

A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE



Magyar Tudományos
Akadémia

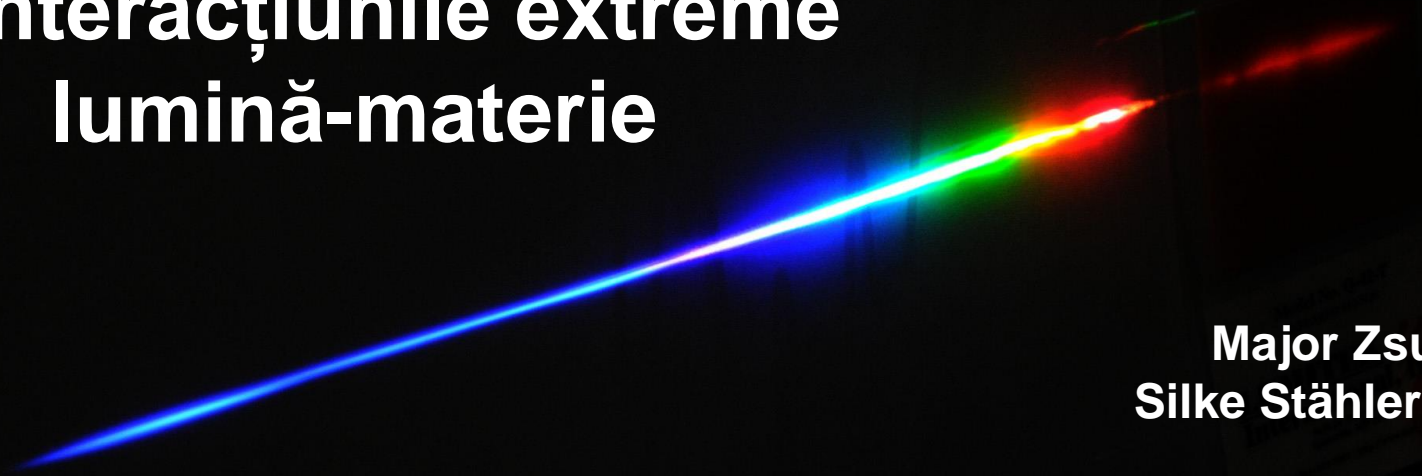
Liceul „ADY Endre”, Oradea



Conferințe pe teme de fizică și chimie

2017 EMBERKÖZPONTÚ TUDOMÁNY

Laserul de la fundamente la interacțiunile extreme lumină-materie



Major Zsuzsanna
Silke Stähler-Schöpf

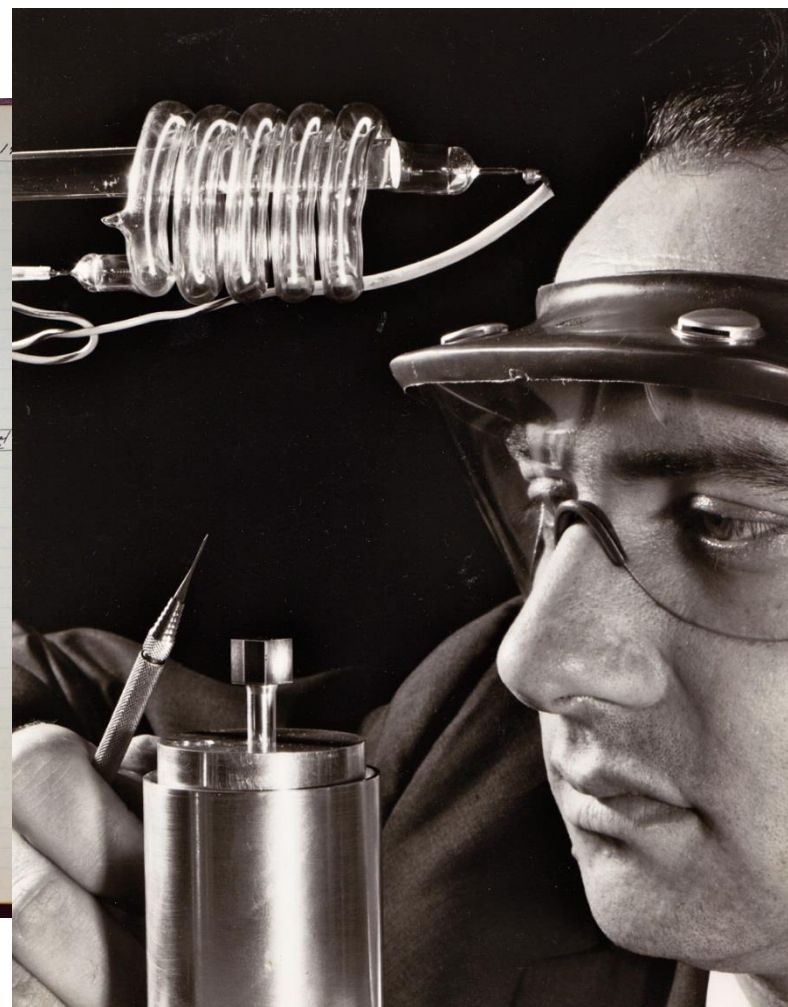
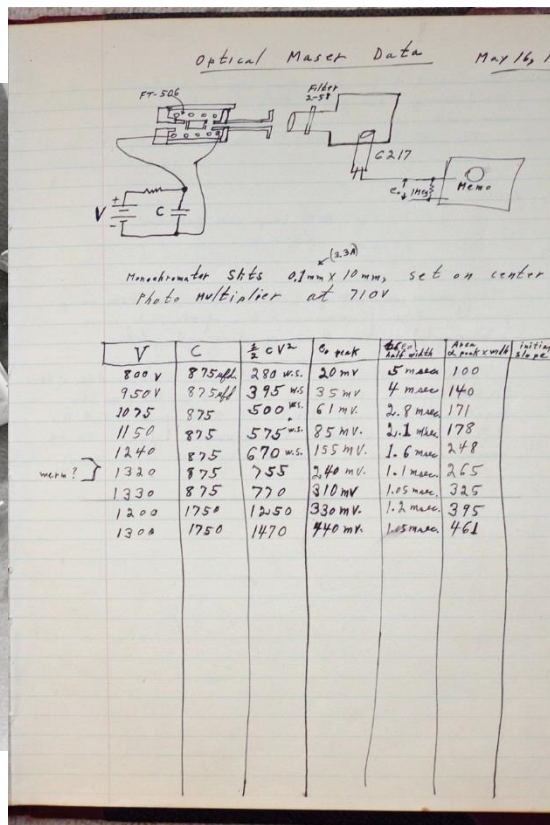
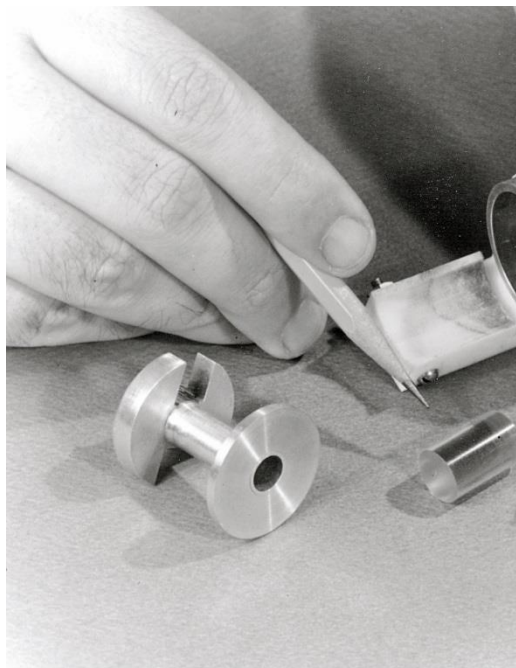
Institut pentru Optică cuantică, Max Planck
Garching
Ludwig Maximilians Universität München

Primul laser

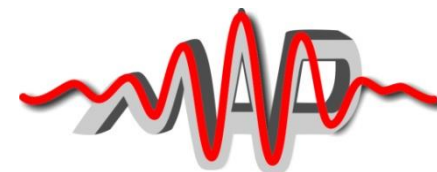
Teoria emisiei induse:

Einstein

1917



Experiment:
Theodore Maiman
1960



Aplicațiile laserelor

În viața de toate zilele

- CD/DVD playere
- cititor de coduri
- bariere cu lumină
- indicator cu laser
- măsurarea vitezelor
- măsurarea lungimilor
- ...



În medicină

- intervenții chirurgicale (ex. corecția ochiului, bisturiu laser)
- localizare precisă (ex. în radioterapie)
- aplicații în imagistică medicală
- ...



În industrie

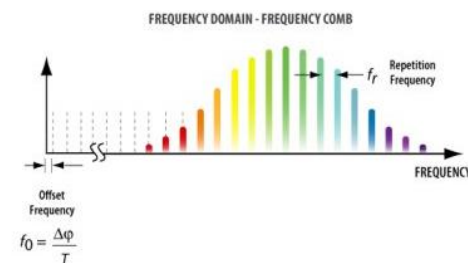
- prelucrarea materialelor (tăieri, găuriri, suduri punctiforme)
- localizări spațiale de precizie
- supraveghere permanentă
- ...



