

А.М. Негрійко,
член-кореспондент НАН України

Лазер – інструмент науки XXI століття

Вступ до спеціальності
“Прикладна фізика”

*Кафедра прикладної фізики
Фізико-технічного інституту
Національного технічного університету України
Київський політехнічний інститут*

28 жовтня 2016 р.

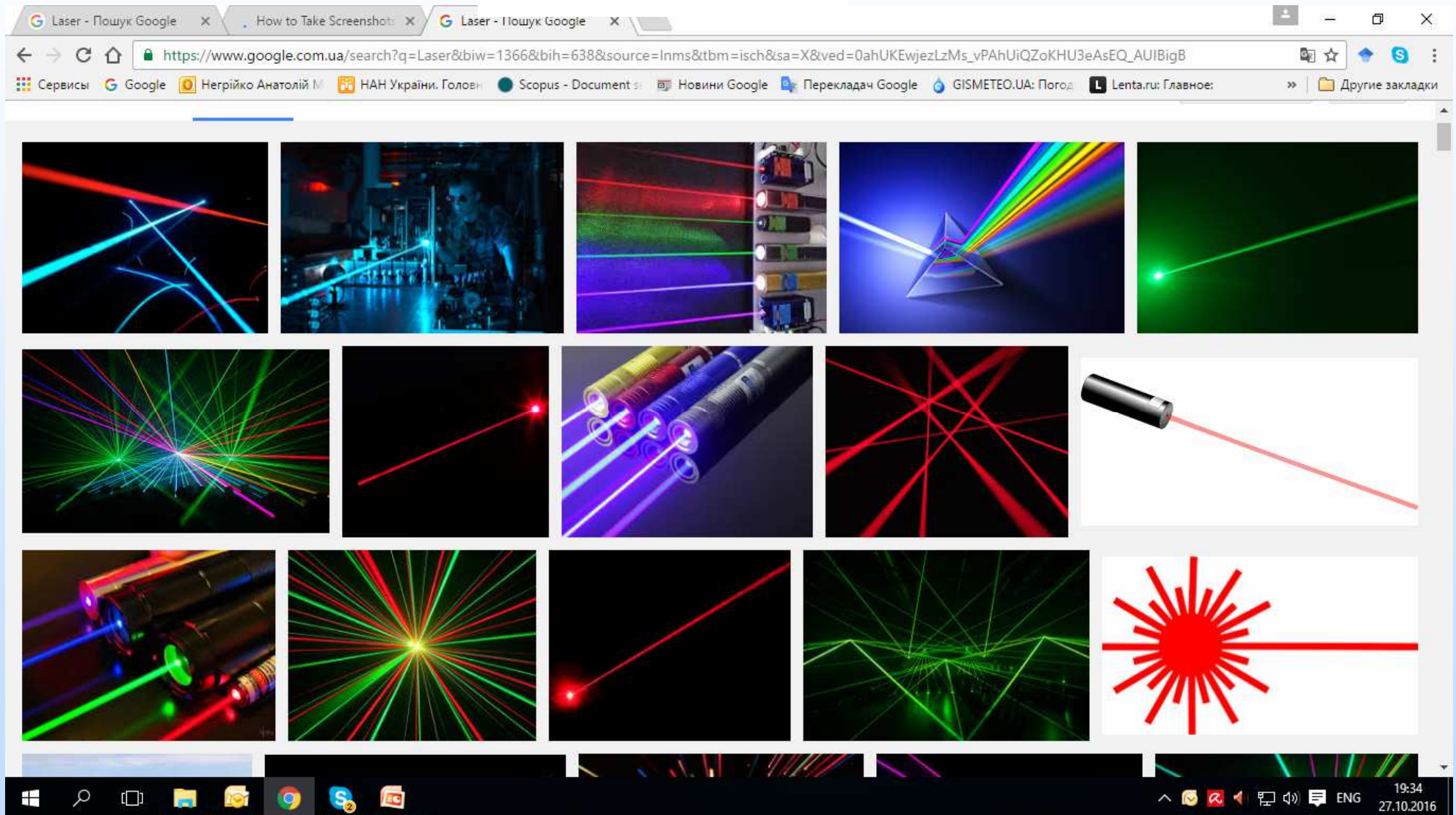
Що знають люди про лазер ?

- Лазер – це потужний яскравий промінь - червоний, зелений, синій... інфрачервоний, ультрафіолетовий...
- Він небезпечний для очей – і не тільки...
- Кажуть, він має багато застосувань... але яких ?...



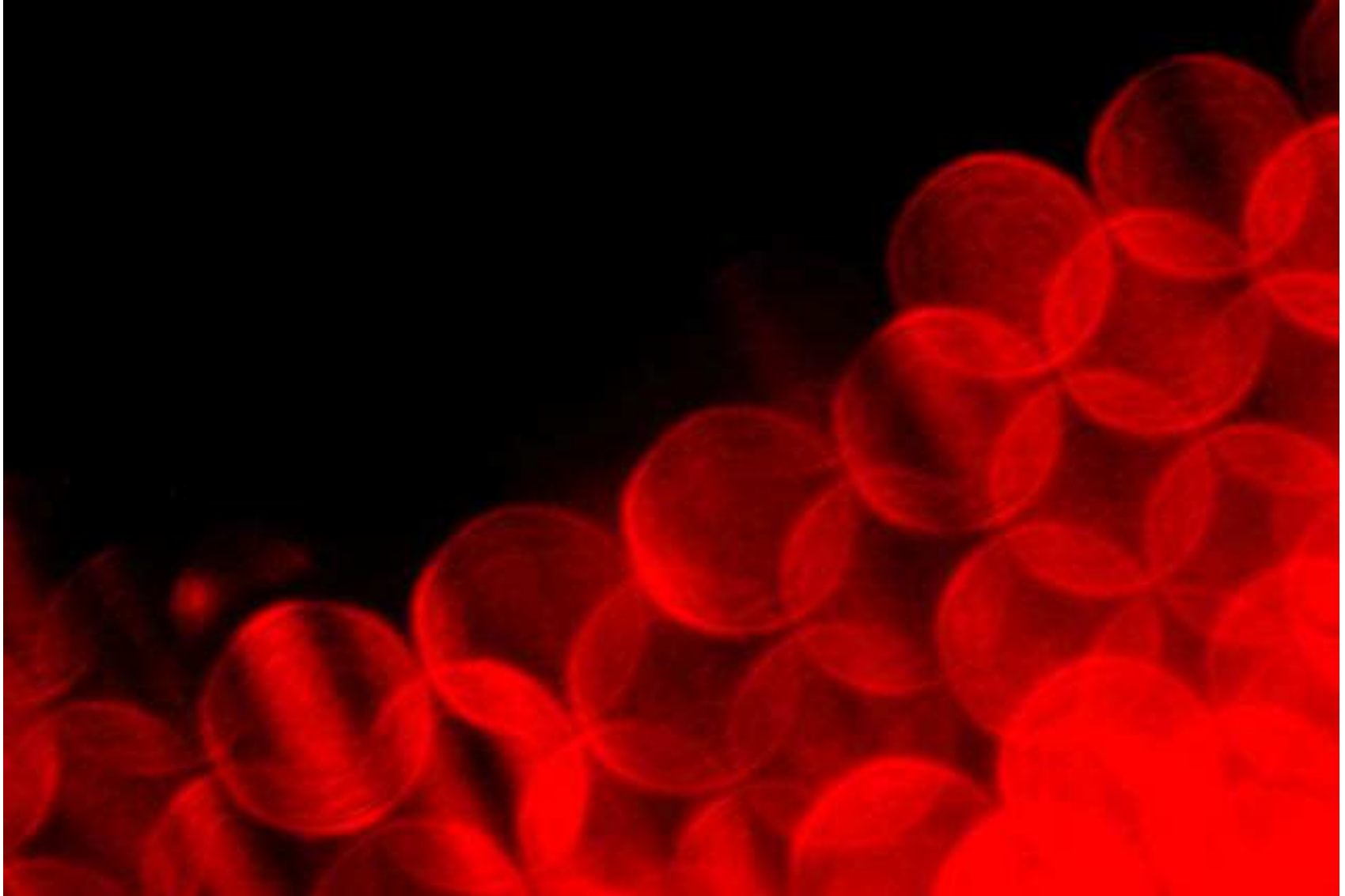


Laser: 544 000 000





Scientists Make Lasers Out of Human Blood

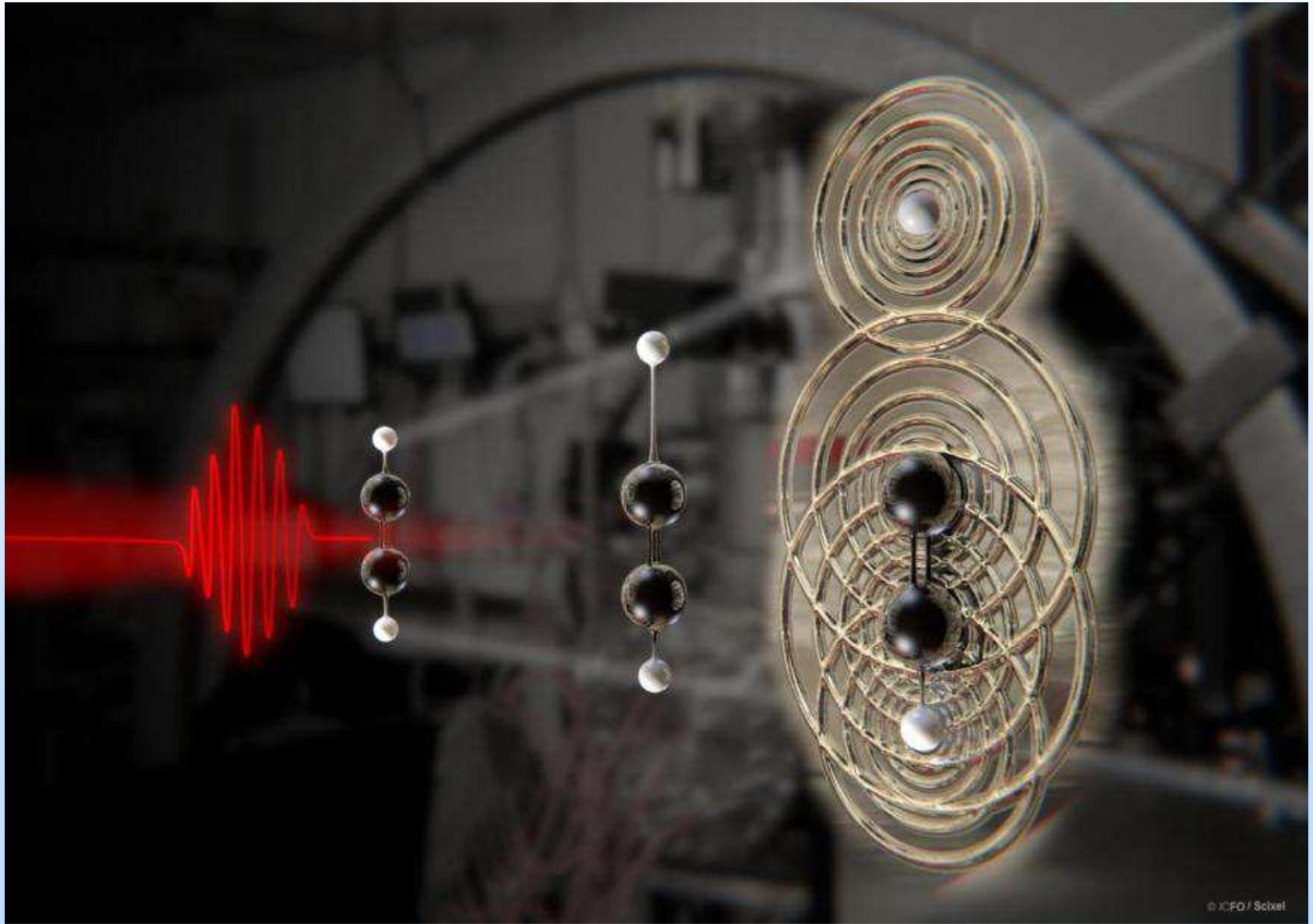


Drone-Killing Laser Cannon



Physicists Use Lasers to Capture First Snapshots of Rapid Chemical Bonds Breaking

