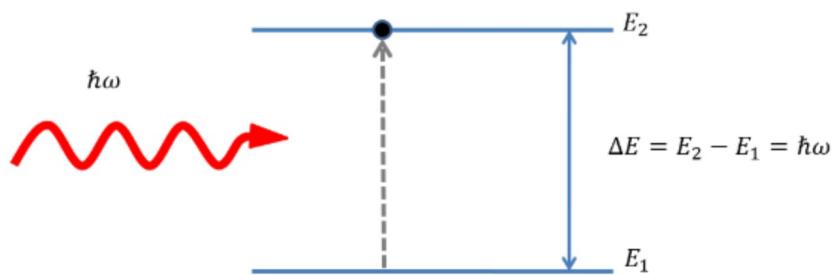


1

Absorption

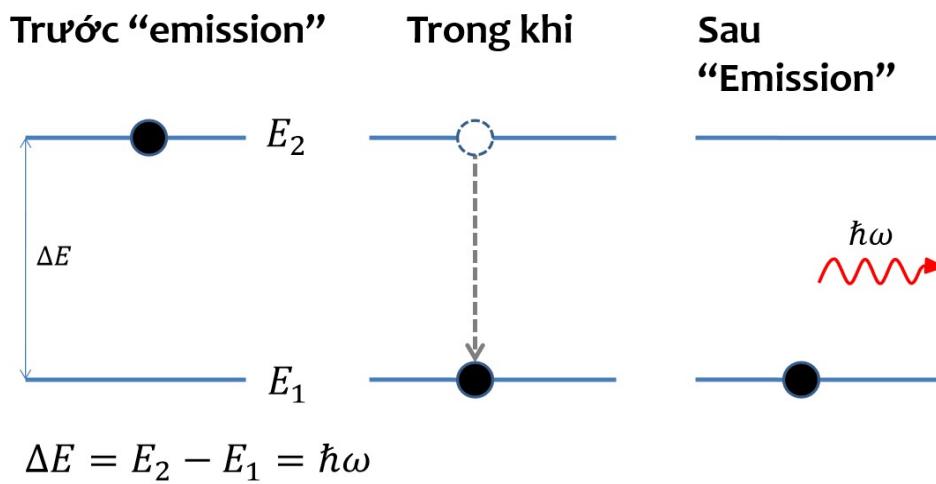


2

- Absorption of an increment $E_2 - E_1$ of energy from the pump: The atom is raised from level 1 to level 2.
- In other words, an electron in the atom jumps from an inner orbit to an outer orbit.

3

“Spontaneous emission”



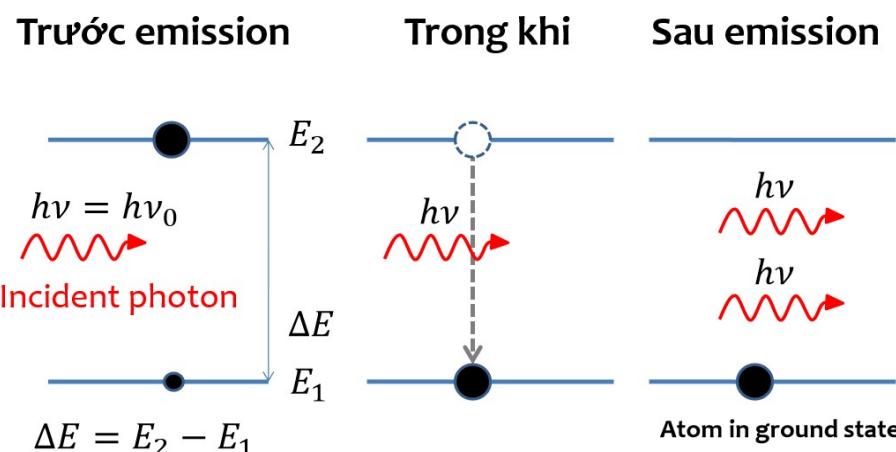
4

“Stimulated emission”

- Atom ở mức 2. Photon với $\nu = \nu_0$ bay đến
- Xác suất hữu hạn để photon làm cho atom chuyển dời 2 → 1
- Sự khác biệt năng lượng $E_2 - E_1 = h\nu_0$
→ sóng điện từ (thêm vào sóng photon tới)
- Photon phát xạ có năng lượng bằng NL photon tới; sóng: cùng phase và tần số với sóng tới.
- “constructive interfere”

