

10. Workshop „Innovative Lehrmittel für den Physikunterricht“, Magnus-Haus der DPG, Berlin, 11. November 2021

1. Atomphysik-Schülerversuch „Optische Bestimmung der spezifischen Elektronenladung e/m mittels Faraday Rotation“
2. Quantenoptik-Schülerversuch „Fluoreszenz Abklingen eines metastabilen Laserniveaus und Rubin Spektroskopie“
3. Neue LED-Optikleuchte
 - I. Rückmann (Bremen, WE-Heraeus Seniorprof.), R. Arndt (Berlin),
und bei Pkt. 2: W. Luhs (Eschbach)

Atomphysik Schülerversuch „Faraday“ „Bestimmung von e/m mittels magnetfeldinduzierter Doppelbrechung in Glas“

1.



Die Elektronen bestimmen die optischen Eigenschaften

Faraday-Rotation

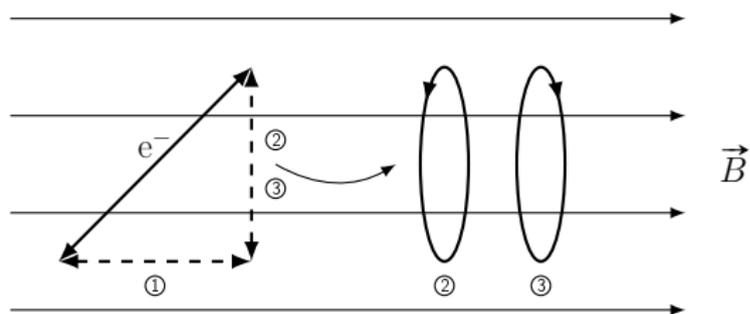
- transparentes Medium (dielektrisch, nicht magnetisch):
Licht – Wechselwirkung mit Elektronen
- magnetfeldinduzierte Doppelbrechung (Lorentzkraft):
Drehung der Polarisationssebene (Faraday-Rotation)

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

Anwendungen:

- Faraday Isolator
- Bestimmung der effektiven Masse in Halbleitern, e/m – Bestimmung

Zeeman-Aufspaltung im Axialfeld

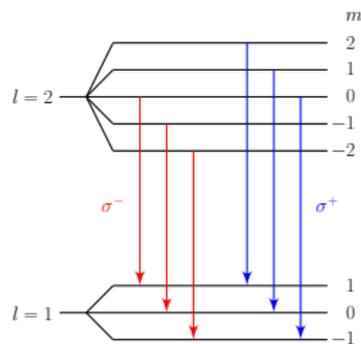
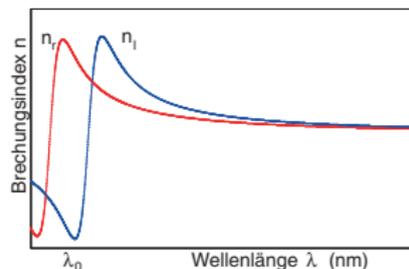
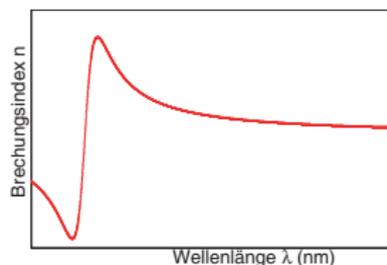


- klassische Erklärung:
3 Ersatzelektronen, ω_0
- normaler Zeeman-Effekt

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

Zeeman-Aufspaltung im Axialfeld

Glas: Alle hochenergetischen Übergänge \rightarrow Modellresonanz



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

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

$$\Delta m = \pm 1$$

\rightarrow Brechungsunterschied n_l und n_r im transparenten Bereich

Linearpolarisation: Überlagerung von σ^- - und σ^+ -Wellen

Drehwinkel der Polarisationssebene:

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

Bequerel 1897:

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

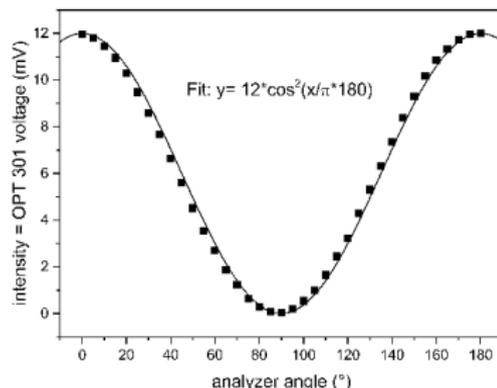
$\rightarrow m_e^*$

Modulation des Magnetfelds

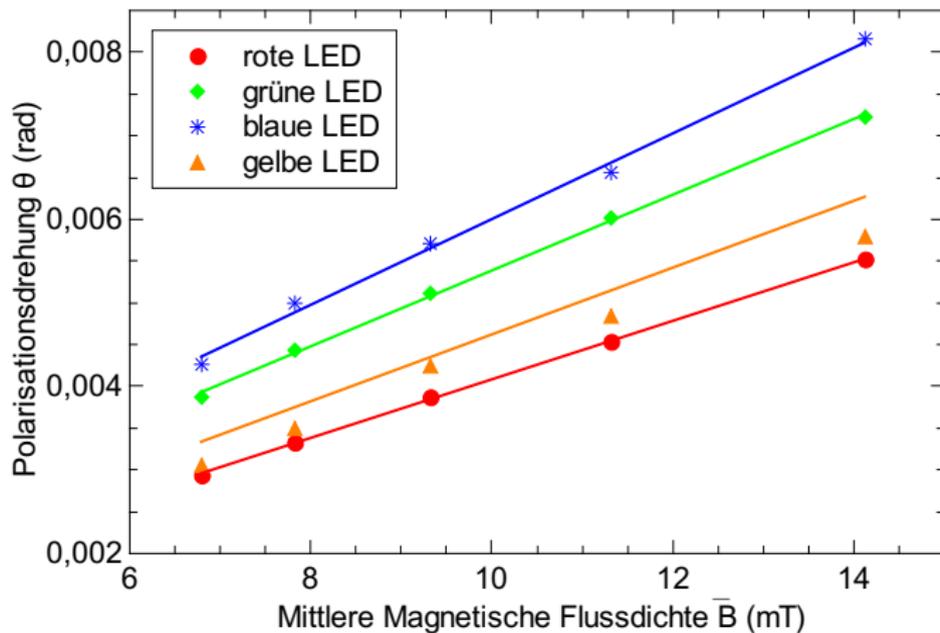
- Malus $I = I_0 \cos^2 \varphi$ (Analysatorwinkel φ)
- größter Anstieg bei $\varphi = 45^\circ$
- $I = I_0 \cos^2(45^\circ \pm \theta) = \frac{1}{2} I_0 (1 \mp 2 \cos \theta \sin \theta) \approx I_0 \left(\frac{1}{2} \mp \theta_B\right)$
- Modulationsfrequenz Ω
 $I(t) = I_0 \left(\frac{1}{2} + \theta_B \sin \Omega t\right) = I_{DC} + I_{AC}$

