

Jak zbudować urządzenie o mocy 1000 razy
większej niż wszystkie elektrownie na świecie

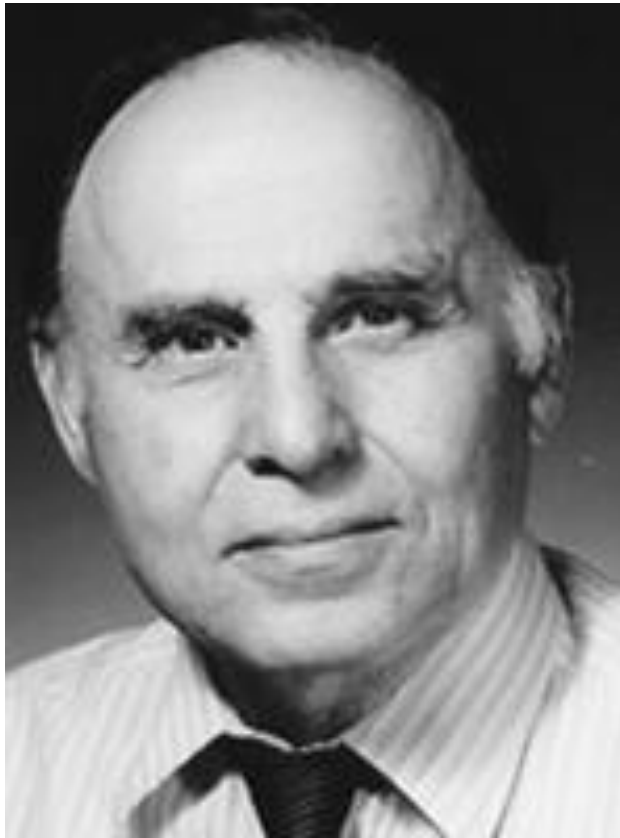
Nagroda Nobla z fizyki 2018

Czesław Radzewicz
Uniwersytet Warszawski

Nobel Prize in physics 2018

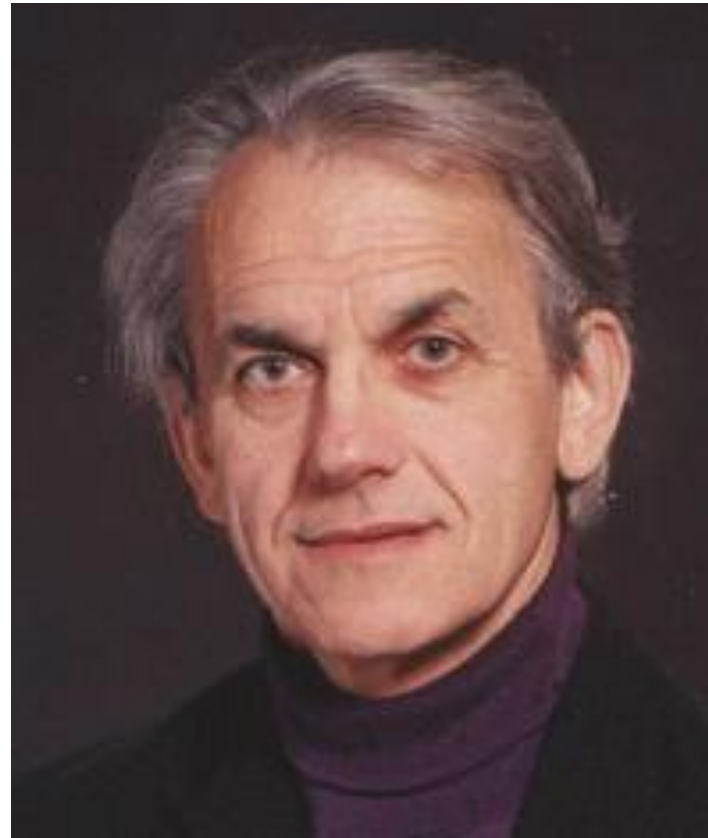
"for groundbreaking inventions in the field of laser physics"

"for the optical tweezers and their application to biological systems"



Arthur Ashkin
 $\frac{1}{2}$ nagrody

"for their method of generating high-intensity, ultra-short optical pulses"



Gerard Mourou

$\frac{1}{2}$ nagrody



Donna Strickland

moc czyli zdolność do wykonywania pracy



$$\text{MOC} = \frac{\text{PRACA}}{\text{CZAS}}$$

$$\text{MOC} = \frac{\text{ENERGIA}}{\text{CZAS}}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

jednostki moc

jednostką mocy jest Wat

$$W = \frac{J}{s}$$

w życiu codziennym 1 Wat to mała moc
dlatego często stosujemy jednostki pochodne:

kilo	1 kW = 1 000 W
mega	1 MW = 1 000 000 W
giga	1 GW = 1 000 000 000 W
tera	1 TW = 1 000 000 000 000 W
peta	1 PW = 1 000 000 000 000 000 W

.....



	koń mechaniczny
= 10³ W	1 KM $\cong$ 735 W
= 10⁶ W	
= 10⁹ W	
= 10¹² W	
= 10¹⁵ W	

moc ...



$\sim 1 \text{ W}$



$\sim 1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$

$\sim 100 \text{ kW}$





moc ...

1 – 10 MW (1 MW = 1 000 000 W)

~100 MW



moc ...

~20 GW

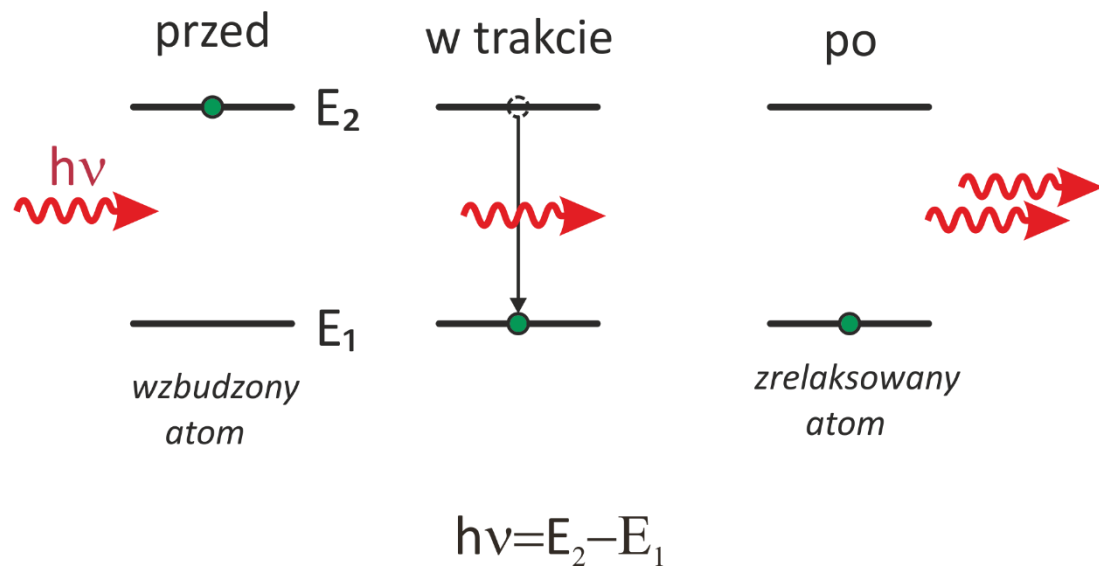


łączna moc elektrowni na Ziemi - kilka TW

czy potrafimy wytworzyć większą moc?

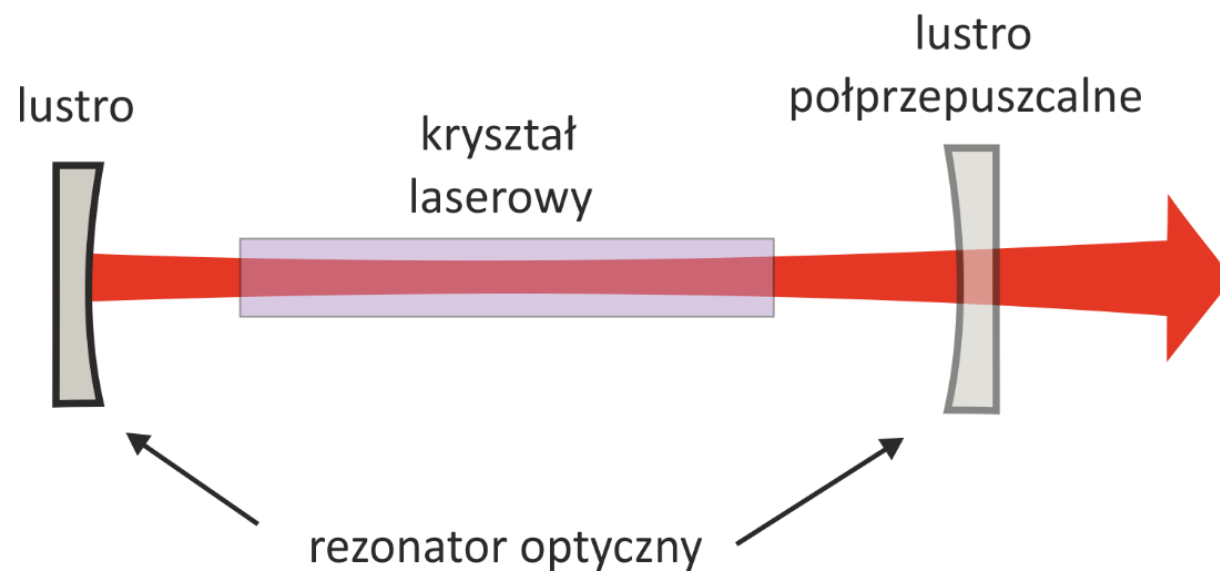
$1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ W}$ (milion milionów watów)