October 24, 2016

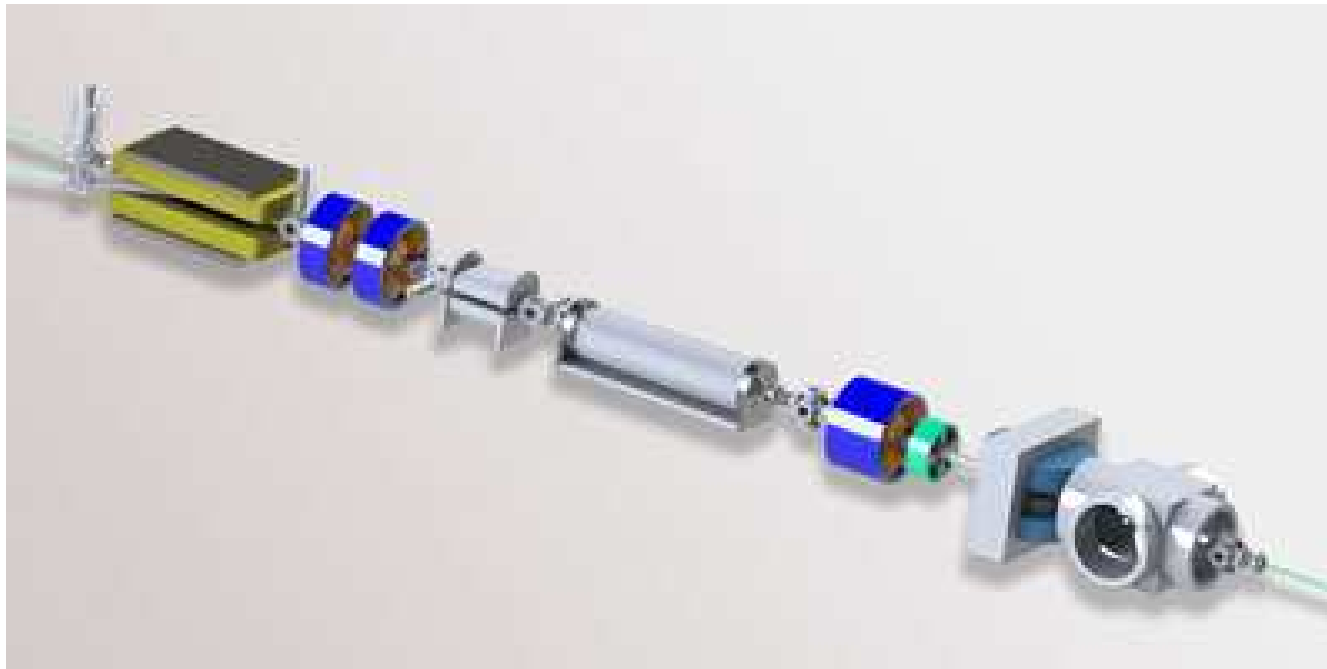


Physicists break record for laser-electron interaction

Oct 26, 2016

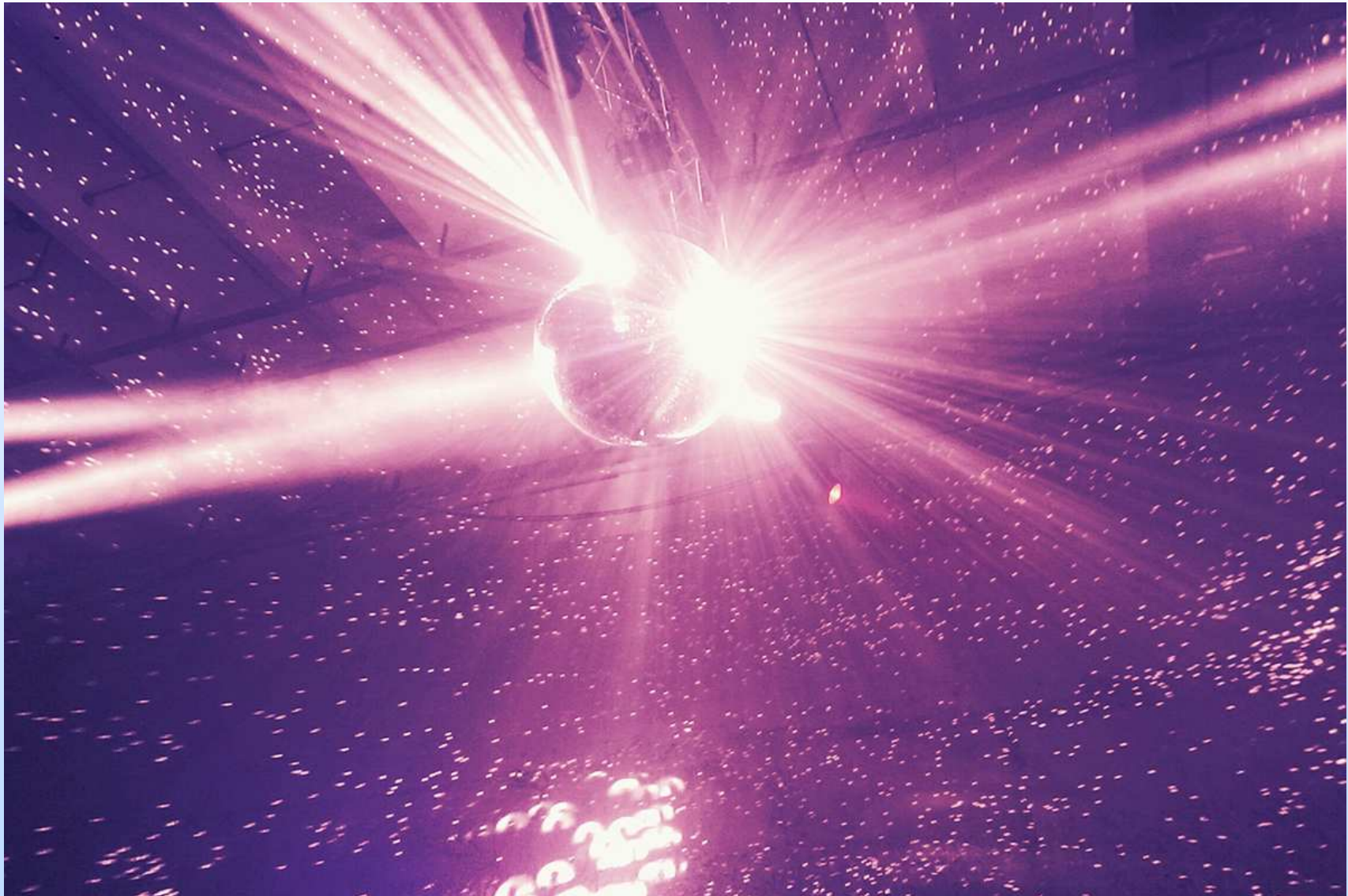
Researchers have converted the energy of an electron beam into a pulse of coherent light with an efficiency of 30% – much higher than the 10% efficiency of most free-electron lasers.

While their demonstration produces only infrared light, the method could lead to efficient, high-power lasers operating over a range of wavelengths, including X-ray.



DAILY NEWS 11 October 2016

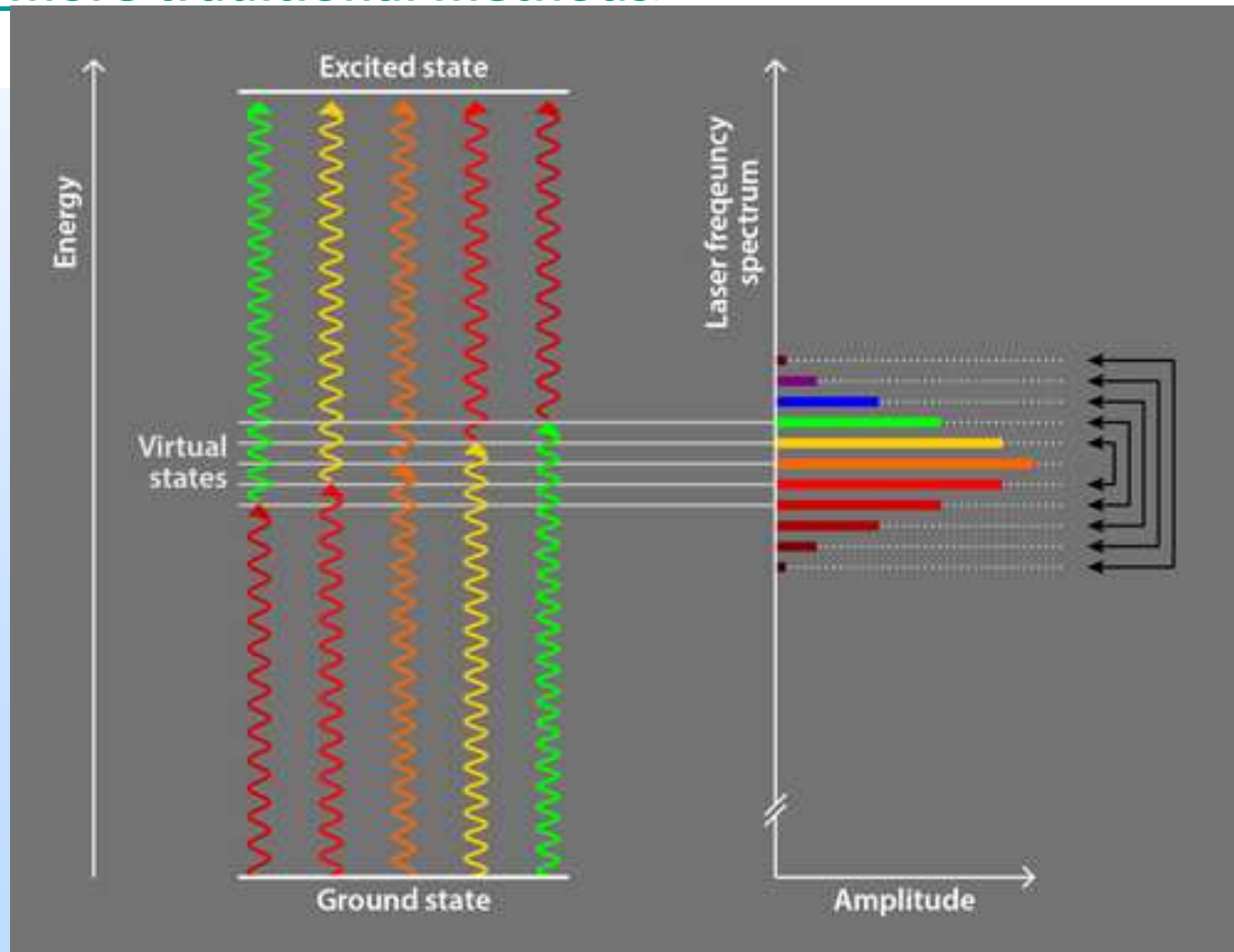
Disco-ball sail propelled by laser could fly to a nearby star



Cold Results from Fast Lasers

October 10, 2016 • *Physics 9, 115*

Ultrafast lasers show promise to cool down and trap atomic species inaccessible to more traditional methods.



Далекомір КДТ-2У (Фотоприлад, Черкаси)

Призначений для виміру дальності до цілі і видачі інформації про дальність на блок індикації і на балістичний обчислювач. Використовується на бронеоб'єктах типу Т55А, Т-62, БМП.

