

Farberzeugung via Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Jermaine Freeman



NUT 2022
Klasse 10.1

Einleitung

Das Wort „Laser“ ist ein Akronym für „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ (De: „Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung“). Im Jahre 1915 / 1916 entwickelte Albert Einstein, ein verstorbener weltberühmter Physiker, das Einsteinsche Ratenbild, welches die Berechnung von Übergangswahrscheinlichkeiten in einem Zweiniveausystem, sowie die spätere Fertigstellung des weltweiten LASERS von Theodore Maiman im Jahr 1960 ermöglichte.

Quantenmechanische Grundlagen

Ein Laser beruht auf Effekten der Quantenphysik, unter anderem der Effekt des elektronischen Übergangs (Quantensprung). Dies ist die Änderung des Energieniveaus eines Elektrons in einem Atom, Molekül oder (kristallinem) Festkörper. Falls bei diesem Übergang ein Photon abgestrahlt wird (Abregung) oder absorbiert wird (Anregung) so wird dieser Übergang als optisch oder strahlend bezeichnet. Wird ein Photon absorbiert geht das Zweiniveausystem in einen angeregten Zustand über. Bei dem späteren natürlich folgenden Prozess der Abregung kann in spontane Emission und stimulierte (induzierte) Emission unterteilt werden. Diese quantenmechanischen Effekte bilden die Grundlagen eines Lasers.

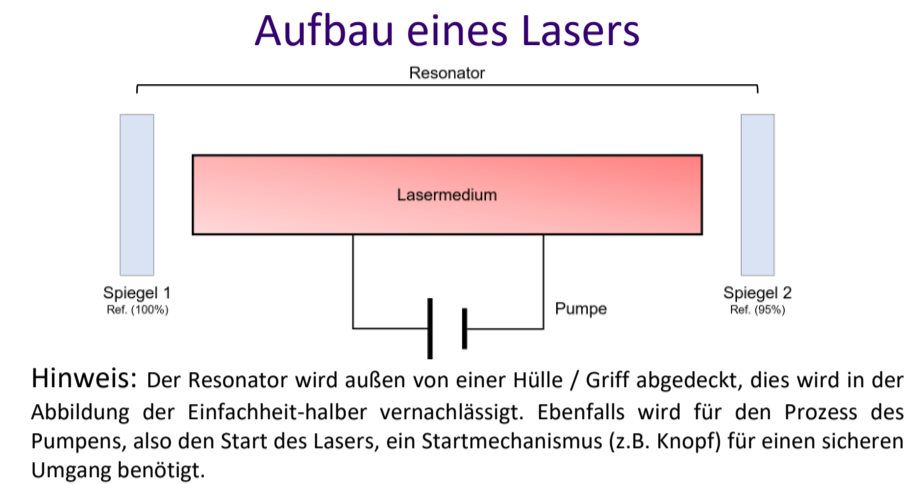
Aufbau eines Lasers

Ein Laser besteht konzeptionell aus drei Bestandteilen: das Lasermedium (aktive Medium), die Pumpe (Energiezufuhr, die für eine Besetzungsinversion im Lasermedium sorgt) und dem Resonator, welcher die Wahrscheinlichkeit einer stimulierten Emission durch den entstehenden Rückkopplungs-Effekt erhöht. Bei sogenannten Superstrahlern wird nicht immer der Resonator benötigt, bei konventionellen Lasern werden dennoch, für eine reibungslose Abfolge der stimulierten und induzierten Emission alle drei Bestandteile benötigt.

Als das im Resonator positionierte Lasermedium, werden feste Stoffe, wie z.B. Rubinkristalle, aber auch gasförmige (z.B. CO₂) oder flüssige Stoffe (Lösungen organischer Farbstoffmoleküle) verwendet. Jeder Stoff besitzt ein spezielles Energieniveau, welches die Wellenlänge, also die später für den Menschen sichtbare Farbe des fokussierten Laserstrahles bestimmt. Aufgrund der speziellen Position des Lasermediums wird es von zwei entweder gekrümmten Spiegeln oder Planspiegeln mit unterschiedlicher Reflektivität, den Bestandteilen des Resonators, eingeschlossen.

