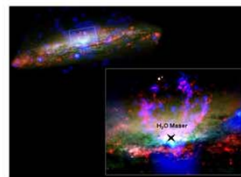
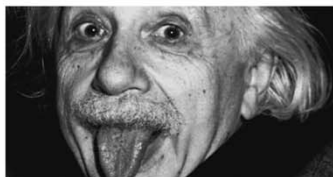


MASER

Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation



Heutige Seminarthema:

MASER

Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

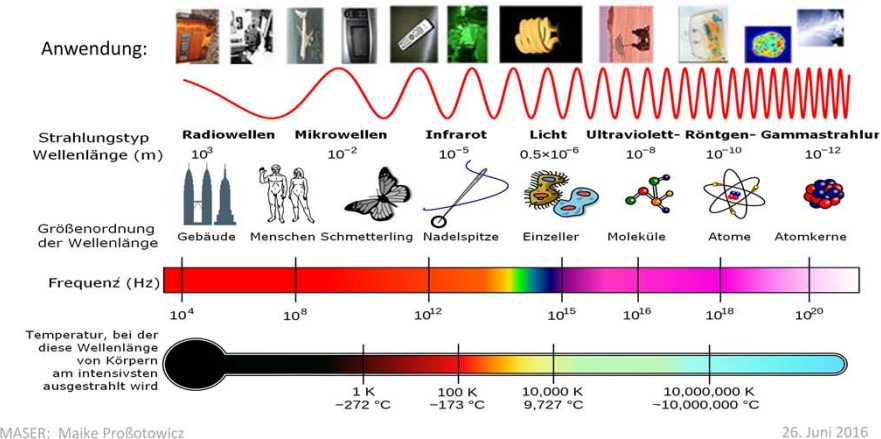
Deutsch: Verstärkung von Mikrowellen durch stimulierte Emission von Strahlung

Gliederung

- ❑ Grundlagen
 - ❑ Einleitung
 - ❑ Theoretische Grundlagen (Prinzip)
 - ❑ MASER-Eigenschaften
- ❑ MASER-Arten und ihre Anwendung
 - ❑ Rubin-MASER
 - ❑ Wasserstoff-MASER
 - ❑ Kosmische Maser
- ❑ Forschung und Entwicklung
- ❑ Zusammenfassung

Grundlagen -Einleitung-

- ❑ **MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation**
- ❑ **LASER im Mikrowellenbereich (Frequenzbereich: 100 kHz bis 100 GHz)**



3

MASER steht für: (**V**erstärkung von **M**ikrowellen durch **s**timulierte **E**mission von **S**trahlung)

Maser sind also wie **Laser im Mikrowellenbereich (Frequenz liegt zwischen 100kHz bis 100 GHz)**

Bild:

1. **Gammastrahlung** (Weltraum gibt es viele Gammastrahler)
2. **Röntgenstrahlung** (Röntgenbilder, Flughafen Koffer durchleuchten)
3. **UV-Strahlung** (Braune Haut)
4. **Sichtbares Licht** (400-700nm) (Lampen)
5. **Infrarot-Strahlung** (Fernbedingungen)
6. **MIKROWELLENSTRAHLUNG** (Mikrowelle, Erhitzung von essen)
7. **Radiowellen** (Radio, Mobilfunk)

Frequenz wird mit zunehmender Wellenlänge kleiner

Nachteil: Mikrowellen bevorzugen sehr **kalte Temperaturen**

Grundlagen

-Einleitung-

- ❑ Mikrowellen-Verstärker
 - ❑ Grundlage : elek.mag. Strahlung wechselwirkt mit Materie stimuliert Emission (Albert Einstein 1917) ->
 - ❑ 1. Maser: Ammoniak-MASER (Charles H. Townes 1953)
- ❑ MASER vor LASER (1960)
 - ❑ MASER-Prinzip auf kleinere Wellenlängen (optische Wellenlängen) erweitern
 - ❑ Begriff: LASER (auch Optical MASER) (Townes und Schawlow 1957)
 - ❑ Patent Anmeldung (1958)
 - ❑ 1. LASER: Rubinlaser (Theodore Maiman 1960)
 - ❑ Leistungsfähigkeit der Laserstrahlung in Gillette gemessen

MASER: Maike Proßotowicz

26. Juni 2016

4

MASER basiert auf der WW zwischen elek.mag. Strahlung mit Materie.

Die Art und Weise wie elek.mag. Strahlung dabei mit Materie ww beschrieb Albert Einstein schon 1917 -> Diesen beschriebenen Prozess bezeichnet er als stimulierte Emission und bildete damit die Grundlage zur Entwicklung des Masers aber auch des Lasers.

Der erste Maser (ein Ammoniak-Maser) wurde von Charles H. Townes 1953 vorgestellt.

Damit wurde der Maser schon vor dem Laser entwickelt.

Erst mit dem ersten Maser wurde versucht dieses Prinzip weiter auf immer kleinere Wellenlängen (mit besonderen Fokus auf die optischen Wellenlängen) zu übertragen.