5

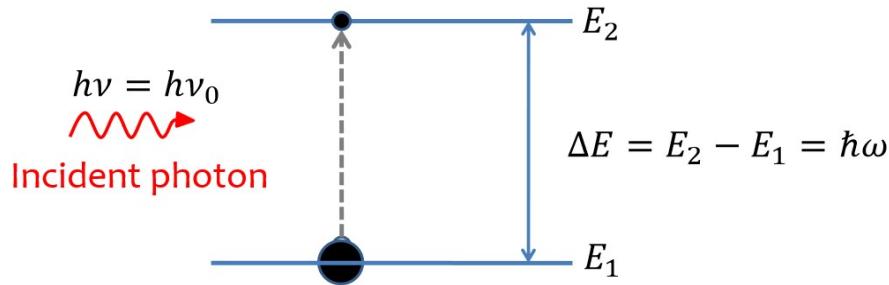
Stimulated emission



Quá trình này được “cảm ứng”, hoặc được “kích thích” bởi photon tới → tạo photon

6

Absorption



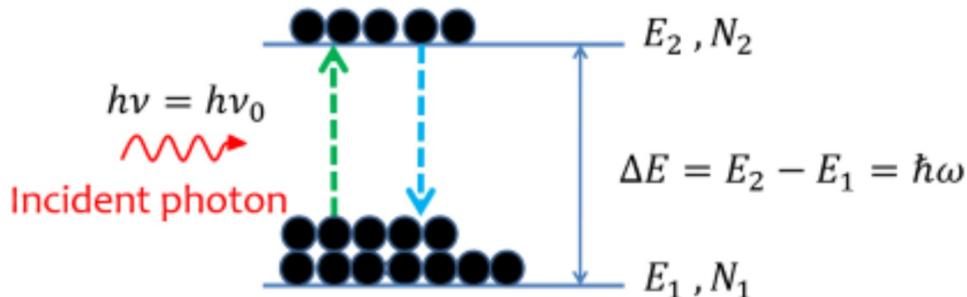
The process is also induced, or stimulated, by the incident photon. → annihilate a photon

7

- Xem lại file Quantum Optics-Radiative transitions-2024 nội dung liên quan đến các loại phát xạ này.

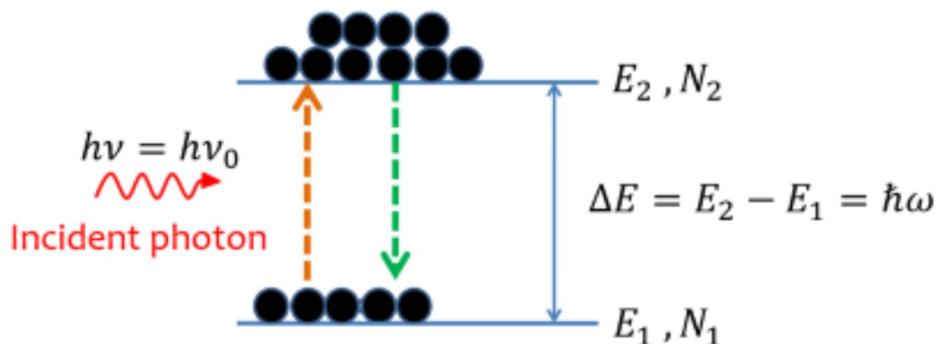
8

Emission/Absorption



9

Ý tưởng laser



- Laser dựa trên nguyên tắc bức xạ cảm ứng kích thích.
- Làm sao càng tăng N_2 càng tốt để khi có ánh sáng cảm ứng đi vô sẽ có nhiều hạt đi xuống cùng tần số, năng lượng, cùng hướng thì có được laser.

10

Ý tưởng laser

- Ở cân bằng nhiệt: $N_2^e < g_2 N_1^e / g_1$ (absorber)
- Nếu xảy ra không cân bằng với $N_2 > g_2 N_1 / g_1$ thì chất liệu là “amplifier”.
- Trong trường hợp này ta nói tồn tại phân bố đảo ngược (population inversion – PI) trong chất liệu
- Hoạt chất (active material): chất liệu mà trong đó PI được tạo ra.

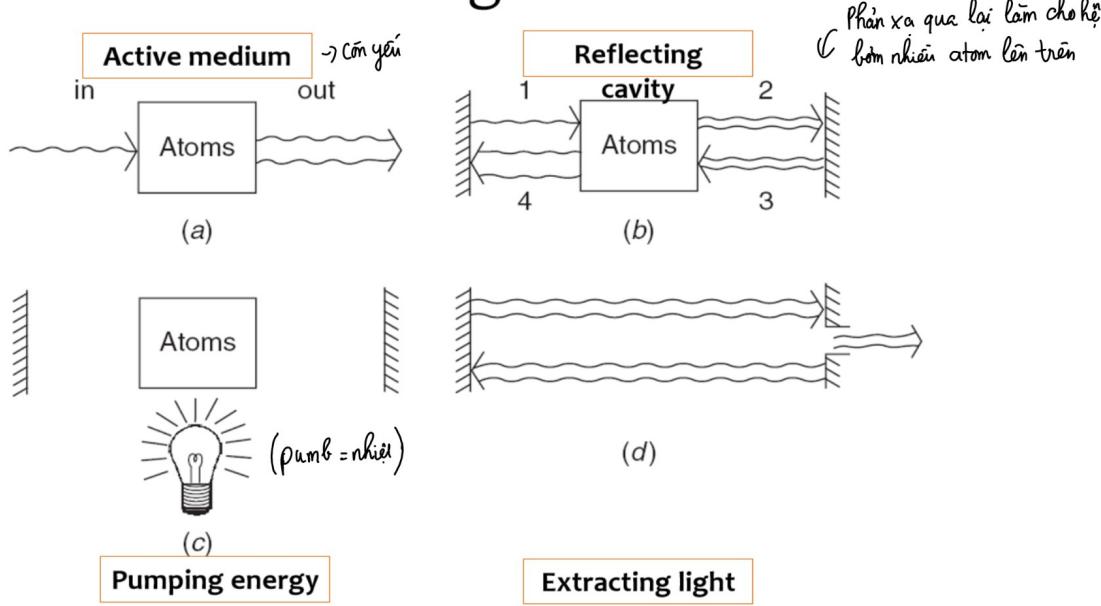
11

Ý tưởng laser

- Nếu tần số chuyển dời $\nu_0 = (E_2 - E_1)/h$ nằm trong vùng microwave thì loại khuếch đại này là “**maser** amplifier”
- “**microwave amplification by stimulated emission of radiation**”
- Tần số chuyển dời nằm trong vùng quang
→ “**laser** amplifier”
- “**light amplification by stimulated emission of radiation**”