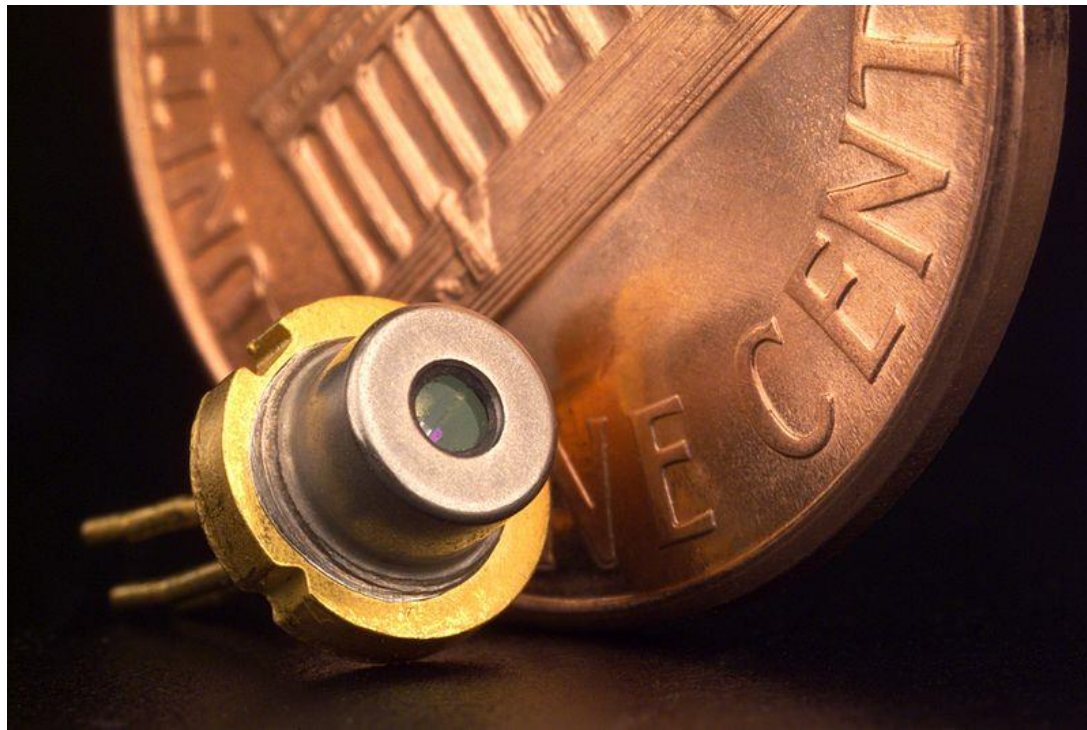
emisja wymuszona



laser - podstawy fachu

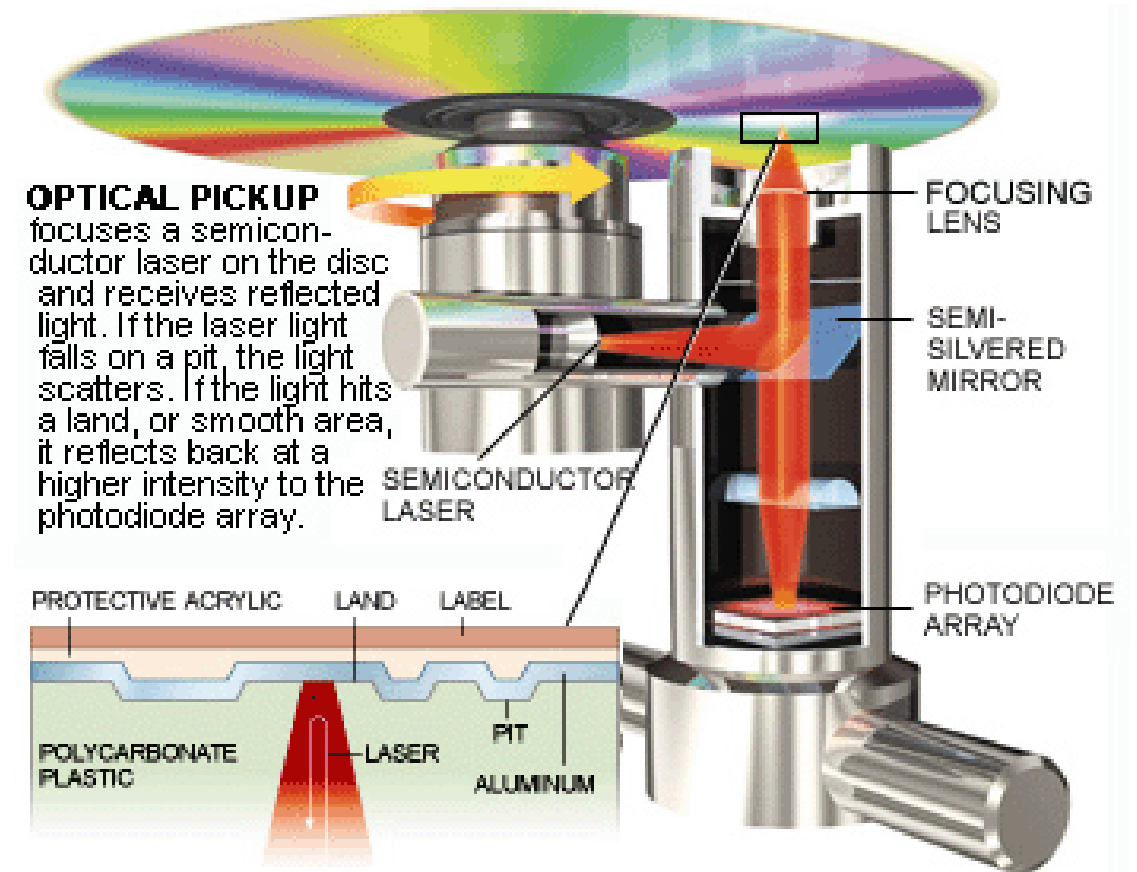
laser = wzmacniacz optyczny + rezonator





źródło: <https://commons.wikimedia.org>

są lasery małe ...



źródło: Tweak3D.net

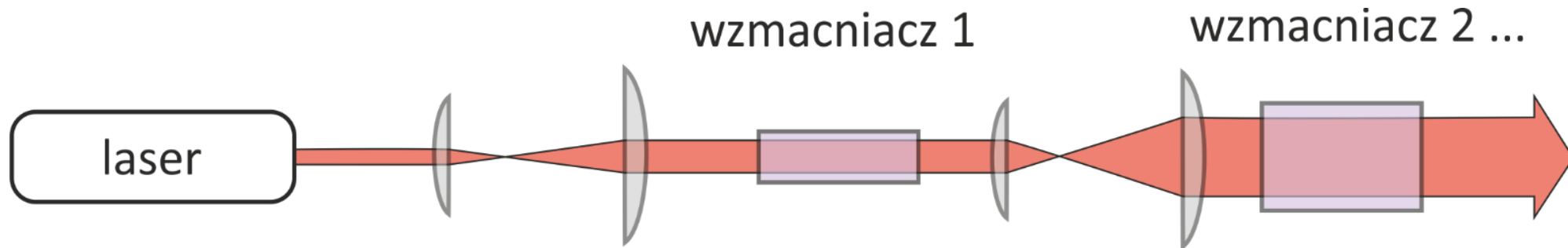


Argus laser, lata 1970

National Ignition Facility, lata 2000



laser duży = laser + wzmacniacz(e) laserowy(e)



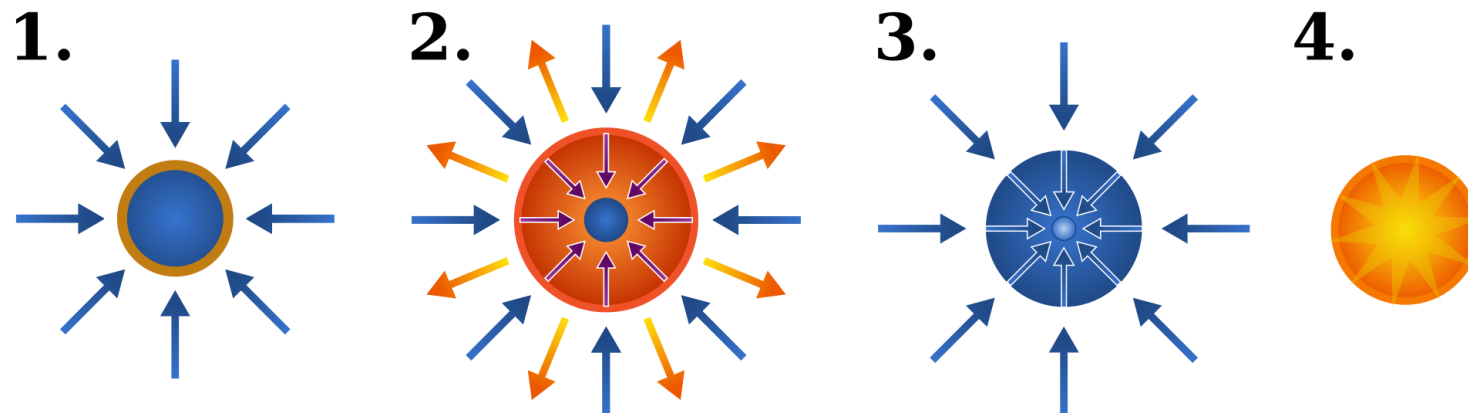
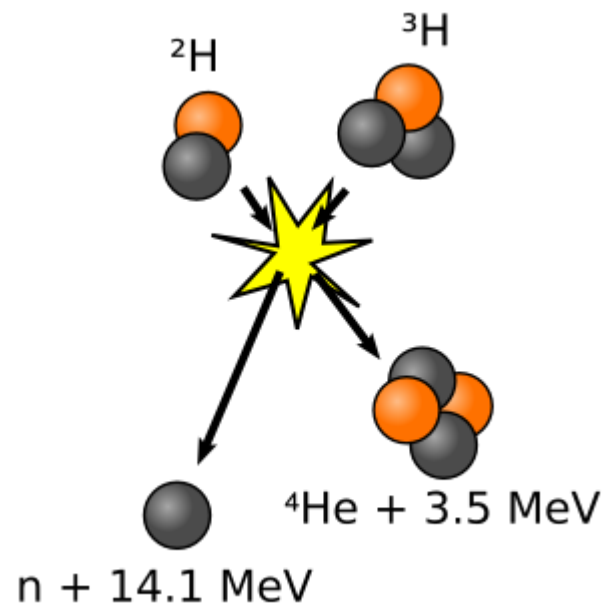
- czy istnieje granica na moc lasera?
- jaka jest natura tej granicy?
- jakie są trudności?
- praca ciągłą czy impulsowa?