Der Begriff Laser wurde dann erstmals 1957 von Townes und Schawlow genutzt. Ebenfalls weit verbreitet war aber auch der Begriff Optical MASER, der sich jedoch nicht durchgesetzt hat. Diese beiden meldeten dann 1958 das Patent für den Laser an.

Hiernach dauerte es noch zwei weitere Jahre, bis dann schließlich der erste funktionierende Laser konstruiert wurde. Hierbei handelte es sich um einen Rubinlaser, der nicht von Townes Arbeitsgruppe sondern von Maimann 1960 gebaut wurde.

Den Aufbau entwickelten allerdings tatsächlich Townes et al. Die eigentliche Leistung Maimans war es, den Rubinstab lasern zu lassen, woran Townes scheiterte.

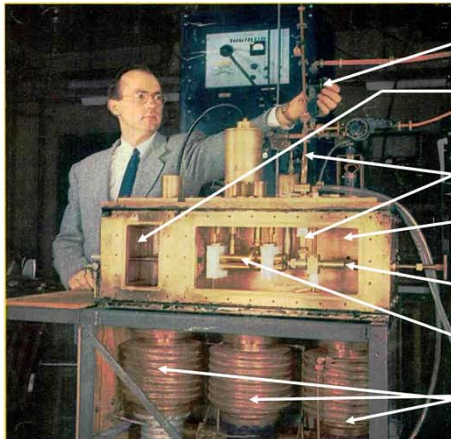
Patentstreit: Zwischen Maiman und Gould. Gould erhielt nach 14 Jahren Patent für optisch gepumpten Laser

Maiman profitierte von LASER bei einer Augenoperation in Deutschland

Zur Anfangszeit des Rubinlaser, wo noch niemand genau vertraut mit der Laserstrahlung war wurde diese in Gillette gemessen. Hierbei hat man schlicht und einfach gemessen, wie viele Rasierklingen der vorliegende Laserstrahl durchschlagen kann und danach die Leistungsfähigkeit des LASERs angegeben

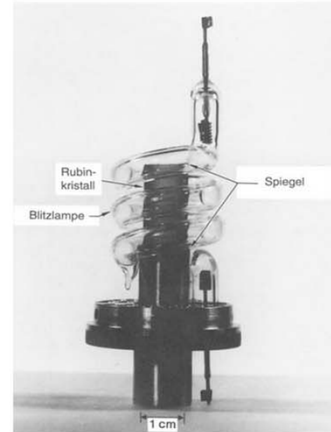
Grundlagen

-Einleitung-



1. MASER (Ammoniak-MASER)

Mikrowellen-Ausgang
Ammoniak-Düse (Gasdüse)
Hohlleiter
Hohlraumresonator
Feineinstellungen
Felderzeugende Stäbe (Fokussierungselektroden)
Vakuumpumpen



1. Laser (Rubinlaser)

MASER: Maïke Proßotowicz

26. Juni 2016

5

1. MASER Ammoniak- Maser mit Townes.

1. **Ammoniak Düse** links in der Box
2. 4 **Messingstangen** in der Mitte sind **Quadropol_Zylinder**
3. **Hohlraumresonator** befindet sich rechts der Box
4. 24-GHz- **Mikrowellen Ausgang** stellt Townes gerade ein.
5. Unten befinden sich die 3 **Vakuumpumpen**

1. Laser: Ein Rubinkristall mit 2 Spiegeln wird mit einer Blitzlampe optisch angeregt (Maiman)

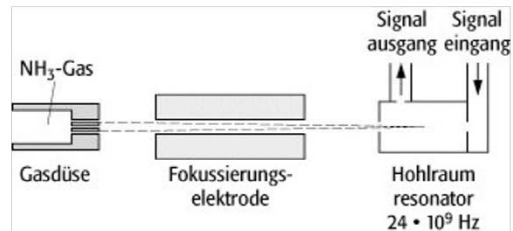
Grundlagen

-Prinzip Ammoniak-MASER-

☐ MASER-Prinzip:

☐ Pumpen

- ☐ Quelle erwärmt NH_3 -Moleküle
- ☐ Moleküle werden durch Fokussierer geleitet
- ☐ Fokussierer sortiert nicht angeregte Moleküle aus
- ☐ Angeregte Strahl wird in Hohlraumresonator geleitet
- ☐ Im Resonator herrscht Besetzungsinversion



Schematische Abbildung des MASER-Prinzips (Ammoniak-MASER)

Maser-Prinzip ähnelt dem **Laser Prinzip**, bloß werden bei dem Maser Prinzip **Mikrowellen angeregt** und bei dem Laser **elektromagnetische Strahlung**

Als erstes findet ein **Pumpprozess** statt, hierfür werden in der Quelle Ammoniak **Moleküle erwärmt** und dann **durch einen Fokussierer geleitet**.

An diesem Fokussierer liegt ein **inhomogenes elektrisches Feld** an, welches alle **nicht angeregten Moleküle** aus dem fokussierten Strahl aufgrund des **Dipolmoments aussortiert**.

