



*„Na tym maleństwie spoczywa cały gmach współczesnej technologii”  
L. Lederman o odkryciu elektronu - „Boska Częstka”*

# **Lasery w rozwoju współczesnej cywilizacji**

***(Wprowadzenie do cyklu wykładów)***

**Zdzisław Jankiewicz**

## Lasery w rozwoju współczesnej cywilizacji

(Streszczenie)

W trakcie lektury niezwykle ciekawej książki Leona Ledermana „Boska cząstka” natknąłem się na następujące zdanie charakteryzujące znaczenie odkrycia w 1897 r. przez J. J. Thomsona elektronu:

**>> Na tym maleństwie spoczywa cały gmach współczesnej technologii <<**

Rzeczywiście, chyba nie można dziś sobie wyobrazić naszej egzystencji, naszej cywilizacji bez tego odkrycia. Elektronika i jej wszechstronne zastosowania odgrywają zbyt znaczącą rolę nie tylko w nauce i gospodarce, ale także życiu codziennym człowieka. Do tego dochodzi telekomunikacja (telefon, radio, telewizja), a obecnie także komputery, Internet itd. itd.

Michio Kaku (fizyk, Noblista - futurolog) w swoich licznych książkach popularyzujących zdobycze nauk fizycznych (Hipercząstka, Fizyka rzeczy niemożliwych itp.) wprowadza pojęcie „**Technologicznej Osobliwości – (TO)**”.

Należą do nich odkrycia tak ważne, że zmieniają zasadniczo kierunek rozwoju cywilizacyjnego. Wyznaczają nowe perspektywy. Sądzę, że nadać im można następujące cechy:

- **Niezbędność** – bez nich niemożliwy jest dalszy rozwój nauki, techniki i gospodarki;
- **Nie zastępowalność** – brak jest innych metod, innych technik, które mogłyby zadania ich przejąć i realizować.

Niewątpliwie elektronika te cechy ma i spełnia warunki „technologicznej osobliwości”. Nie na darmo zyskała miano dziedziny stulecia: **wiek XX nazywany jest dziś „wiekiem elektroniki”**

Obecnie wielu specjalistów zajmujących się szeroko rozumianą **optoelektroniką** lub wymiennie nazywaną **fotoniką**, upatrują w niej cechy „technologicznej osobliwości”.

Pojawienie się i rozwój optoelektroniki (będę raczej używał tej nazwy) rozpoczyna się w momencie zbudowania pierwszego LASERA – tak nazwano generator promieniowania zakresu optycznego. Za datę wynalezienia lasera uznaje się dzień 4 lipca 1960, tj. datę ukazania się publikacji Th. Maimana [1], donoszącego o uruchomieniu pierwszego kwantowego generatora światła. Była to jednocześnie realizacja idei A. Einsteina – budowa wzmacniacza wykorzystującego efekt emisji wymuszonej [2] w zakresie optycznym. W zakresie mikrofalowym generator kwantowy był zbudowany wcześniej (pierwszy MASER został skonstruowany przez Ch. Townesa w 1954r.), lecz dopiero teraz okazało się, że idea emisji wymuszonej jest „**wyjątkowym darem przyrody**” wyłącznie dla zakresu optycznego. Było to na dodatek o tyle ważne, że w tym obszarze widma nie znano dotychczas innych metod generacji promieniowania elektromagnetycznego.

Budowa laserów okazała się stosunkowo łatwa. Wkrótce w innych ośrodkach uruchomiono rubinowy laser Maimana. Na dodatek pokazano możliwość uzyskania emisji z innych ośrodków np. gazowych.

W pierwszych pięciu latach po publikacji Th. Maimana (lata 1960 -1965) pojawiły się lasery na ważniejszych, do dziś wykorzystywanych ośnawach, z laserem półprzewodnikowym włącznie. W 1964 r., a więc już po uruchomieniu lasera, twórcy pierwszych wzmacniaczy kwantowych Charles Townes, Nikołaj Basow i Aleksander Prochorow wyróżnieni zostali nagrodą Nobla w dziedzinie fizyki.

Każda nowa idea, nowe odkrycie jest tyle warte, ile jest ona użyteczna w praktycznej działalności człowieka. Wizjoner techniki laserowej **Gordon Gold** (to on po raz pierwszy użył nazwy LASER) w początkowym okresie prac nad generatorami światła napisał:

**>> Lasery będą tym dla optyki, czym tranzystory są dla elektroniki <<.**

Pomylił się. Stały się czymś więcej. Lasery spowodowały powstanie nowego (na styku optyki i elektroniki) kierunku nauki i techniki: **FOTONIKI**.

Fotonika (Optoelektronika), jeżeli chodzi o jej rangę, porównywana jest często z elektroniką. Uważa się, że „**wiek XXI nazwany zostanie wiekiem fotoniki**” tak jak „**wiek XX uznano za wiek elektroniki**”.

Autor prezentowanego tu materiału uważa się za „szczęściarza”. Tak się bowiem szczęśliwie złożyło, że na początku mojej drogi aktywności zawodowej pojawił się ten ważny wynalazek oraz miałem to szczęście, że nie tylko uczestniczyłem czynnie w początkowych pracach nad mikrofalowymi i optycznymi wzmacniaczami i generatorami kwantowymi, ale należałem do zespołu, który opracował i uruchomił pierwsze w kraju Masery i Lasery. Uznaję także za szczęśliwy traf, że udało mi się trwać przy tej tematyce do dnia dzisiejszego.

Dziś czynię Państwu pewne wyznanie. Mimo zaawansowanego wieku, staram się śledzić rozwój optoelektroniki, a w szczególności te jej zastosowania, które wskazują na to, że laser jest wynalazkiem spełniającym kryterium (TO) – „Technologicznej Osobliwości”. Już dziś mam i przedstawiam tu Państwu zastosowania laserów będące kandydatami do tej listy. Sukcesywnie będę starał się umieszczać w tym miejscu zdobyte o nich informacje.

Proszę traktować to, jako nieszkodliwe moje hobby, z którym chcę się z Państwem dzielić. Gdyby jednak udało mi się Państwa zainteresować tą tematyką, chętnie służyć dyskusją nad tymi zagadnieniami w dowolnym czasie i miejscu.