Aprinderea fuziunii nucleare

În cercetare

- spectroscopie
- fizica attosecundelor
- interacțiuni laser-substanță
- optică nelineară
- cercetarea fuziunii nucleare
- nanostructuri
- măsurarea precisă a frecvenței
- informație cuantică
- ..





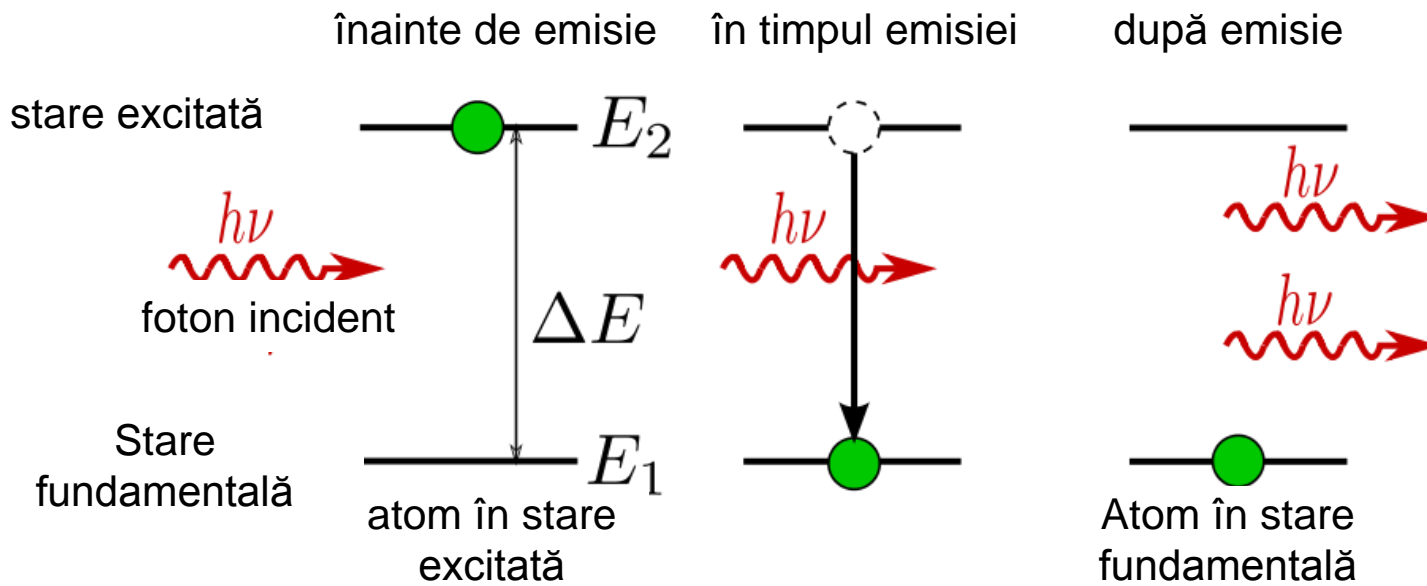
Structura prezentării

- Principiul de funcționare a laserului
- Proprietățile radiației laser
- Prezentare experimentală
- Medii extreme: impulsuri laser ultracurte
 - Generarea impulsurilor ultracurte
 - Aplicații
- Perspectiva: „Infrastructură cu lumină extremă”

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

→ Amplificarea luminii prin emisie stimulată (indusă) a radiației

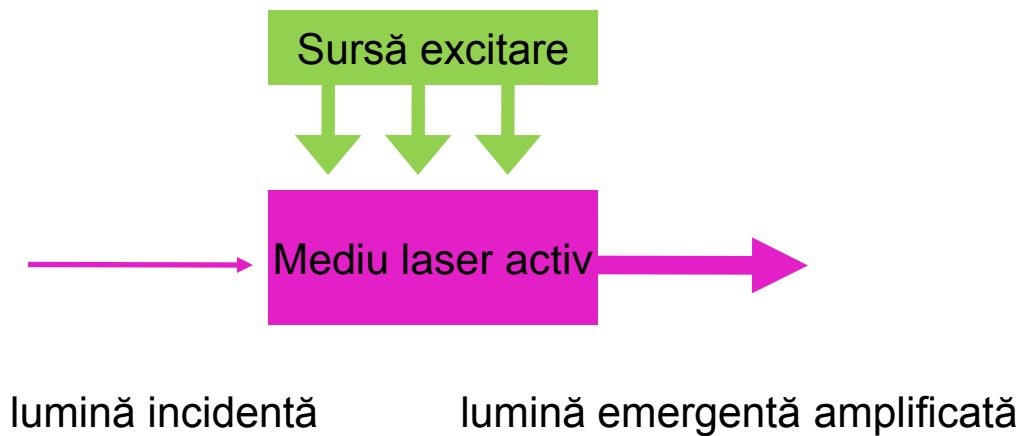
Nivelele de energie ale atomului în mediul activ laser:



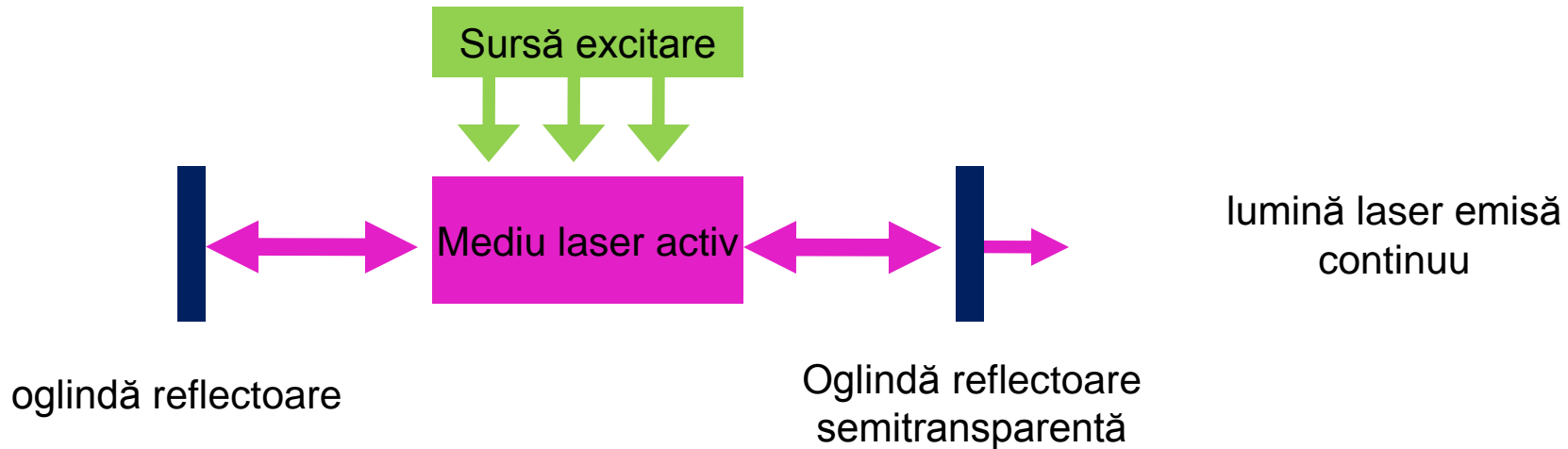
$$E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu$$

Sursa: Wikipedia

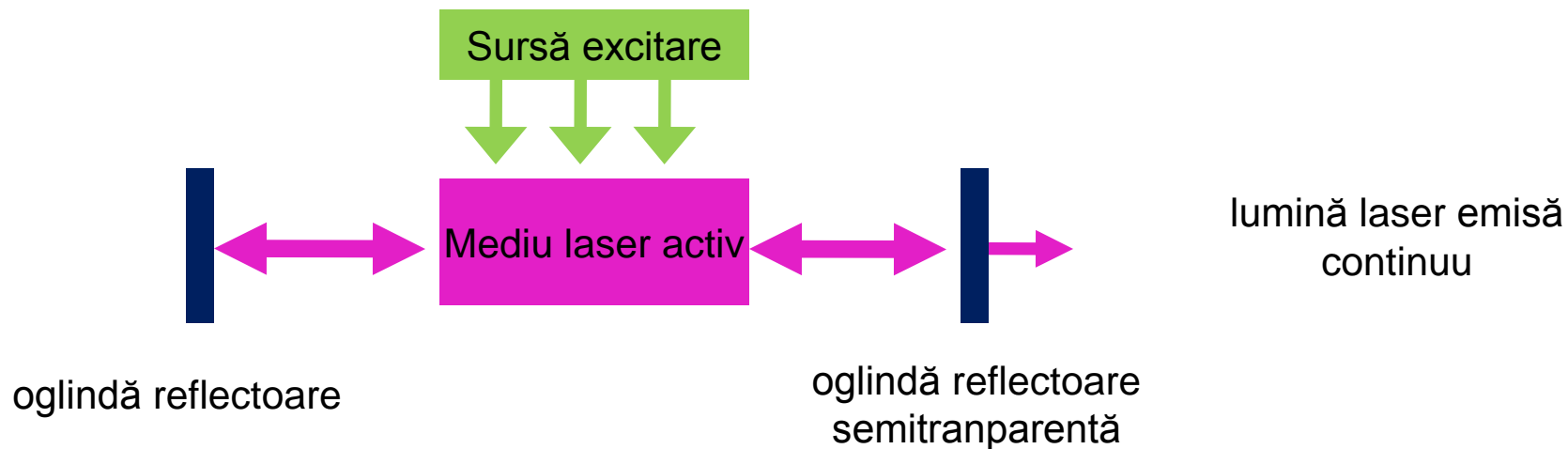
Amplificarea luminii prin emisie stimulată a radiației