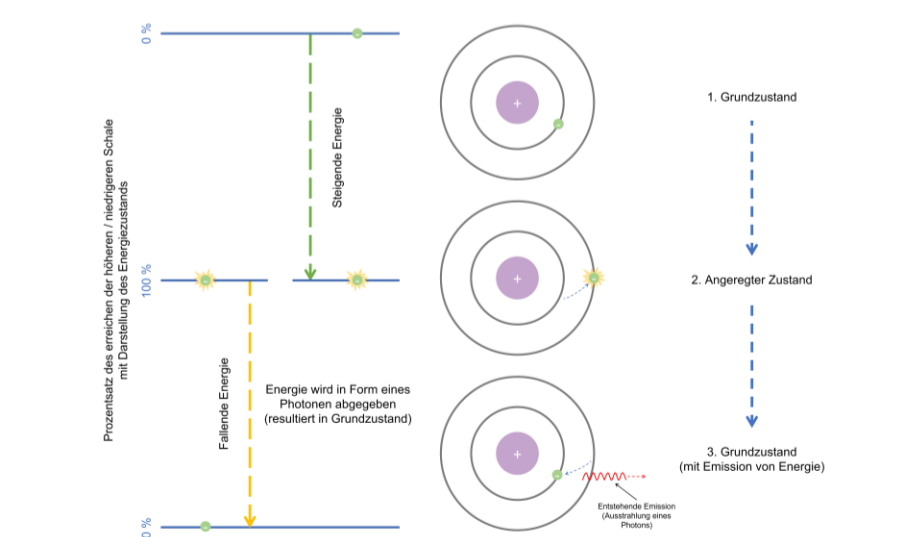
Damit beim Laser der gebündelte Lichtstrahl einen Austrittspunkt finden kann, ist die Reflektivität der Spiegel meistens 100% zu 98%. Diese Eigenschaft des Resonators ist wichtig, sodass die Emissionen zwischen den Spiegeln hin und her reflektiert werden, was wiederum darin resultiert, dass im Lasermedium stets weitere Emissionen erzeugt werden, um den hochgradig monochromatisch (einfarbig / mit ähnlicher Wellenlänge) erzeugten Lichtstrahl zu verstärken.

Damit ein hochgradig monochromatischer Lichtstrahl überhaupt entstehen kann bzw. die Elektronen in den Atomen des Lasermediums Emissionen erzeugen können, wird eine konstante Besetzungsinversion erzeugt durch die Energiezufuhr, die sogenannte Pumpe, welche mit dem Lasermedium verbunden ist, benötigt.



