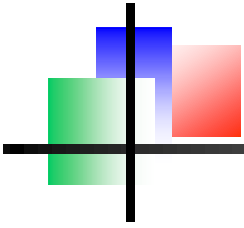


Podstawy Fizyki IV

Optyka z elementami fizyki współczesnej

wykład 29, 09.06.2012

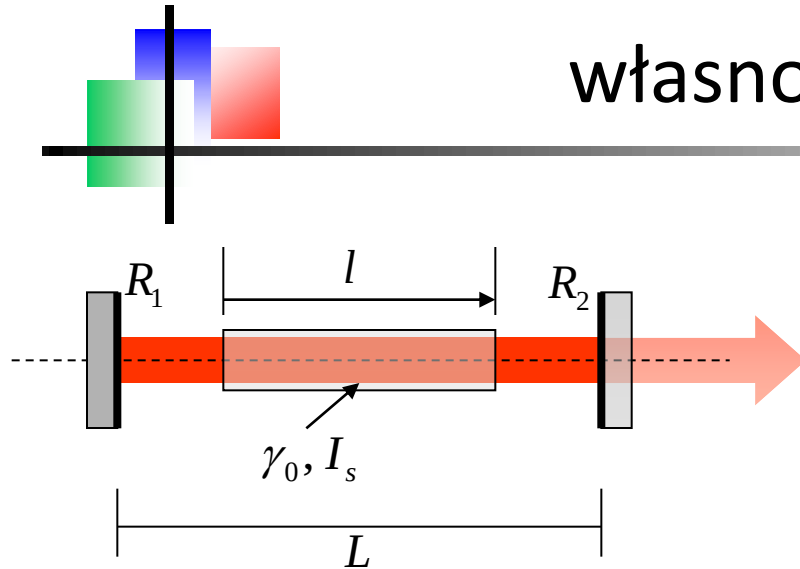
wykład:	Czesław Radzewicz
pokazy:	Radosław Chrapkiewicz, Filip Ozimek
ćwiczenia:	Ernest Grodner



Wykład 25 - przypomnienie

- procesy radiacyjne w atomach
 - emisja spontaniczna
 - emisja wymuszona
 - absorpcja
- związki pomiędzy współczynnikami Einsteina
- wzmacniacz laserowy
 - warunek wzmocnienia: dodatnia inwersja obsadzeń
 - wzmocnienie nienasycone
 - wzmocnienie nasycone
- schematy pompowania ośrodka laserowego
- wzmacniacz nasycony
- rezonatory optyczne: stabilność, mocy poprzeczne i podłużne

własności światła laserowego



6. Moc szczytowa (fizyka ekstremalna)
 $P \cong 5 \times 10^{17} \text{ W}$

7. Natężenie (fizyka ekstremalna)
 $I \cong 10^{21} \text{ W/cm}^2$

8. Jasność spektralna

$$\beta_\nu = \frac{P}{A d \Omega d\nu}$$

$\nearrow$ powierzchnia $\nwarrow$ kąt bryłowy

1. Minimalna (dyfrakcyjna) rozbieżność wiązki (lidar)

$$\Theta = \frac{\lambda}{\pi w_0}$$

2. Monochromatyczność (spektroskopia)

$$d\nu \leq 10 \text{ mHz}, \frac{d\nu}{\nu} < 10^{-17}$$

3. Spójność przestrzenna jest całkowita jeśli tylko laser pracuje w 1 modzie poprzecznym

4. Spójność czasowa może być ekstremalnie duża (interferencja)

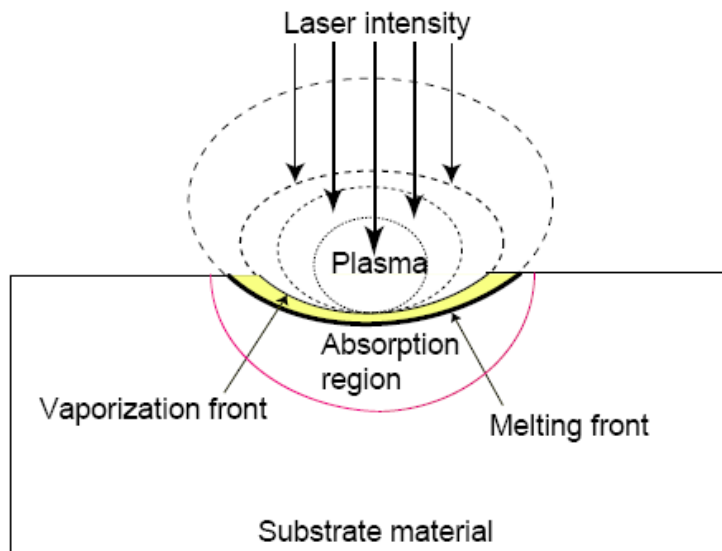
$$\tau_c \cong \frac{1}{d\nu}$$

$\nearrow$ czas spójności $\nwarrow$ szerokość widma

5. Czas trwania impulsu (pomiar procesów ultraszybkich)

$$\tau_p = 10^{-16} \text{ s} \div \infty$$

mikroobróbka laserowa, 1



Materiały:

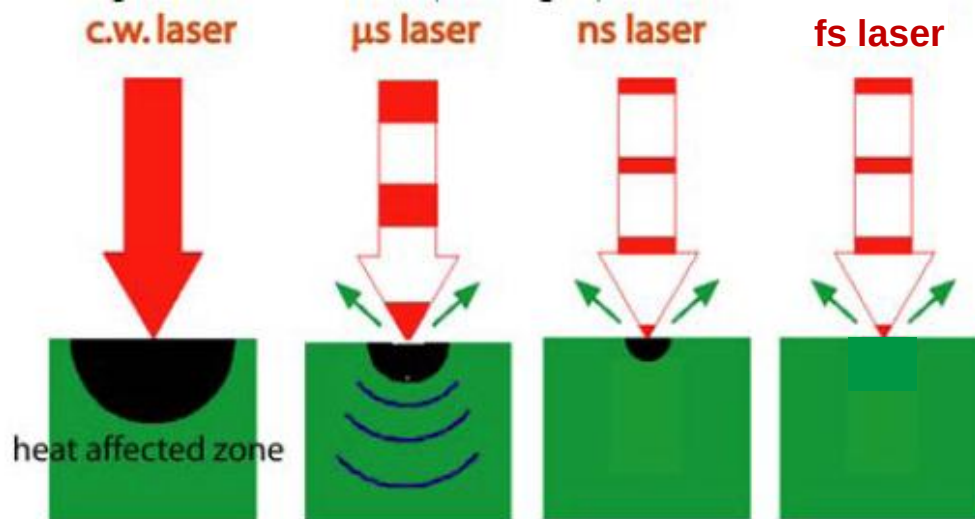
- polimery
- metale
- półprzewodniki
- szkła
- ceramika
- kompozyty

Wynik zależy od:

- materiału
- długości fali światła
- natężenia
- czasu trwania impulsu

Mechanizmy:

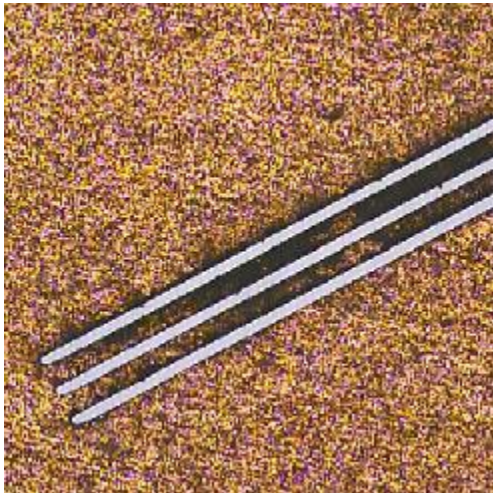
- termiczny
- „fizyczny”
- „chemiczny”



mikroobróbka laserowa, 2

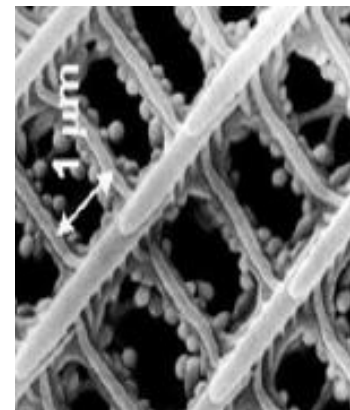
Źródła:

- * DUV excimer lasers;
- * High rep-rate UV solid-state laser;
- * High rep-rate visible solid-state lasers;
- * High rep rate infra-red lasers;
- * Ultrafast solid-state lasers.
- * Other lasers as required.



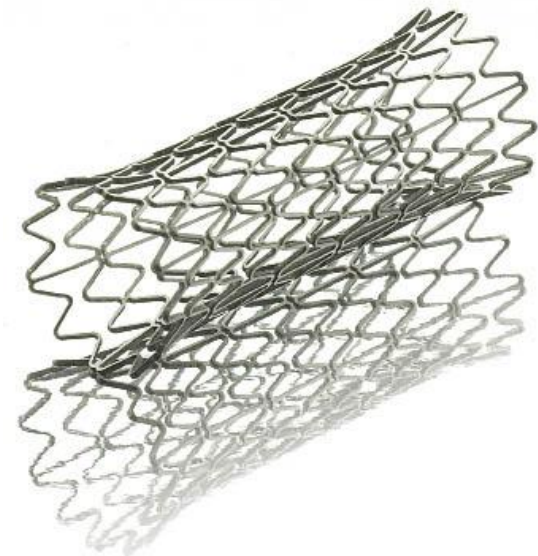
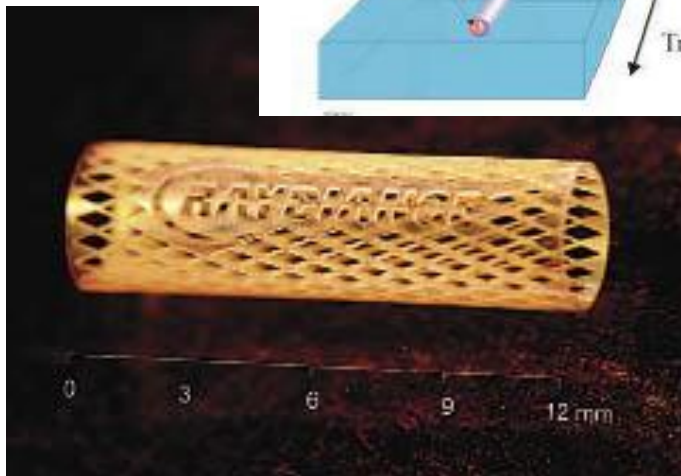
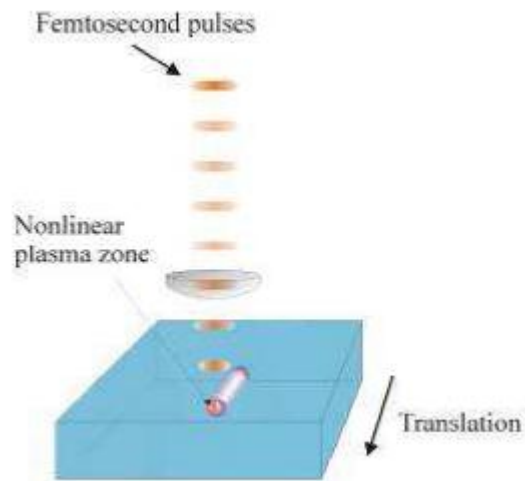
Szczeliny $40\text{ }\mu\text{m}$ w cyrkonii o grubości $100\text{ }\mu\text{m}$

skrzydło motyla

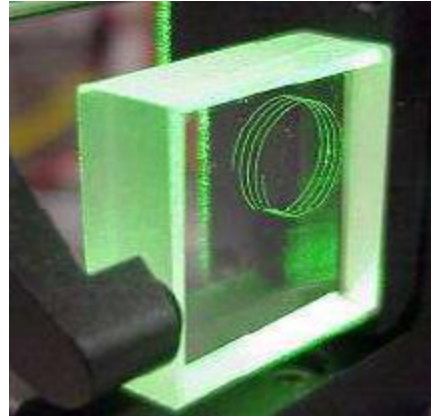
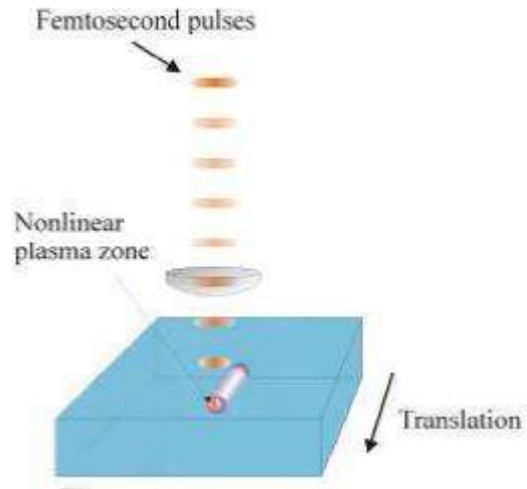


mikroobróbka laserowa, 3

produkcja stentów



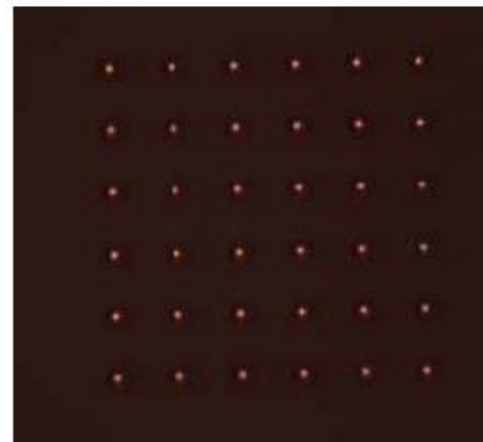
mikroobróbka laserowa, 4



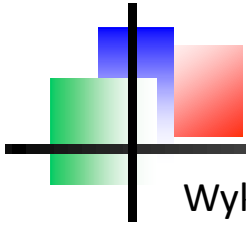
światłowody w szkle



curved
waveguides

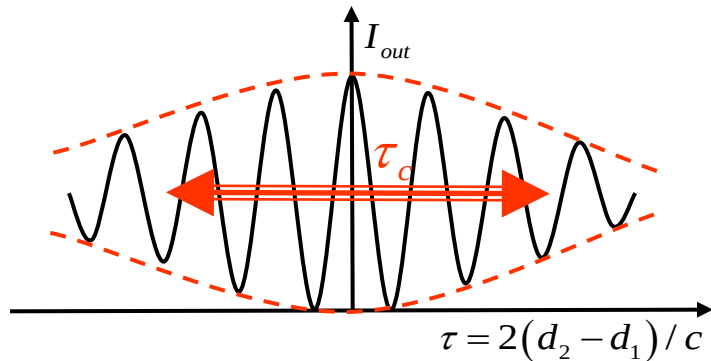


6x6
waveguide
array



Optical Coherence Tomography (OCT), 1

Wykład 11: interferometr Michelsona + światło o małej drodze spójności



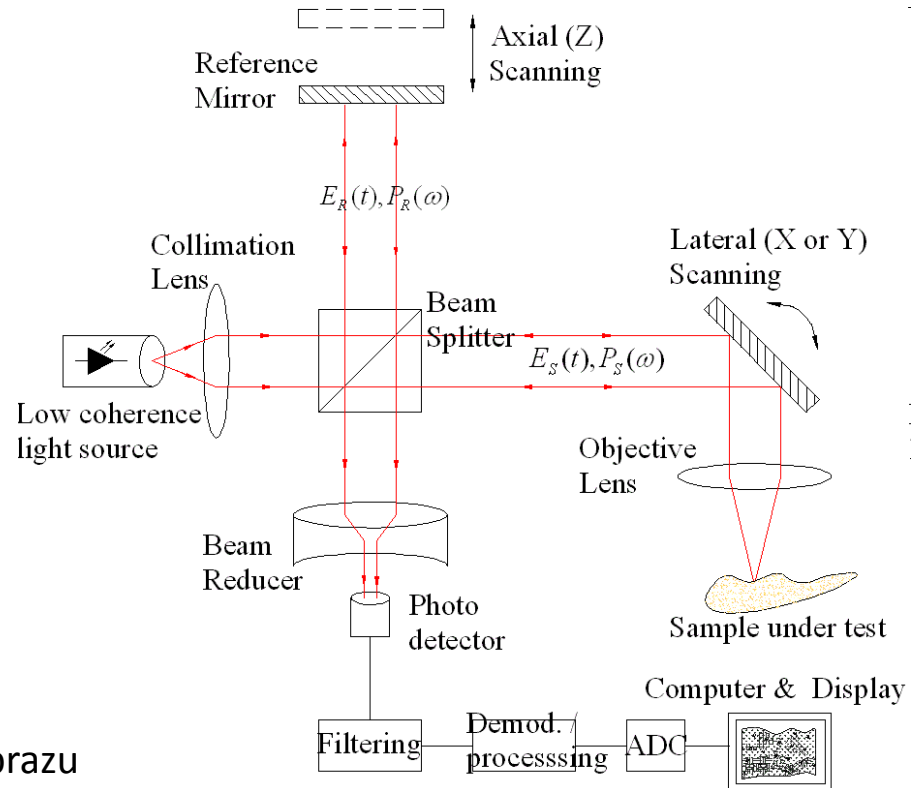
czas spójności: τ_c

droga spójności: $l_c = \tau_c c$

Procedura zbierania danych:

1. Pojedynczy przesuw lustra daje jedną linię obrazu
2. Aby zarejestrować kolejną linię trzeba przesunąć wiązkę
3. Obrazy 3D wymagają przesuwania w dwóch kierunkach

wersja „time domain”



OCT, 2

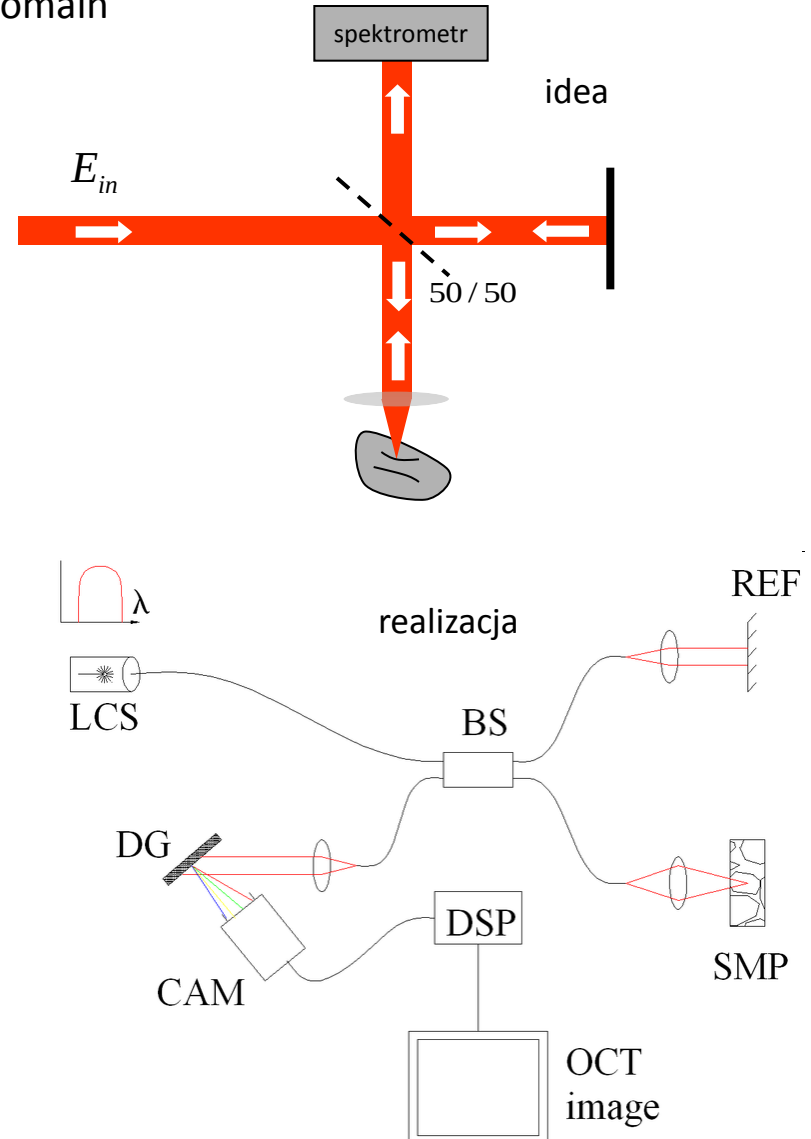
wersja „frequency domain”

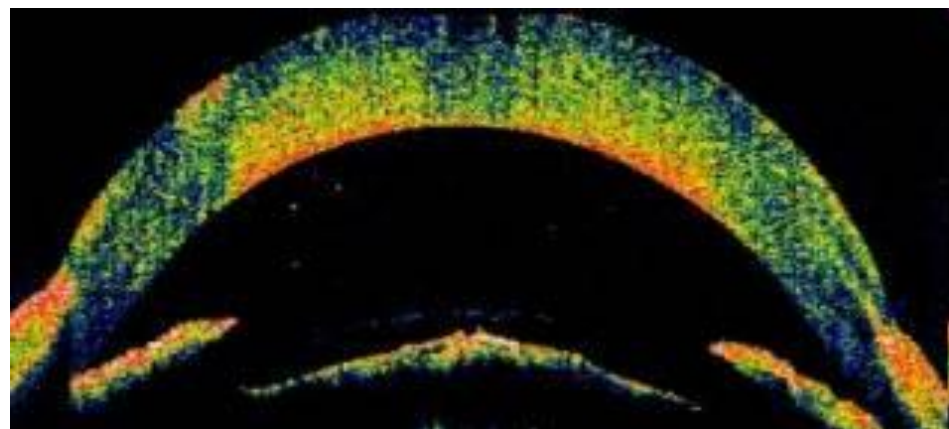
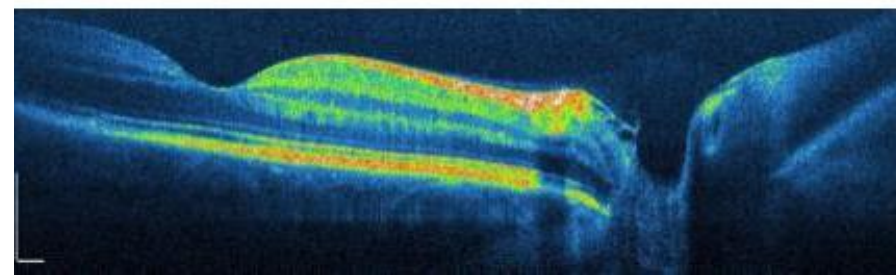
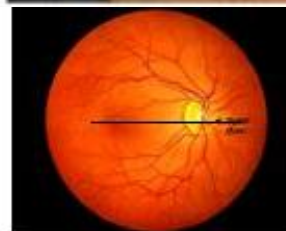
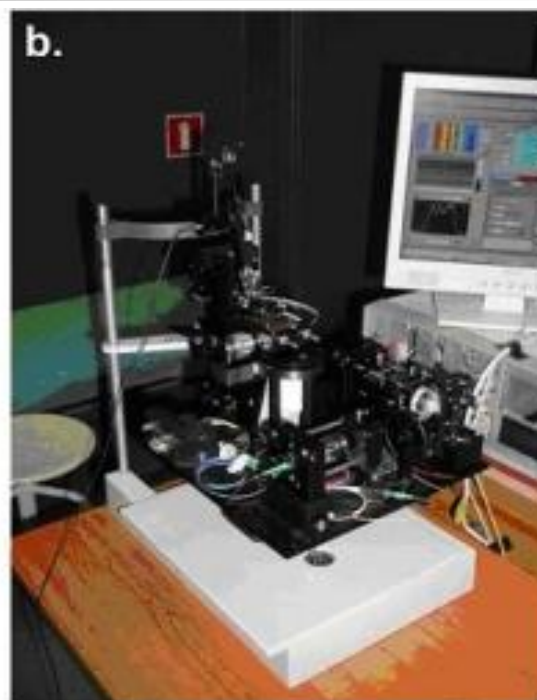
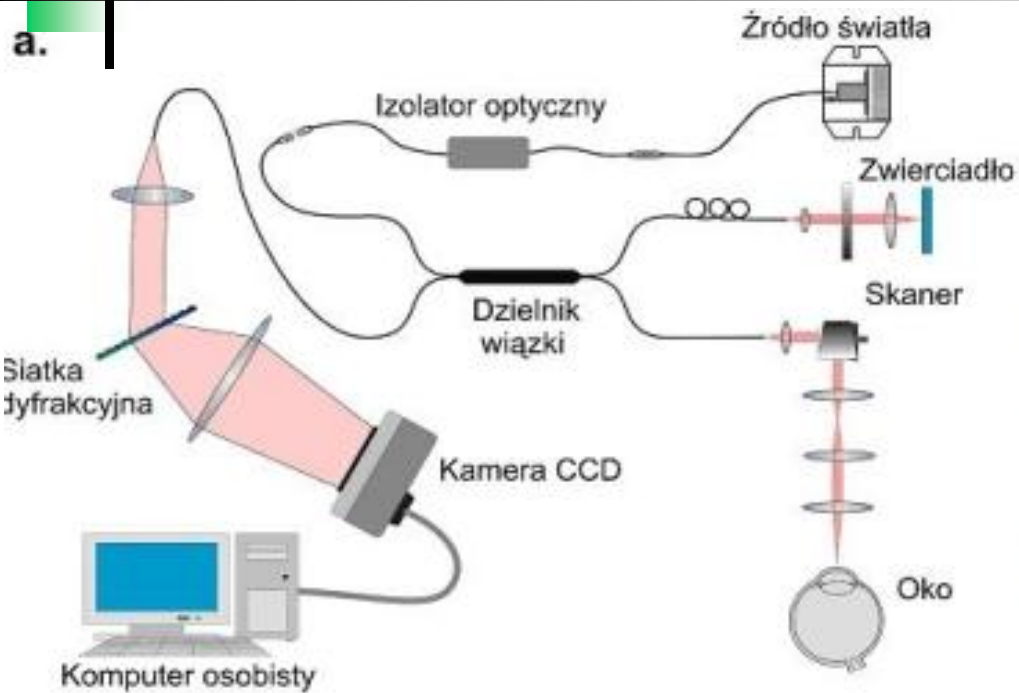
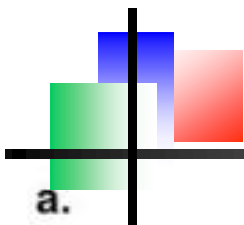
Mierzymy widmo fali wyjściowej
z interferometru Michelsona:

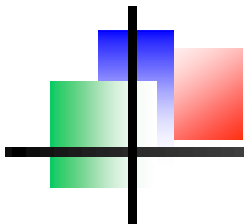
$$\begin{aligned} E_{out}(t, \tau) &= E(t) + E(t + \tau) \\ \tilde{E}_{out}(\omega, \tau) &= \int_{-\infty}^{\infty} E_{out}(t, \tau) e^{-i\omega t} dt = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} [E(t) + E(t + \tau)] e^{-i\omega t} dt = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} E(t) e^{-i\omega t} dt + \int_{-\infty}^{\infty} E(t + \tau) e^{-i\omega t} dt = \\ &= \tilde{E}(\omega) [1 + e^{i\omega \tau}] \end{aligned}$$

$$I_{out}(\tau) = 2I(\omega)[1 + \cos(\omega\tau)]$$

Analiza fourierowska widma daje dużo wartości τ
opowiadających różnym centrom rozpraszającym

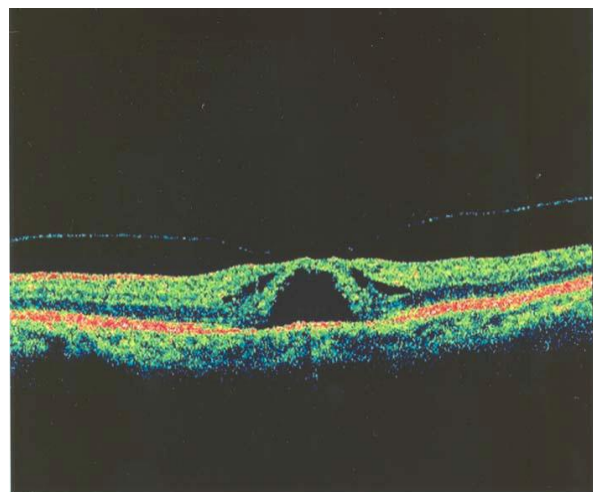
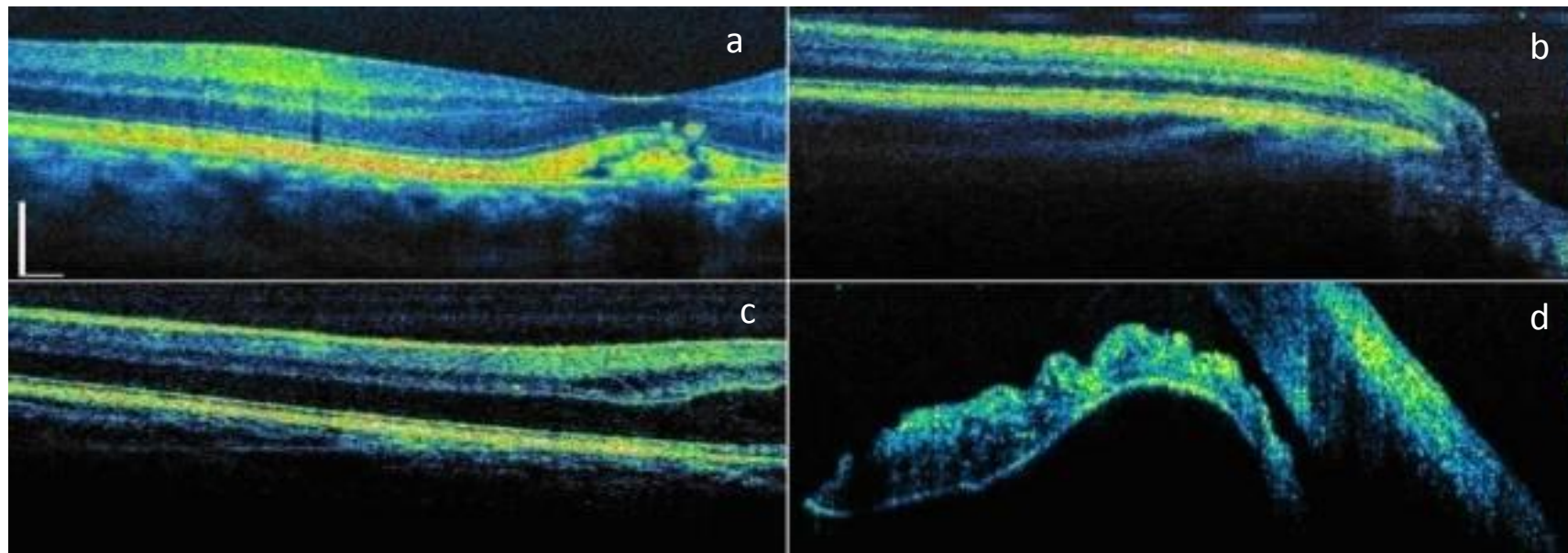






