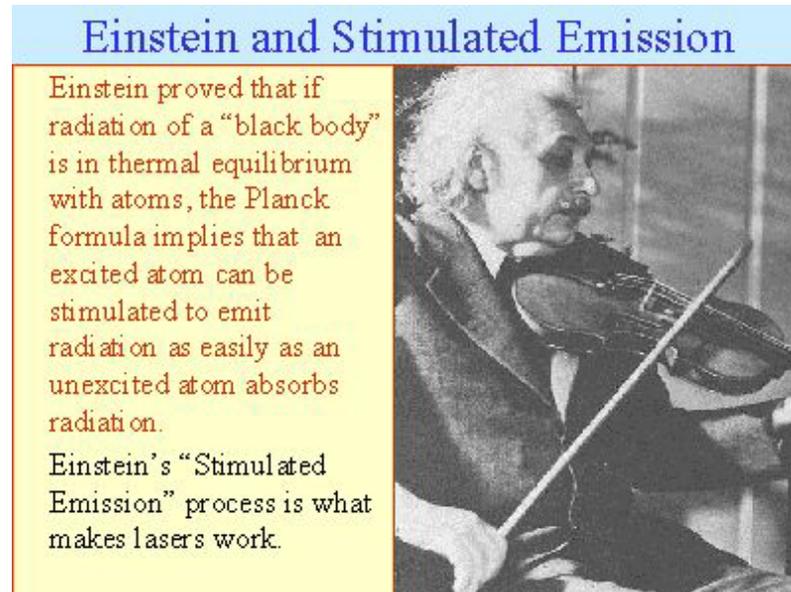


9. Theodore H. Maiman und der Laser

Neben der Entdeckung der Spaltung des Atomkerns haben von allen physikalischen Entdeckungen und Erfindungen des 20. Jahrhunderts mit Sicherheit der Transistor und der **Laser** zu den größten und umfassendsten Umwälzungen in der Technik und im täglichen Leben geführt. Besonders bemerkenswert dabei ist, dass der Laser unmittelbar auf 'alten', von Max Planck und **Albert Einstein eingeführten Konzepten beruht**.



Einstein überlegte sich, ausgehend von der Planckschen Strahlungsformel, wie im 'schwarzen Strahler' das **thermische Gleichgewicht** zwischen den Atomen und der Strahlung hergestellt und aufrechterhalten werden kann. Er erkannte, dass **Strahlung durch drei Prozesse erzeugt** bzw. 'vernichtet' werden kann:

1. 'spontane' Emission von Zustand $2 \rightarrow 1$ (Wahrscheinlichkeit = A_{21})
 $2 \xrightarrow{\quad\quad\quad} E_2 (N_2)$
2. 'stimulierte' Emission $2 \rightarrow 1$ (= B_{21})
3. Absorption (= B_{12}) $1 \rightarrow 2$
 $1 \xrightarrow{\quad\quad\quad} E_1 (N_1)$

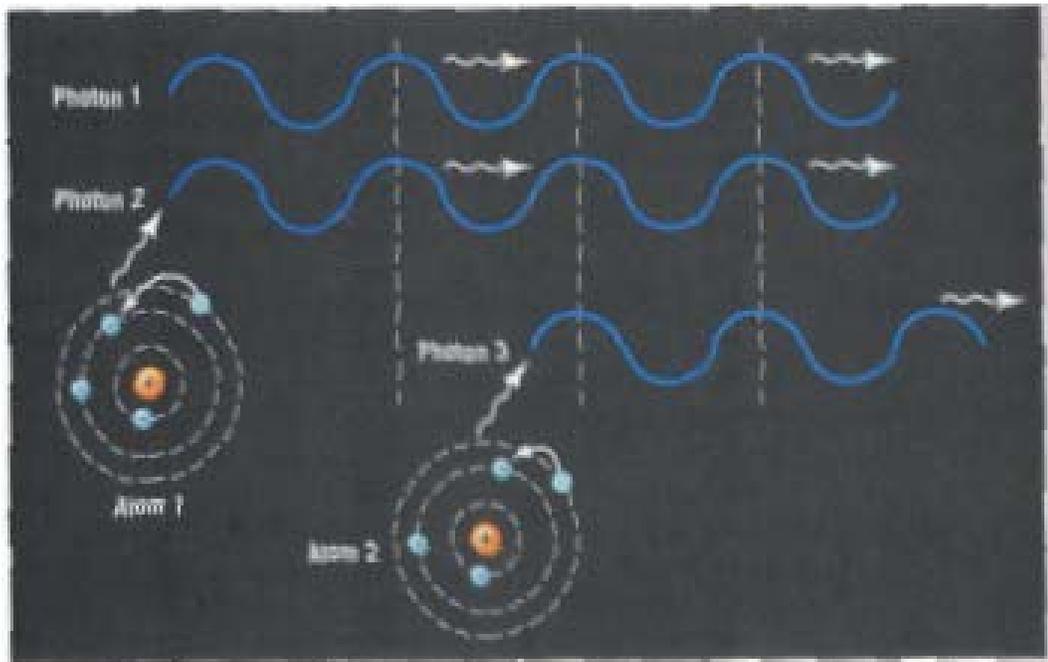
Thermisches Gleichgewicht zwischen Atomen (N_2 im 'oberen', N_1 im 'unteren' Zustand) und Strahlung bedeutet dann, dass die **Absorption** gleich der **Summe aus spontaner und stimulierter Emission** ist, mit $E_2 - E_1 = h\nu$:

$$- d/dt (N_2) = d/dt (N_1) = A_{21} N_2 + B_{21} N_2 \rho(\nu) - N_1 B_{12} \rho(\nu) \quad (9.1)$$

Hierbei ist $\rho(\nu)$ die Dichte (Zahl/Frequenzintervall) des Photonenfeldes.