Funktionsweise eines Lasers

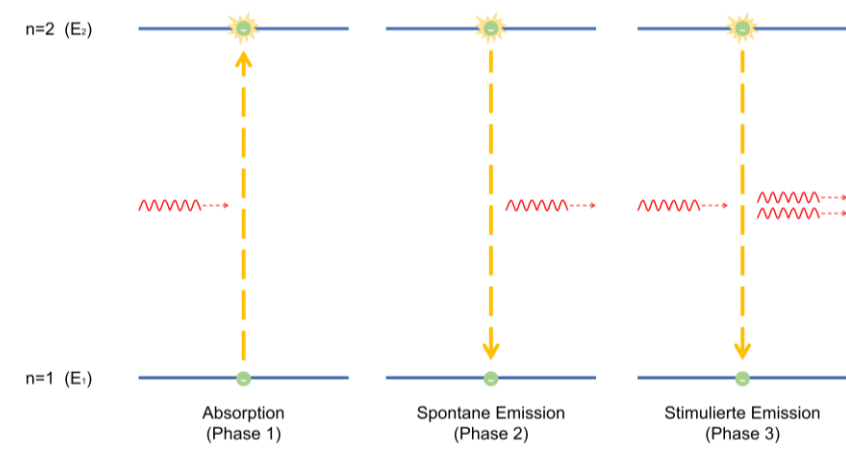
Die spontane Emission, ein Effekt der Quantenmechanik, ist der Prozess, auf den die späterfolgende stimulierte Emission beruht. Ziel der spontanen Emission ist die Erzeugung eines monochromatischen Lichtstrahls, also die Funktion eines Lasers. Der Prozess der spontanen Emission lässt sich durch das energetische Anregen und auf natürlicher Weise folgendes Abregen eines Atoms und der daraus resultierenden Emission (Freisetzung) von Energie, d.h. strahlend in Form eines Photons, bezeichnen. Im Detail wird einem Atom in der ersten Phase dieses Effekts erstmals externe Energie z.B. in Form eines Photons, welche vom Atom absorbiert wird, zugeführt. Durch diese nur künstlich mögliche Energieabsorption wird ein Elektron, welches in einer energetisch niedrigeren Schale (z.B. K-Schale mit Energiestufe: E₁), in eine energetisch höher liegende Schale (z.B. L-Schale mit Energiestufe: E₂) verlagert. Das Atom befindet sich nun nicht mehr im Grundzustand, sondern wegen der Energieabsorption im angeregten Zustand. Auf natürliche Art und Weise folgt nun in der Letzten Phase dieses Prinzips eine natürliche Abregung, verbunden mit einer Emission der überschüssigen Energie und dem Versetzen des Atoms zurück in den Grundzustand. Das unten angefügte Wirkungsgefüge stellt diesen quantenmechanischen Effekt dar.



Der darauffolgende aufbauende Effekt, welcher beim Laser für die Amplifikation sorgt, ist die stimulierte Emission. Bei diesem Prinzip findet, ähnlich wie bei der spontanen Emission, eine Abregung mit Emission elektromagnetischer Wellen statt. Wichtig für die Funktionsweise eines Lasers ist zudem, dass mehr Atome des Lasermediums im angeregten Zustand sind als im abgeregten Zustand.

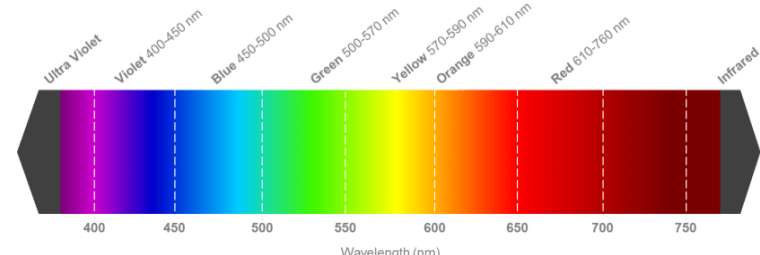
Für Lasermedien mit zwei Energiezuständen ist dies nicht möglich, deshalb besitzen Lasermedien mehr als zwei Energiezustände. Laser besitzen also neben mehreren angeregten Energiezuständen und dem Grundzustand, ebenfalls einen Angeregten, der metastabil ist. In diesem metastabilen Zustand können Elektronen sich vor der vollständigen Abregung länger aufhalten. Daraus folgt, dass häufiger die stimulierte Emission stattfinden kann, da Atome bzw. Elektronen länger angeregt sind. Das hauptsächliche Unterscheidungsmerkmal zur spontanen Emission ist jedoch, dass während der Phase der Abregung bzw. kurz vor dieser, es dem Atom möglich ist eine weitere elektromagnetische Welle aufzunehmen. Falls dies geschieht, wird diese elektromagnetische Welle absorbiert und zwei identische, monochromatische elektromagnetische Wellen mit identischen Phasenbeziehungen emittiert (s. Phase 3). Sollte dies nicht der Fall sein, wird nur eine elektromagnetische Welle emittiert. Dieser Prozess wird dann nicht als stimulierte, sondern spontane Emission bezeichnet (s. Phase 2). Unabhängig davon welche Art der Emission vorliegt, ist das Atom im Grundzustand nach Beenden vorzufinden.