... i lasery duże

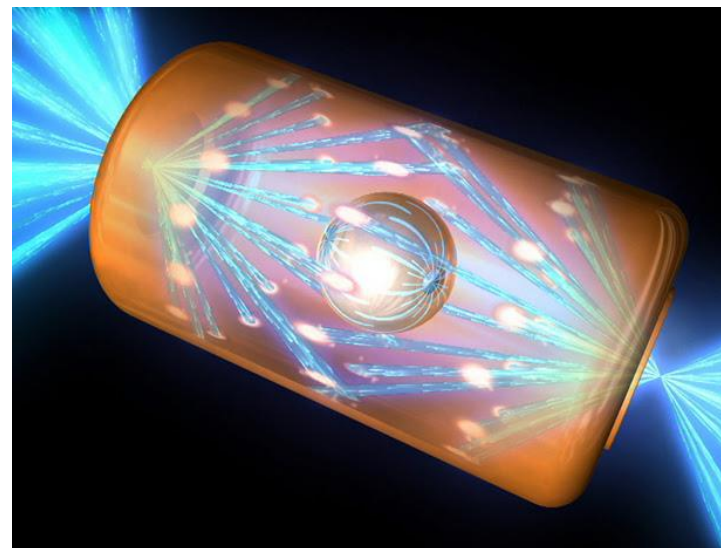
National Ignition Facility (USA)
lata 2000



laserowa fuzja jądrowa

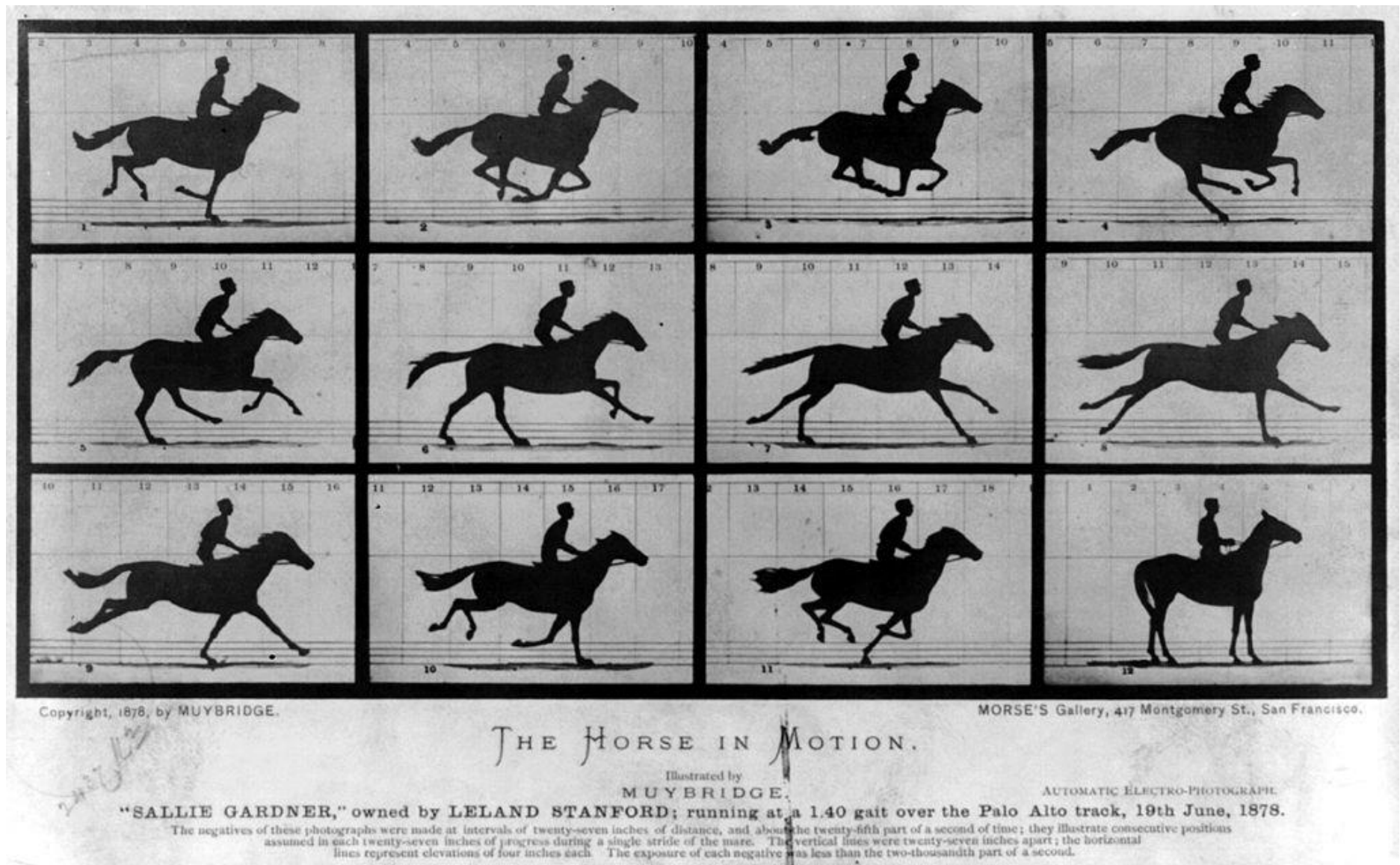


1 kg mieszanki $^2\text{H}+^3\text{H}$
 $\Updownarrow$
 100 000 MWh $\Leftrightarrow$ Bełchatów x 24 godziny
 $\Updownarrow$
 120 000 ton CO_2 +
 + SO_x + NO_x +



koń w galopie

Czy, galopując, koń
odrywa jednocześnie
wszystkie nogi od ziemi?



Pierwsza sekwencja zdjęć: Eadweard Muybridge, 1887

lampy błyskowe wczoraj i dziś



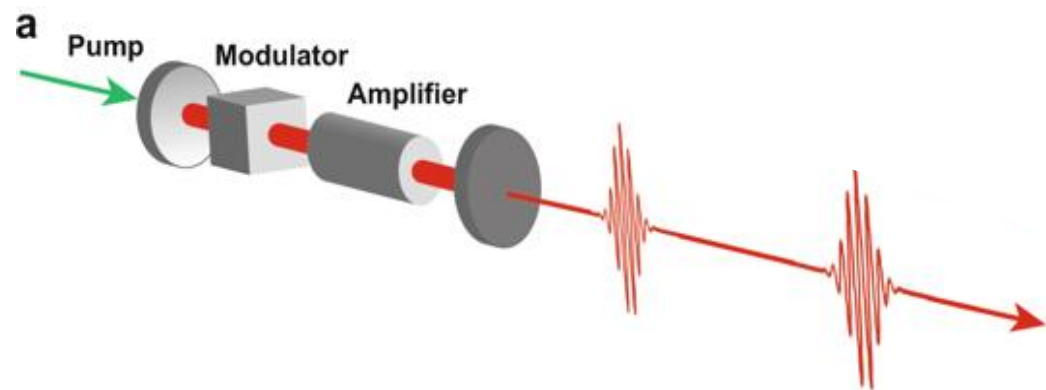
$$\sim \frac{5}{1\,000} \text{ s}$$

laser femtosekundowy



$$\sim \frac{5}{1\,000\,000\,000\,000\,000} \text{ s}$$

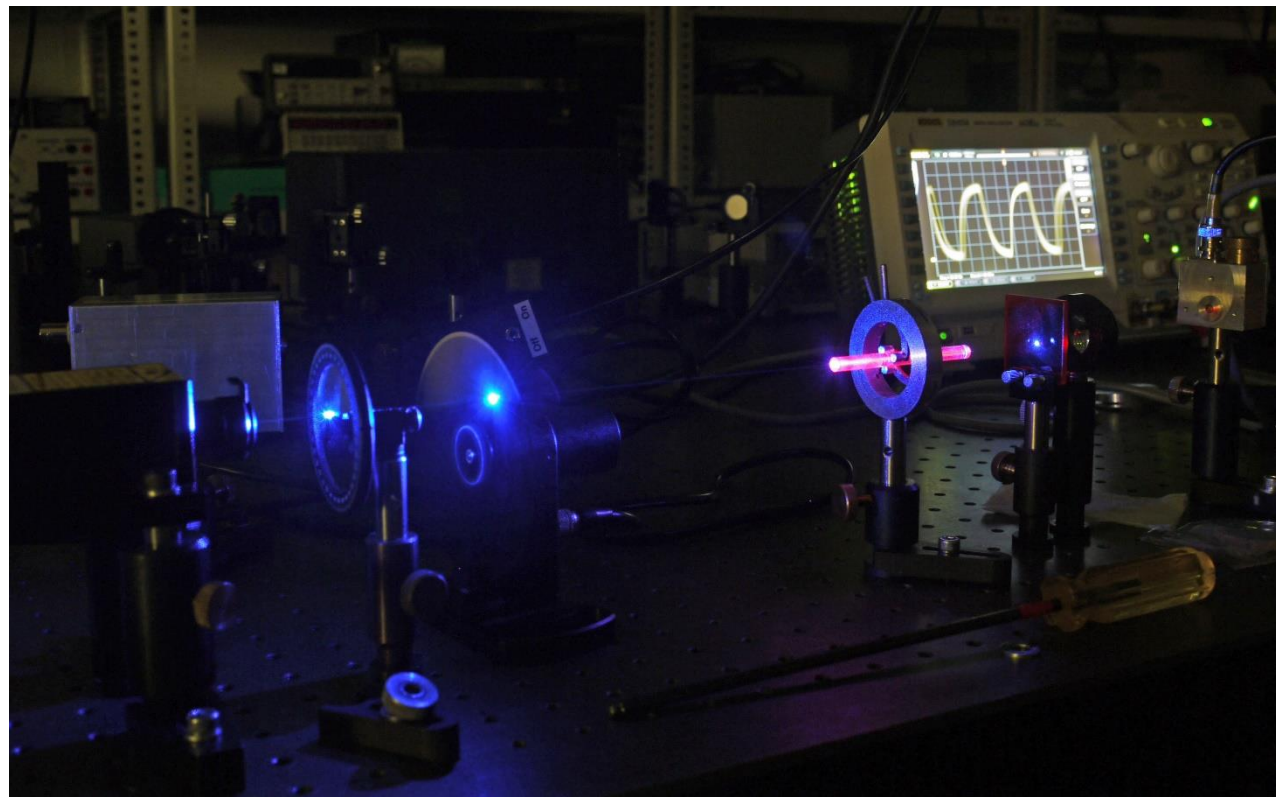
... są lasery impulsowe



impulsy mogą być bardzo krótkie – femtosekundy (fs)

