

Wykład 2: **Promieniowanie**

oraz $\begin{matrix} M \\ L \end{matrix}$ **ASERY**

Dr inż. Zbigniew Szklarski

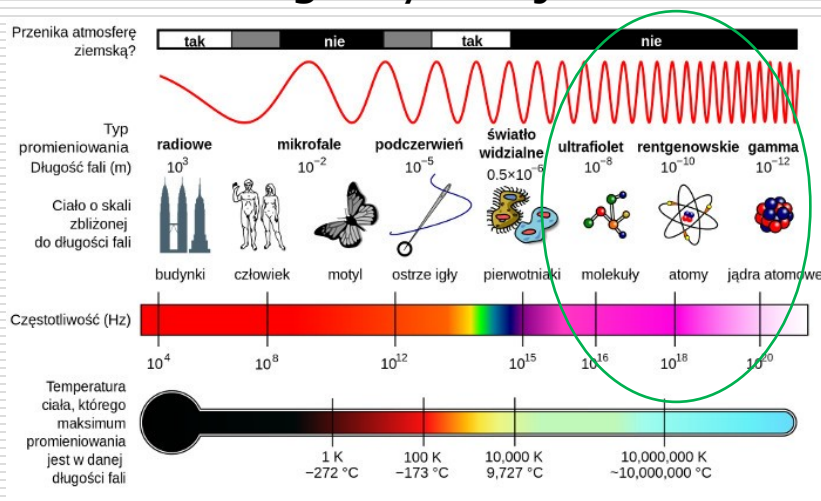
Katedra Elektroniki, paw. C-1, pok.321

szkla@agh.edu.pl

<http://layer.uci.agh.edu.pl/Z.Szklarski/>

Promieniowanie – skąd się bierze?

- Promieniowanie jest to proces emisji energii w postaci fali elektromagnetycznej lub strumienia cząsteczek.



Widmo (spektrum) fal elektromagnetycznych. Wikimedia.org

Radiation Types of Ionizing Radiation

Ionizing radiation Radiation that causes ionization

Particle beams

- α-particles** (helium nuclei ejected from a nucleus)
- β-particles** (electrons ejected from a nucleus)
- Neutron beams** (produced in nuclear reactors, accelerators, etc.)
- Proton beams** (produced in accelerators, etc.)

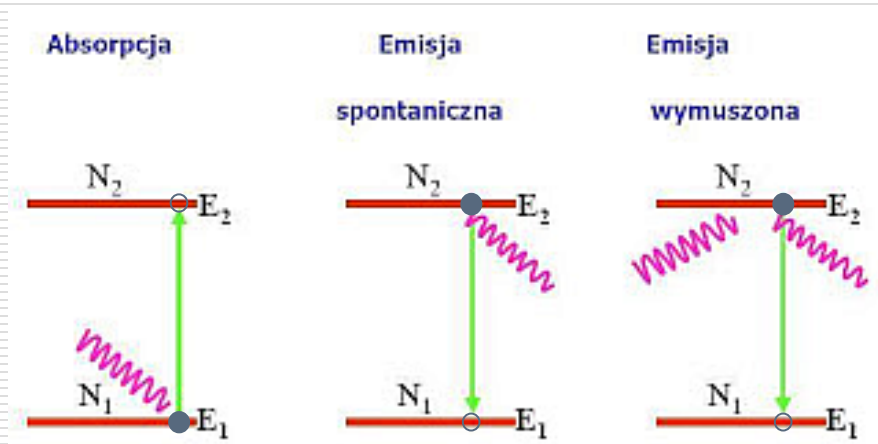
Electromagnetic waves

- X-rays** (generated outside a nucleus)
- γ-rays** (emitted from a nucleus)

Aby energia została wyemitowana, musi być dostarczona – obowiązuje zasada zachowania energii.

□ Oddziaływania fotonów z atomami.

Układy atomowe znajdują się w określonych stanach kwantowych, charakteryzujących się dyskretnymi wartościami energii. Przejściu układu kwantowego od jednego poziomu energetycznego do drugiego towarzyszy pochłonięcie lub emisja kwantu o energii równej różnicy poziomów przejścia.

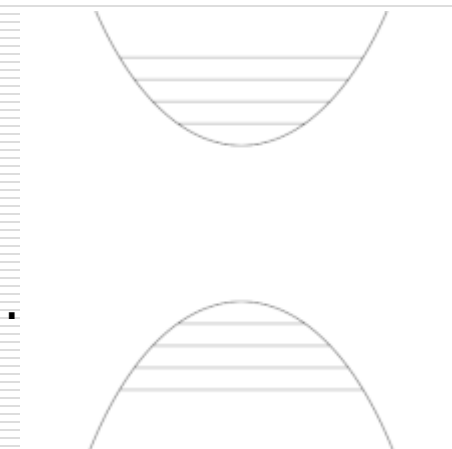


- Fosforescencja – długi czas trwania, nawet godziny (powolne przejście promieniste. →)
- Fluorescencja – natychmiastowa i krótkotrwała emisja promieniowania ↓



□ Fotoluminescencja

Zjawisko świecenia obiektu światłem własnym na skutek poprzedniego napromieniowania. Emitowany jest foton o mniejszej energii (większej długości fali).



□ Fluorescencja

Zjawisko występuje po wzbudzeniu elektronu w atomie o kilka poziomów powyżej stanu podstawowego. Atom absorbuje promieniowanie UV i oddaje je emitując taki sam foton, lub kilka fotonów o mniejszej energii (w tym w zakresie widzialnym).

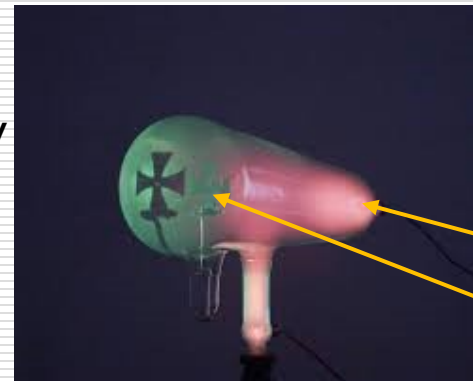
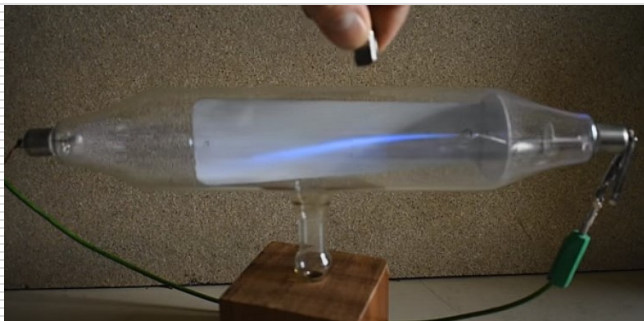


Openstax.org/books/Fizyka...t.3

Białko w skórze skorpiona oświetlonego UV świeci na niebiesko.

□ Odkrycie promieniowanie rentgenowskiego.

W badaniach wyładowań w gazach pod niskim (10^{-3} Pa) ciśnieniem odkryto świecenie rury szklanej naprzeciw katody – jakby katoda wysyłała promienie, które były odchylane w polu B i E - elektrony



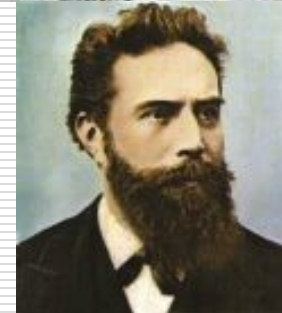
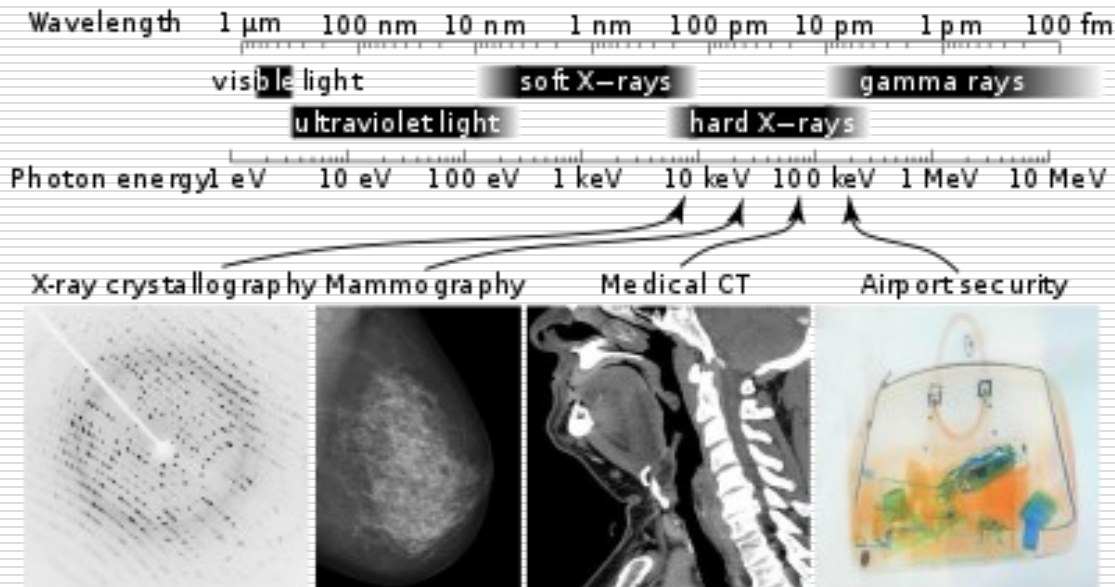
katoda

anoda



Badania Williama Crookes'a (~1879r.) promieni katodowych rozwijane przez Hertza, Teslę i in. doprowadziły do odkrycia m.in. przez Roentgena (1895r.) promieniowania powstającego w tej części lampy, na którą padają elektrony. Promieniowanie rozchodziło się prostoliniowo, było przenikliwe i ulegało dyfrakcji. Zdjęcie dłoni żony Roentgena dało impuls masowemu zastosowaniu promieni X w medycynie – Ivan Puluj (ukraiński i austro-węgierski fizyk).

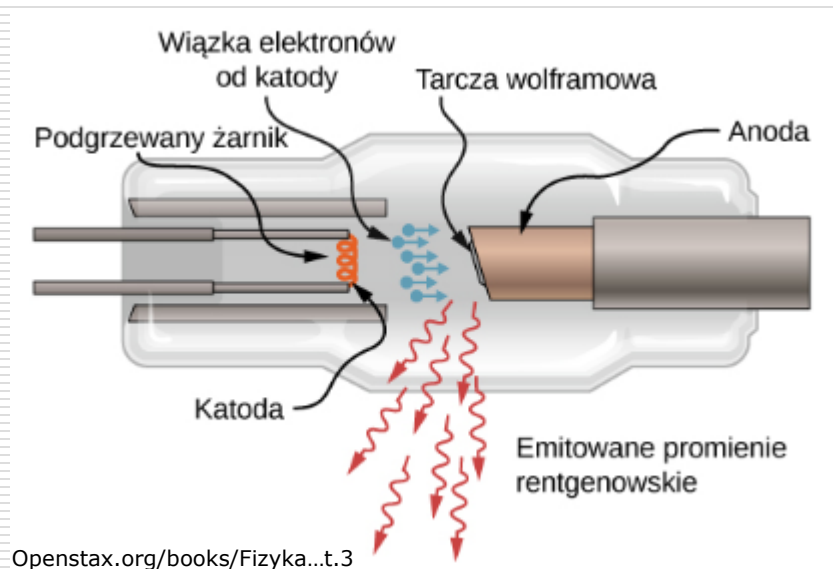
Dalsze badania prowadzone przez Thompsona doprowadziły do odkrycia elektronu.



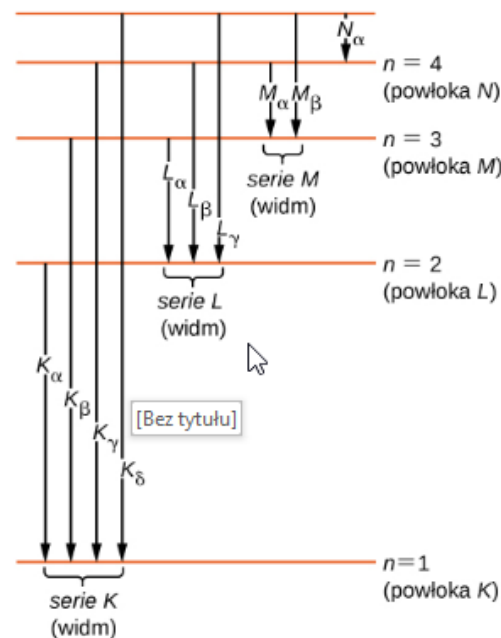
Emisja i własności promieniowania X.

Fotony promieniowania rentgenowskiego powstają gdy elektrony tracą energię:

- elektrony rozpędzone od katody są hamowane przez anodę;
- wzbudzone elektrony anody wracają do stanu o niższej energii

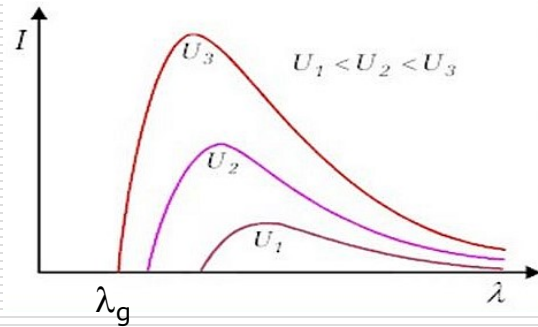


Openstax.org/books/Fizyka...t.3



Openstax.org/books/Fizyka...t.3

□ Widmo ciągłe – hamowanie elektronów

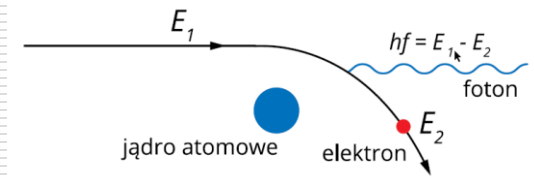


$$eU = E_e$$

U - potencjał anody

Gdy cała energia elektronu jest tracona \Rightarrow max. energia fotonu

$$E_g = \frac{hc}{\lambda_g}$$

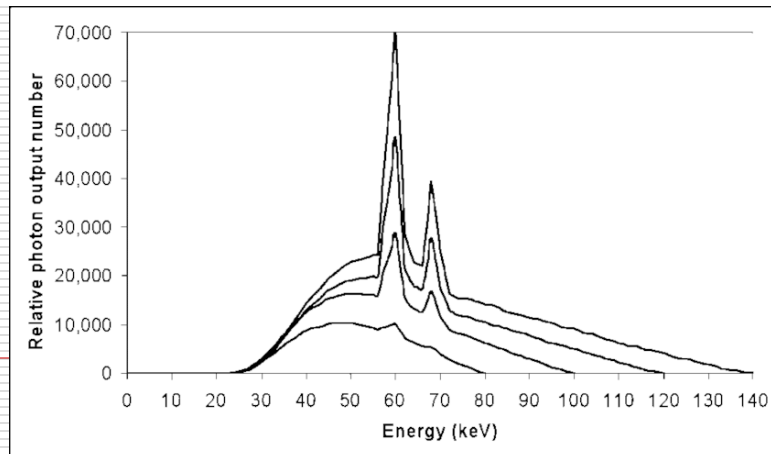


Stąd
$$\lambda_g = \frac{hc}{eU} = \frac{1234}{U} [nm]$$

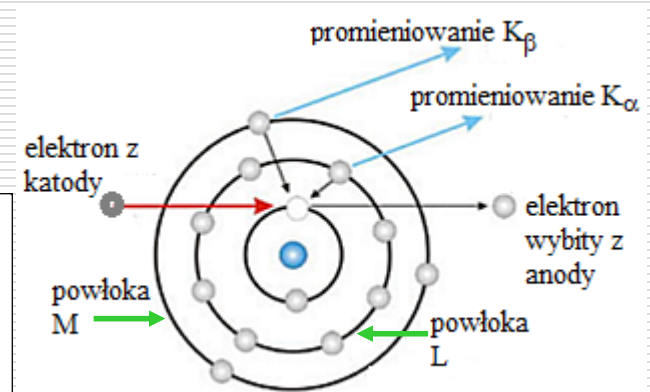
Jeżeli część energii jest tracona na anodzie w postaci ciepła, to fotony mają mniejszą długość niż λ_g .