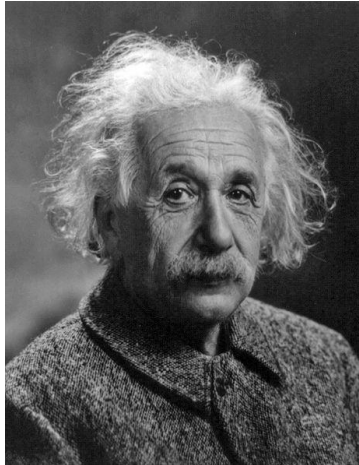
Literatura:

[1] Th. Maiman „Stimulated Optical Radiation in Ruby” Nature, 187, 4736, pp. 493 – 494 (1960)

[2] A. Einstein „Zur Quantentheorie der Strahlung” Physikalische Zeitschrift 18, pp. 121-128, (1917)

# Narodziny wzmacniaczy i generatorów kwantowych (maserów i laserów)\*

Albert Einstein



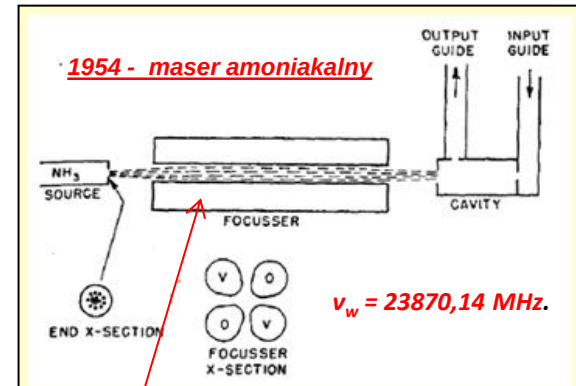
(1879 – 1955)

1917 – Emisja  
Wymuszona

Twórca teorii emisji wymuszonej (wzm. kwantowego), A. Einstein nie wiązał go z konkretnym zakresem widmowym, ale pierwsi realizatorzy tej idei w latach 50. (szczytowe lata „zimnej wojny”) zrealizowali ją w zakresie mikrofal[3].



Charles Townes (1915 – 2015)

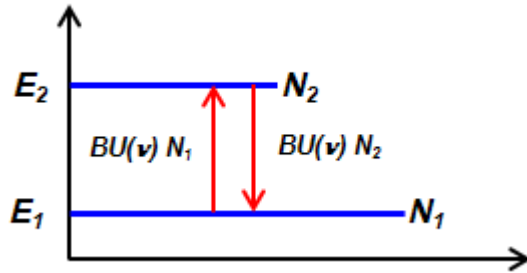


Układ oddzielający cząstki wzbudzone

\*) Maser (Laser): Microwave (Light) Amplification by Stimulated Emision of Radiation

[3] J. P. Gordon, H. J. Zeiger, C. H. Townes, Phys. Rev. 95, 282, (1954)

## Idea wzmacniacza kwantowego



Mocno trywializując przyjmijmy, że promieniowanie, działając na dwupoziomowy układ kwantowy, prawie z takim samym prawdopodobieństwem  $BU(\nu)$ , proporcjonalnym do gęstości fotonów  $U(\nu)$ , może być pochłaniane lub wzmacniane. To zależy od tego na które z cząstek, o niższej czy wyższej energii działa.  $B$  - współczynnik emisji wymuszonej A. Einsteina

**Uproszczony bilans oddziaływania pola z układem kwantowym można napisać:**

$$B(N_2 - N_1)U(\nu) = \Delta F \quad \text{- przyrost liczby fotonów}$$

**Przyrost liczby fotonów zależy od liczby elementów kwantowych  $N$  na poziomach  $E_1$  i  $E_2$**

**Powszechnie w przyrodzie:**  $N_1 > N_2$  i  $\Delta F < 0$ ; - ośrodek kwantowy pochłania.

**Wzmacniacz kwantowy:**  $N_2 > N_1$  i  $\Delta F > 0$ ; - ośrodek kwantowy wzmacnia.

**Inwersja obsadzeń** – stan ośrodka kiedy  $N_2 > N_1$  – warunek konieczny do wystąpienia wzmacnienia

# Wzmacniacz kwantowy – dar przyrody dla wzmacniacza światła - lasera

N. Bloembergen



1920 (1981 –Nobel)

W równowadze termodynamicznej

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

(prawo Boltzmana)

Badania nad maserami ujawniły zasadnicze **trudności w uzyskaniu znaczących inwersji obsadzeń** koniecznych do budowy generatorów w zakresie mikrofal [4].

Mikrofale:  $h\nu \ll kT$ ;  $N_2/N_1 \approx 1$  – obsadzenie równomierne

Trudności takie nie ujawniają się w pasmie fal optycznych [5]

Optyka:  $h\nu \gg kT$ ;  $N_2/N_1 = 0$  – poziom  $E_2$  nie obsadzony

Masery – mikrofalowe wzmacniacze kwantowe - mogą pracować w zasadzie przy chłodzeniu kriogenicznym, a uzyskiwana w nich inwersja obsadzeń jest niewielka.

Lasery – optyczne wzmacniacze kwantowe – nie wymagają takiego chłodzenia, nie ma również fizycznych ograniczeń w uzyskiwaniu dużo większych inwersji obsadzeń.

[4] Bloembergen N., „Proposal of New Type Solid State Maser”, Phys. Rev. 104(2), (10/1956)

[5] Schawlow A., Townes Ch.: „Infrared and Optical Masers”, Physical Review 112 (6), (12/1958),

# Gordon Gold – wizjoner zastosowań laserów

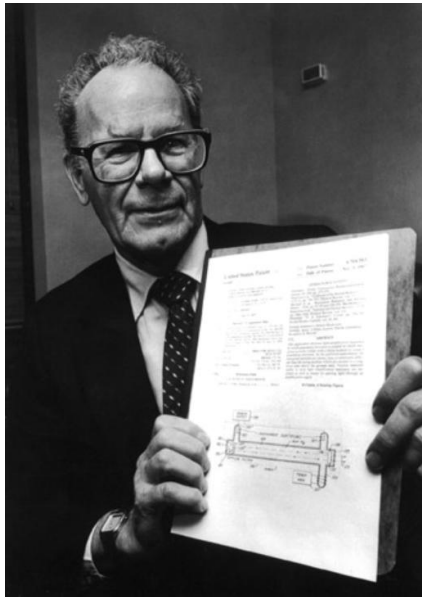
>> Lasery będą tym dla optyki, czym tranzystory są dla elektroniki <<.

## Patenty na wzmacniacz kwantowy

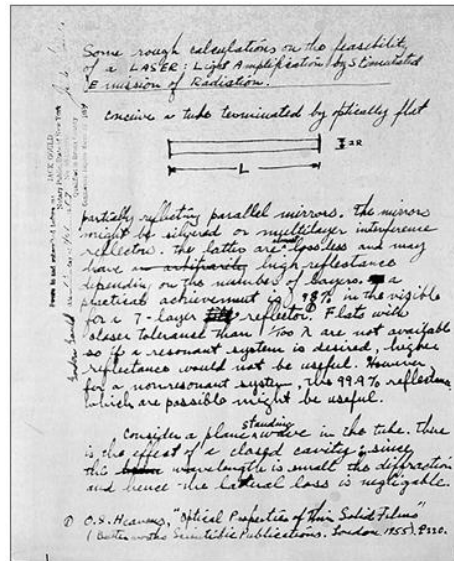
I. 1951 - V. A. Fabrykant (ZSSR) patent utajniony do 1959 (nie odegrał istotnej roli).