Складається з приймача - передавача з встановленими в ньому лазерним випромінювачем, фотоприймачем і візиром, електроблока, блока індикації, пульта керування, кабелів, скла захисного, ЗІП.

Діапазон вимірювання дальності:

50 - 4000 м





Противотанковые управляемые снаряды, запускаемые через ствол пушек, установленных на танках, занимают особый сегмент оружейного рынка. Украина в этом сегменте представляет выстрелы с управляемой ракетой «Комбат» и «Конус». Это высокоточное изделие разработано ГП «Государственное ККБ Луч», серийное производство осуществляет ГАХК «Артем».

ЛАЗЕРНІ ГІРОСКОПИ ДЛЯ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ПРИЗНАЧЕННЯ: вимірювач проекції вектора кутової швидкості основи на вісь чутливості ЛГ.



ОСОБЛИВОСТІ:

Лазерні гіроскопи з 3-ма довжинами периметру. Моноблочна конструкція, кільцевий лазер на вібропідставці в електромагнітному екрані.

СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ:

ЛГ використовуються у складі безплатформних інерціальних навігаційних систем.

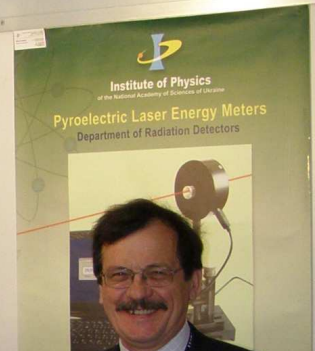
ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:



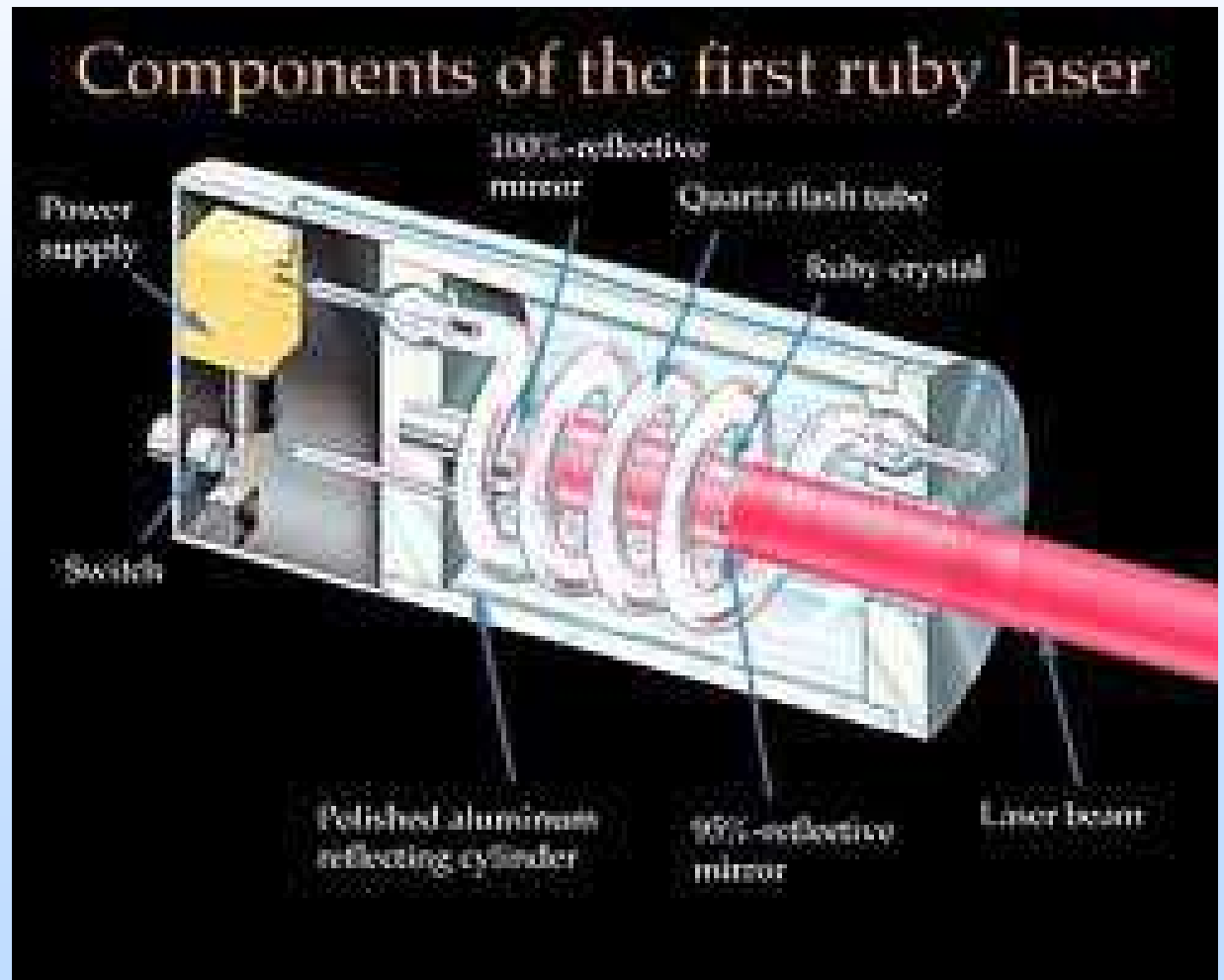
Модель (довжина периметру, см):	RL-28 (периметр - 28 см)	RL-16 (периметр - 16 см)	RL-08 (периметр - 8 см)
Зміщення нуля, град./год.	0.005...0.01	0.02...0.05	0.3...0.7
Випадковий відхід в куті, град./√год.	0.001...0.003	0.006...0.02	0.03...0.08
Нестабільність масшт. коефіцієнта	10 ppm	20 ppm	100 ppm
Діапазон кутових швидкостей, град./с	± 400	± 600	± 1000
Температурний діапазон, °C	-40 ... +65	-40 ... +65	-40 ... +65



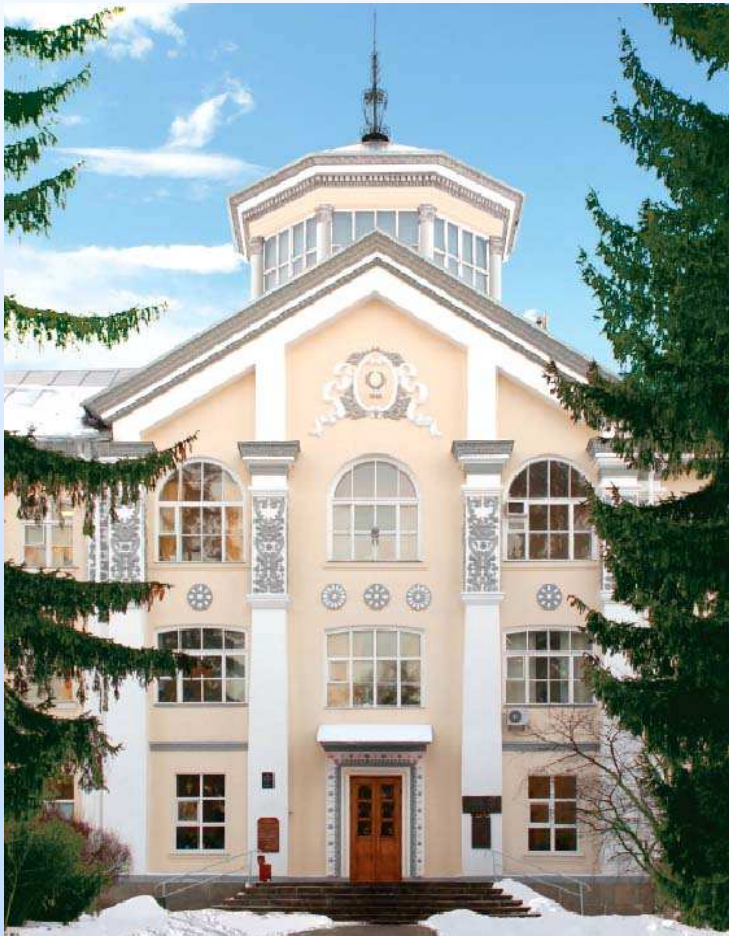
INSTITUTE OF PHYSICS UKRAINE



Перший лазер - 1960



А минулого року виповнилося 50 років лазеру в Україні



М.С. Бродин
(зліва, тепер
академік),
В.Л. Броуде



М.С. Соскін,
М.Т. Шпак,
В.Й. Кравченко,
Є.О. Тихонов

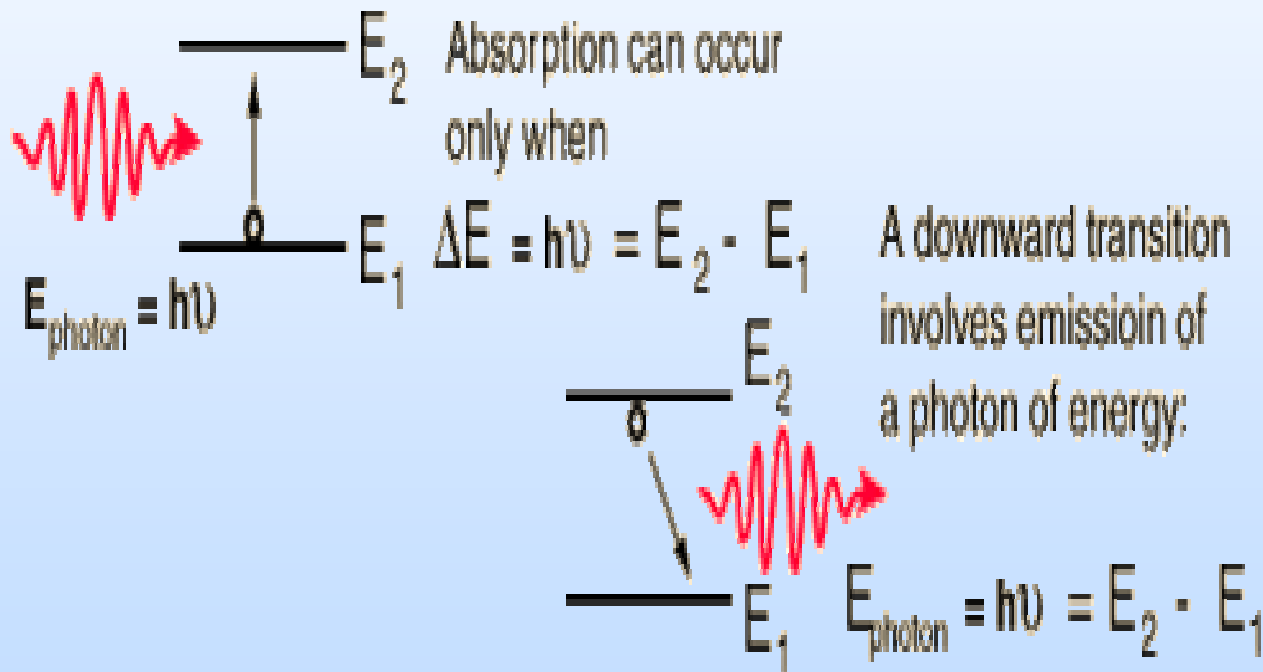
Що може лазер ?

