



Финансирано от
Европейския съюз
NextGenerationEU



Национален план за
възстановяване и устойчивост



НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ - МАРКЕР ЗА ИНОВАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕН ТРАНСФЕР

Европейска нощ на учените
29 – 30 септември 2023

Научна група 3.2.3
Фотоника и нови материали

Фотониката в съвременните и в бъдещите технологии

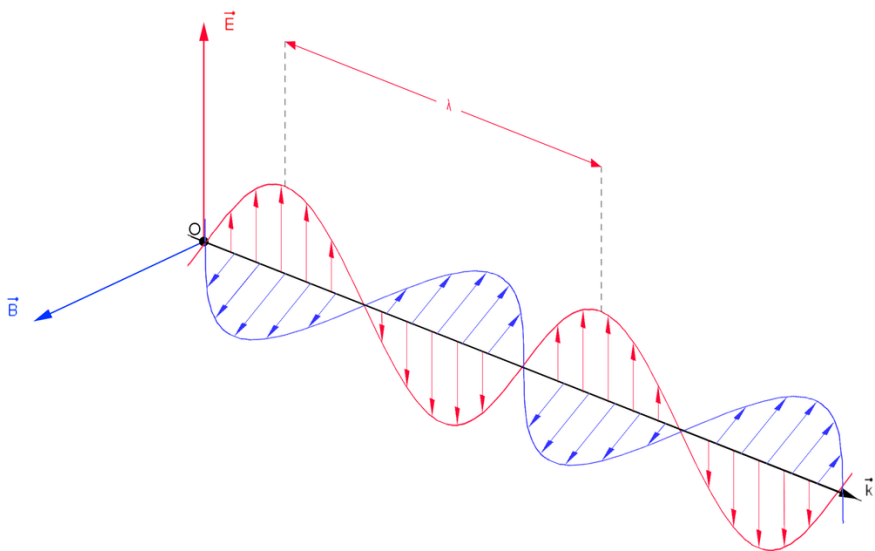
д-р Сотир Червенков
Проект SUMMIT

Обхват и съдържание на научната програма



Какво е светлината?

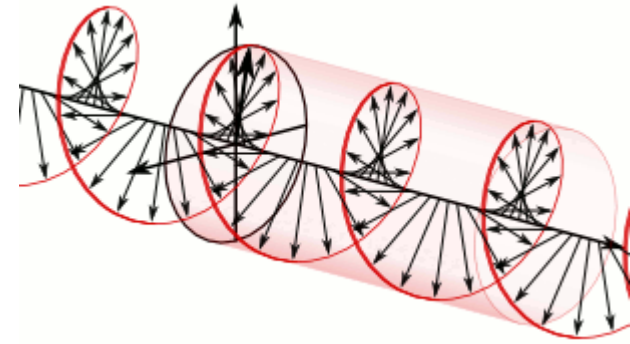
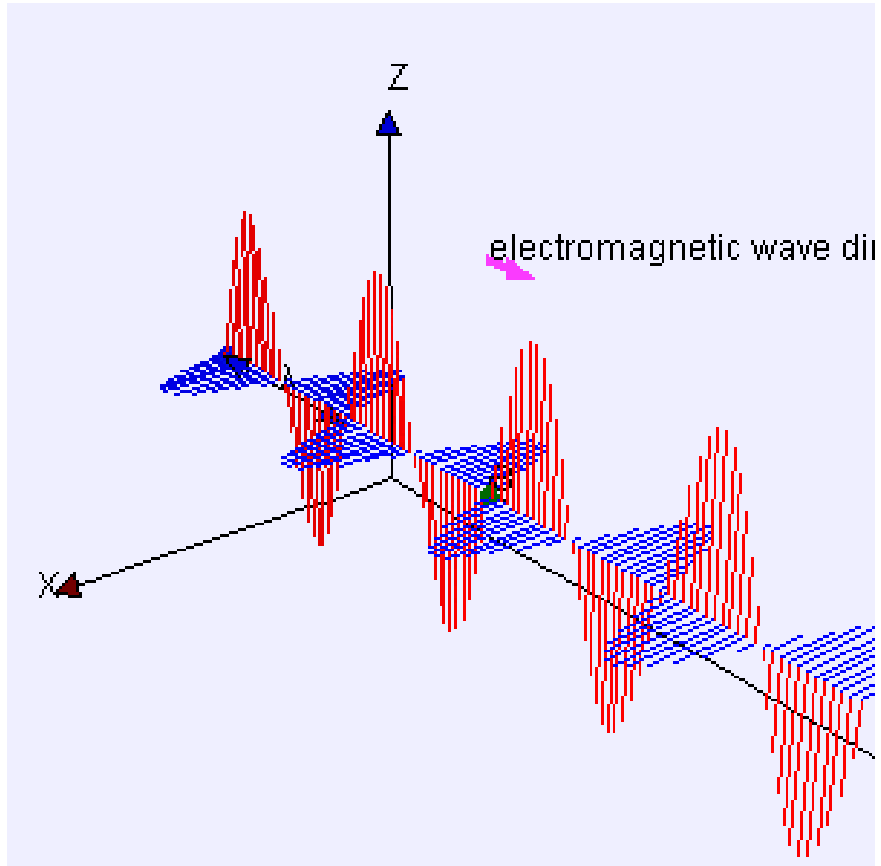
Светлината е едновременно електромагнитна (ЕМ) вълна и поток от частици (фотони)



Източник: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wave>

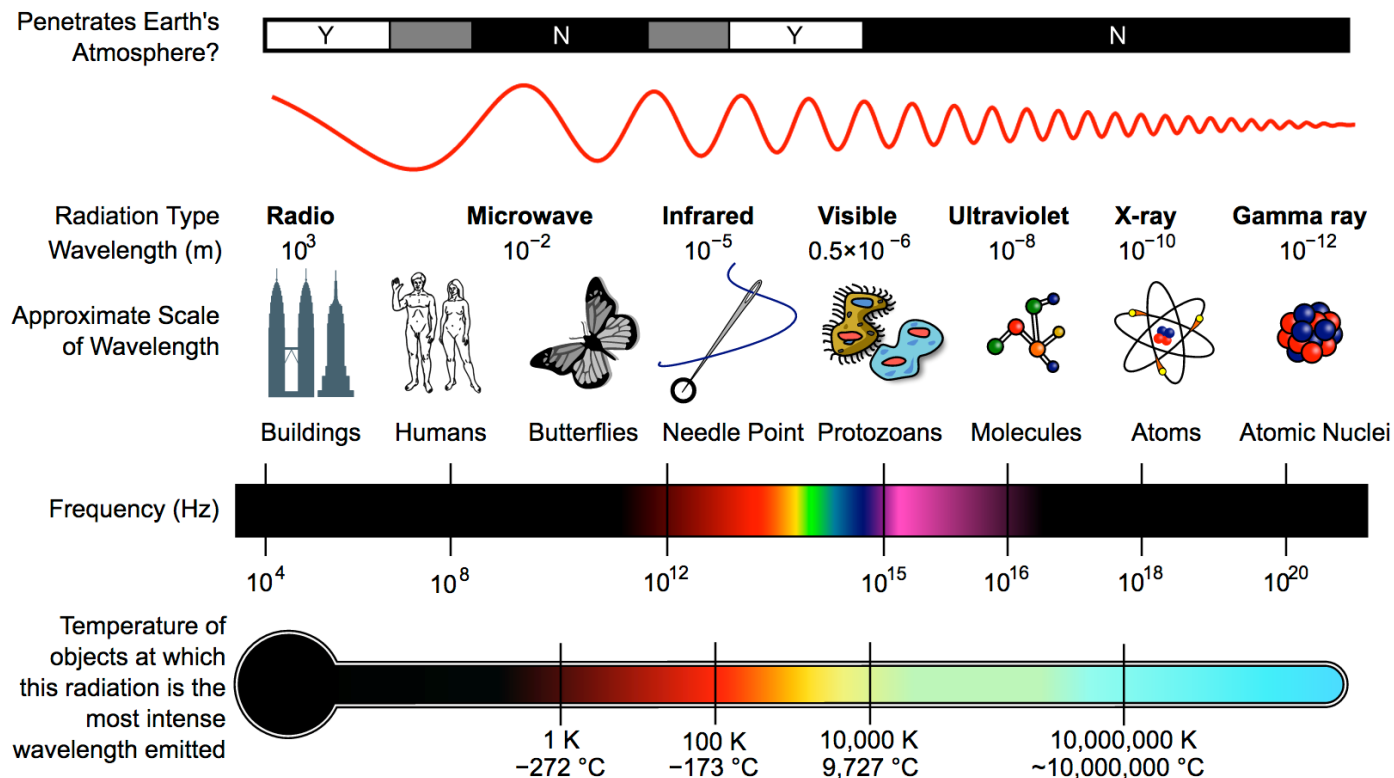
Основни свойства на ЕМ вълни

- Дължина на вълната: λ [nm]
- Честота: ν [Hz]
- $\lambda \cdot \nu = c$ (скорост на светлината: 3×10^8 m/s)
- Амплитуда
- Поляризация (линейна, кръгова и т.н.)
- Интензитет [W/cm²]
- Фаза