II. 1957 - Ch. Townes i A. Schawlow idea „masera optycznego”.

Pierwszeństwo patentu Ch. Townes’a kwestionuje Gordon Gold.



Gordon Gold (1920 – 2005)



The first page of notes that Gould had notarized in November 1957. He sketched a tube with half-silvered mirrors at each end, which would become a fundamental component of the laser.

Uwiarygadniane notarialnie zapisy pomysłów w notesie, których pierwszeństwa dochodził sądownie.

Autor nazwy „LASER”

Przewidział szereg zastosowań:

- Pomiary odległości w tym do Księżyca;
- Możliwość zastosowania laserów do kontrolowanej syntezy termojądrowej

## Wyścig do „lasera”

Wspomniane wyżej publikacje N. Bloemergena oraz A. Schawlowa i Ch. Townesa uruchomiły wyścig do pierwszeństwa zbudowania generatora optycznego - LASERA

Dodatkowa motywacja: **Takiego generatora dotychczas jeszcze nie było**

1. Columbia University - Próby Ch. Townes’a budowy lasera na **parach potasu**. Silna korozja szkła.
2. TRG - projekt „**promieni śmierci**”. Z DoD (1 mln. \$) czynił G. Golda bliskim wygranej: **pech!!!**
3. Westinghouse Research Laboratories - Irwin Wieder wybrał **rubin** jako materiał czynny, który pompował promieniowaniem **lamp wolframowych**. System był wyjątkowo mało sprawny.
4. IBM’s Thomas J. Watson Research Center, - Peter Sorokin próba użycia **kryształu fluorku wapnia** o konfiguracji zapewniającej akcję laserową **bez użycia zwierciadeł** w rezonatorze.
5. Bell Labs – dwie drogi: 1. A. Schawlow (odszedł z Columbia Univ.) użył **rubin** jako materiał czynny. 2. Ali Javan – mieszanina **helu i neonu** wzbudzana **elektrycznym rozładowaniem** w gazie.

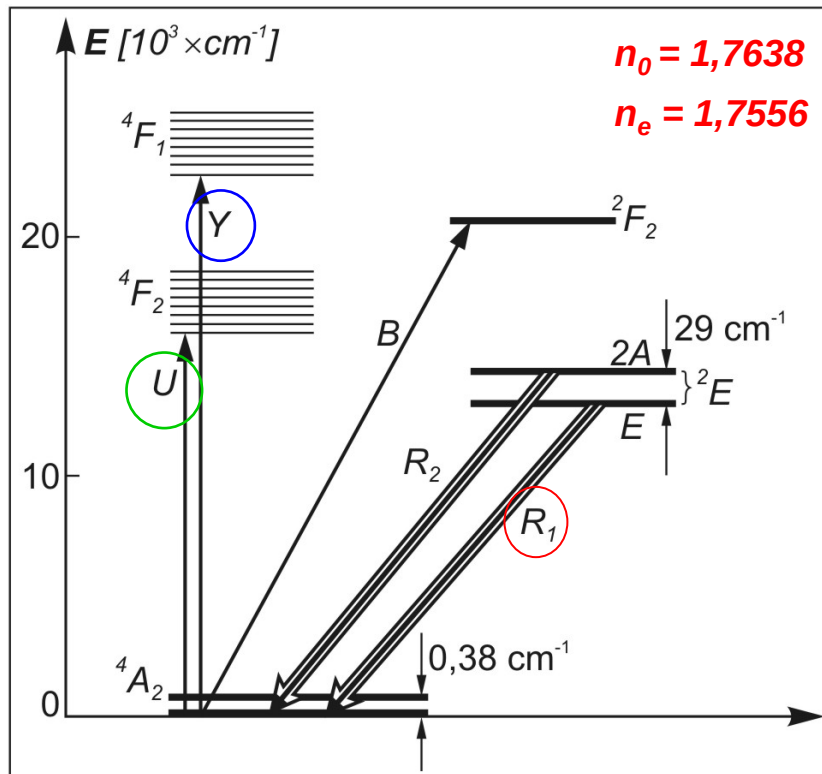
Uruchomienie **pierwszego lasera** było tylko kwestia czasu. Wyścig wygrał „czarny koń” – T. H. Maiman z Hughes Laboratory (Malibu), który do pobudzenia **rubinu** użył **silnego flesza ksenonowego**, emitującego w krótkofalowym (**zielonym i niebieskim**) pasmie optycznym, tam gdzie rubin ma **szerokie pasma absorpcji „U” i „Y”**.



# Rubin ośrodek czynny lasera Maimana

## Spektroskopia Rubinu

**$Al_2O_3:Cr^{3+}$      $Cr \cong (0,03 - 0.05) \%$**



## Przejścia optyczne

**R**  $4A_2 \rightarrow 2E$   $R_1 \rightarrow 14 417 \text{ cm}^{-1}, 694,3 \text{ nm}$   
 $R_2 \rightarrow 14 446 \text{ cm}^{-1}$

**U**  $4A_2 \rightarrow 4F_2$  (560 50) nm (zielony)

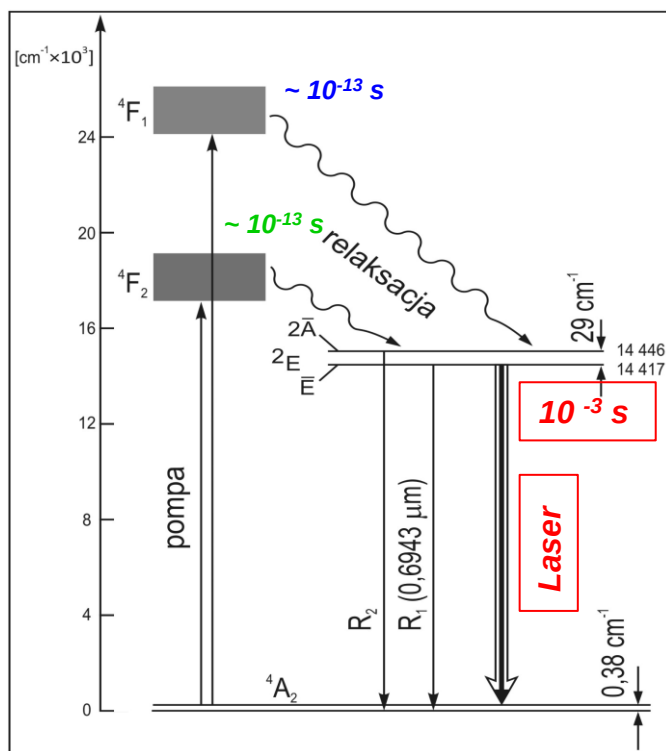
**B**  $4A_2 \rightarrow 2F_2$  (nie ważne)