Amplificarea luminii prin emisie stimulată a radiației

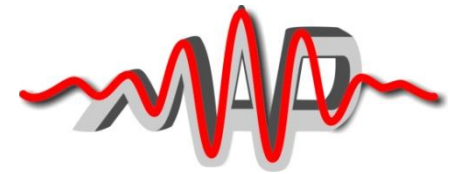


Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation



Proprietățile speciale ale luminii laser:

- coerentă
- monocromatică
- polarizată linear



Demonstrație experimentală: Proprietățile speciale a radiației laser

- **Coerența**
 - 1. experiment: interferometru
 - 2. experiment: reflexia difuză a radiației laser
 - 3. experiment: difracția – grosimea unui fir de păr
- **Spectru**
 - 4. experiment: spectrometru optic

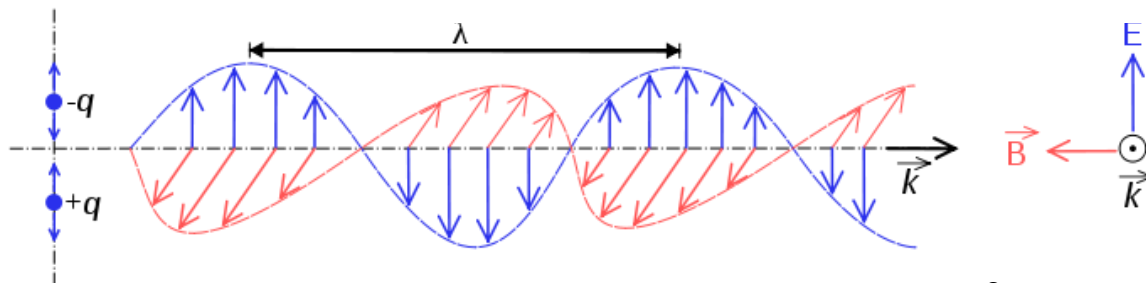
Lasere cu impulsuri – de ce folosim impulsuri scurte?

$$\text{puterea [watt]} = \frac{\text{energia [joule]}}{\text{timp [secundă]}}$$

- generatoare de putere – performanță electrică:
~ 300 milioane watt
→ 300.000.000 W = 300 x 10⁶ W = 300 MW
- radiația Soarelui pe Pământ: 1.7 x 10¹⁷ W

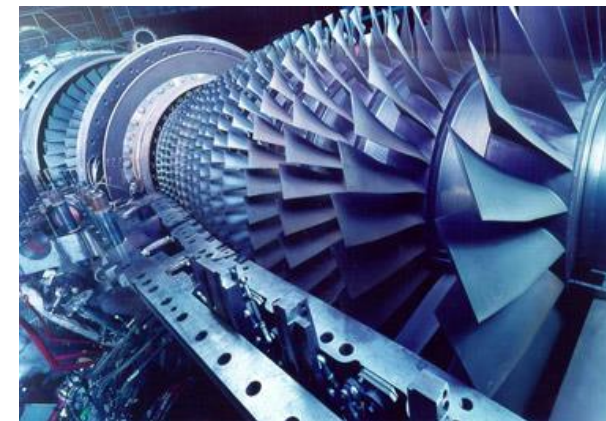


$$\text{intensitate [watt/cm}^2\text{]} = \text{densitate de putere [watt/cm}^2\text{]} = \frac{\text{putere [watt]}}{\text{suprafață [cm}^2\text{]}}$$



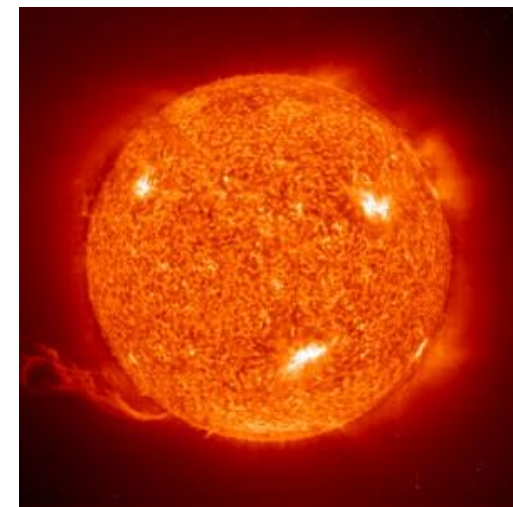
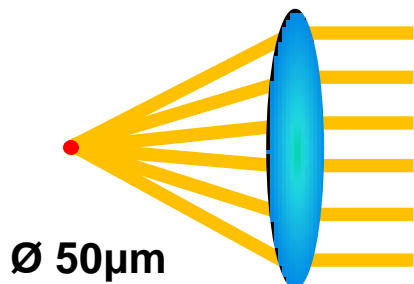
lumina: ~ (intensitatea câmpului electric)²

→ **soluția: impulsuri scurte**



Intensitatea impulsurilor scurte

Cum se poate obține o intensitate de 10^{22} W/cm²?



1 terawatt putere:

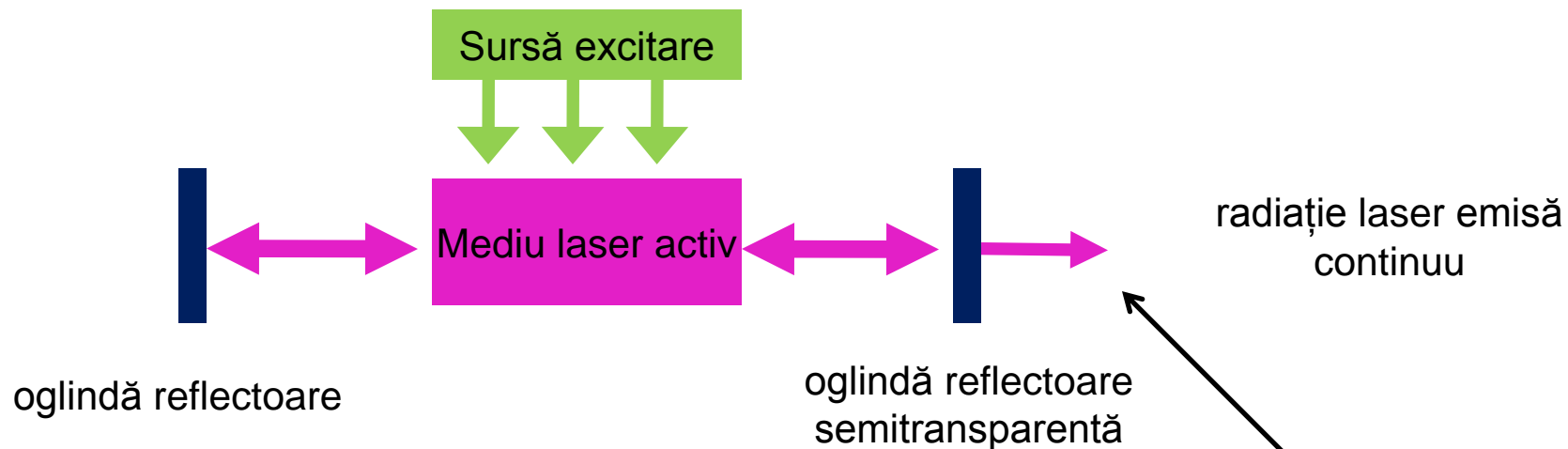
1 TW = 10^{12} W = 20 mJ / 20 fs
 → 10 µm focalizat: ~ **10^{18} W/cm²**

1 petawatt putere:

1 PW = 10^{15} W = 20 J / 20 fs
 → 10 µm-focalizat: ~ **10^{21} W/cm²**

Radiația Soarelui pe teritoriul (suprafața) Germaniei ~ 0.5×10^{15} W → **0.5 petawatt (PW)**