Der Strahl, der jetzt **nur aus angeregten Ammoniak Molekülen** besteht wird in den **Hohlraumresonator geleitet**.

In diesem Hohlraumresonator herrscht eine sogenannte **Besetzungsinversion**. Das bedeutet, dass mehr Teilchen im **höher energetischen Zustand existieren** als im energetisch **tiefer liegenden Zustand**.

Also zusammengefasst kann man sagen, dass durch einen geeigneten Pumpmechanismus dafür gesorgt wird, dass ein Ensemble von Teilchen, die elektromagnetische Strahlung im **Mikrowellenspektrum emittierten (aussenden) können**, in den Zustand einer **Besetzungsinversion** gebracht werden.

Quelle Bild:

<http://www.spektrum.de/lexikon/physik/maser/9454>

Grundlagen

-Prinzip Ammoniak-MASER-

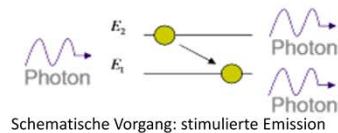
☐ MASER-Prinzip:

☐ Stimulierte Emission

- ☐ Mikrowelle mit Frequenz ν einstrahlen
- ☐ Frequenz ν = Frequenz mit der angeregten NH_3 -Moleküle beim Übergang in energetisch tieferen Zustand überschüssige Energie emittieren
- ☐ Einfallende Photonen stimulieren NH_3 -Moleküle umzuklappen und ihrerseits Photonen zu emittieren
-> Verstärkung der eingehenden Mikrowelle

- ☐ Photonen bilden im Resonator stehende Wellen aus
-> Weitere Verstärkung

- ☐ Mikrowelle auskoppeln (12,6 mm)



MASER: Maike Proßotowicz

26. Juni 2016

7

Im nächsten Schritt wird die **Mikrowelle durch stimulierte (auch induzierte) Emission (von Einstein beschriebener Prozess)** im Hohlraumresonator **verstärkt**.

Im **Resonator** werden Teilchen dazu angeregt Energie durch stimulierte Emission, als **kohärente Strahlung**, abzugeben

Hierzu wird eine **Mikrowelle mit einer Frequenz ν eingestrahlt**, welche genau der **Frequenz entspricht**, mit der die **angeregten NH_3 -Moleküle beim Übergang in einen energetisch tiefer liegenden Zustand die überschüssige Energie emittieren** (aussenden).

Hierdurch **stimulieren** die **einlaufenden Photonen** die Ammoniak-Moleküle, **umzuklappen** (zum Übergang) und ihrerseits **wieder Photonen zu emittieren**. Diesen **Prozess** nennt man **stimulierte Emission** und es resultiert in unserem Fall eine **Verstärkung der eingehenden Mikrowelle**.

Die **Photonen** bilden im **Hohlraumresonator stehende Wellen** aus und sorgen somit für eine **weitere Verstärkung**.

Es lässt sich eine **Mikrowelle auskoppeln** und nutzen, die im Vergleich mit der **ursprünglich eingehenden Mikrowelle**, deutlich verstärkt wurde. Dies ist das MASER-Prinzip, also die Verstärkung von Mikrowellen durch stimulierte Emission. Die ausgekoppelte Mikrowelle besitzt beim Ammoniak-Maser eine **typische Wellenlänge von 12,6mm**

Bild zeigt Vorgang der stimulierten Emission:

Ein **Ensemble von Teilchen** liegt im **angeregten Zustand hier E2** (Besetzungsinversion) vor.

Strahlt man nun eine Frequenz ν ein, werden die **angeregten Teilchen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit Photonen abgeben (kohärente Strahlung)**, die den einfallenden Photonen in Richtung, Polarisierung und Frequenz gleichen. E1 und E2 geben die beteiligten Energieniveaus des Atoms wie der, wobei **E2 der energetisch höher liegende Zustand** ist. Man sieht, dass die **einfallende Strahlung durch die stimulierte Emission eines**

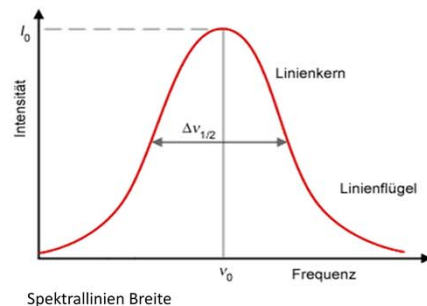
Photons verstärkt wurde.

Der Ammoniak Maser stellt die erste praktische Anwendung der von Einstein schon im Jahr 1917 postulierten stimulierten Emission dar.