OCT, 4

UMK, Instytut Fizyki, Zespół Fizyki Medycznej

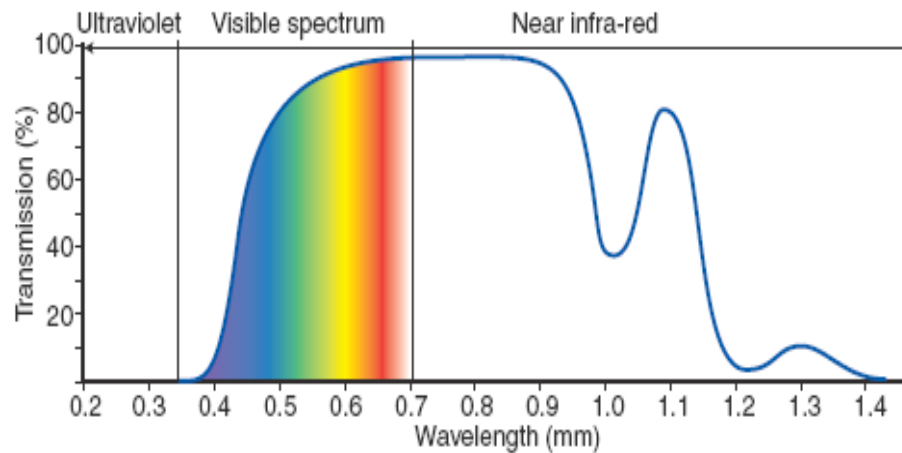


- a – starcze zwyrodnienie plamki żółtej
- b – tarcza nerwu wzrokowego w jaskrze
- c – dziura w plamce żółtej
- d – deformacja tęczówki

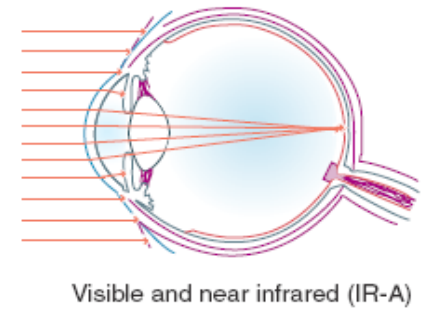
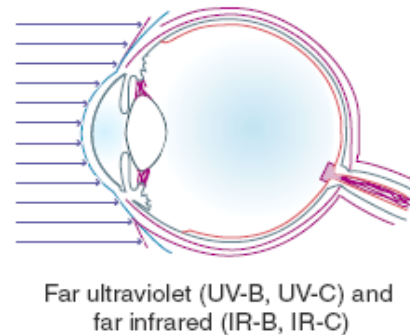
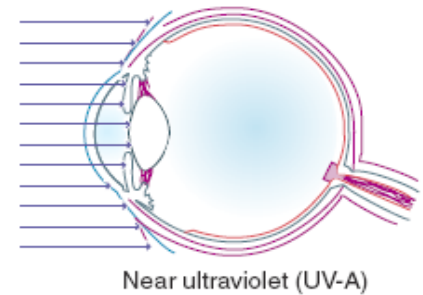
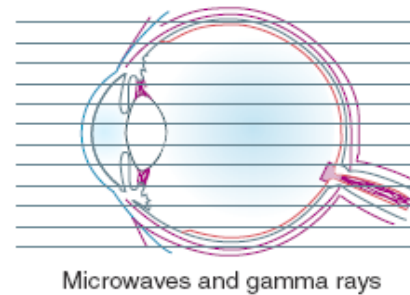
odklejona siatkówka

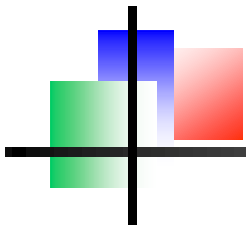
BHP laserów, 1

3 The transmission of radiant energy through the human eye



oczy

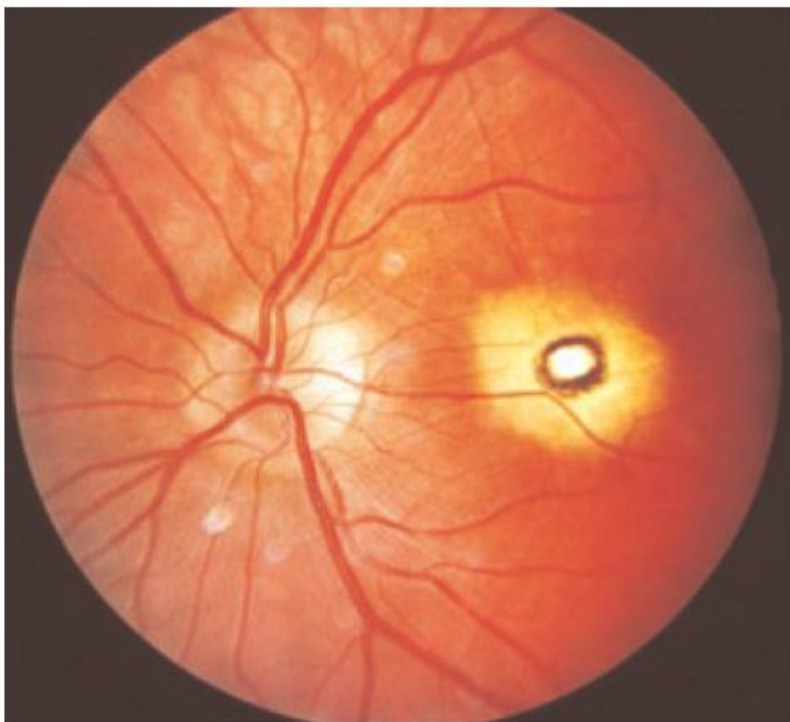




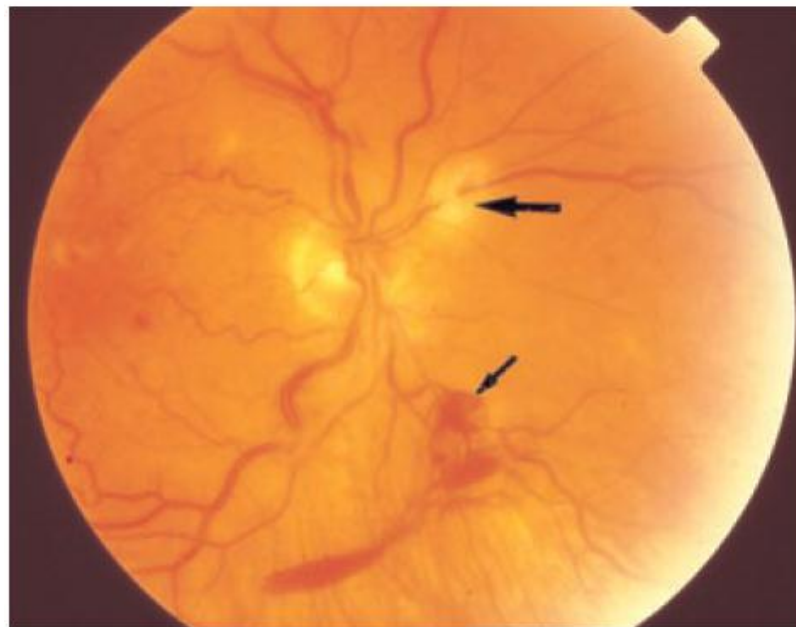
BHP laserów, 2

oczy

5 Sun burn of the eye



6 Retinal injury by laser



BHP laserów, 3

skóra

4 Adverse effects of lasers

Adapted from Sliney DH, Wolbarsht ML. Safety with laser and other optical sources. A comprehensive handbook. New York: Plenum Press, 1980.

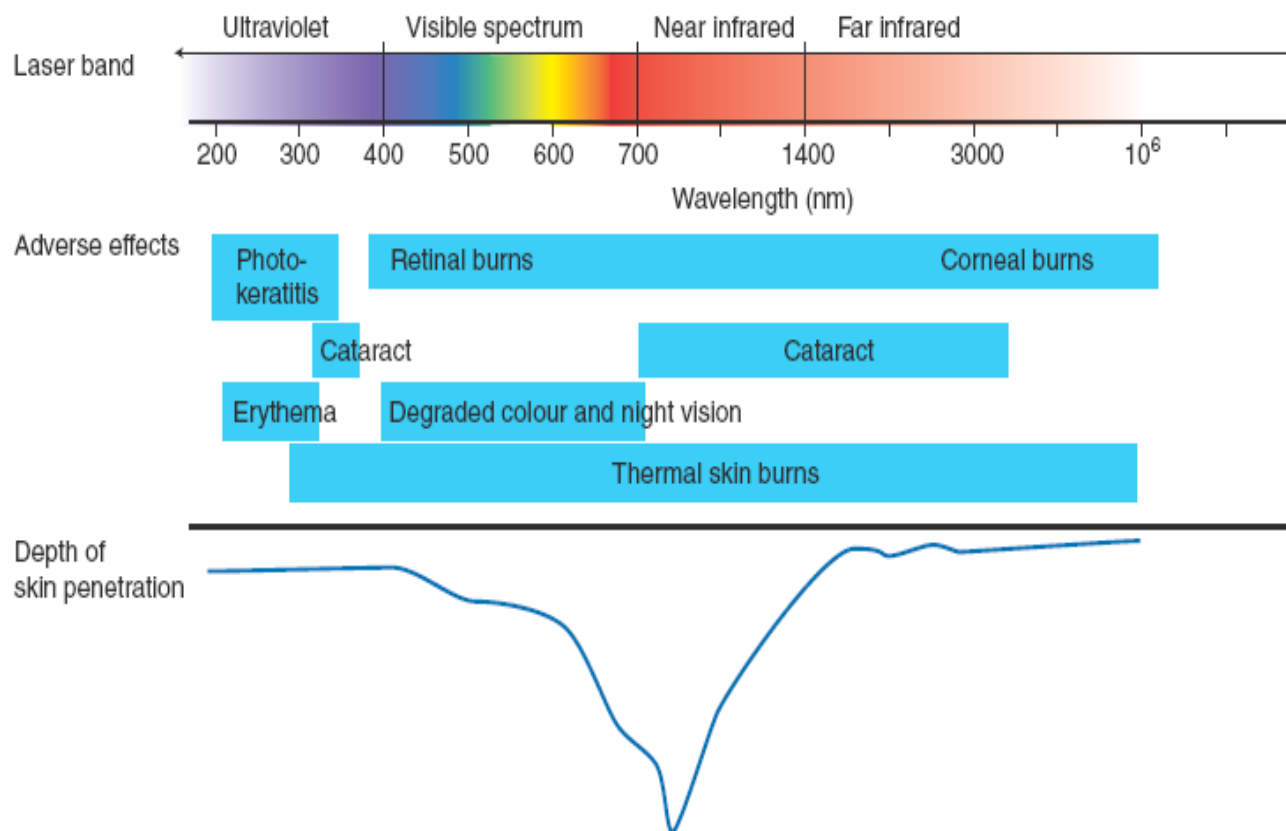
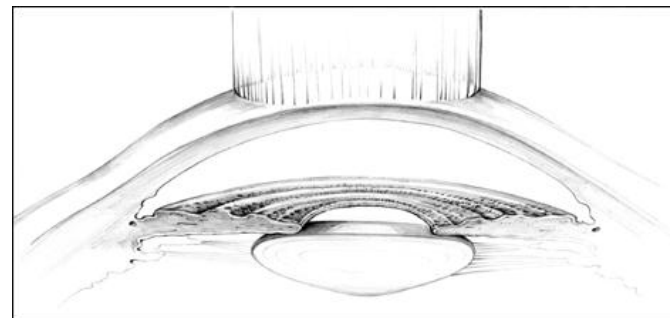
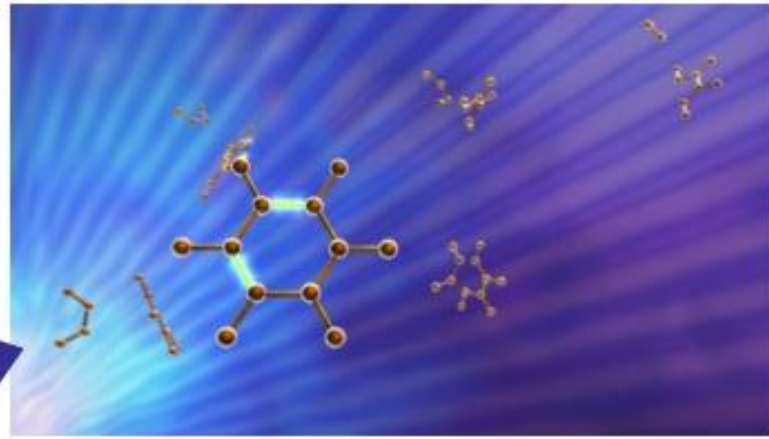
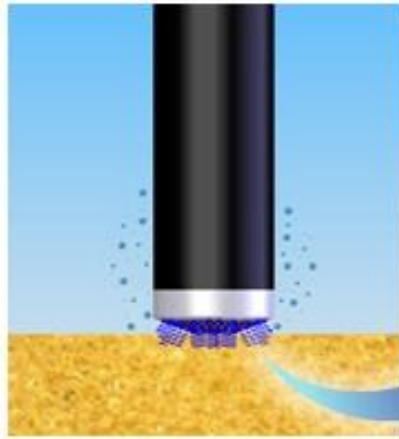


foto-ablacja w okulistyce, 1

Fotoablacja – usuwanie materiału organicznego przy pomocy wiązki lasera UV

1 Dissolving molecular bonds



PRK: epithelium scraped off and photoablation applied directly to the central 5 – 7 mm corneal region

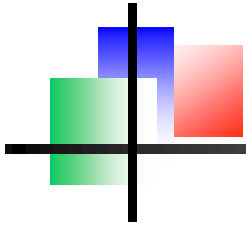
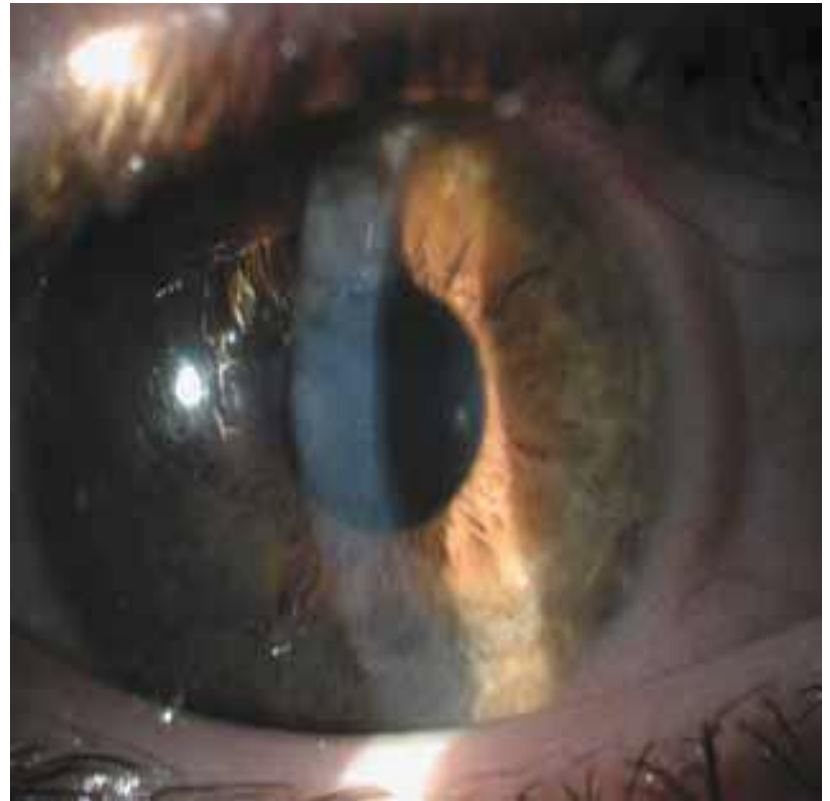