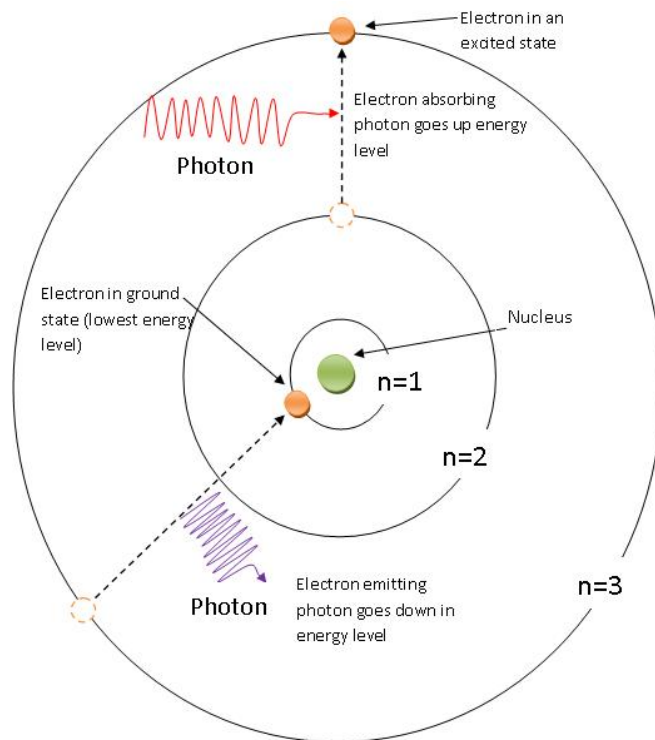
Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation

Спектър на електромагнитните вълни



Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum

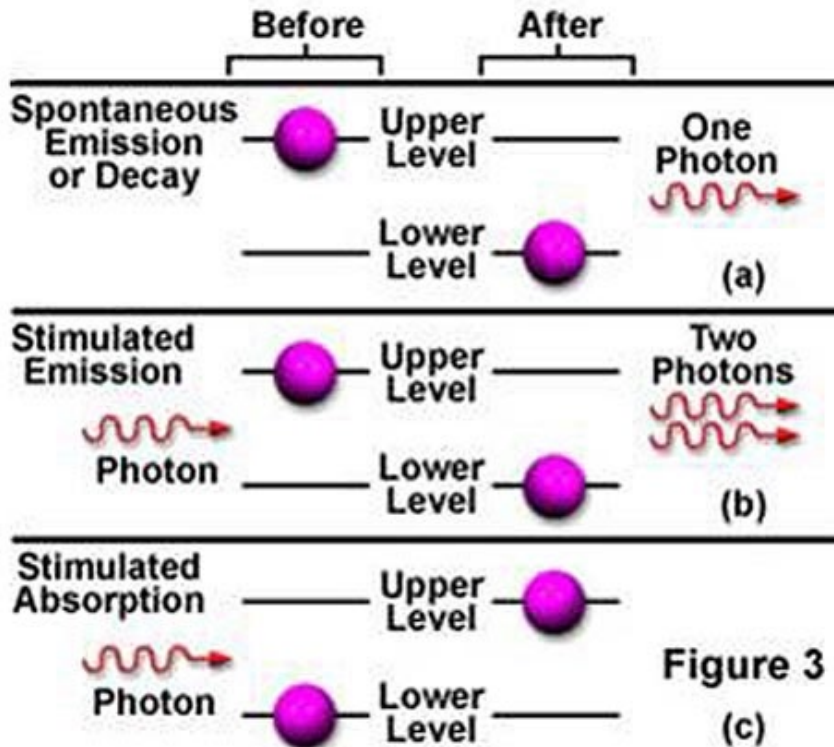
Излъчване и поглъщане на светлина



$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Източник: <https://sites.google.com/a/coe.edu/principles-of-structural-chemistry/relationship-between-light-and-matter/emission-and-absorption>

Спонтанно и стимулирано излъчване

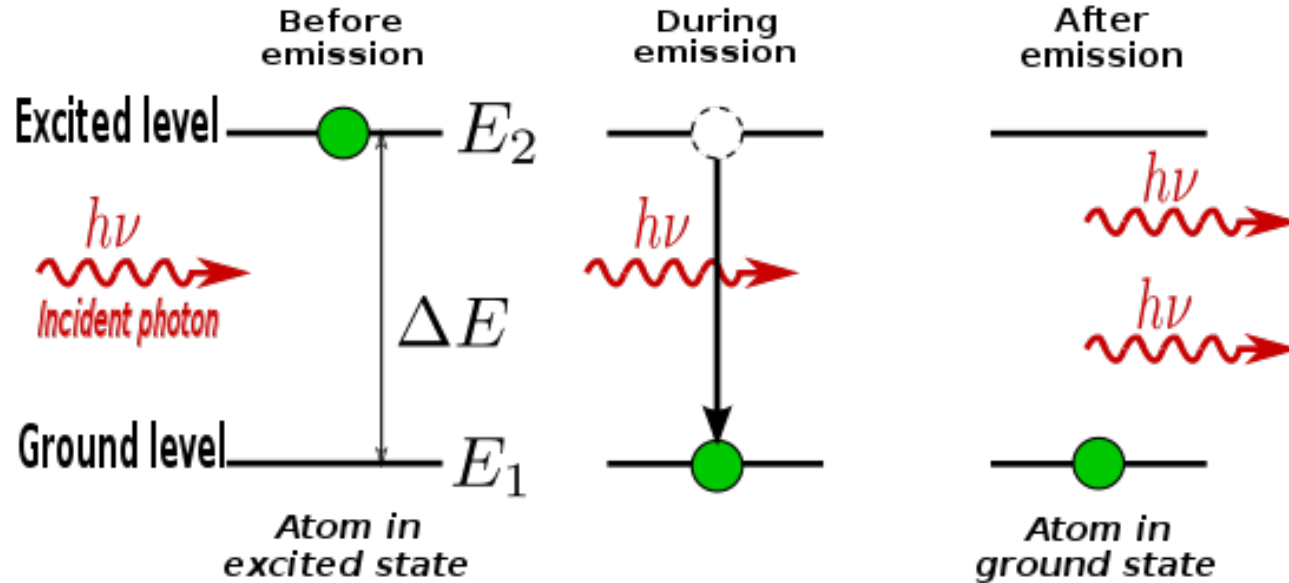


Спонтанно излъчената от отделните атоми светлина има произволно посока и фаза.

Излъчената светлина от отделните атоми има същата дължина на вълната, посока и фаза като тези на възбуждащата светлина.