12

Ý tưởng laser



Laser physics, Peter W. Milonni, Joseph H. Eberly, 2010

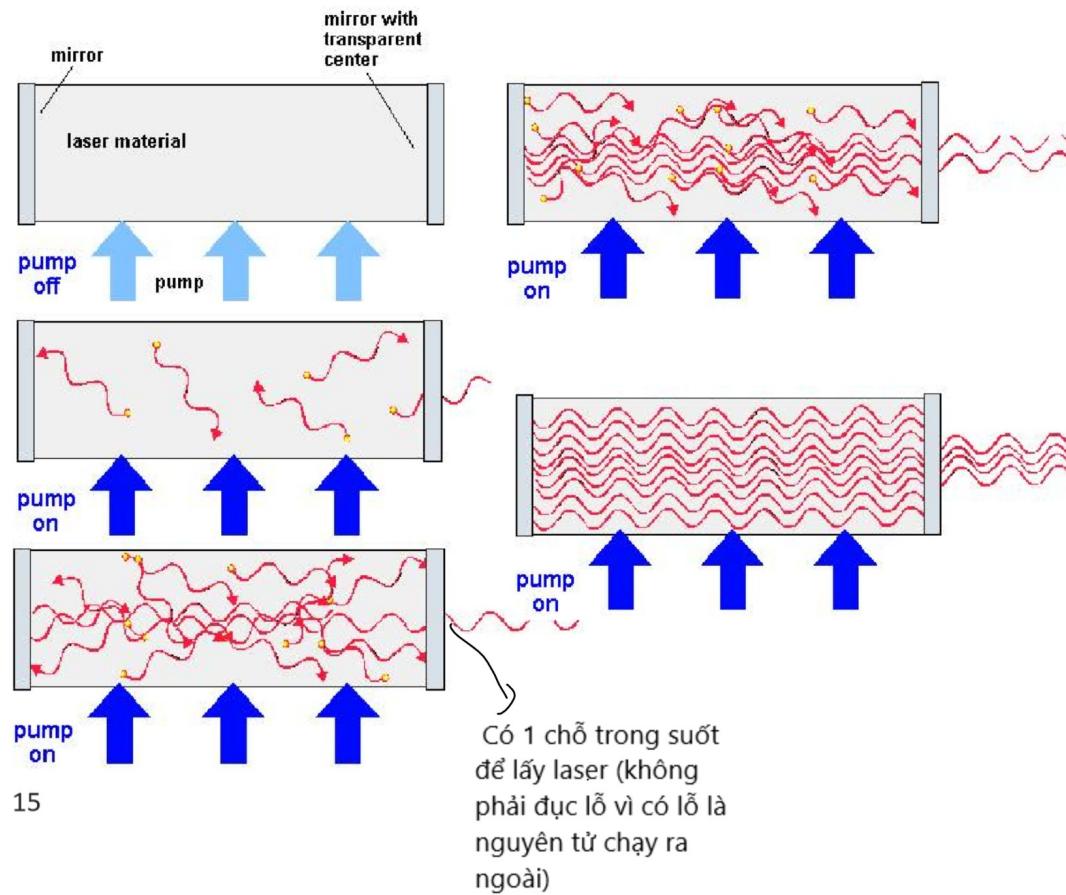
13

Ý tưởng laser

Hoạt tính này khuếch
đại quang, có thể bơm
lên trên rồi xuống sẽ
khuếch đại ra, một đi
vào nhưng có nhiều
thẳng ra có cùng tần số
thì mới có giao thoa
cộng hưởng

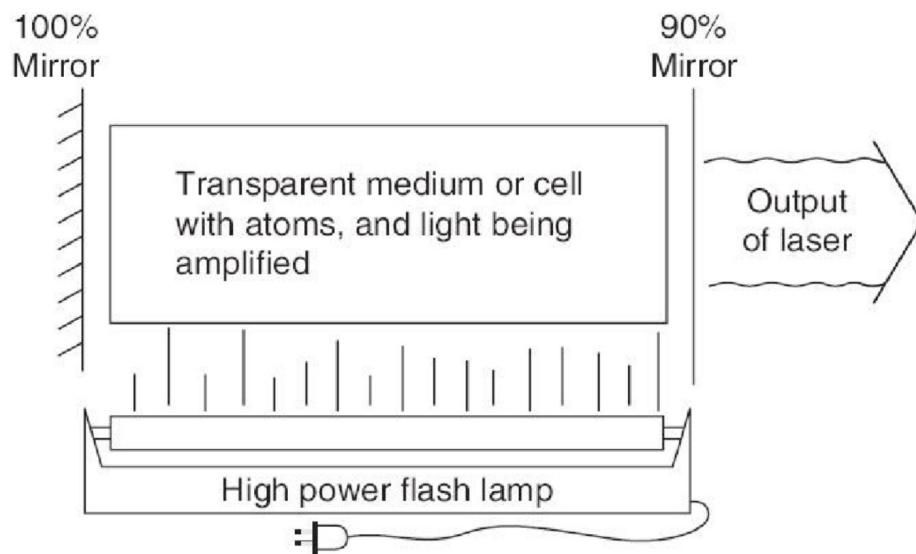
- Một thiết bị laser có 03 thành phần chính: “**active medium**”, “**pumping source**”, và “**optical resonator**”.
- “**active medium**” (**gain medium**): {atoms/molecules/ions (in solid, liquid, or gaseous form)} → “**optical amplifier**”
- “**pumping mechanism**” → giữ trạng thái “**population inversion**” ($N_{trên} > N_{dưới}$)
- “**optical resonator**” (“**optical cavity**”) → “**oscillator**”