□ Widmo charakterystyczne

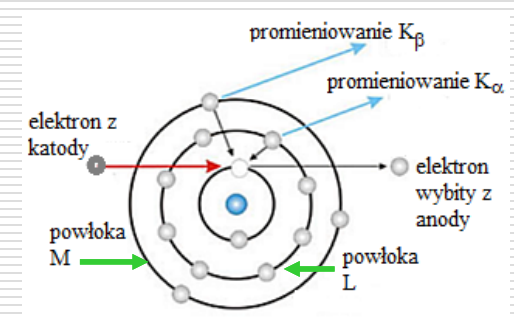
Przeskok elektronu na puste miejsce w powłoce K – seria $K_{\alpha, \beta, \dots}$



Widmo rtg wolframu dla $U=80, 100, 12, 140$ kV
J.A.Seibert
Univ.Calif.Davis



Przykład



Lampa rentgenowska z aluminiową antykatodą ($Z = 13$) emituje promieniowanie rentgenowskie K_α . Oblicz energię i długość fali.

Rozwiązanie:

$K_\alpha \Rightarrow$ wybite elektronu z powłoki K i przejście elektronu z powłoki L na K

Oznacza to, że w atomie jest $Z-1$ elektronów, zatem zamiast Z

$$E_n = -\frac{Z^2 \cdot 13,6 \text{ [eV]}}{n^2} \rightarrow \begin{aligned} E_K &= -\frac{(Z-1)^2 \cdot 13,6 \text{ [eV]}}{1^2} \\ E_L &= -\frac{(Z-1)^2 \cdot 13,6 \text{ [eV]}}{2^2} \end{aligned}$$

$$\Delta E_{L-K} = -(Z - 1)^2 \cdot 13,6 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$\Delta E_{L-K} = 1,47 \cdot 10^3 \text{ [eV]}$$

$$\Delta E_{L-K} = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{19,89 \cdot 10^{-26}}{1,47 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 8,46 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,846 \text{ nm}$$

□ Zadanie

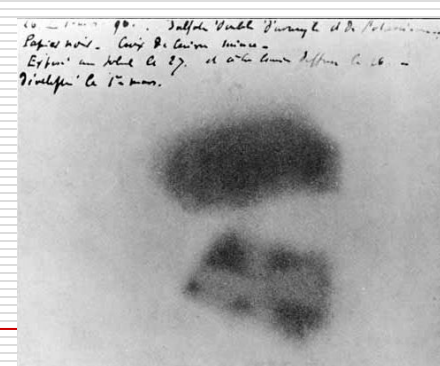
Napięcie w lampie rentgenowskiej wzrosło o $\frac{1}{4}$. Jak i o ile procent zmieniła się graniczna długość fali w widmie ciągłym promieniowania?

Odp.: $\lambda_g = \frac{hc}{eU}$

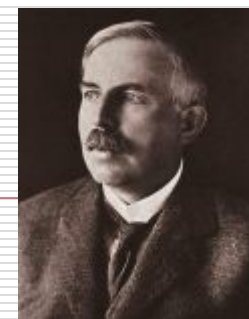
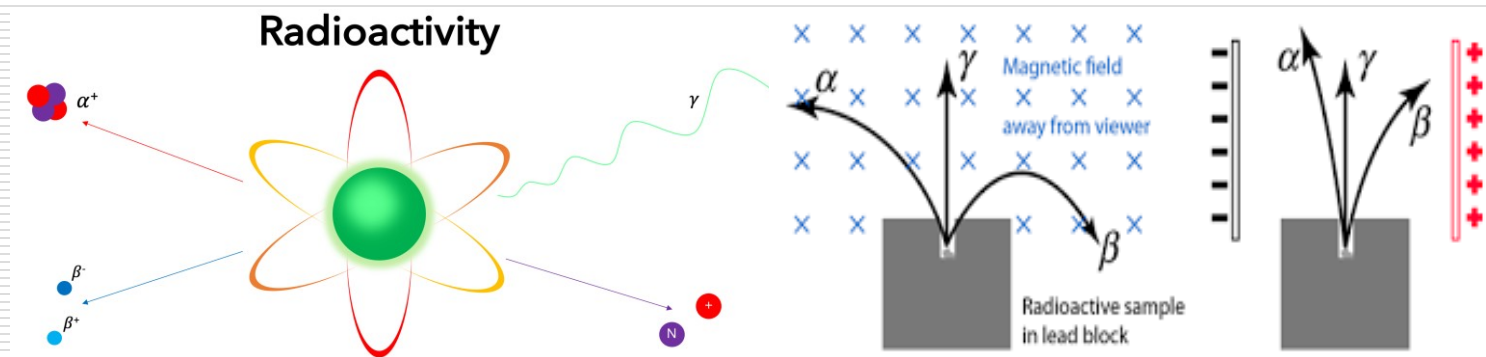
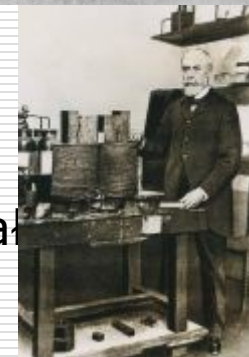
$$\lambda_{g2} = 0,8\lambda_{g1}$$

Długość fali zmniejszyła się o 20%

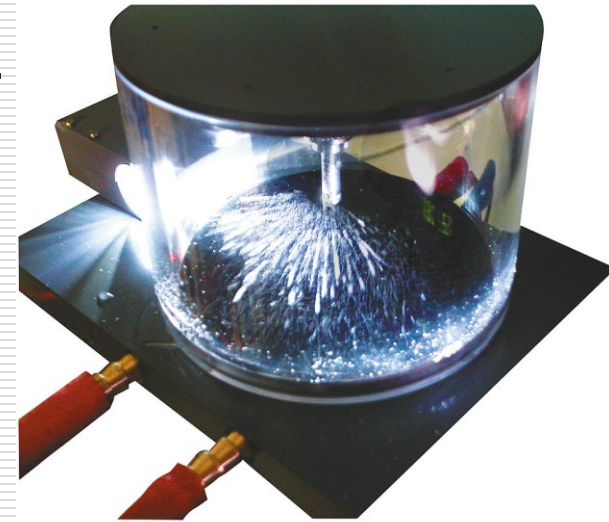
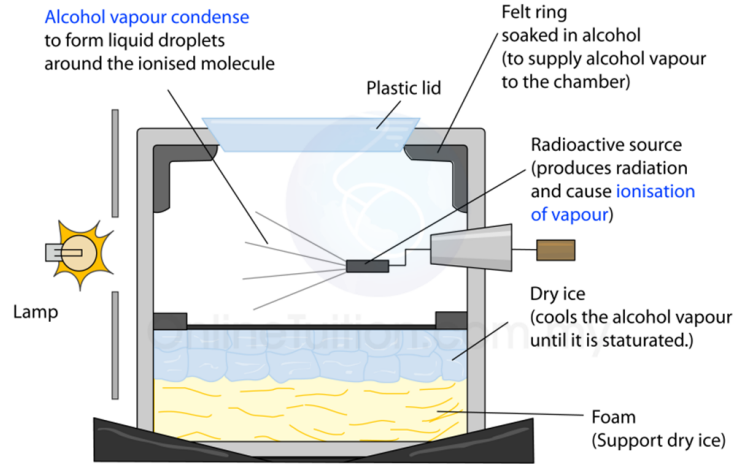
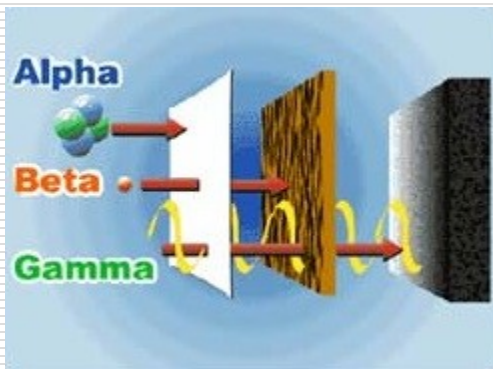
Promieniotwórczość



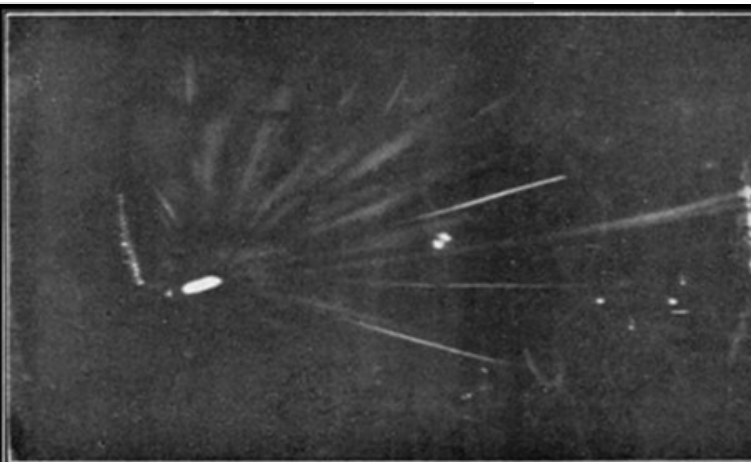
- W 1896r. Henry Becquerel badając silnie fosforyzujące sole uranowe, zaobserwował – że mimo braku naświetlenia zaczerniły klisze fotograficzne.
- To zjawisko „promieni uranowych” Maria Skłodowska nazwała **promieniotwórczością**. Wraz z późniejszym mężem Piotrem Curie rozpoczęła badania różnych ciał promieniotwórczych odkrywając nowe pierwiastki jak polon czy rad. (Nobel wspólnie z Becquerelem w 1903r).
- W tym okresie promieniotwórczością zajął się Ernest Rutherford, który stwierdził istnienie dwóch składowych promieniowania, obdarzonych ładunkiem: α^+ i β^- .



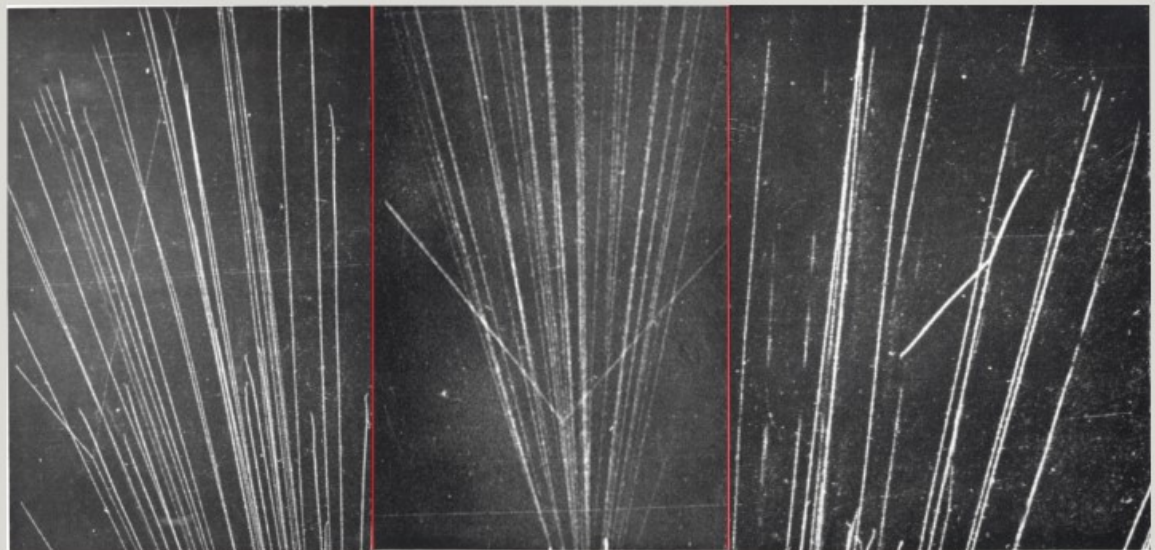
Detekcja: komora pęcherzykowa Wilsona. Pierwsze zdjęcia α - 1911r.



CONATEX.pl



First picture of Alpha tracks of radium (1911)



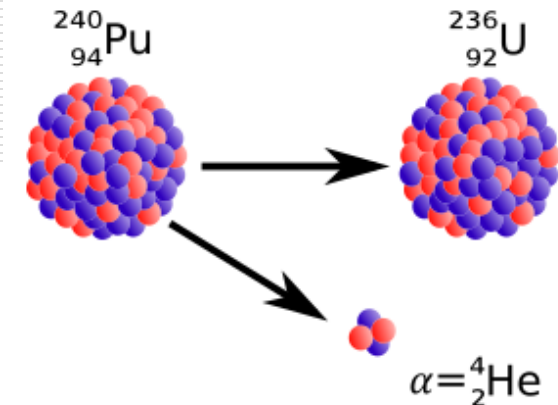
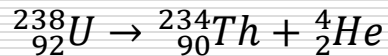
A gauche : Diffusion de particule alpha dans l'hydrogène. La longue trajectoire fine partant vers la droite est le proton.

Au milieu : Diffusion de particules alpha dans du gaz Hélium

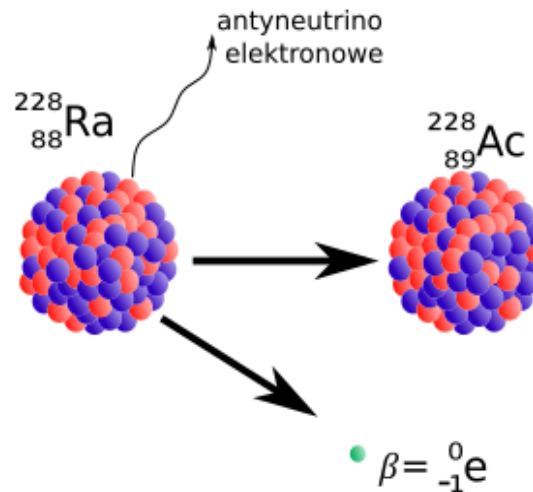
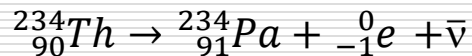
A droite : Diffusion de particules alpha dans l'azote gazeux

Rozpady promieniotwórcze

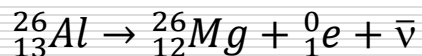
- Rozpad α (np. pluton \rightarrow uran, lub uran \rightarrow tor)



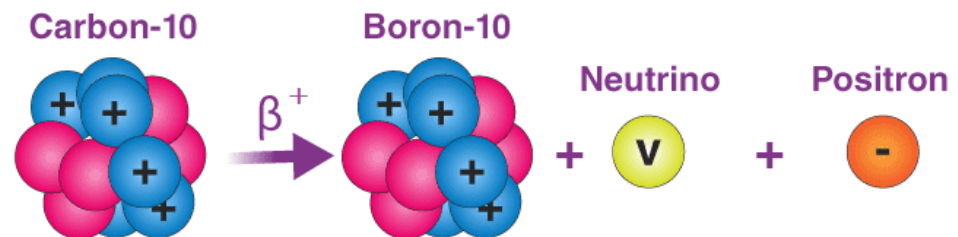
- Rozpad β^- (rad \rightarrow aktyn lub tor \rightarrow proaktyn)



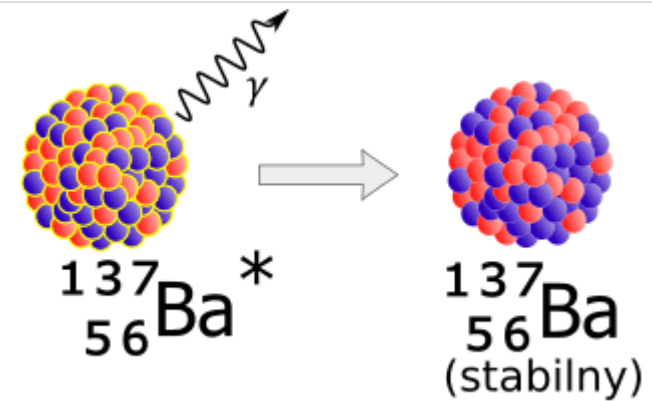
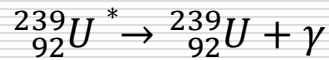
- Rozpad β^+ (węgiel \rightarrow bor lub izotop glinu \rightarrow magnez)



pozyton
antycząstka
elektronu



- Rozpad γ (np. izotop baru \rightarrow bar stabilny, lub izotop uranu \rightarrow stabilny uran)



- Prawo rozpadu

W chwili t jest N jąder w materiale. Po czasie dt

ulegnie rozpadowi dN jąder: $dN = -\lambda N dt$ gdzie λ to stała rozpadu.