Източник: <https://www.olympus-lifescience.com/de/microscope-resource/primer/java/lasers/electroncycle/>

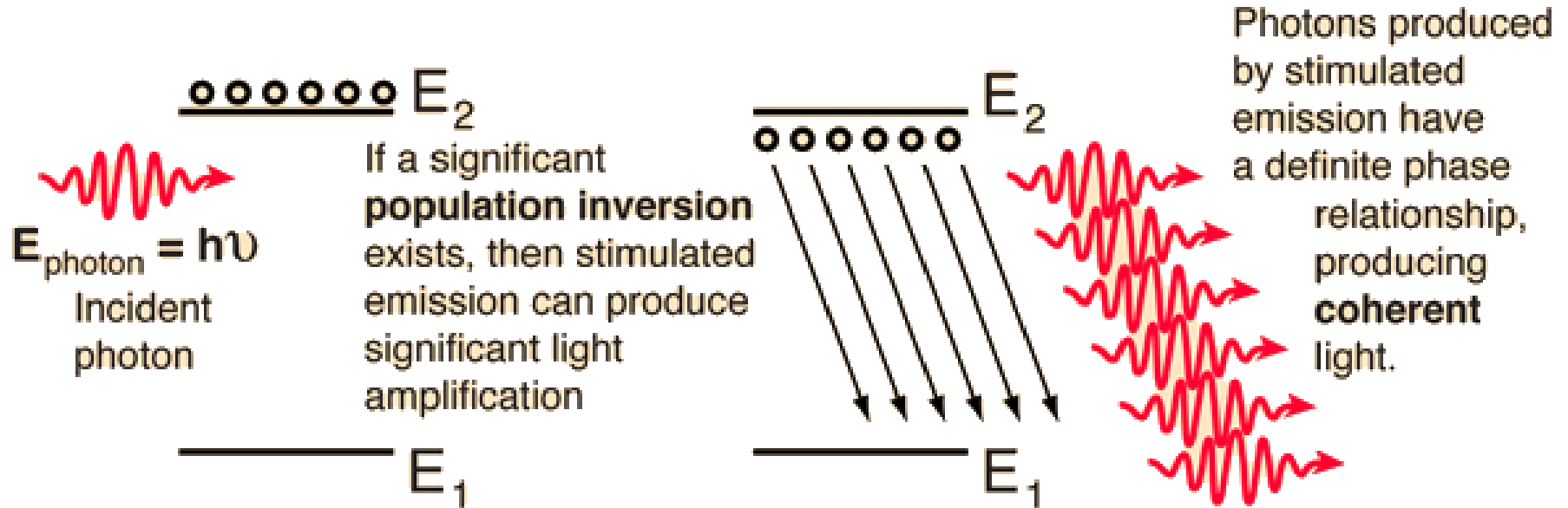
Стимулирано излъчване



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

Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/Stimulated_emission

Генерация и свойства на лазерното излъчване



Източник: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/optmod/qualig.html>

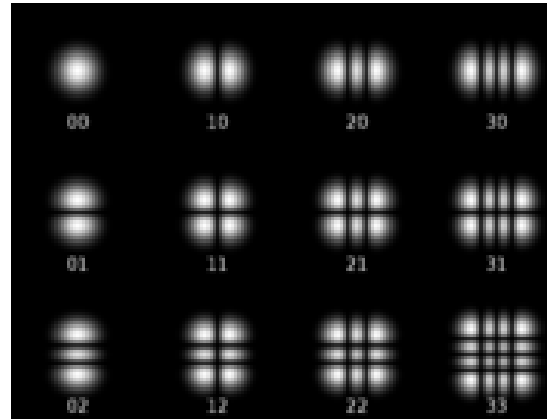
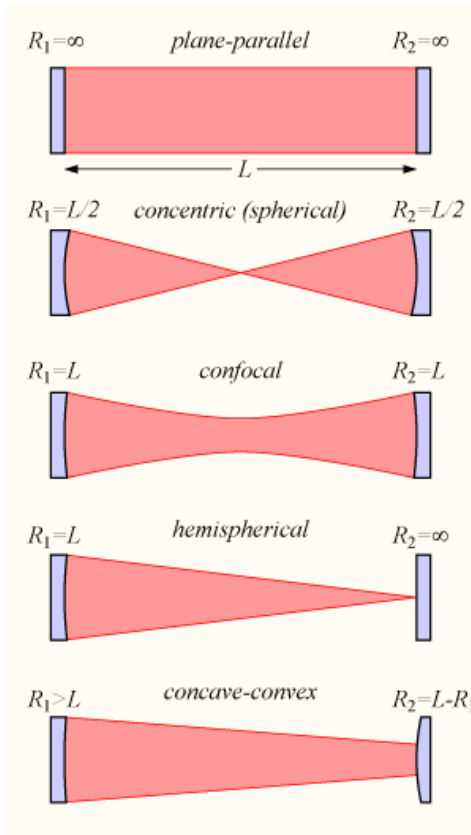
Генерация и свойства на лазерното излъчване

LASER: Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation
(Усилване на светлина чрез стимулирано излъчване)

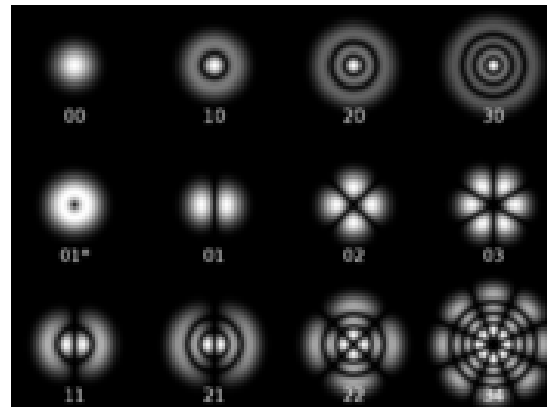


Източник: <https://www.gordon.edu/symphonyorchestrac>

Лазерни резонатори



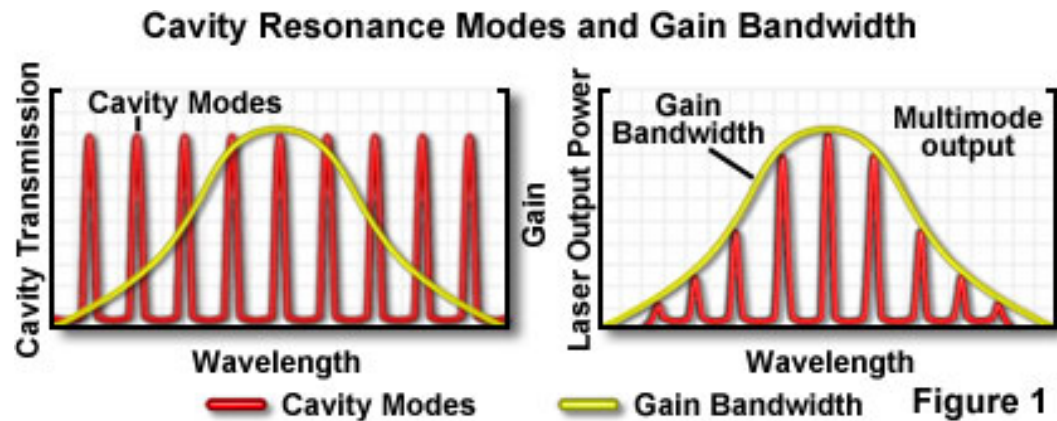
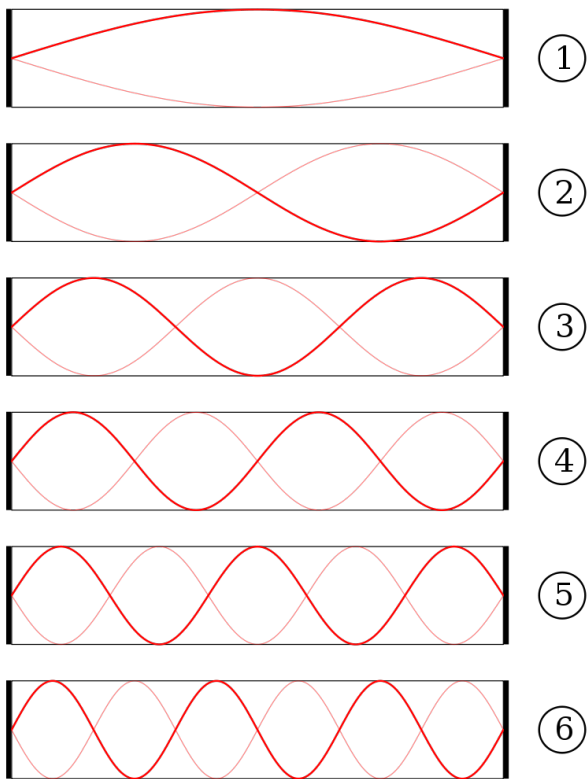
Напречни модове в резонатори с правоъгълни огледала



Напречни модове в резонатори с цилиндрична симетрия

Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_cavity

Резонансни модове: само определени дължини на вълната се поддържат в резонатора



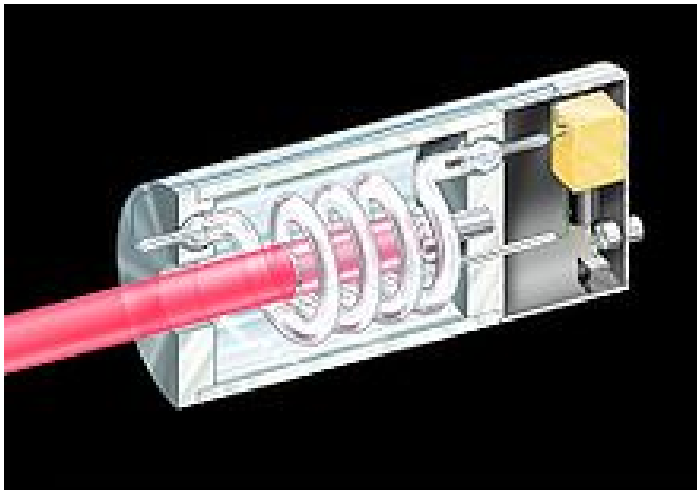
Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/Longitudinal_mode