- Записувати й відтворювати інформацію (CD-диск) та передавати її по оптичному волокну
- Обробляти (різати, зварювати) матеріали
- Записувати голограми
- Вимірювати відстань (від нанометрів до Місяця)
- Військова справа





for his services to Theoretical Physics,
and especially for his discovery
of the law of the photoelectric effect





1964 р. "За фундаментальні роботи в галузі квантової електроніки, що привели до створення генераторів та підсилювачів, які базуються на мазерних та лазерних принципах"



**Charles Hard
Townes**



**Nicolay
Gennadiyevich
Basov**



**Aleksandr
Mikhailovich
Prokhorov**

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiatic

Common Laser System Configurations

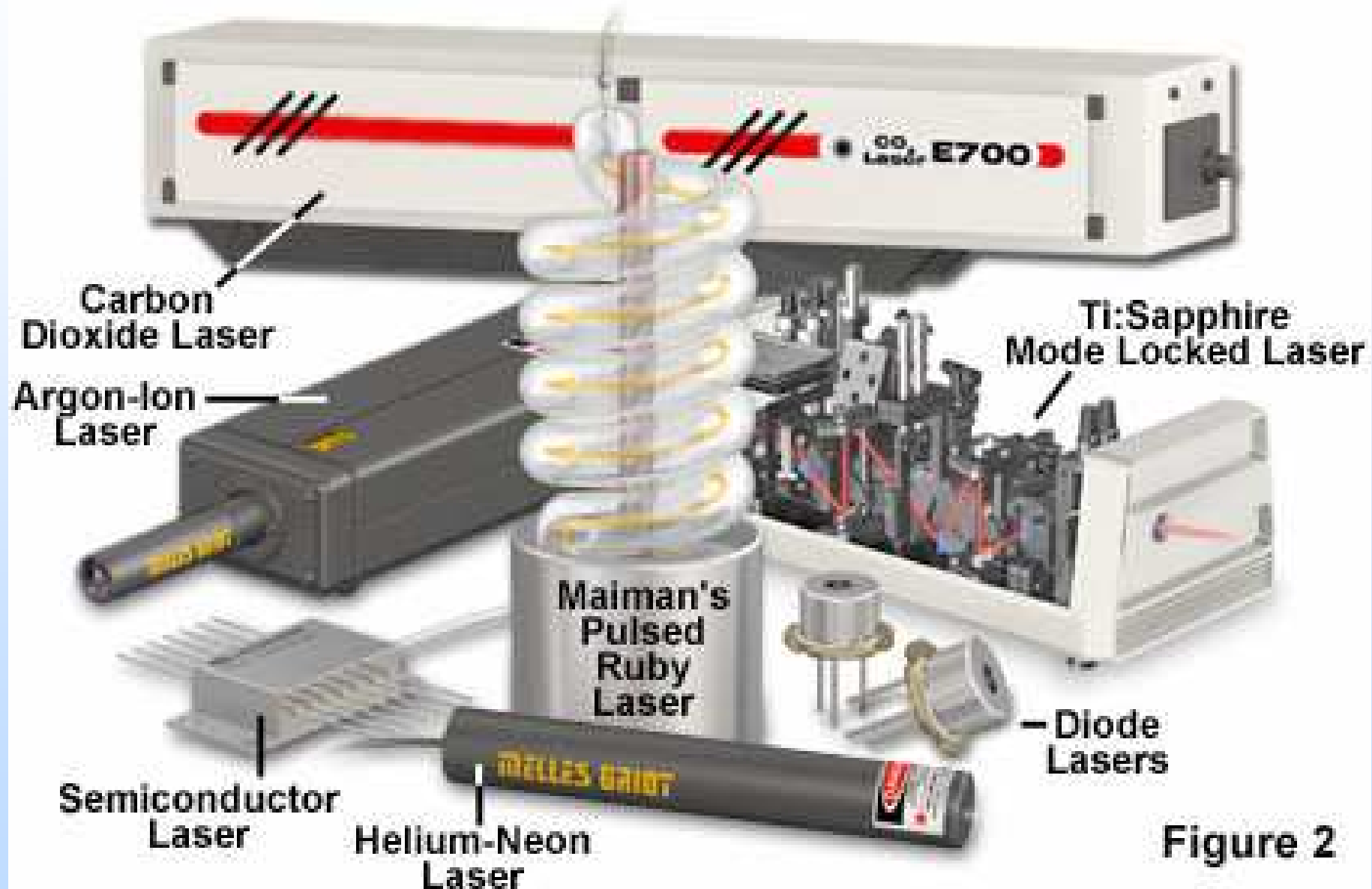
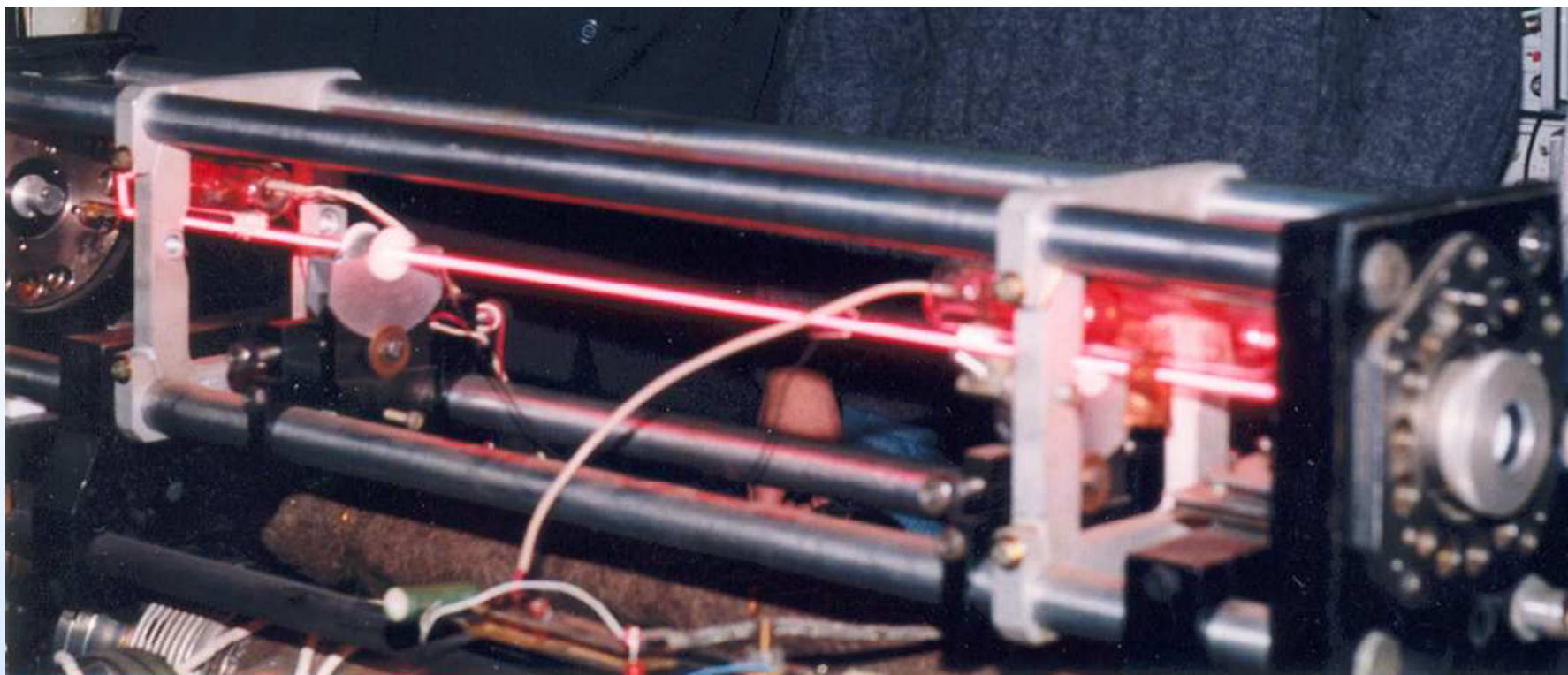
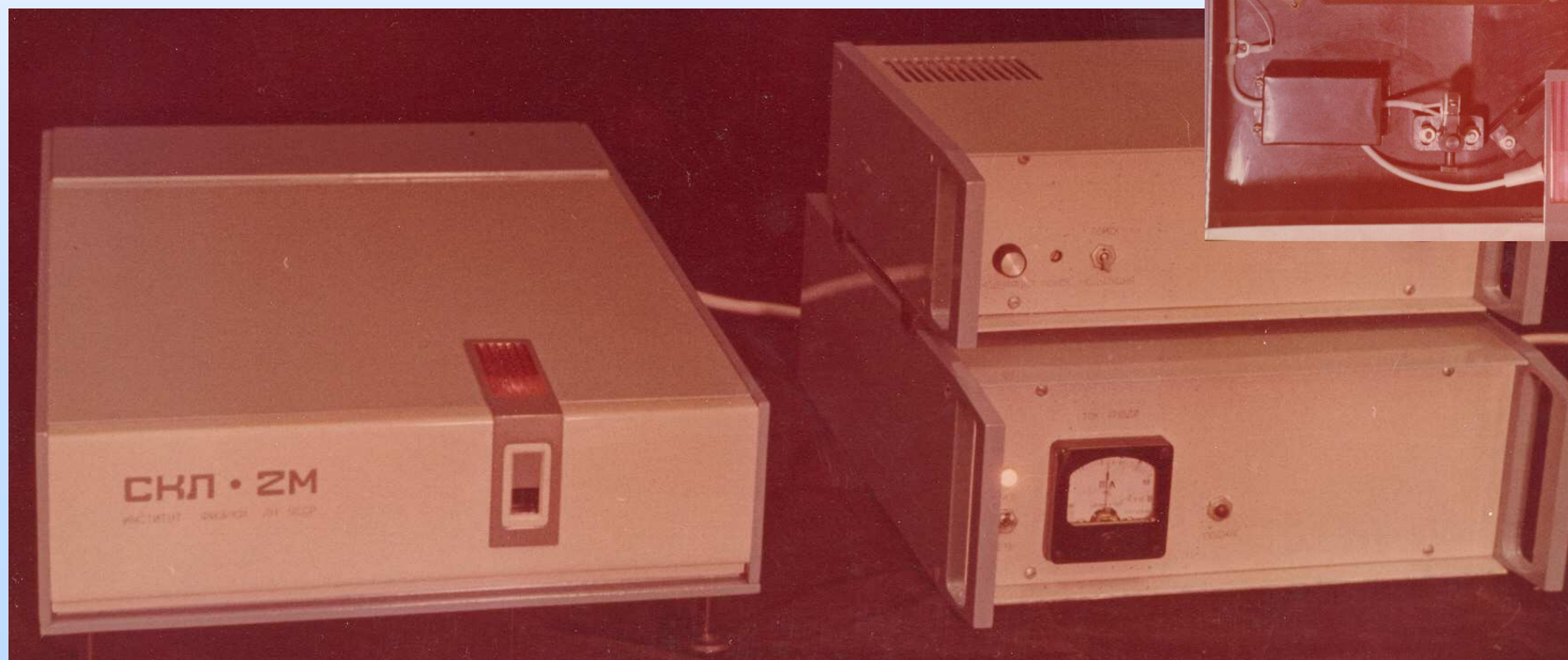
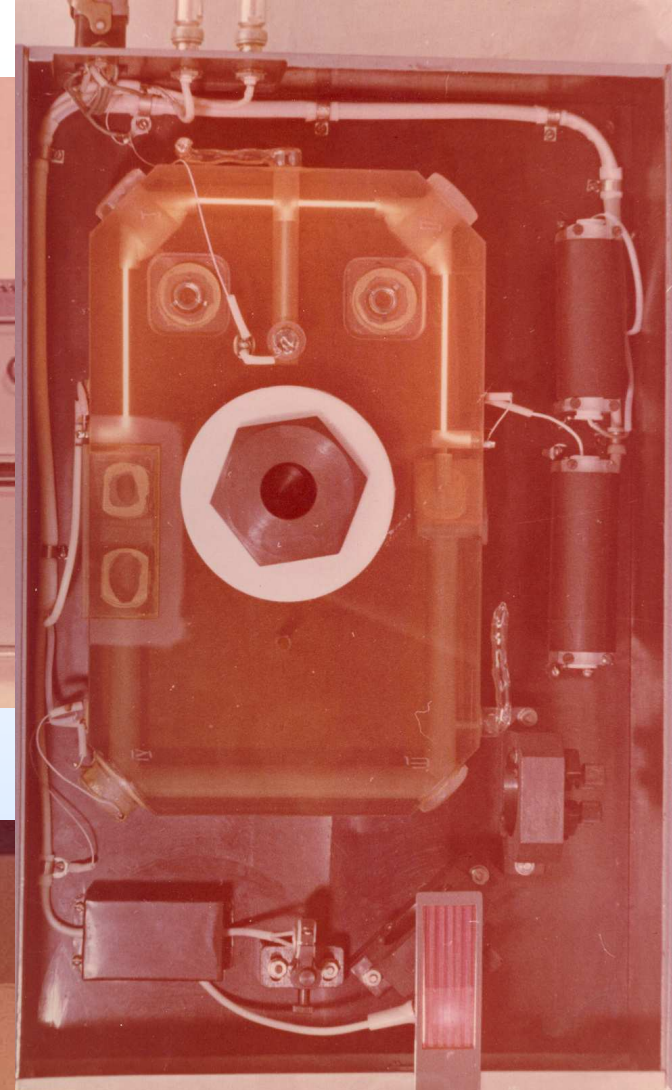