foto-ablacja w okulistyce, 2

Problem: matowienie rogówki

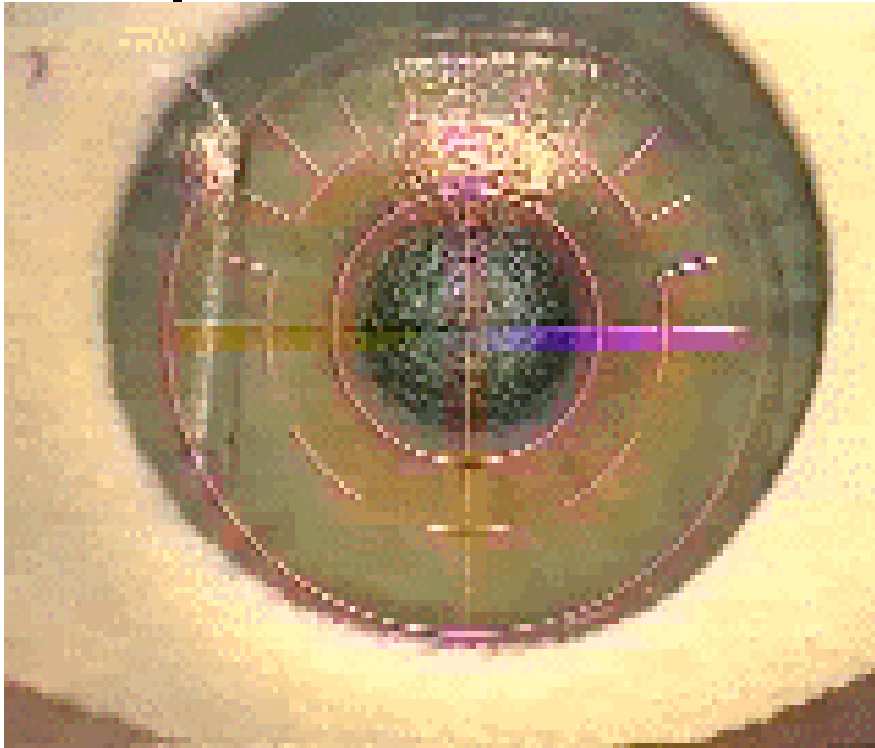


przed zabiegiem



6 miesięcy po zabiegu

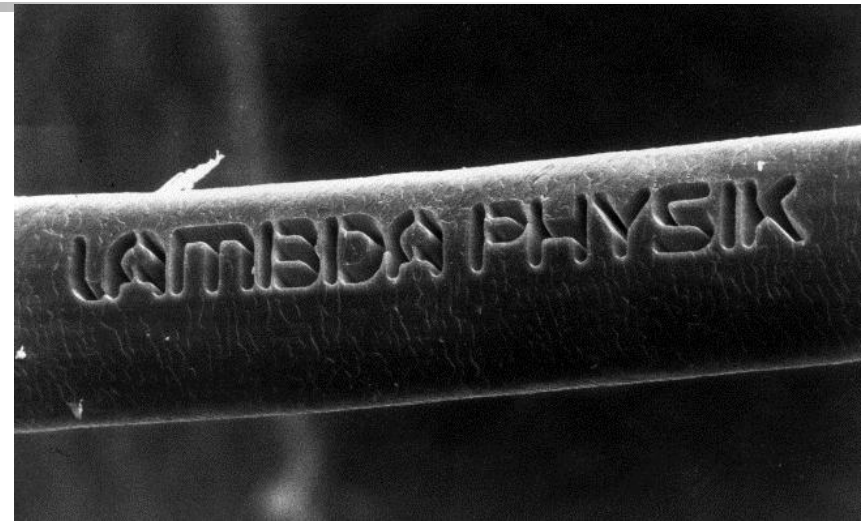
foto-ablacja w okulistyce, 3



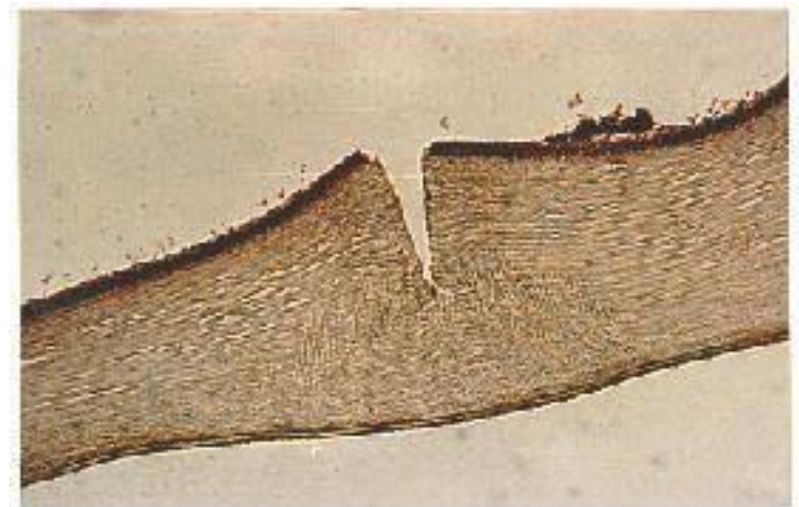
LASIK: Laser-ASSisted *In-situ* Keratomileusis

LASIK:

- (1) odcięcie płatka,
- (2) rzeźbienie laserem UV,
- (3) przykrycie płatkem



Excimer laser engraving of human hair



Rabbit cornea showing clean region of ablation through half of corneal thickness

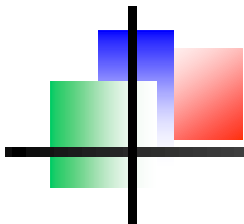
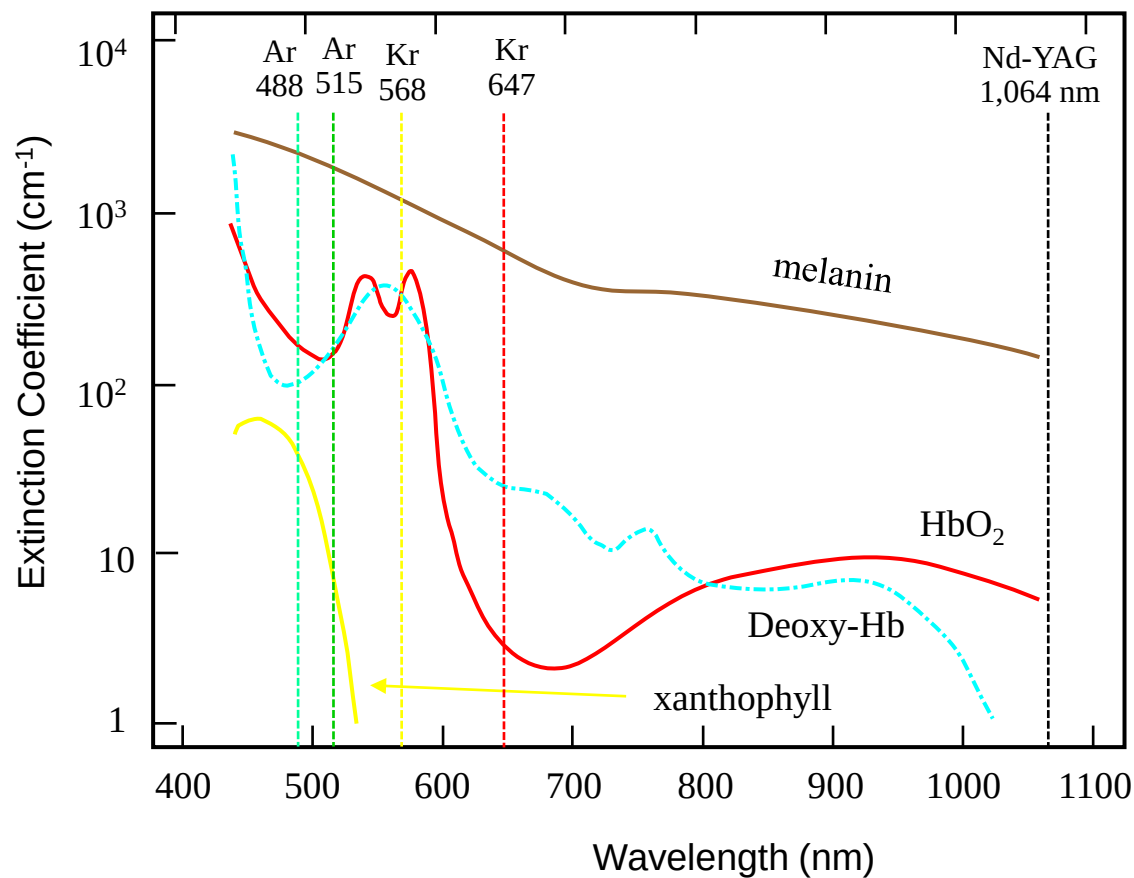


foto-koagulacja w okulistyce, 1

Fotokoagulacja – „spiekanie” pękniętych i pasożytniczych naczyń kwionośnych

Widma absorpcji ważnych chromoforów występujących w oku



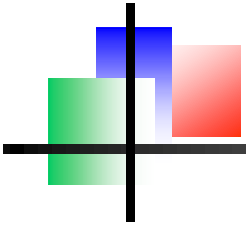
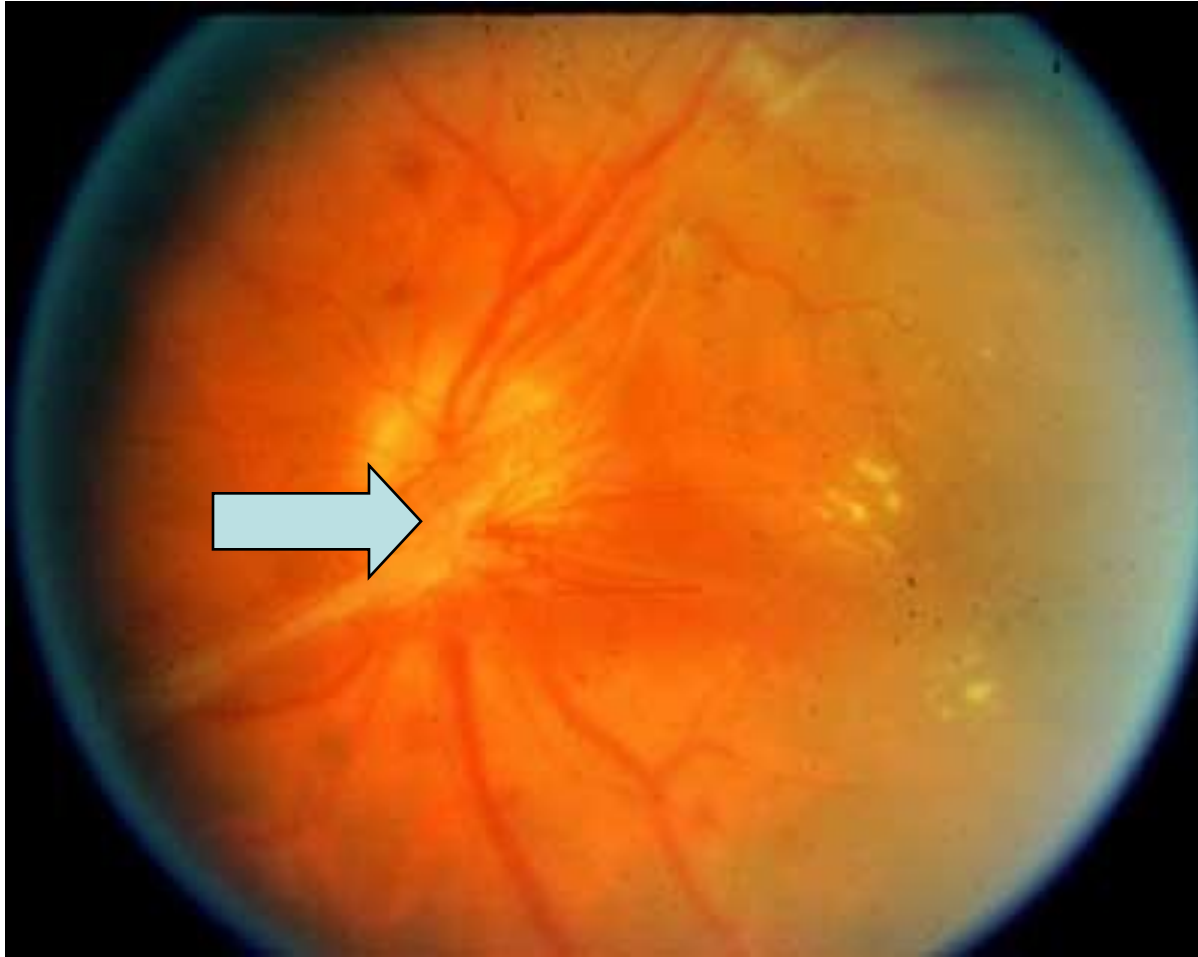


foto-koagulacja w okulistyce, 2



Dno oka przed zabiegiem – nowe naczynia krwionośne oraz struktury włókniste

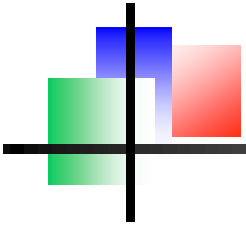
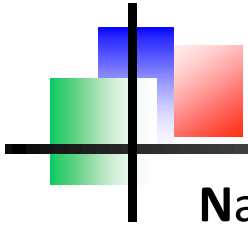