Was ist nun der Unterschied zwischen 'spontaner' und 'stimulierter' Emission? **'Spontane'** Emission ist der altbekannte Prozess des Übergangs eines höheren Energiezustands E_2 eines Atoms (Elektrons) in einen tieferen E_1 mit der Wahrscheinlichkeit A_{21} . Diese spontane Emissionswahrscheinlichkeit lässt sich im Rahmen der Quantenmechanik z.B. mit der **'goldenen Regel'** berechnen.

Sind nun im Strahlungsfeld Photonen der 'richtigen' Energie $h\nu = E_2 - E_1$ vorhanden, d.h. $\rho(\nu) \neq 0$, kann das **angeregte Atom** (im Zustand E_2) **'stimuliert'** werden, ein Photon **derselben Energie** ($E_2 - E_1$), **Richtung und Phase** zu emittieren; in diesem Fall wird das erste Photon sozusagen 'geklont'.

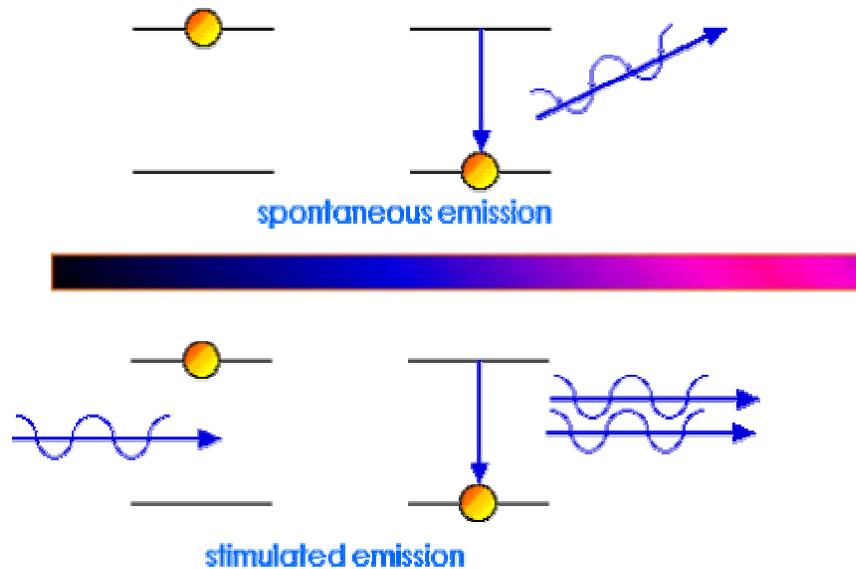


Schema der **'stimulierten' Emission**, mit Photonen gleicher Energie, Phase und Richtung

Man sieht, dass man auf diese Weise zu einer unbeschränkten **Vermehrung identischer Photonen** gelangen könnte -in gewisser Weise analog zur Vervielfachung der Neutronen bei der Kernspaltung. Die Sache hat nur einen gewaltigen Haken: im 'normalen' thermischen Gleichgewicht wird ein Atom nur mit der relativen Wahrscheinlichkeit

$$g_2 = g_1 \exp \left\{ - (E_2 - E_1)/kT \right\} \quad (9.2)$$

im Zustand E_2 sein ($g_1 =$ Besetzung von Zustand E_1) sein, sodass es **sehr viel häufiger zur Absorption** des Photons als zur stimulierten Emission kommt. Die Möglichkeit, die **stimulierte Emission** auf Kosten der Absorption zu **erhöhen**, hängt daher entscheidend davon ab, mit irgendwelchen 'Tricks' eine **Inversion der 'normalen' thermischen Besetzungen** g_2, g_1 , von E_2 bzw. E_1 zu erreichen.



9.1 Die 'Einstein-Koeffizienten' A_{21} , B_{21} , B_{12}

Einstein gelang es nun am Beginn der zwanziger Jahre **Beziehungen zwischen** den drei 'Einstein-Koeffizienten' A_{21} , B_{21} , B_{12} und $\rho(\nu)$ im **thermischen Gleichgewicht** ($-d/dt N_2 = d/dt N_1 = 0$) aufzustellen, unter Berücksichtigung von:

1. der 'Quantenbedingung' $h\nu = E_2 - E_1$
2. der 'Boltzmannbedingung' $N_1/N_2 = g_1/g_2 \exp\{-(E_2 - E_1)/kT\} = g_1/g_2 \exp\{-h\nu/kT\}$
3. dem 'detaillierten Gleichgewicht' im Strahlungsfeld: $g_2 B_{21} = g_1 B_{12}$