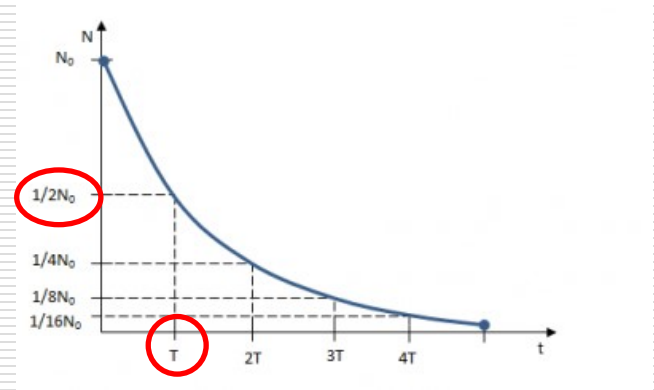
Zatem po czasie t z początkowej liczby $N(0)$ pozostanie $N(t)$ jąder:

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t} \quad \text{jeżeli średni czas życia jąder to } \tau = \frac{1}{\lambda} \quad \text{to } N = N_0 e^{-t/\tau}$$

Szybkość rozpadu określa też *czas połowicznego rozpadu* T tzn. czas po

którym $N(T) = 1/2 N_0$ $T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$

- Zastosowanie: datowanie radiowęglowe: T dla ${}^{14}\text{C}$ to 5730 lat z niepewnością 5%

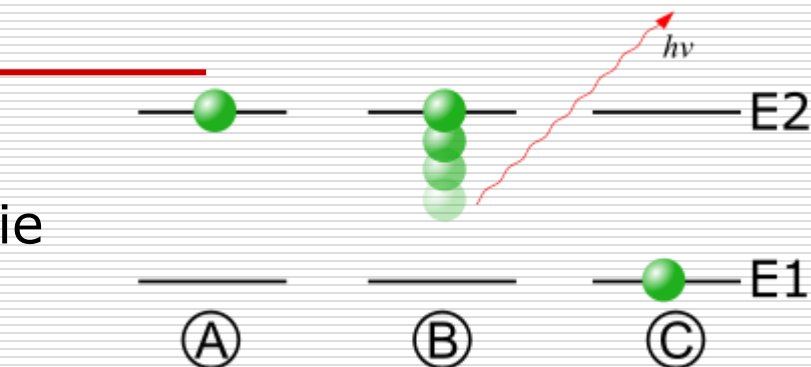


Emisję promieniowania ze źródeł naturalnych oraz większości sztucznych można określić jako przypadkową - spontaniczną, której ani momentu ani efektu nie da się przewidzieć.

Celem badań było uzyskanie promieniowania, które byłoby monochromatyczne, zgodne w fazie (spójne) a wiązka promieniowania byłaby mało rozbieżna. Korzystna byłaby również duża gęstość energii.

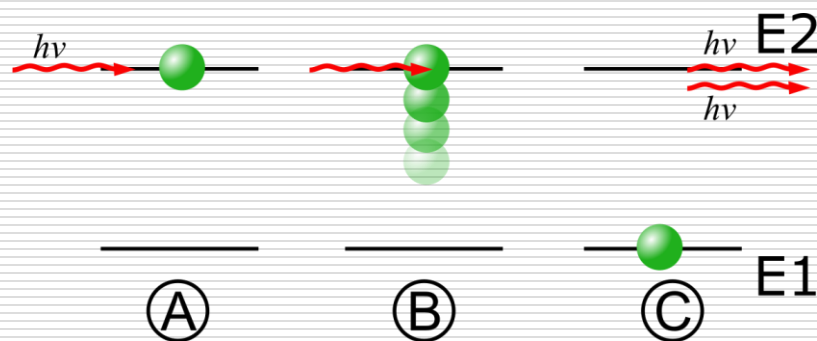
- Emisja spontaniczna

efekt oraz moment emisji nie jest w pełni przewidywalny



- Emisja wymuszona

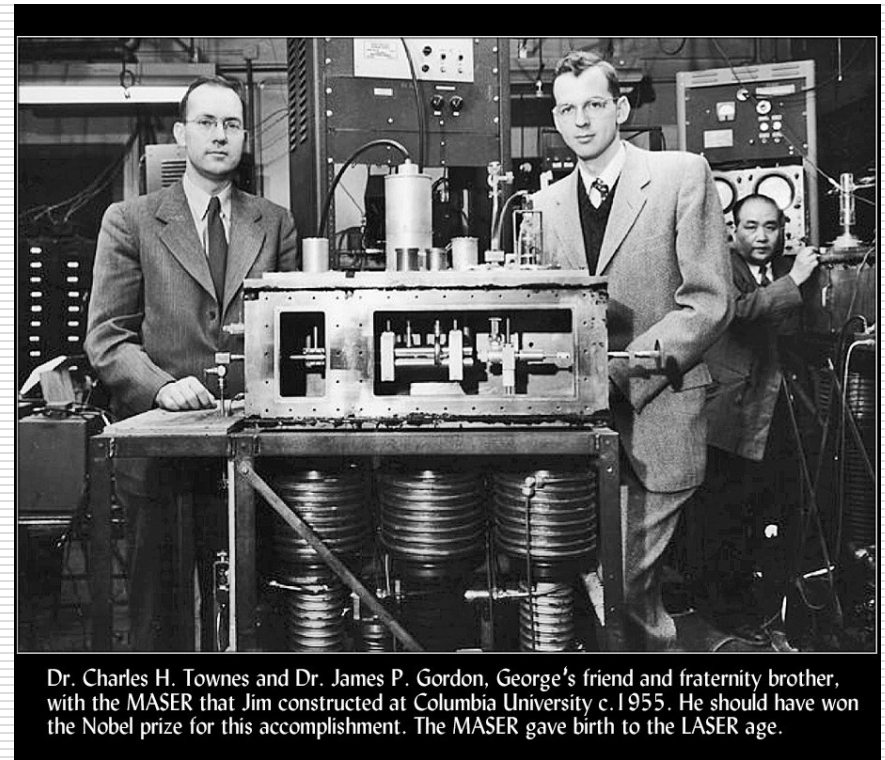
energia fotonu inicjującego musi być równa energii wzbudzenia atomu i foton nie jest pochłaniany



...*Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

Kwantowe wzmacniacze promieniowania elektromagnetycznego przy pomocy wymuszonej emisji promieniowania:

- mikrofalowego – MASERY
- światła - LASERY



Dr. Charles H. Townes and Dr. James P. Gordon, George's friend and fraternity brother, with the MASER that Jim constructed at Columbia University c. 1955. He should have won the Nobel prize for this accomplishment. The MASER gave birth to the LASER age.

Foton emitowany przez atom ma częstotliwość (energję), fazę i polaryzację taką samą jak foton wywołujący emisję.

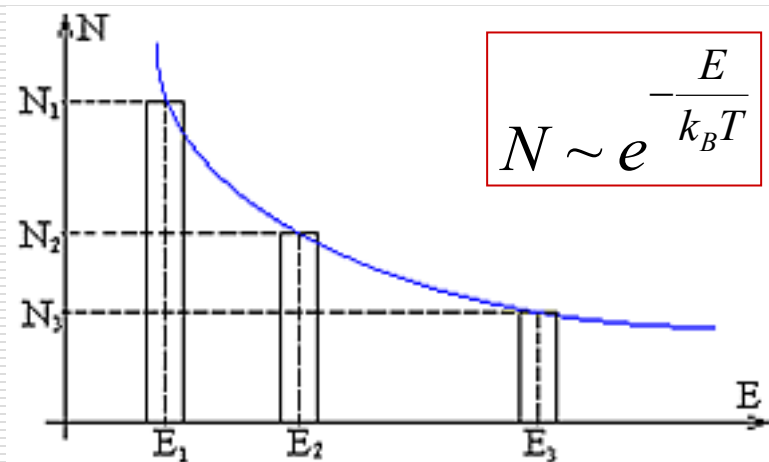
prawdopodobieństwo
absorpcji fotonu
przez atom w stanie
podstawowym

=

prawdopodobieństwu
emisji wymuszonej
atomu wzbudzonego

⇓

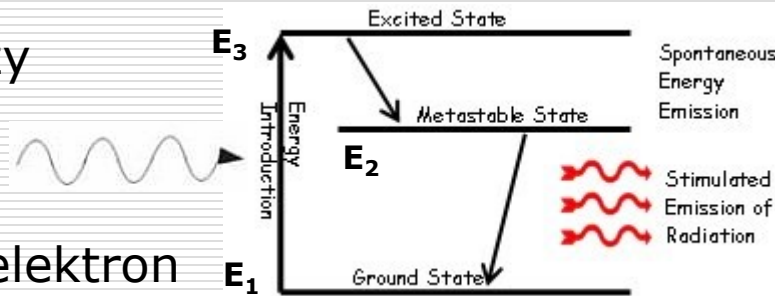
o wielkości emisji/pochłaniania ośrodka decyduje różnica liczby atomów w stanie wzbudzonym i podstawowym.



Rozkład obsadzenia poziomów energetycznych układu w stanie niewzbudzonym – najliczniej obsadzone są stany o najniższej wartości energii (zgodnie z *rozkładem Boltzmana*)

Aby sprowokować emisję kwantu musi wystąpić *inwersja obsadzeń* – więcej jest elektronów wzbudzonych niż w stanie podstawowym.

Do układu należy dostarczyć energii:



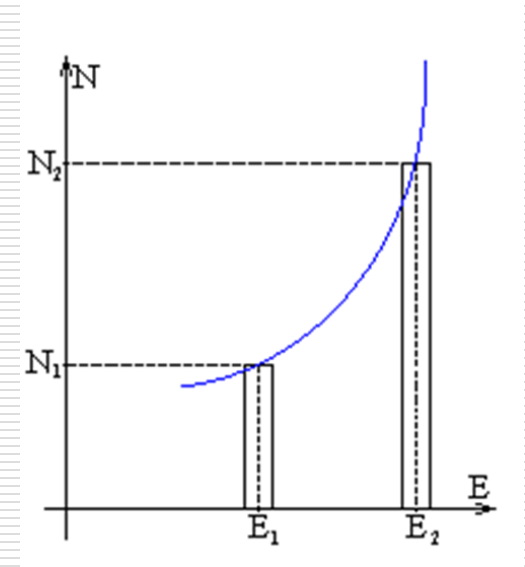
foton wzbudza elektron

ze stanu E_1 na najwyższy stan

energetyczny E_3 , który jest poziomem o krótkim czasie życia. Elektron przechodzi więc na poziom E_2 na którym elektrony pozostają nieco dłużej

(nawet kilka milisekund). Jest to tak zwany poziom metastabilny. Czas życia poziomu metastabilnego musi być wystarczająco długi, aby zaszło zjawisko inwersji obsadzeń.

Następnie elektrony wracają na stan podstawowy, emitując foton o energii równej różnicy między poziomem E_2 a E_1 . Foton uderzając w elektron znajdujący się na stanie metastabilnym, zainicjuje "lawinową" emisję wymuszoną.



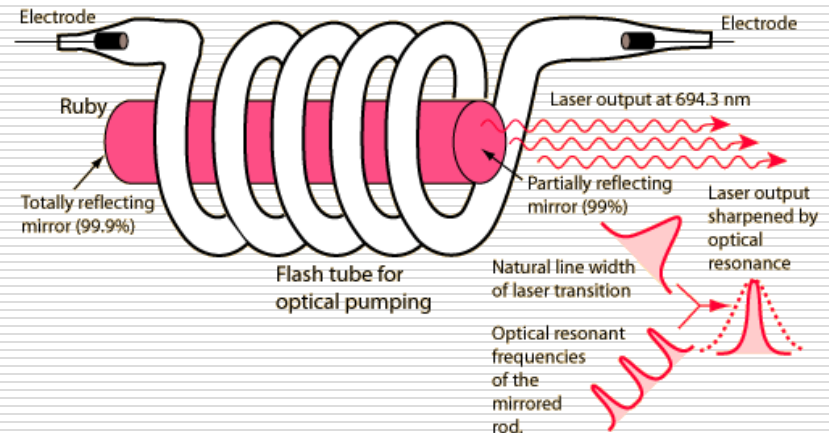
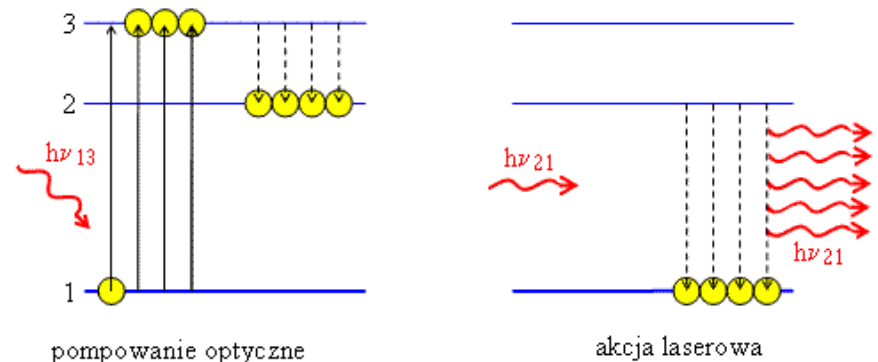
Jak spowodować inwersję obsadzeń ?

Inwersje obsadzeń pozyskują się na skutek dostarczenia energii do ośrodka czynnego, czyli tak zwanego *pompowania*.

