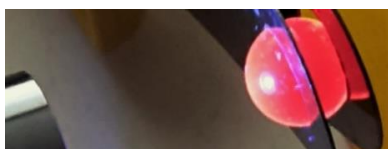


Quantenoptik-Schülerversuch „Rubin“ – Grundversuch zum LASER

„Fluoreszenzabklingen eines metastabilen Laserniveaus und Rubin-Spektroskopie“ – Lerninhalte und mögliche Aufgabenstellungen

Am 14. Mai 1960 stellte Theodore Maiman den allerersten Laser, einen gepulsten Rubinlaser vor. Er zeigte damals, dass mindestens ein Drei-Niveauschema mit einem metastabilen Zustand zur Erzeugung einer Besetzungsinversion als Voraussetzung für einen Laser erforderlich ist. Heute sind Laser mit unterschiedlichsten aktiven (Vier-Niveau-) Materialien in fast allen Lebensbereichen im Einsatz. Die Bedeutung des Rubinlasers ist dadurch geschrumpft und er wird trotz seiner grundsätzlichen Rolle oft vergessen. Der Rubinlaser ist heute sogar als cw-Laser gut betreibbar und wegen seiner äußerst großen Kohärenzlänge insbesondere noch für die Holografie interessant.

Die experimentelle Untersuchung des ersten Lasermaterials Rubin gestattet grundlegende Kenntnisse zu erlernen und aufgrund der recht großen Lebensdauer des metastabilen Zustands Messungen mit einfachsten Mitteln auch in der Schule durchzuführen.



Mit UV-Licht angeregte Rubinkugel

Einordnung in den Lehrplan

Der Versuch „Fluoreszenzabklingen eines metastabilen Laserniveaus und Rubin-Spektroskopie“ bedient und verknüpft in fast genialer Weise viele der im Physiklehrplan für die gymnasiale Oberstufe vorgesehenen Basiskonzepte und benötigt dabei jeweils Teile von deren physikalischen Inhalten, wie z.B. (1) im „Basiskonzept Energie“ aus dem „Inhaltsfeld 4: Struktur der Materie“ die Energiequantelung in der Atomhülle und die Spektren elektromagnetischer Strahlung sowie aus dem „Inhaltsfeld 3: Elektrik“ hier z.B. das Auf- und Entladen eines Kondensators, (2) im „Basiskonzept Wechselwirkung“ aus dem „Inhaltsfeld 4: Quantenphysik“ ebenso die Lichtquanten, deren quantenhafte Emission und Absorption und die Detektoren. Beispielhaft ist dies im Kernlehrplan NRW unter https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/160/KLP_GOSt_Physik.pdf nachzulesen.

Die Überschriften von Basiskonzepten und Inhaltsfeldern sind zum Teil identisch und vertauschen sich (z.B. „Struktur der Materie“) je nachdem, ob man den Lehrplan des Grundkurses oder des Leistungskurses Physik anschaut.

Trotz der Unübersichtlichkeit der „Physik-Lehrpläne“ kann man sofort feststellen, dass alle fachlichen Voraussetzungen für Schüler gegeben sind, um o.g. Versuch zu verstehen und mit erheblichem Gewinn – Anwenden von Wissen aus verschiedenen erlernten Gebieten - in **Klassstufe 12** durchführen zu können. Theoretische Abituraufgaben zum Laser gab es bereits 2002 zum He-Ne-Laser, 2006 zum Ar-Ionen-Laser und 2011 zum CO₂-Laser.