Източник: <https://www.olympus-lifescience.com/de/microscope-resource/primer/java/lasers/gainbandwidth/>

Условия за получаване на лазерна генерация

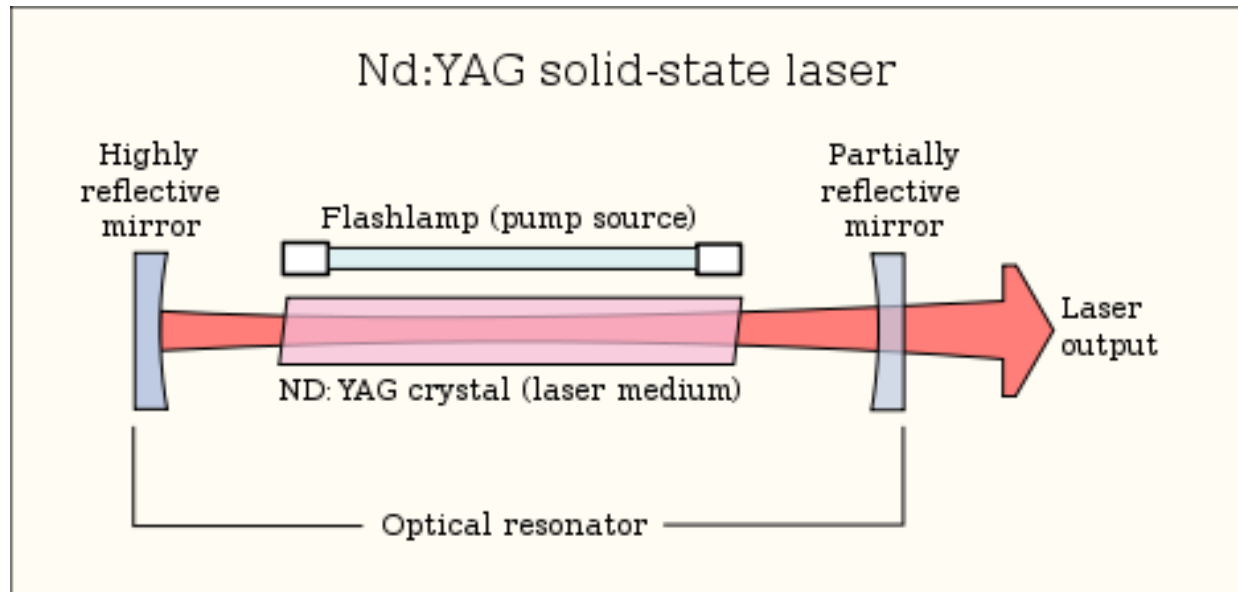
Инверсна заселеност – Ситуация на неравновесно заселване, при което броят на частиците на горното лазерно състояние е по-голям от този на долното лазерно състояние.

Усилване, превишаващо загубите, т.е. „чисто“ усилване.



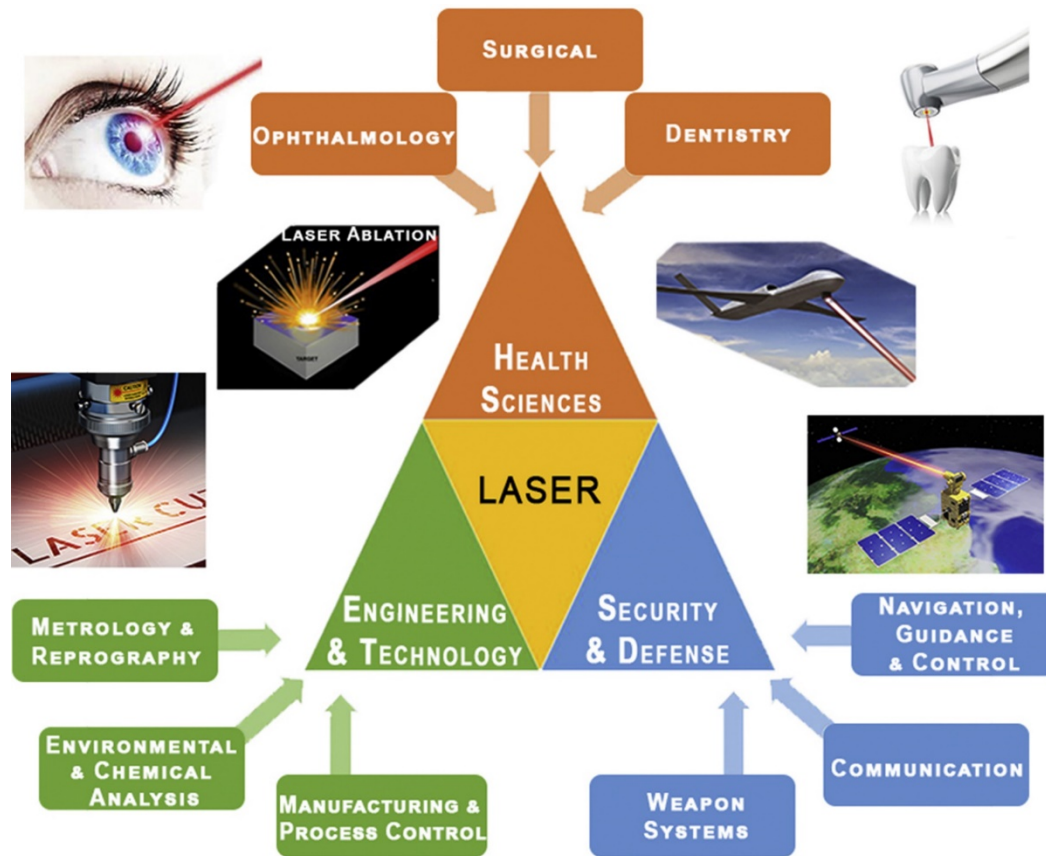
Theodor Maiman, Hughes Research Laboratories, Malibu, California, USA / 16.05.1960

Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/Ruby_laser



Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_construction

Приложения на лазерите



Сврџкџси (фемтосекундни) лазерни импулси

Какво значи бързо?

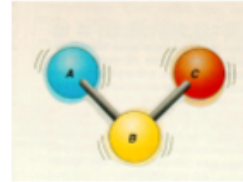
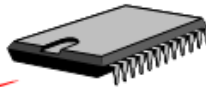
хроно-
метър



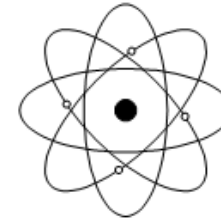
химическа реакция
(експлозия)



ротация и
вибрация на
молекули



движение на
електроните



бърз затвор
на камера

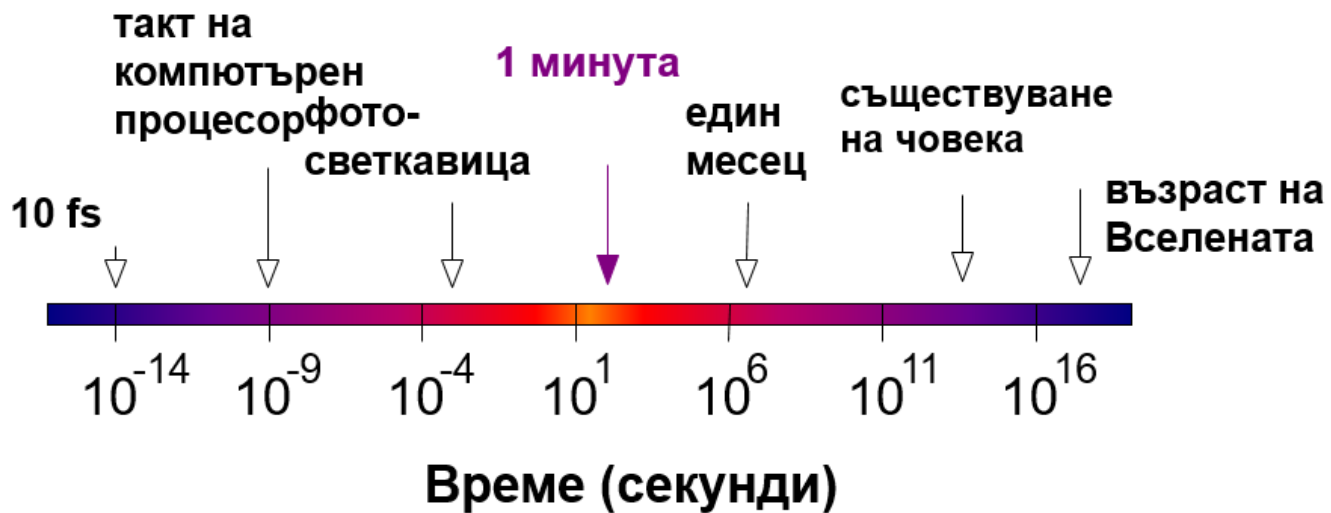
бърза цифрова
електроника

ВРЕМЕ

←

1 sec 10^{-3} sec 10^{-6} sec 10^{-9} sec 10^{-12} sec 10^{-15} sec 10^{-18} sec
mili micro nano pico femto atto

Бързо, по-бързо, свръхбързо ...