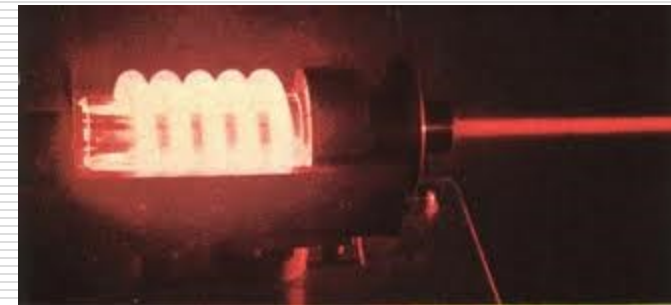
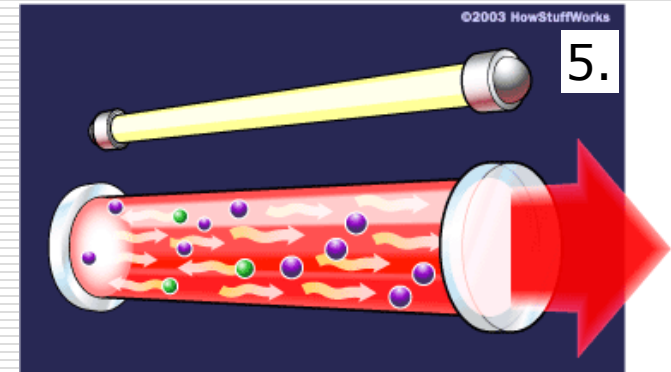
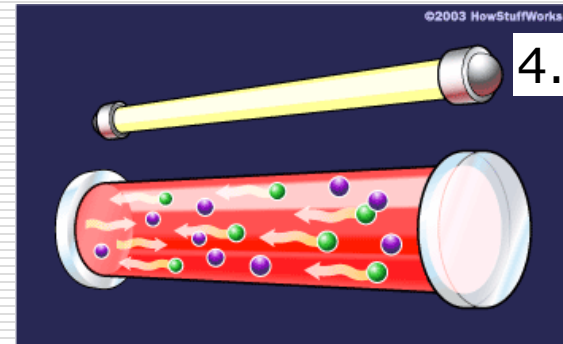
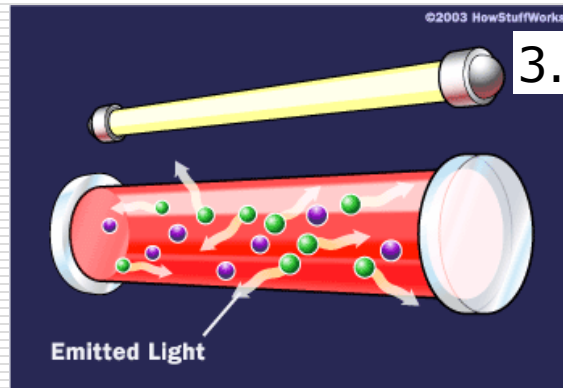
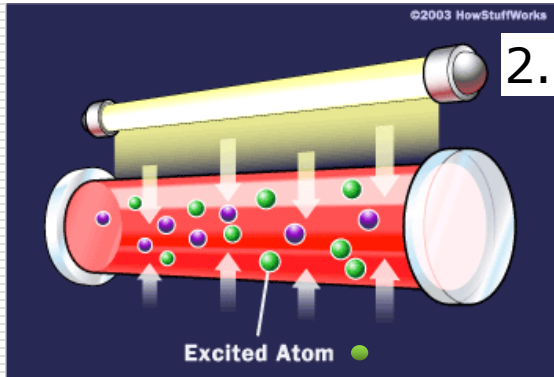
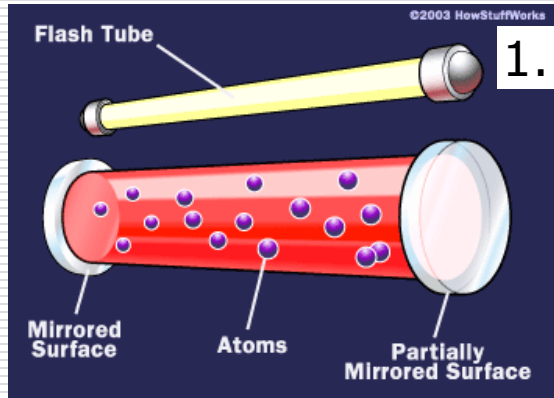
Na skutek pompowania atomy ośrodka czynnego przechodzą w stan wzbudzony, a następnie w stan metatrwały

Pompowanie poprzez:

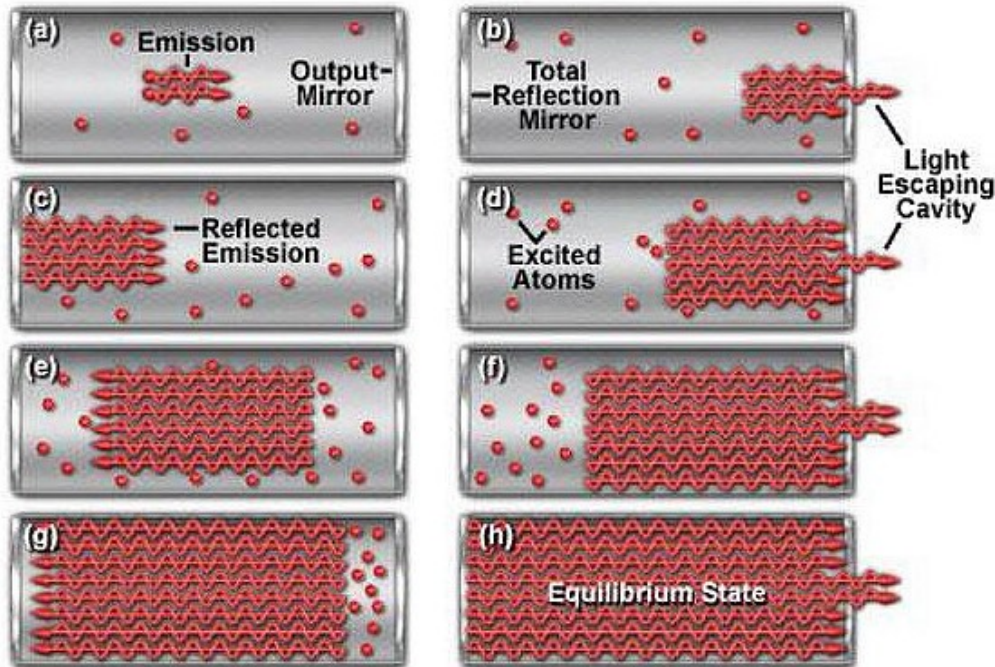
- błysk lampy błyskowej,
- błysk innego lasera,
- przepływ prądu przez substancję czynną,
- reakcję chemiczną,
- zderzenia atomów,



Praktyczna realizacja pompowania optycznego i emisji wymuszonej



Stimulated Emission in a Mirrored Laser Cavity



Układ luster to:
rezonator optyczny,
w którym światło ma
długość:

$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

W zależności od długości otrzymanego promieniowania rozróżniamy:
MASER - *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*
oraz
LASER - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

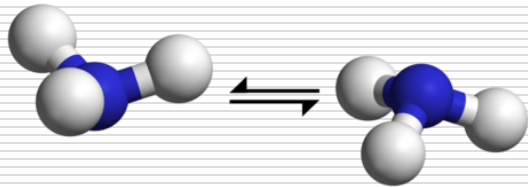
MASER

(*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation* or:
Means of Acquiring Support for Expensive Research) 😊

MASER został wynaleziony w 1951 roku przez Charlsa Townes'a. Substancją czynną w tym maserze był amoniak. Maser ten emitował mikrofałe o długości fali 1,26 mm.

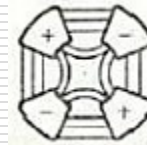
Działanie masera jest analogiczne do działania wynalezionego później lasera.

W maserze gazowym gaz podgrzewany jest do wysokiej temperatury. Cząsteczki w procesie wzbudzenia uzyskują różne wartości energii.



Przejście ze stanu wzbudzonego do podstawowego – emisja promieniowania o $f = 23,87$ GHz

Konieczne jest odseparowanie cząstek wzbudzonych od tych w stanie podstawowym. Robi się to przy pomocy 4 elektrod, które są źródłem silnego pola elektrostatycznego.



W tym polu cząsteczki w stanie podstawowym są odchylane (rozpraszane), a te wzbudzone przemieszczają się w kierunku rezonatora. Dopiero tam ma miejsce wymuszona emisja promieniowania.

Przez rezonator przepuszczane jest promieniowanie mikrofalowe o częstotliwości 24 GHz zwiększając inwersję obsadzeń i inicjując proces emisji samopodtrzymującego się promieniowania mikrofalowego.

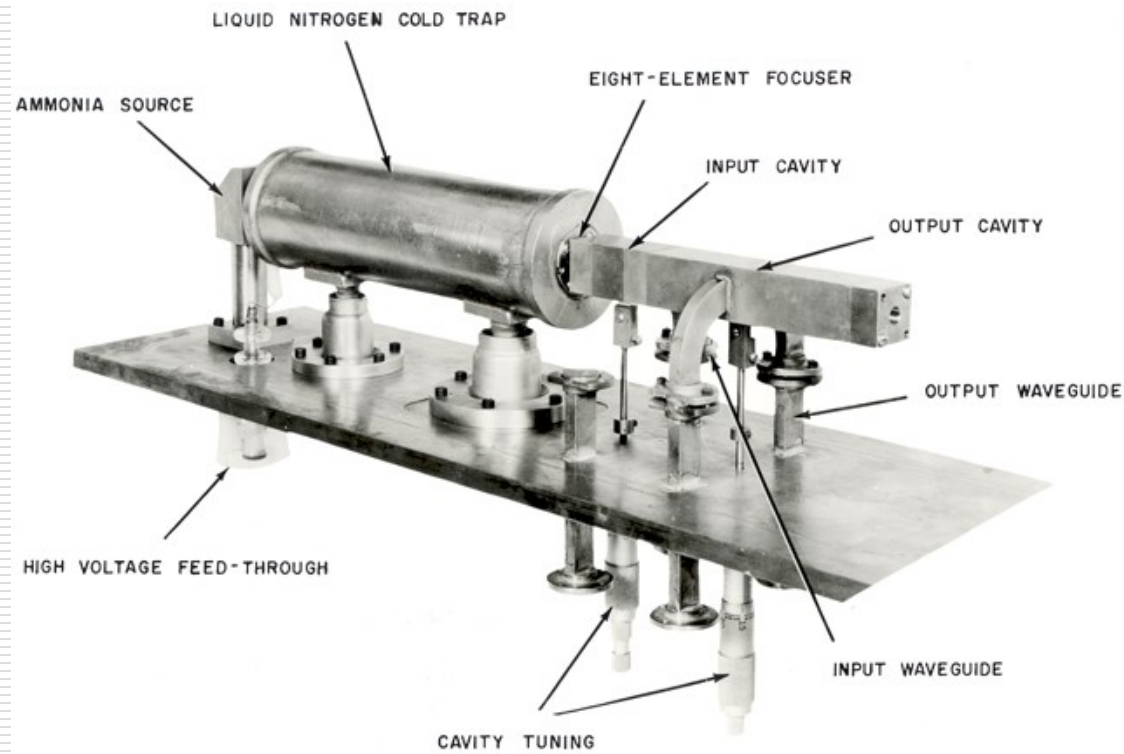
Wady masera:

- wąskie pasmo przenoszenia
- praktycznie brak przestrajania
- mała moc – do 10^{-9} W

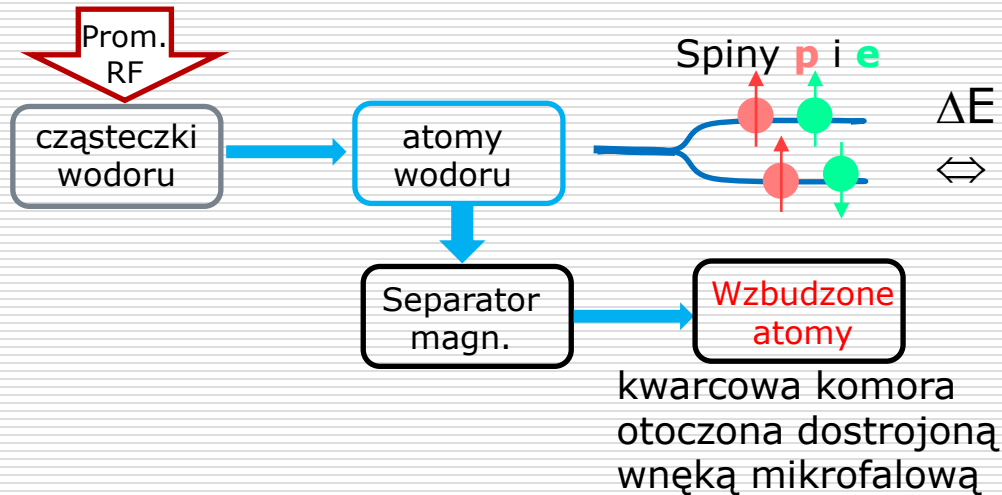
ale:

potwierdził słuszność idei
wzmacniacza kwantowego

A.Einsteina



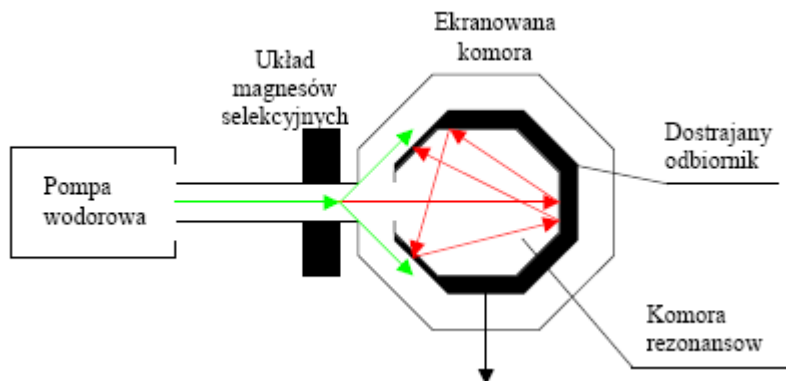
MASER wodorowy

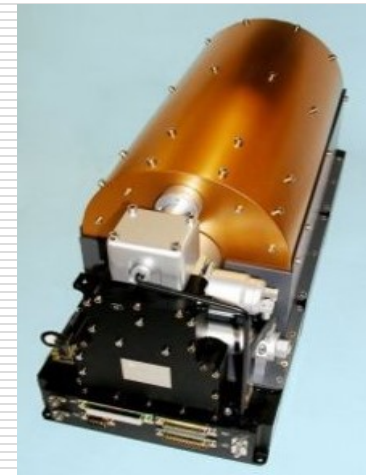
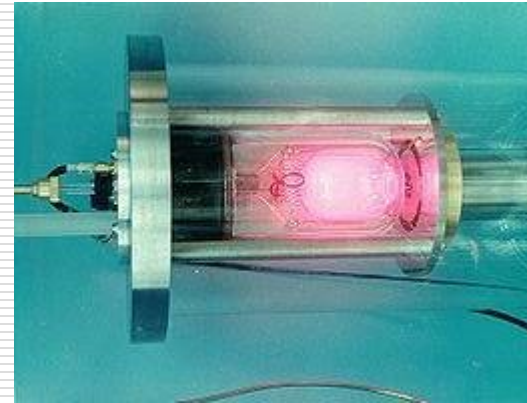
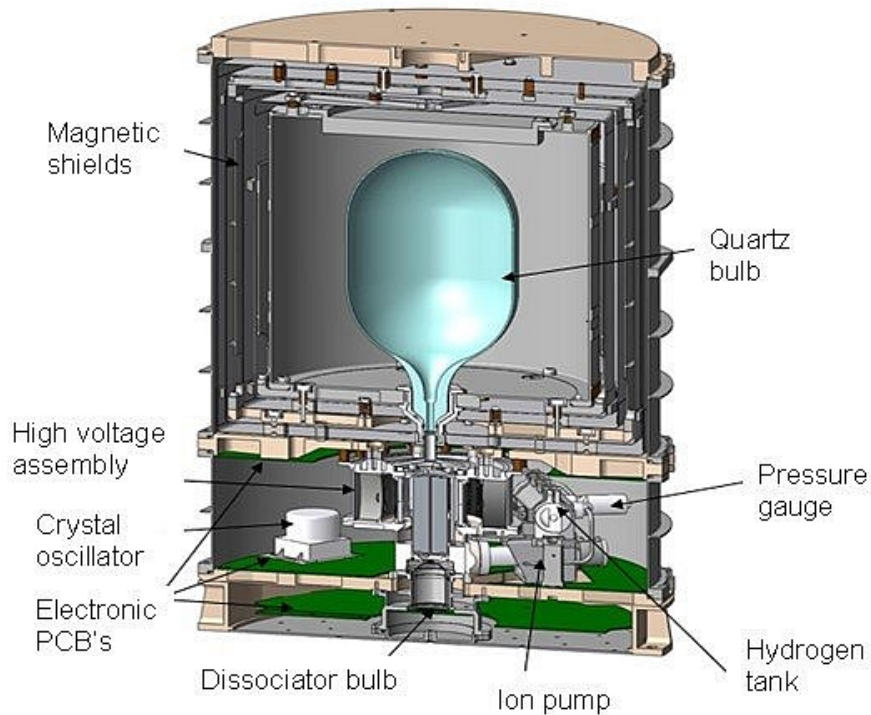


$$\Delta E = 10^{-5} \text{ eV} \quad \tau \approx 1 \text{ s}$$
$$\Leftrightarrow f = 1,42 \text{ GHz}$$

Po wprowadzeniu wzbudzonych atomów do komory zaczyna się emisja spontaniczna pobudzająca pozostałe atomy H_2 do emisji wymuszonej.