Figure 2



- Монохроматичність
- Напрямлєність
- Поляризація
- Густина енергії



Лазерный термоядерный синтез

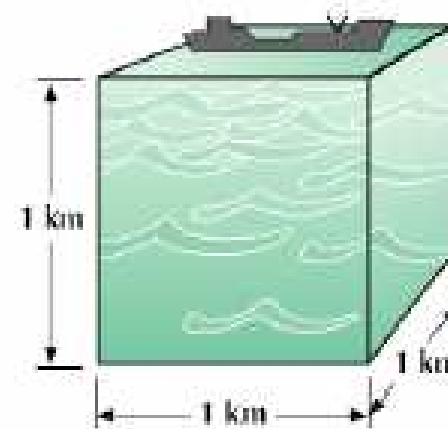


Енергія ядерного синтезу

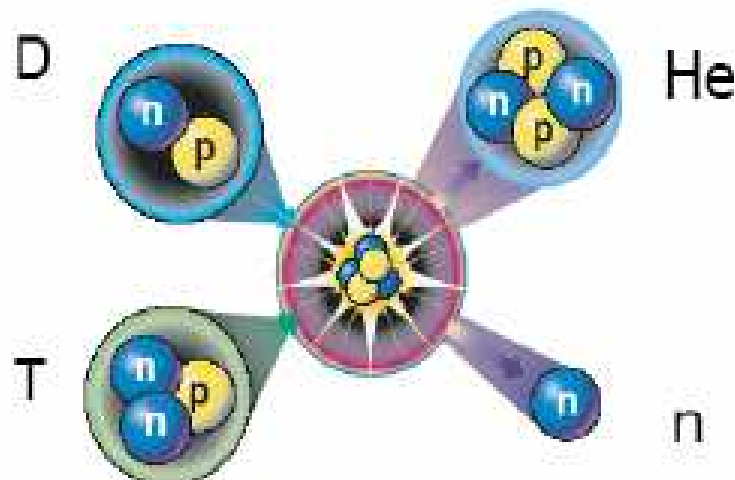
The Sun:
a natural
fusion
reactor



Terrestrial
fusion fuel
is plentiful



= Total energy
of world
oil reserve



$$E = \textcircled{m} c^2$$

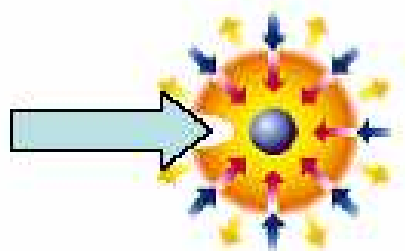
Mass difference between
initial & final particles =
 $[ZMp + (A-Z)Mn - M] / A$

This energy is ~ a million times
greater than in chemical reactions

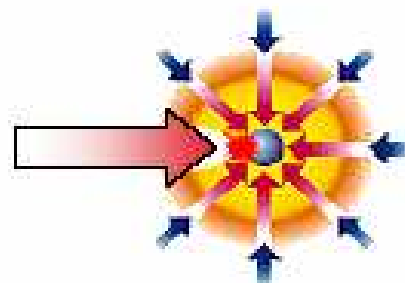
Схема лазерного синтезу



Lasers or X-rays symmetrically irradiate pellet



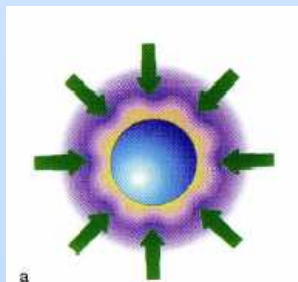
Matter compressed to $\sim 300 \text{ g cm}^{-3}$ and a 100 ps "hole-boring" pulse creates a channel in the expanding coronal plasma



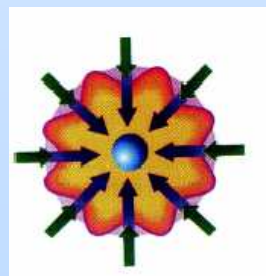
PW laser pulse is launched into channel generating MeV electrons that are stopped in the dense fuel



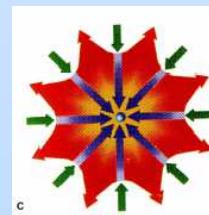
Off centre spark is formed, creating a burn wave that propagates through the fuel



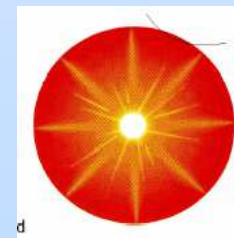
абляція



стиснення



нагрів



вибух

National ignition laboratory



National ignition laboratory



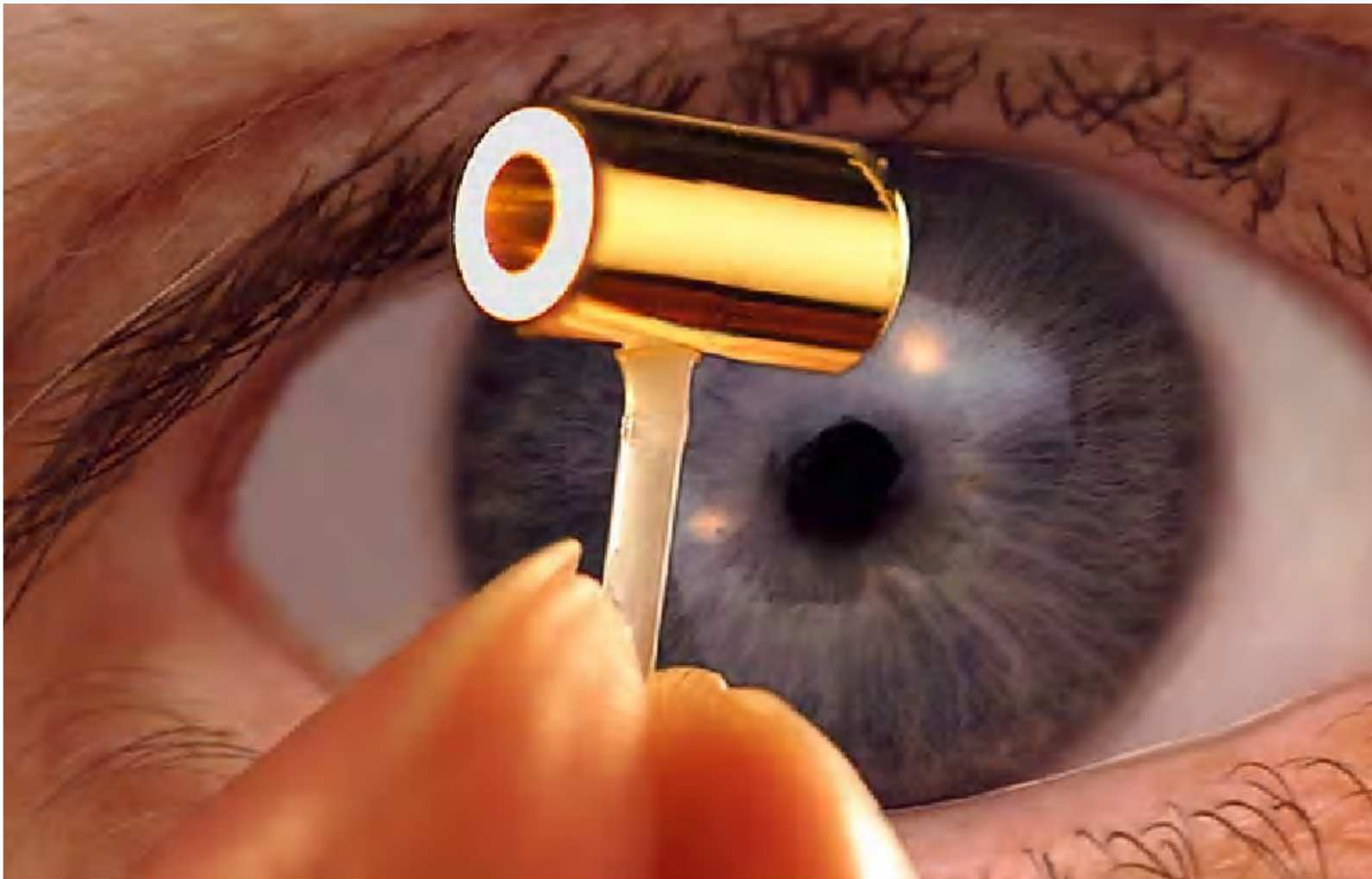
Laser Bay 2, one of NIF's two laser bays, was commissioned on July 31, 2007.