14



15

Ý tưởng laser



Laser physics, Peter W. Milonni, Joseph H. Eberly, 2010

16

Điều kiện ngưỡng (Threshold condition/Lasing threshold)

- Trong trường hợp laser, giao động bắt đầu khi “gain” của hoạt chất bằng với “losses” trong laser.
- Ngưỡng đạt được khi PI,

$$N = N_2 - (g_2 N_1 / g_1)$$

đạt giá trị tới hạn N_c cho bởi

$$N_c = -[\ln R_1 R_2 + 2 \ln(1 - L_i)] / 2\sigma l$$

- $R_{1,2}$ độ phản xạ của 2 gương; L_i là độ hao tổn trong 1 lần qua “laser cavity”.

17

Ý tưởng laser

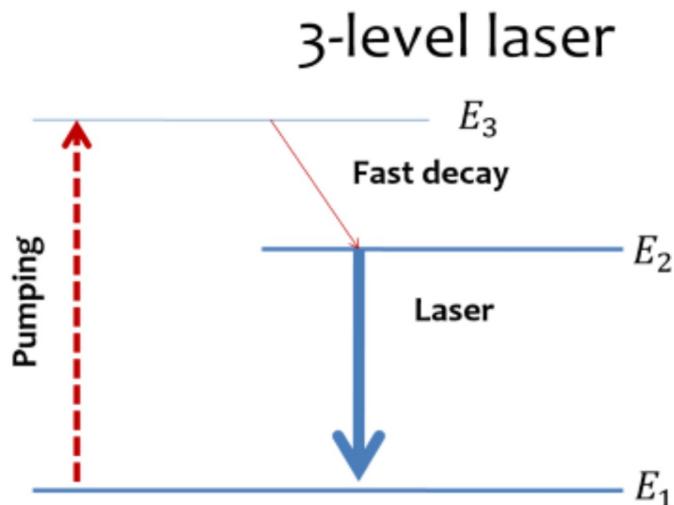
- Đạt đảo ngược tới hạn (critical inversion) → dao động được tạo thành từ phát xạ tự phát
- Photons phát xạ tự phát dọc theo trực “cavity” sẽ khởi đầu quá trình khuếch đại
- Đây là cơ sở của “laser oscillator” (hoặc tắt là laser).

18

Laser pumps

- Chỉ có 2 mức NL → absorption cân bằng với stimulated emission!
$$dF = \sigma_{21}F(N_2 - g_2N_1/g_1)dz$$
- → chất liệu “transparent”: “Two-level saturation”
- Nhiều hơn hai mức NL ?

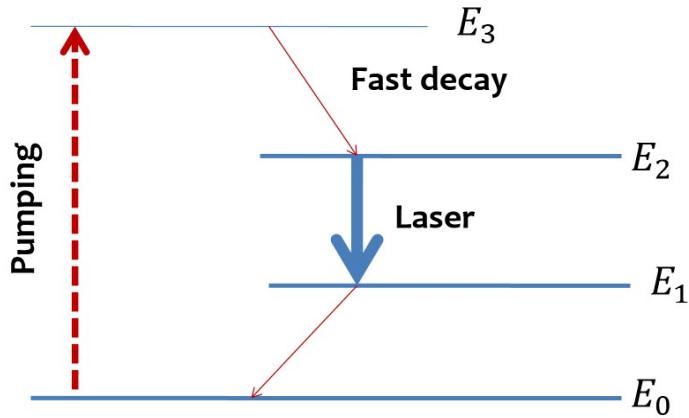
19



Dể có laser, người ta phải tìm hoạt chất có mức bền E_2 để bơm lên E_3 và chuyển dời rất nhanh từ E_3 xuống mức bền E_2 nên tập trung ở đó sẽ đạt được mật độ lớn nên có PI cao rồi đổ xuống hàng loạt E_1 sẽ được laser.

