

FLouRESZENZLEBENSDAUER AM RUBIN

Ausarbeitung von Erik Brambrink
Betreuer: Ekkehard Reibold

Ziel des Versuches

In diesem Versuch soll die Lebensdauer der R-Linie im Rubin durch direkte Messung der emittierten Lichtintensität ermittelt werden.

Theoretische Grundlagen

Rubin ist der Name für chromdotiertes Aluminiumoxid. Der Halbedelstein ist bekanntlich rot, wobei die rote Farbe mit zunehmender Dotierung zunimmt. Im elektrostatischem oktaedrischem Kristallfeld des Rubins werden die Energieniveaus des Chrom-Atoms aufgespalten (Stark-Effekt). Diese Niveaus tragen dann in spektroskopischer Notation andere Bezeichnungen, so z.B. A für die einfache Kristallfeldkomponente oder E für die zweifache Kristallfeldkomponente. So heißt der Grundzustand in spektroskopischer Notation 4A_2 . Das nächsthöhere Energieniveau ist die R-Linie, die jedoch keinen Übergang in den Grundzustand erlaubt. Durch weitere Kopplungen spaltet die R-Linie jedoch weiter in zwei Linien auf, wodurch dieser Übergang schwach erlaubt ist. Die Lebensdauer dieses Übergangs ist also sehr lang, man spricht von einem metastabilen Zustand. Über diesem Niveau liegen die Y- und U-Bänder, von welchen ein strahlungsloser Übergang in die R-Linien stattfindet. Da diese Bänder einen relativ großen Spektralbereich absorbieren, können sie mit Licht gut angeregt werden, wodurch man über diese Bänder die R-Linie gut bevölkern kann. Dies ermöglicht dann die Besetzungsinversion beim LASER.

Generell sind im Atom Übergänge durch Emission, Absorption und induzierte Emission möglich. Da wir die Lebensdauer messen, während kein Licht von außen einstrahlt, haben wir es primär mit Emission zu tun, die dafür sorgt, daß die besetzung im angeregtem Zustand exponentiell abklingt. Absorption und induzierte Emission sind im Gegensatz zur spontanen Emission von der Strahlungsintensität der Übergangsfrequenz abhängig, und zwar proportional. Aus der Lebensdauer eines Zustands läßt sich die Übergangswahrscheinlichkeit für spontane Emission berechnen (Einsteinkoeffizienten). Aus der Besetzungsstatistik und der Planckschen Formel lassen sich dann auch die Einsteinkoeffizienten für Absorption und induzierte Emission berechnen. Somit läßt die Lebensdauerermessung Rückschlüsse auf alle Übergangswahrscheinlichkeiten des Zustands zu.

Man kann alternativ auch aus der Absorption des Rubin-Kristalls den Koeffizienten für Absorption berechnen und daraus dann die der spontanen Emission. Auch damit kann man dann die Lebensdauer des Zustands berechnen. Dieser Weg wurde von Nelson und Sturge beschritten, die damit auf einen Wert von 4,22 ms bei 300 K kamen.

Versuchsaufbau und Durchführung

Die Lebensdauer des Rubins wurde direkt gemessen. Dazu wurde der Rubin mit einer Blitzlampe angeregt und dann das den Rubin verlassende Licht mit einer Photokathode registriert. Ein angeschlossener Photomultiplier verstärkt das Signal. Das so gewonnen Signal wurde mit einem Box-car-Integrator entauscht. Anschließend wurde das Signal mit einem logarithmischen Schreiber aufgezeichnet, wodurch der exponentielle Abfall zu einer gerade wurde. Damit der Schreiber richtige Werte liefert (kein Offset) mußte er vor jeder Messung neu geeicht werden. Dazu wurde das Signal des Grenzfalls für lange Zeiten auf 1 gesetzt, also der Logarithmus auf 0.

Dieser Versuchsaufbau wurde dann erst mal mit bekannten Kurven eines RC-Gliedes geeicht. Anschließend wurden dann die Messungen am Rubin durchgeführt. Dabei wurde jede Messung mit den Chrom-Konzentrationen 0,1% 0,5% und 1% durchgeführt. Außerdem wurde jede Messung bei 20°C, 40°C, 60°C, 80°C (Wasserbad), bei 77 K (Stickstoffbad) und bei Raumtemperatur in Luft durchgeführt.

Um Einflüsse durch Streulicht zu vermeiden, war die ganze Apparatur lichtdicht gekapselt. Außerdem waren Filter eingebaut, die nur das Licht von den R-Linien zur Photokathode durchließen.

