

Der Helium – Neon - Laser

Eine sehr entscheidende Anwendung der ermittelten Energieniveaus ist der in der Technik sehr häufig verwendete Laser.

Das Wort **Laser** besteht aus den Anfangsbuchstaben der englischen Bezeichnung „**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation“, zu deutsch: „Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung“.

Ein Laser gibt einen intensiven Lichtstrahl ab, der aus kohärenten Photonen gleicher Wellenlänge besteht.

Nehmen wir an, die Atome des „aktiven Mediums“ des Lasers haben den Grundzustand mit der Energie E_1 und einen angeregten Zustand mit E_2 . Werden Photonen mit der Energie $E_2 - E_1$ eingestrahlt, dann kann ein Atom im Grundzustand ein Photon absorbieren und in den angeregten Zustand gelangen.

Atome, die sich bereits in diesem Zustand befinden, können durch ein solches Photon zur stimulierten Emission veranlasst werden.

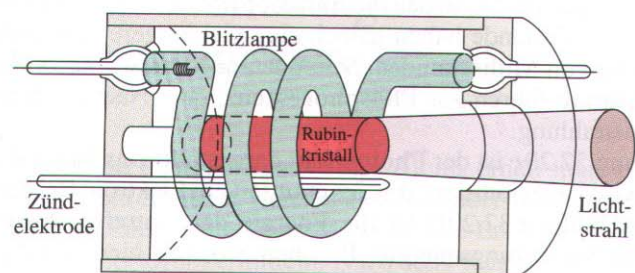
Gewöhnlich befinden sich bei normalen Temperaturen praktisch alle Atome im Grundzustand, so dass die Absorption bei weitem überwiegt.

Sollen mehr Übergänge durch stimulierte Emission als durch Absorption erfolgen, dann müssen mehr Atome im angeregten als im Grundzustand vorliegen.

Die nennt man **Besetzungsinvasion**. Sie ist möglich, wenn der angeregte Zustand hinreichend langlebig (metastabil) ist, und kann zum Beispiel durch das sogenannte **optische Pumpen** erreicht werden.

Dabei werden die Atome durch intensive Strahlung in Zustände überführt, deren Energien höher als E_2 liegen. Daraus gelangen die Atome durch spontane Emission oder durch strahlungslose Übergänge in den Zustand mit der Energie E_2 .

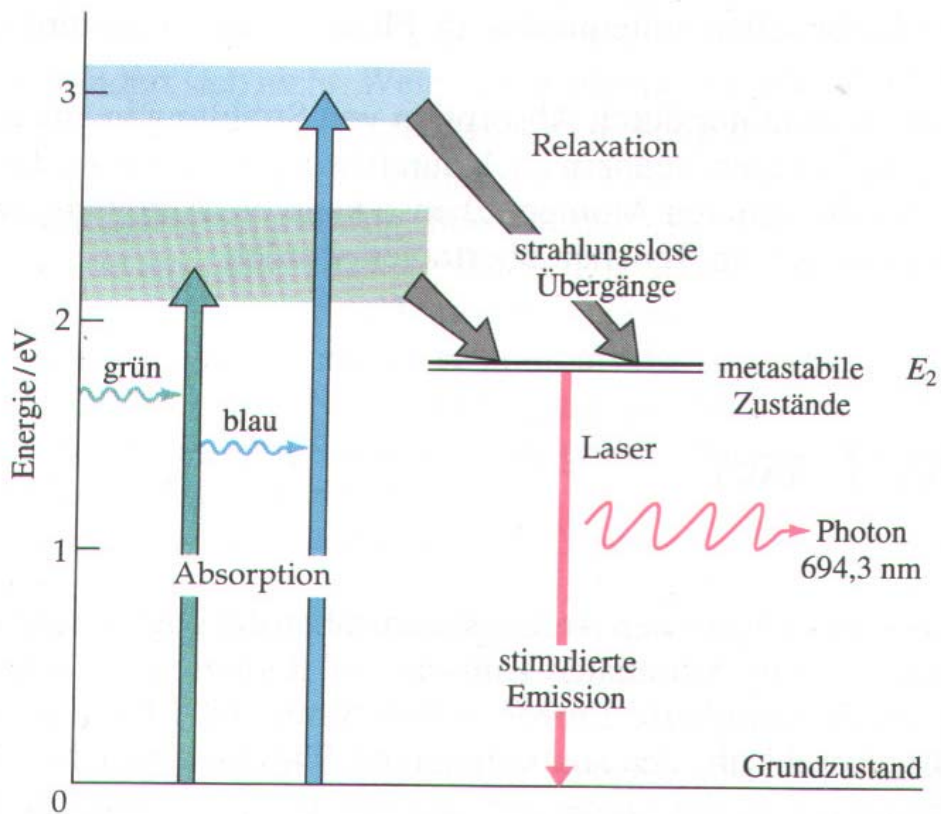
Die nachfolgende Abbildung zeigt den Aufbau des ersten **Rubin-Lasers**, der im Jahr **1960** von Maiman gebaut wurde.