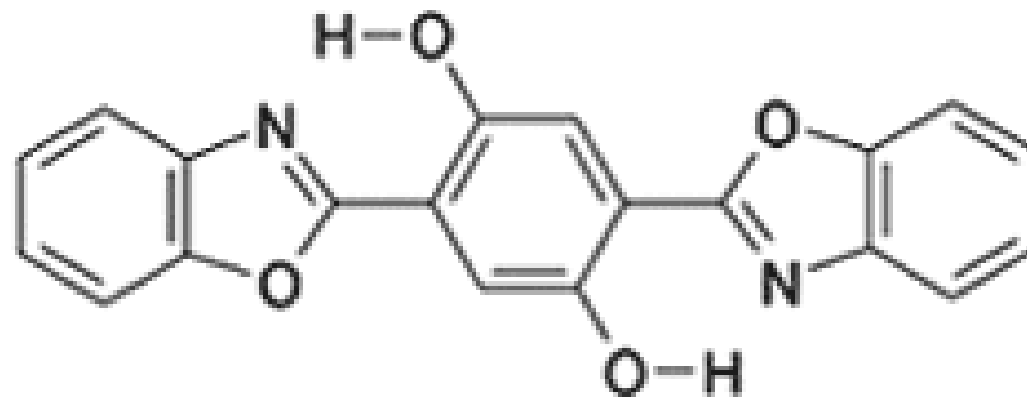
$$1 \text{ fs} = \frac{1}{1\,000\,000\,000\,000\,000} \text{ s}$$

w czasie 1 fs światło przebywa drogę 3 μm

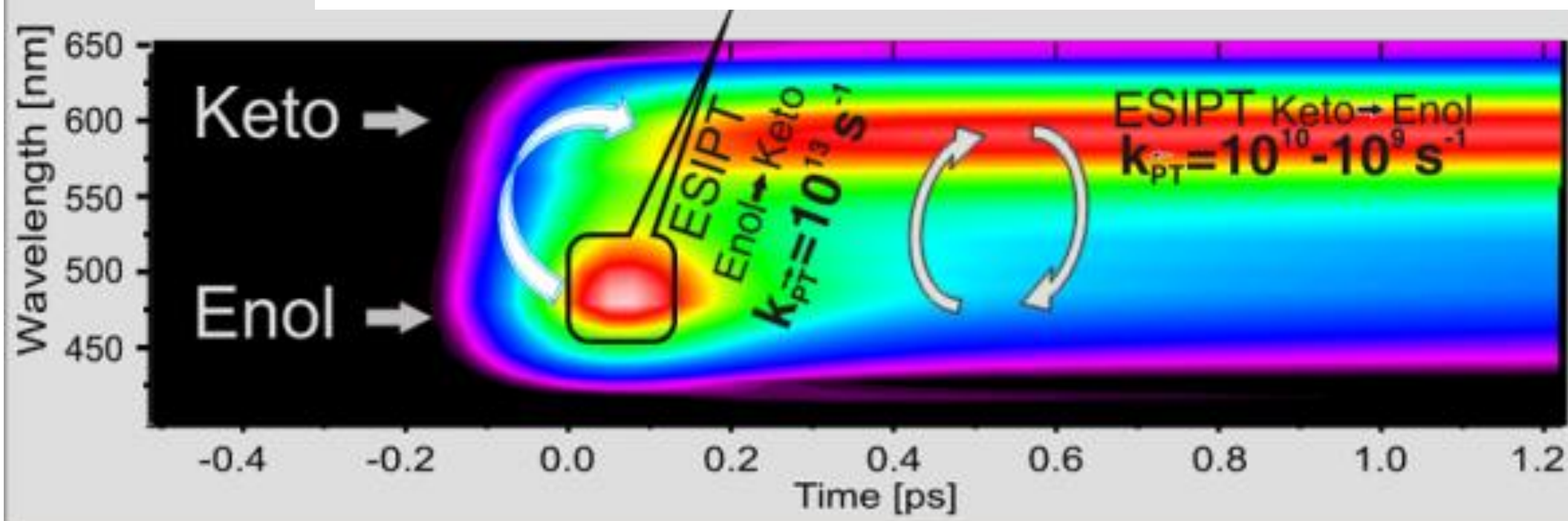


femtosekundowa dynamika

DE-BBHQ



2,5-bis-(2-benzoxazolyl)hydroquinone (BBHQ)



dlaczego warto wzmacniać ultrakrótkie impulsy laserowe?

$$P_{peak} = \frac{E}{\Delta t}$$



≈ 20 km/h

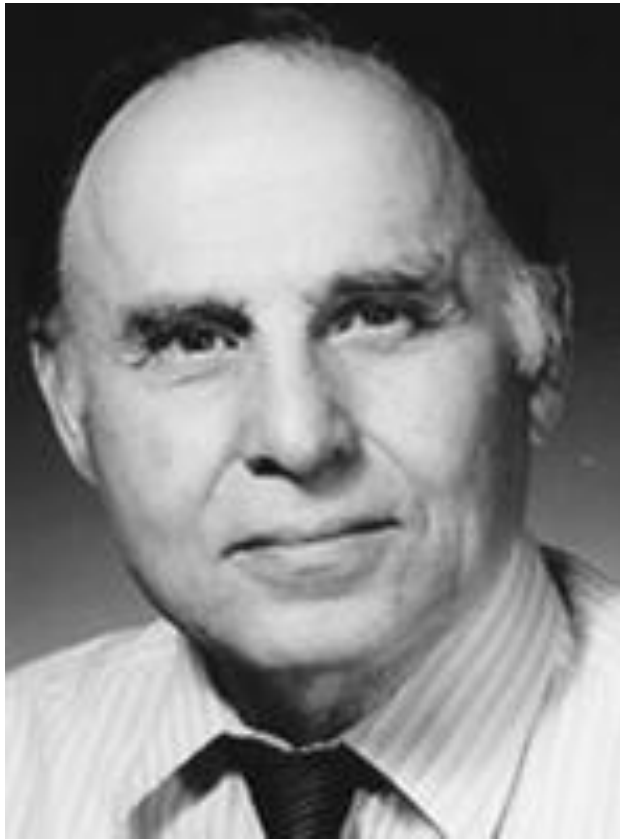


≈ 40 km/h

Nagroda Nobla z fizyki 2018

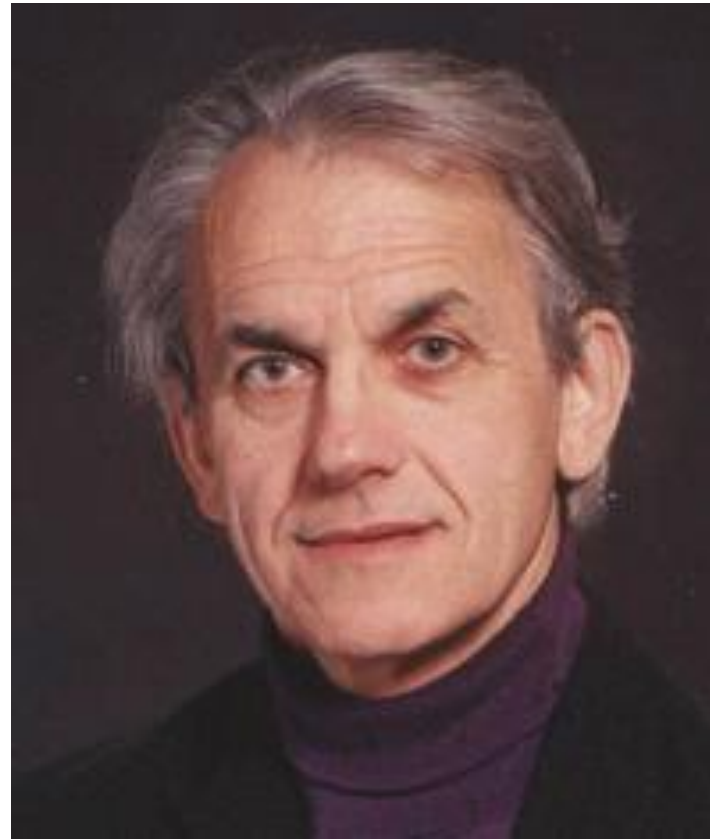
"for groundbreaking inventions in the field of laser physics"

"for the optical tweezers and their application to biological systems"



Arthur Ashkin
 $\frac{1}{2}$ nagrody

"for their method of generating high-intensity, ultra-short optical pulses"