**Y**  $4A_2 \rightarrow 4F_1$  (410 50) nm (niebieski)

$Al_2O_3$  – korund, osnowa,  
 $Cr^{3+}$  - jon aktywny, domieszka

# Rubin ośrodek czynny lasera Maimana

## Pompowanie i akcja laserowa



Działanie lasera możliwe ze względu na odpowiedni układ czasów życia jonu Cr na poziomach wzbudzonych

1. Stan wyjściowy: Cr na  ${}^4A_2$   
(Poziomy  $1/2$  i  $3/2$  w 300 K – **nie rozróżnialne**)
2. Pompa wzbudza Cr na  ${}^4F_1$  i  ${}^4F_2$
3.  $\tau_U \sim \tau_Y \approx 10^{-13}$  s – stany F **labilne**;  
(Pasma F sprzężone z  ${}^2E$ )
4.  $\tau_E \sim 10^{-3}$  s – stany  ${}^2E$  **metastabilne**  
(Cr gromadzą się sukcesywnie na E)
5. Gdy  $N(E) \geq N({}^4A_2)$  – **inwersja obsadzeń**  
(warunek generacji laserowej)

**Generacja  $\lambda = 694,3$  nm – barwa czerwona**

Wada rubinu: inwersja obsadzeń przy  $N(E) \geq \frac{1}{2} N$  – połowy całkowitej liczby jonów Cr

# Pierwszy (Optyczny Maser)- **LASER**

Theodore H. Maiman



1927 - 2007

Publikacja T. H. Maimana w „[Nature](#)” 07.07.1960 [1] – zbudowanie lasera w Hughes Research Laboratories w Malibu (California)\* – **data wynalezienia LASERA**.

Ośrodek aktywny: **Rubin ( $\text{Cr:Al}_2\text{O}_3$ )**; Pompa : **flesz**

**„Brzydkie kaczątko”**  
**Prostota, wręcz prymityw jego budowy**

**Dziś (po 58. latach):** „**Brzydkie kaczątko**” przerodziło się w „**okazałego łabędzia**”, a lasery przeniknęły do wszystkich gałęzi nauki i gospodarki.

**Była to realizacja idei wzmacniacza kwantowego, jaką A. Einstein opublikował w 1917 [2] - w zakresie optycznym.**

[1] Th. Maiman „Stimulated Optical Radiation in Ruby” *Nature*, 187, 4736, pp. 493 – 494 (1960)

[2] A. Einstein „Zur Quantentheorie der Strahlung” *Physikalische Zeitschrift* 18, pp. 121-128, (1917)

# Jak „grzyby po deszczu”

Uruchomienie lasera rubinowego wywołało lawinę uruchomień innych laserów:

1. 1960 - A. Javan i W. Bennett - Bell Lab. Laser gazowy He-Ne ( $1,15 \mu\text{m}$ ) [6]
2. 1962 - R. N. Hall, i inni – General Electric Laser półprzewodnikowy ( $\sim 0,9 \mu\text{m}$ ) [7]
3. 1962 - F. J. McClung i inni - Hughes Research Laboratory Lasery Q-S [8]
4. 1963 - C. Kumar N. Patel – Bell Lab. Laser CO<sub>2</sub> ( $10,6 \mu\text{m}$ ) [9]
5. 1964 - W. B. Bridges – Lasery jonowe (Ar<sup>+</sup>, Kr<sup>+</sup>) (488, 514,5) nm; (647,1; 676,4) nm [10]
6. 1964 - J. E. Geusic – Laser Nd:YAG ( $1,06 \mu\text{m}$ ) [11]
7. 1966 – F. P. Schafer (P. P. Sorokin) - Lasery barwnikowe (roztwory) (wiele fal) [12]

Uruchomienia dotyczą laserów: 1- gazowych, 2- cieczowych i 3- ciała stałego

Zauważmy: większość uruchomień dotyczy laserów gazowych

Jest sens mówienia o narodzinach ery laserów gazowych

[6] A. Javan, Herriott and W. Bennett, „Population Inversion and Continuous Optical Maser Oscillation in a Gas Discharge Containing a He-Ne Mixture”, *Physical Review Letters*, (1961)

[7] R. N. Hall, J. D. Kingsley, T. J. Soltys i inni „Coherent Light Emission From GaAs Junctions”, *Phys. Rev. Lett.*, **9**, 366-368 (1962)

[8] F. J. McClung; R. W. Hellwarth; „Giant optical pulsations from ruby”, *Journal of Applied Physics* **33** (3): 828–829, (1962).

[9] C. Kumar N. Patel "Continuous-Wave Laser Action on Vibrational-Rotational Transitions of CO<sub>2</sub>", *Physical Review* **136** (5A): A1187–A1193, (1964)

[10] W. B. Bridges, “Laser oscillation in singly ionized argon in the visible spectrum”, *Appl. Phys. Lett.* **4**, 128 (1964)

[11] J. E. Geusic, H. M. Marcos, L. G. Van Uitert, "Laser oscillations in nd-doped yttrium aluminium, yttrium gallium and gadolinium garnets", *Applied Physics Letters* **4** (10): 182, (1964)

[12] F. P. Schäfer, W. Schmidt, J. Volze, Organic dye solution laser, *Appl. Phys. Lett.* **9**, 306-309 (1966).

Warty odnotowania sukces:

## Nagroda Nobla - 1964

„Za fundamentalne prace w dziedzinie elektroniki kwantowej, które doprowadziły do skonstruowania oscylatorów i wzmacniaczy bazujących na zasadzie działania masera i lasera”



1. Charles Townes (1915 – 2015)
2. Nikołaj Basow ( 1922-2001)
3. Aleksander Prochorow (1916-2002)

## Era laserów gazowych (1962-1990)

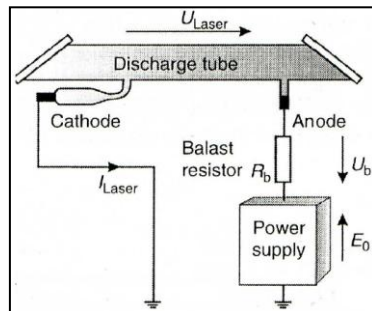
Mieszana gazów: gaz aktywny i gaz(y) buforowy – najczęściej **hel**

### Główne zalety:

1. Duża jednorodność ośrodka i łatwość dobierania proporcji składu;
2. Łatwość kształtowania formy i rozmiarów kuwety zawierającej ośrodek czynny;
3. Możliwość przepływu ośrodka czynnego (skalowanie mocy);
4. Opanowane technologie wysokiej próżni i wzbudzania ośrodków gazowych.