Lasere cu impulsuri

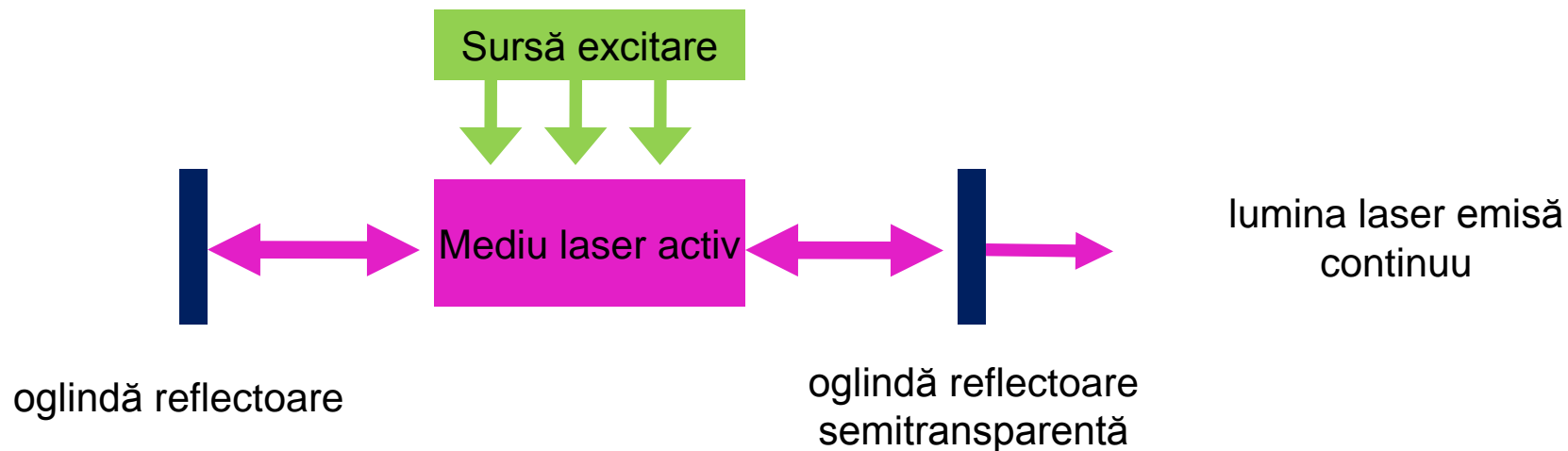


Cum se pot obține impulsurile laser?

- Întrerupere periodică a razei laser (“chopper”) cu disc rotativ
→ impulsuri de milisecunde (10^{-3} s)



Lasere cu impulsuri



Cum pot fi produse impulsurile laser?

Trucuri:

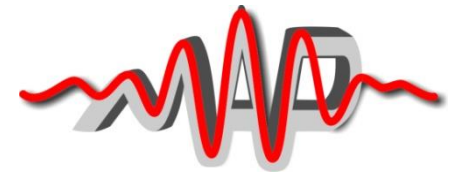
- Q-switching (impulsuri de nanosecunde/picosecunde $10^{-9} - 10^{-12}$ s)
- Mode-locking (impulsuri de femtosecunde 10^{-15} s)

LMU



MAX-PLANCK-GESellschaft

Munich-Centre for Advanced Photonics

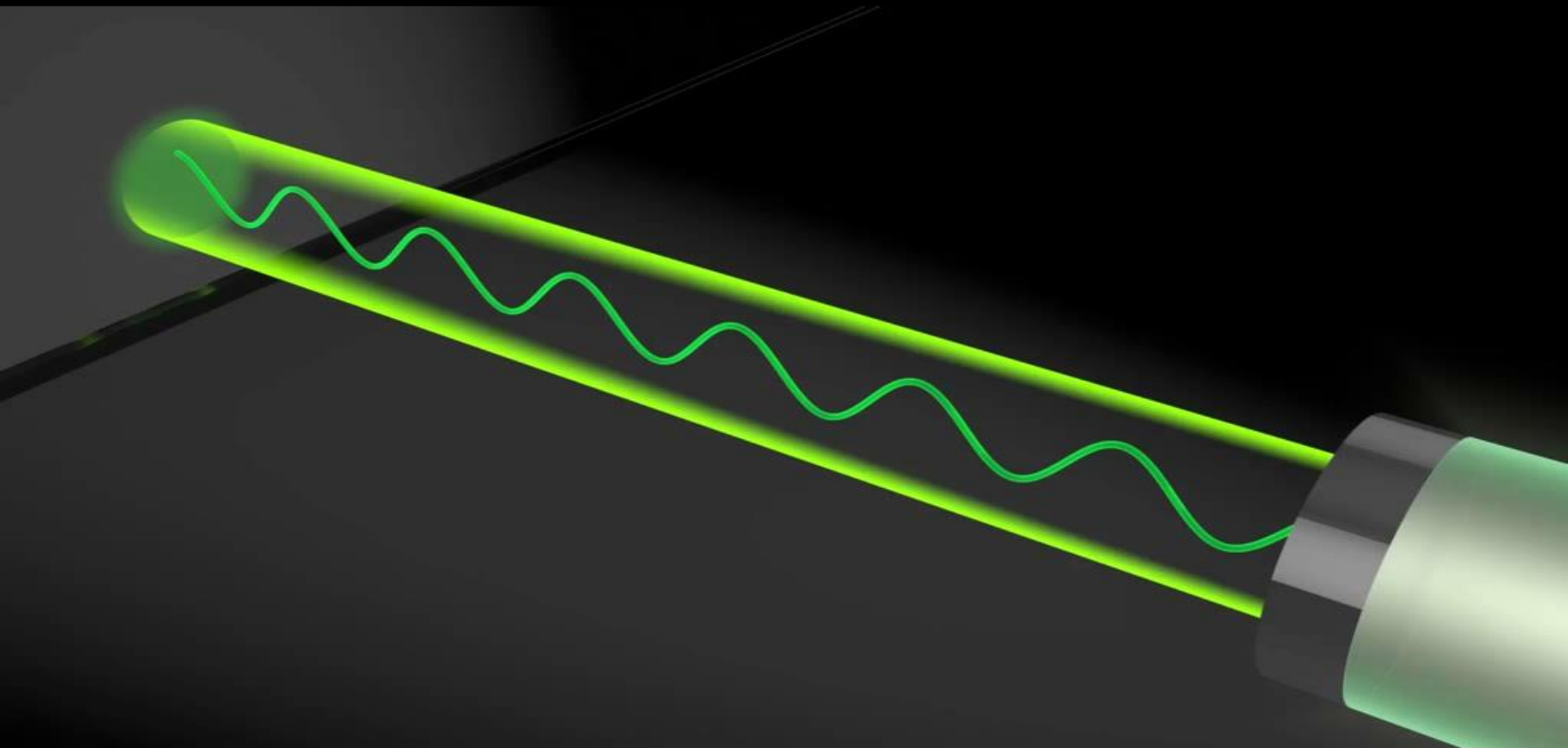


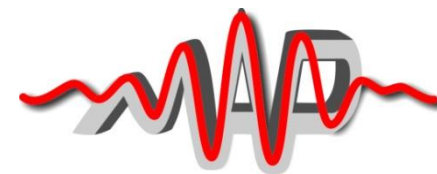
Lungimea parcursă de impulsurile laser

www.attoworld.de

26.12.2017

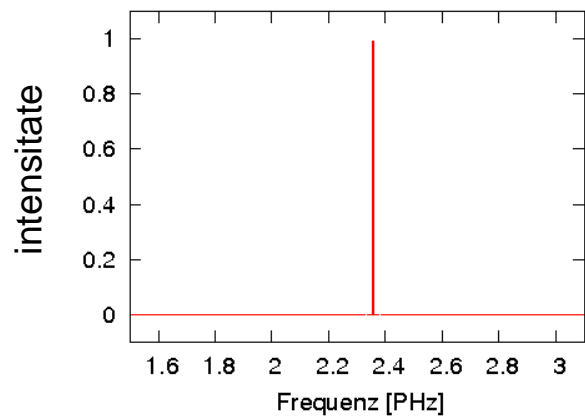
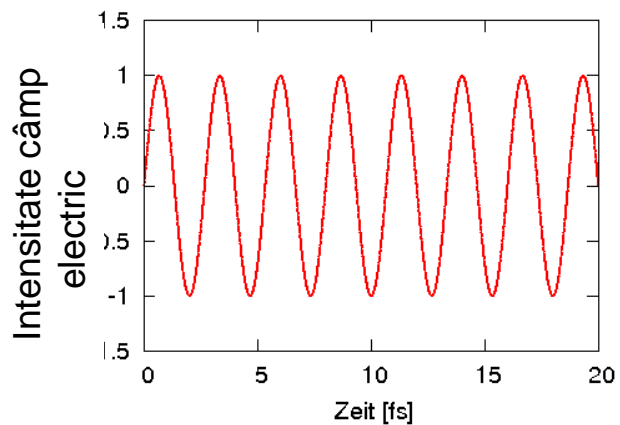
Mode-locking