37.21 Schematischer Aufbau des ersten Rubin-Lasers.

Rubin ist eine Abart des Minerals Korund Al_2O_3 und erhält seine rote Farbe durch einen geringen Anteil an Chrom-Ionen. Chrom-Ionen absorbieren grünes und blaues Licht.

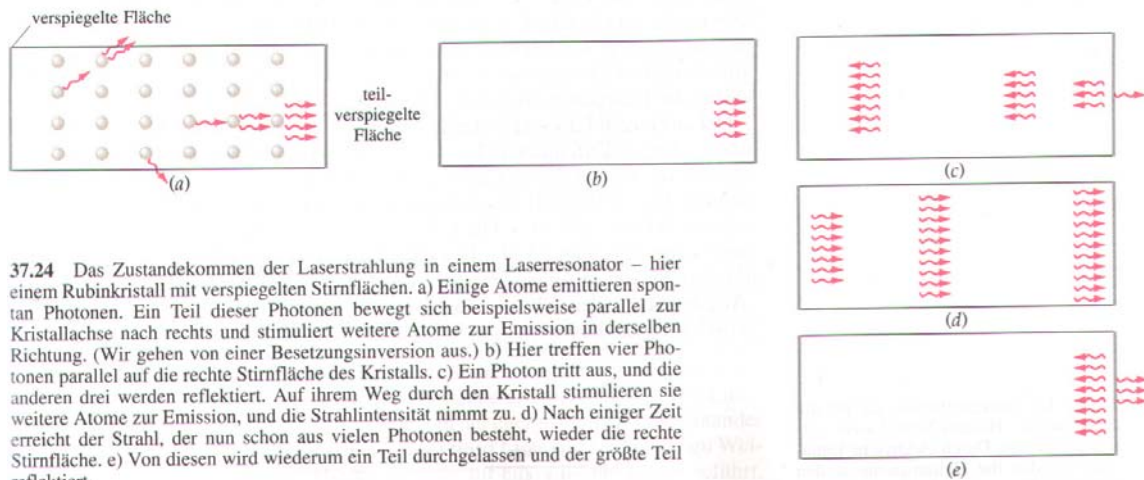
Nach dem Zünden der Blitzlampe gelangt ein intensiver, einige Millisekunden dauernder Lichtimpuls in den Rubinkristall, und ein hoher Anteil der Chrom-Ionen wird in Zustände mit hoher Energie angeregt.



37.23 Die für die Funktion des Rubin-Lasers wichtigen Energieniveaus. Der Rubinkristall wird intensivem grünen und blauen Licht ausgesetzt. Dadurch werden die Cr^{3+} -Ionen in höher liegende Zustände angeregt, die hier in der jeweiligen Färbung dargestellt sind. Anschließend gelangen sie durch strahlungslose Übergänge in metastabile Zustände, die stärker besetzt sind als der Grundzustand (Besetzungsinversion).

Im Rubin-Laser sind beide Stirnflächen des Kristalls verspiegelt. Eine hat ein Reflexionsvermögen von etwa 99,9%, und die andere reflektiert nur rund 90%, lässt also einen merklichen Anteil der Strahlung passieren. Da die Endflächen parallel zueinander sind, bilden sich stehende Wellen aus, und es entsteht ein intensiver Strahl kohärenten Lichtes, der zum Teil aus der durchlässigeren Stirnfläche austritt.