Gerard Morou



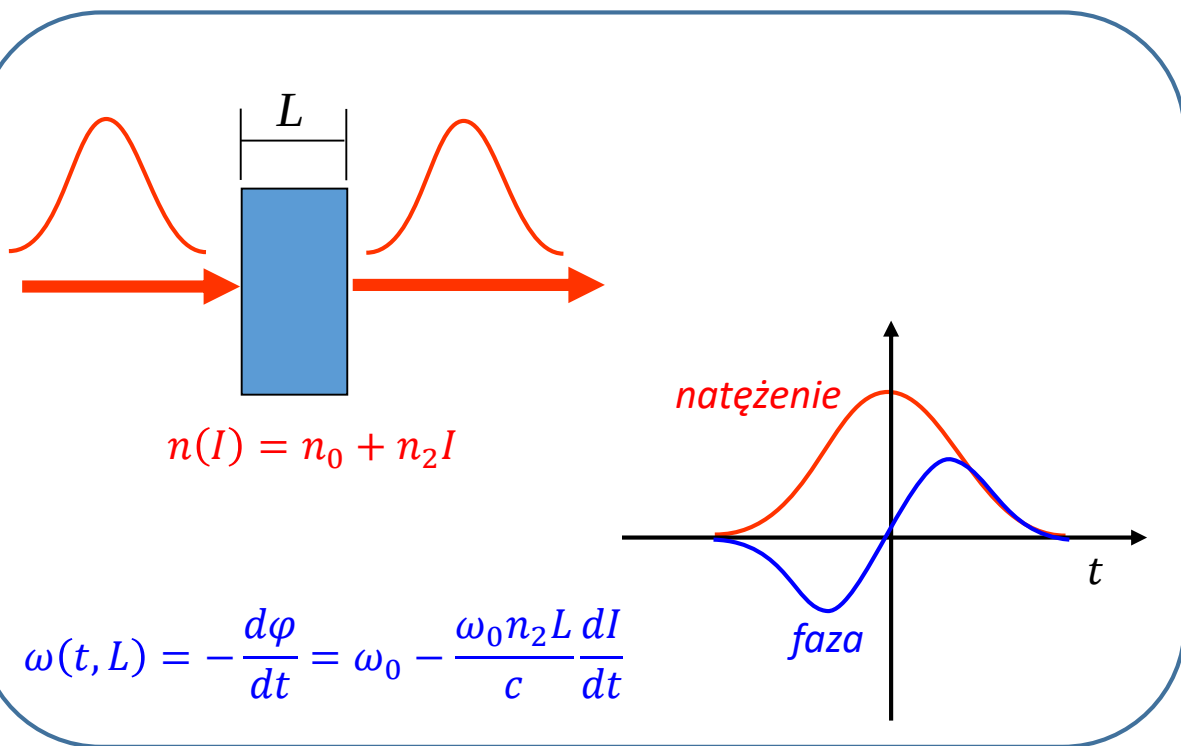
Donna Strickland

$\frac{1}{2}$ nagrody

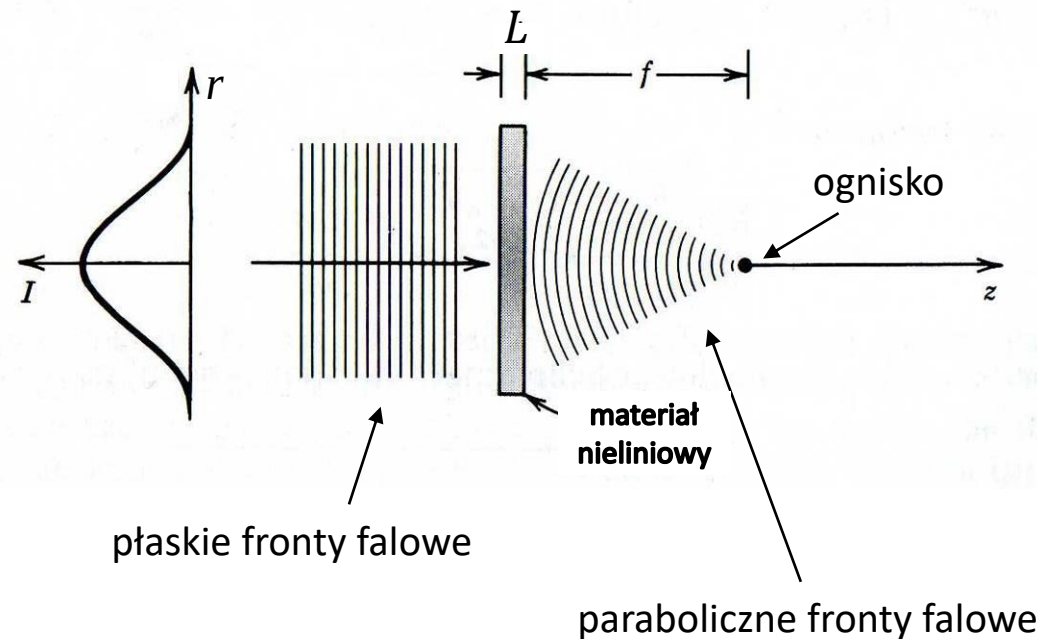
$$P_{peak} = \frac{E}{\Delta t}$$

dłaczego tak trudno wzmacniać ultrakrótkie impulsy laserowe?

natura, w tym optyka, jest nieliniowa.
impuls ulega silnym zniekształceniom.

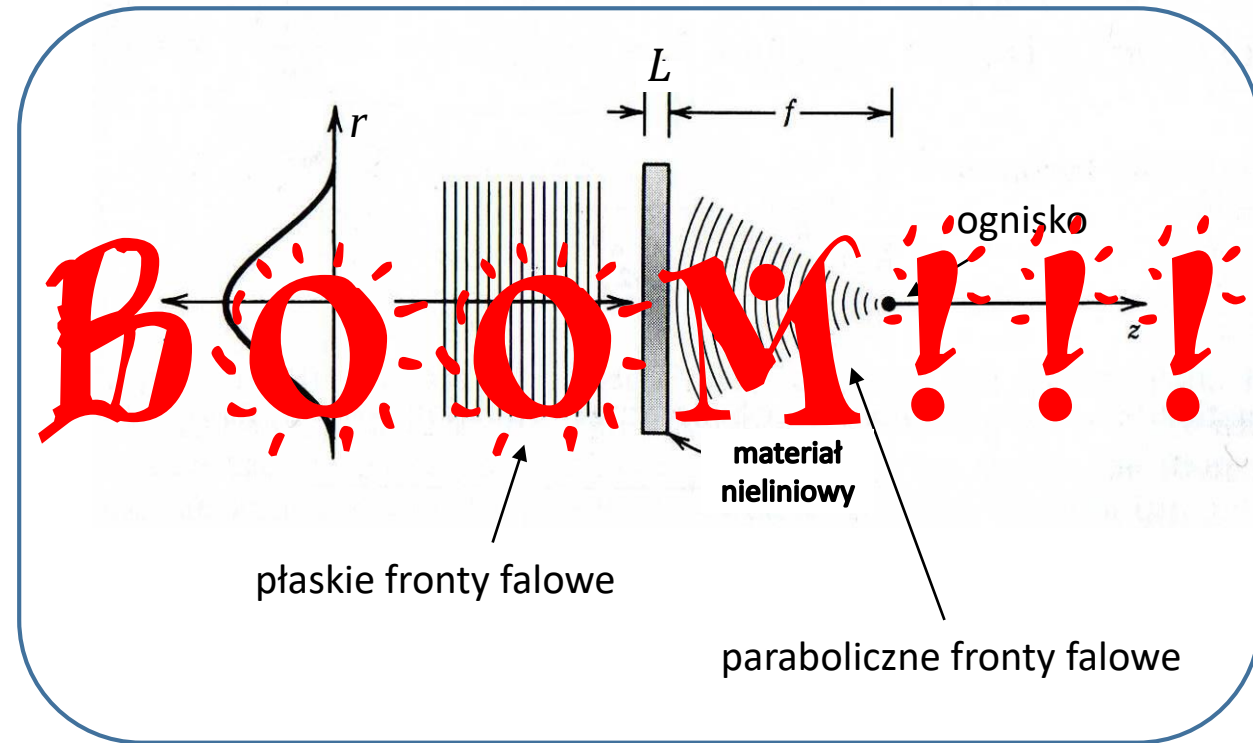


nieodwracalne zniekształcenia
impulsu w domenie czasowej –
impuls wyjściowy mało użyteczny



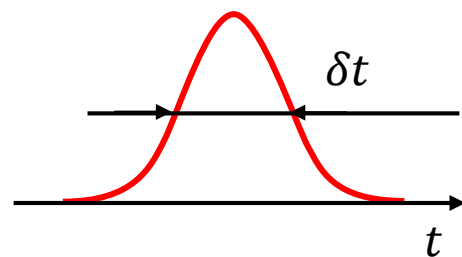
nieodwracalne zniekształcenia
impulsu w domenie przestrzennej

dlaczego tak trudno wzmacniać ultrakrótkie impulsy laserowe?



zniszczenie materiału

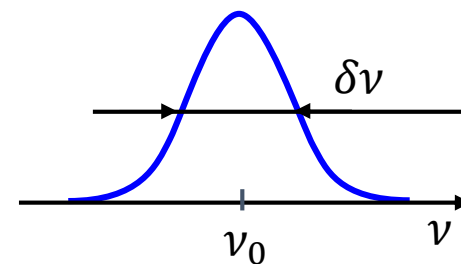
ultrakrótkie impulsy są szerokopasmowe...



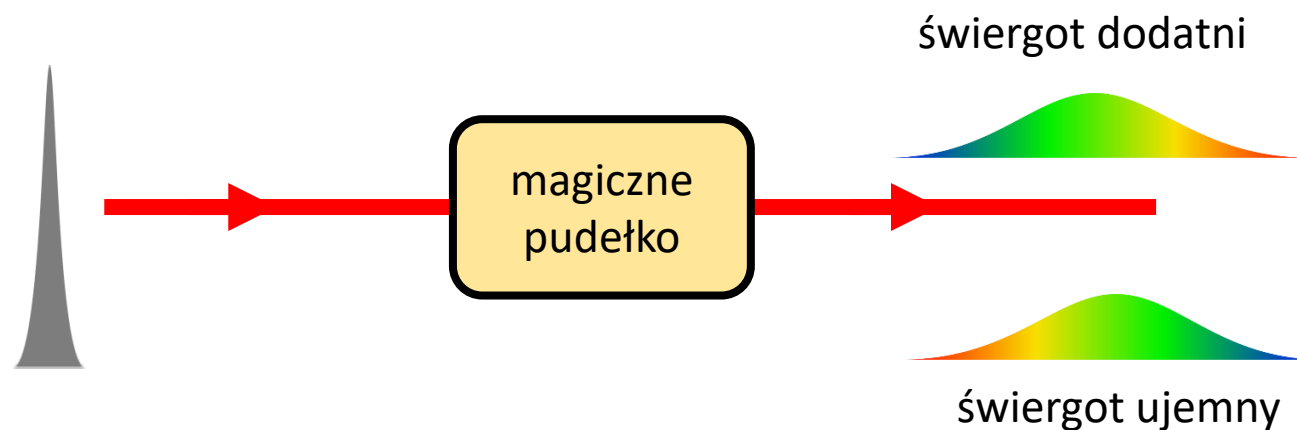
transformacja Fouriera:

$$\delta\nu \cong \frac{0.44}{\delta t}$$

(dla krzywej Gaussa)