20

4-level laser



The process is also induced, or stimulated, by the incident photon. → annihilate a photon

21

Tính chất của laser

- Monochromaticity
- Coherence
- Directionality
- Brightness
- Short Time Duration

22

Loại laser

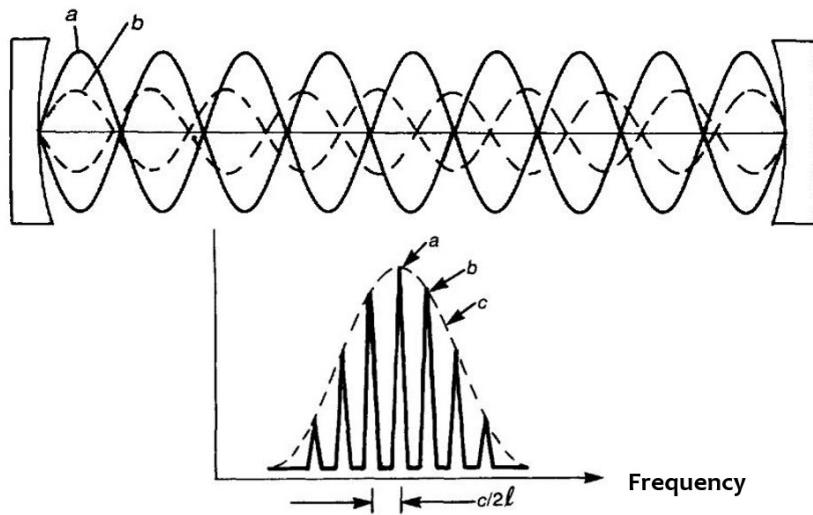
- Laser khí (gas lasers): CO₂ lasers. Excimer lasers
- Laser hóa (chemical lasers)
- Free electron lasers [high power]
- Diode lasers / Semiconductor lasers
- Solid state lasers
- Fiber lasers [đất hiếm]
- ...

24

Laser again!

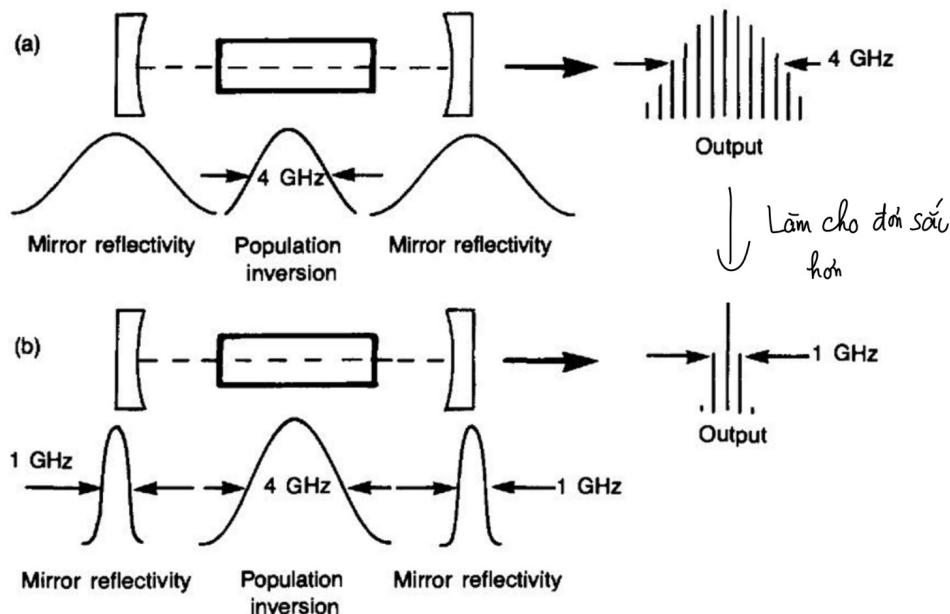
C. B. Hitz, J. J. Ewing, J. Hecht - Introduction to laser technology-Wiley-IEEE Press (2012)