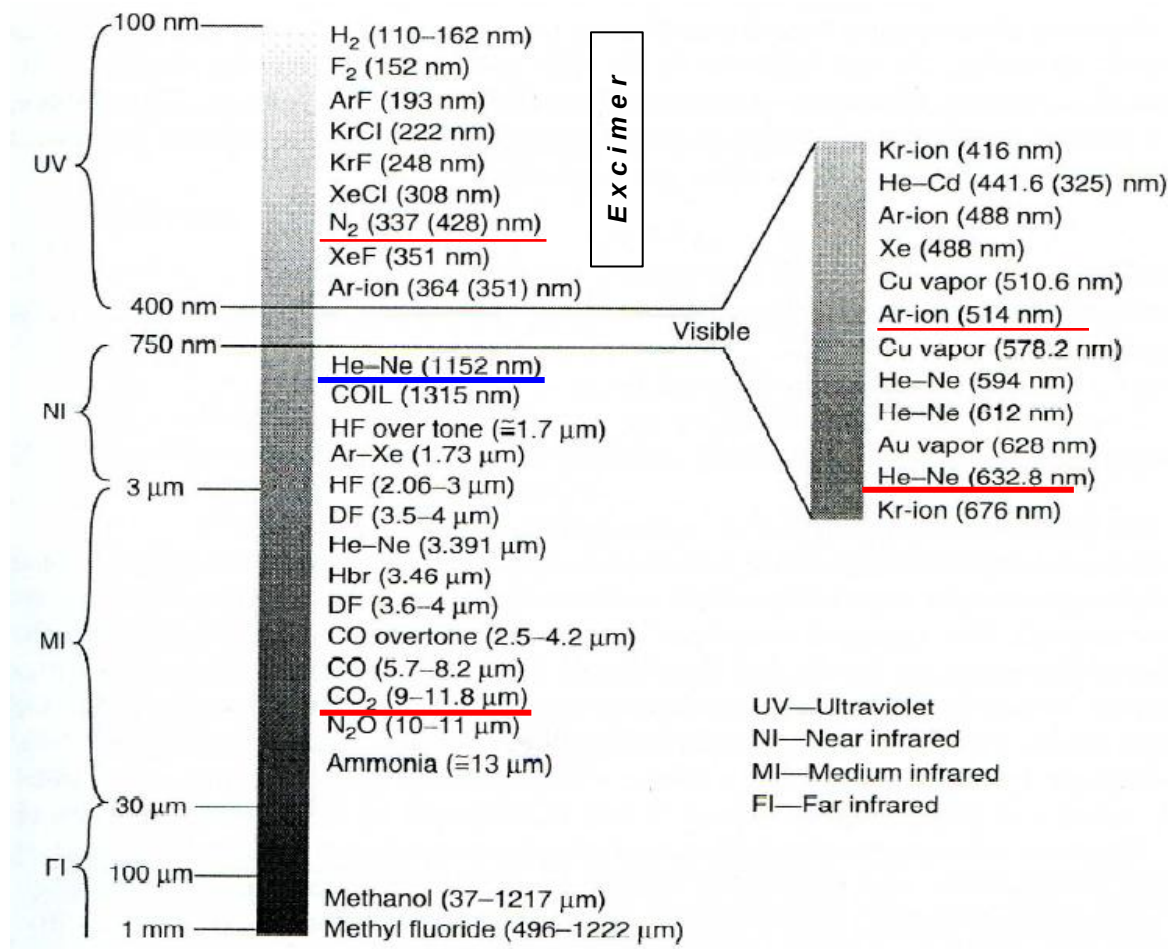
### Główna wady:

1. Skomplikowany układ zasilania (wysokie napięcie);
2. Niekontrolowane zmiany składu ośrodka (uwalnianie gazów ze ścianek rury i elektrod oraz ucieczka helu);
3. Duże rozmiary i ograniczony czas pracy;
4. Mała sprawność  $\sim 10^{-3}$  - ogólna bolączka większości laserów.



Wzbudzenie aktywatora przez częściową jonizację ośrodka: zderzenia niesprężyste produktów jonizacji (gł. elektronów) z cząstkami gazu czynnego powoduje obsadzenie wyższych poziomów w tym poziomów odpowiedzialnych za akcję laserową. Zderzenia z elektronami nie jest selektywne i dość skuteczne w uzyskiwaniu inwersji obsadzeń ośrodka czynnego.

## Niektóre z uruchomionych laserów gazowych\*)

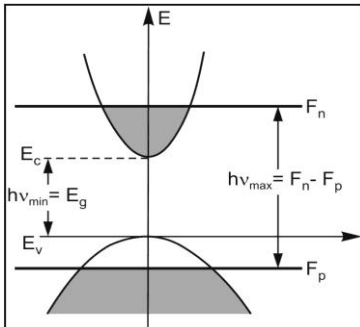


\*) Wykaz zawiera przykłady laserów na parach metali



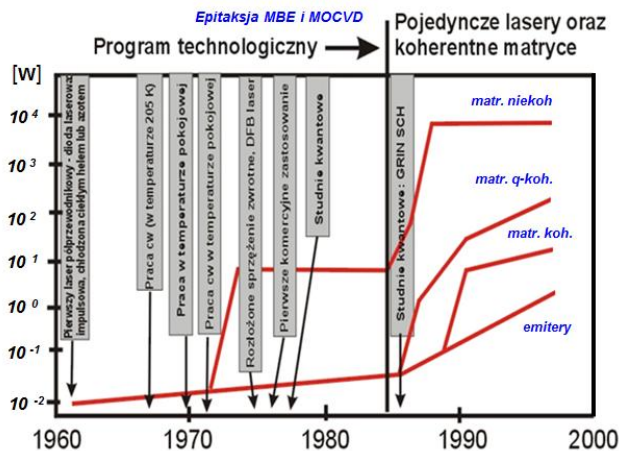
# Era laserów półprzewodnikowych

## (DL – Diody Laserowe)



**DL – emisja fotonów towarzyszy przepływowi prądu przez złącze p-n w kierunku przewodzenia.**

Jedyny laser w którym elementem aktywnym jest elektron.  
 Dwa stany o różnych energiach, które elektron może zajmować:  
pasmo przewodzenia i walencyjne – typowe w półprzewodniku  
 $h\nu \cong E_g$