Grundlagen

-Eigenschaften-

- Wellenlänge: km - μm Bereich \rightarrow Frequenz: 100 kHz – 100GHz
 - Schmale Linienbreite (Schmale Spektralbreite \rightarrow hohe zeitliche Kohärenz) (theo. 10^{-2}Hz)
 - Hohe Frequenzstabilität
 - Räumlich Kohärente Strahlung (gleiche Richtung, Phase, Polarisation, Frequenz)
 - Verstärker elektromagnetischer Strahlung
- \rightarrow Besondere Anwendungen



MASER: Maike Proßotowicz

26. Juni 2016

8

Wichtigsten Eigenschaften:

Eigenschaften **ähnlich** wie beim **Laser**

Die **Wellenlänge** liegt im km- μm Bereich, d.h. dann, dass die **Frequenzen** zwischen 100kHz bis 100GHz liegen müssen (**$\lambda = c/f$**)

Bei dem **im Vergleich zum Laser niedrigen Frequenzen des Masers** kann schon bei **geringsten Teilchendichten des aktiven Mediums (z.B. Ammoniak-Moleküle)** eine ausreichende **Verstärkung** erzielt werden, so dass die **stimulierte Emission dominiert** und der Maser **extrem schmalbandige, zeitlich kohärente Strahlung** emittiert.

Theoretische kann die Linienbreite **0,01Hz** groß sein.

Räumlich kohärente Strahlung heißt, das austretende Photonen den einfallenden Photonen in Richtung, Phase, Polarisation und Frequenz gleichen. Aufgrund dieser besonderen Eigenschaften bietet der Maser besondere Anwendungen.

Bild Spektrallinien-Breite: Eine **Spektrallinie** hat stets eine gewisse Breite. **ν_0 ist die Zentralfrequenz** und **$\Delta\nu_{1/2}$ die Halbwertsbreite**, d. h. die Breite auf halber Höhe des Spitzenwertes.

<http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/analytik/aas/spektrallinien.vlu.html>

<http://www.spektrum.de/lexikon/physik/maser/9454>

MASER-Arten

-Rubin-Maser-

□ *Drei-Niveau-System (Festkörpermaser)*

□ 3 Energieniveaus zur Erzeugung einer Besetzungsinversion

□ E1 Grundzustand

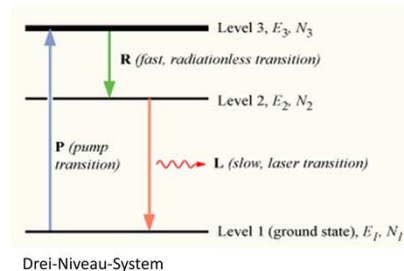
□ Pumpen: Moleküle Übergang in E3

□ E2 mittleres Energieniveau

□ Moleküle fallen in E2

□ Weiteres Pumpen mehr Moleküle in E2 als E1 -> Besetzungsinversion

□ Durch Emission eines Photons gelangen sie in E1 -> Maserstrahlung



□ Ausgangspunkt für Überlegungen, Rubin als aktives Medium für Laser zu verwenden

MASER: Maike Proßotowicz

26. Juni 2016

9

In den technischen **Masern und Lasern** sind normalerweise **drei Energieniveaus** der Moleküle **am Erzeugen** einer **Besetzungsinversion** beteiligt: der **stabile Grundzustand**, der unter gewöhnlichen Bedingungen besetzt ist, ein kurzfristig bestehendes **oberes Energieniveau** sowie ein **mittleres von etwas längerer Dauer**, in das der obere Zustand vorzugsweise zerfällt. Durch **Energiezufuhr** – das schon zuvor sogenannte **Pumpen** – werden die **Moleküle zunächst zum Übergang in den oberen Energiezustand angeregt**, von dem aus sie **rasch in den mittleren gelangen** (kurze Lebensdauer in E3). Durch **fortgesetztes Pumpen** befinden sich schließlich **mehr Moleküle auf diesem mittleren Energieniveau (E2 Level 2) als im Grundzustand (Level 1 E1)**– also die bereits erwähnte **Besetzungsinversion** liegt vor. Von dem **mittleren in den Grundzustand** können sie **durch Emission** eines Photons gelangen, aber ohne **Stimulation durch ein einfallendes Photon geeigneter Wellenlänge geschieht dies nur selten**.

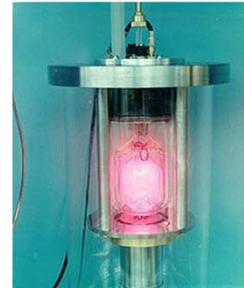
Besetzungsinversion kann auch stattfinden, wenn **vier oder mehr Energieniveaus** involviert sind. An fast **allen interstellaren Masern** sind solche **komplexen Konfigurationen** beteiligt.

Ausgangspunkt für **Überlegungen Rubin als aktives Medium für Laser** zu verwenden.