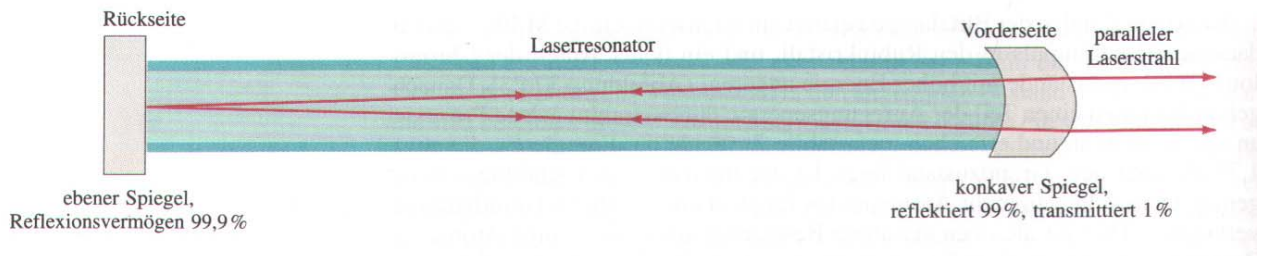
Die Ausbildung stehender Wellen in diesem **Laserresonator** ist eine wichtige Voraussetzung für das Funktionieren des Lasers.



37.24 Das Zustandekommen der Laserstrahlung in einem Laserresonator – hier einem Rubinkristall mit verspiegelten Stirnflächen. a) Einige Atome emittieren spontan Photonen. Ein Teil dieser Photonen bewegt sich beispielsweise parallel zur Kristallachse nach rechts und stimuliert weitere Atome zur Emission in derselben Richtung. (Wir gehen von einer Besetzungsinversion aus.) b) Hier treffen vier Photonen parallel auf die rechte Stirnfläche des Kristalls. c) Ein Photon tritt aus, und die anderen drei werden reflektiert. Auf ihrem Weg durch den Kristall stimulieren sie weitere Atome zur Emission, und die Strahlintensität nimmt zu. d) Nach einiger Zeit erreicht der Strahl, der nun schon aus vielen Photonen besteht, wieder die rechte Stirnfläche. e) Von diesen wird wiederum ein Teil durchgelassen und der größte Teil reflektiert.

Der **erste kontinuierlich** arbeitende **Helium-Neon-Laser** wurde **1961** von Javan, Bennet jr. und Herriot gebaut.

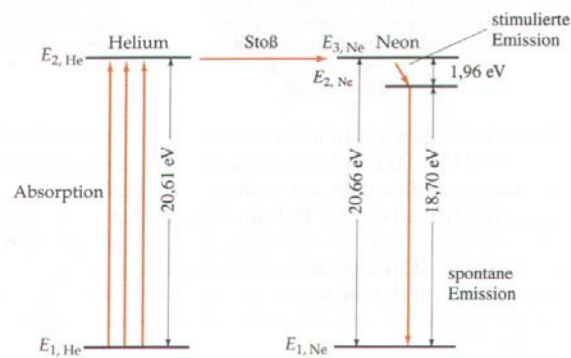
37 Atome



37.25 Schematischer Aufbau des Resonators in einem Helium-Neon-Laser. Statt des teildurchlässigen ebenen Spiegels (wie beim Rubin-Laser) wird hier ein teildurchlässiger konkaver Hohlspiegel (rechts) verwendet, so daß die Ausrichtung der beiden Spiegelflächen nicht absolut exakt sein muß. Außerdem wirkt der Hohlspiegel wie eine Linse, indem er das austretende Licht zu einem parallelen Strahl bündelt.

Funktionsweise: (der Zustand $E_{2,Ne}$ ist normalerweise unbesetzt.).

37.26 Die Energieniveaus, die für die Funktion des Helium-Neon-Lasers entscheidend sind. Durch elektrische Entladung werden die Heliumatome in den Zustand $E_{2,He}$ (20,61 eV über dem Grundzustand) angeregt. Sie stoßen mit Neonatomen zusammen und regen einige von diesen in den Zustand $E_{3,Ne}$ an, 20,66 eV über dem Grundzustand. Das unbesetzte Niveau $E_{2,Ne}$ liegt 1,96 eV unter $E_{3,Ne}$ bzw. 18,70 eV über dem Grundzustand. Dadurch entsteht unmittelbar eine Besetzungsinversion. Die durch stimulierte Emission erzeugten Photonen der Energie 1,96 eV stimulieren weitere angeregte Atome zur Emission gleicher Photonen.



Der aus einem Laser austretende Laserstrahl zeichnet sich dadurch aus, dass er einen geringen Durchmesser hat und praktisch parallel sowie kohärentes und sehr intensives Licht erzeugt. Die Kohärenz erlaubt die Erzeugung von Hologrammen. Der feine Lichtstrahl kann zur Werkstoffbearbeitung und in der Chirurgie verwendet werden. Auf Grund der geringen Divergenz findet er Anwendung in der Vermessungstechnik.