Trudne początki – niedoskonała technologia

Zdecydowana poprawa:

1. Wprowadzenie epitaksji **MBE i MOCVD**
2. Technologia **studni kwantowych** (po 1985)

**1985-1990 – Powszechne zastosowania**



# Cechy laserów półprzewodnikowych

## Główne zalety:

1. **Duża sprawność**  $\eta \approx 0,5$  (w niektórych przypadkach nawet znacznie większa);
2. Łatwość **doboru długości fali** – mieszanie dwóch lub więcej półprzewodników;
3. Tworzenie **macierzy DL** (liniowych i powierzchniowych) – skalowanie mocy;
4. Łatwość **łączenia z torami światłowodowymi**;
5. **Lasery VCSEL** – generacja jednoczęstotliwościowa i symetryczna wiązka;
6. Możliwość tworzenia **barwnych obrazów** i generacji **światła białego**;
7. **Prostota zasilania** – napięcie stałe o małej wartości;
8. **Małe wymiary** (poniżej  $1\text{mm}^3$ ).

## Podstawowe wady:

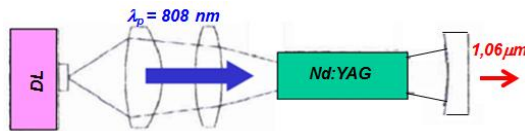
1. **Wrażliwość na zmiany temperatury** – możliwość katastroficznego uszkodzenia;
2. **Asymetria wiązki** typowych laserów krawędziowych;
3. **Krótki czas życia stanów wzbudzonych** – brak możliwości gen. Q-S.

Lata 90. - DL stały się dominującymi źródłami promieniowania optycznego

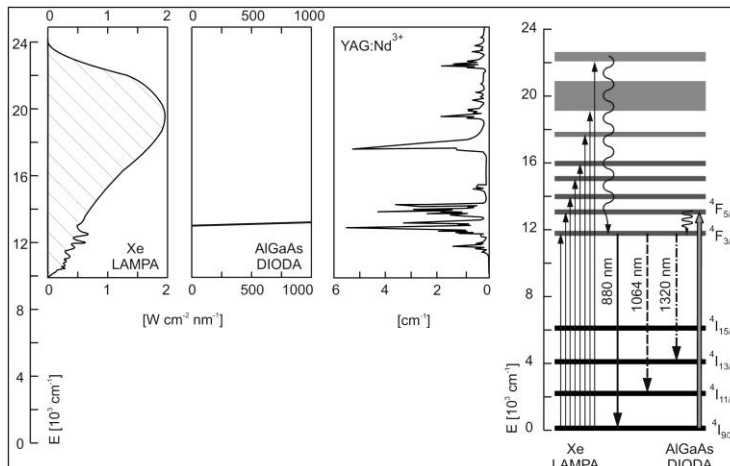
# DL jako źródła pobudzenia innych laserów

## DPSSL – Diode Pumped Solid State Laser

### 1. Wzrost sprawności i parametrów energetycznych



DPSSL – dopasowanie geometryczne wiązki pompy do kanału generacyjnego ośrodka.



DPSSL - dopasowanie widmowe pompy do pasma absorpcji ośrodka

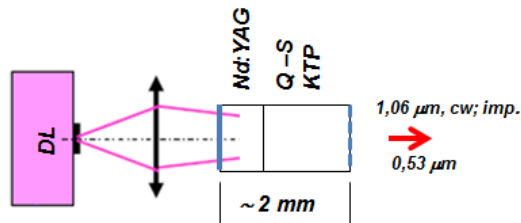
**Rezultat:** wzrost sprawności o przeszło rząd wielkości.

$$\eta_{DPSSL} \geq 10\%$$

**DPSSL – ugruntowanie priorytetowej pozycji laserów półprzewodnikowych**

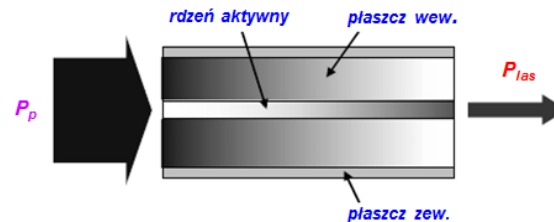
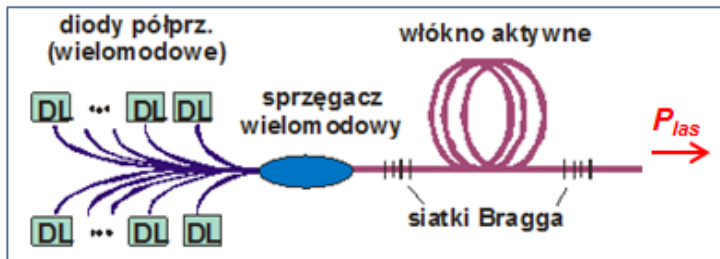
## 2. Nowe geometrie laserów ciała stałego

### Mikrolasery



Miniaturowe lasery ciała stałego –  
(wymiar mat. aktywnego  $\sim 1 \text{ mm}^3$ ) z  
możliwością **jednoczęstotliwościowej**  
generacji lub **krótkich impulsów Q-S**  
dod. z **powielaniem częstotliwości**

### Lasery włóknowe



Na bazie podobnej konstrukcji **Firma IPG** wytworzyła do celów technologicznych (obróbki cieplnej) dla jednej z firm w Japonii laser włóknowy o mocy ciągłej **100 kW**.

### Lasery dyskowe

- oparte głównie o dyski z przezroczystej ceramiki

## Preferowane obecnie typy laserów

W powszechnym użyciu znajdują się obecnie źródła prom. optycznego jako:

- Lasery półprzewodnikowe, (DL i macierze DL na zakres od IR do V- lasery GaN)
- Lasery krystaliczne i szklane pobudzone DL (aktyw. jony ziem rzadkich lub metali przejściowych)
- Układy nieliniowego przetwarzania częstotliwości (powielacze i gen. parametryczne)

### Oferują one:

1. Względnie **szeroki asortyment długości fal** (łącznie z użyciem optyki nieliniowej);
2. Generację **promieniowania spójnego** o wystarczającej drodze koherencji;
3. Możliwości uzyskiwania **dużych mocy** ciągłych (**100 kW cw**);
4. Możliwość **przestrzajania częstotliwości** (łącznie z użyciem metod optyki nieliniowej);
5. Generację **bardzo krótkich impulsów** (do **pojedynczych fs**) metodą M – L;
6. Generację nanosekundowych **impulsów dużych energii** metodą Q – S (**1,8 MJ - LLNL**);
7. Generację promieniowania o bardzo szerokim widmie – **supercontinuum**.