Damit gelangte er über

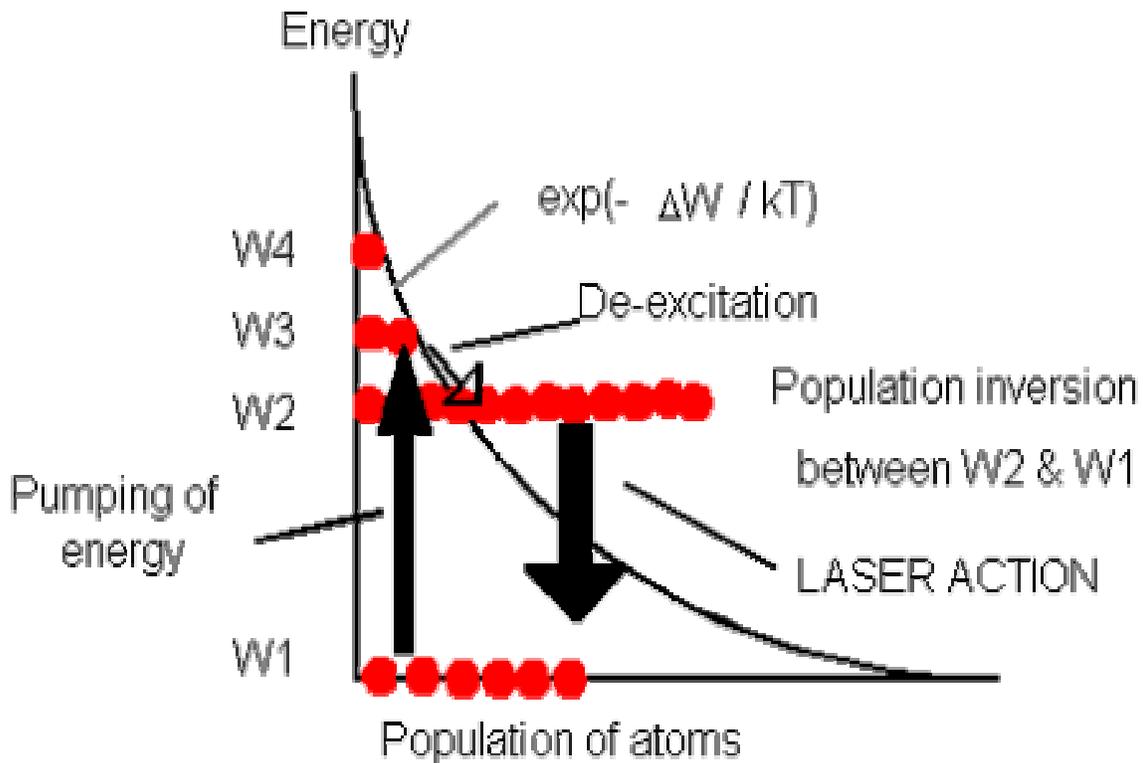
$$\begin{aligned} \rho(\nu) &= N_2 A_{21} / (N_1 B_{12} - N_2 B_{21}) = A_{21}/B_{12} \{ g_1/g_2 \exp(h\nu/kT) - g_1/g_2 \}^{-1} \\ &= g_2 A_{21} / (g_1 B_{12}) \{ \exp(h\nu/kT) - 1 \}^{-1} \quad \text{und} \end{aligned}$$

4. dem Vergleich mit dem **Planckschen Strahlungsgesetz**

$$\rho(\nu) = 8\pi h/c^3 \nu^3 \{ \exp(h\nu/kT) - 1 \}^{-1} \quad \text{schließlich zu:}$$

$$g_2 A_{21} = 8\pi h/c^3 \nu^3 g_1 B_{12} = 8\pi h/c^3 \nu^3 g_2 B_{21} \quad (9.3)$$

Wie kann man nun die **stimulierte Emission** ($\propto g_2 B_{21}$) im Verhältnis zur **Absorption** ($\propto g_1 B_{12}$) erhöhen? Indem man versucht, das **Verhältnis** g_2/g_1 (= Besetzung des oberen Zustands 2 / Besetzung des unteren Zustands 1) **möglichst groß** zu machen. Dafür muss man natürlich das **thermische** (und detaillierte) Gleichgewicht verlassen (**'Inversion'** der Besetzungszustände).



Laser-typische Herstellung einer 'Besetzungs-Inversion'

Das Bild zeigt das Schema, das sich seit den ersten Lasern zur Herstellung einer **Besetzungs-Inversion** durchgesetzt hat (**3- Niveau-Laser**). In einem ersten Schritt werden die Atome aus dem Grundzustand W1 mit einer starken Lichtquelle in die Zustände W3, W4... angeregt. Sind diese Zustände **'breit'** (Kontinua, Quasi-Kontinua) kann man dazu eine **breitbandige Lichtquelle** verwenden.