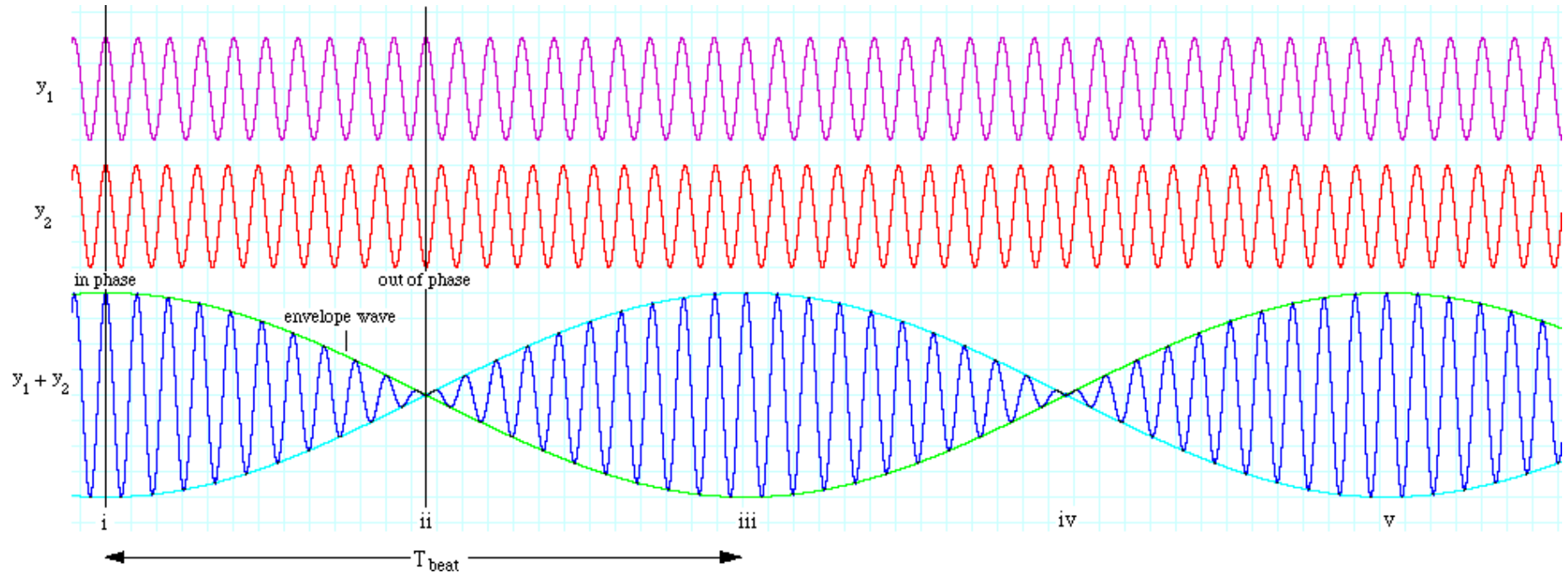
10 fs се отнасят към 1 min

както

1 min към възрастта на Вселената.

Генериране на свържъкси лазерни импулси

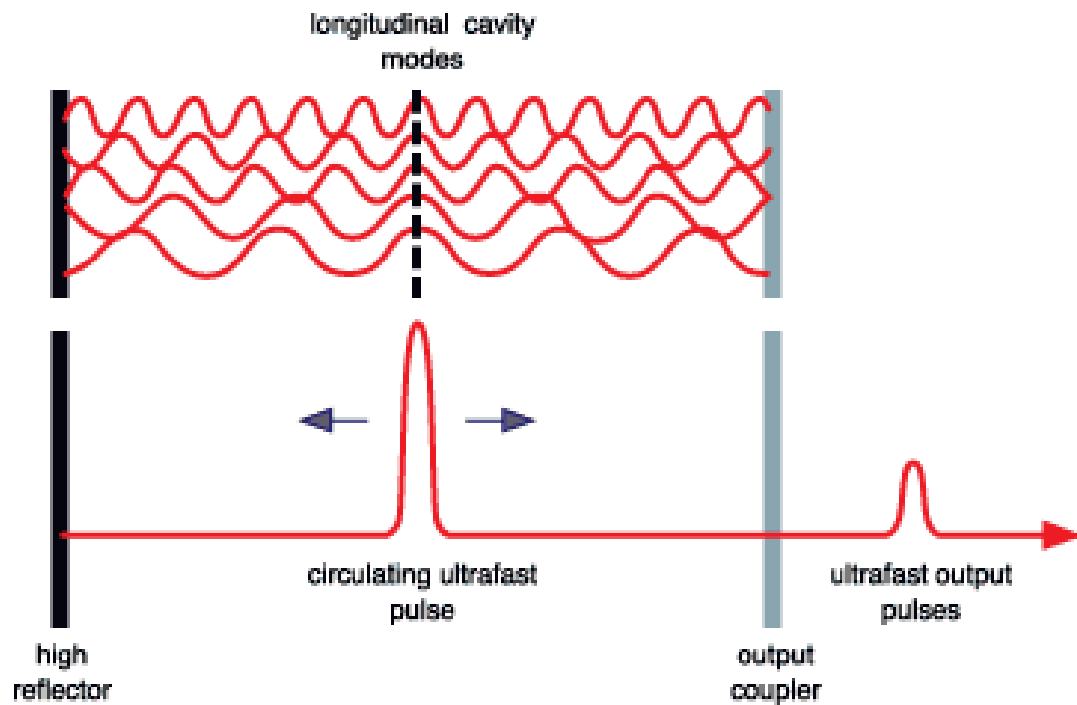
Интерференция на две вълни и честотно биене



Източник: <https://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/beats.htm>

Генериране на свръхкъси лазерни импулси

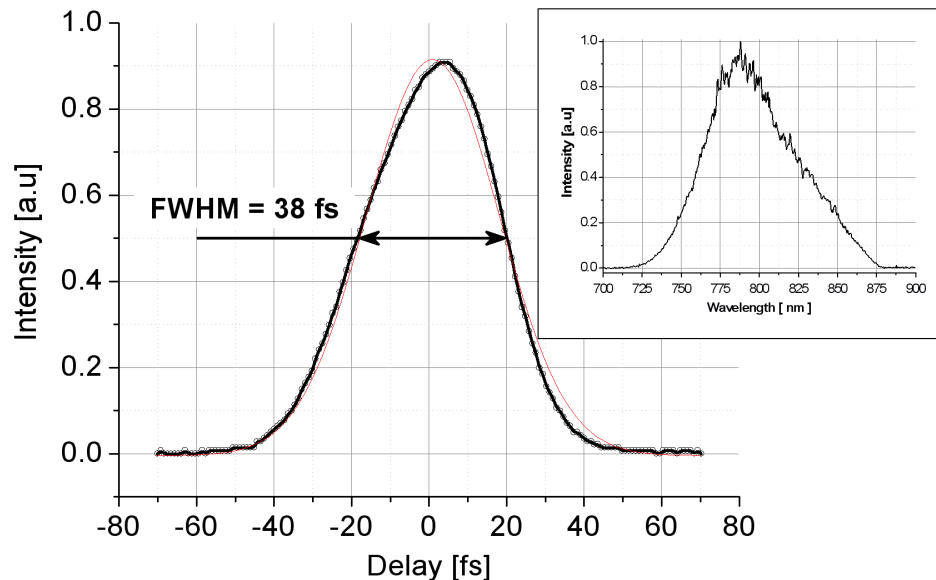
Интерференция на много вълни



$$\Delta t \Delta \omega \sim 1$$

Източник: <https://spie.org/news/getting-practical?SSO=1>

Фемтосекунден генератор в катедра „Квантова електроника“



- $\lambda_c = 790\text{nm}$
- $\Delta\tau = 28\text{fs}$ (Gaussian shaped pulse)
- $f_{\text{rep}} = 83\text{MHz}$
- $W = 4\text{nJ}$

Защо е необходим импулсен режим?