- Longitudinal modes & frequency spectrum



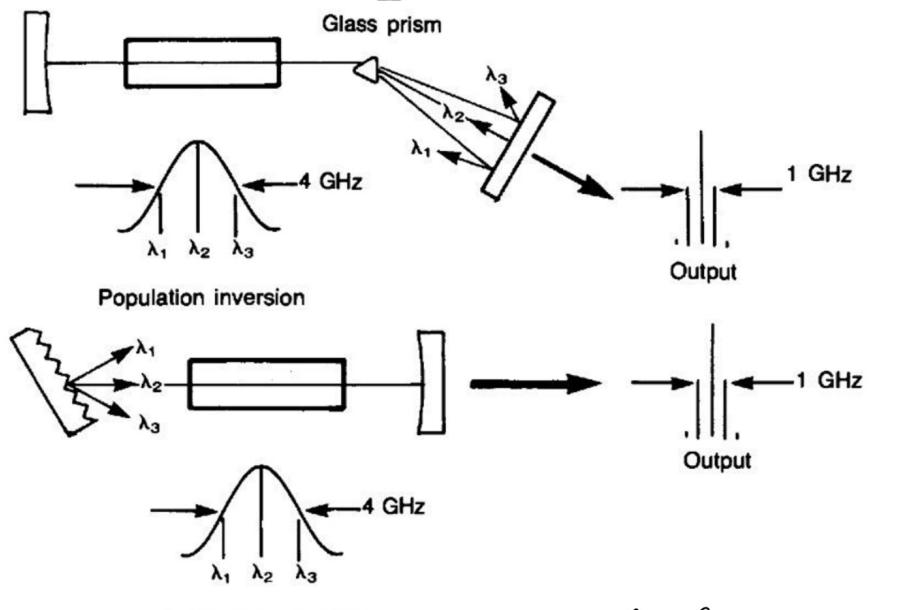
27

Reducing bandwidth



28

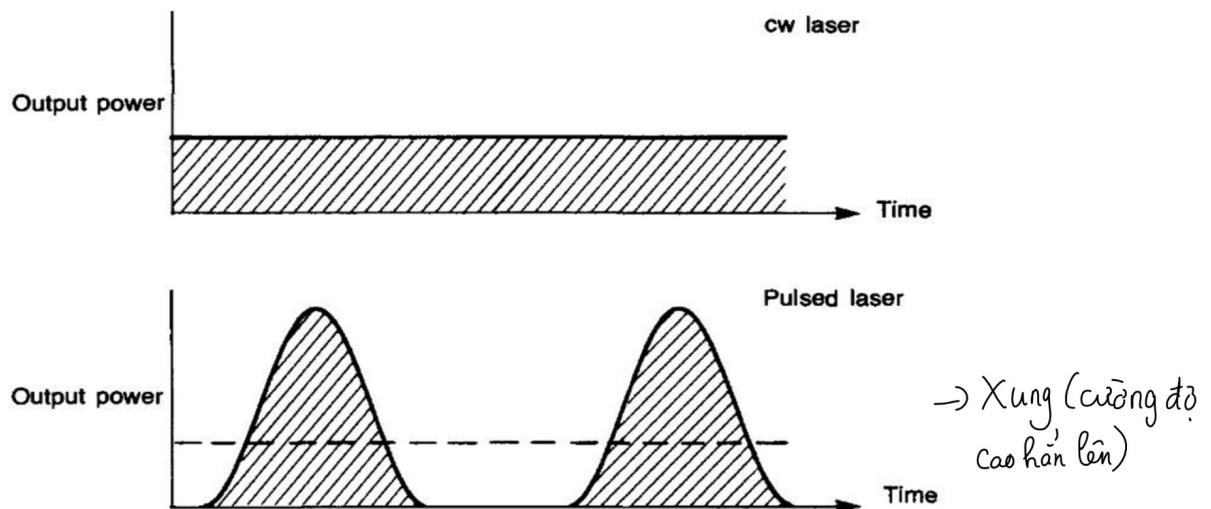
Reducing bandwidth



$\Delta\lambda$ càng bé thì $\Delta\nu$ cũng lớn

29

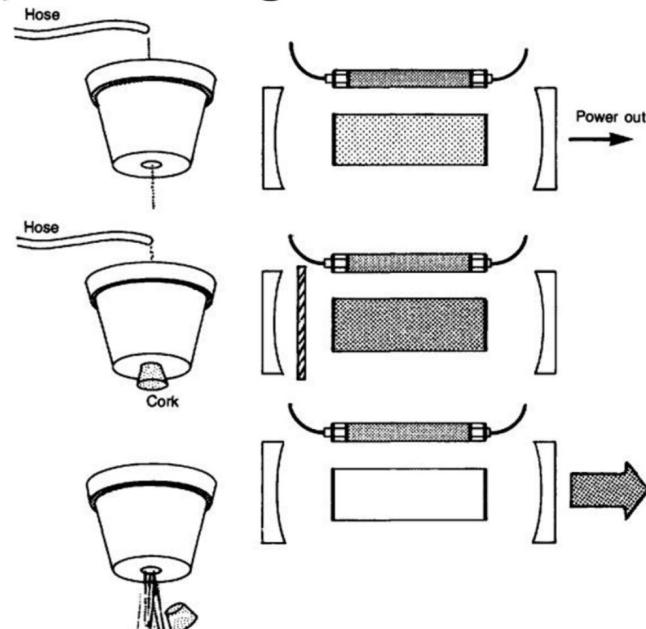
Q-switching



30

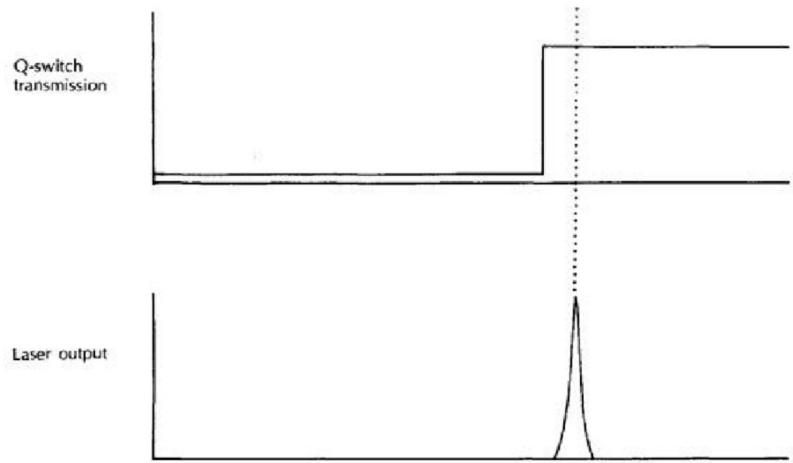
Q-switching

- Q - switching : technique for obtaining energetic short pulses from a laser
- To prevent the laser from lasing
→ “prevent feedback”