MASER-Arten

-Wasserstoff - MASER-

- ❑ Nutzt Eigenschaften des Wasserstoff-Atoms
 - ❑ Hochgenaues Frequenznormal (Atomuhr)
 - ❑ Proton wie auch Elektron besitzen Spins
 - ❑ Sind beide Spins II -> höchste Energie
 - ❑ Energie um Spin des Elektrons umzukehren
 $\nu = 1420 \text{ MHz}$ ("21 cm-Linie")
- ❑ Aktive und Passive Wasserstoff-MASER
 - ❑ Aktiv: Resonator oszilliert selbst (gute Qualität -> teuer)
 - ❑ Passiv: Frequenz wird in Resonator eingestrahlt (geringe Qualität -> kostengünstig)



Wasserstoff-Maser

MASER: Maike Proßotowicz

26. Juni 2016

10

Der Wasserstoff-Maser nutzt die **besonderen Eigenschaften** des **Wasserstoffatoms**, um als hochgenaues **Frequenznormal (Frequenzstabiler Oszillator)** für eine Atomuhr zu dienen.

Beim Wasserstoffatom besitzen sowohl des **Proton** als auch des **Elektron Spins**. Hierbei hat das Atom eine **höhere Energie**, wenn **beide Spins parallel** sind, statt Antiparallel. Die **Energie**, die **nötig** ist, um den **Spin des Elektrons umzukehren**, **entspricht** einem **Photon mit** einer **Frequenz von 1420 MHz**. Dies ist die charakteristische **Spektrallinie** des neutralen Wasserstoffs mit einer **Wellenlänge von 21,11cm**.

Der Wasserstoff-Maser ist sehr **komplex** und daher auch teuer (235.000US-Dollar).

Hierbei wird zwischen dem **aktiven** und **passiven** Wasserstoff-Maser unterschieden, wobei der aktive Wasserstoff-Maser der **teurere** der beiden ist, mit der **besseren Strahlqualität** ist. Bei diesem Maser **oszilliert der Hohlraumresonator selbst**. Beim **Passiven Wasserstoff-Maser** hingegen wird eine Frequenz (1420 MHz) von einer externen Quelle in den Hohlraumresonator eingestrahlt. Dieses Prinzip ist wesentlich **kostengünstiger** aber führt auch zu einer **schlechteren Qualität** des Strahls.

Bild:

Wasserstoff-Maser ->sichtbare Spektrum (**Balmer-Serie**) von Wasserstoff **typische Rosa Farbe** sichtbar

MASER-Arten

-Wasserstoff - MASER-

- ❑ Anwendung: Navigation
 - ❑ Metergenaue Ortung
 - ❑ Abweichung von 1 milliardsten Sekunde pro Tag (1 ns) verfälscht Ortung um 30 cm
 - ❑ Passive Wasserstoff-MASER = präziseste Atomuhr
 - ❑ Einstrahlung von Frequenz 1420 MHz in Wasserstoff gefüllten Hohlraum
 - ❑ Strahlung wird beim erzwungen Übergang freigesetzt (21 cm-Linie)
 - ❑ Takt über Schwingungsdauer der e.mag. Strahlung, des Übergangs definiert (Erzwungene Übergang gilt als Zeitnormal)
 - ❑ europäische Navigationssystem Galileo
 - ❑ Pro Tag ca. 1 ns Abweichung (also 1 s in 3 Mio. Jahren)
 - Vergleich mit Armbanduhr: Genauigkeit 1 s pro Tag

MASER: Maike Proßotowicz

26. Juni 2016

11

Die wichtigste **Anwendung** dieser Wasserstoff-Maser ist die **Navigation**. Denn je **genauer** man die **Zeit** messen kann, **desto besser** wird die **Ortung**. Um eine **Bedeutung** dafür zu bekommen warum durch eine **genauere Zeit die Ortung besser** wird sei gesagt, dass eine **Abweichung von 1 Milliardsten Sekunde (1ns)** die **Ortung um 30cm verfälschen** würde!

Mit **Hilfe der Wasserstoff-Maser-Uhr** kann somit eine **Ortung auf wenige Meter genau** durchgeführt werden.

Der passive Wasserstoff-Maser wird für Atomuhren genutzt. Diese sogenannte **Wasserstoff-Maser-Uhr** ist die zurzeit präziseste Atomuhr die wir kennen.

Diese Wasserstoff Maser Uhren sind um **eine Größenordnung genauer als** alle zuvor verwendeten **Atomuhren**!

Das **Prinzip** dieser Atomuhr ist, dass ihr **Takt über die Schwingungsdauer der elektromagnetischen Strahlung** definiert ist, **die bei** einem bestimmten **Übergang des Elektrons im Wasserstoffatom freigesetzt** wird. Dieser entsprechende **Übergang** ist für die **"21 cm-Linie"** (Wellenläng) verantwortlich.

Das **Galileo-System** misst mit einem passiven Wasserstoff-Maser die Zeit mit einer **Genauigkeit von rund 1ns (einem Milliardstel einer Sekunde) je 24 Stunden (Tag)**.

Das entspricht somit einer **Abweichung von 1s in 3 Millionen Jahren**! Eine normale **digitale Armbanduhr** erreicht im Vergleich dazu eine **Genauigkeit von rund einer Sekunde pro Tag**. Damit sind **Galileos passive Wasserstoff-Maser-Uhren** also ca. **eine Milliarde Mal** präziser als eine digitale Armbanduhr.