National ignition laboratory



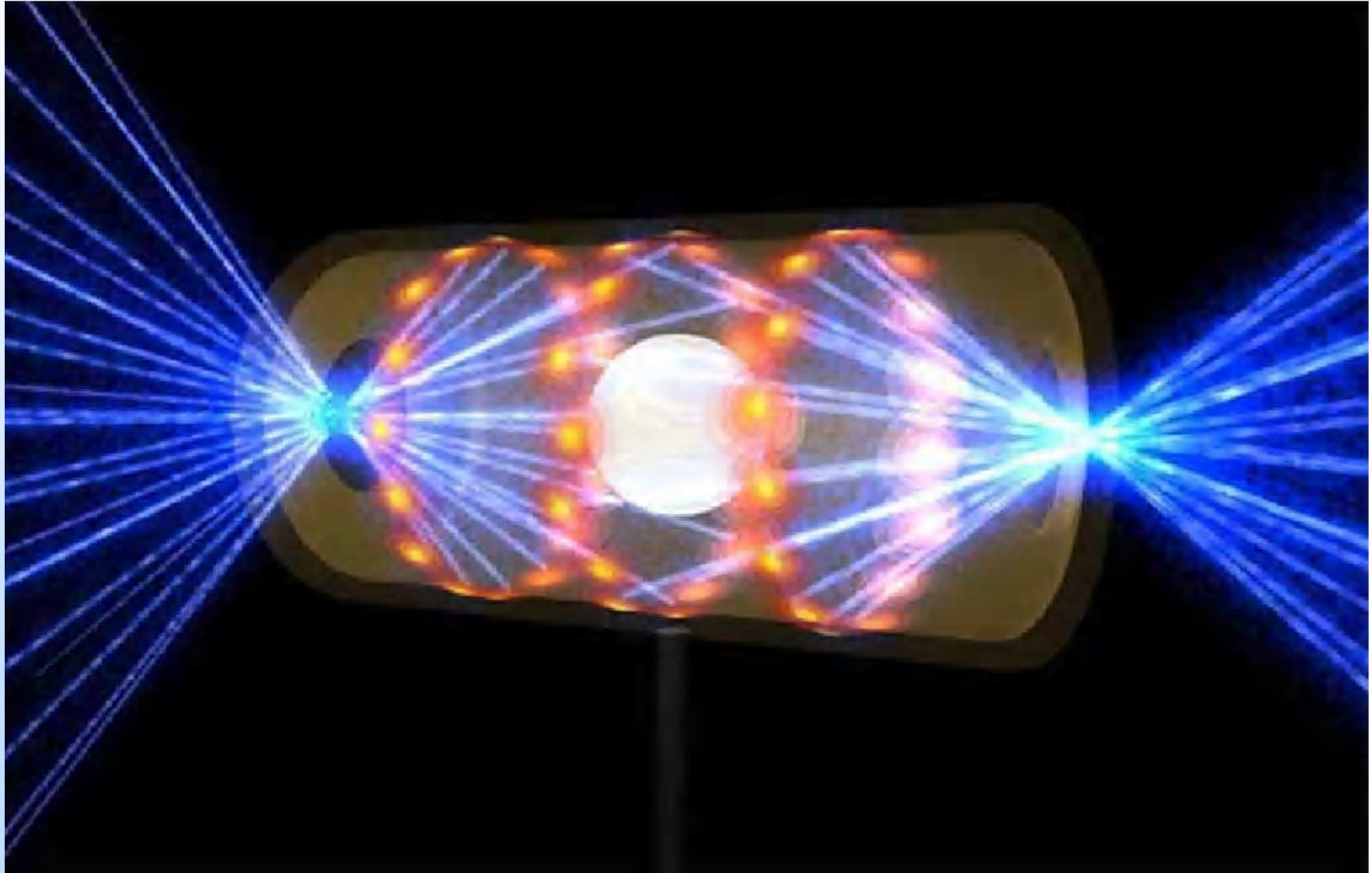
The 10-meter-diameter target chamber, installed in June 1999, weighs 287,000 pounds. The spherical vacuum vessel was assembled from 18 four-inch-thick aluminum sections fabricated by Pitt-Des Moines, Inc., of Pittsburgh, Pennsylvania, and was installed with one of the largest cranes in the world.

National ignition laboratory



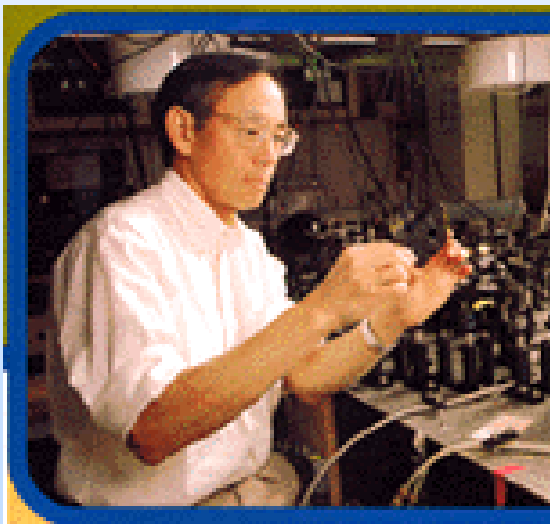
A NIF hohlraum. The hohlraum cylinder, which contains the NIF fusion fuel capsule, is just a few millimeters wide, about the size of a pencil eraser, with beam entrance holes at either end. The fuel capsule is the size of a small pea.

National ignition laboratory



Лазерне охолодження

Нобелівська премія з фізики 1997р. “...за розробку методів охолодження та утримання атомів лазерним світлом”



Steven Chu

Stanford University, Stanford,
California, USA



Claude Cohen-Tannoudji

Collège de France and École Normale
Supérieure, Paris, France



William D. Phillips

National Institute of Standards and
Technology, Gaithersburg, Maryland, USA

Тиск світла

Світло переносить не лише енергію, а й імпульс. Тиск світла на абсолютно чорну поверхню дорівнює густині світлового потоку (інтенсивності у Вт/м^2) поділеній на швидкість світла c . Зазвичай, цей тиск дуже малий. Так, на орбіті Землі інтенсивність сонячного світла складає 1370 Вт/м^2 , а світловий тиск - 4.6 мкПа

Тиск світла

J.C. Maxwell: „Hence in a medium in which waves are propagated there is a pressure in the direction normal to the waves and numerically equal to the energy in unit volume“

1. J.C. Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism (1st edition), II., Oxford (1873) 391

2. P. Lebedew, Untersuchungen über die Druckkräfte des Lichtes, ANNALEN DER PHYSIK, N11 (1901) 433-458

3. E.E. Nichols, G.F. Hull, The pressure due to radiation, The Physical Review (1903) 26-50 (N1), 91-104 (N2)

1901.

Nº 11.

ANNALEN DER PHYSIK.

VIERTE FOLGE. BAND 6.

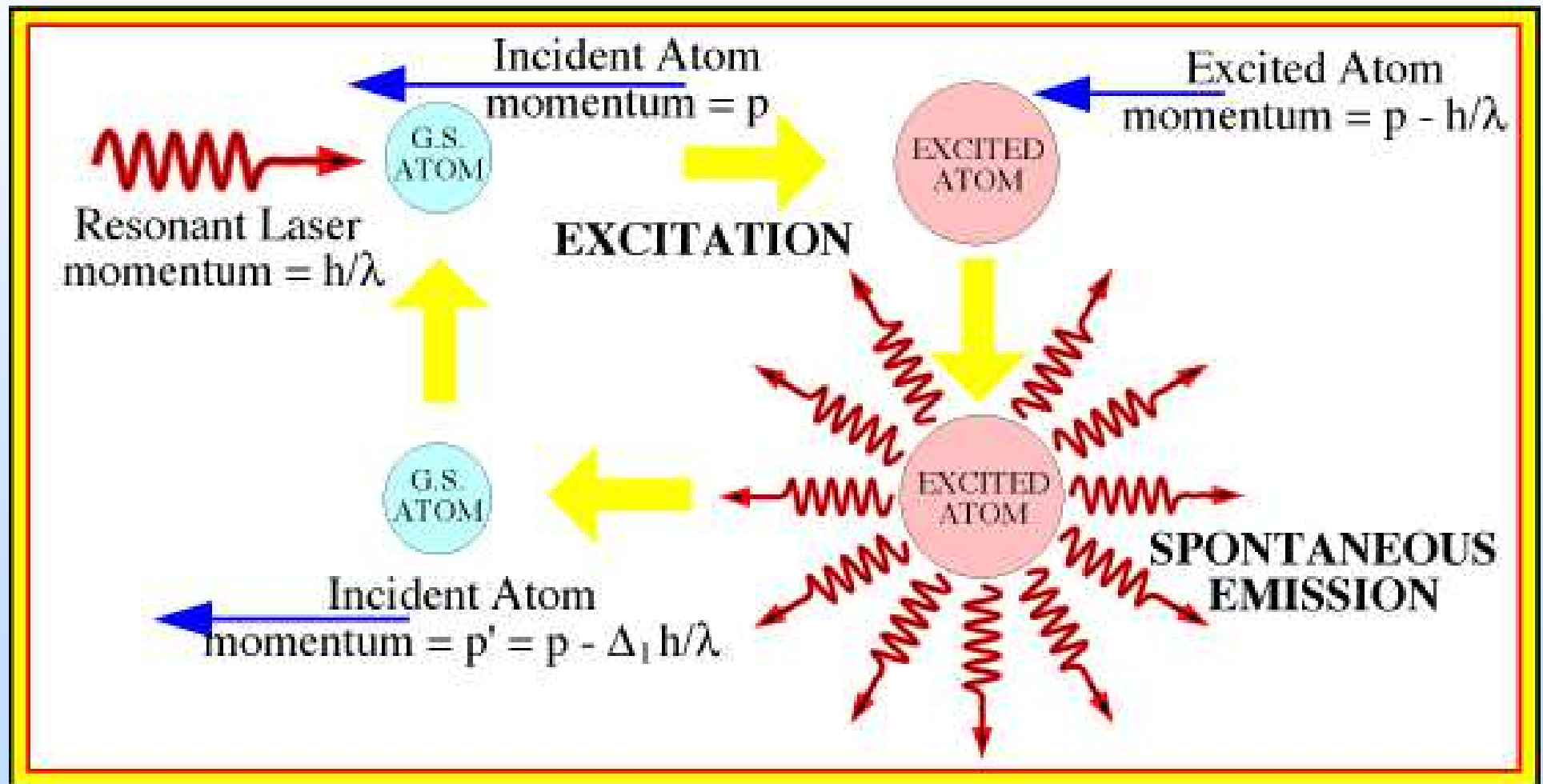
1. *Untersuchungen über die Druckkräfte des Lichtes; von Peter Lebedew.*

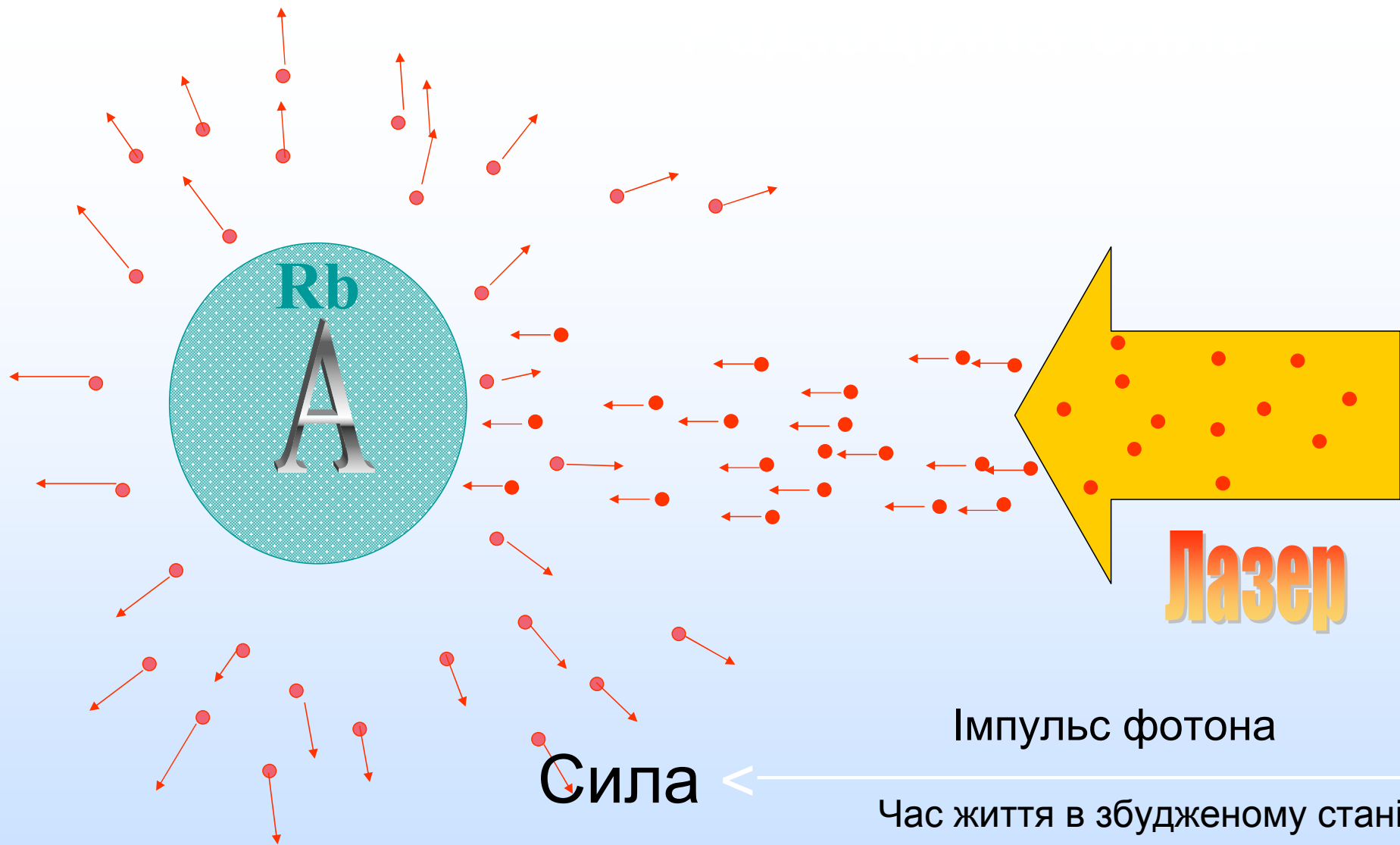
Bei der Aufstellung seiner elektromagnetischen Lichttheorie hat Maxwell (1873) auch diejenigen Kräfte mit in Betracht gezogen, welche als ponderomotorische Kräfte in einem elektrisch oder magnetisch polarisirten Medium auftreten; als eine notwendige Consequenz seiner Theorie ergibt es sich, dass diese Kräfte in einem Strahlenbündel auftreten müssen, und Maxwell¹⁾ sagt:

„Es wirkt in einem Medium, in welchem eine Welle sich fortpflanzt, in der Richtung der Fortpflanzung ein Druck, der an jeder Stelle numerisch ebenso gross ist, wie die daselbst vorhandene, auf Volumeneinheit bezogene Energie.“

Auf die Ableitung dieser Maxwell'schen Druckkräfte der elektromagnetischen Strahlung sind neuerdings Heaviside²⁾, Lorentz³⁾, Cohn⁴⁾ und Goldhammer⁵⁾ näher eingegangen.

Лазерне охолодження



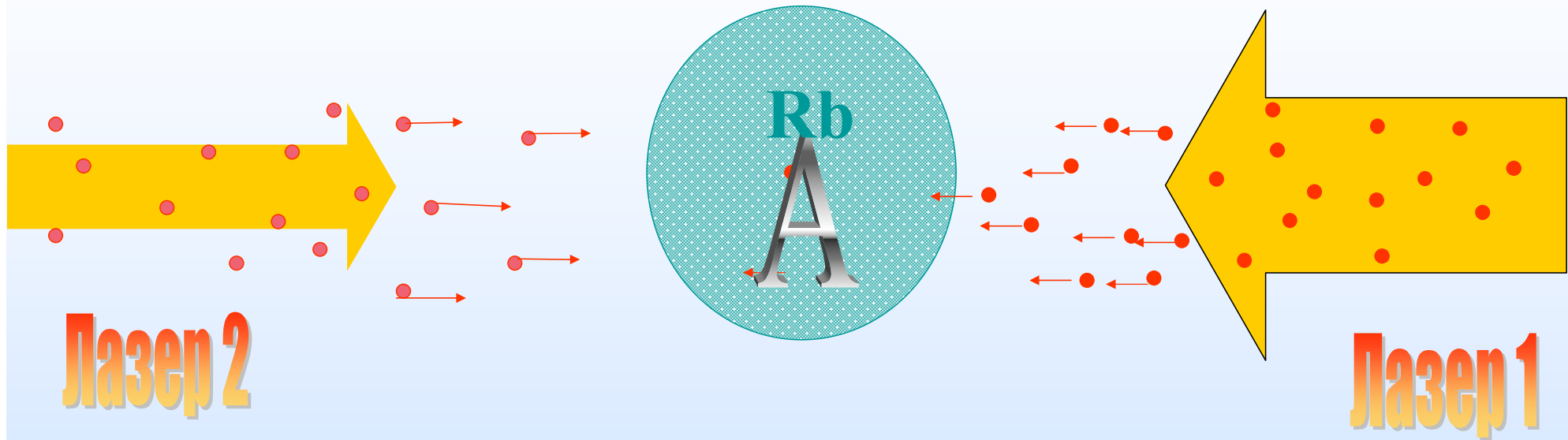


Прискорення 100 000 g ?
Мало !!!!

Чи можливо перевищити це
фундаментальне обмеження?

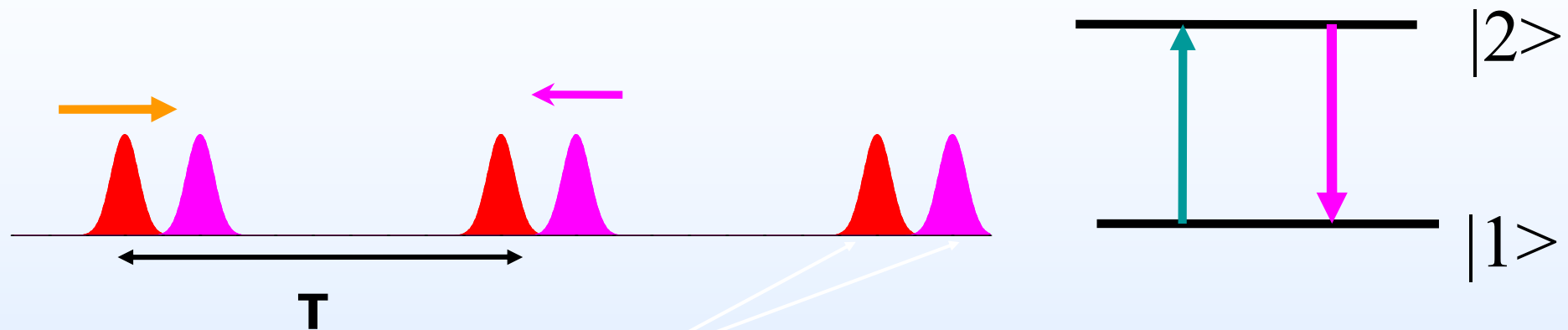
ТАК!!!

Стимульована емісія



Сила = 2 імпульси фотона
Час між актами поглинання та стимульованого випромінювання

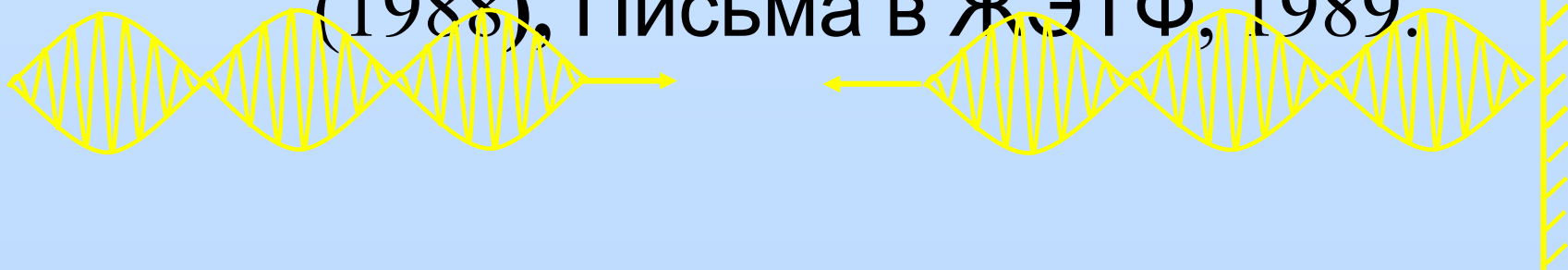
Резонансний Стимулюваний Емісія



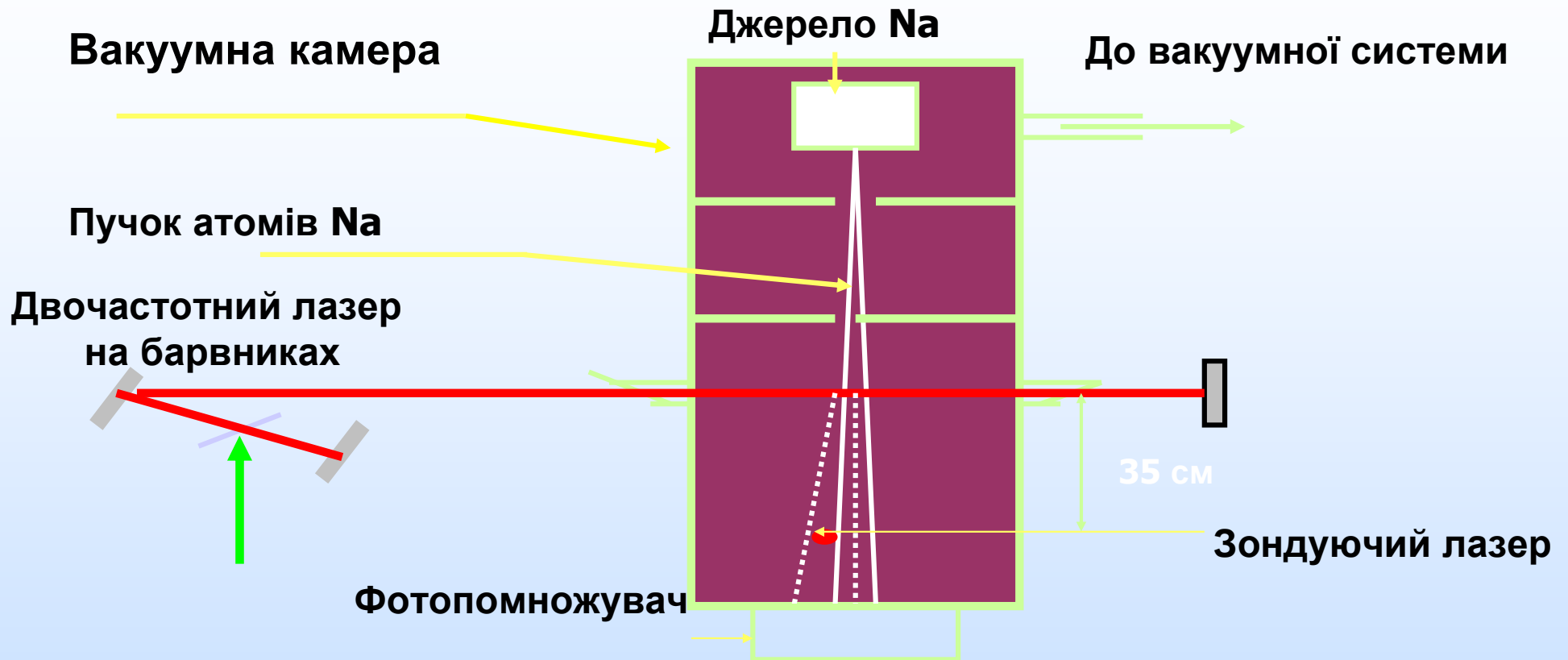
π -імпульси Технічно практично
дуже важко реалізувати !

Вихід: Біхроматична стояча хвиля

В. С. Войцехович, М. В. Данилейко, А. М. Негрийко,
В. И. Романенко, Л. П. Яценко, ЖТФ, 58, 1174
(1988), Письма в ЖЭТФ, 1989.



