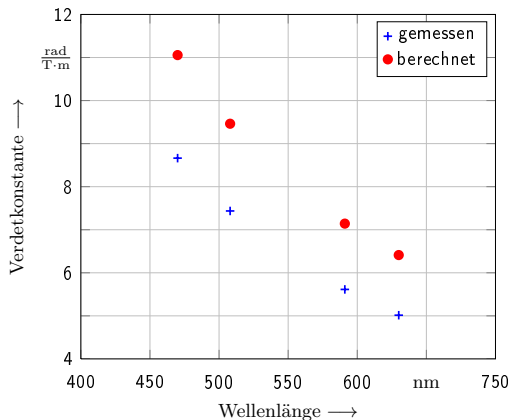
# Kontraste mit und ohne Glas



# Drehwinkel $\theta(B)$



# Verdet-Konstante $V(\lambda)$



Berechnung mit  $m_e^* = m_e$

$$m_e^* = 1,2 m_e$$

$$m_e^*, \lambda_0, N$$

Effektive Oszillatormasse  $m_e^*$

- aus  $V$  und Kenntnis  $dn/d\lambda$  (refractiveindex.info)  
→  $m_e^* \approx 1,2 m_e$

Lage der Modellresonanz  $\lambda_0$

- aus Auftragung  $\frac{1}{n^2-1} = \frac{4\pi^2 c^2 m_e^* \epsilon_0}{N e^2} \left( \frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda^2} \right)$

Zahl der Dispersionselektronen  $N$

- Kenntnis  $m_e^*$  und  $n(\lambda)$  erforderlich  
→  $N = 2,6 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}$

- axiales Magnetfeld in einer Spule
- malussches Gesetz,  $B = 0$ 
  - ohne Glas
  - mit Glas
  - Kontrast, Polarisationsverhältnisse
  - Spannungsdoppelbrechung in Glas
- Spektren von Leuchtdioden
- Modulationsverfahren zur Messung kleiner Größen
- Messung mit Oszilloskop, Tiefpassfilter

- Zeeman-Effekt im Axialfeld, Faraday-Rotation
- Verdetkonstante  $V(\lambda)$
- Modellresonanz, Oszillatormodell, dielektrische Funktion
- Dispersion  $n(\lambda)$ ,  $dn/d\lambda$ , Sellmeier-Gleichung
- effektive Oszillatormasse
- Bestimmung der Zahl der Dispersionselektronen



## 5. AGPP-DPG Workshop

„Innovative Lehrmittel zum Erlernen physikalische Konzepte“

Di, 13.Mai 2014, 10:30 bis 17:00 Uhr

Magnus-Haus Berlin

- Universitäten: Bremen, Marburg, Jena, Kassel
- AUCOOP e.V., LECTRON, PIMicos, Teach Spin
- anerkannt als Lehrerfortbildung

# Danksagung

An das Praktikumsteam:

Waltraud Hoffmann, Silke Glüge, Peter Kruse, Christoph Windzio

Und an die mechanische Werkstatt



Fotos, Grafiken und Präsentationslayout: Christoph Windzio, Helen Bieker