<http://www.hyperraum.tv/tag/passiver-wasserstoff-maser/>

MASER-Arten

-Kosmische - MASER-

- ☐ Maser fungieren als astronomische Objekte von Kometen bis zu fremden Galaxien
 - ☐ Interstellare Gaswolken können kohärente Mikrowellen aussenden (Mysterium-Strahlung)
 - ☐ Unter bestimmten Bedingungen bilden sich Maser
 - ☐ Mikrowellen liefern Informationen über:
 - ☐ Druck- und Temperaturverhältnisse
 - ☐ Geschwindigkeit
 - ☐ Größe
 - ☐ Zusammensetzung
 - ☐ Entfernungen von Objekten

MASER: Maike Proßotowicz

26. Juni 2016

12

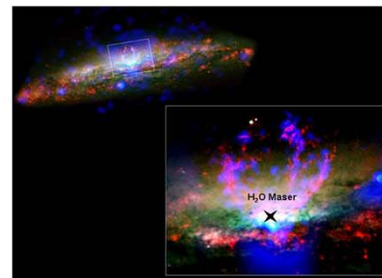
Maser können auch als **astronomische Objekte** von Kometen bis hin zu fremden Galaxien fungieren. Hierbei **können interstellare Gaswolken kohärente Mikrowellen aussenden**. Als diese Mikrowellen auf der Erde beobachtet wurden dachte man, dass diese auf ein **neues Molekül** hinweist und nannte sie daher **Mysterium-Strahlung**. Heutzutage weiß man aber, dass diese Mysterium-Strahlung von den sogenannten **Kosmischen Masern ausgesendet werden**. Mit Hilfe dieser Maserstrahlung können **Informationen über** verschiedene **astronomische Objekte** herausgefunden werden. Dies ist **möglich**, weil Maser sich **nur unter bestimmten Bedingungen bilden** können. **Mit diesem Wissen** vermögen Astronomen die **Druck- und Temperaturverhältnisse** im emittierenden Gas sowie seine **Geschwindigkeit** genau zu ermitteln. **Des Weiteren** liefern kosmische Maser aufgrund ihrer **relativ geringen Ausdehnung** und sehr **starken Intensität Aufschlüsse über die jeweilige kleinräumige Struktur (Größe)**, die anders nicht beobachtet werden könnte. Ebenfalls können auch die **Zusammensetzung** und die **Entfernung** bestimmt werden. Besonders **interessant** ist hierbei die **Entfernungsmessung**.

<http://www.spektrum.de/magazin/kosmische-maser/822207>

MASER-Arten

-Kosmische - MASER-

- ❑ Besonders: MASER als Entfernungsindikatoren
 - ❑ Genauer: Wasserstoff-Maser in Hüllen Roter Riesen
 - ❑ Helligkeitsschwankungen mit typischen Perioden
 - ❑ Strahlung des Sterns liefert Pumpenergie für Besetzungsinversion
 - ❑ Intensität gegen Frequenz auftragen
 - ❑ Zwei getrennte Maxima: (rot und blauverschobene Linien)
 - ❑ Rotverschobenen jedoch verzögert
 - ❑ Maß für Durchmesser der Hülle
 - ❑ Mittels Winkeldurchmesser erhält man Entfernung des Sternes



Kosmischer-Wasserstoff-MASER

MASER: Maïke Proßotowicz

26. Juni 2016

13

Maser-Strahlung geht von den sogenannten **Roten Riesen** aus. Ein solcher Stern hat die **Endphase seiner Entwicklung** erreicht und **verliert Gas**, wenn er sich auf mehr als das **Tausendfache des Sonnendurchmessers aufbläht**. (Die **Sonne** selbst wird in vielleicht **vier Milliarden Jahren ebenfalls** zu einem **Roten Riesen** werden.)

Viele Vertreter dieses Sterntyps weisen **regelmäßige Helligkeitsschwankungen** auf, mit typischen Perioden von etwa einem Jahr. Weil die Strahlung des Sterns die **Pumpenergie** für die **Besetzungsinversion** der **Hydroxyl-Moleküle** liefert, sollte die **Intensität des Masers** ebenfalls in diesem **Rhythmus schwanken**.

Trägt man für einen **Hydroxyl-Maser (also Wasserstoff-Maser)** in der Umgebung eines Roten Riesen die **beobachtete Intensität gegen die Frequenz** auf, läßt das **Spektrum** zwei deutlich **getrennte Maxima erkennen**: Das eine Maxima ist infolge des **Doppler-Effekts** von der ursprünglichen **Maser-Frequenz zu einer niedrigeren**, das andere zu einer **höheren Frequenz verschoben** (in **Anlehnung** an die Doppler-Verschiebung im **optischen Spektrum** spricht man von Rot- beziehungsweise Blauverschiebung). Der **Frequenzabstand** zwischen den **Maxima entspricht** einer **Geschwindigkeitsdifferenz** von etwa **16 Kilometern pro Sekunde**. Die **blauverschobene Emissionslinie** stammt von **Gas**, das sich auf die **Erde zu bewegt**, während das **Gas**, das die **rotverschobene** verursacht, sich **von der Erde entfernt** (**rotverschobene** ist hierbei um **mehrere Wochen verzögert**, weil das **Signal diese Zeit braucht umd von der hinteren Siete der Gashülle zu vorderen zu gelangen**).