$$\theta_B = \frac{I_{SS}}{4I_{DC}}$$

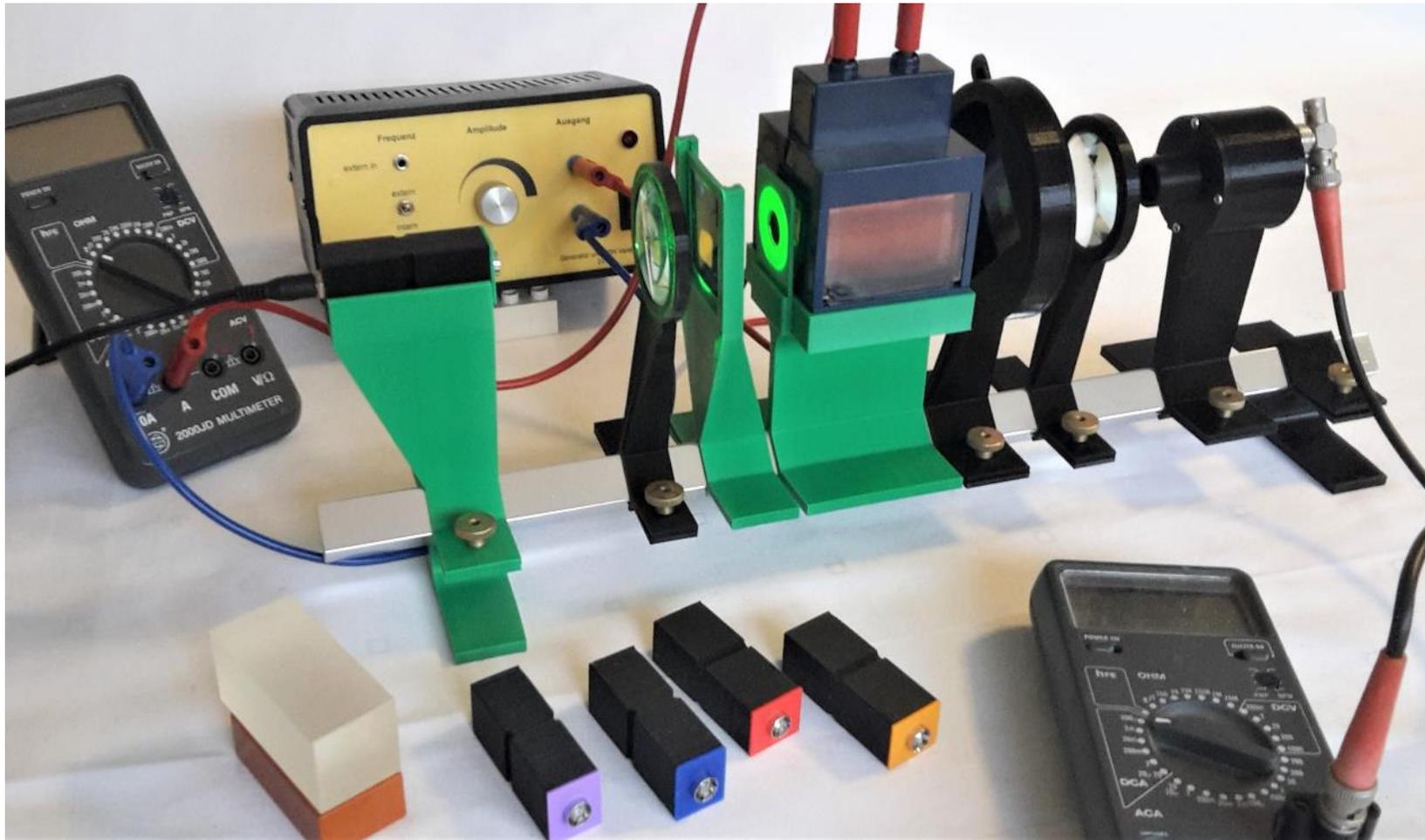
- spektrale Funktionen heben sich auf



$$\text{Drehwinkel } \theta(B, \lambda) = V(\lambda) \cdot B \cdot L$$



Schüler-Versuch: Optische Messung der spezifischen Elektronenladung mittels Faraday Rotation und Demo-Versuch „free space information transfer via laser“ mittels Polarisationsmodulation



$$V = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{1}{c} \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

„Faraday-Rotation im Praktikum“ kann noch mehr



- Ergänzungsbaukästen (nur Faraday Teile / Grundausstattung nötig)
- **effektive Oszillatormasse** der Elektronen
- **Lage der Modellresonanz** (über Sellmeier Auftragung)
- **Dichte der Dispersionselektronen**
- **Free Space Information Transfer** via Laserbeam (z.B. Musik)
- Herleitung Verdet-Konstante aus Schwingungsgleichung mit ***E***- und ***B***-Feld

Lerninhalte (1)

- axiales Magnetfeld in einer Spule
- malussches Gesetz, $B = 0$
 - Kontraste, Polarisationsverhältnisse
 - Spannungsdoppelbrechung in Glas
- Spektren von Leuchtdioden
- Modulationsverfahren zur Messung kleiner Größen
- Messung mit Oszilloskop
- Musikübertragung mittels Polarisationsmodulation