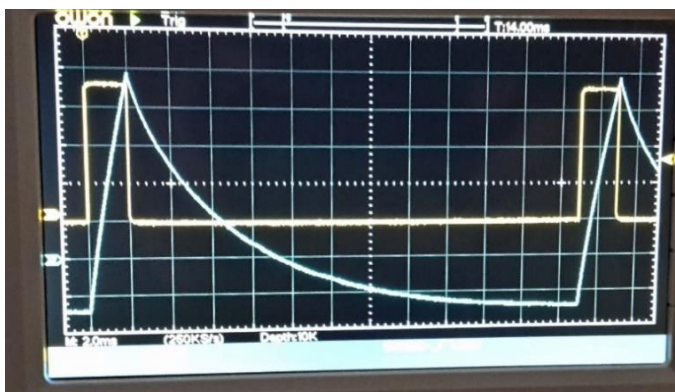
Lerninhalte

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

Einige mögliche Aufgabenstellungen

Versuchsteil 1: Messung des Fluoreszenzabklingens von Rubin

- Messung des zeitlichen Verlaufs der Fluoreszenz des Rubins bei gepulster Anregung mit UV-Licht bei 405 nm,
- Durchführung der Messung ohne und mit Gelbfilter vor dem Detektor (Untersuchung des Einflusses des Rest-UV-Lichts auf Verlauf und Größe des Lumineszenz-Signals)
- Als Vergleich: Messung schneller (hier instantaner) Fluoreszenz z.B. eines Farbglases
- Variation des Tastverhältnisses des anregenden Rechteckpulses zur Untersuchung sowohl des An- als auch des Abklingens der Rubin-Fluoreszenz, z.B. Aufladen bis zur Sättigung
- Bestimmung beider Zeitkonstanten über die Messung der Halbwertszeiten (Exponentialfunktion, Bezug auch zur Kernphysik) beim An- und Abklingen der Rubin-Fluoreszenz und Ermittlung des Einstein-Koeffizienten der spontanen Emission
- Messung des zeitlichen Verlaufs der Fluoreszenz des Rubins bei gepulster Anregung mit grünem Licht (530 nm), ebenfalls Bestimmung der Zeitkonstanten und Vergleich der Intensität mit der bei UV-Anregung erhaltenen



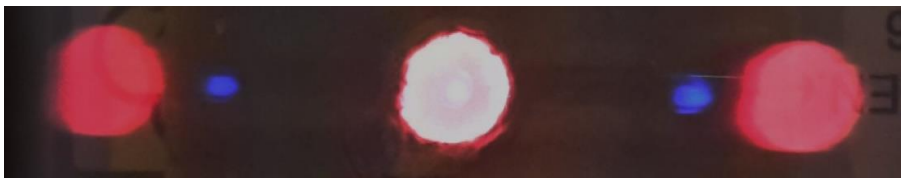
Zeitverhalten der
Fluoreszenz und des
Anregungspulses (hier: 2 ms
lang)

Versuchsteil 2: Spektroskopie von Rubin

- Aufnahme des Spektrums einer weißen LED mit Spektrometer und Webcam (mit verschiedenen Gittern jeweils bei unterschiedlichen Intensitäten, Polfilter)
- Aufnahme von Spektren bei Einfügen von Farbfiltern (roter Filter, blauer Filter, gelber Filter) in den Strahlengang zwischen weißer LED und Spektrometer
- Aufnahme des Transmissionsspektrums der Rubinkugel (Einbringen der Rubinkugel in den Strahlengang zwischen weißer LED und Spektrometer) und Ermittlung beider Rubin-Absorptionsbanden
- Aufnahme des Fluoreszenzspektrums des Rubins bei Anregung mit cw-LED-UV-Licht jeweils ohne und mit Gelbfilter vor dem Detektor und quantitative Abschätzung der Fluoreszenzwellenlänge (dabei Nutzung der Kenntnis der Anregungswellenlänge oder Kalibrierung mit verschiedenfarbigen LEDs).
- Aufnahme des Fluoreszenzspektrums des Rubins bei Anregung mit grünem cw-LED-Licht und quantitative Abschätzung der Fluoreszenzwellenlänge.



Erste und zweite Beugungsordnungen des Lichts einer weißen LED (Gitter hier nur 100 Striche/mm). Deutlich überlagern sich in den beiden ersten Beugungsordnungen aufgrund ihrer Intensität und spektralen Breite Rot und Grün zu einem ursprünglich nicht vorhandenen Gelb (siehe 2. Ordnungen)



Nur durch ein Gitter (300 Striche/mm) betrachtete, mit UV-Licht angeregte Rubinkugel.