Promieniowanie mikrofalowe rezonujące we wnęce jest wzmacniane i wywołuje wtórne emisje mikrofal. Dostrajalny odbiornik odbija fotony podtrzymując emisję wymuszoną i rezonans wewnątrz komory.





zegar atomowy
z satelity *Galileo*

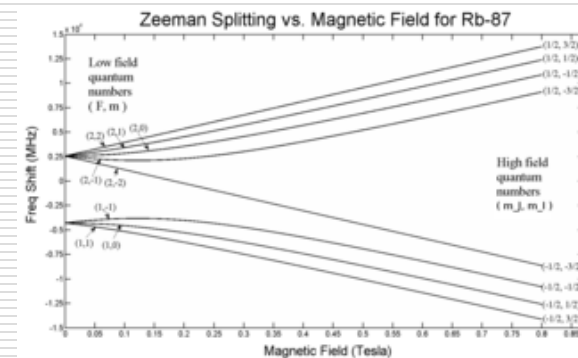
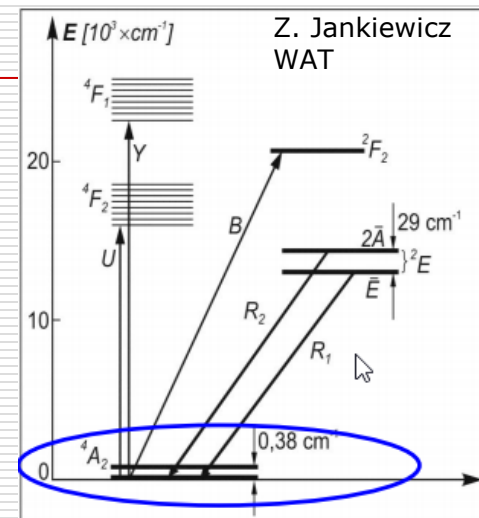
Masery wodorowe pracują bardzo stabilnie \Rightarrow zastosowanie w zegarach atomowych, interferometrii w radioastronomii. Dokładność rzędu 10 ns/dzień. Masery wodorowe mogą być pasywne – wnęka mikrofalowa ma zewnętrzne zasilanie (tańsza wersja) lub masery aktywne – wnęka sama oscyluje (wymagana większa gęstość atomów wodoru).

MASER krystaliczny

W maserach krystalicznych wykorzystuje się paramagnetyzm kryształów takich jak np. rubin (korund $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$) czy korund żelazowy. Wzbudzenia atomów ośrodka jest możliwe dzięki ochłodzeniu kryształu do temperatury ciekłego helu. Następuje wtedy separacja paramagnetycznych atomów od drgań sieci.

Dla promieniowania mikrofalowego wykorzystuje się dwa poziomy odpowiadające $f = 11,47$ GHz. Aby uzyskać inwersję obsadzeń – uzyskać dalsze poziomy energetyczne (rozszczenie Zeemana) niezbędne jest silne pole magnetyczne.

Zmiana pola powoduje zmianę poziomów rubinu czyli zmianę częstotliwości uzyskanego promieniowania: od ok. $1 \div 6$ GHz.



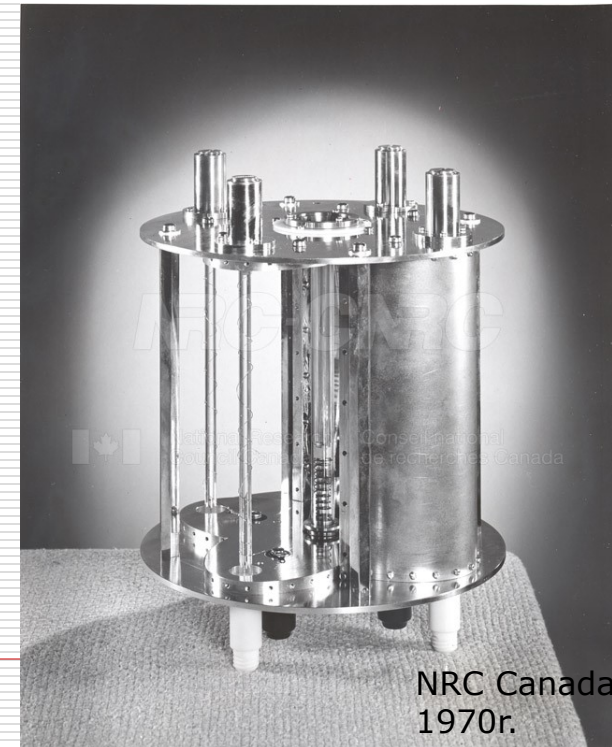
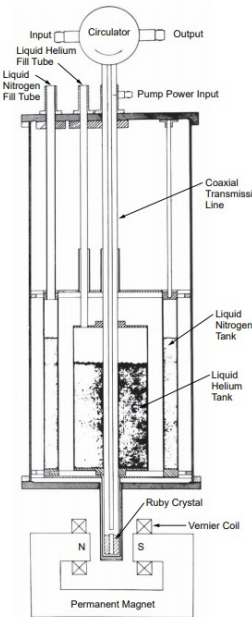
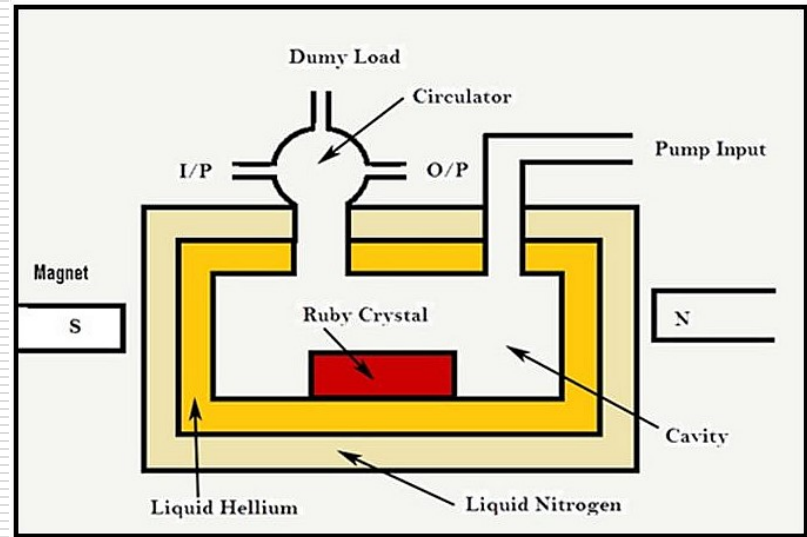
Wadą jest konieczność utrzymywania bardzo niskich temperatur (4,2 K) oraz silnych pól magnetycznych.

Pompowanie przy użyciu promieniowania mikrofalowego powoduje inwersję obsadzeń, ale aby ta inwersja była naprawdę duża konieczne jest pompowanie z większą częstotliwością – pompowanie optyczne – możliwe dopiero po skonstruowaniu lasera.

Cel badań:

- wyższe temperatury pracy,
- większa wartość inwersji obsadzeń
- większa sprawność masera

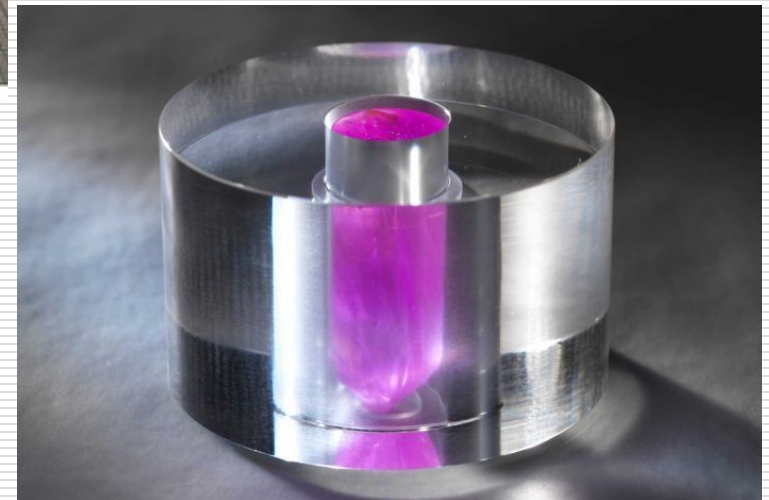
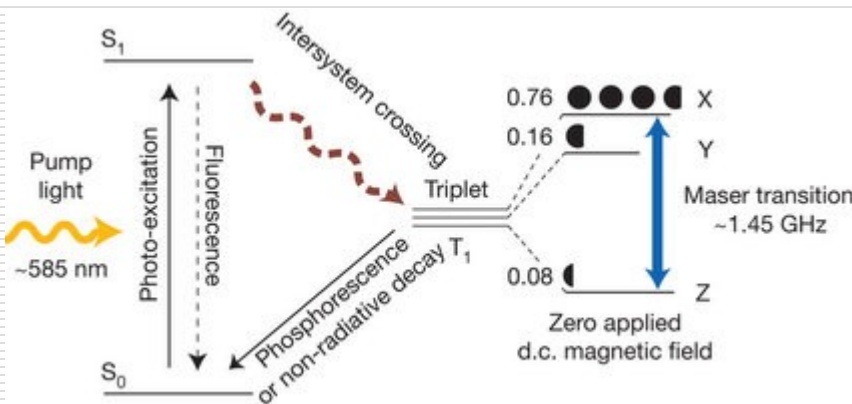
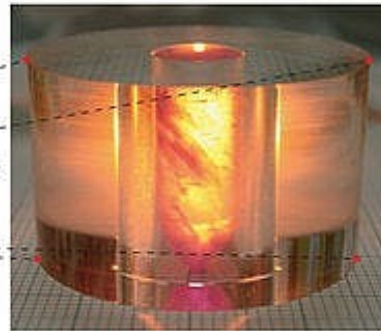
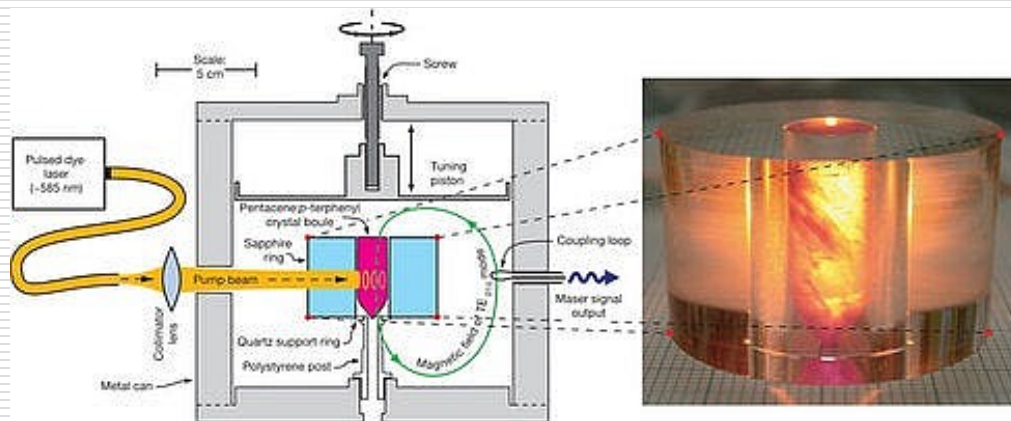
RC.Clauss, J.S.Shell
„Ruby masers”
DESCANSO-NASA



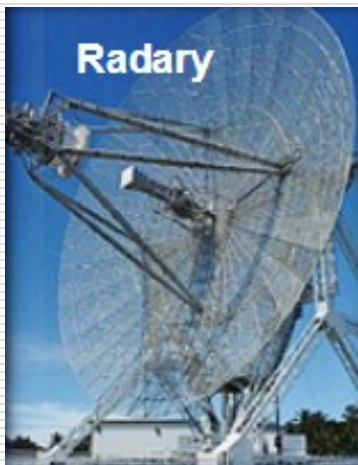
NRC Canada
1970r.

W 2012 r. NPL - National Physical Laboratory w Wielkiej Brytanii zastąpiło rubin kryształem p-terfenylu wzbogaconym pentacenenem. W temperaturze pokojowej ma on takie same pożądane w maserze właściwości co rubin w temperaturze bliskiej zeru absolutnemu. Nie wymaga też silnych pól magnetycznych.

Nowy maser pracuje impulsowo, w wąskim zakresie częstotliwości.



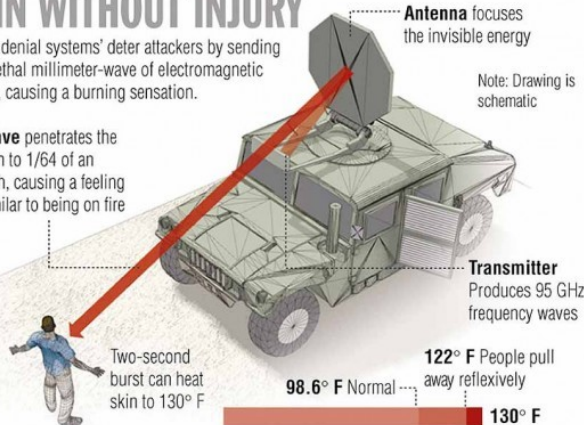
Zastosowanie maserów



PAIN WITHOUT INJURY

'Active denial systems' deter attackers by sending a nonlethal millimeter-wave of electromagnetic energy, causing a burning sensation.

Wave penetrates the skin to 1/64 of an inch, causing a feeling similar to being on fire



Source: GlobalSecurity.org

AP

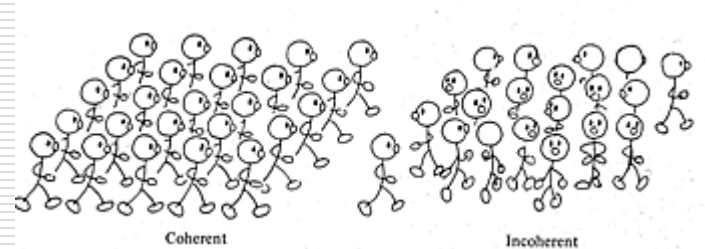


Historia maserów i laserów

- 1917 – Einstein objaśnia emisję wymuszoną
- 1953 – Townes (1964 – nagroda Nobla), 1954 – Basow, Prochorow – pierwszy wzmacniacz kwantowy – maser amoniakalny
- 1960 – Maiman, laser rubinowy
- 1961 – Javan laser He-Ne
- 1962 – IBM - laser półprzewodnikowy na GaAs
- 1963 – pierwszy polski laser gazowy He-Ne (WAT)
- 1966 – Nobel dla A. Kastlera za teorię pompowania optycznego
- 1970 – laser półprzewodnikowy w obszarze widzialnym (Alferovi i Kroemer – Nobel 2000)
- 2012 – Oxborrow - maser krystaliczny pracujący w temperaturze pokojowej

Właściwości promieniowania laserowego

- jest monochromatyczne;
- ma bardzo małą szerokość linii emisyjnej;
- ma bardzo małą rozbieżność wiązki;
- jest spójne w czasie i przestrzeni;
- ma dużą moc w wybranym obszarze widma;



Przykładowo:

Typowy laser *He-Ne* ma moc około $5mW$, ale po skupieniu na powierzchni $10\mu m^2$ gęstość mocy wynosi $5 \times 10^2 MW/m^2$.