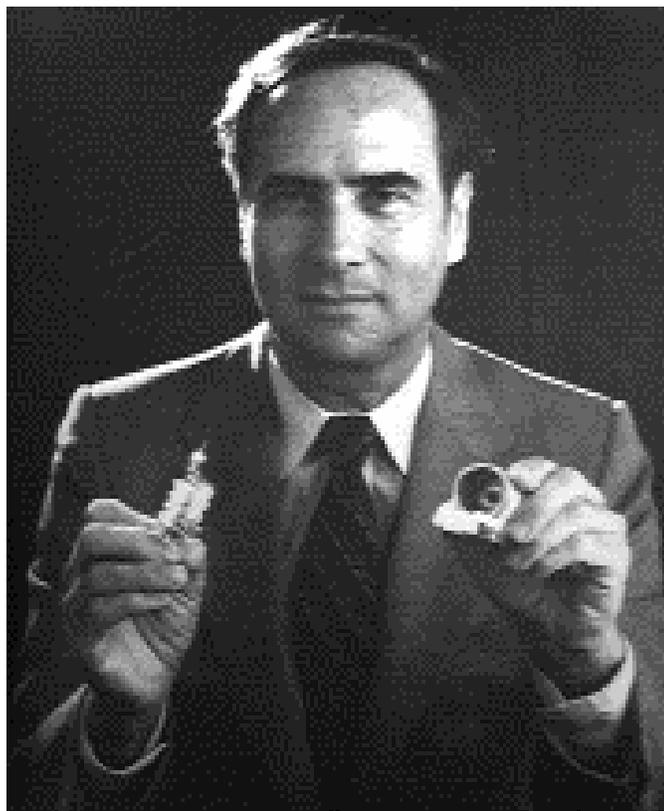
Diese Zustände, kurzfristig durch die starke Anregung stärker besetzt als es der thermischen Gleichgewichts-Verteilung $\exp\{-\Delta W/kT\}$ entspricht, regen sich sehr **schnell ab**, wobei **viele der Atome in einem metastabilen (langlebigen) Zustand (W2) enden**. Dies kann z.B. ein s- (oder d) -Zustand sein, der direkt über einem s-Grundzustand liegt, mit sehr kleiner Übergangswahrscheinlichkeit in den Grundzustand, d.h. langer Lebensdauer. Die wenigen Photonen, die in den Grundzustand 'tröpfeln', werden durch die starke Lichtquelle sofort wieder **'weggepumpt'**. Dadurch bildet sich eine **erhebliche Besetzungsinversion** zwischen W1 und W2 aus, d.h. eine **nicht-thermische Verteilung**.

Man sieht aus Gl. 9.3 auch, dass **-unabhängig vom thermischen Gleichgewicht-** das Verhältnis stimulierte/spontane Emission proportional zu $1/\nu^3$ ist:

$$\text{stimulierte / spontane Emission} = B_{21} / A_{21} \propto 1/\nu^3 \quad (9.4)$$

Dies ist der Grund, warum der **LASER**, 'Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation', d.h. die signifikante Erhöhung der stimulierten Emission im **SICHTBAREN BEREICH**, erst **viel später realisiert** wurde als die entsprechenden Apparaturen bei **kleineren Frequenzen ν** , wie z.B. der **MASER** ('Microwave Amplification...') im Mikrowellenbereich.

9.2 Theodore H. Maiman bringt den **ersten (Rubin)-Laser** am 16. Mai 1960 **zum Leuchten**



Theodore H. Maiman mit Teilen des **ersten (Rubin) - Lasers**

Arthur **Schawlow** und Charles **Townes** publizierten 1958 ein Papier in Physical Review , **'Infrared and Optical Masers'**, in dem sie die Ausdehnung des bereits realisierten 'MASERS' im Mikrowellenbereich in das infrarote und sichtbare Gebiet mathematisch diskutierten. Für diese Pionierarbeit erhielt -mit Recht- Townes bereits 1964 und Schawlow 1981 den Nobelpreis für Physik.



A. Schawlow (links) und C. Townes bei der Justierung eines Rubinlasers

Auf der Homepage von **Bell-Labs** (www.bell-labs.com/history/laser/invention) wird dies unter der Überschrift **'Schawlow and Townes invent the laser'** gebracht, was historisch **falsch** ist.

Richtig ist dagegen, dass der **erste Mensch**, der **Laserlicht erzeugt** und zusammen mit seiner Gruppe am **Hughes Aircraft Lab.** in Malibu, Kalifornien, zum ersten Mal gesehen hat, **Theodore H. Maiman** war, und zwar am **16. Mai 1960**. Maiman aber erhielt -bisher- **keinen** Nobelpreis für diesen epochalen 'Quantensprung'. Der Grund dafür liegt noch verborgen in den Archiven des Nobelkommittees, er ist aber mit einem mehr als **vierzig Jahre andauernden**, unappetitlichen **Krieg** von gegenseitigen Verleumdungen, Fälschungen und Geschichtsklitterungen verbunden (s. dazu z.B. www.spie.org/web/oer/august/aug00/maiman).

tions ...17-18
 s ...24-25
 etronics ...35-37
 ...39-41
 ws ...1-16, 42
 t ...38
 ent ...38
 s and ...20-28
 ...33, 34

Electronic News®

THE INDUSTRY'S WEEKLY NEWSPAPER • A FAIRCHILD PUBLICATION

Copyright 1960, by Fairchild Publications, Inc.

Printed in U.S.A.

Vol. 5 Whole No. 228 ★ ★ ★

NEW YORK 3, N. Y., MONDAY, OCTOBER 17, 1960

TEN CENTS

One Year \$3 Payable in Advance

LogNet include s AFB

By OTH. ASHER
Electronic News

Griffiss AFB here
e of five additional
rs for the proposed
ollar combat logis-
or which Western
Co. is prime con-

at the Rome base
der present long-
GAFB is contem-
the five additional
to the availability
e future and the
n of this system.
these columns last
Union will lease
e ComLogNet sys-
Force at an annual
llion. Outlying sta-
ching center equip-
ent costs are ex-
some \$50 million.
the Ground Elec-
TROGNET, Page 19

ghouse s SiC stor

Electronic News

A silicon carbide
o be capable of op-
650° F. was intro-
stinghouse Electric
at the 118th meet-

ils of the Electro-
meeting appear on

trochemical Society

the company's Semi-
ment in Young-
at its Materials
GHOUSE, Page 15

of NEAR System at \$40-50 Million

Special to Electronic News

O.—Total cost of a National Emergency Alarm
(NEAR) system was estimated at between \$40 mil-
lion in a paper delivered last week at the Fall
ting of the American Institute of Electrical

Engineers.
The speaker, H. L. Stout, Mid-
west Research Institute, Kansas
City, Mo., also declared that the
cost of the NEAR system signal
generator installation, consisting
basically of three transformers and
a rectifier, is about \$100,000 a unit.