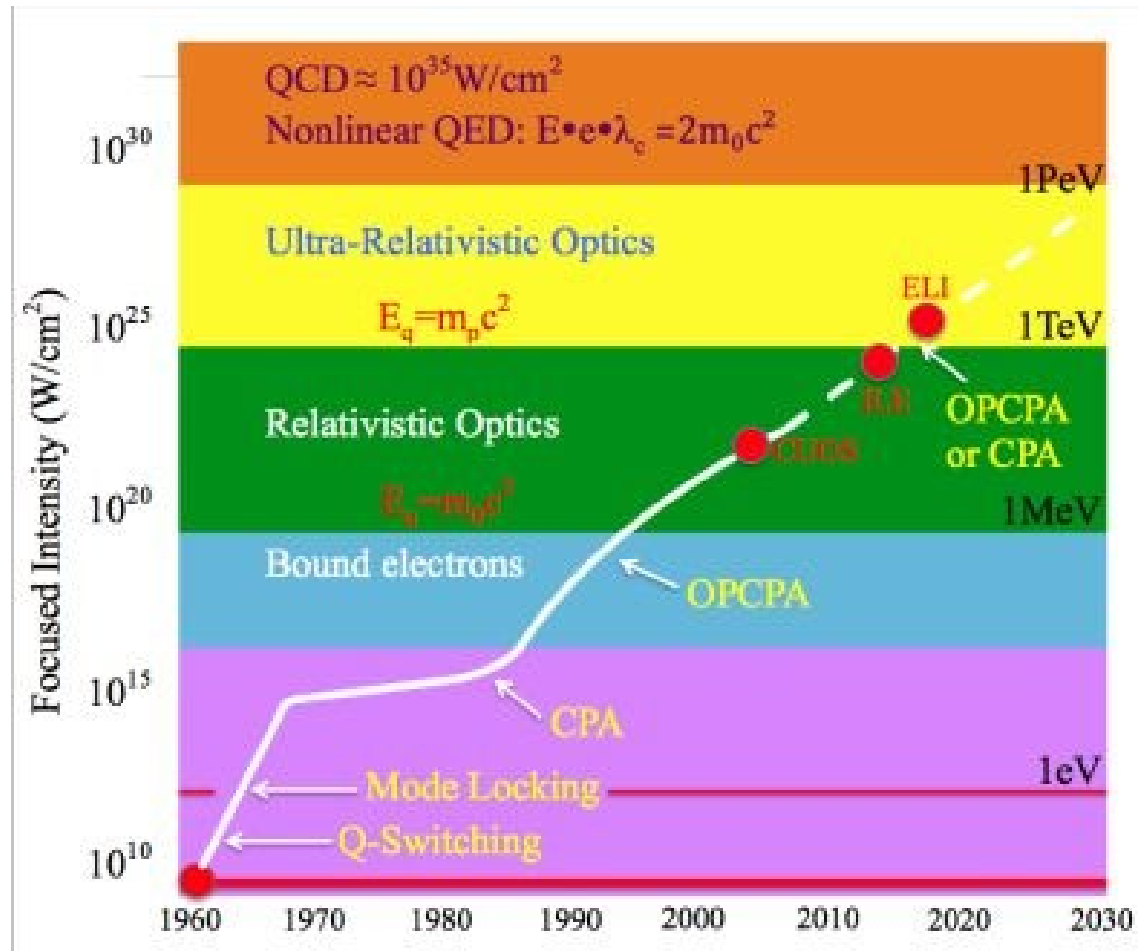
Колко енергия би имало в един импулс?... 1J? – малко...

Колко би могла да бъде времевата продължителност?...

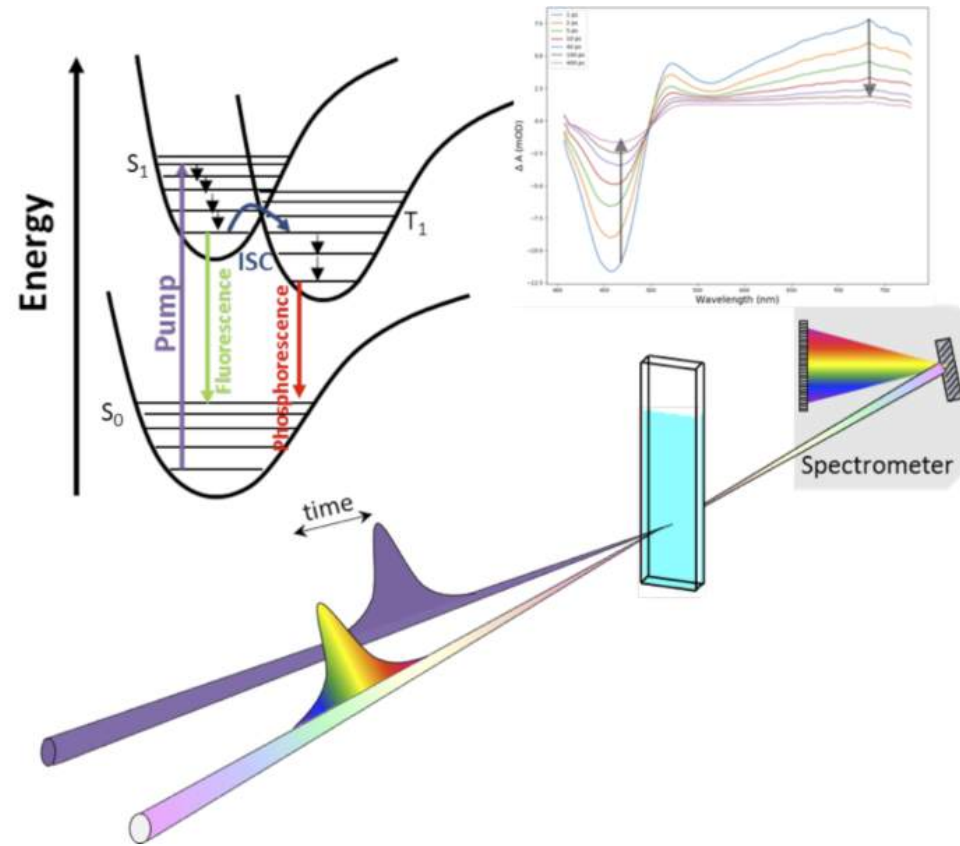
Колко е 1fs? – много, много малко!...

Мощност $P = \frac{\Delta A}{\Delta t}$

$$\frac{10nJ}{10fs} = \frac{10^{-8}J}{10^{-14}s} = 10^6 W = 1\,000\,000\,W = 1MW$$