Laser o mocy $100W$, po skupieniu - $10TW/m^2$ (10^{23} fotonów/ cm^3)

□ Szerokość widmowa – zależy od długości życia stanów wzbudzonych, oddziaływań i odległości międzyatomowych

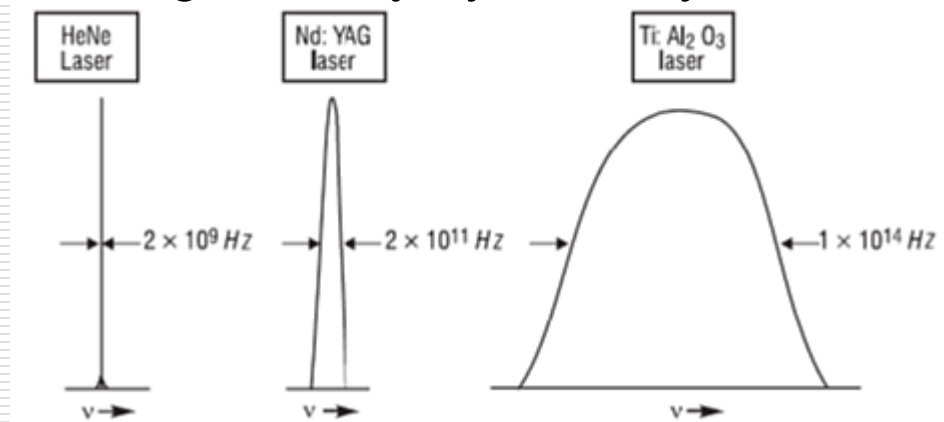
□ Wzrost wiązki i nasycenie

• W ciągu jednego przejścia przez ośrodek wiązka jest wzmacniana 0,02 – 10 razy w zależności od lasera, jest to za mało na produkcję

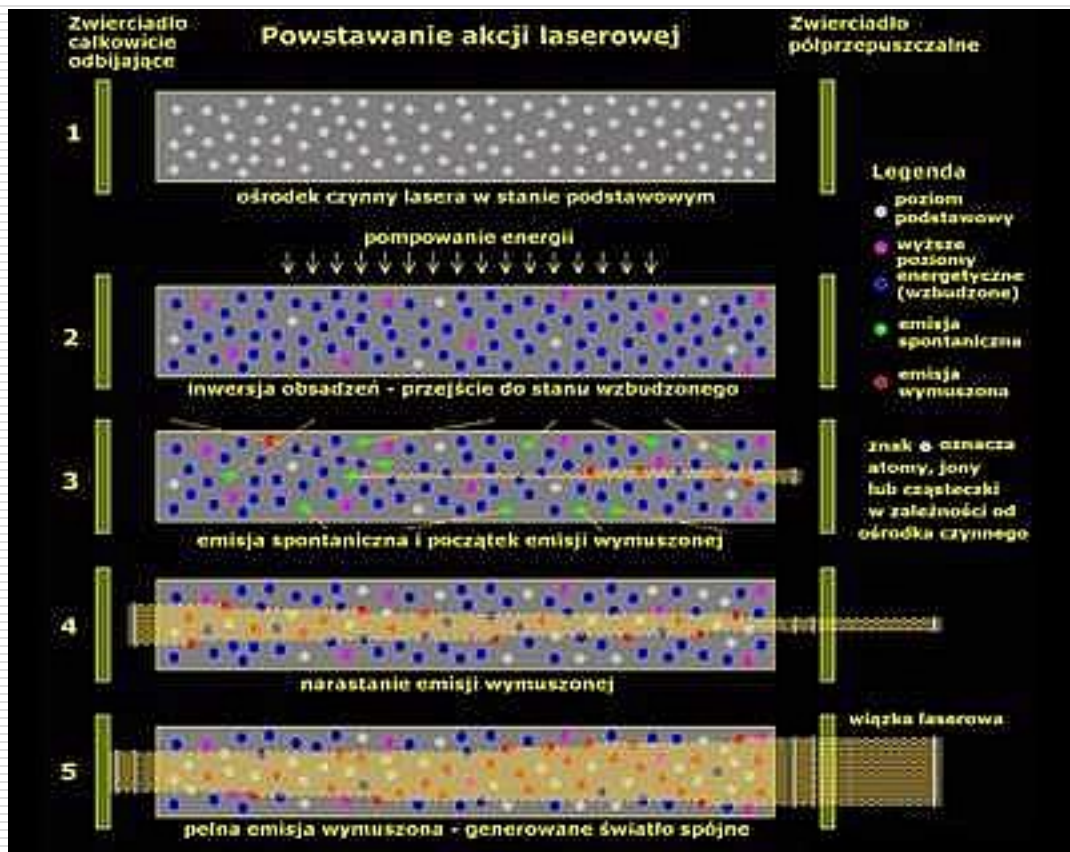
wiązki laserowej o odpowiedniej mocy – przejść musi być wiele aż do nasycenia

• Wiązka przechodzi od 2 razy (lasery barwnikowe) do 500 razy (lasery HeNe)

• Nasycenie pojawia się gdy wiązka wzrośnie ok. e^{12} razy.



Akcja laserowa



- Aby emisja światła była stabilna, między zwierciadłami musi wytworzyć się fala stojąca
- Oznacza to, że między zwierciadłami mieści się całkowita liczba połówek fali
- W jednej wnęce mogą być fale o różnych częstotliwościach - mody

Widmo spektralne lasera wielomodowego



Klasyfikacja laserów

Ośrodek czynny:

- gazowe:

- atomowe (np. Ar, N, He-Ne)
- molekularne (np. CO₂, CO)

- cieczowe (barwnikowe – barwniki organiczne w cieczy)

- na ciele stałym:

- krystaliczne (np. rubinowy)
- dielektryczne (np. neodym w granacie itrowo-aluminiowym (Nd:YAG) lub w szkle Nd:glass)

- półprzewodnikowe:

- na materiale objętościowym (np. *quantum cascade laser* - QCL - stop AlGaAs/GaAs)
- złączowe (np. diody laserowe, lasery na kropkach kwantowych, studniach kwantowych)

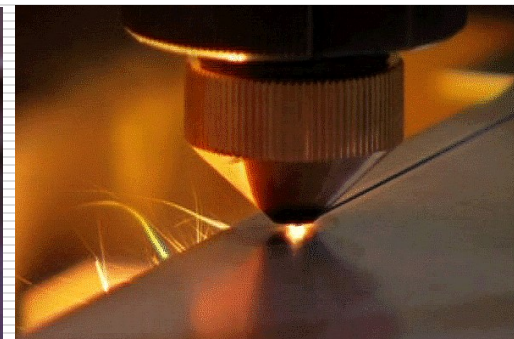
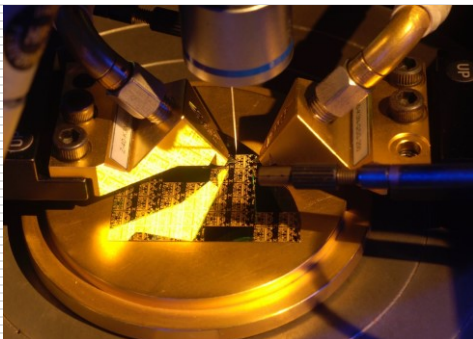
Sposób emisji:

- ciągły (P: μW -kW)
- impulsowe:
 - pojedyncze impulsy (t: ps-ms; P: kW-TW)
 - ciągi impulsów (f: Hz-MHz)



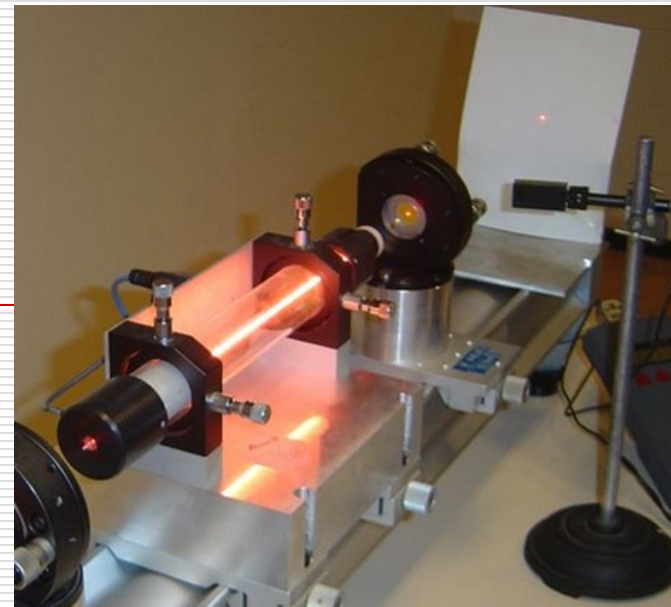
Przykładowe zastosowania:

- do produkcji układów scalonych – gazowe (UV: 150-350nm)
- dermatologia – rubinowy, Nd:YAG (690-2900 nm)
- wskaźniki, drukarki (diody małej mocy)
- przemysłowe (cięcie, spawanie – diody o mocy do 10 kW)
- wojskowe

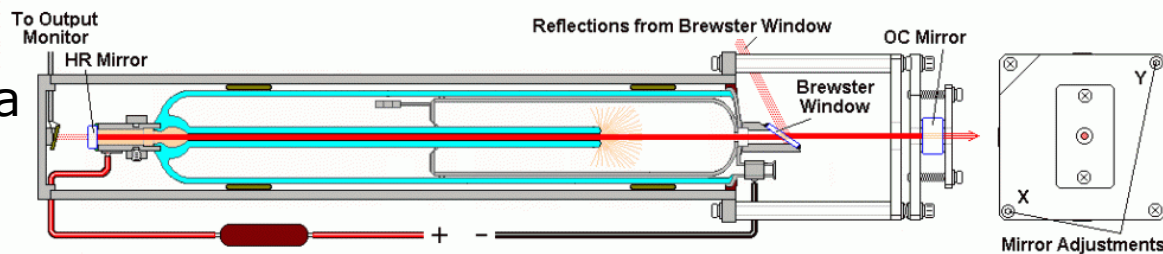


Laser gazowy He-Ne

1960 Javan, Bennet i Herriot z Bell Labs
uzyskali ciągłą akcję laserową dla $\lambda = 1150 \text{ nm}$
a w 1962 dla fali $\lambda = 632,8 \text{ nm}$

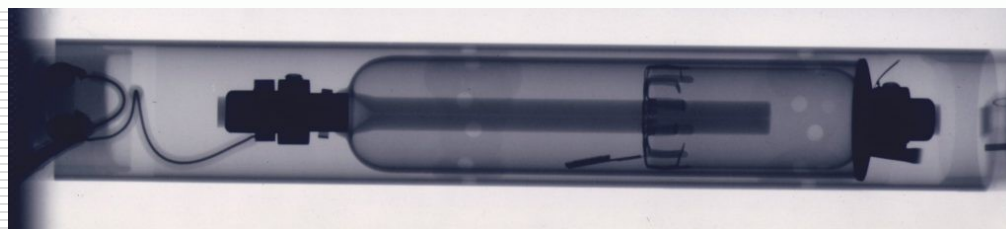


Atomów He jest dużo
więcej niż Ne ($p_{\text{He}} \approx 130 \text{ Pa}$
 $p_{\text{Ne}} \approx 13 \text{ Pa}$) \Rightarrow prąd
wzbudza (pompuje)
atomy He.

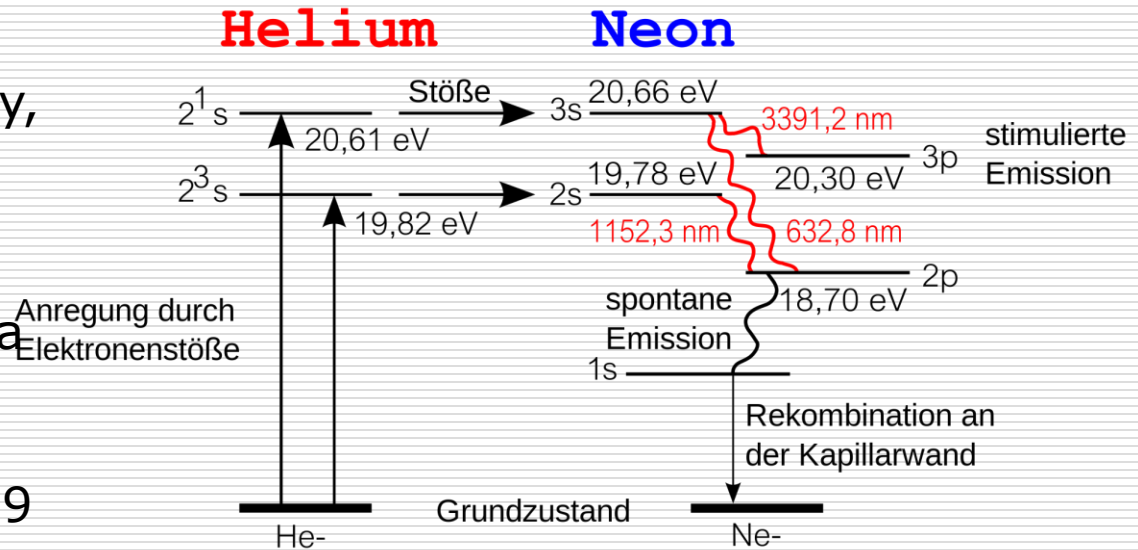


HeNe Laser Tube with Internal HR and Brewster Window with External OC

Zderzenia niesprężyste
 $\text{He} \leftrightarrow \text{Ne}$ powodują
wzbudzenie atomów Ne



Zmiana ciśnienia gazów tworzących ośrodek aktywny, odległości zwierciadeł rezonatora, prądu wyładowania lub średnicy rury wyładowczej, umożliwia generację światła na blisko 30 liniach spektralnych w zakresie długości fali od 0.59 μm do 3.39 μm .



Sprawność lasera He-Ne jest rzędu 0.01-0.1%, moc optyczna w zakresie 0.5–50 mW (konieczna długa rura wyładowcza) średnica wiązki to 0.5–2 mm, a jej rozbieżność wynosi 0.5–2 mrad. Stabilność poziomu mocy optycznej jest rzędu 5%/h, zaś trwałość laserów He-Ne dochodzi do 20 000 godzin.

Lasery kryptonowe i ksenonowe – zakres UV, argonowy od 457,9 nm do 514,5 nm stosowane np. do pompowania laserów barwnikowych.

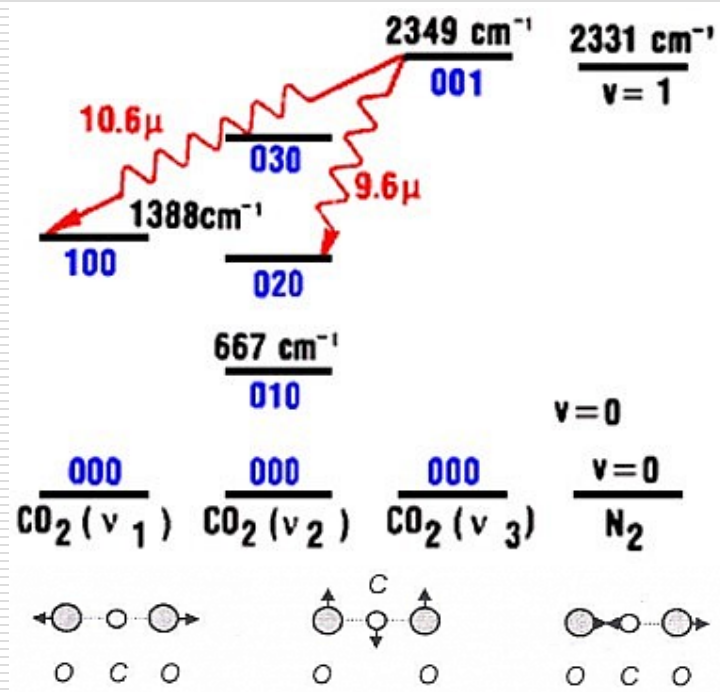
Laser molekularny (CO₂)

Ośrodek czynny: mieszanina CO₂ (10-20%), N₂ (10-20%), H₂, Xe – kilka %
- ciągły przepływ przez rurę rezonatora, bo ok. 30% CO₂ pod wpływem pobudzenia dysocjuje na CO i O₂.