... i mogą być rozciągane w czasie



Chirped Pulse Amplification (CPA) - pomysł

Volume 56, number 3

OPTICS COMMUNICATIONS

1 December 1985

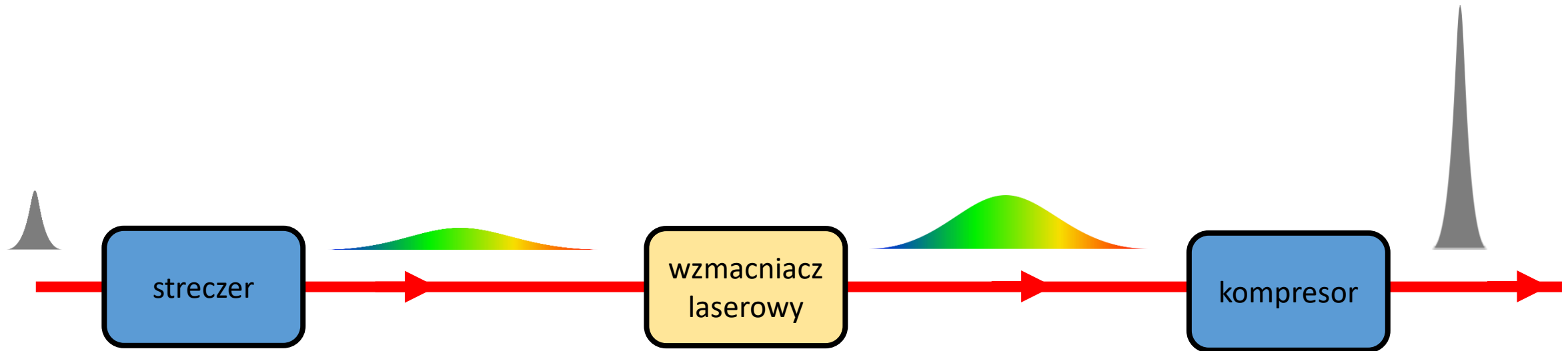
COMPRESSION OF AMPLIFIED CHIRPED OPTICAL PULSES ☆

Donna STRICKLAND and Gerard MOUROU

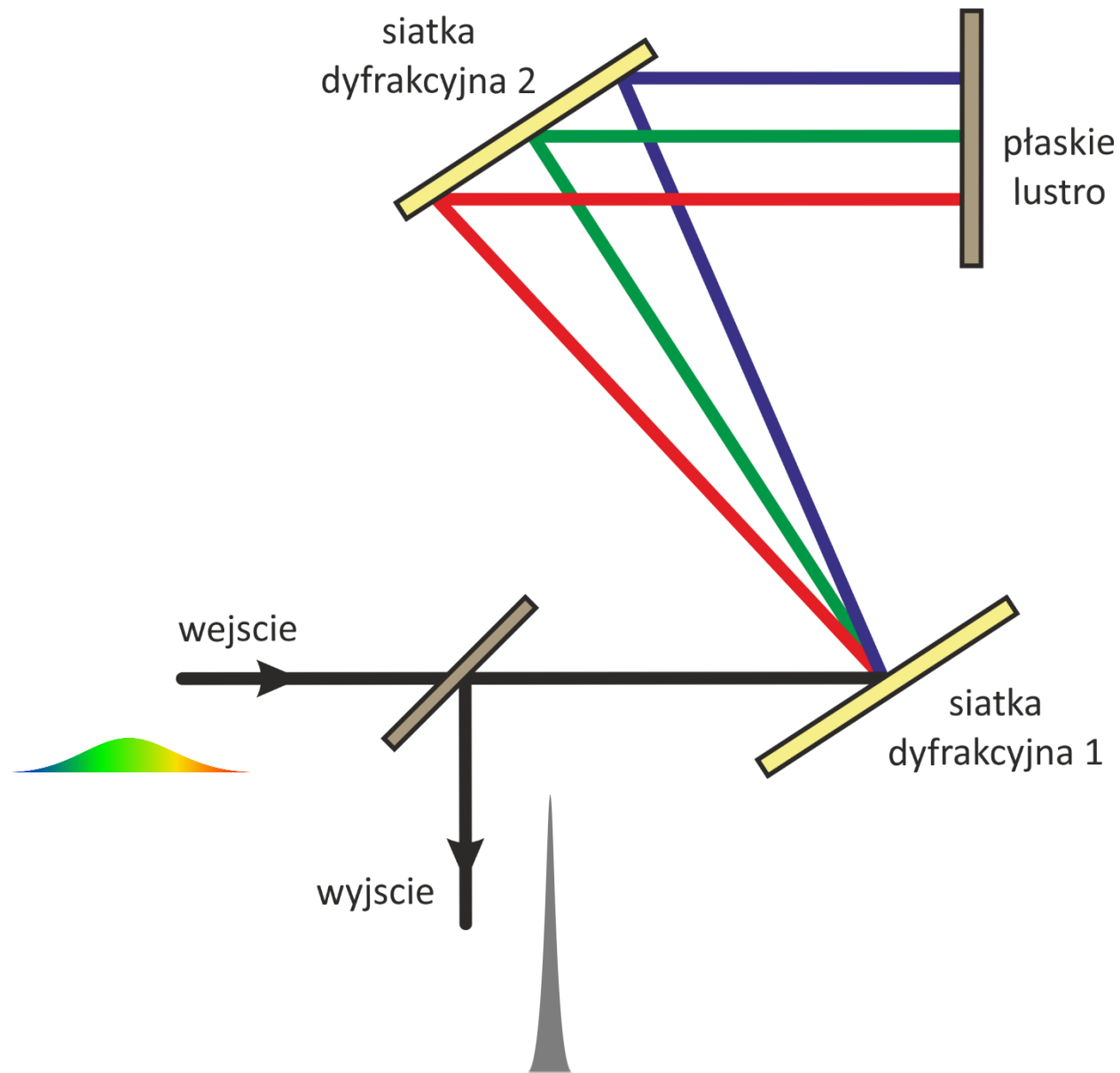
Laboratory for Laser Energetics, University of Rochester, 250 East River Road, Rochester, NY 14623-1299, USA

Received 5 July 1985

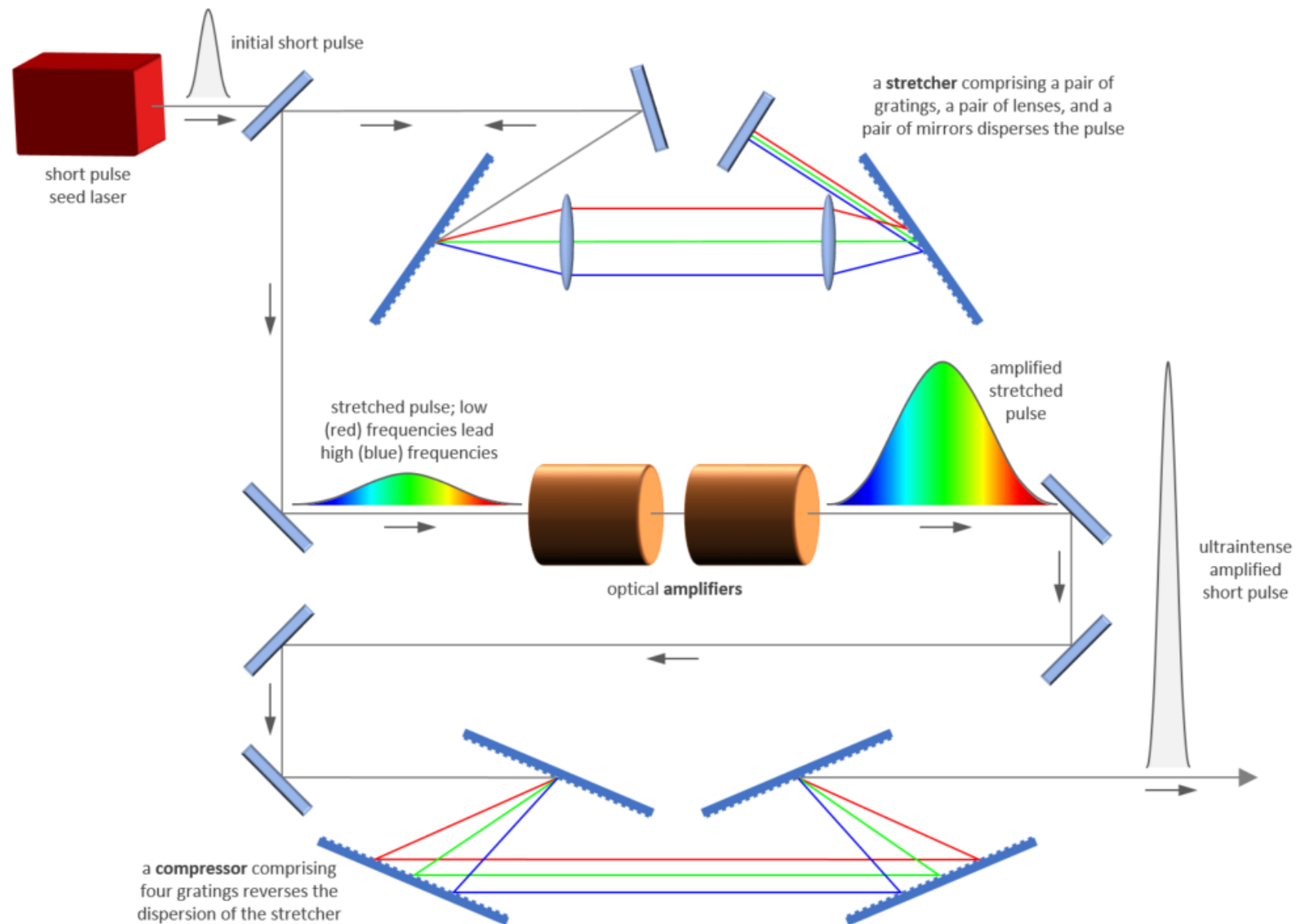
We have demonstrated the amplification and subsequent recompression of optical chirped pulses. A system which produces $1.06\text{ }\mu\text{m}$ laser pulses with pulse widths of 2 ps and energies at the millijoule level is presented.