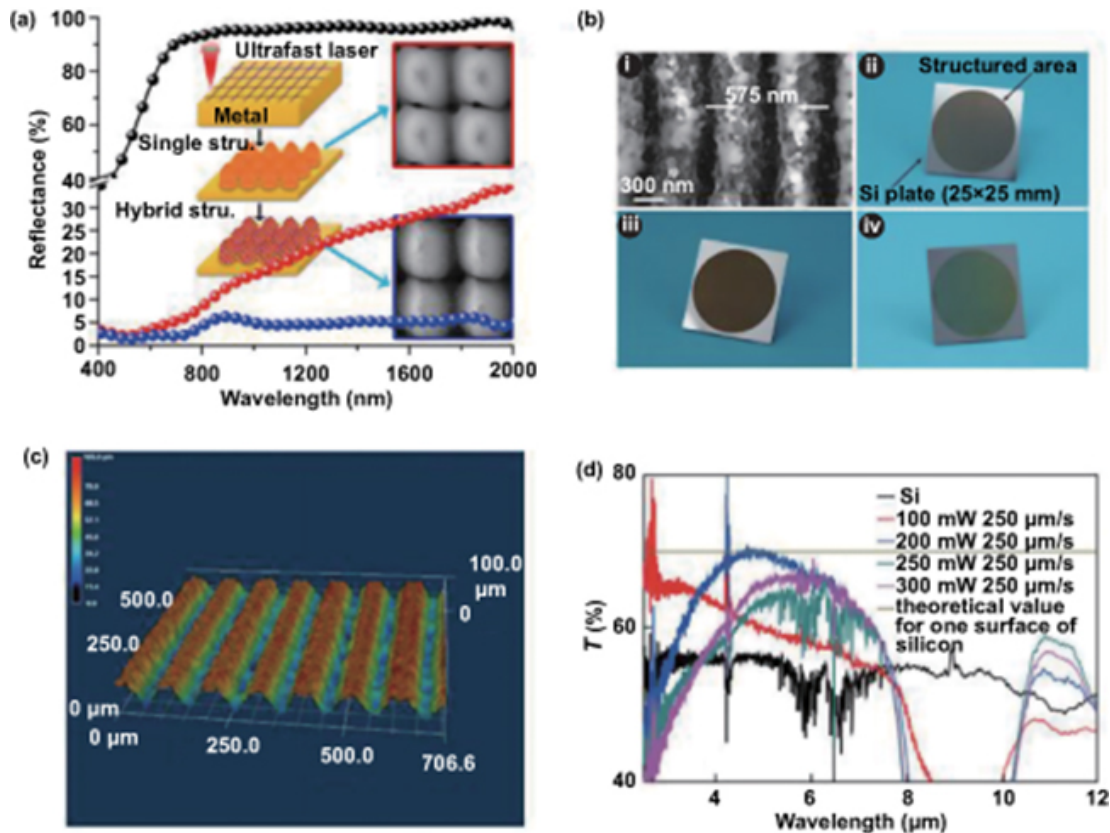


Изследване на молекулярна динамика със свръхкъси лазерни импулси



Източник: <https://www.newport.com/n/ultrafast-spectroscopy>

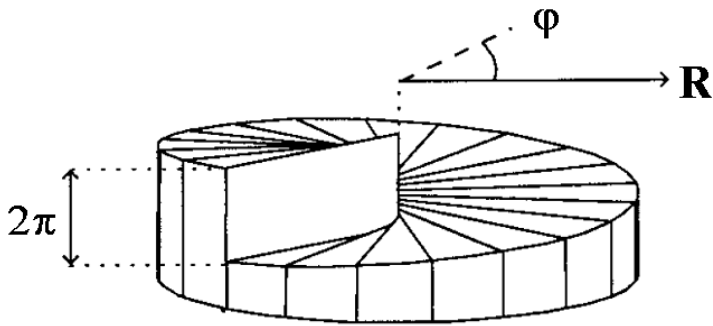
Създаването на микро- и наноструктурирани повърхности с фемтосекундни лазери



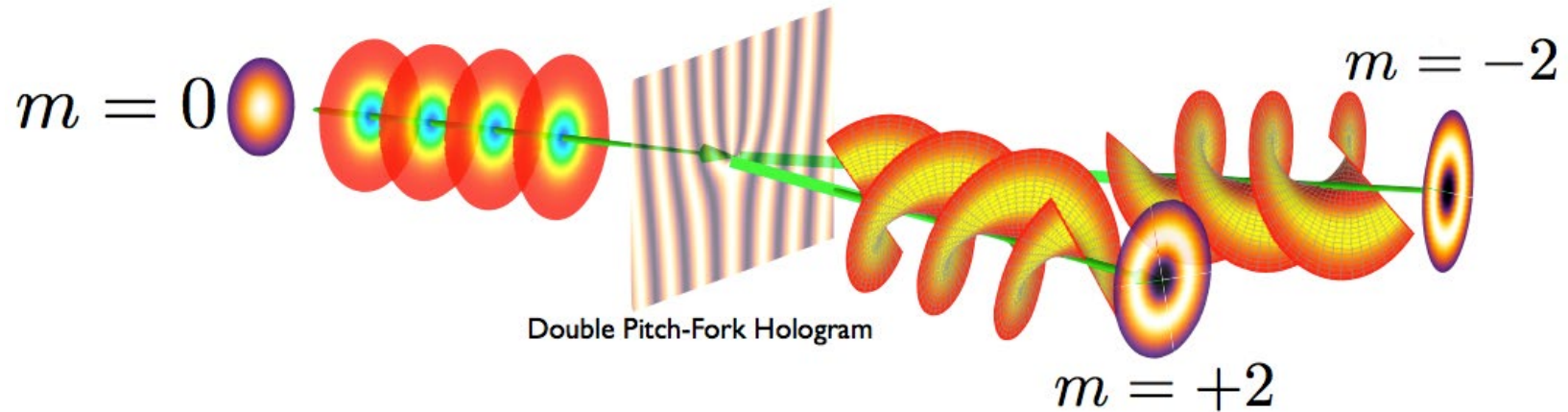
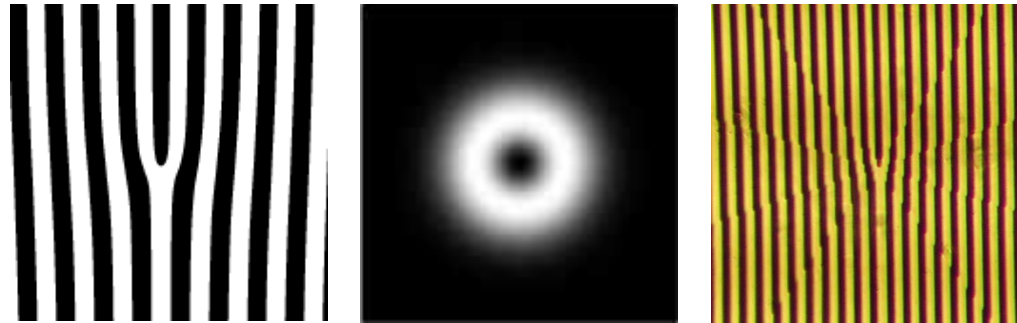
Източник: Yiyuan Zhang et al 2020 *Int. J. Extrem. Manuf.* 2 032002 | DOI 10.1088/2631-7990/ab95f6

Оптични вихри

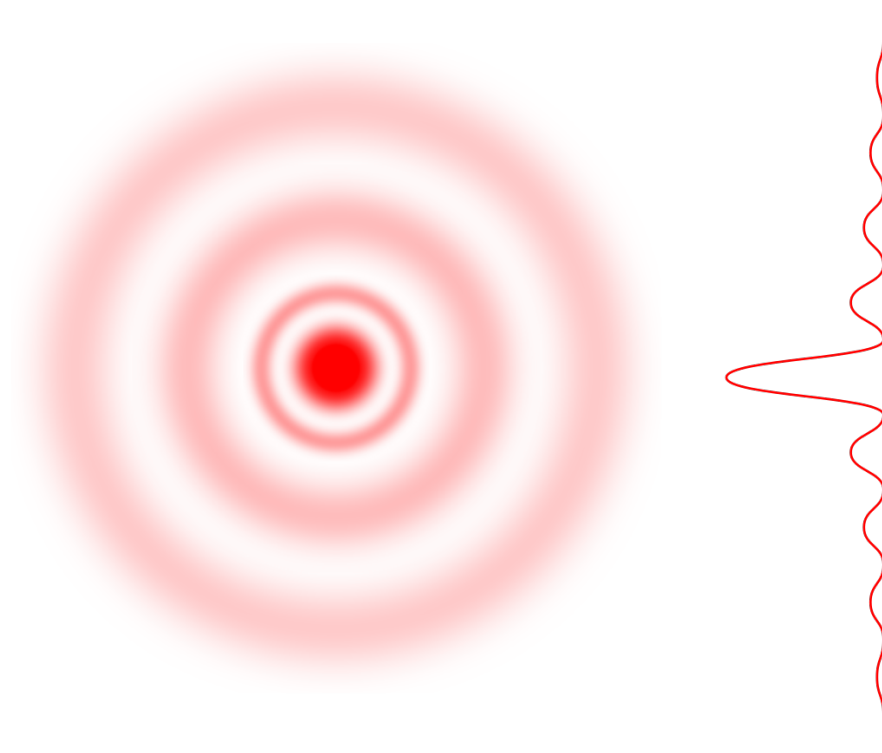
Сингулярности се срещат навсякъде, където азимутален ъгъл зависи от пространствените параметри