W wyniku pompowania optycznego wzbudzone są atomy N₂, które nie emitują fotonów tylko przekazują energię cząsteczkom CO₂ wykonującym różne mody drgań.

Sposoby wzbudzenia:
podłużne – pole elektryczne wzdłuż osi rury lasera – działanie ciągłe, moc kilka W do kilku kW.

poprzeczne (lasery TEA) – pole prostopadłe do osi rezonatora – działanie impulsowe rzędu μ s, moc kW do kilkuset MW.



Laser CO₂ pracuje w zakresie podczerwieni (9-12 μm). Zastosowanie lasera CO₂:

- chirurgia, dermatologia,
- cięcie i spawanie blach i nie tylko,
- zastosowania militarne – dalmierze – Lidar
 - „Space Wars” – platformy z działem laserowym:

1985-87 ZSRR (Polyus) laser megawatowy na niskiej (280 km) orbicie, 2010-2012 *Airborne Laser Testbed* (laser 3 MW, zasięg 700 km).



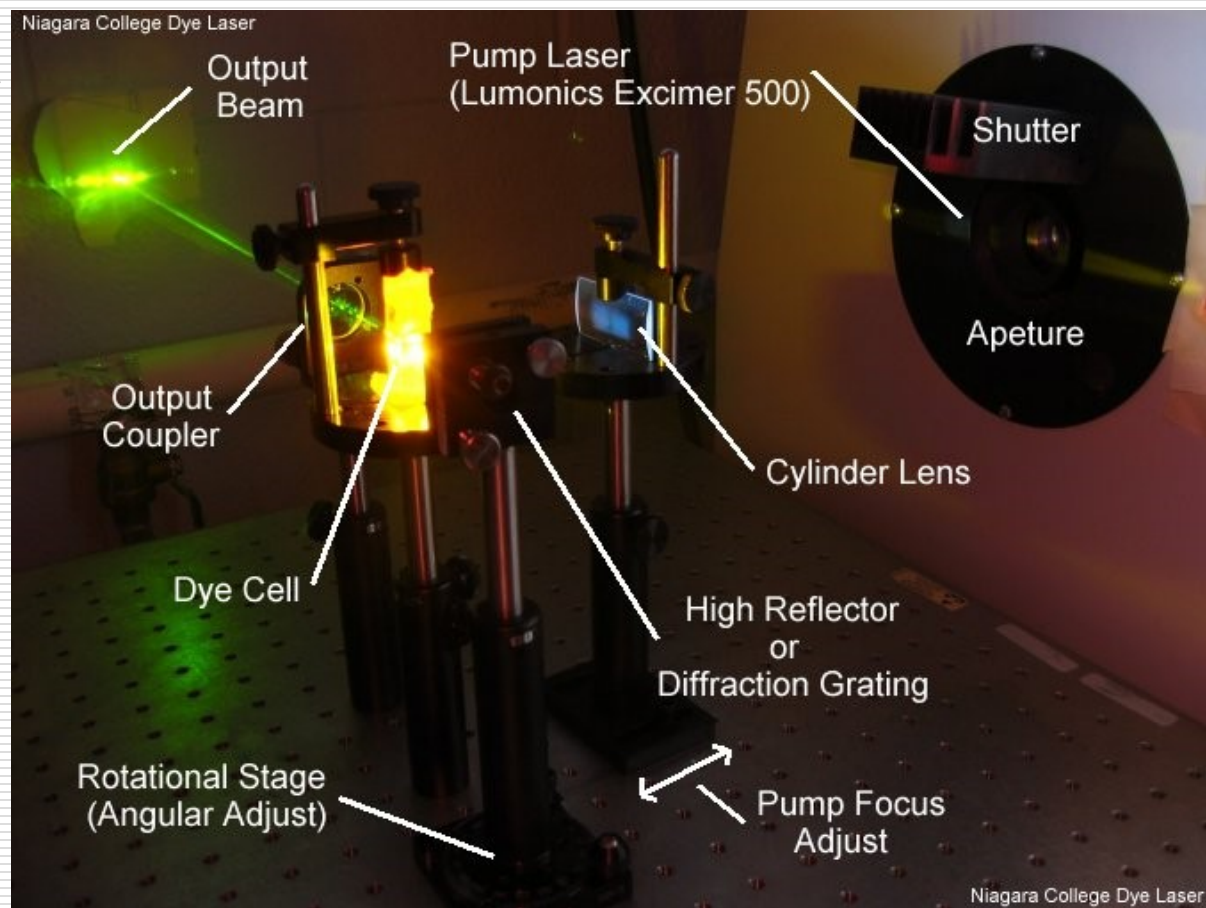
Model	1309CM	1610CM
Marka	Weni Solution	
Moc tuby laserowej	RECI W6 130-160W, RECI W8 160-190W	
Pole robocze	1300 x 900mm	1600 x 1000mm
Zakres osi X	1300mm	1600mm
Zakres osi Y	820mm	920mm
Zakres osi Z	80mm	
Rozdzielczość adresowana	4000 DPI	
Dokładność pozycjonowania osi X/Y	≤+0.05mm	
Powtarzalność osi X/Y	≤+0.03mm	
Max prędkość osi X/Y	70000mm/min	
Prędkość grawerowania	45000mm/min	
Prędkość cięcia	40000mm/min	
Max prędkość osi Z	375mm/sek	



Laser barwnikowy

1966 w IBM zbudowano pierwszy laser barwnikowy

Substancją czynną jest roztwór zawierający barwnik organiczny, np. rodamina. Organiczne molekuły barwnika fluoryzują pochłaniając falę lasera pompującego optycznie np. lasera Ar. Działanie impulsowe do ok. 100 Hz lub ciągle



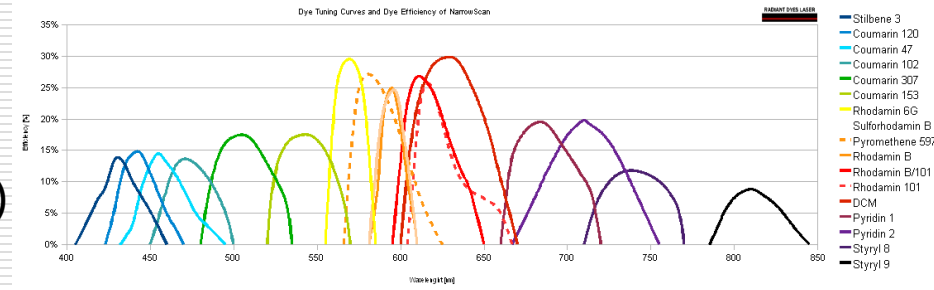
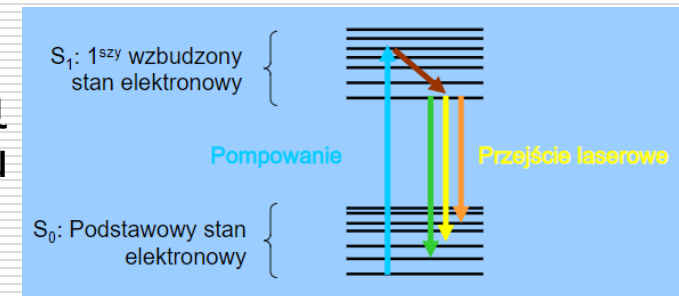
Laser barwnikowy umożliwia ciągłą zmianę długości fali z zakresie ok. 0,4-0,8 μm lub od bliskiej podczerwieni do bliskiego ultrafioletu (1 μm 0,2 μm).

Zakresy te uzyskuje się przez stosowanie różnych barwników organicznych: fluoresceina, radomina, kumaryna i in. Barwniki osiągają bardzo duże wzmocnienie jako ośrodek optycznie czynny – wystarczy tylko kilkukrotne przejście wiązki przez barwnik, który może przepływać przez kuwetę lub być w rozpylany w postaci aerozolu.

Lasery impulsowe - energie w impulsie wynoszą od kilkudziesięciu μJ do kilku mJ i moce od kilku kW do kilkunastu kW.

Zastosowania:

- astronomia,
- spektroskopia,
- medycyna (dermatologia, urologia)





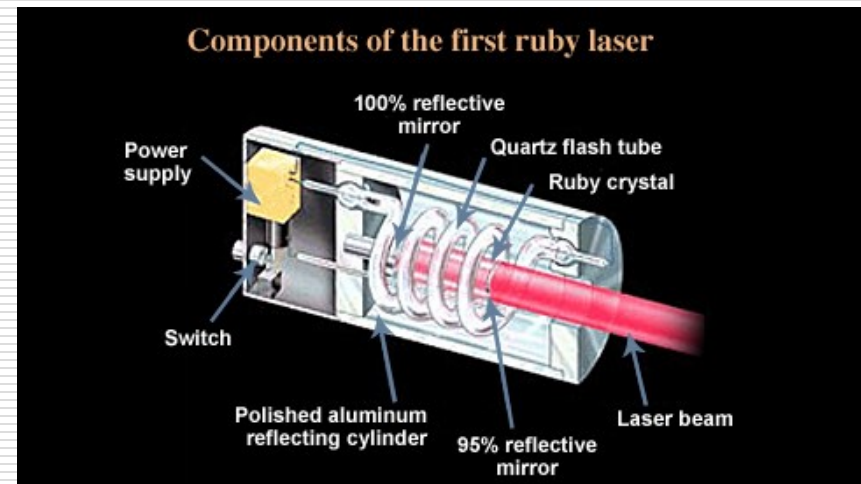
Laser rubinowy

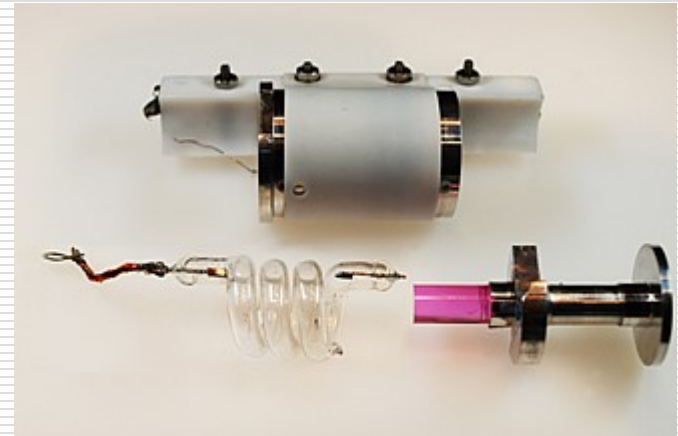
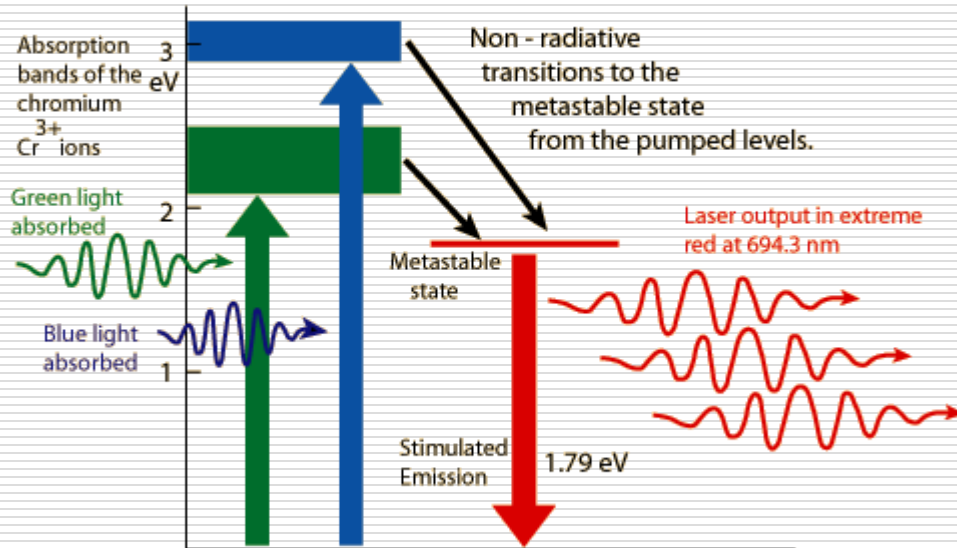
Theodore Maiman (1927-2007)

Ośrodek czynny – korund (Al_2O_3) domieszkowany chromem – rubin.

Laser impulsowy, wymaga dużej mocy pompowania, emituje falę 694 nm

Zastosowanie – np. usuwanie tatuaży





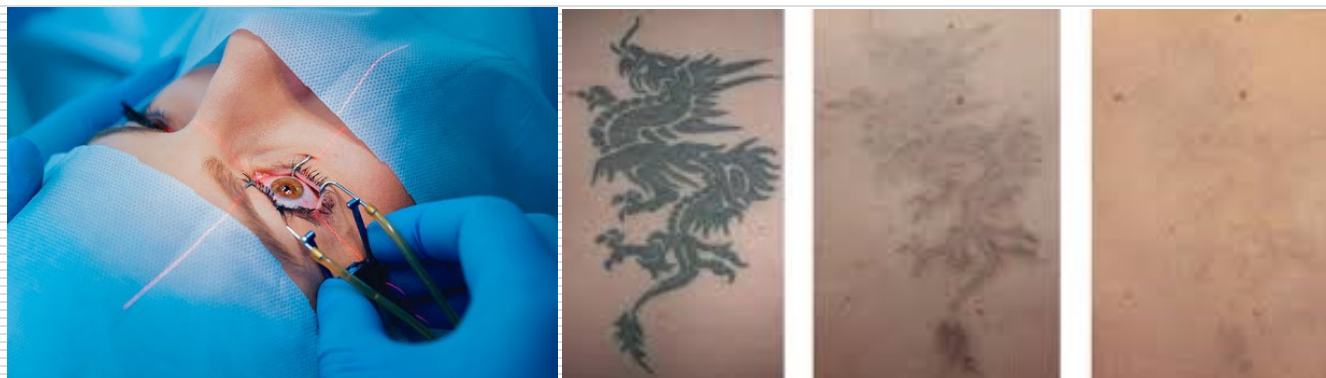
Rezonator optyczny:

- zapewnia dodatnie sprzężenie zwrotne (wzmacniacz staje się generatorem),
- wymusza oscylacje na częstościach rezonansowych (powstają mody czyli fale stojące),
- ingeruje w szerokość połówkową linii emisji (im lepszy rezonator tym węższa linia zapewnienie monochromatyczności),
- ingeruje w geometrię wiązki (kolinearność, wpływ na spójność).

Zastosowanie w medycynie:

po uruchomieniu pierwszego w Polsce lasera rubinowego w 1963r opracowano koagulator laserowy – pierwszy w Europie do operacji okulistycznych.