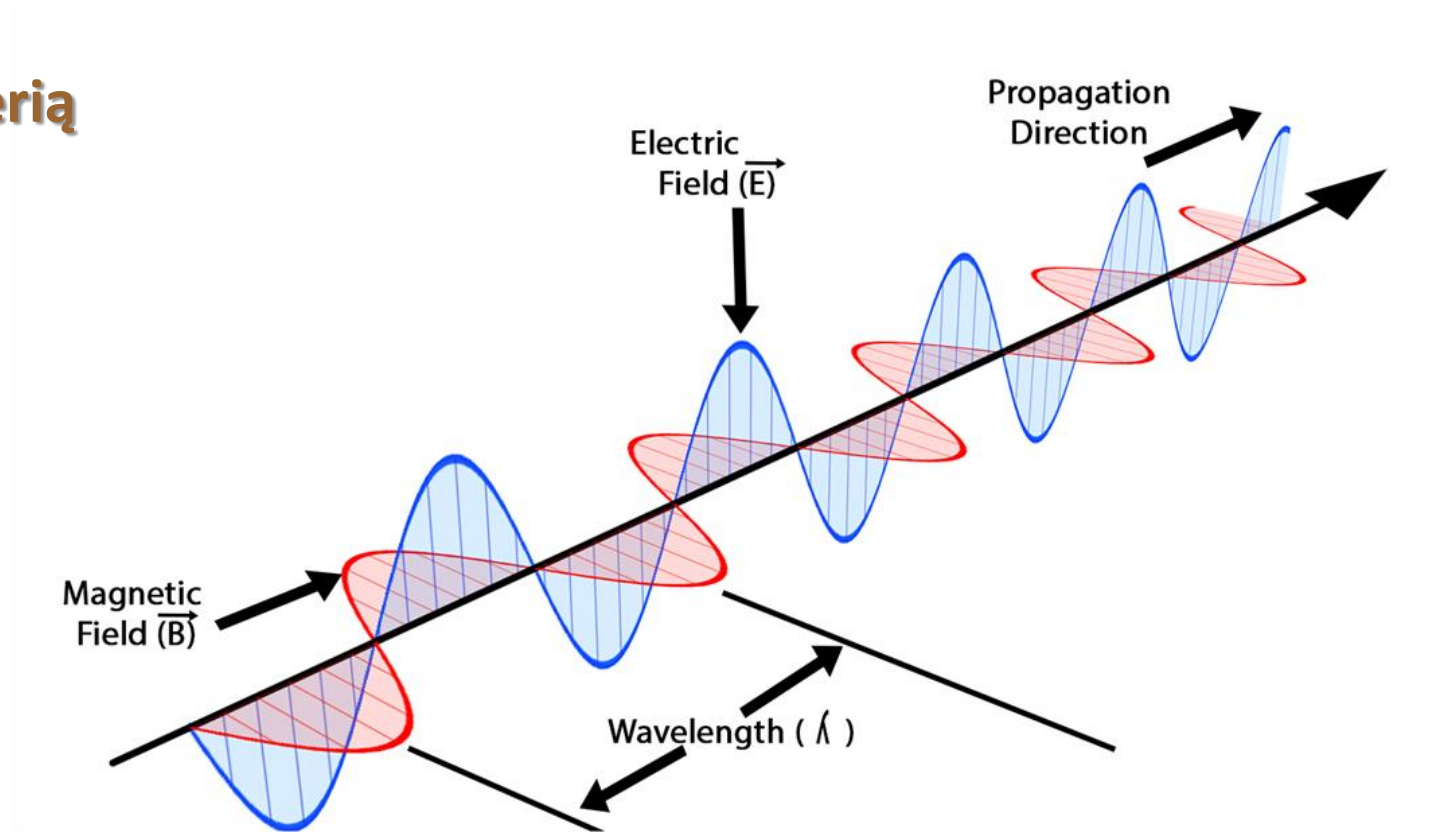
kompresor impulsów



standard CPA



jak silne światło oddziałuje z materią

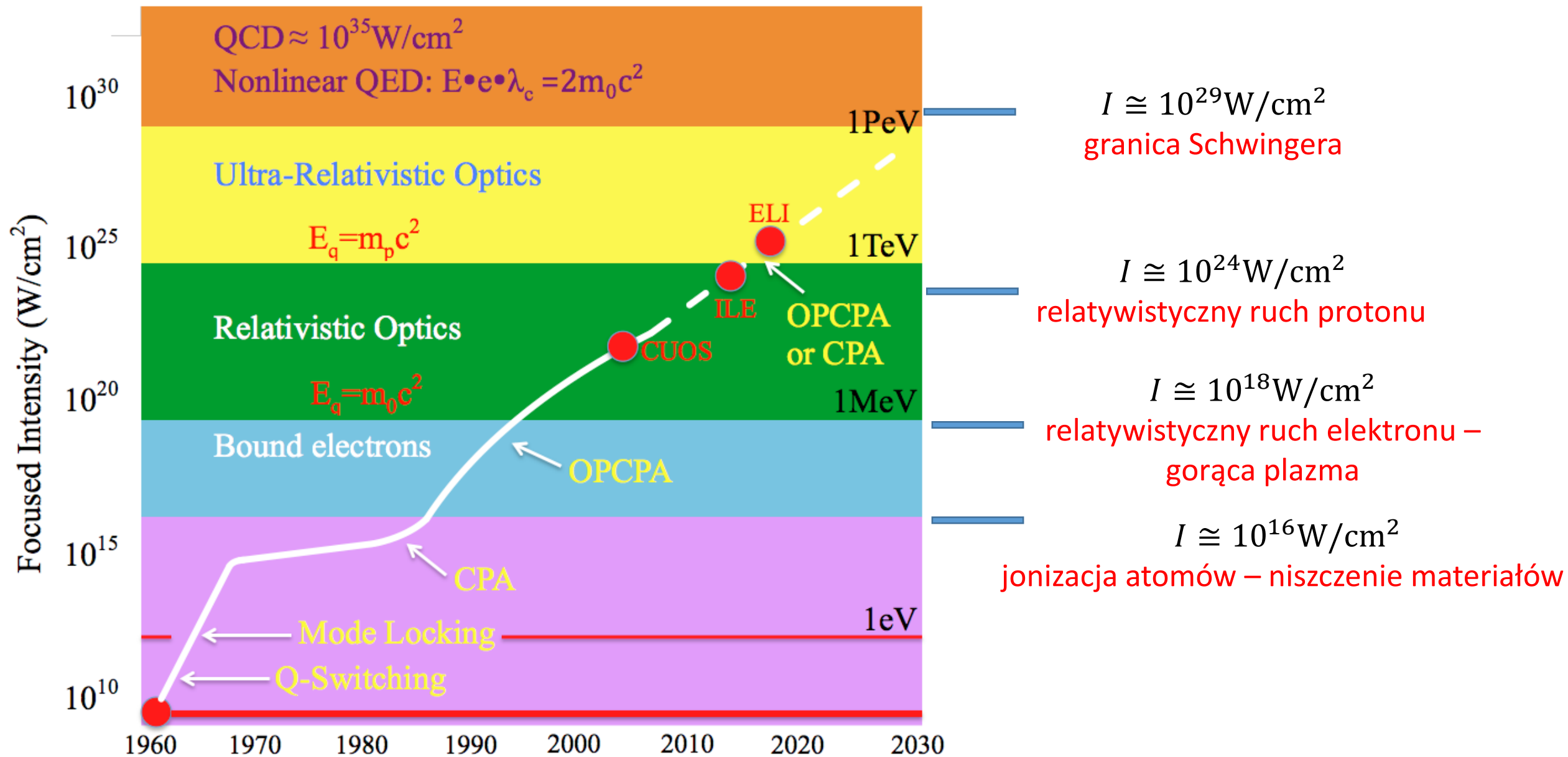


- światło niesie energię i pęd
- światło może przekazywać energię do materiałów
- co się dzieje gdy moc impulsu laserowego jest bardzo duża?

siła Lorentza: $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B} + \vec{E})$

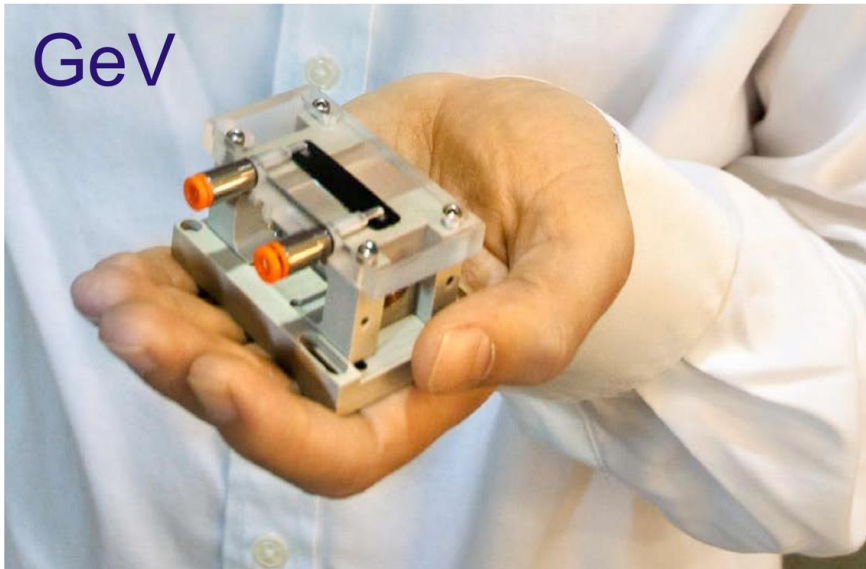
„state of the art.” $I \sim 10^{22} \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$

reżimy oddziaływania



laserowe akceleratory elektronów

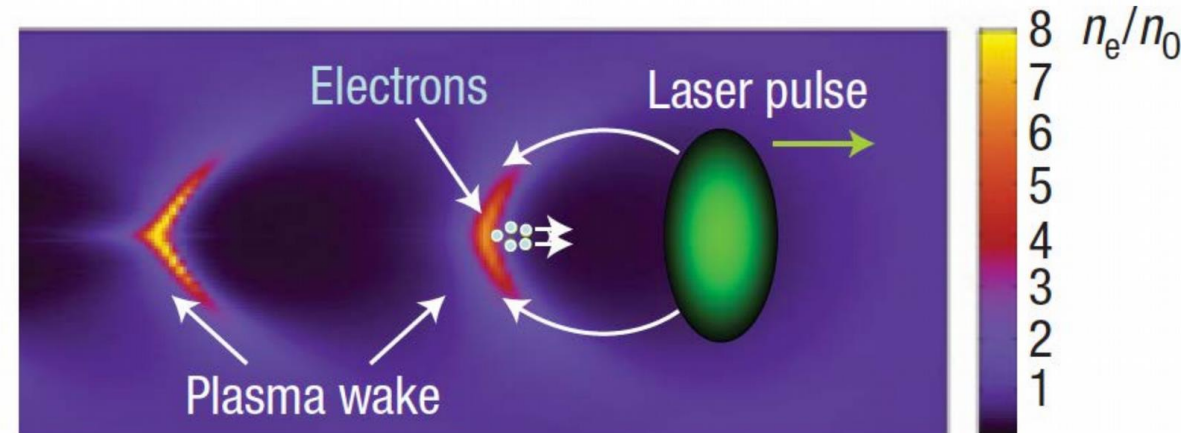
T. Tajima & J.M. Dawson, PRL **43**, 267 (1979)