Im folgenden Bild wird der Zusammenhang zwischen Absorption, spontane Emission und stimulierte Emission dargestellt. Als Grundlage der spontanen Emissionen gilt die Absorption (s. Phase 1). Da die stimulierte Emission auf der spontanen beruht, lässt sich also seitens der stimulierten ebenfalls eine Abhängigkeit zu der Absorption feststellen.



Farberzeugung im VIS-Spektrum

Die aus der spontanen und stimulierten Emission entstehenden elektromagnetischen Wellen oder auch Teilchen (Welle-Teilchen-Dualismus) sind monochromatisch. Das heißt, sie haben eine einheitliche Wellenlänge und verlaufen in einer festen Phasenbeziehung zueinander. Mittels unterschiedlicher Stoffe als Lasermedium können etliche Farben, also unterschiedliche Wellenlängen „gemischt“ werden. So wird z.B. die Farbe Weiß „gemischt“. Wellenlängen werden in Nanometer (nm) angegeben, um das Zuordnen einer Farbe in das Farbspektrum zu erleichtern. Die Wellenlänge 650 nm ist beispielsweise der Farbe Rot zuzuordnen, um diese wahrzunehmen müssen die im Auge auf Rot empfindlichen Zapfchen (L-Zapfchen) durch die jeweilige Wellenlänge gereizt werden. Folglich wird dieser Reiz in Form eines Aktionspotenzials über den Sehnerv an das Sehzentrum im Gehirn weitergeleitet, wo dann die eigentliche Farbwahrnehmung stattfindet. Wichtig hierbei ist, dass jeder Mensch die jeweilige Farbe unterschiedlich wahrnimmt.



Anwendungsbereiche

Schon kurz nach der Erfindung des Lasers in den 1960er Jahren, begannen Künstler diese für Kunst und Entertainment-Zwecke einzusetzen. In dieser Zeit entstanden die ersten „Light Shows“ (de: Lichtshows), in denen beispielsweise visuell auffällige Muster erzeugt wurden oder z.B. Wolken angestrahlt wurden. In der damaligen Zeit sorgte das, trotz der meist zugleich ebenfalls gespielten Musik, allein schon für sehr viel Aufregung. Jedoch konnte sich nicht jeder Künstler die damals sehr teuren Lasersysteme sowie Ausrüstung leisten, dies sorgte auch für höhere Eintrittspreise solcher Veranstaltungen. Richtung 21. Jahrhundert wurden die Systeme jedoch immer günstiger und somit auch vermehrt genutzt. Bis zu unserer heutigen Zeit sorgte der Laser für viele weitere technische Entwicklungen. Beispiele sind der DVD- und CD-Spieler, das Entstehen von holographischen Bildern und vieles mehr.

Ein klassischer Bereich, aus den Lasersysteme nicht mehr wegzudenken sind, ist der Bereich der Spezialeffekte (SFX), in denen in Filmen oder Serien durch die Verwendung von Lasern z.B. dramatische oder auch High-Tech Szenen mit dem Visualisieren eines Laserstrahls dargestellt werden.



(Von: <https://www.lciproductions.com/>)

Zusammenfassung

Laser

- > Beruht auf dem Effekt der Absorption, spontane- und stimulierte Emission (quantenmechanische Effekte)
- > Besteht aus 3 Hauptbestandteilen: dem Lasermedium, dem Resonator und der Pumpe
- > Wurde bereits frühzeitig im Bereich des Entertainments genutzt (z.B. Lightshows)

Quellen und QR-Code

- www.mracek.com/de
- www.leifiphysik.de/atomphysik/laser
- de.wikipedia.org/wiki/Laser
- www.mpg.de/5918175/laser
- <https://www.weltderphysik.de>
- de.khanacademy.org/science/biology
- www.encyclopedia.com
- www.lciproductions.com



Alle Websites, Bilder und andere Quellen wurden zuletzt am 06.01.2023 besucht. Der QR-Code ist bis zum 01.03.2023 gültig.