Lerninhalte (2)

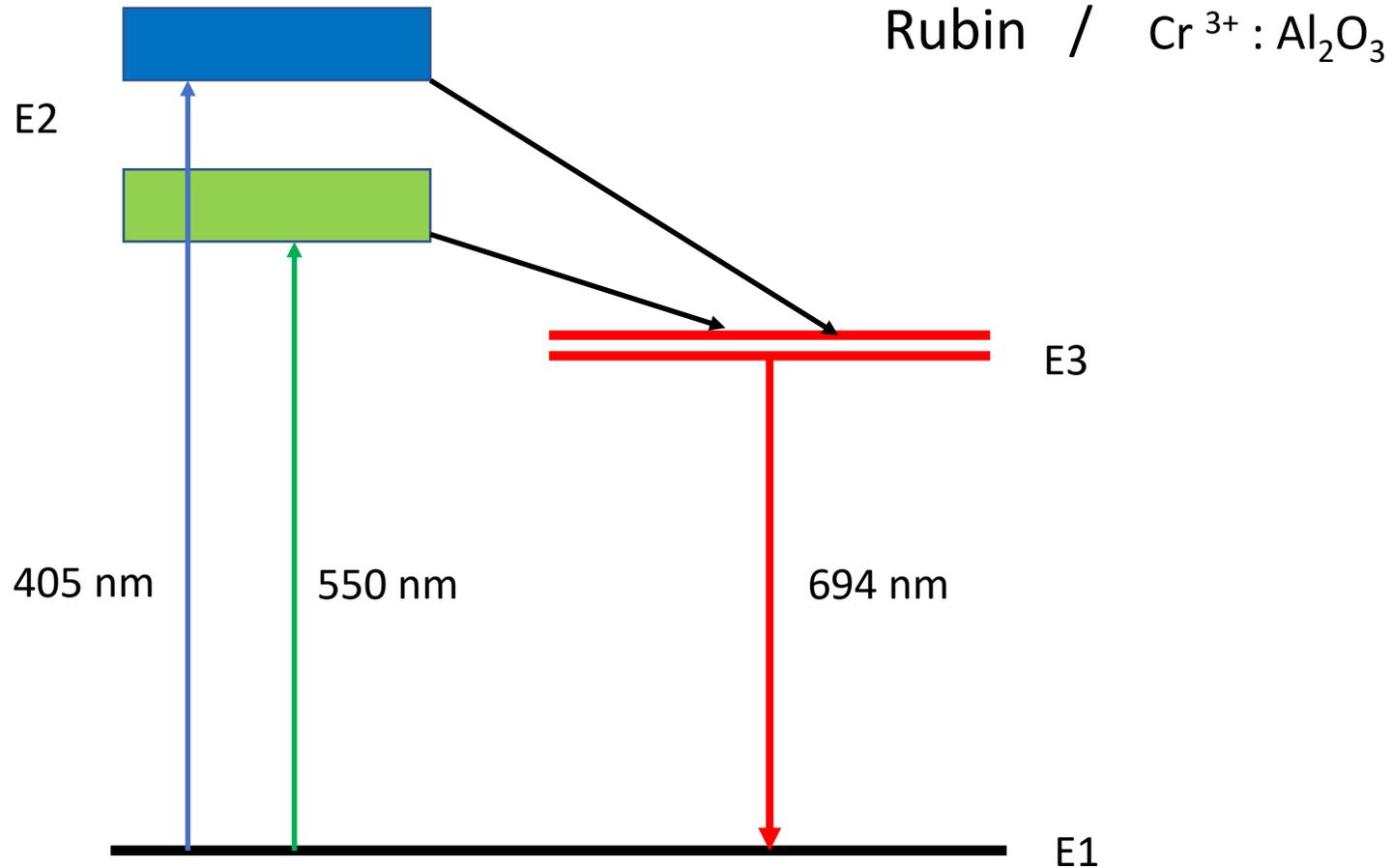
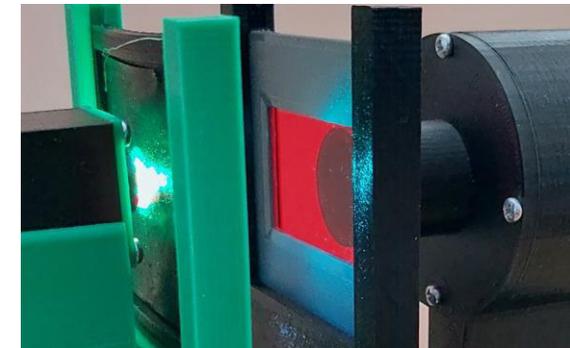
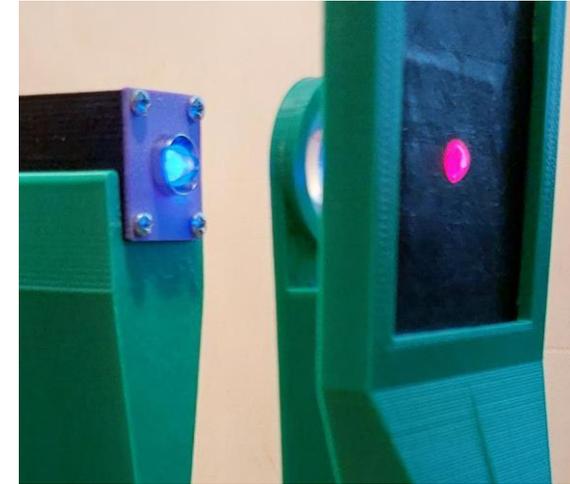
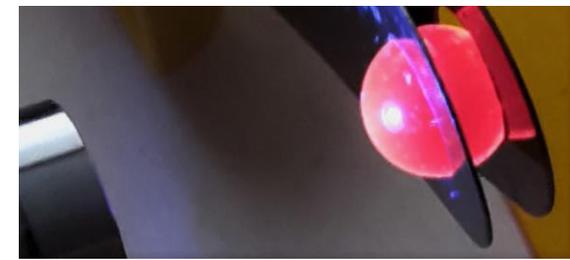
- Zeeman-Effekt im Axialfeld, Faraday-Rotation
- Verdetkonstante $V(\lambda)$
- Modellresonanz, Oszillatormodell, dielektrische Funktion
- Dispersion $n(\lambda)$, $dn/d\lambda$, Sellmeier-Gleichung
- effektive Oszillatormasse bzw. e/m – Bestimmung
- Bestimmung der Zahl der Dispersionselektronen/Atom