Diese **Signalstruktur** ist so **charakteristisch**, dass sich **mit ihr Rote Riesen** auch in solchen **Bereichen des Milchstraßensystems nachweisen** lassen, die **mit optischen**

Teleskopen nicht zu erfassen sind, weil interstellarer Staub den Blick dorthin versperrt.

Die **Bestimmung von Distanzen** gehört zu den **schwierigsten Aufgaben** in der **Astronomie** – entsprechend **unsicher** ist die kosmische **Entfernungsskala**. Man vermag zwar die **Winkeldurchmesser von Himmelsobjekten** äußerst **genau** zu messen, doch nur **selten** gelingt es, auch **ihre lineare Ausdehnung zu ermitteln**. **Erst mit beiden Angaben** läßt sich die **Entfernung des Objekts direkt bestimmen**, indem man nämlich einfach **lineare Ausdehnung und Winkeldurchmesser dividiert**. **Damit** liegt ein **Maß** für den **Durchmesser der Hülle** vor, aus dem sich **zusammen** mit ihrem **Winkeldurchmesser** die **Entfernung** des Sterns bestimmen lässt.

Bild: <https://www.cfa.harvard.edu/news/2006-07>

Forschung und Entwicklung

- ❑ Maser-Entwicklung vergleichbar mit dem Laser vor 50 Jahren
 - ❑ Geringe Intensität der Mikrowellen, Frequenzspektrum relativ schmal
- ❑ MASER funktioniert erstmals bei Luft und Raumtemperatur
 - ❑ Verbesserung für Radar und Radioteleskope
 - ❑ Bisherige Modelle auf -269 °C abgekühlt
 - ❑ Einsatzmöglichkeiten stark eingeschränkt
- ❑ MASER-Waffen
 - ❑ Nicht-tödliche, portable Waffen
 - ❑ Mikrowellenstrahl erhitzt äußere Hautschicht
 - ❑ Wirkungsradius präziser, Reichweite 15 m



MASER-Kristall

MASER: Maike Proßotowicz

26. Juni 2016

14

„Der **Stand** der **Maser-Entwicklung** ist **vergleichbar** mit dem des **Laser vor 50 Jahren**“. So ist die **Intensität** der **Mikrowellen nicht sehr hoch** und auch das **Frequenzspektrum** noch **relativ schmal**. Dennoch dürften von solchen **Masern**, die an der **Luft** und bei **Raumtemperatur** unkompliziert **einsetzbar** sind, **viele Anwendungen** profitieren. **Astronomen** könnten **ohne** aufwendige **Kühlung Detektoren bauen**, deren **Signale weniger von einem Störrauschen beeinträchtigt** werden. Diese **Vorteile** ließen sich auch bei der **Analyse von Quantencomputern** oder **molekularbiologischen Proben** nutzen. Zudem lässt sich nicht ausschließen, dass **Maser die Grundlage für eine weitere Optimierung des digitalen Funkverkehrs im Gigahertzbereich** liefern. „Aber die **exakten Anwendungen** sind aus heutiger Sicht **noch weitgehend unbekannt**“.

Maser Raumtemperatur

Dieser **Kristall** aus **Pentazen-dotiertem p-Terphenyl** ermöglicht die **optische Anregung** von **Elektronen**. Bei den darauf folgenden **elektronischen Übergängen** wird **korrelierte Mikrowellenstrahlung bei etwa 1,45 GHz bei Raumtemperatur emittiert**. Hierdurch sind **keine aufwendigen Kühlungen mehr notwendig**. Denn **bisherige Modelle** mussten **auf -269° C abgekühlt** werden. **Nun ist jedoch mit diesen neuen Masern** möglich, neue **Anwendungsbereiche** zu entdecken, sodass die **Einsatzmöglichkeiten** nicht mehr so stark eingeschränkt sind.

Des weiteren wird besonderes in den **USA** an **MASER-Waffen** geforscht. Diese Waffen sollen **nicht-tödlich** und gut **transportierbar** sein. Das **Prinzip** dieser Waffen liegt darin, durch einen **Mikrowellenstrahl** die **äußerste Hautschicht** eines Menschen zu **erhitzen**, um so einen **Schmerzreiz** auszulösen. Der **Vorteil** dieser Waffen soll darin liegen die **Verletzungen zu reduzieren**, da mit diesen Waffen der **Wirkungsradius präziser** und nur **wenige Zentimeter** groß ist. Zudem können **Reichweiten** von **ca. 15 m** erreicht werden.