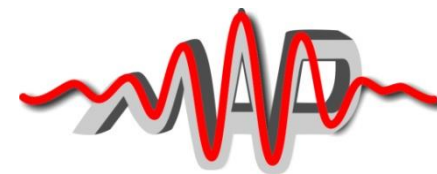




Durață impuls – spectru frecvențe

lumină monocromatică

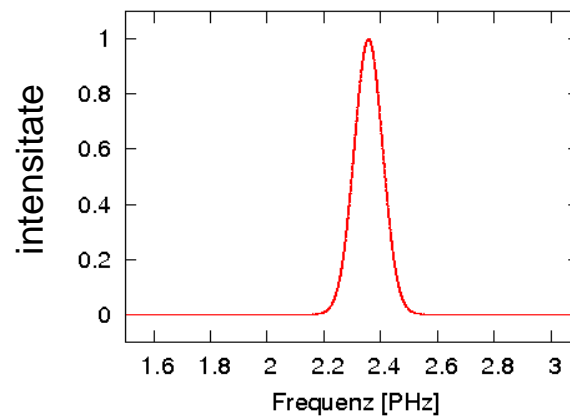
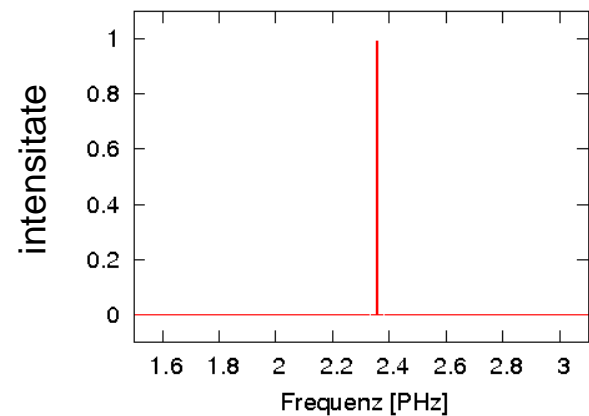
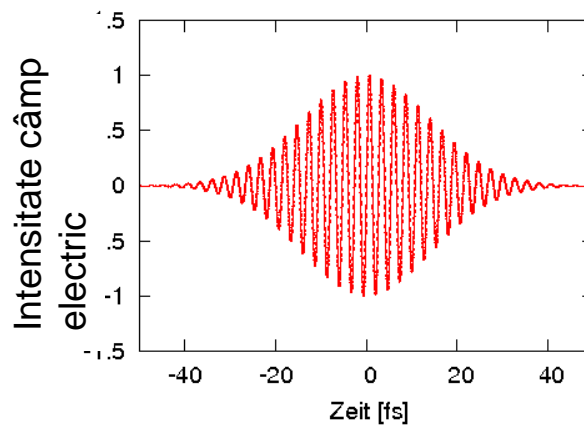
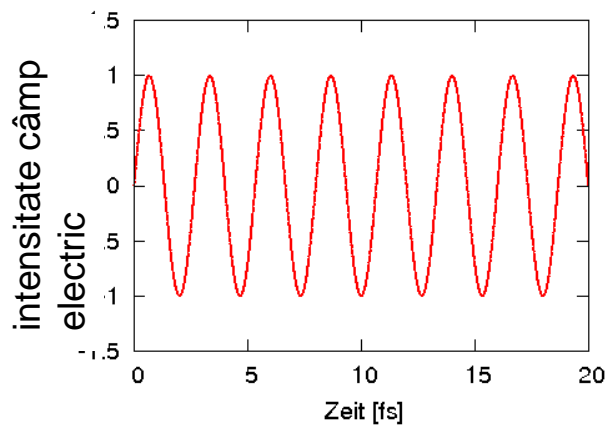


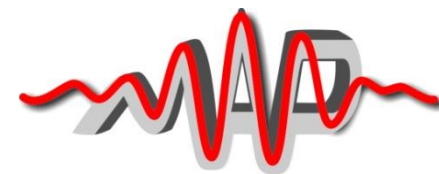


Durată impuls–spectru frecvențe

lumină monocromatică

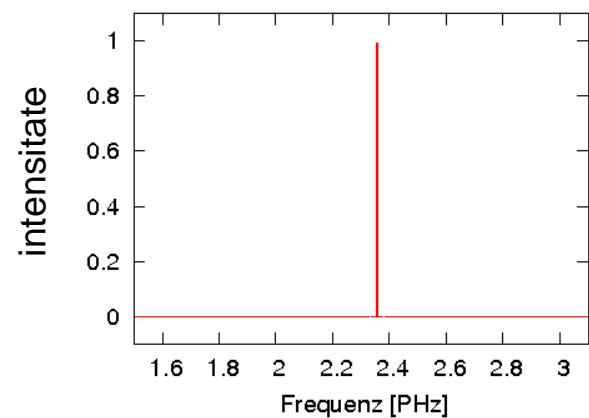
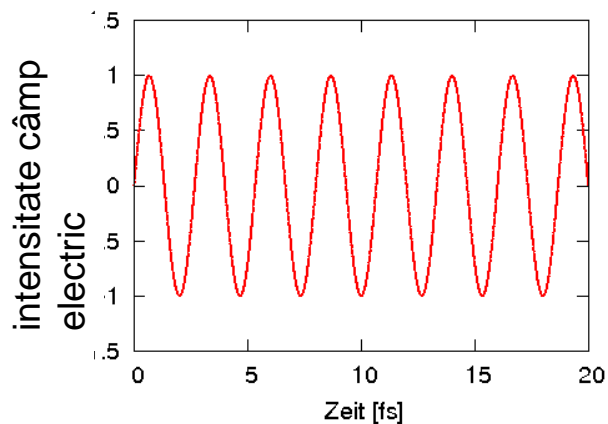
impuls de 20 femtosecunde



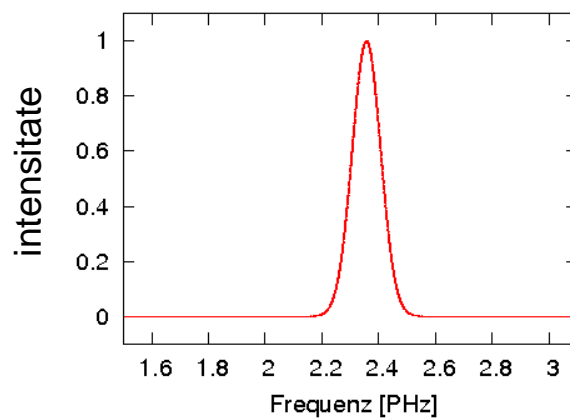
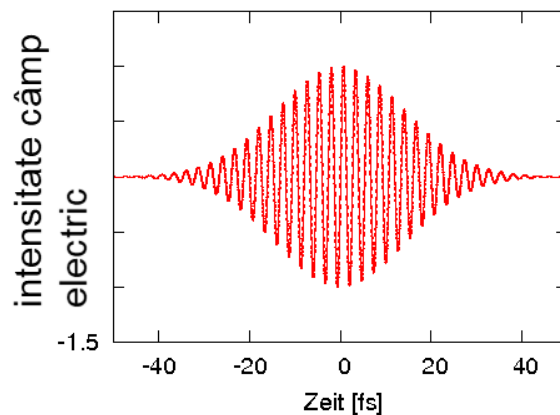


Durață impuls– spectru frecvențe

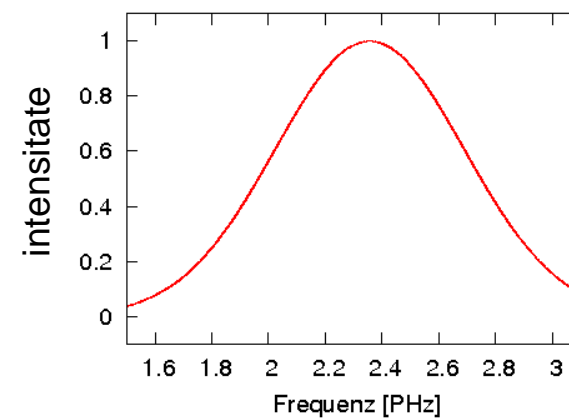
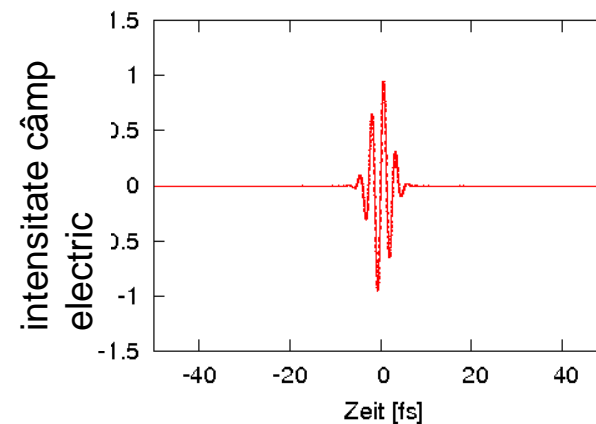
monokromatikus fény