2.

Quantenoptik Schülerversuch „Rubin“ (Grundversuch)

„Fluoreszenz Abklingen eines metastabilen
Laserniveaus und Rubin Spektroskopie“

61 Jahre Laser ... und in der Schule?



3 bis 3,5 ms Abklingzeit >> **Schuloszilloskop !**

„Verortung“ im Lehrplan

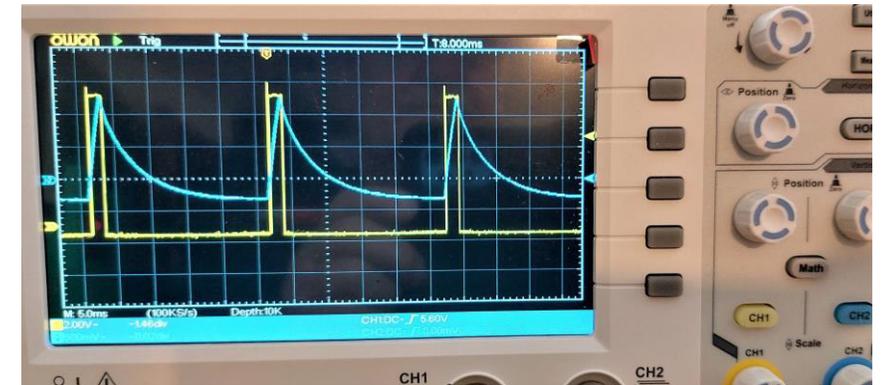
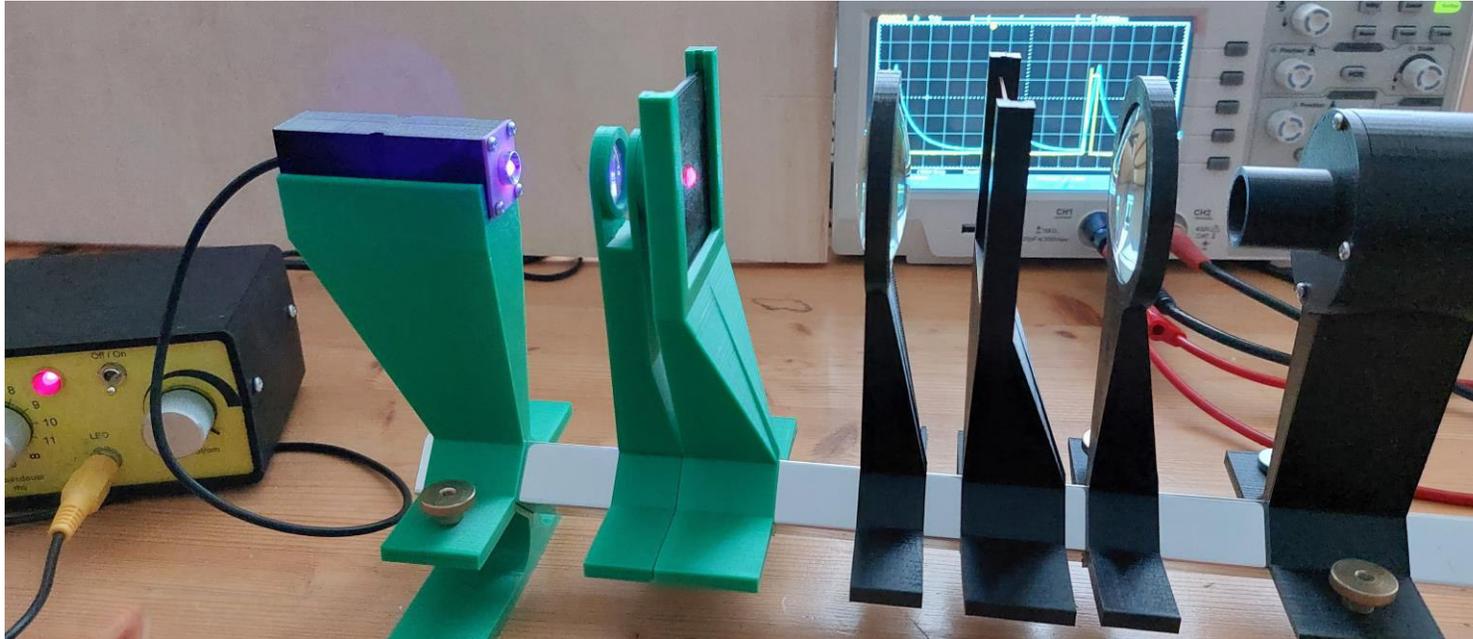
Beispiele aus zwei **Basiskonzepten**: Energie und Wechselwirkung mit den **Inhaltsfeldern**:

Struktur der Materie (Energiequantelung in der Atomhülle und Spektren em-Strahlung,...) / **Elektrik** (Auf- und Entladen eines Kondensators) / **Quantenphysik**: Lichtquanten, quantenhafte Emission und Absorption; Detektoren ...

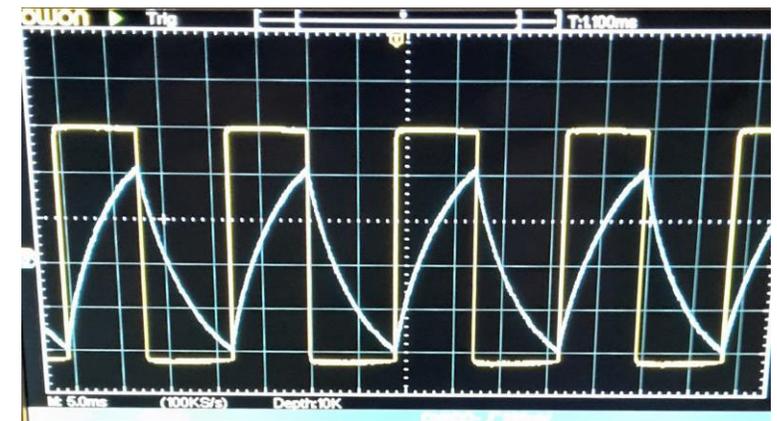
Laser: aktives Medium (Besetzungsinversion!), Pumpe, Resonator
(im Abitur bisher: He-Ne- / Ar-Ion- / CO₂-Laser)

... und experimentell ?