foto-koagulacja w okulistyce, 3



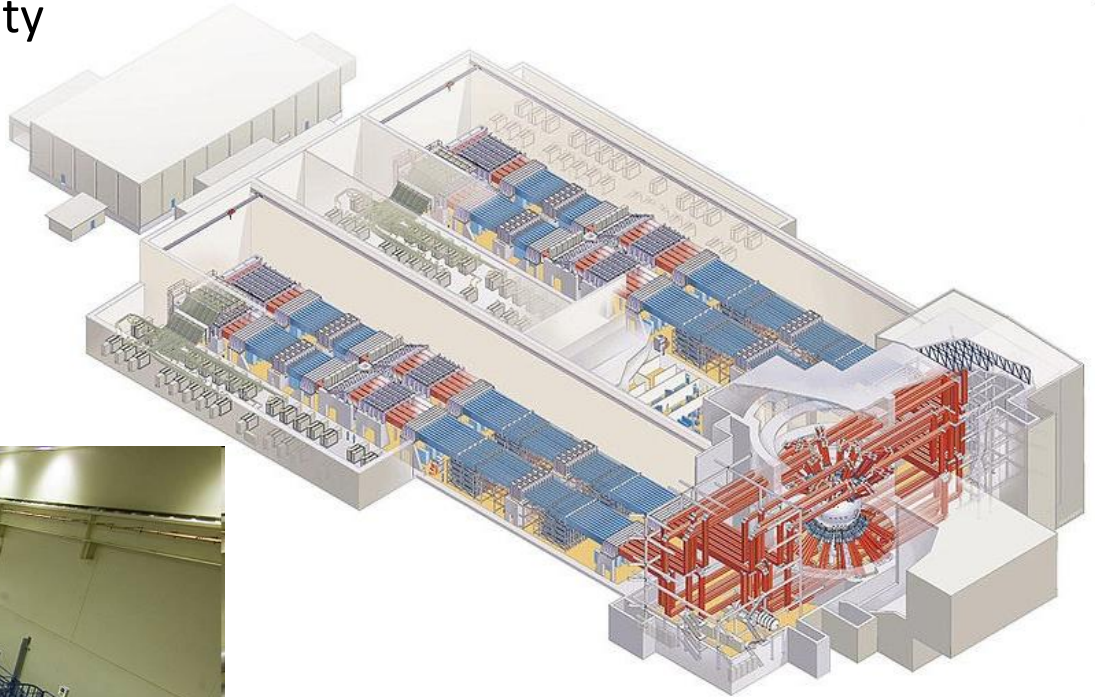
Dno oka po zabiegu



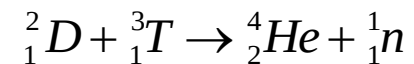
NIF, 1

National Ignition Facility

200MJ, 4ns → 500TW = 5×10^{14} W
192 wiązki laserowe



cel = laserowa fuzja termojądrowa

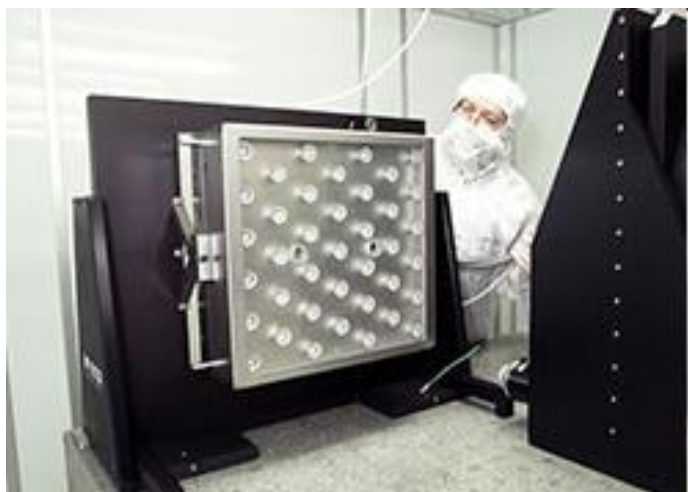
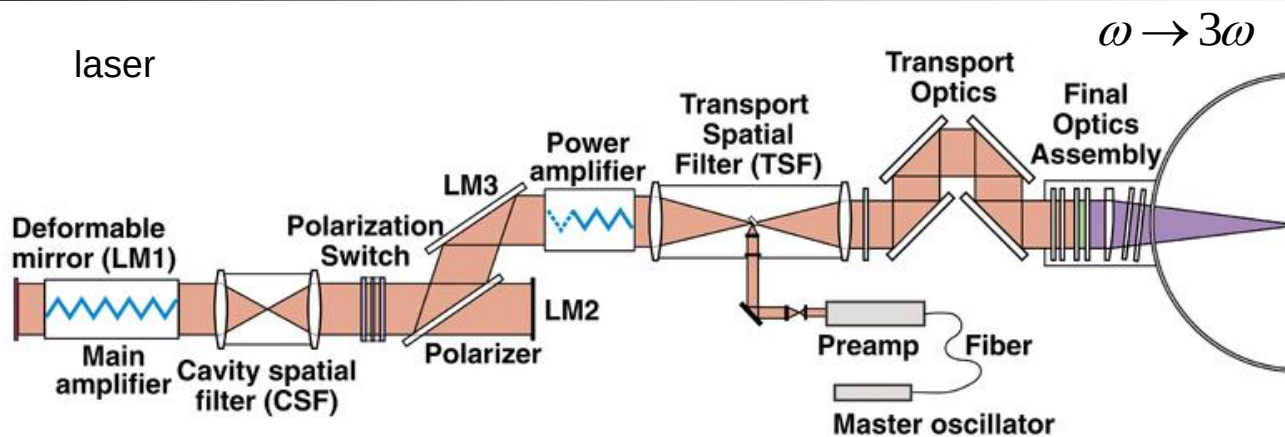


NIF, 2

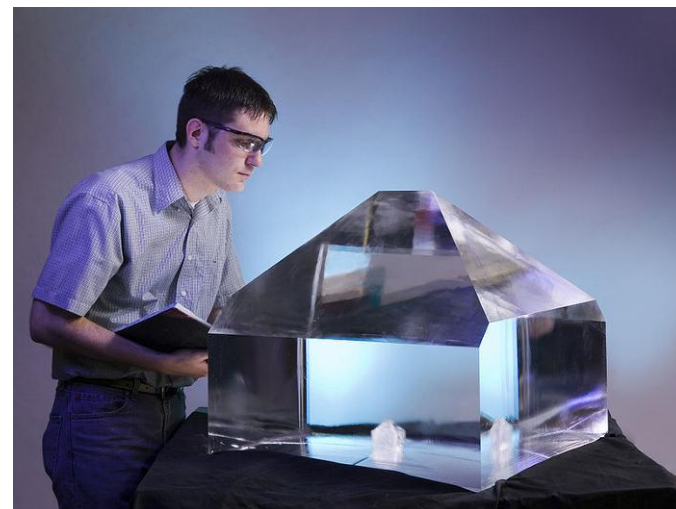


NIF, 3

laser



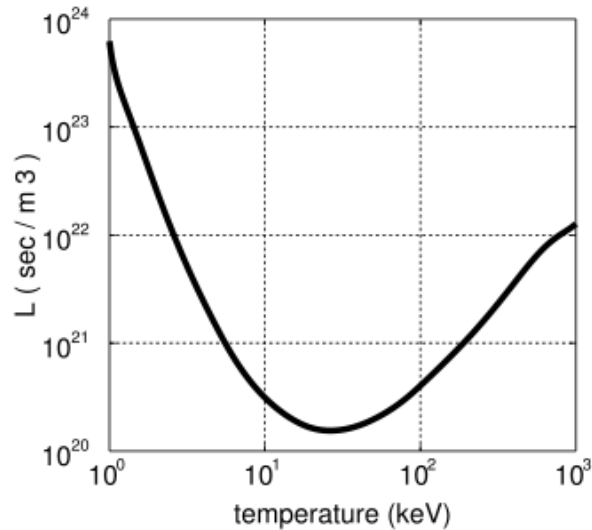
deformowalne lustro



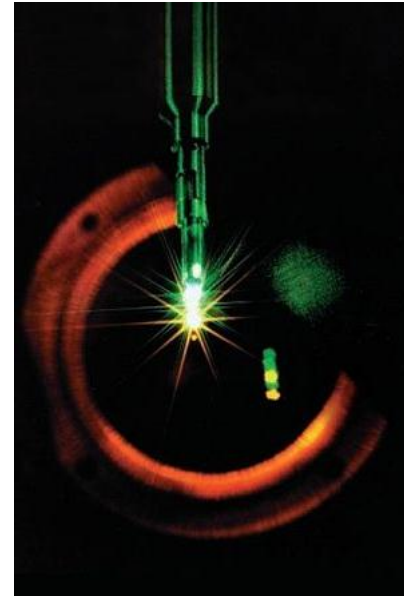
kryształ KDP

NIF, 4

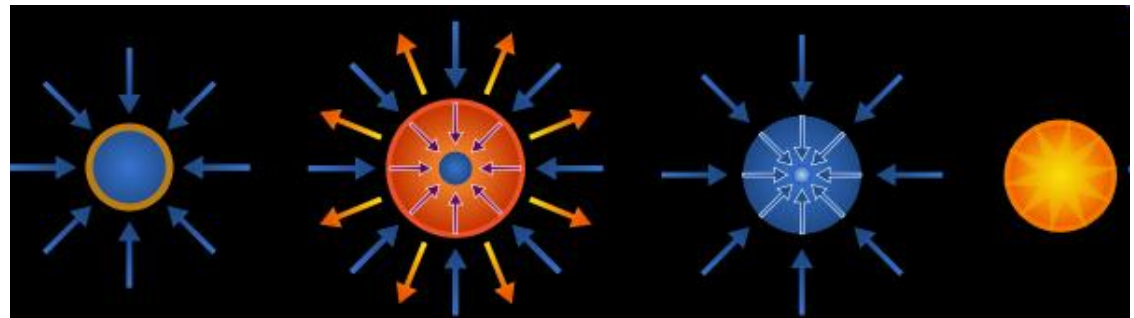
Inertial confinement fusion



The [deuterium-tritium](#) L function (minimum $n_e \tau_E$ needed to satisfy the Lawson criterion) minimizes near the temperature 25 [keV](#) (300 million kelvins).



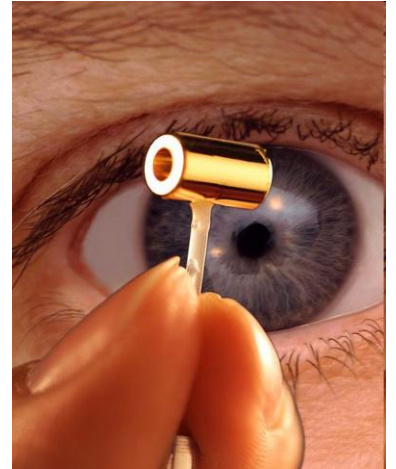
$$n_e T \tau_E \geq 10^{21} \text{ keV s/m}^3$$



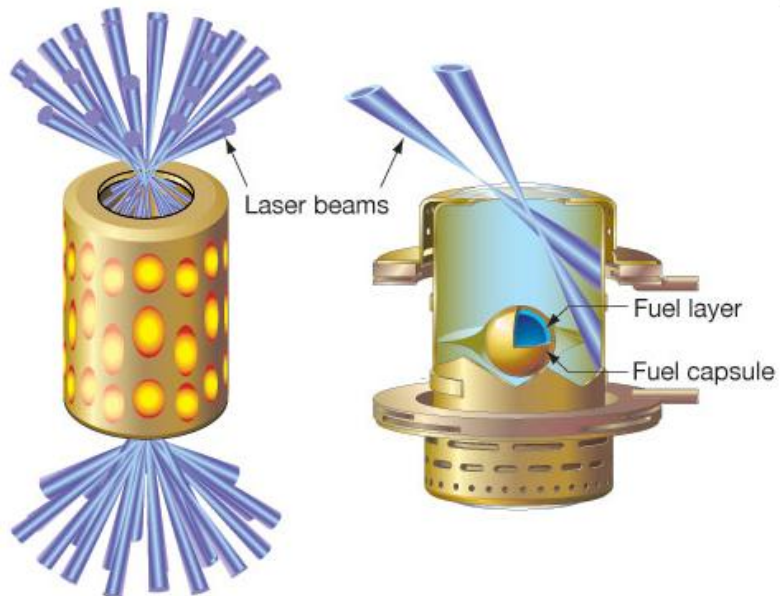
NIF, 5



komora

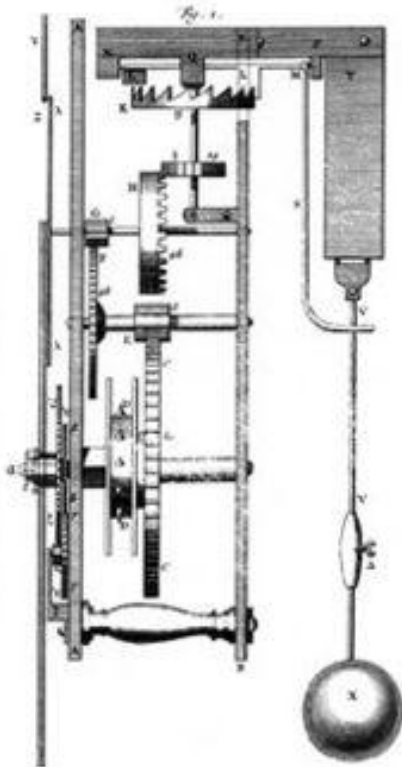


hohlraum



historia zegarmistrzostwa, 1

Średniowiecze: zegary mechaniczne



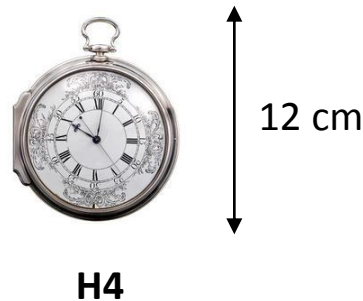
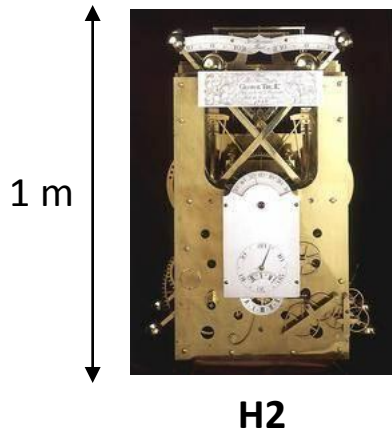
16-17 wiek: Galileusz, wahadło
17 wiek: zegary wahadłowe
Huyghens, $10^{-3} \div 10^{-4}$



historia zegarmistrzostwa, 2

1714, Board of Longitude ogłasza Longitude Prize

Izaak Newton (Board member): "...by reason of the Motion of a Ship, the Variation of Heat and Cold, Wet and Dry, and the Difference of Gravity in Different Latitudes, such a Watch hath never been made."

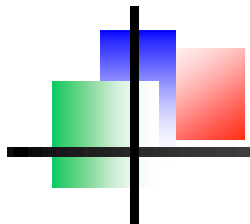


20 wiek zegary wahadłowe:

- Riefler 10^{-7} (5 sekund na rok)
- Shortt $2 \cdot 10^{-8}$ (1 sekunda na rok)



John Harrison (1693-1776)



historia zegarmistrzostwa, 3

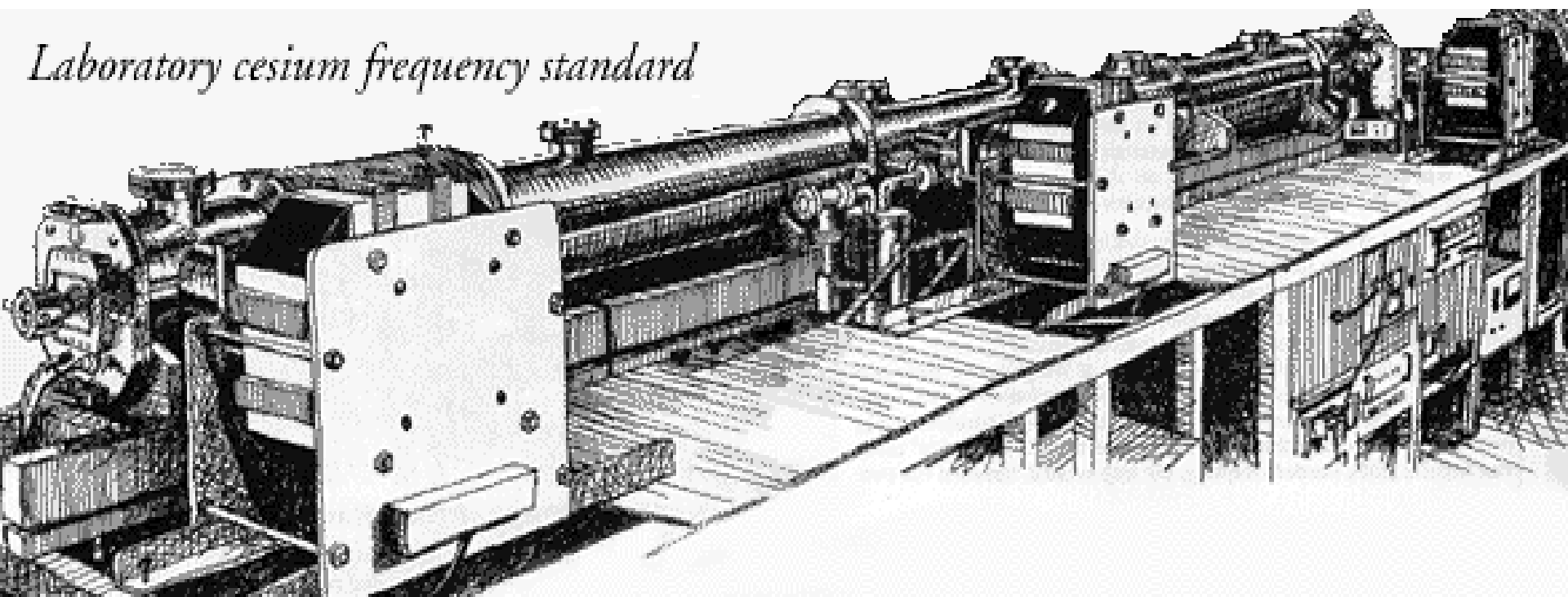
Początek 20 wieku: pierwsze zegary elektryczne