Auswertung

Zuerst wurde die Eichkurven benutzt, um den Zusammenhang zwischen Steigung und Zeitkonstante zu ermitteln:

tau(ms)	1/TAU (1/ms)	x (cm)	y (cm)	y/x	
2		0,5	20	10,6	0,53
4		0,25	20	5,8	0,29
6	0,16666666667		20	4,1	0,205
8		0,125	20	3,4	0,17
10		0,1	20	3	0,15

Eine lineare Regression liefert dann für $\frac{1}{\tau} = 0,96 \times \frac{1}{ms}$, wobei x die Steigung der Geraden ist. Damit konnte dann die Messung am Rubin ausgewertet werden.

Die Messkurven für die Lebensdauer wurden dann gaphisch ausgewertet, indem man ein Steigungsdreieck der Kurve ausmaß. Die Werte sind hier tabellarisch aufgeführt:

	x (cm)	y (cm)	Steigung	tau (ms)	
0,1 % 77K	15	2,25	0,15	6,96	
0,5% 77K	15	2,1	0,14	7,46	
1% 77K	15	3,1	0,21	5,05	
0,1% Luft	15	4,4	0,29	3,56	
0,5% Luft	15	3,7	0,25	4,23	
1% Luft	15	3,95	0,26	3,96	
0,1% Wasser 20°C	15	4,6	0,31	3,40	
0,5% Wasser 20°C	15	4,1	0,27	3,82	
1% Wasser 20°C	15	4,3	0,29	3,64	
0,1% Wasser 40°C	15	4,8	0,32	3,26	
0,5% Wasser 40°C	15	4,4	0,29	3,56	
1% Wasser 40°C	15	4,55	0,30	3,44	
0,1% Wasser 60°C	15	5,1	0,34	3,07	
0,5% Wasser 60°C	15	4,2	0,28	3,73	
1% Wasser 60°C	15	4,9	0,33	3,20	
0,1% Wasser 80°C	15	5,1	0,34	3,07	
0,5% Wasser 80°C	15	5,1	0,34	3,07	
1% Wasser 80°C	15	5,1	0,34	3,07	

Zuerst einmal sieht man, daß bei Raumtemperatur der berechnete Wert von 4 ms ganz gut erreicht wird. Desweiteren sieht man, daß die Werte in Abhängigkeit von Temperatur und Konzentration teilweise erheblich schwanken. Zuerst einmal beobachtet man bei steigender Temperatur einen Abfall der Lebensdauer. Das läßt sich damit erklären, daß bei höherer Bewegungsenergie (=höhere Temperatur) der Elektronen Wellenfunktionen verschmierter sind und es damit auch zu mehr Überlagerungen und damit auch zu häufigeren Übergängen kommt. Dies entspricht der allgemeinen Regel, daß Reaktionen bei hohen Temperaturen schneller ablaufen.

Schwieriger dagegen ist die Konzentrationsabhängigkeit zu erklären. Es zeigt sich, daß bei mittlerer Konzentration die Lebensdauer am längsten ist, wobei dieser Effekt bei zunehmender Temperatur verschwindet. Dies läßt sich mit Absorptions- und stimulierten Emissionsprozessen erklären. Steigt die Konzentration, so kann ein spontan emittiertes Photon innerhalb der Probe wieder absorbiert werden. Dieses Photon verläßt dann erst nach zwei Lebensdauern das Kristall. Dies führt dazu, daß im Mittel eine längere Lebensdauer gemessen wird. Ist die Konzentration dagegen noch höher, so können Photonen im Kristall auch stimulierte Emissionen ausführen. Das kann natürlich bei jeder Konzentration passieren, aber da die stimulierte Emission proportional zur Strahlungsdichte ist, findet dieser Prozess bei hohen Konzentrationen häufiger statt, da die Strahlungsdichte proportional zur Konzentration ist. Bei hohen Temperaturen spielen diese Prozesse nicht mehr eine so große Rolle, da die spontane Emission schnell vonstatten geht. Außerdem steigt die Wahrscheinlichkeit für eine induzierte Emission, so daß auch bei geringerer Konzentration und damit Strahlungsdichte genügend induzierte Emissionen zum Gesamtprozess beitragen. Die Fehler lassen sich in diesem Versuch nur schwer abschätzen, da die Konstruktion des logarithmischen Schreibers nicht bekannt ist und dessen mögliche Fehler damit auch nicht abschätzbar. Der Fehler durch ablesen der Graphen liegt bei ca. 5% (Strichdicke, Schwankung der Kurve). Dieser setzt sich linear in der Lebensdauer fort. Auch die Eichung ist fehlerbehaftet, wobei hier die Regression einen Fehler von 1% liefert. Auch die Temperaturschwankung während der Messung trägt zum Fehler bei. Quantitative Aussagen über die Temperaturabhängigkeit sind damit schlecht möglich, dazu müßte die Probe während der ganzen Messung temperiert werden. Insgesamt zeigt sich aber die qualitative Abhängigkeit von Temperatur und Konzentration sehr gut und auch die Größenordnung der Lebensdauer läßt sich gut bestimmen.