**Wyboru preferowanych źródeł** promieniowania dokonuje **użytkownik i przemysł** produkując sprzęt do poszczególnych zastosowań. Preferowane ≠ jedyne.  
Będą takie obszary, gdzie są i będą wykorzystywane niektóre lasery gazowe.

# Zastosowania laserów o znaczeniu globalnym

*Globalne zastosowania dotyczą różnych, nieraz bardzo odległych dziedzin. Każde wymaga konstrukcji laserów o specyficznych dla nich parametrach. Niektóre z zadań spełnionych (np. 7) są jeszcze w trakcie intensywnych prac.*

## Spełnione (może nie do końca):

1. *Telekomunikacja światłowodowa,*
2. *Wykrywanie fal grawitacyjnych*
3. *Wzorce czasu i długości,*
4. *Holografia optyczna,*
5. *LED-owe oświetlenie,*
6. *Pomiary odległości do obiektów kosmicznych,*
7. *Telekomunikacja kosmiczna*

## Oczekiwane (niektóre bardzo):

1. *Synteza termojądrowa,*
2. *Komputery optyczne,*
3. *Walka z nowotworami (PDT),*
4. *Badania w zakresie podstaw fizyki,*
5. *Inżynieria genetyczna,*
6. *Fotonowy napęd statków kosmicznych (laser – żagiel),*

*Kontrolowana (laserowa) synteza termojądrowa jest nie spełnionym zastosowaniem laserów mimo wieloletnich badań (od 1968 r.) w USA i wielu innych krajach Europy. Dostęp do nowych źródeł energii uznaje się warunek konieczny rozwoju cywilizacji.*

# Cywilizacja

Cywilizacja – *stan rozwoju społeczeństwa uwarunkowany stopniem opanowania przyrody tzn. stopniem rozwoju nauki \*)*

## Cechy Współczesnej Cywilizacji

- szybki (wykładniczy) rozwój nauki;
- globalizacja (nie oznacza równomierności, a raczej *możliwość wymiany informacji*)

***Poziom rozwoju cywilizacji mierzony jest wartością wykorzystywanej energii***

---

\*) „Słownik Współczesnego Języka Polskiego”; Reader’s Digest, Warszawa 1998

# Poziomy globalnego rozwoju cywilizacji

wg skali Kardaszewa (1964)



N. S. Kardaszew  
1932 - astrofizyk

**Typ I:** Cywilizacja zdolna do wykorzystania całej, dostępnej na swojej **planecie** energii. Na ziemi dostępna moc oceniana jest na  $(1,74 \times 10^{17})$  [W], (174 [PW]).

**Typ II:** Cywilizacja zdolna do wykorzystania całej dostępnej od swojej **gwiazdy**. W przypadku słońca moc ta oceniana jest na  $(3,86 \times 10^{26})$  [W].

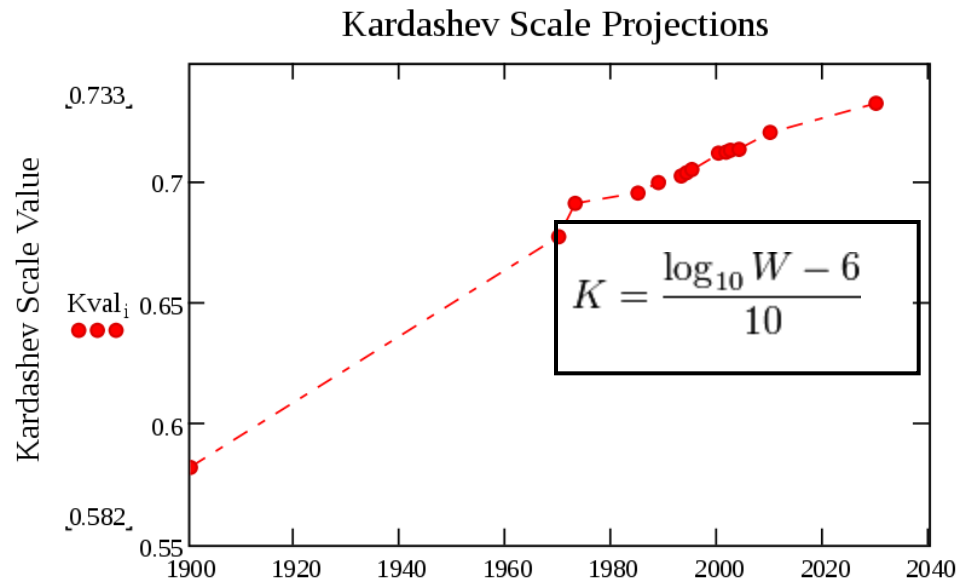
**Typ III:** Cywilizacja zdolna do wykorzystania całej energii dostępnej w swojej **galaktyce**. W naszej galaktyce (Droga Mleczna) moc do wykorzystania oceniana jest na  $(4 \times 10^{37})$  [W].

# Carl Sagan – futurolog amerykański

*(obliczył gdzie jesteśmy)*



**Carl Sagan (1934 – 1996)**  
**futurolog**



**Wzór Sagana - ocena poziomu cywilizacji i odpowiadająca mu funkcja zmian w latach 1900-2030:**

***K – poziom cywilizacyjny w skali Kardaszewa,  
W – wykorzystywana moc.***



## Dostępne źródła energii

*nowe źródła poszukiwane są usilnie i wszędzie*

Kopaliny – węgiel, ropa naftowa, gaz (brudne, na wyczerpaniu);

Energia wodna rzek – (dogodne już zagospodarowane);

Energia wiatru – aktualnie rozwijana (niepewna, środowisko);