20 fs-os impulzus



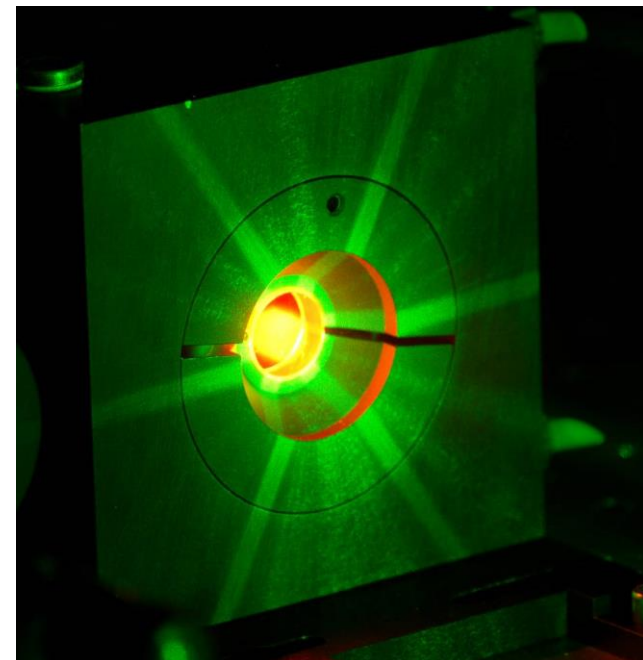
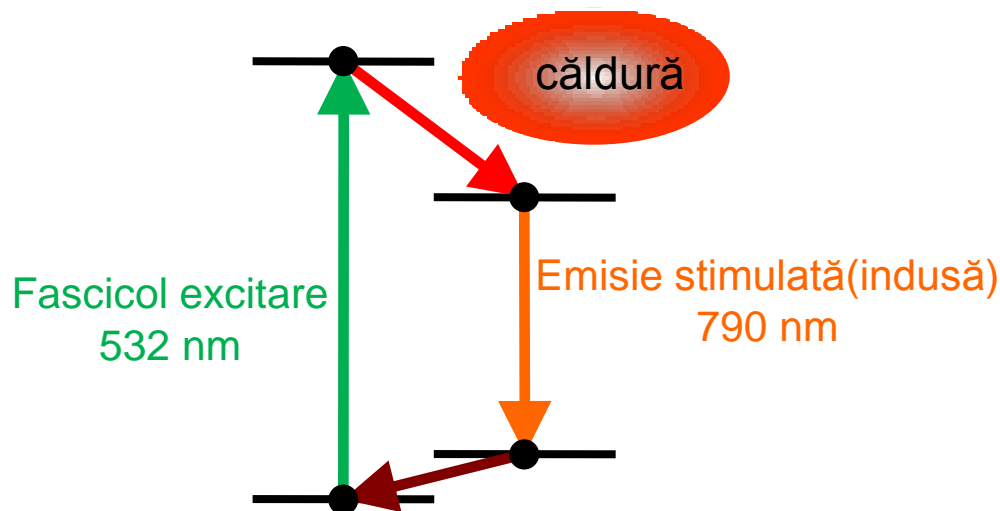
5 fs-os impulzus



Întărirea impulsurilor laser scurte

Light Amplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

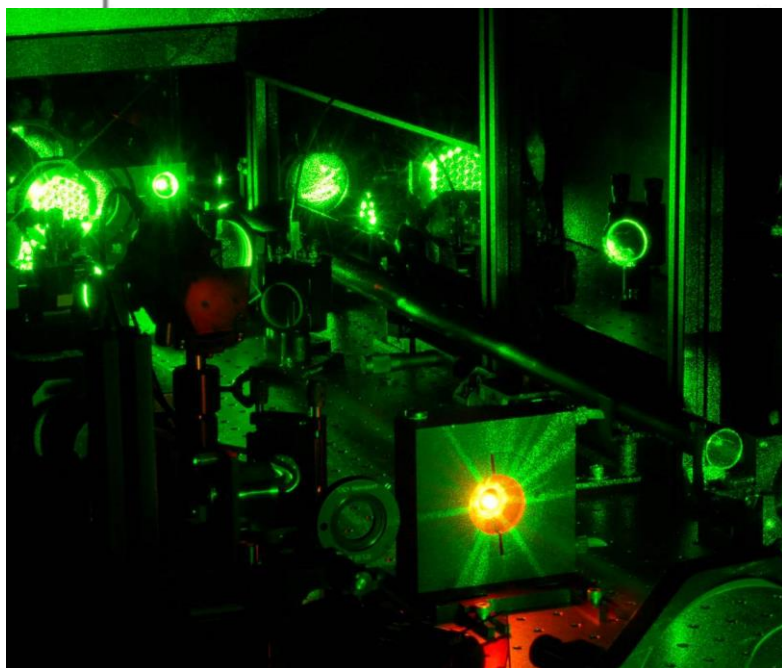
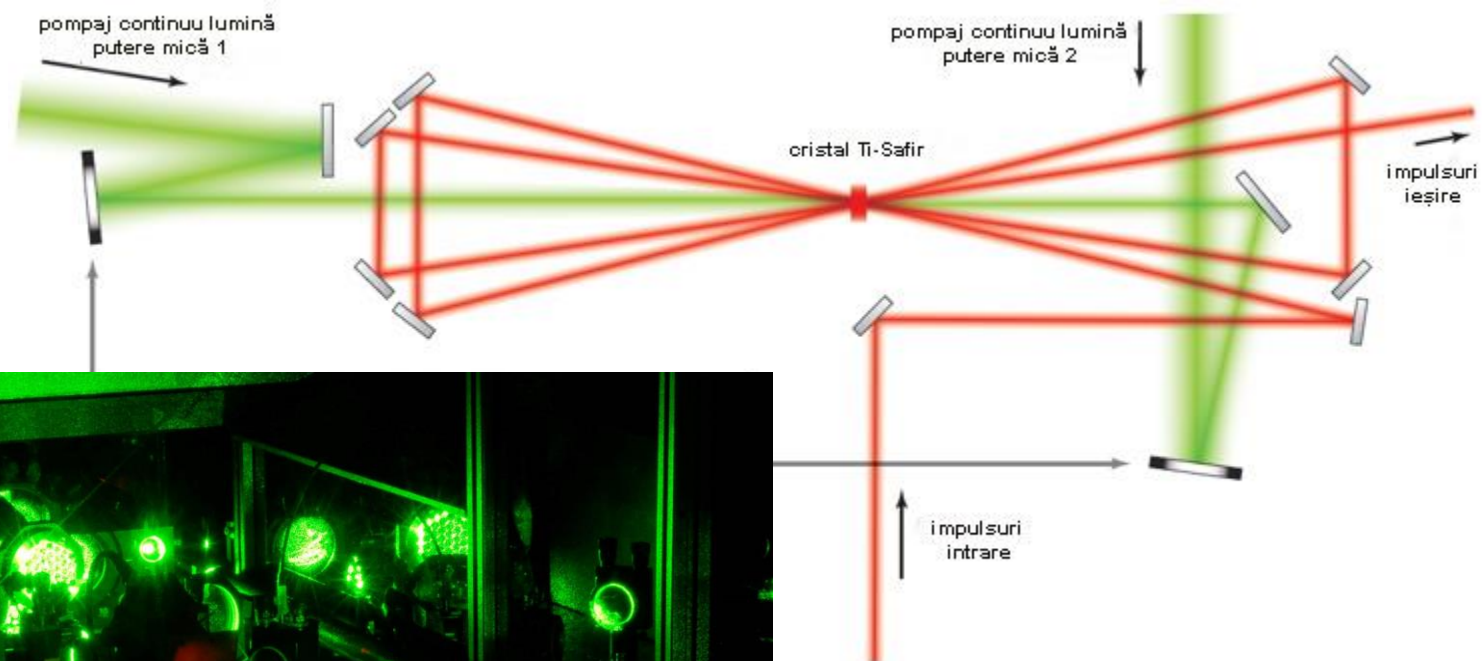
Exemplu: Cristal laser Titan-Safir ($\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$)



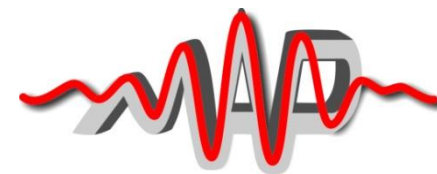
Cristal laser Titan-safir în
Laserul-ATLAS (MPQ/CALA)

Lungimea de undă a laserului de
excitare: 532 nm

Impulsuri cu energie mare

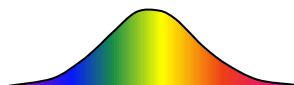


Truc: amplificare-puls prin modulare de fază (CPA)

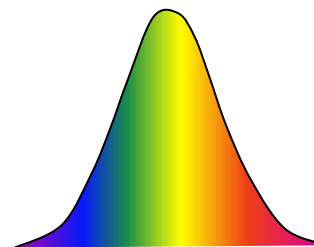


Amplificare impuls-prin modulare de fază Chirped-pulse amplification (CPA)