Typowe doświadczenie:

- impuls laserowy - kilka J, 10^{18} - 10^{19} W/cm²
- gęstość gazu $\sim 10^{18}$ cm⁻³

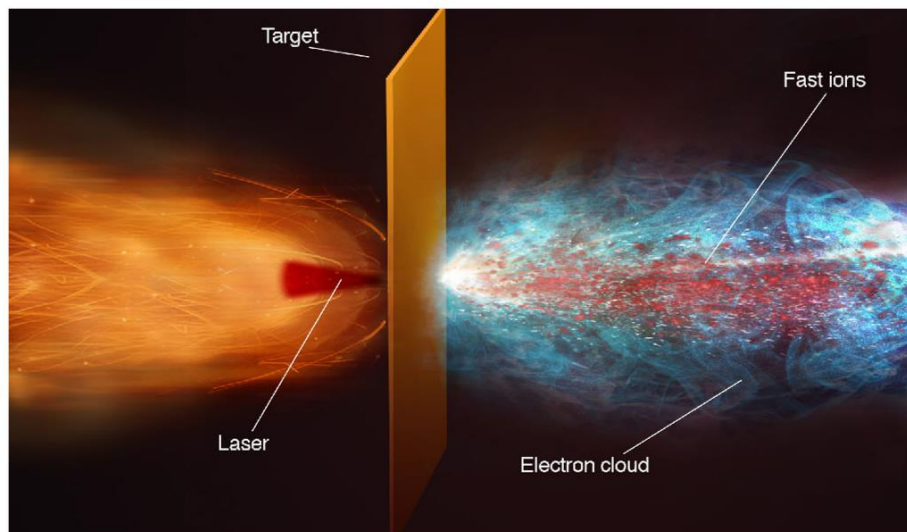
Pole elektryczne plazmowej fali rufowej ~ 1 GeV/cm



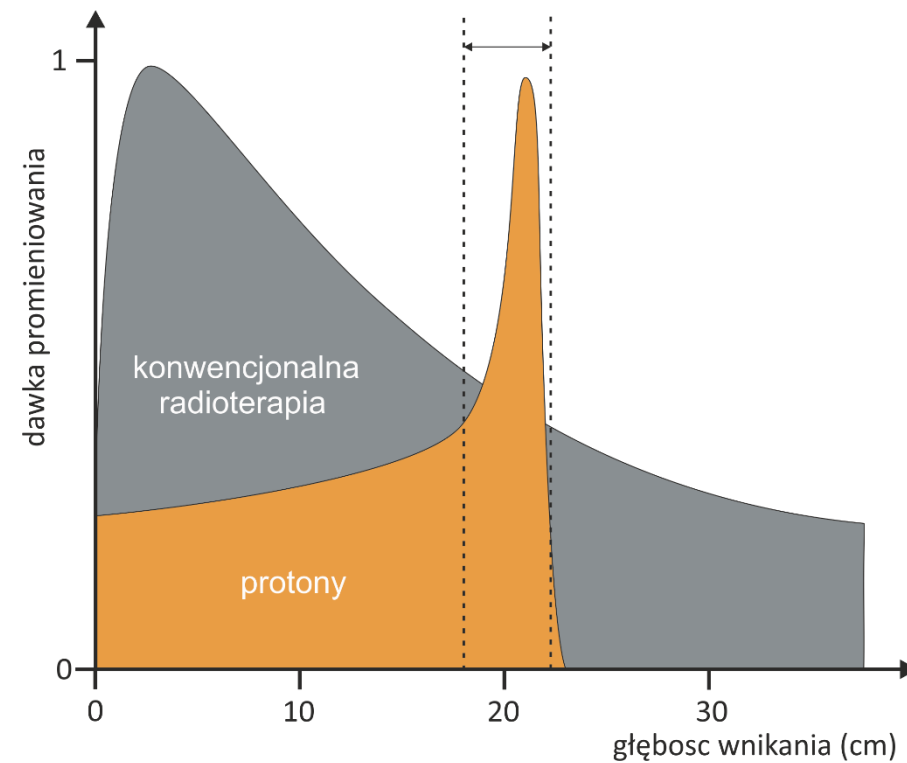
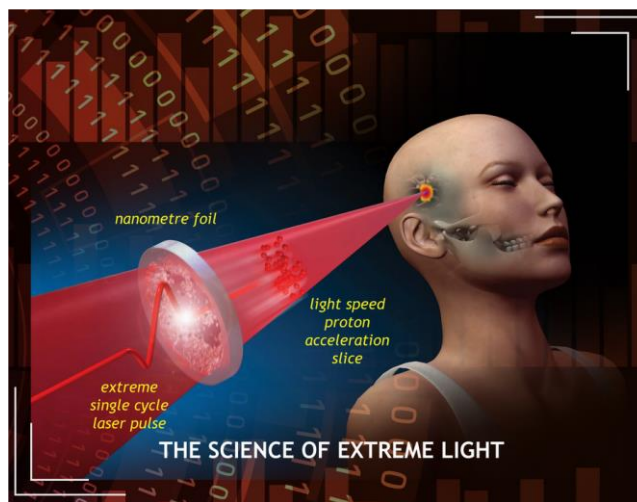
Rekord energii elektronów: 4.3 GeV

M. Leemans et al., PRL **113**, 245002 (2014)

laserowe źródła protonów



A. Macchi et al., Rev. Mod. Phys. **85**, 751 (2013)



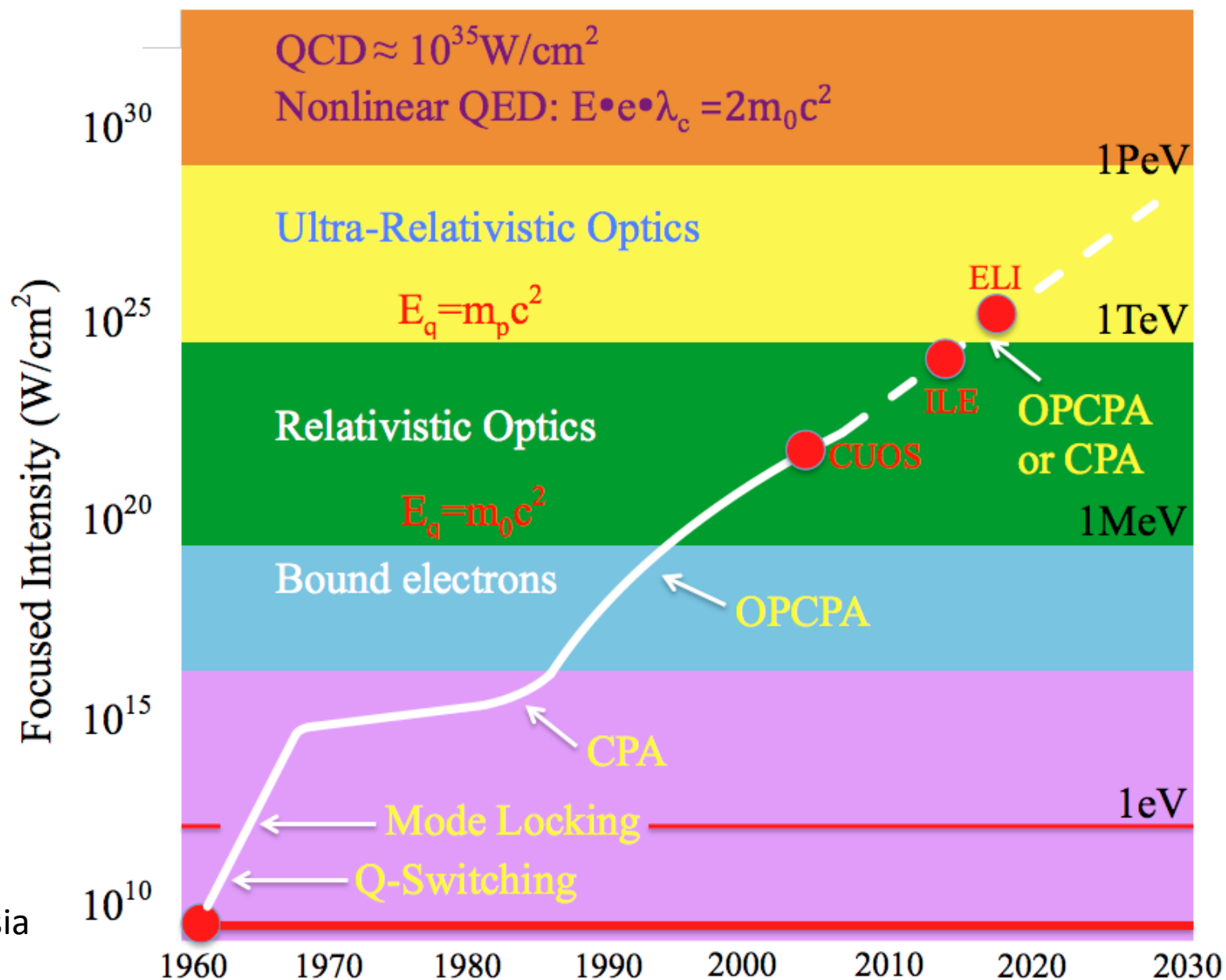
ultrakrótkie ultramocne lasery – narzędzie do poszukiwaniu nowych zjawisk – praw przyrody

Aktualny rekord:

Shanghai Superintense Ultrafast Laser
Facility (SULF), $P > 5 \times 10^{15} \text{W}$ (5PW)

niektóre plany:

- ✓ Extreme Light Infrastructure PP, Romania
2x10 PW
- ✓ Station of Extreme Light (SEL), China
100 PW, 2023?
- ✓ Center for Extreme Light Studies (XCELS), Russia
180PW, 2023?



**DZIĘKUJĘ
ZA UWAGĘ**