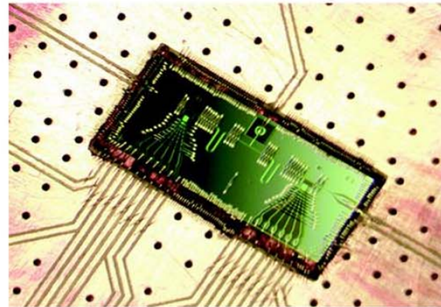
[http://www.pro-](http://www.pro-physik.de/details/opnews/2489851/Maser_strahlt_erstmals_auch_bei_Raumtemperatur.ht)

[physik.de/details/opnews/2489851/Maser_strahlt_erstmals_auch_bei_Raumtemperatur.ht](http://www.pro-physik.de/details/opnews/2489851/Maser_strahlt_erstmals_auch_bei_Raumtemperatur.ht)

ml

Forschung und Entwicklung

- ❑ Abstimmbarer Maser aus Quantenpunkten
 - ❑ Verstärkung der Mikrowellenemission basiert auf Tunneln einzelner Elektronen durch diese Quantenpunkte
 - ❑ Versorgung mittels einzelner Elektronen statt Laser als Antrieb für Maser
 - ❑ Wichtiger Schritt für Quantencomputer



Abstimmbarer Maser aus Quantenpunkten

Auf diesem **Chip** befinden sich zwei **Quantenpunkte** aus Indiumarsenid, in denen **tunnelnde Elektroden** zu einer **Verstärkung** von **Mikrowellen** führen.

Mit einem **solchen System** kann mittels **einzelner Elektronen** der **Maser** mit **Strom** **versorgt werden**, **statt wie sonst mit Laser als Antrieb**.

Hiermit ist ein **wichtiger Schritt** in **Richtung Aufbau** von **Quantencomputer** (**Funktion beruht auf Gesetzen der Quantenmechanik, soll ungelöste Problem in Informatik mit normalen Digitalrechnern (diese funktionieren nach der klassischen Physik) lösen**) aus **Halbleitermaterialien** **realisiert** worden.

Im Bild ist ein solcher **abstimmbarer Maser** gezeigt, dieser ist nur **Reiskorn groß**.

<http://www.pro-physik.de/de>

[tails/news/7277881/Abstimmbarer_Maser_aus_Quantenpunkten.html](http://www.pro-physik.de/de/tails/news/7277881/Abstimmbarer_Maser_aus_Quantenpunkten.html)

Zusammenfassung

- ☐ MASER emittiert gebündelte und korrelierte Mikrowellenstrahlung
 - ☐ Wellenlänge: km - μm Bereich
 - ☐ Stimulierte Emission
- ☐ Besondere Maser
 - ☐ Wasserstoff Maser
 - ☐ Anwendung: präzise Atomuhr
 - ☐ Kosmische Maser
 - ☐ Anwendung: Entfernungsindikator, Zusammensetzung
- ☐ Entwicklung noch am Anfang
 - ☐ Noch nicht ganz unkompliziert einsetzbar
 - ☐ Grundlage für weitere Optimierung

Ein Maser emittiert **gebündelte** und **korrelierte** Mikrowellenstrahlung im **Wellenlängenbereich** zwischen **km** bis **μm** . Hierbei wird die **Verstärkung** durch **stimulierte Emission** erzeugt.

Besondere Maser die heute schon viel **Anwendung** finden, sind der **Wasserstoff-Maser** und die **Kosmischen Maser**. Hierbei werden die Wasserstoff-Maser für die bis jetzt **präzisesten Atomuhren** benutzt. Kosmische Maser dienen hingegen als **Entfernungsindikator** oder geben z.B. **Aufschluss** über die **Größe** und **Zusammensetzung** eines Sterns.

Zum **jetzigen Standpunkt** befindet sich die **Entwicklung des Masers** jedoch noch am **Anfang**, und ist auch noch nicht ganz **unkompliziert einsetzbar**, da **aufwendige Kühlungen** zum Einsatz eines Masers nötig sind. Allerdings werden Maser immer **weiter optimiert**, sodass diese vielleicht bald einen **erweiterten Anwendungsbereich** haben.



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Quellen

- ❑ Die Entwicklung des LASERs, Mark Kaspers, 2005
- ❑ <http://www.hyperraum.tv/tag/passiver-wasserstoff-maser/>
- ❑ <http://www.spektrum.de/magazin/kosmische-maser/822207>
- ❑ <https://www.cfa.harvard.edu/news/2006-07>
- ❑ [http://www.pro-physik.de/details/opnews/2489851/Maser strahlt erstmals auch bei Raumtemperatur.html](http://www.pro-physik.de/details/opnews/2489851/Maser-strahlt-erstmal-auch-bei-Raumtemperatur.html)
- ❑ [http://www.pro-physik.de/details/news/7277881/Abstimmbarer Maser aus Quantenpunkten.html](http://www.pro-physik.de/details/news/7277881/Abstimmbarer-Maser-aus-Quantenpunkten.html)
- ❑ <http://www.psychophysischer-terror.com/psychophysische-waffen/mikrowellen-u-laser-waffen.html>