31

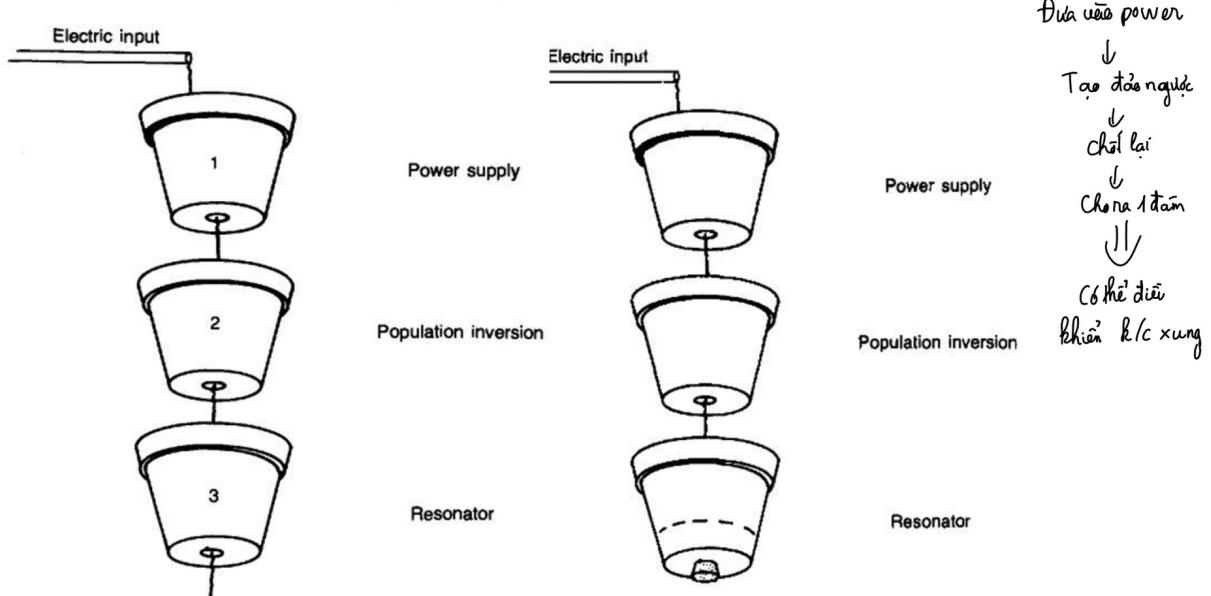
Q-switching



Tạo xung → Đột cản cự ly độ mạnh
Một số pù bể nát nhanh ở tay nhô → Hiện đèn pha ló
quan sát dc