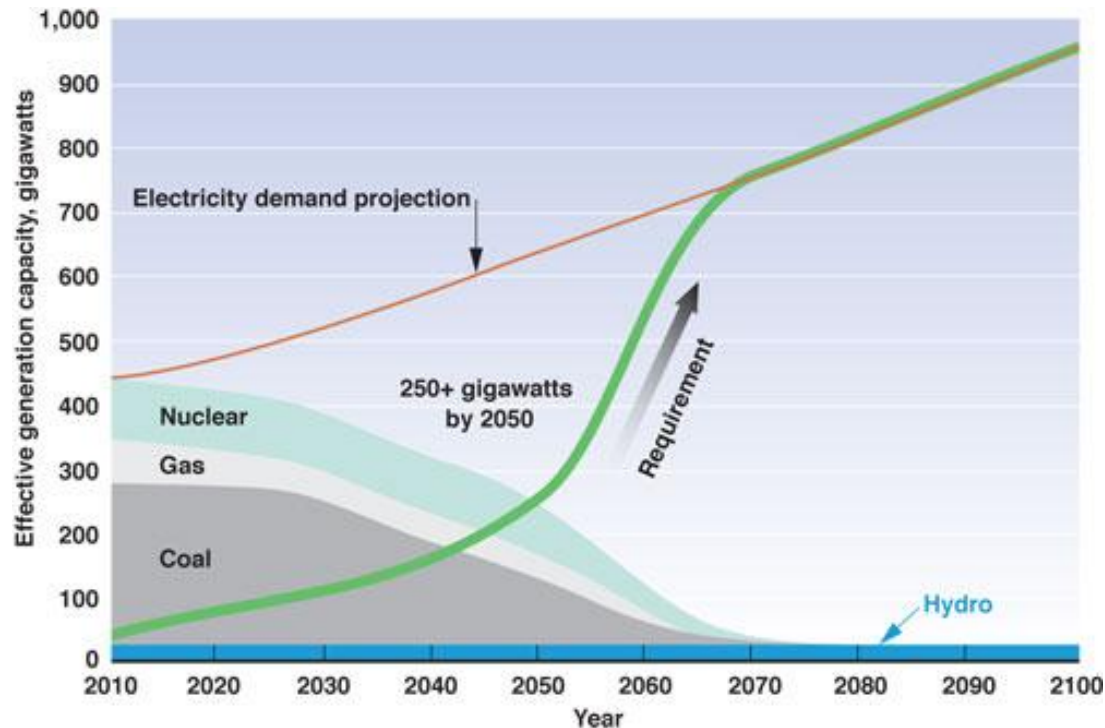
Energia słoneczna – mała sprawność (sezonowość);

Energia jądrowa rozpadu – wypadkowość, (brudny odpad);

Energia jądrowa syntezy – brak kontroli procesu syntezy.

Synteza jądrowa jest jedynym, niewyczerpalnym źródłem energii  
i w niej szukać należy spełnienia warunku rozwoju cywilizacji

## **Próba bilansu - smutna rzeczywistość** wg oceny specjalistów z LLNL (USA)



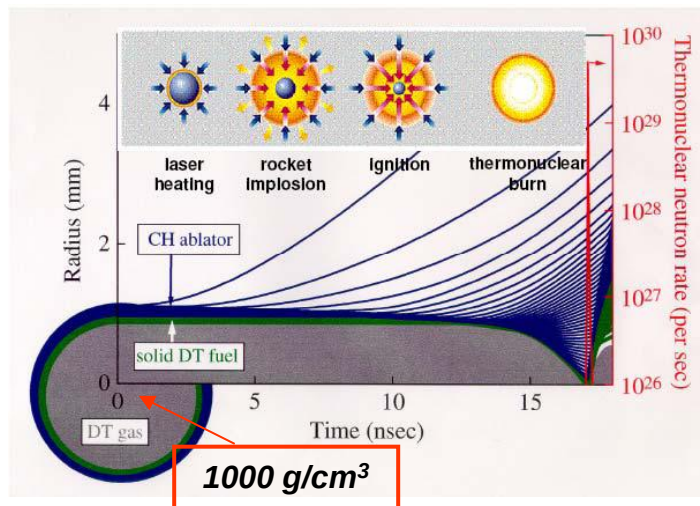
**Po 2050. roku świat może stanąć w obliczu niedoboru energii**

LLNL – Lawrence Livermore National Laboratory

# Współcześnie budowane systemy laserowe

## I. Koncepcja ICF (Inertial Confinement Fusion)

System NIF (National Ignition Facility) zbudowany w USA:



$E \approx 1,8 \text{ MJ}$ ;  $\lambda = 1053/3 = 351 \text{ nm}$ ; 192 kanały  
- nie uzyskano reakcji łańcuchowej - **koniec**

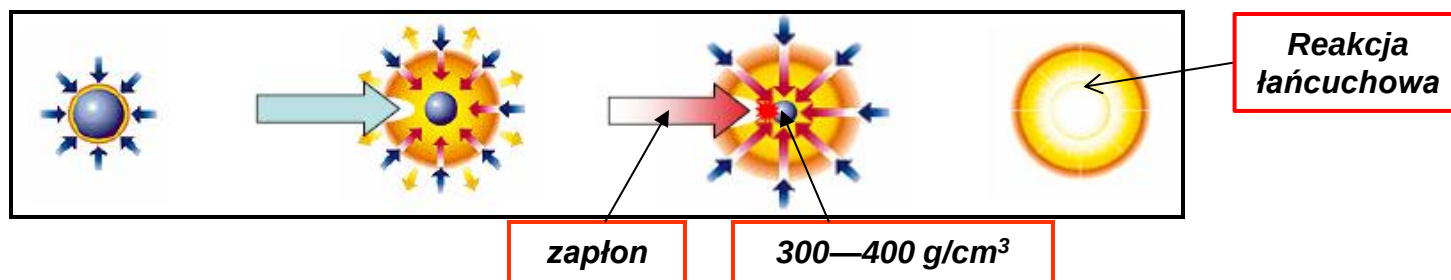
System LMJ (Laser MegaJoule) – Francja,  
w budowie, termin ukończenia 2020r.

$E \approx 1,8 \text{ MJ}$ ;  $\lambda = 1053/3 = 351 \text{ nm}$ ; 240 kanałów,  
- system podobny NIF (tylko więcej kanałów -  
może być podobny skutek przy NIF)

Wada systemów ICF: brak jednorodności ciśnienia – systemy wielowiązkowe

## Nowe koncepcje - 1995

II. Koncepcje **FI** (**F**ast **I**gnition), **SI** (**S**hock **I**gnition); - Europa  
**HIPER** (**H**igh **P**ower laser **E**nergy **R**esearch facility) – wykorzystanie **LMJ**



Układ mniej czuły na niejednorodność ciśnienia - będzie wymagał mniejszej energii ablacji

### Oszacowania:

- wiązki ablacyjne (wiele kanałów): (200—300) kJ w impulsie ns.
- wiązka zapłonowa: ok. 100 kJ w impulsie ps.

## **Is Fusion an Illusion?** *David Davis; April 7, 2015* [\*]

***Wśród różnego rodzaju zastrzeżeń, autor przytacza opinię Profesora Sebastiena Balibara, że materiały, które byłyby w stanie wytrzymać tak duże promieniowanie neutronów i temperatury plazmy jaka istnieje przy syntezie termojądrowej jeszcze nie są wynalezione.***

*Professor Sebastien Balibar in Matt McGrath's BBC article: [\*\*]*

***„the fusion is like trying to put the Sun in a box [...].***

---

[\*] Submitted as coursework for [PH241](#), Stanford University, Winter 2015

[\*\*] M. McGrath, "[Fusion Falters Under Soaring Costs](#)," BBC News, 17 Jun 2009.

***Dziękuję za przeczytanie***