Контрол на фазата модулиране на напречния профил на оптични снопове

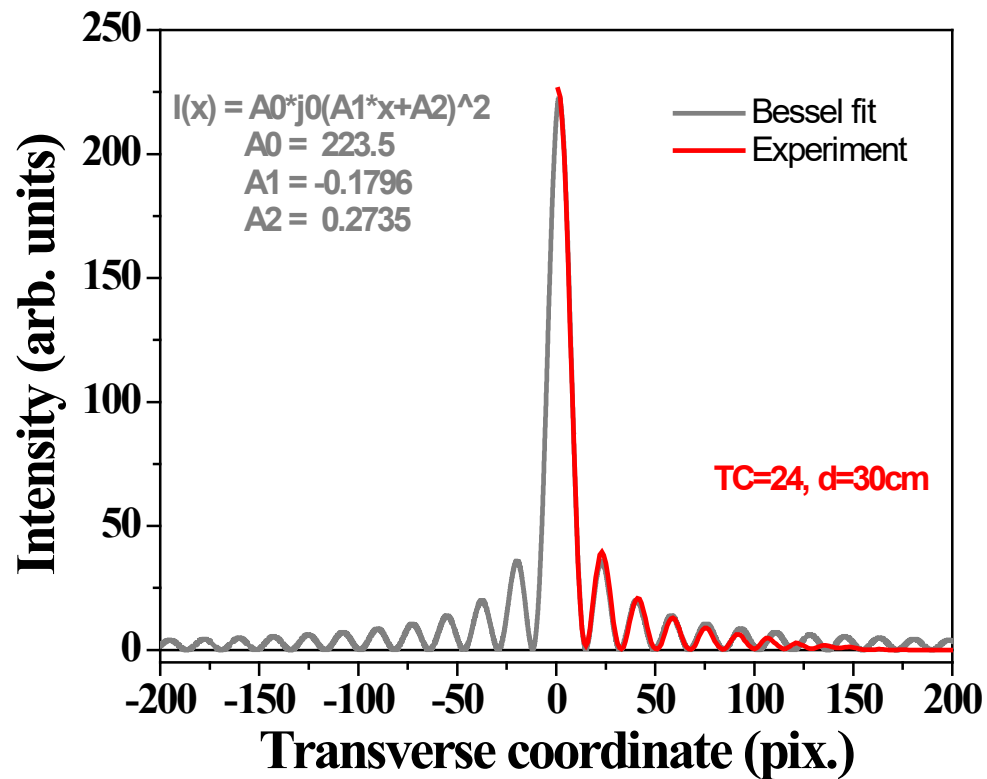
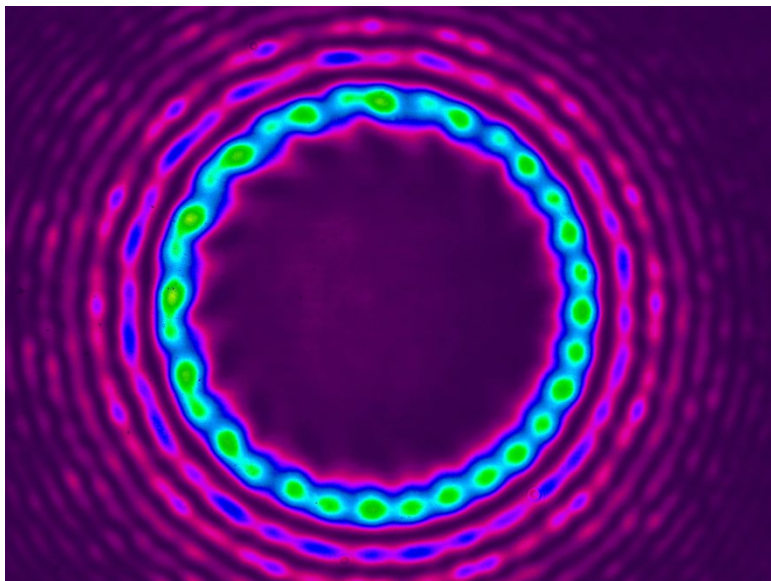


Беселови снопове, генерирани с помощта на оптични вихри



Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/Bessel_beam

Беселови снопове, генерирани с помощта на оптични вихри



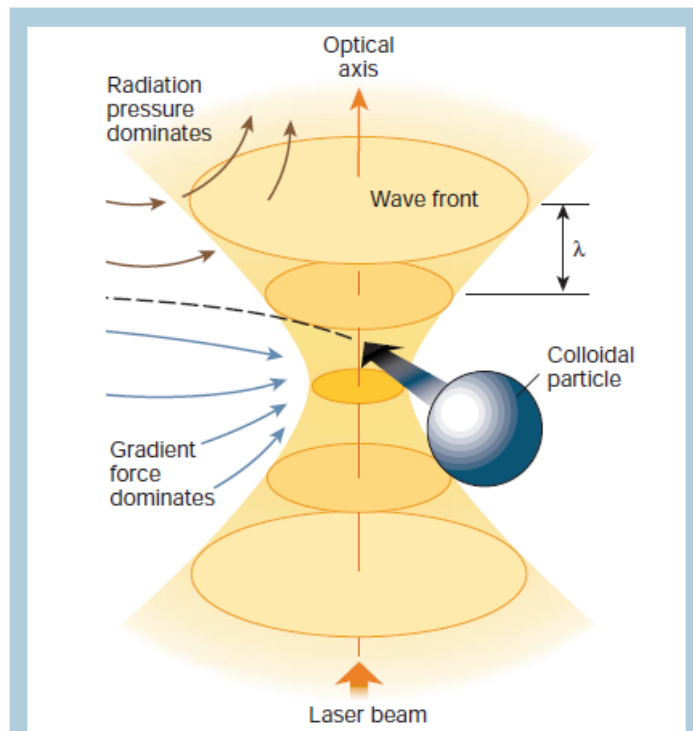
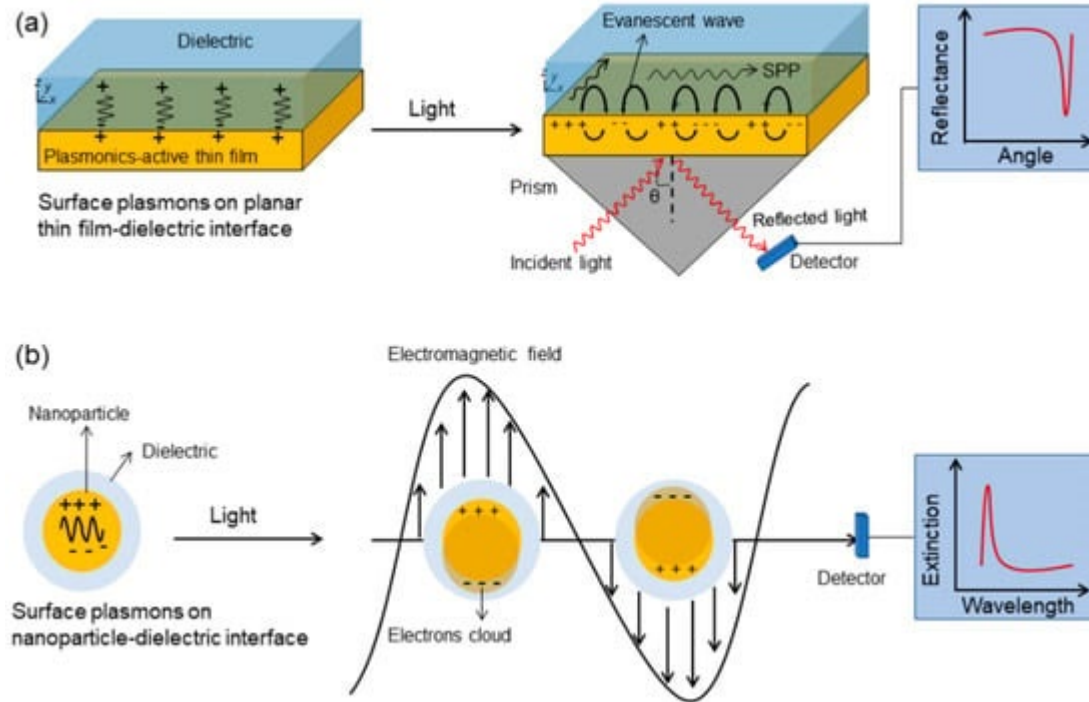


Figure 1 Optical tweezers use a strongly focused beam of light to trap objects. Intensity gradients in the converging beam draw small objects, such as a colloidal particle, toward the focus, whereas the radiation pressure of the beam tends to blow them down the optical axis. Under conditions where the gradient force dominates, a particle can be trapped, in three dimensions, near the focal point.

Благодаря за вниманието!

<https://summit.uni-sofia.bg/>

<http://quantum.phys.uni-sofia.bg/fslab/>



Източник: *Processes* 2020, 8(1), 115; <https://doi.org/10.3390/pr8010115>