The whole installation, he said,
is about equal to the cost of a
single major radar outpost in the
Distant Early Warning System.

His paper, which was part of the
Thursday afternoon Transmission,
Distribution and Substations ses-
sion, was considered one of the
highlights of the Chicago meeting.



Electronic News Photo

PARTICIPANTS: Ready for action as Optical Society of America
annual meeting opened in Boston last week were (left to right):
Dr. Max H. Mesner, Radio Corp. of America, Princeton, N. J.;
Dr. Fred Brech, Jarrell-Ash Co., Newtonville, Mass.; Dr. Robert
Hills, Jr., Baird-Atomic, Inc. and chairman of the OSA program
committee; and H. M. Gurin, RCA, Princeton, N. J.

Midwest Apathy Hit At Chicago Conclave

By GEORGE M. DRAKE and NAT SNYDERMAN
Special to Electronic News

CHICAGO.—The Midwest was flayed here last week for
uninspiring work in electronics, for the failure of its universities
to exercise leadership, for lack of imagination by industry, and
for the wrong psychological climate for creative work.

In some cases, bland academic language was discarded
while the flaying was administered
to both industry and the universi-
ties for muffed opportunities. The
whipping took place at the 16th
National Electronics Convention.
It was instigated by NEC officials.
Climactic blows were struck by
Dr. Frederick E. Terman, vice-
president and provost of Stanford
University, Stanford, Cal., who
spoke at the Wednesday confer-
ence luncheon at the Hotel Sher-
man.

The Midwest electronics field
See MIDWEST, Page 4

Research Held Key to Growth On Long Island

By ED NANAS
Special to Electronic News

WESTBURY, L. I., N. Y.—The
Long Island electronics industry
must rely on expanded research
to develop proprietary products
that can be assembled elsewhere
— even overseas — John Carter,
president of Fairchild Camera &
Instrument Corp., Syosset, L. I.,
said here last week.

Mr. Carter, one of a five-mem-
ber panel of top executives at the
annual presidents dinner of the
Long Island Electronics Manufac-
turers Council, said that his firm
could not compete with "sweat-
shop" labor markets in other parts
of the country, and that he would
not hesitate to have some of Fair-

See RESEARCH, Page 16

Hughes Studies Optical Radar as First Laser Use

By ALEXANDER E. TAKACS and RUSSELL J. BAYLEY
Special to Electronic News

BOSTON.—An optical radar set is being investigated
by Hughes Aircraft Co., Culver City, Cal., as the first appli-
cation of its optical maser.

This was disclosed by T. H. Maiman of Hughes Research
Laboratories, at a private briefing session before he delivered

Control Units Seen Focus of Europe Parley

By MICHAEL SHERIDAN
GERMAN BUREAU

DUSSELDORF.—Control and
monitoring devices for manufactur-
ing and process industries are ex-
pected to hold the spotlight during
the Second International Instru-
mentation and Automation Con-
gress and Exhibition (Interkama)
which opens here Wednesday and
continues through Oct. 26.

The United States, with 18 exhibi-
tors, ranks fourth among 14 non-
German participants, behind France
(43), Britain (38) and Switzerland
(18). However, many United States
products will be shown under the
name of their European licensees.

Looking Back at Electronic News: October 1960

On Oct. 17, 1960, laser technology was in its infancy, with the
world's first working laser having been demonstrated just six
months earlier. A young engineer at Hughes Aircraft Co.
named T. H. Maiman in May 1960 had shocked the scientific
community with his construction, which brought to reality the
prediction of the "Heat Ray" made by H. G. Wells in his
visionary work, *War of the Worlds*, published 60 years earlier.
As 1960 drew to a close, Maiman was seeking a practical
application of this exotic new technology in optical radar sys-
tems. In the year 2000, lasers are a common household item,
found in millions of printers, and pointing devices, and CD
and DVD players all around the world. Forty years ago, *Electro-
nic News* was there to report the first practical use of this
now commonplace technology.

his paper on stimulated optical
emission in ruby at the annual
meeting of the Optical Society of
America here Thursday.

Dr. Maiman had announced an
operating optical maser (laser) by
Hughes which was reported in these
columns July 11.

He said this is a logical applica-
tion for the pulsed optical maser
whose beam of coherent light has
extreme directivity, 0.1-0.2 degrees
spread. He estimated that at 10
miles, the coherent beam would
only have a spread of about 200
feet.