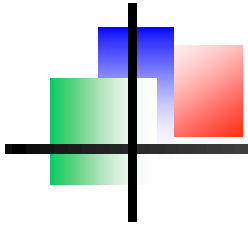
1929: pierwszy zegar kwarcowy

1955: atomowy zegar cezowy

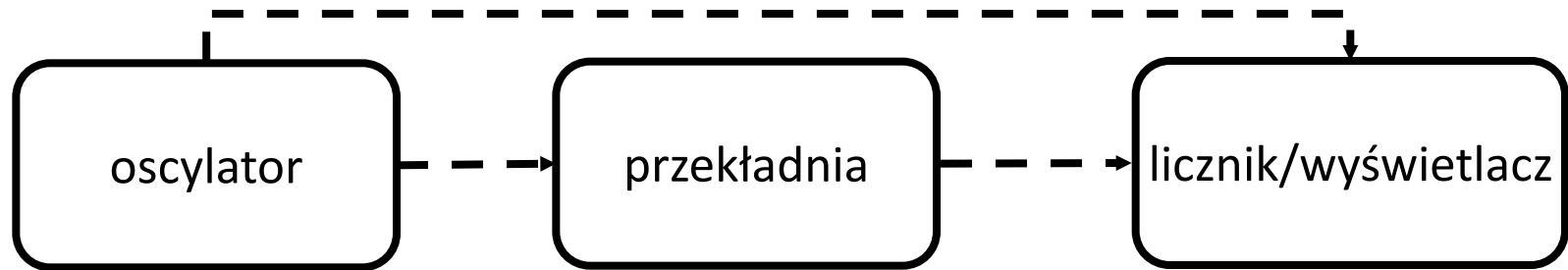
L. Essen, NPL

Laboratory cesium frequency standard

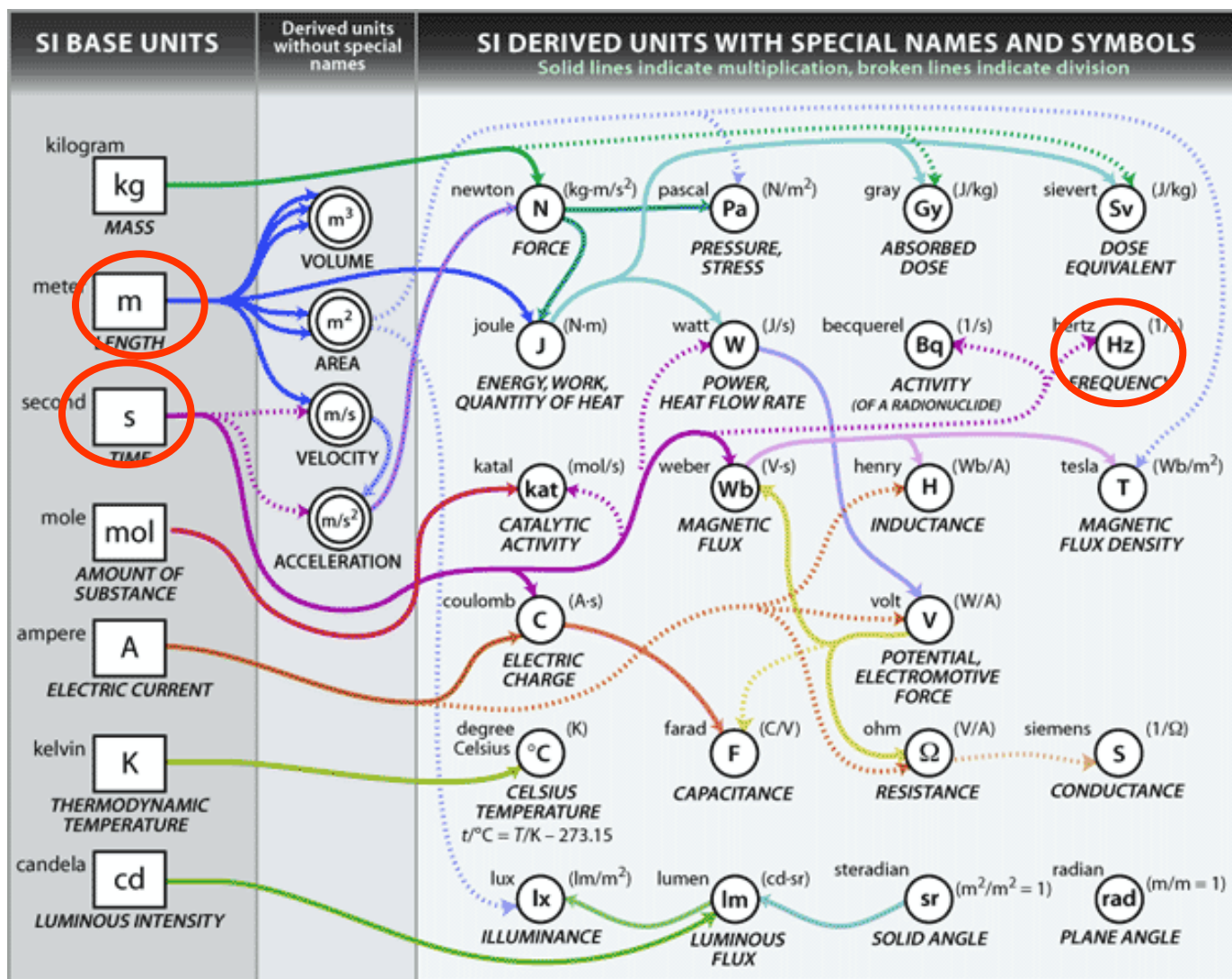


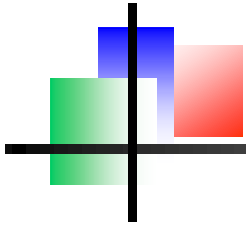


podstawy fachu



podstawowe jednostki SI





definicja sekundy i metra

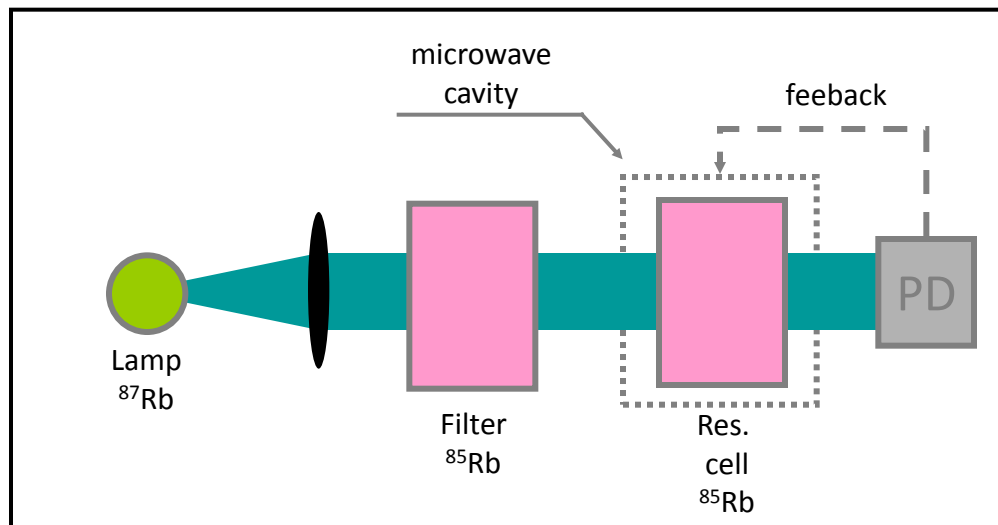
Od 1967:

1 second = the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caesium 133 atom.

Od 1983:

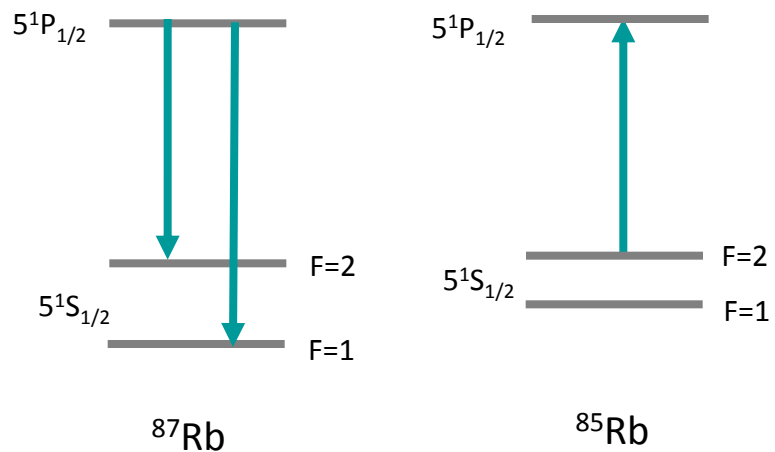
The metre is the length of the path traveled by light in vacuum during a time interval of $1/299,792,458$ of a second.

zegar rubidowy

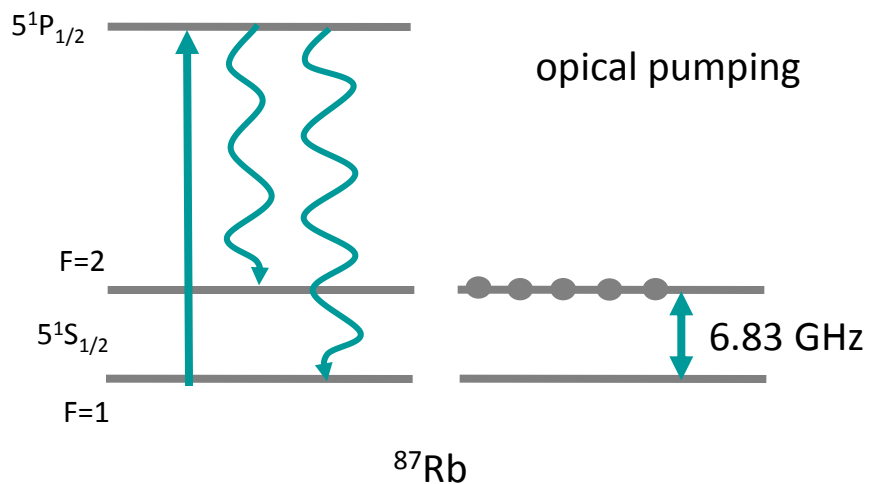


6 834 682 610 . 904 324 Hz

filtering

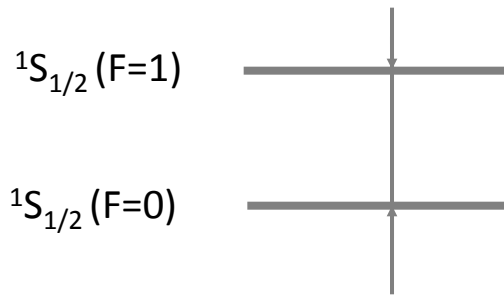


optical pumping



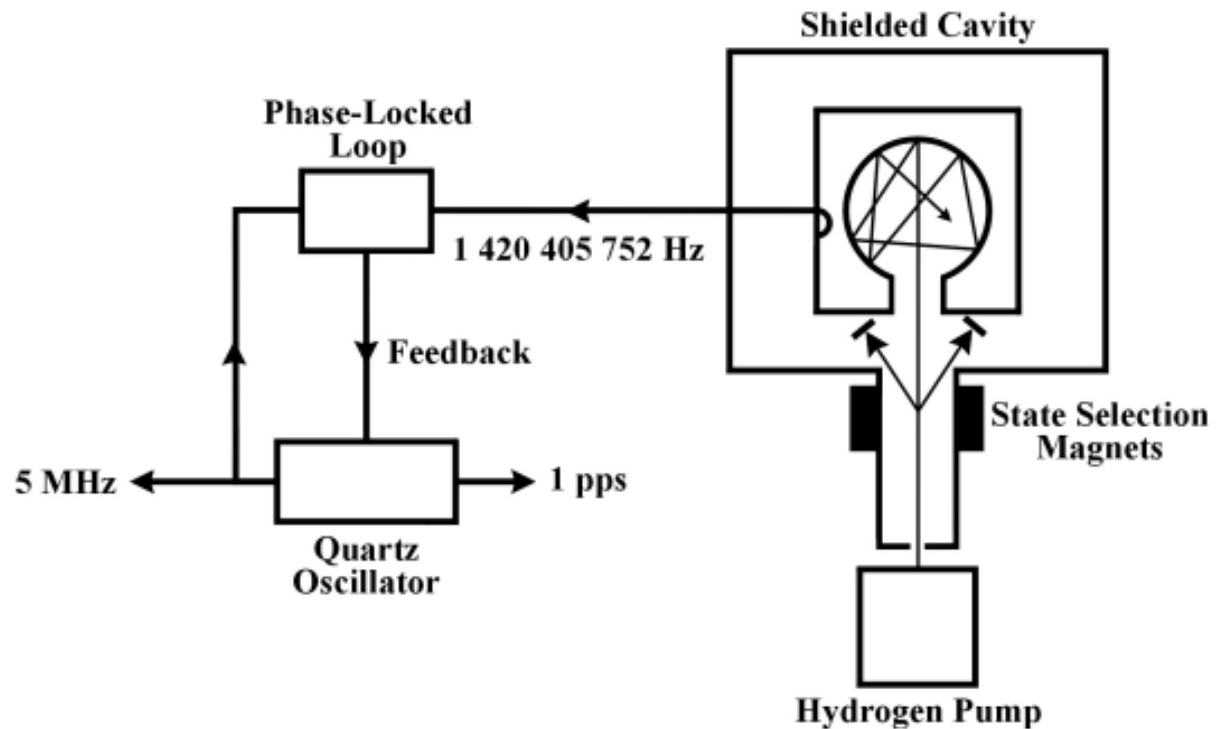
maser wodorowy

hydrogen atom – ground
state hyperfine splitting

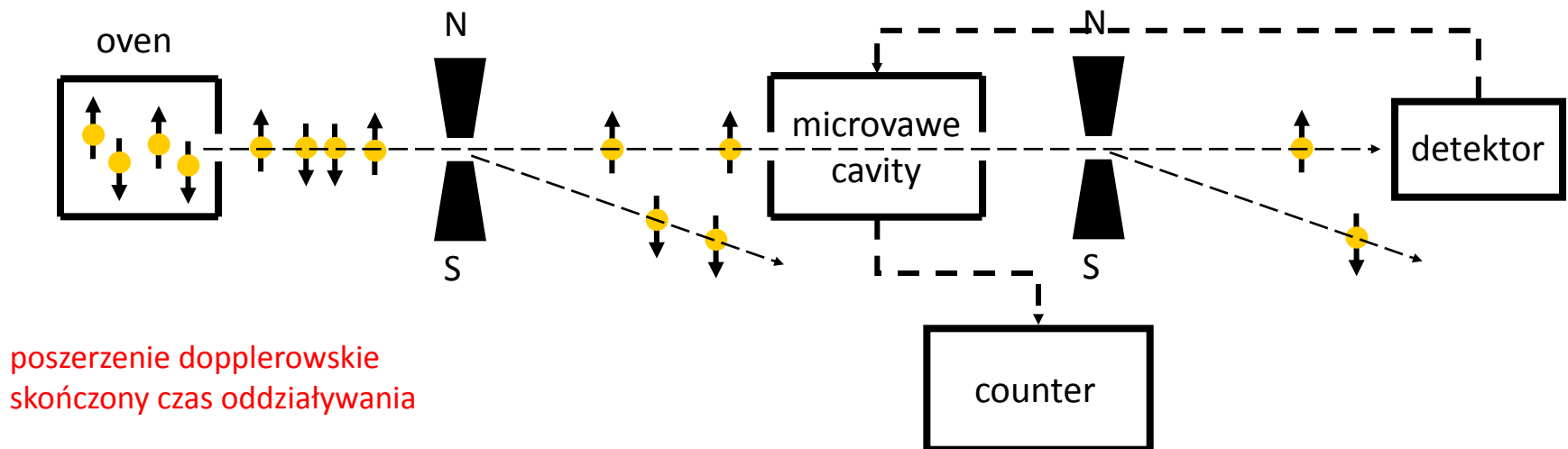
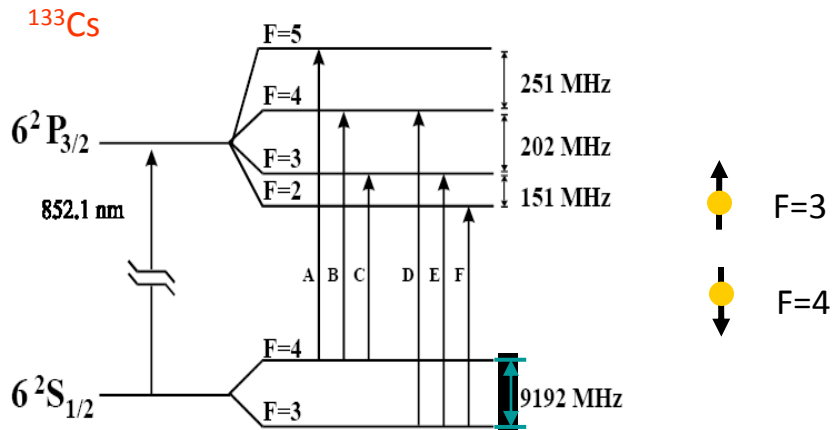