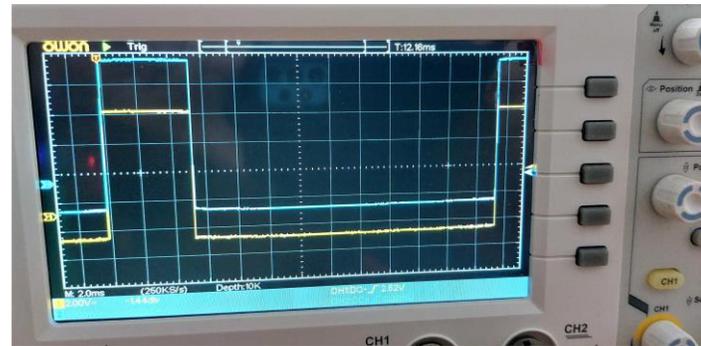
Messung des An- und Abklingens der Rubin-Fluoreszenz



- Rechteck 40 Hz, Tastverhältnis einstellbar (2 ms bis 13 ms Pulslänge) ,
- Anregung mit gepulsten LEDs: UV (405 nm) & Grün (530 nm)



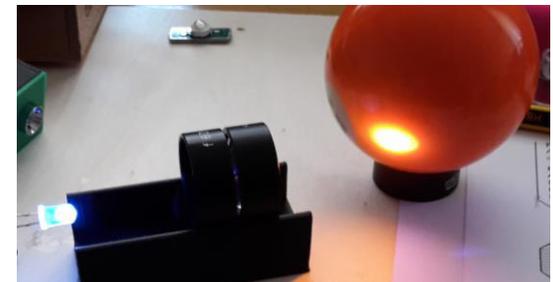
Fluoreszenz in anderen Stoffen ist viel...viel schneller



Für unseren
Anregungspuls:
>> instantane
Antwort

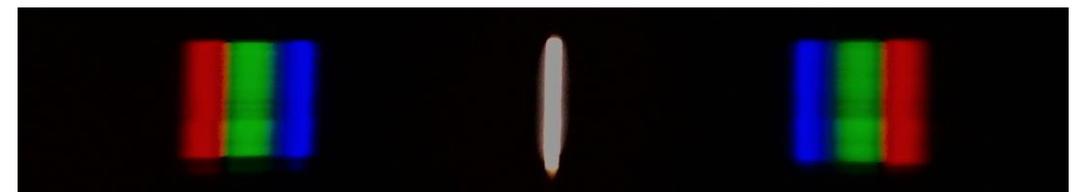
Zum Vergleich: z.B. Fluoreszenz von gefärbtem Acrylglas
(Lebensdauer des S1 Niveaus von Farbstoffen ca. 10 ns)

...oder Billardkugel im UV



Spektroskopie-Aufbau

- Spektrum der weißen LED (300 /mm und 500 /mm)
- Einfluss von Farbfiltern und Farbmischung
- Messung Rubin-Transmission
>> UV- und grüne Absorptionsbanden
- Beobachtung Rubin-Fluoreszenz und Anregungsstrahlung
>> Rubin Emissions-Wellenlänge