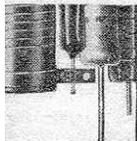
The main emphasis of Hughes'
optical maser research efforts are
to investigate the device more thor-

See OPTICAL, Page 16

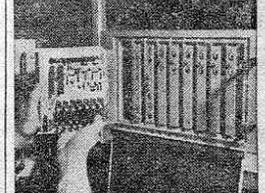
Pique Leaves Hoffman Post As of Oct. 31

By ROBERT HENKEL
Special to Electronic News

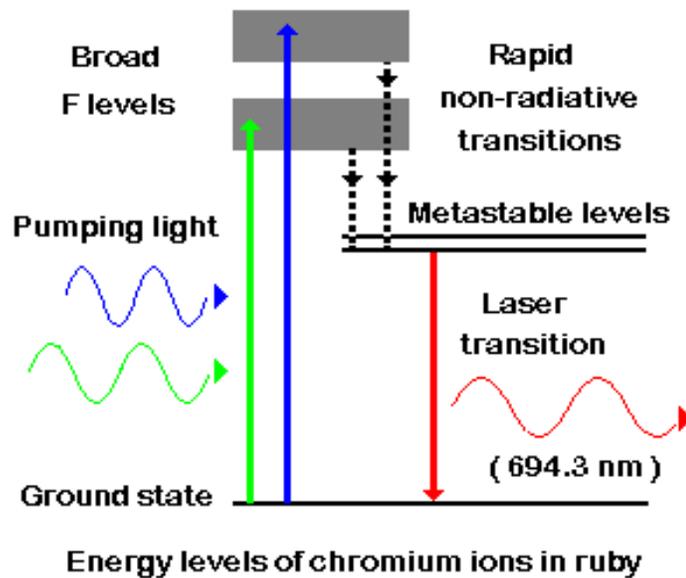
LOS ANGELES.—Z. W. Pique,



MINING ASS

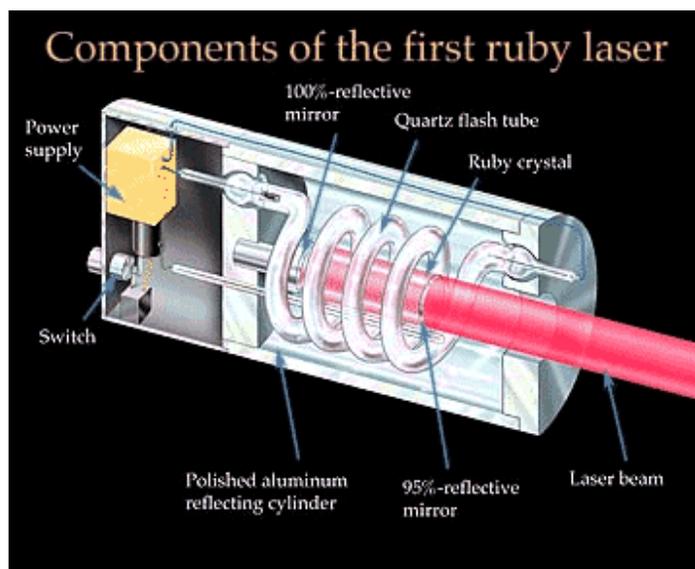


Raytheon Converter Gives
5 Million Analog Digital



Als das erste zum 'Lasern' geeignete System erwies sich für Maiman ein mit **Chrom** (0,05% Cr_2O_3) dotierter **Rubinkristall** (Al_2O_3). Dieser ist ideal für die Herstellung einer **Besetzungsinversion** geeignet nach dem oben beschriebenen Schema:

Mit breitbandigem **blau/grünem Pumplicht** (550 nm) erreicht man eine breite Zone **quasi-kontinuierlicher** Energiezustände ('F levels'), die sich durch Elektronenstöße (nicht-radiativ) in mehrere **metastabile Zustände** abregen, wodurch man nach dem später klassisch gewordenen 3-Niveau-Schema eine **Besetzungsinversion zwischen diesen Zuständen und dem Grundzustand** erhält. Der '**Laserübergang**' in den Grundzustand liegt dann **im roten Spektralbereich bei 694,3 nm**. Der **erste sichtbare Laser** der Geschichte war daher '**rubinrot**'.



Besetzungsinversion ist notwendig aber noch nicht hinreichend für das, was wir heute einen 'Laserstrahl' nennen. Was zeichnet einen solchen Strahl im Gegensatz zu 'normalem' Licht aus?

1. die strenge **Monochromasie** (Bandbreite $\delta\nu$ der Frequenz extrem klein)
2. die **winzige Divergenz** (Laserlicht kann man zum Mond und zurück schicken)
3. die **große Kohärenz-Länge** bzw. **-Zeit** (die Phasen der Photonen sind konstant)

Wie kommt es zu diesen Eigenschaften? Man lässt die Photonen, sowohl die 'primären', als auch die 'stimulierten', viele Male in einem **Spiegelresonator** hin- und herlaufen. Typischerweise hat dieser Resonator am **'hinteren' Ende** nahezu **100%**, am **vorderen Ende** (wo der Strahl austritt) **etwa 95% Reflektivität**. Dieses System erzeugt nun eine Art von **'Selbstorganisation'** der Strahlung:

1. die **Achse** des Resonators definiert die **Photonenrichtung**, die am häufigsten reflektiert werden kann (Winkel zur Spiegelnormale = 0°)
2. die **Länge L** selektiert eine bestimmte **Wellenlänge λ** gemäß **$L = n \lambda$** (bzw. in der üblichen **Zylindergeometrie** eine bestimmte **elektromagnetische Mode T_{LM}**)
3. die so 'selbstorganisierten' Photonen haben dann **größte Monochromasie**, **kleinste Winkeldivergenz** und **größte Kohärenzlänge (Kohärenzzeit)**.