alungire



amplificare



comprimare



impuls inițial:
1 μ J, < 44 fs

Impuls alungit:
1 μ J, 350 ps

impuls alungit
amplificat:
1.8 J, 350 ps

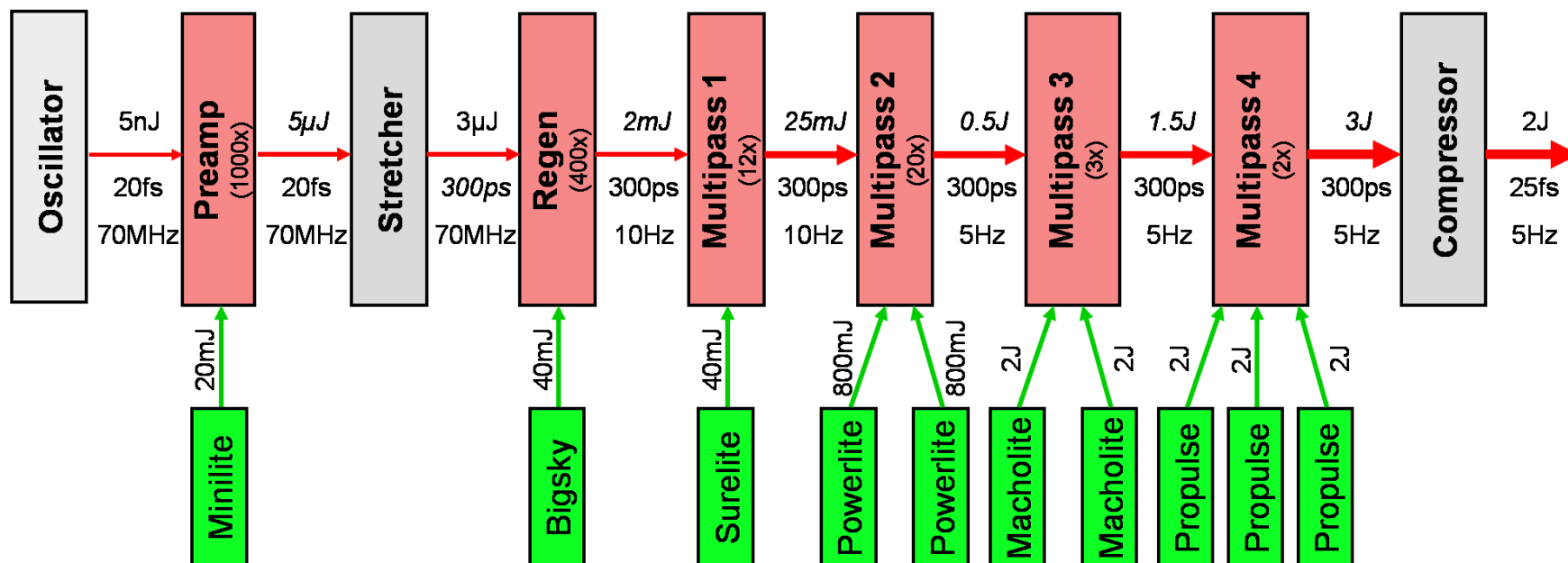
impuls comprimat
de energie mare:
1.2 J, 44 fs

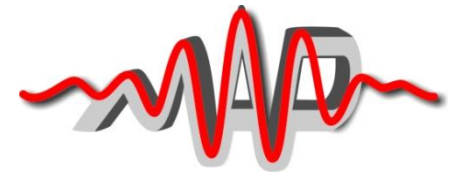




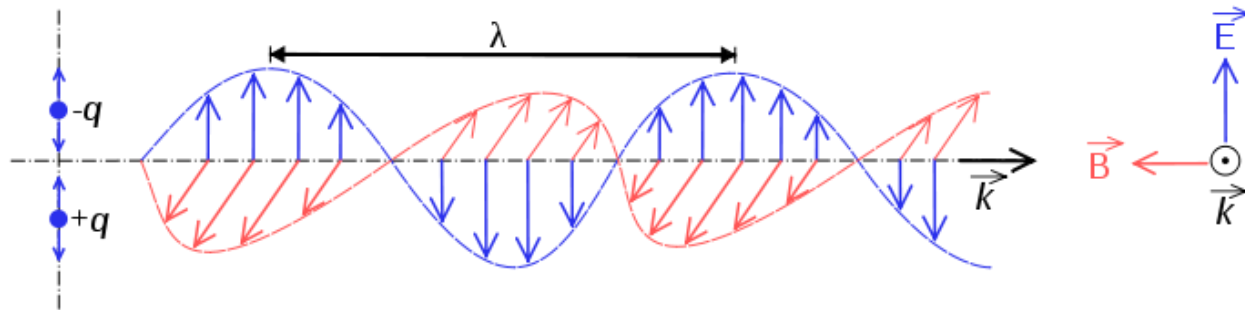
Diagrama modulară a laserului cu randament ridicat

ATLAS în MPQ/CALA





Impulsuri relativiste laser în câmp electromagnetice



Ecuția mișcării electronului în câmp electromagnetic de unde plane:

$$m_e \frac{d}{dt} (\gamma \vec{v}) = -e (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad \rightarrow$$

Electronul într-un sfert de perioadă a câmpului accelerează la viteză relativistă

Potențial vectorial normat:

$$a_0 = \frac{e |\vec{A}|}{m_e c} \quad \begin{array}{l} a_0 \ll 1: \text{nerelativist} \\ a_0 > 1: \text{relativist} \end{array}$$

$\rightarrow 10^{12} \text{ W} = \text{TW}$ puterea laser necesară

$$\vec{A}(\vec{x}, t) = \vec{A}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{x} + \phi)$$

Impulsuri laser:

$$P = 20 \text{ mJ} / 20 \text{ fs} = 10^{12} \text{ W} = 1 \text{ TW}$$

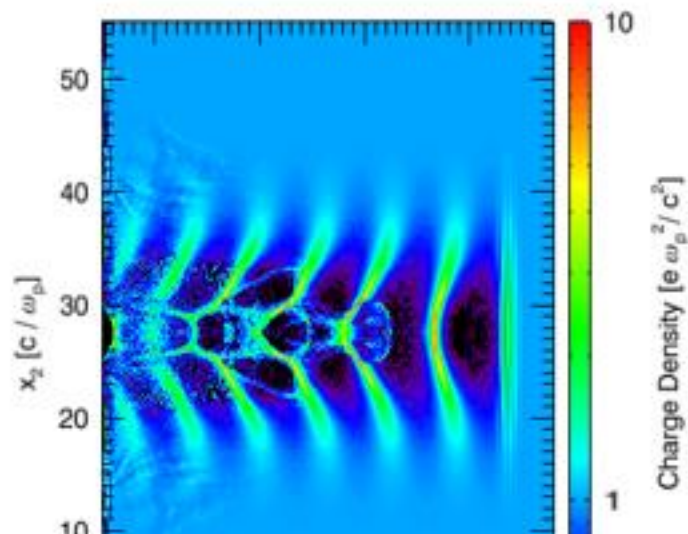
$$P = 20 \text{ J} / 20 \text{ fs} = 10^{15} \text{ W} = 1 \text{ PW}$$

Intensitatea laserului:

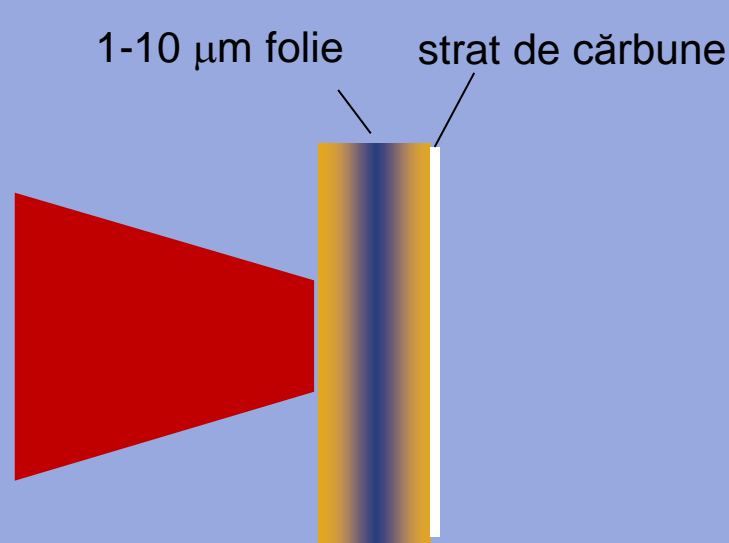
$$I_L > 10^{18} \text{ W/cm}^2 \\ \text{at } \lambda = 1 \mu\text{m}$$

Necesară descrierea relativistă

Accelerarea electronilor cu laseri: „laser-wakefield acceleration”



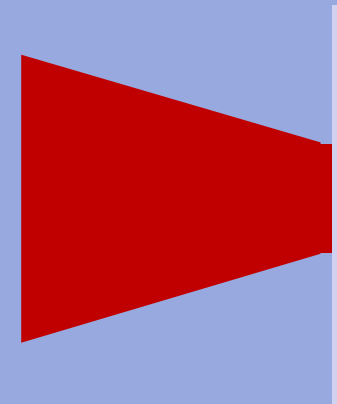
longyorsítás



„Accelerare țintă-învelită normal”

Actualmente se pot obține fascicule de protoni >5 MeV cu foliile DLC. Primele aplicații în domeniul medicinei \rightarrow în tratarea cancerului sunt necesare energii mai mari $\sim 25\text{-}100$ MeV/u

Folie liberă
folie „diamond-like carbon”