Gesamtversuch: Rubin - Fluoreszenz und Spektroskopie



2 Aufbauten – schneller Umbau !



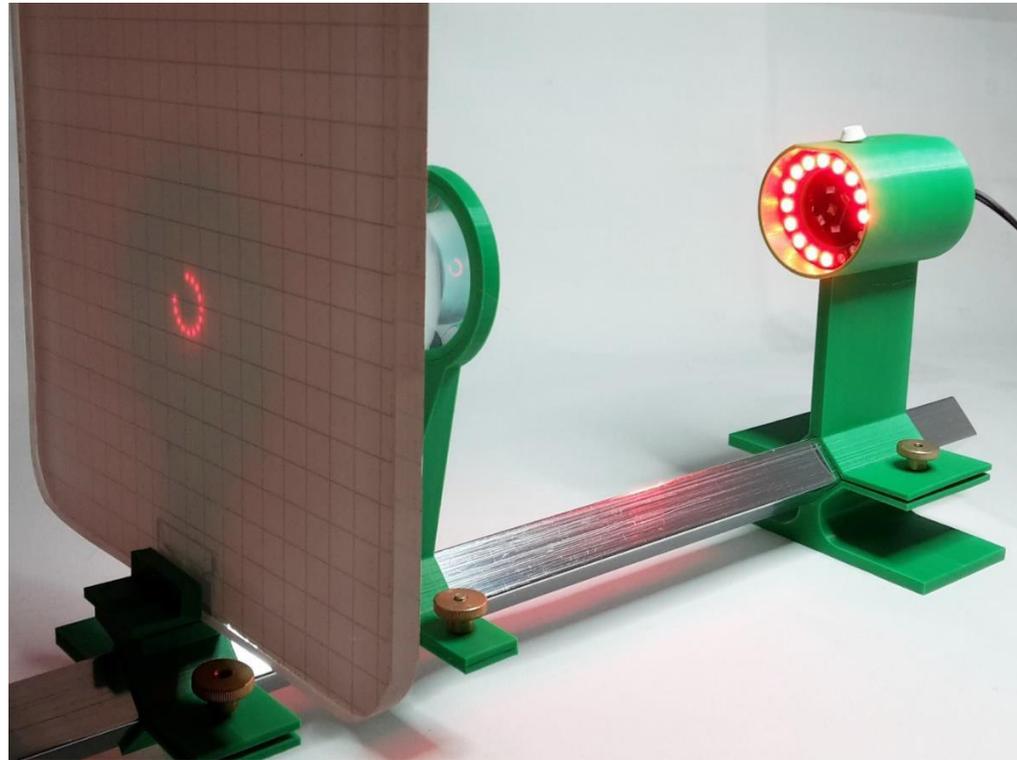
Lerninhalte beim Rubin-Grundversuch

- Optische Justage, Linsenformel, 1:1 und verkleinerte Abbildung, Brennweiten, Fokussierung,
- Pulsförmige Anregung, Rechteckpuls, Tastverhältnis,
- Messungen mit einem Standard Zwei-Kanal Oszilloskop,
- exponentielles An- und Abklingen, Zeitkonstante, Halbwertszeit,
- Drei-Niveauschema, Voraussetzung für ein Lasermaterial,
- Lebensdauern, Übergangsraten, Absorptionsbanden des Rubins,
- Absorption und Fluoreszenz, metastabiles Laserniveau als Voraussetzung für Besetzungsinversion,
- Spontane Emission und Absorption, Einstein-Koeffizienten,
- Spektrometer, Spektren, optische Filter, Farbzerlegung und Farbmischung,

3.

LED-Optikleuchte

- nutzbar als selbstleuchtender Gegenstand
- unsymmetrisch
- umschaltbar (Ring: R, G, B, weiß & Punktquelle)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

<https://lehrmittel-musterbau.de>

Haus-, Garten- oder Schulversuche zum Nachmachen

Hier wird regelmäßig ein spannender, aber einfach zu realisierender Versuch eingestellt.

Heute: **Farbeffekte** (rotes Auto unter gelber (Na-Dampf-)Straßenlaterne / der Farbeindruck hängt von der Beleuchtung ab, z.B. im Kaufhaus / die Farbmischung findet im Auge statt / der Effekt wird u.a. im Supermarkt an Fleisch- und Gemüsetheke genutzt,...)



Oberes gelbes Fach wird beleuchtet mit roten und grünen LEDs. Hier kann die Paprikaschote Rot reflektieren und sieht toll aus.



Unteres gelbes Fach wird beleuchtet mit gelben LEDs. Dieselbe Paprikaschote kann kein rotes Licht reflektieren und sieht alt aus.