1,420,405,752 Hz

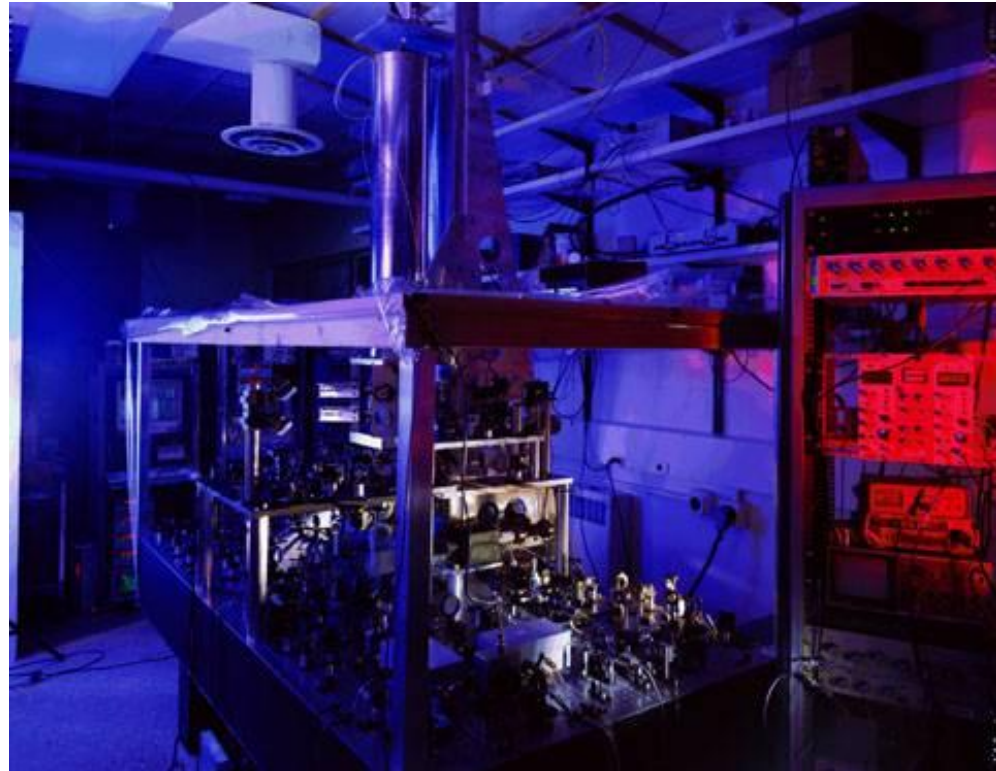
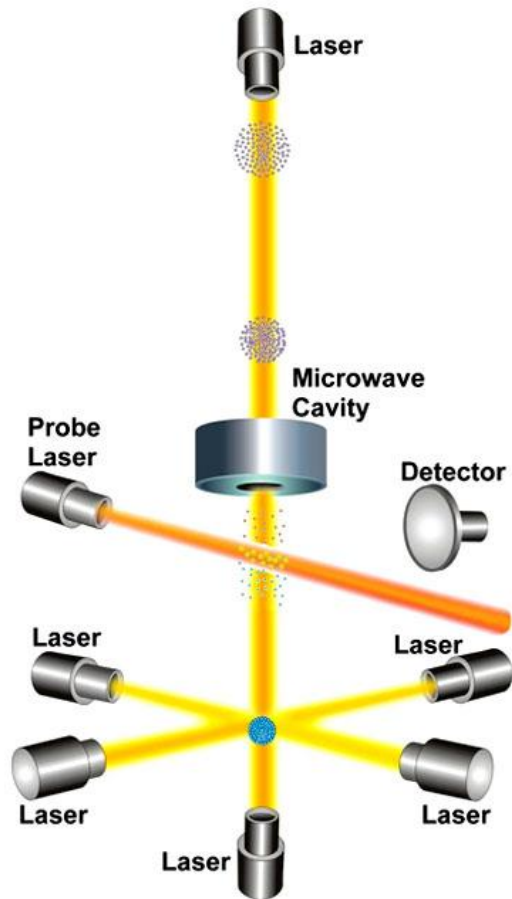
Ramsey, 1960



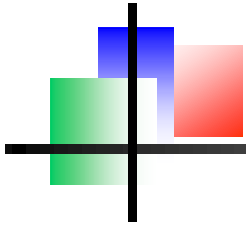
mikrofalowy zegar cezowy



fontanna cezowa



$$\Delta\nu/\nu \leq 6 \cdot 10^{-16}$$



dlaczego zegar optyczny?

Odchylenie Allana dla zegarów atomowych:

$$\sigma(\tau) = \left\langle \frac{\Delta f_{rms}}{f} \right\rangle_{\tau} \cong \frac{\delta f}{f} \sqrt{\frac{1}{\tau N}}$$

gdzie:

f – częstość przejścia w atomie

δf – szerokość linii spektralnej

τ – czas uśredniania

N – liczba atomów

mikrofale

$$f_0 = 10^9 \div 10^{10} \text{ Hz}$$

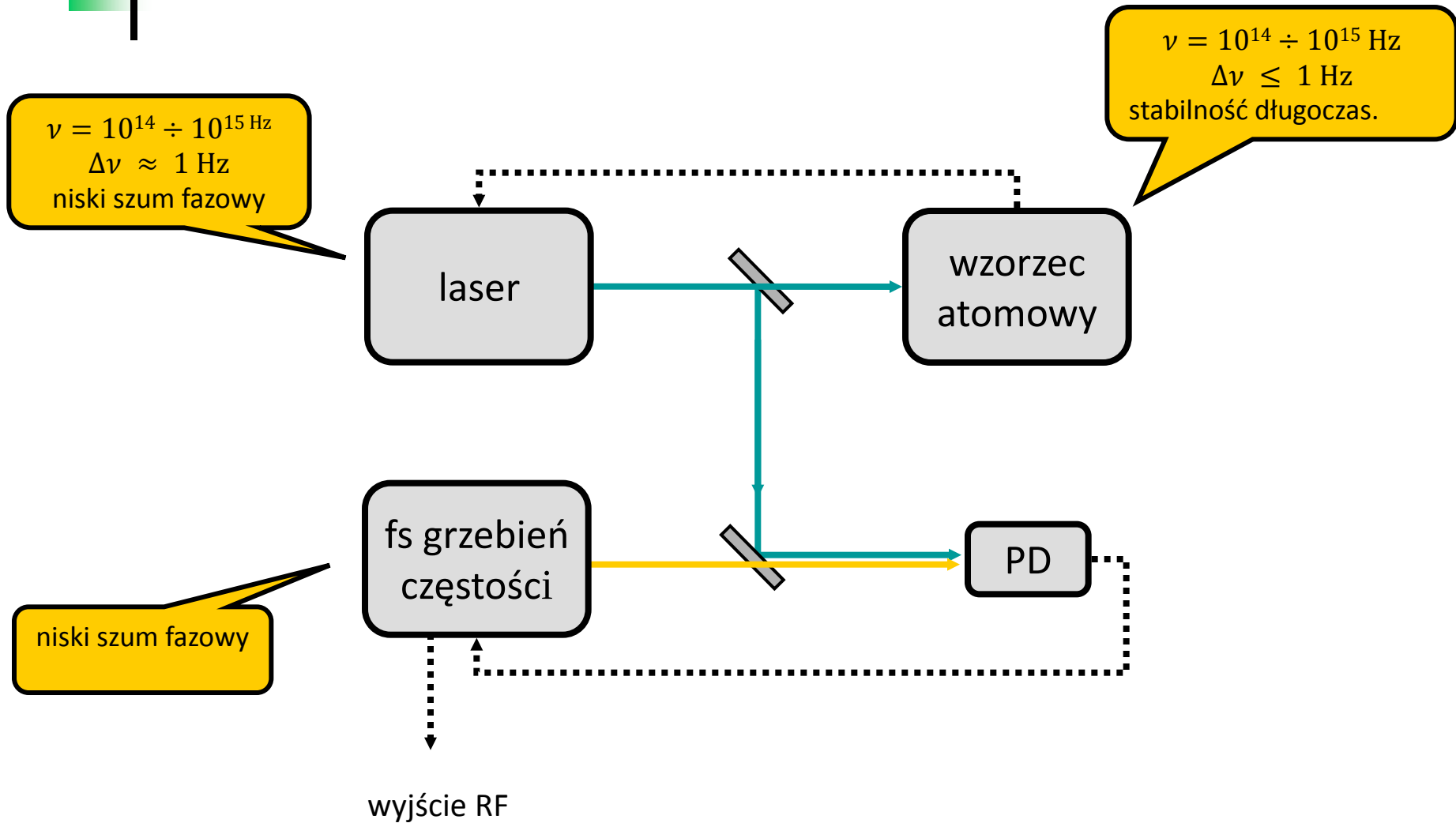
światło

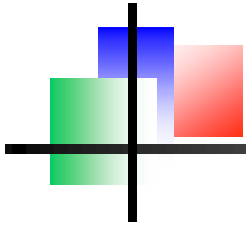
$$f_0 = 10^{14} \div 10^{15} \text{ Hz}$$

Jak zliczać oscylacje?

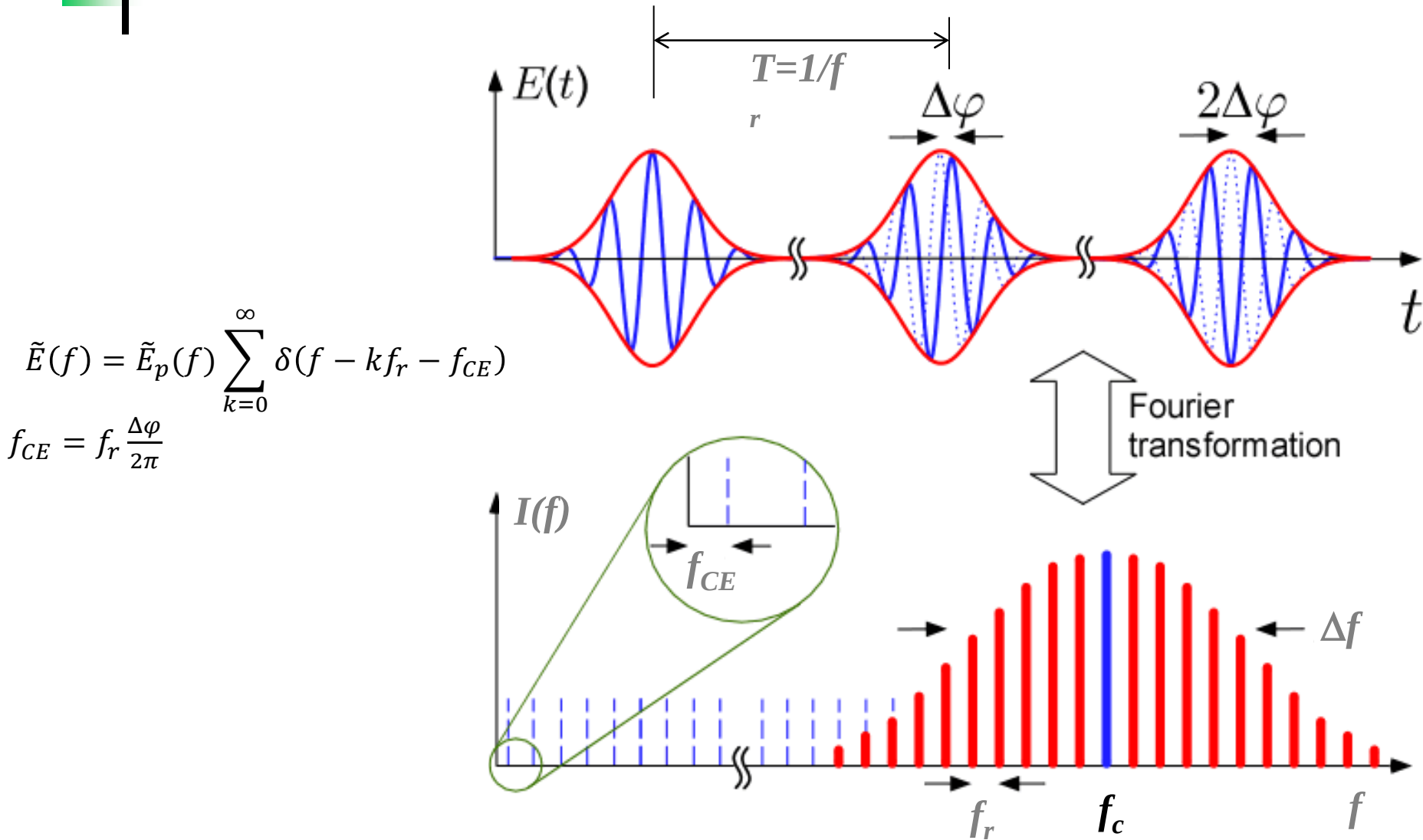
- łańcuchy częstości
- optyczny grzebień częstości