Біхроматична сила. Спостереження



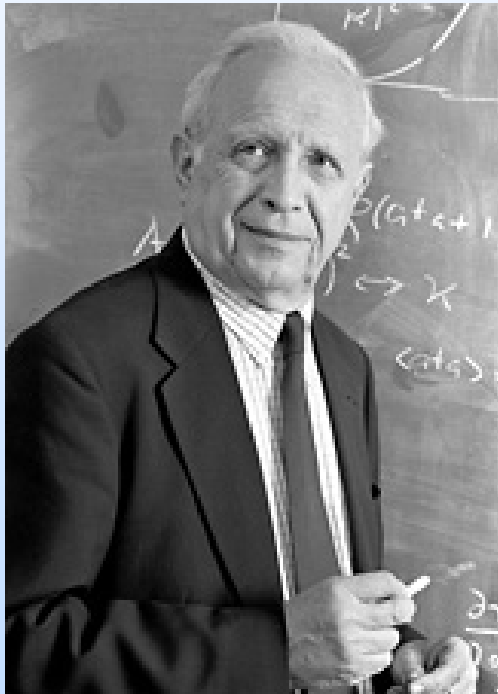
$$\lambda = 589 \text{ nm (D}_2 \text{ лінія Na); } \Omega = 2\pi \times 1.67 \text{ ГГц;}$$

$$\psi = (\Omega/c)z, \quad \Delta\psi = \pi \quad \text{для} \quad \Delta z = 8 \text{ см}$$

$$I_{\text{max}} = 20 \text{ Вт/см}^2, \quad \Omega_R = 2\pi \times 400 \text{ МГц}$$

The Nobel Prize in Physics 2005

"for his contribution to the quantum theory of optical coherence"
"for their contributions to the development of laser-based precision spectroscopy, including the optical frequency comb technique"



Roy J. Glauber



John L. Hall



Theodor W. Hänsch

The Nobel Prize in Physics 2012

Serge Haroche, David J. Wineland



Serge Haroche

Born: 1944, Casablanca, Morocco

Affiliation at the time of the award: Collège de France, Paris, France, École Normale Supérieure, Paris, France



David J. Wineland

Born: 1944, Milwaukee, WI, USA

Affiliation at the time of the award:

National Institute of Standards and Technology, Boulder, CO, USA,
University of Colorado, Boulder, CO, USA

Prize motivation:

"for ground-breaking experimental methods that enable measuring and manipulation of individual quantum systems"

за «революційні експериментальні методи, що дозволяють вимірювати та маніпулювати окремими квантовими системами».

Серж Арош

Citations: **22 тис.** H-index: **69**

Народився 11 вересня 1944 року в Касабланці, Марокко. Вивчав фізику в Вищій нормальній школі (р. École normale supérieure) та на факультеті наук Паризького університету. 1971 року захистив дисертацію на здобуття PhD (науковий керівник — майбутній нобелівський лауреат з фізики Клод Коен-Таннуджи). На сьогодні Арош — директор Колеж де Франс (фр. Collège de France). Свої наукові дослідження Серж Арош проводить в Вищій нормальній школі.



Серж Арош та Ігор Доценко в лабораторії Вищої нормальної школи



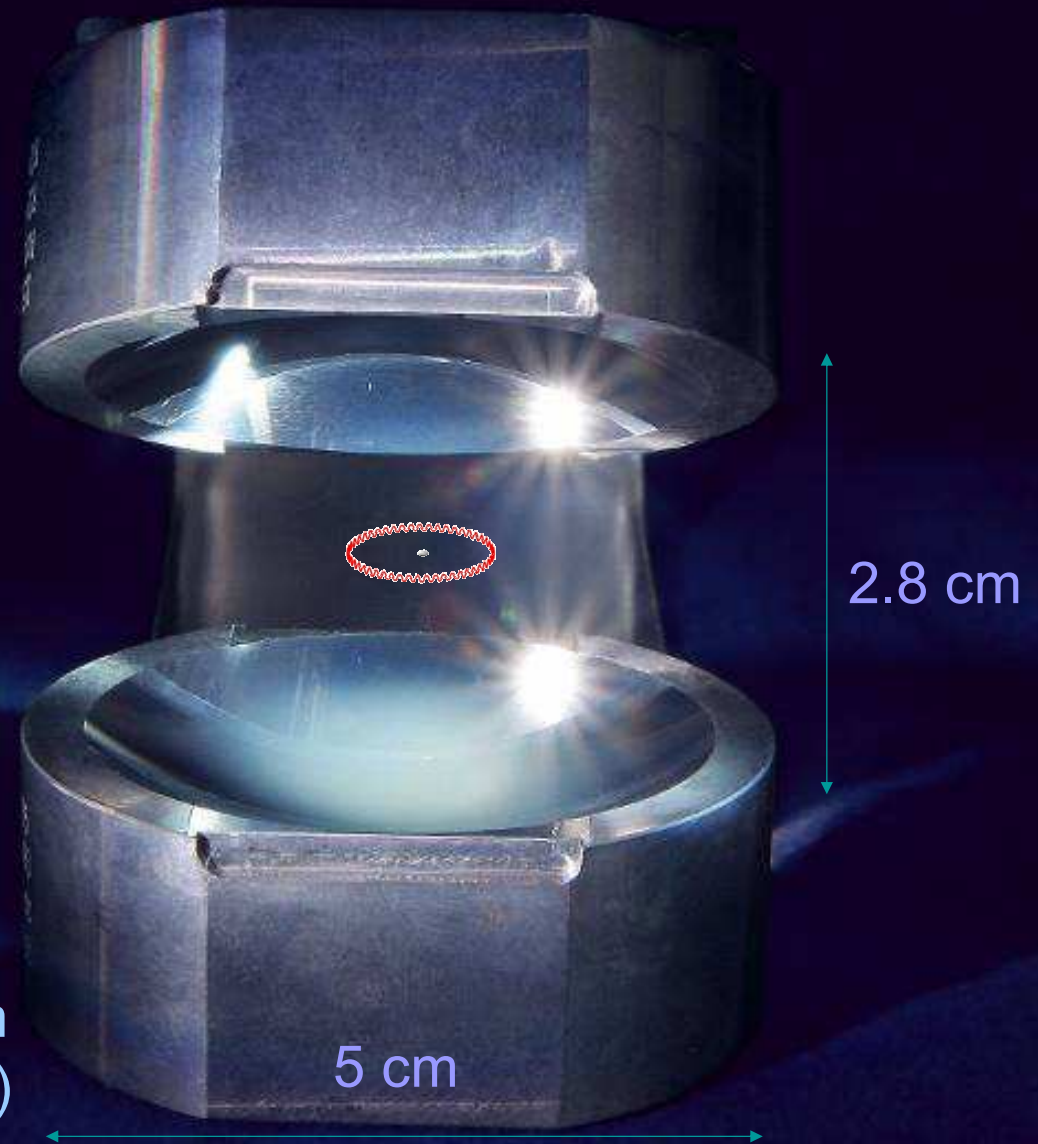
Serge Haroche, Jean-Michel Raimond, Michel Brune, Sébastien Gleyzes, Igor Dotsenko та інші

Microwave superconducting cavity: Storage box for photons



$$T_{\text{cav}} = 130 \text{ ms}$$

- best Fabry-Pérot resonator so far
- 1.4 billion bounces on the mirrors
- a light travel distance of 39 000 km
(one full turn around the Earth)



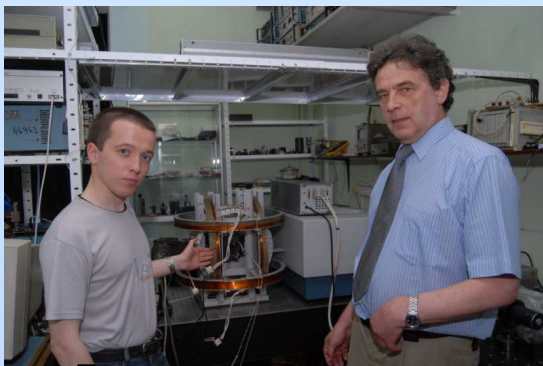
Інститут фізики НАН України



Академік М.С.
Бродин



Член-кореспондент
НАНУ
М.С. Соскін



Директор інституту, член-
кореспондент НАНУ Л.П. Яценко



Член-кореспондент
НАНУ
С.Г. Одулов



Член-кореспондент
НАНУ
І.В. Блонський

Дякую за увагу !





 **PICOTRONIC®**

WIR MACHEN ES M

Performance



COHERENT.
ExciStar XS

Ultra-Compact Excimer Laser

- Excimer laser: 193 nm, 193 nm, 248 nm and 308 nm
- Repetition rate of 500 Hz with up to 12 mJ
- Metal-organic tube design "Almetra XS"
- Compact pre-cooled
- All solid state, pulsed
- All cooling, single phase
- ExciStar XS - the reliable workhorse for LASER and industrial UV laser applications

Superior Reliability & Performance



COHERENT.
Cold Ablation

Demonstrator Model

- The high photon energy (5 eV, 248 nm) beam hits the wing of a fan
- Material is ablated by decomposing the plastic into small chain fragments that leave the surface with supersonic speed
- The fragments recoil, momentum drives the rotation of the "excimer-mill"
- The acoustic noise is clearly audible



TFT Backpla
- Highest Pow
Systems, Sca

Laser Cutting

- CO₂, DPSS, ps
- Thin- and Stre
- Substrates, Fo

Laser Direct Pa

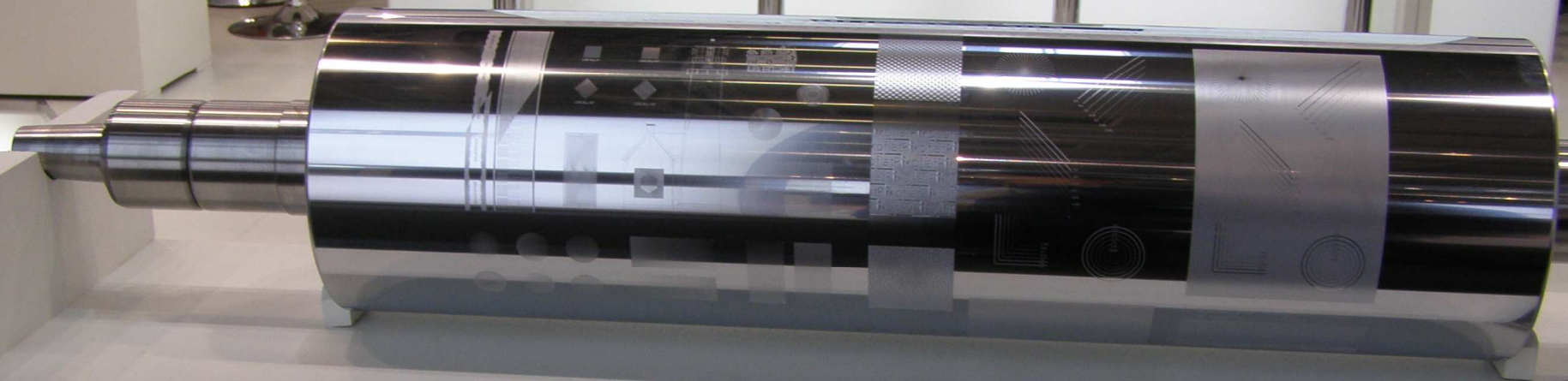
- DPSS, EXCIMER,
- Thin Film Ablat
- Metal Selective

Laser Lift Off (L

- EXCIMER, UV-DP
- Laser and UV-O
- De-Bonding Flex
- Wafer

Broad Range of

- DIRECT DIODE, DP
- Laser Engraving
- Direct-Write Litho
- Laser-Induced-The
- Marking, Titling
- FRIT Welding



edgewave

Press Cylinder

High Speed Micro Processing by
High Power ps Laser with
Beam Quality $M^2 = 1.1$



**Neue Generation energieeffizienter
TruFlow Hochleistungs-CO₂ Laser**
**New generation of energy-efficient
high-power TruFlow CO₂ lasers**

TRUMPF bietet Ihnen den energie-
effizientesten CO₂ Laser weltweit:

- bis zu 25% Energieersparnis
- geringere Betriebskosten dank
hochmoderner Transistoranregung
hohe Wärmerückgewinnung
- Zuverlässigkeit

TRUMPF offers the most energy-efficient
CO₂ laser worldwide:

- up to 25% energy savings
- lower running costs due to best-in-class
solid-state excitation
- optimized heat recovery

at full compatibility, reliability and processing speed
Please contact us to learn more about the benefits



opsira



robogano