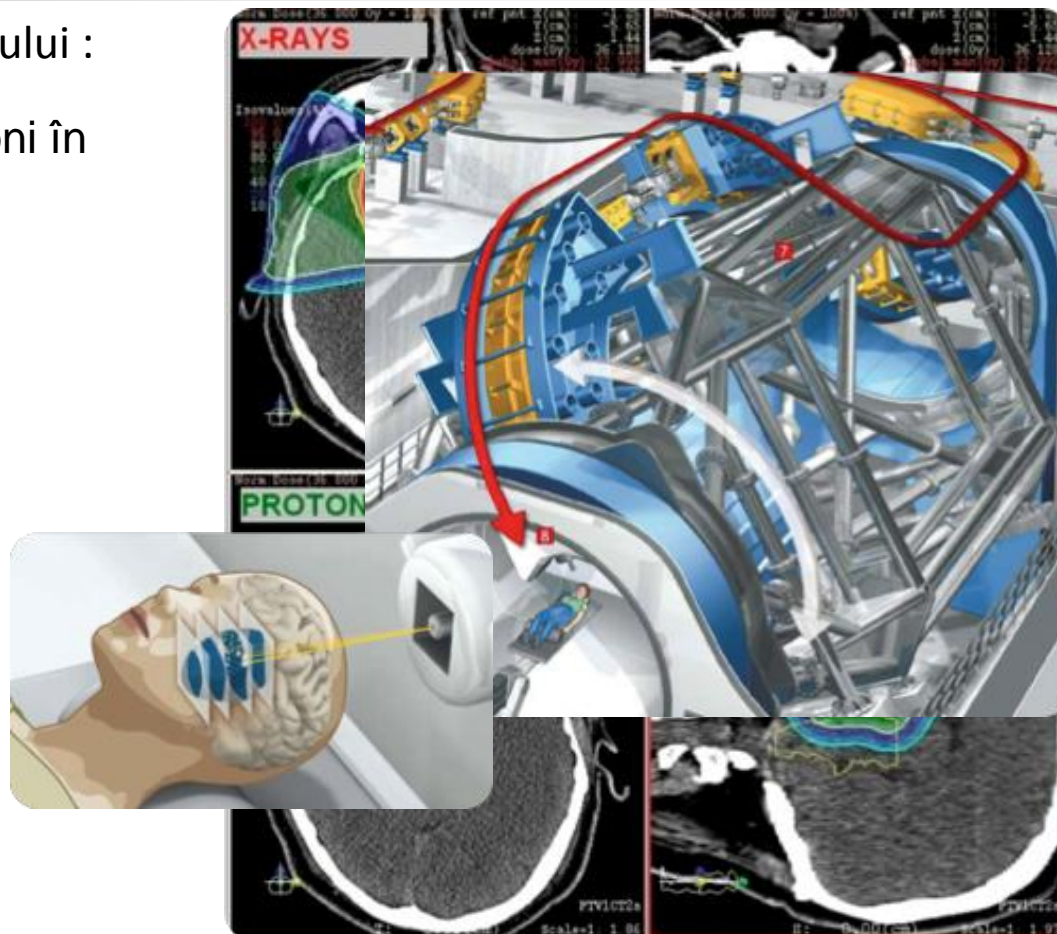
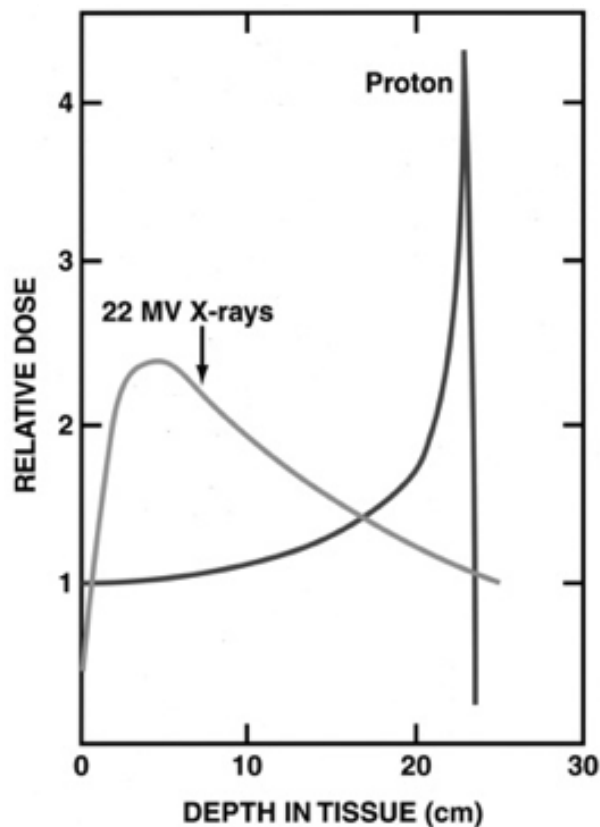


Accelerare cu presiunea luminii

Accelerarea ionilor

Radiația de ioni în tratamentul cancerului :

Dozarea radiației Röntgen și de ioni în țesuturile biologice



Actualmente este nevoie de aparatură de mari dimensiuni în terapia cu ioni (ex. Heidelberg)

Infrastructuri Extreme cu Lumină – ELI

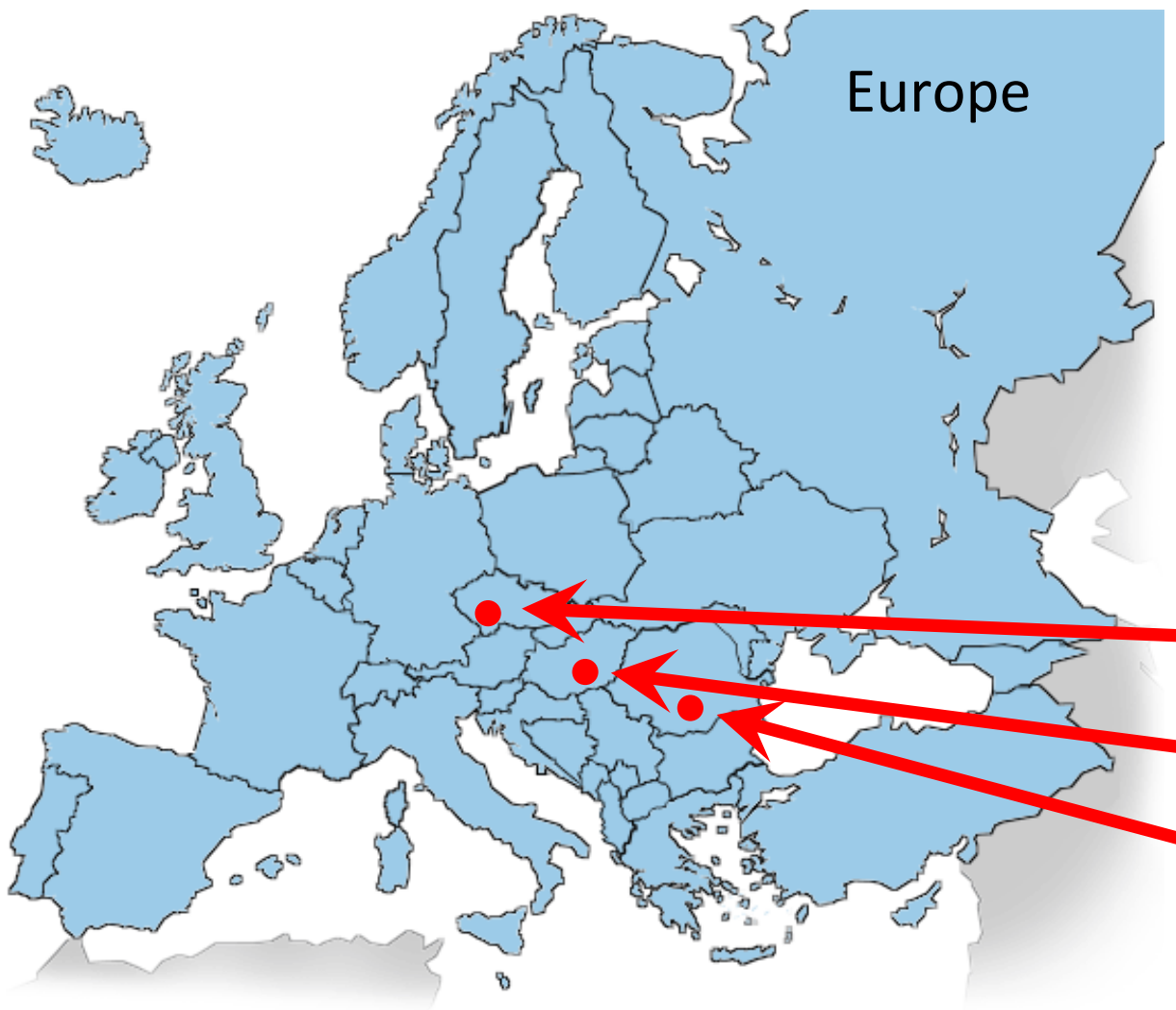


Rețeaua Europeană de
laboratoare cu lasere de
mare energie

Csehia

Ungaria (Szeged)

România



ELI-Beamlines, Praga



100 mJ/20 fs/1 kHz
20J/15 fs/10 Hz
30 J/30 fs/0.1-10 Hz
2 kJ/130 fs → 10 PW



Scopuri:

- Accelerare de particule cu laseri, generare de raze roentgen și aplicațiile acestor surse,
- Folosirea marilor instalații de către utilizatori internaționali (user facility)

ELI-ALPS, Ungaria



Scopuri:

- Fizica attosecundelor
- timp deschis cercetărilor în știința materiei și biologie
- Folosirea de către utilizatorii internaționali a marilor instalații (user facility)

1 mJ/8 fs/1 kHz
1 J/8 fs/1 kHz
1J/12 fs/100Hz
40 J/15 fs/10 Hz

ELI-NP, București



**Laser de 10 PW îmbinat cu
accelerare clasică de electroni**

Scopuri :

- Analiza fenomenelor nucleare induse de lumină
- astrofizică în laborator
- Știința materiei
- Instalație mare la dispoziția utilizatori internaționali (user facility)

Vă mulțumesc pentru atenție!