Stosuje się go również w dermatologii – usuwanie zmian naczyniowych, kosmetologii – usuwanie tatuaży, w depilacji

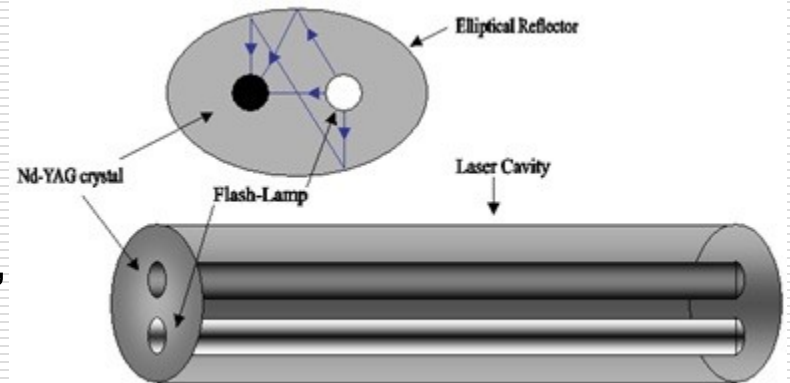


Inne lasery na ciele stałym

□ Laser neodymowy np. Yb:YAG na bazie granatu itrowo-aluminiowego lub ze szkła neodymowego.

Energia impulsu – od mJ do kilkuset J, impulsy możliwe co kilka, kilkadziesiąt sekund, a moce impulsu do GW.

Zastosowanie: w telekomunikacji, laserowych układach śledzących, w kontrolowanych reakcjach jądrowych.



W Polsce- Inst. Fizyki Plazmy
1 J, 1 ps, 1 TW do badań oddziaływania plazmy z laserem.



□ Lasery półprzewodnikowe (diody laserowe, lasery diodowe)

Przyczyną emisji fotonu jest *rekombinacja*, czyli przejście elektronu z pasma przewodnictwa do pasma walencyjnego i połączenie z dziurą.

Proces rekombinacji zachodzi w każdym materiale półprzewodnikowym, lecz jedynie w niektórych materiałach jego rezultatem jest emisja promienista, a w pozostałych przypadkach następuje jedynie wzrost temperatury materiału.

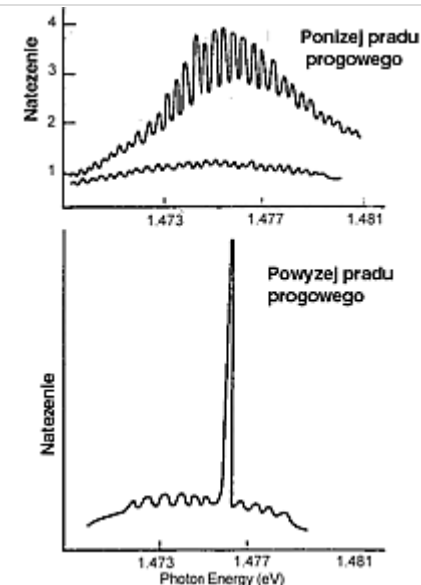
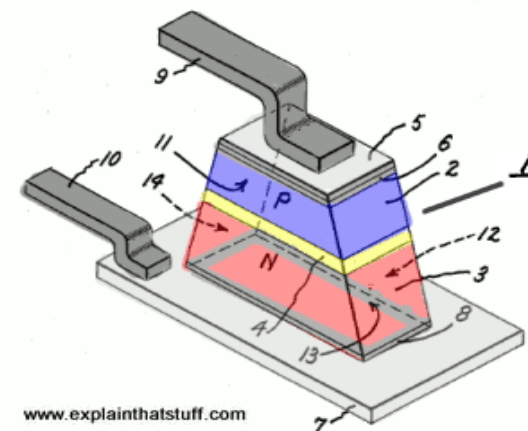
Aby nastąpiła rekombinacja musi być *pompowanie* w tym wypadku prądem.

Poniżej ok. 250 mA LD świeci jak LED – brak spójności, emisje spontaniczne.

Większy prąd – większa inwersja + konieczny rezonator optyczny!

April 5, 1966 R. N. HALL 3,245,002

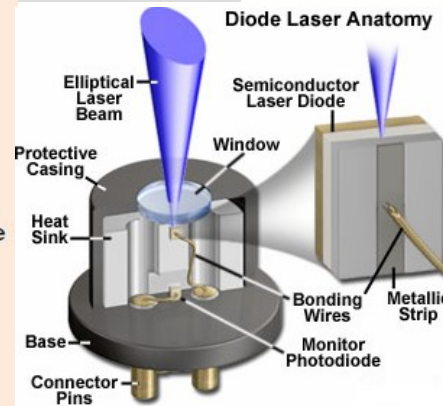
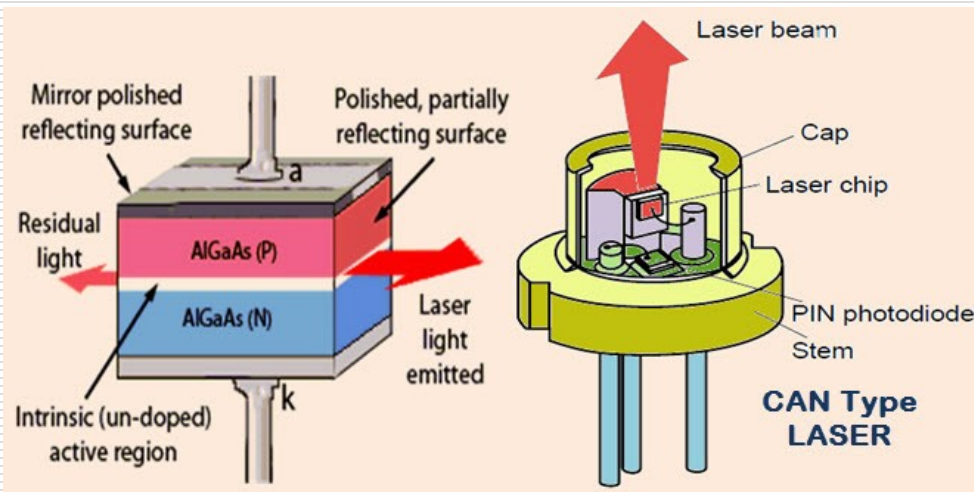
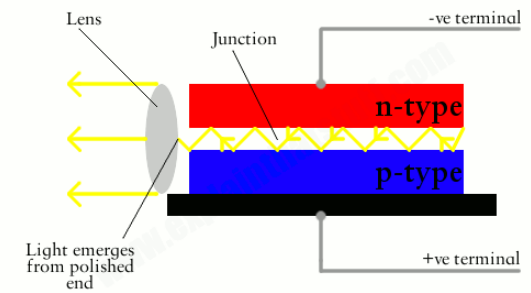
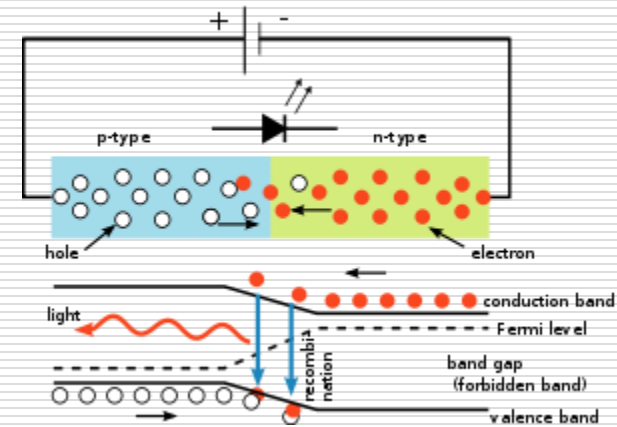
STIMULATED EMISSION SEMICONDUCTOR DEVICES



Po wzbudzeniu, mała część elektronów rekombinuje promieniście, a większość przechodzi na poziomy metastabilne o małym prawdopodobieństwie rekombinacji.

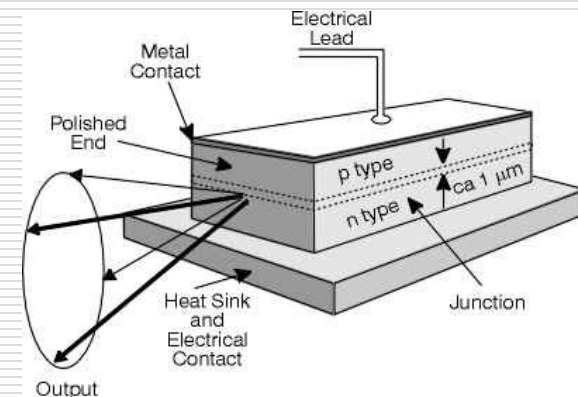
Obszary n i p wokół obszaru aktywnego domieszkowane są dodatkowo Al w celu uzyskania warstw odbijających promienie wyemitowane spontanicznie. Promienie te odbijane są wielokrotnie (duże n - tworzy się w ten sposób tzw. rezonator Fabry-Perota.

Promienie odbijające się w rezonatorze wywołują kolejne rekombinacje promieniste, przez co światło jest wzmacniane.

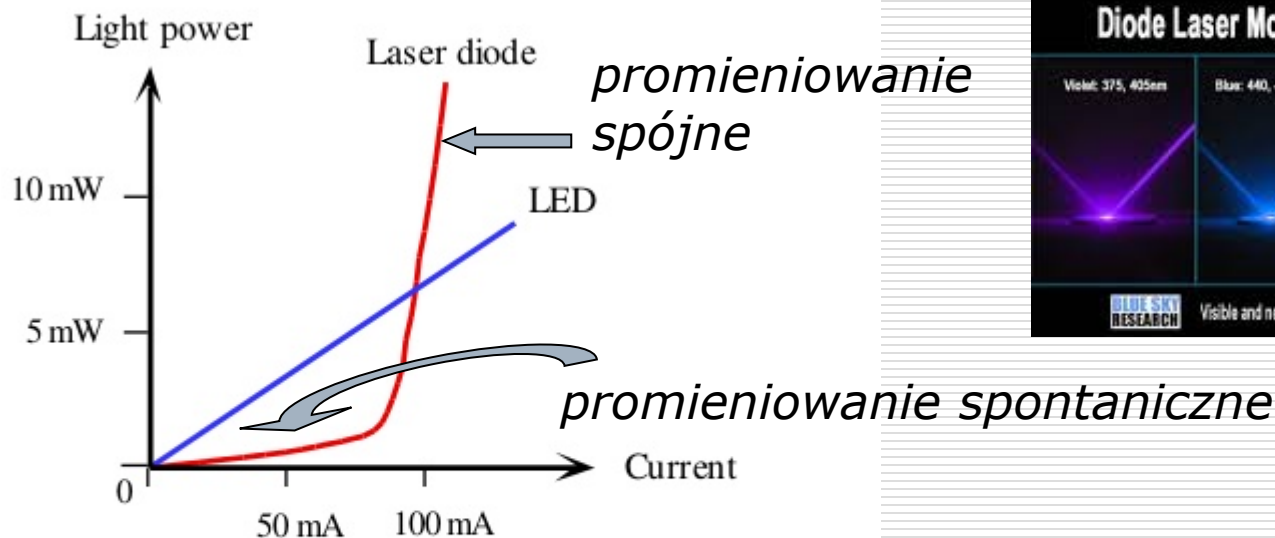


www.explainthatstuff.com

Wnęka rezonansowa ma przekrój poprzeczny w kształcie prostokąta (ok. $2\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$). Tak małe rozmiary powodują dużą rozbieżność wiązki – konieczne jest użycie soczewki.



Charakterystyka emisyjna LD



Typical optical power output vs. forward current for a LED and a laser diode.

© 1999 S.O. Kasap, *Optoelectronics* (Prentice Hall)

Mniejszy rozmiar, krótsza fala



4 razy gęstsze upakowanie informacji



podłoża GaN – Inst. Wysokich Ciśnień PAN

Przestrjalne lasery półprzewodnikowe

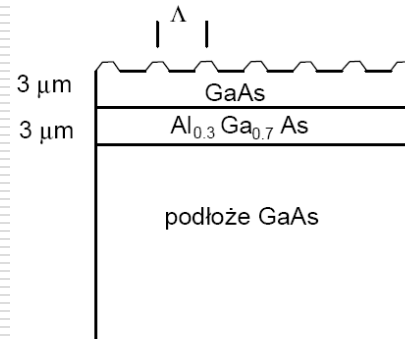
Zamiast rezonatora F-P stosuje się braggowskie siatki dyfrakcyjne – lasery z selektywnym sprzężeniem zwrotnym:

- DBR (Distributed Bragg Reflector)
- DFB (Distributed Feedback)

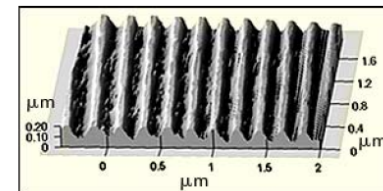
Nowe wymagania stawiane nadajnikom w torach światłowodowych skłaniają do wprowadzania źródeł sygnałów optycznych o przestrajalnej długości fali.

Mechanizmy przestrajania długości fali:

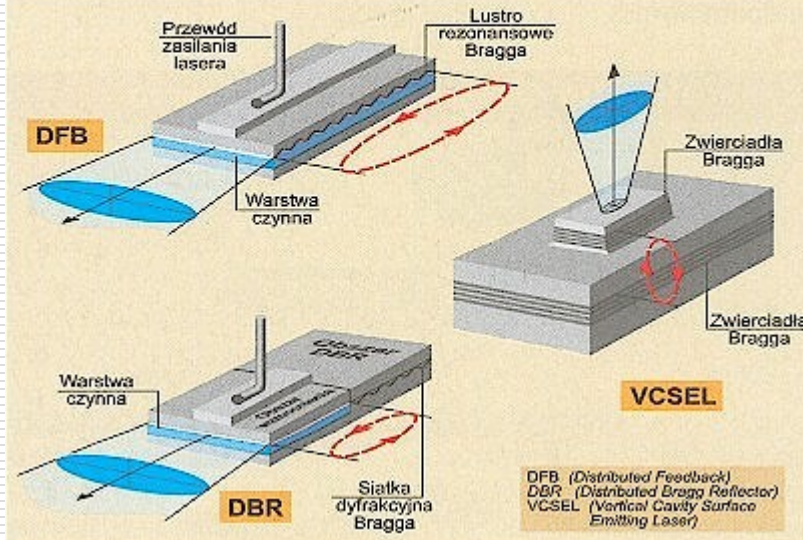
- zmiana temperatury
- zmiana natężenia prądu (zależność wsp. załamania od gęstości wstrzykiwanych do lasera nośników)



DFB (*distributed feedback*)- z rozłożonym sprzężeniem zwrotnym



Zasady konstrukcji laserów półprzewodnikowych



Konstrukcja lasera	Przestrajanie częstotliwości	Zalety	Wady
DFB (<i>Distributed Feedback Laser</i>)	Zmiana temperatury lasera lub prądu zasilającego	Stabilność, łatwość regulacji, niezawodność, łatwa produkcja	Zakres przestrajania 5 nm/segment
DBR (<i>Distributed Bragg Reflector</i>)	Zmiana prądu zasilającego segmenty DBR powoduje zmianę współczynników załamania	Prosta konstrukcja	Złożona regulacja, mała stabilność modów
S-DBR (DBR z siatką periodycznie zaburzoną)	Zmiana prądu zasilającego segmenty DBR	Szeroki zakres przestrajania	Złożona regulacja prądu, mała stabilność modowa
F-P (<i>Fabry-Perota</i>)	Mechaniczna zmiana długości wnęki między zwierciadłami	Szeroki zakres przestrajania, mały koszt lasera, prosta regulacja	Złożona stabilność mechaniczna i cieplna
VCSEL/MEMS (<i>Vertical Cavity Surface Emitting Laser</i>)	Mechaniczna zmiana długości wnęki za pomocą mikroluster MEMS	Prosta regulacja, szeroki zakres przestrajania, szybkie przestrajanie	Pompowanie optyczne, mała moc wyjściowa