architektura zegara optycznego



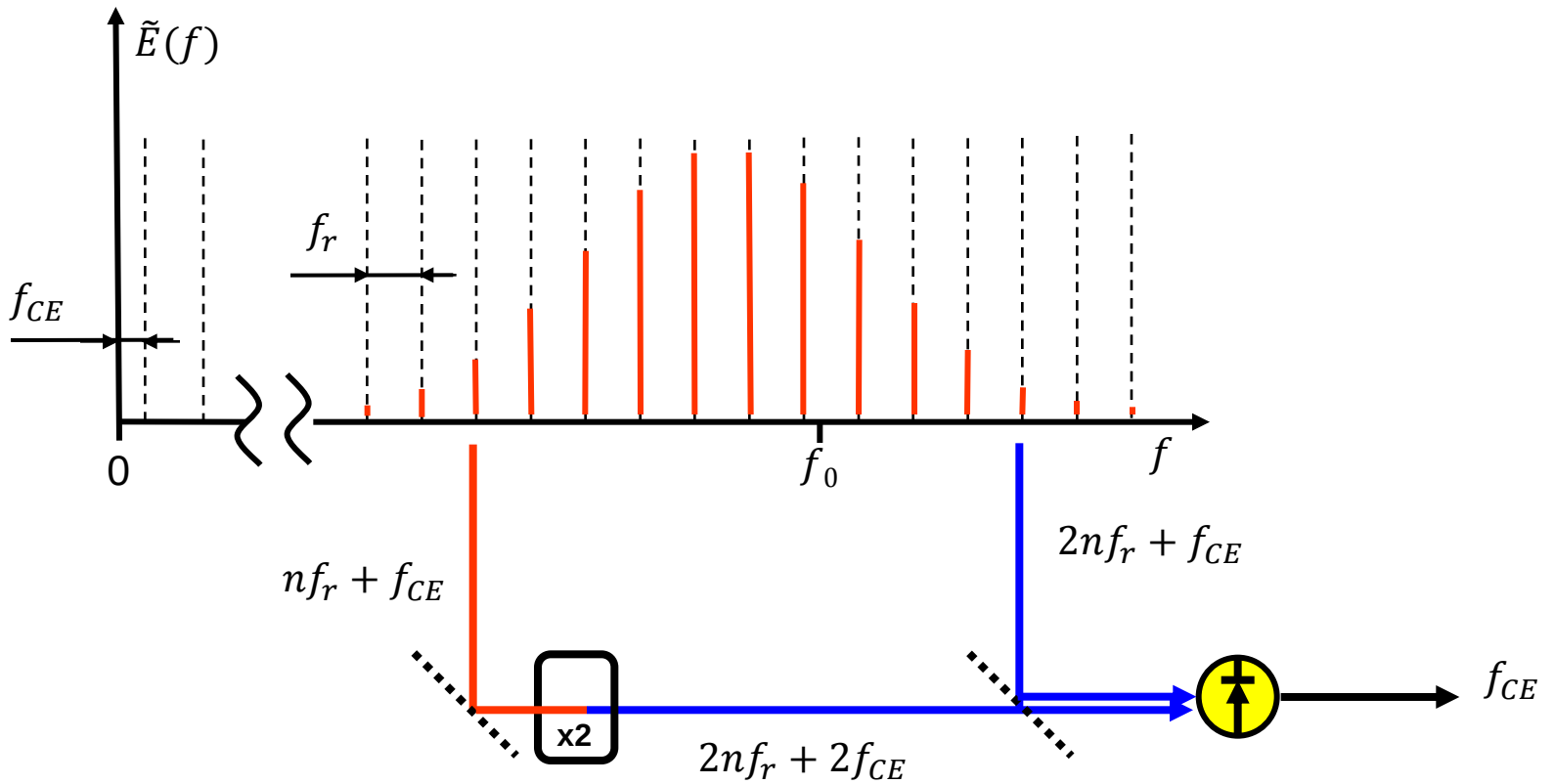


Optyczny Grzebień Częstości (OGC), 1

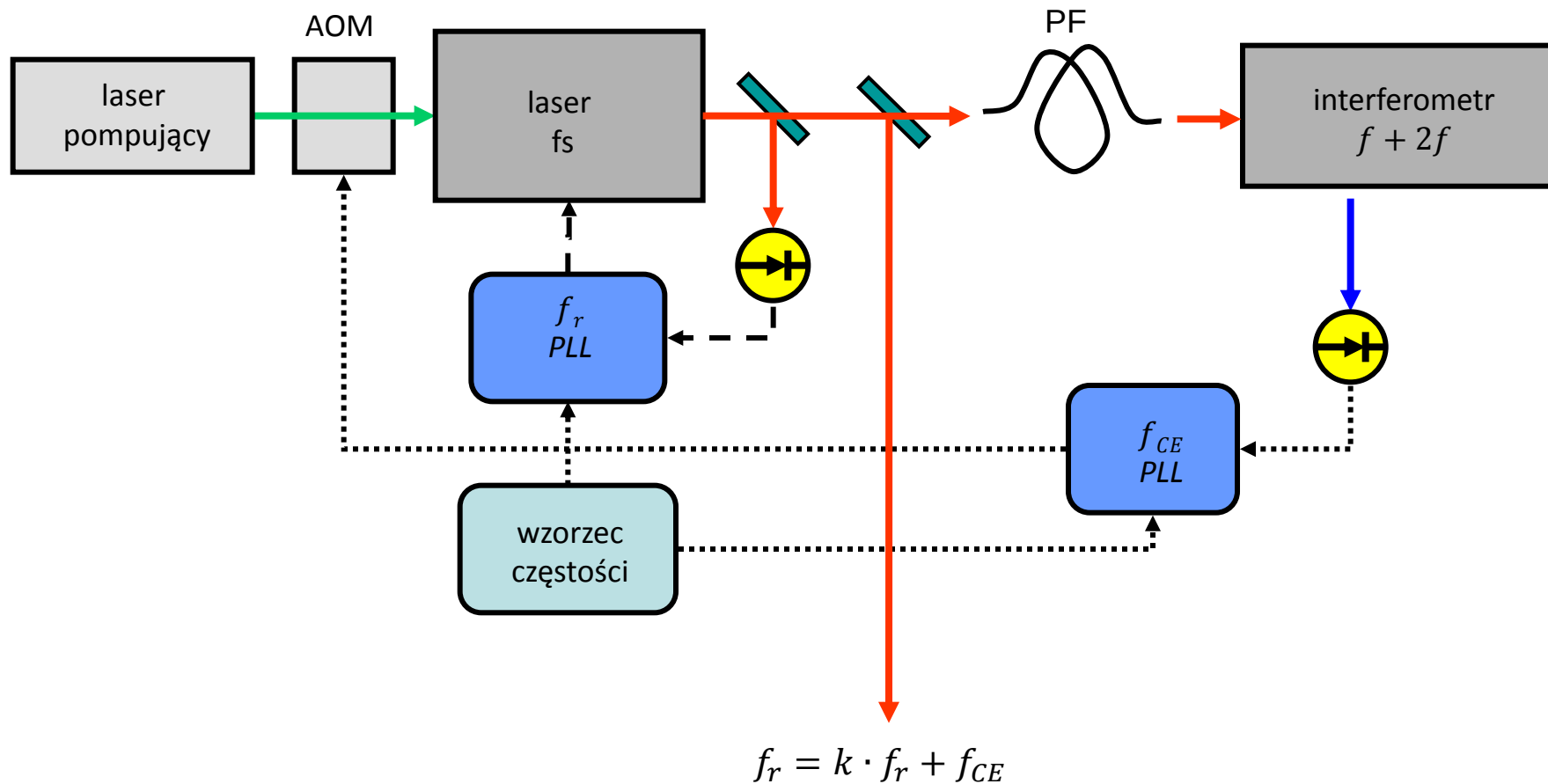


Jak mierzyć f_{CE} ?

Interferometr $f - 2f$



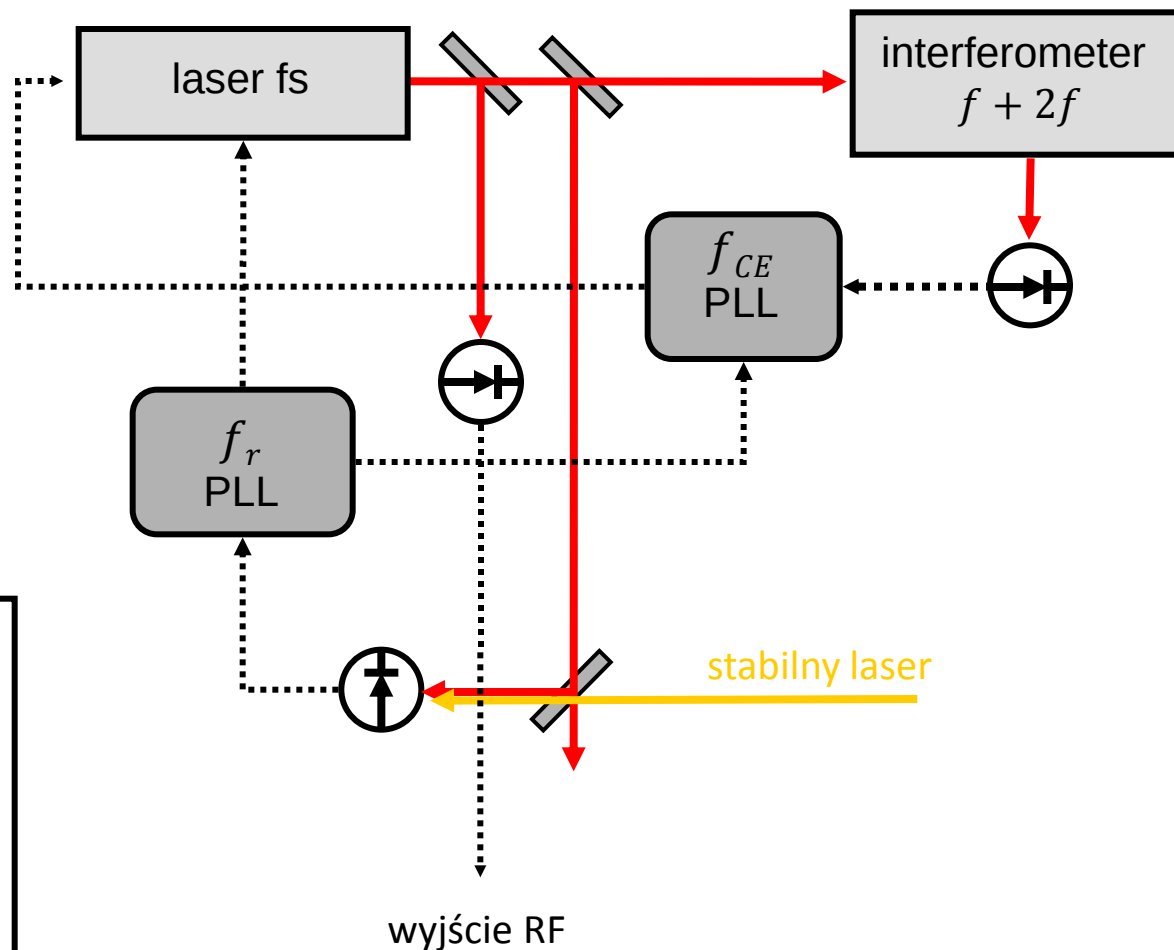
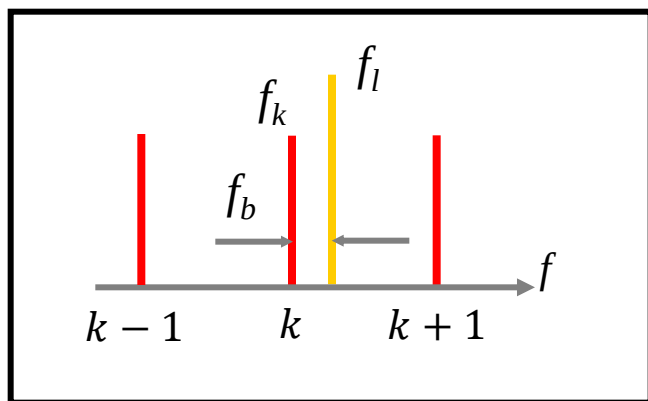
stabilizacja częstości grzebienia



Jak mierzyć częstotliwość lasera?

$$f_k = f_{CE} + k \cdot f_r$$

$$f_r = \frac{f_l - f_{CE} \pm f_b}{k}$$



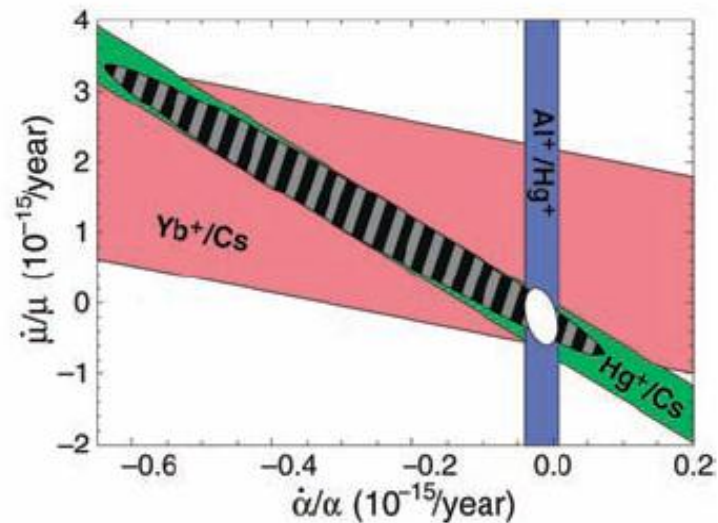
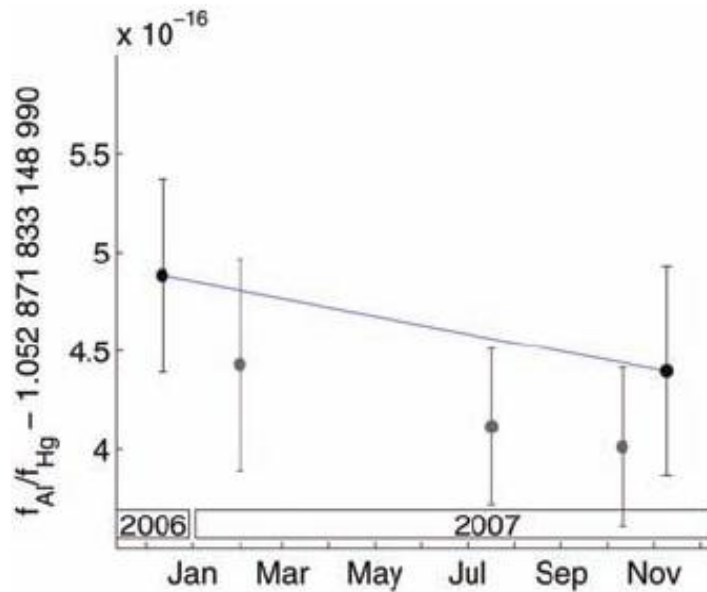
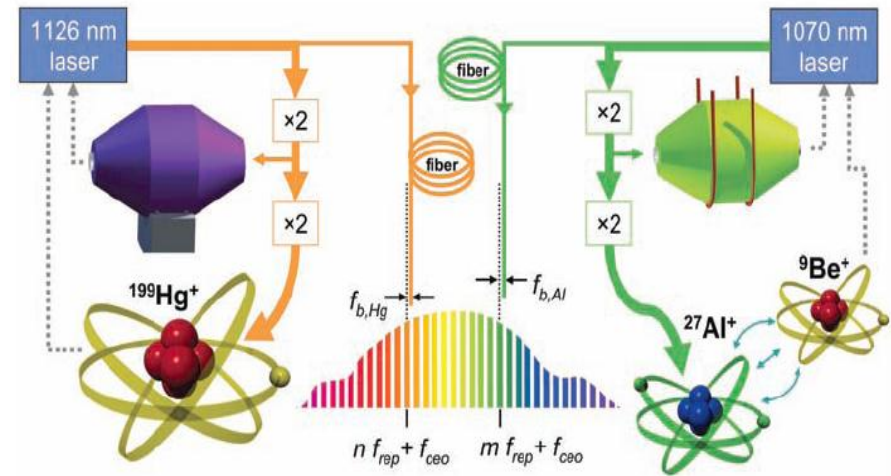
po co lepszy zegar?

stała struktury subtelnej, α

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} \cong \frac{1}{137}$$

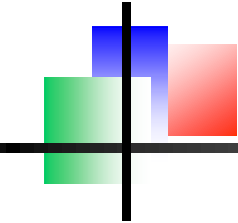
$$\frac{\nu_{Al^+}}{\nu_{Hg^+}} = 1.052871833148990438(55)$$

$$\frac{\dot{\alpha}}{\alpha} = (1.6 \pm 2.3) \times 10^{-17} / \text{rok}$$



Polski Optyczny Zegar Atomowy

T. Roseband et al., Science 319, 1808-1811 (2008)



wojsko



Northrop Grumman Corporation (NYSE:NOC) has produced the most powerful light ray yet created by an electric laser, measured at more than 105 kilowatts (kW)

7x15kW



Laser Centurion