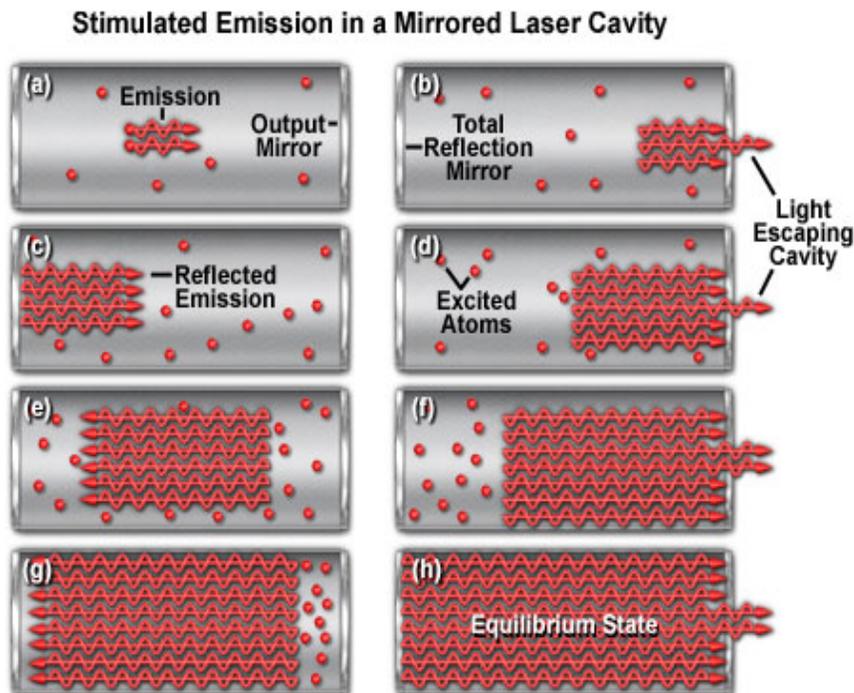
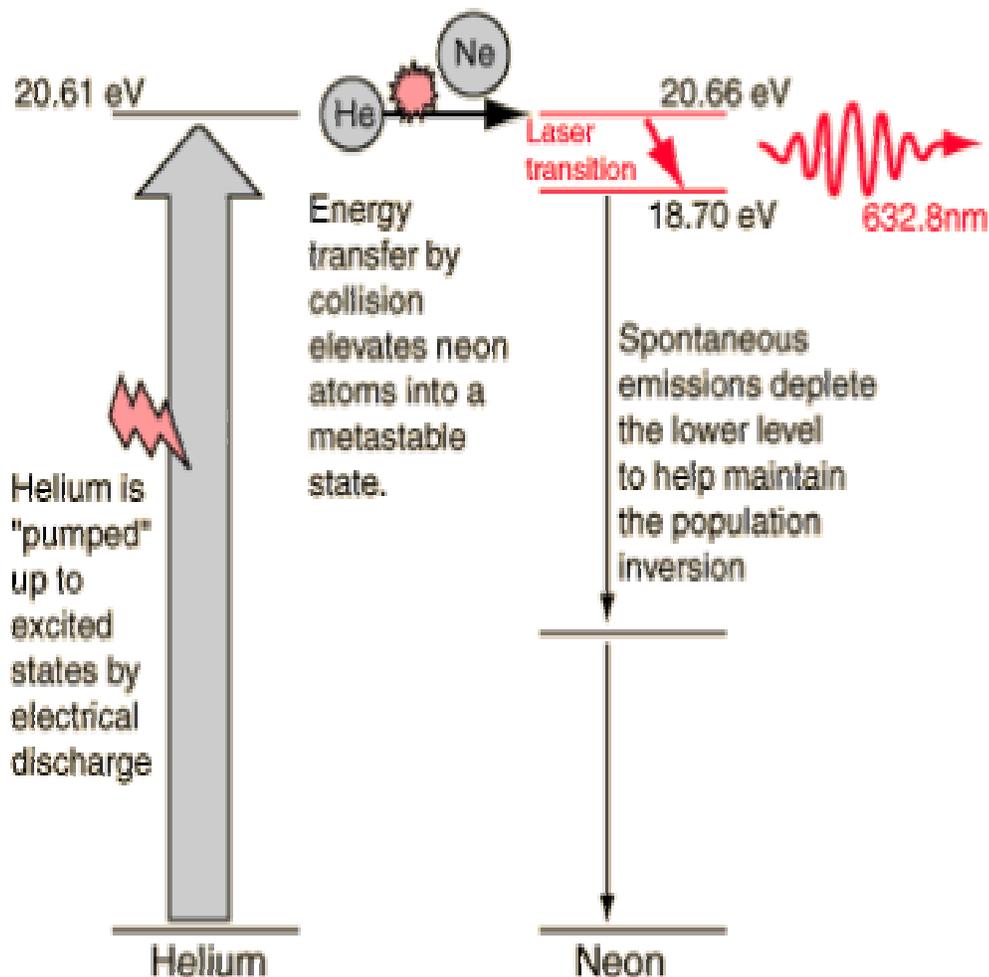


Figure 1

9.3 Was der Rubinlaser in Bewegung brachte...

Unmittelbar nach 1960 entdeckte man, dass sich Besetzungsinversion, die man beim Rubinlaser durch die Entladung einer Quarzlampe erhalten hatte, auch durch andere Methoden erreichen lässt, wie z.B. beim **Helium-Neon Laser**, dem historisch **ersten** Vertreter der später so außerordentlich wichtigen **Gaslaser**:

Hier bringt man **Helium** durch elektrische Entladung in einen hochliegenden, metastabilen (2s) Zustand bei **20,61 eV**. Dieses Niveau kann man aber **nicht** zum 'Lasern' ausnutzen, da man ja keine Besetzungsinversion relativ zum Helium-Grundzustand erzeugt hat (2- Niveau-System!). Durch **Stöße** mit den **Neon**atomen lässt sich aber die Anregungsenergie des Heliumatoms auf einen energetisch fast entarteten, metastabilen (3s) Zustand des Neons bei **20,66 eV** 'übertragen', wodurch man hier Besetzungsinversion relativ zum 2p-Niveau bei 18,70 eV erreicht. Der 'rote' 3s-2p Übergang im Neon (1,96 eV, entsprechend $\lambda = 632,8 \text{ nm}$) zusammen mit dem schnellen 2p-1s Übergang stellt dann das gesuchte 'lasernde' **3-Niveau-System** dar.



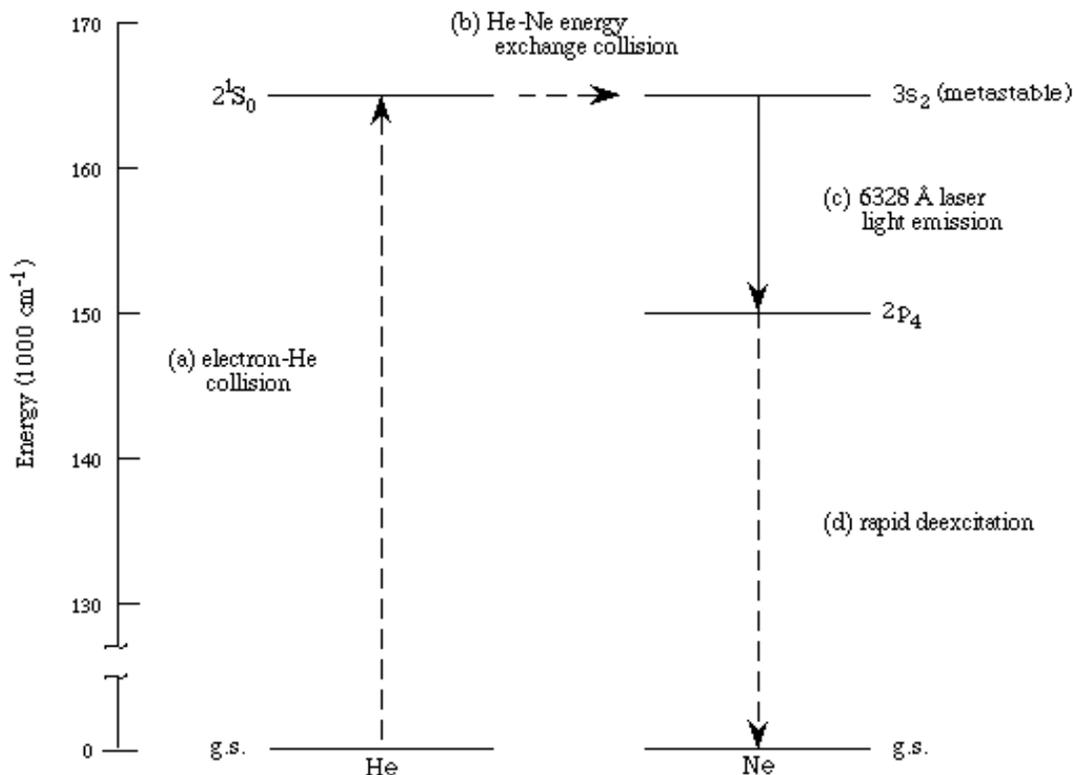


FIG. 3. Simplified atomic energy level diagram showing excited states of atomic He and Ne relevant to the operation of the HeNe laser at 6328 Å.

Anschließend ging sowohl die Entwicklung **neuer Lasertypen** als auch die 'Bandbreite' ihrer technischen Anwendung im Wortsinn exponentiell nach oben: hier seien nur einige wenige davon aufgezählt:

Halbleiter- bzw. Diodenlaser (mit rotem, grünem und in jüngster Zeit auch **blauem** Licht, wodurch man durch Superposition das für viele Anwendungen äußerst wichtige **weiße** Licht erzeugen kann); **Kurzzeit-Laser** im Pico - **Femtosekundenbereich** mit Leistungen bis zu **Petawatt** (10^{15} W) und mehr; **Frequenzvervielfachungen** bis weit in den UV-Bereich; in jüngster Zeit **'Röntgenlaser'** bis zu wenigen nm Wellenlänge ($E \geq 100$ eV...)....

Der **Anwendungsbreite von Lasern** im wissenschaftlichen und täglichen Leben, in der Medizin und Technik ist heutzutage geradezu **atemberaubend**. Nur als pars pro toto und schlagwortartig seien hier einige Bereiche der Physik aufgezählt, in denen der Laser nicht mehr wegzudenken ist: Metrologie, Optik in allen Facetten, Spektroskopie in Atom-, Kern- und Molekülphysik, Fusionsforschung, Astrophysik, Festkörperphysik, Datenübertragung... Dies alles **begann am 16. Mai 1960**.