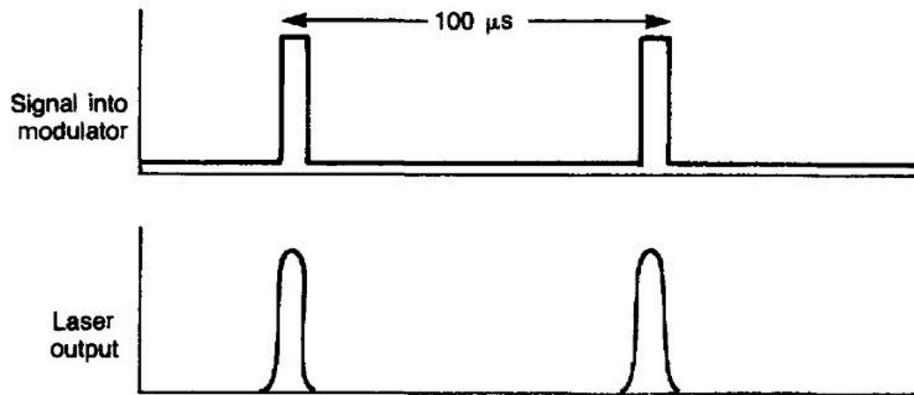
32

Cavity dumping & modelocking



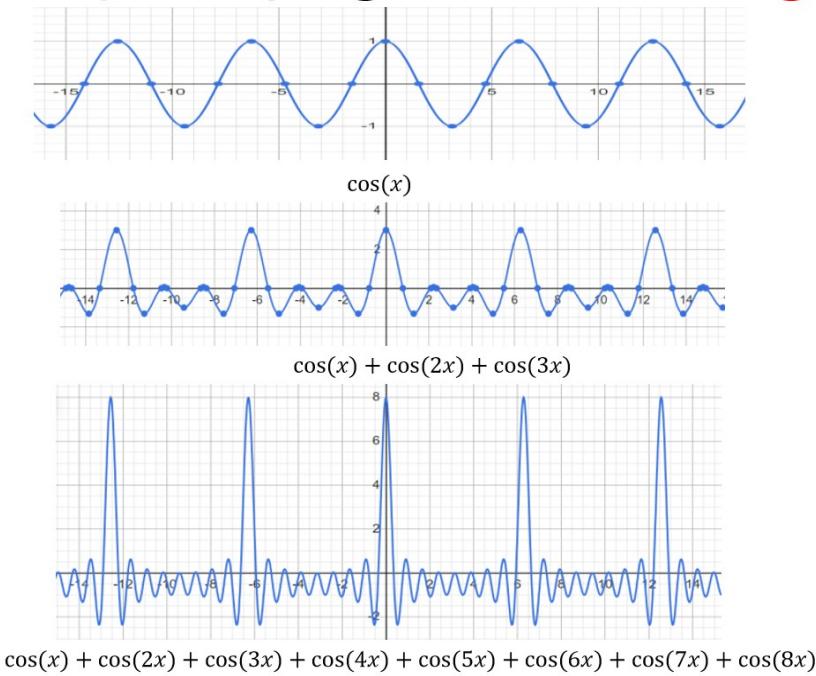
33

Cavity dumping & modelocking



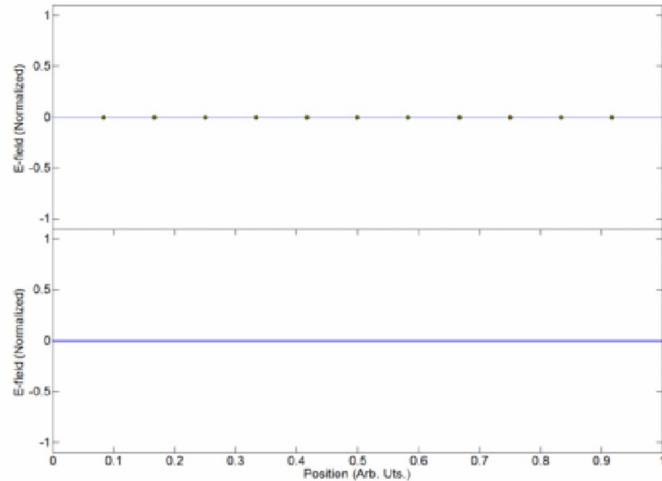
34

Cavity dumping & modelocking



36

Trận xung Cavity dumping & modelocking



https://en.wikipedia.org/wiki/Mode_locking

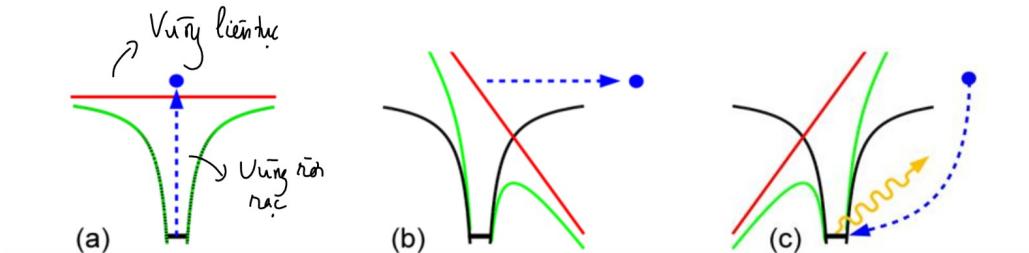
37

ỨNG DỤNG CỦA LASER

- ?
- Chữa bệnh
- Khắc laser
- Dùng laser để tạo bức xạ tia cao
- Dùng laser để làm lạnh

39

Xung cực ngắn Attosecond Pulses

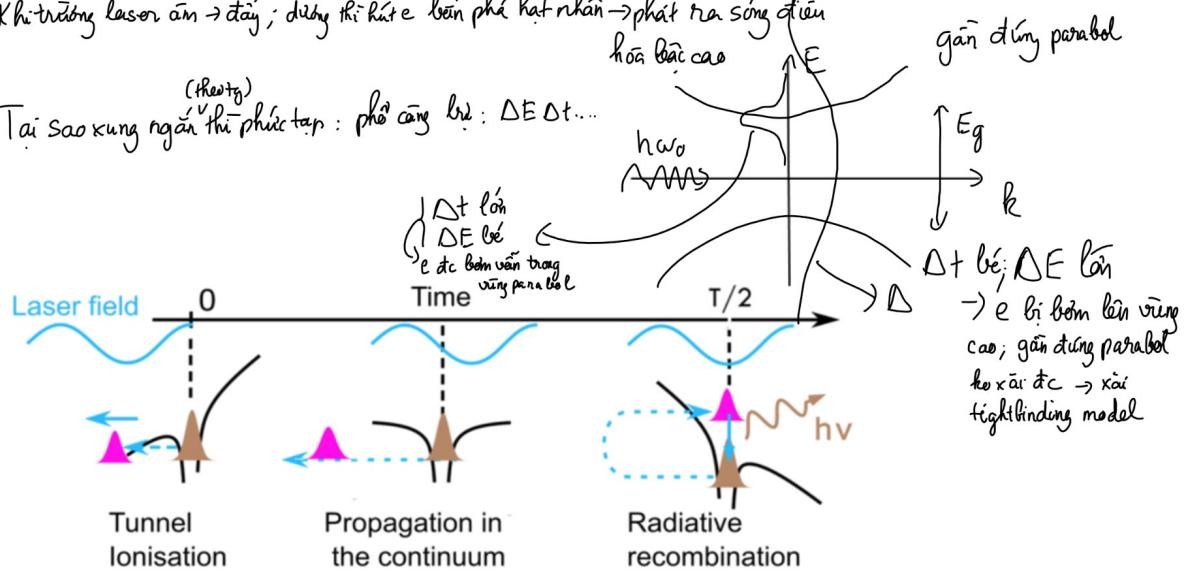


The three-step model of HHG as follows:

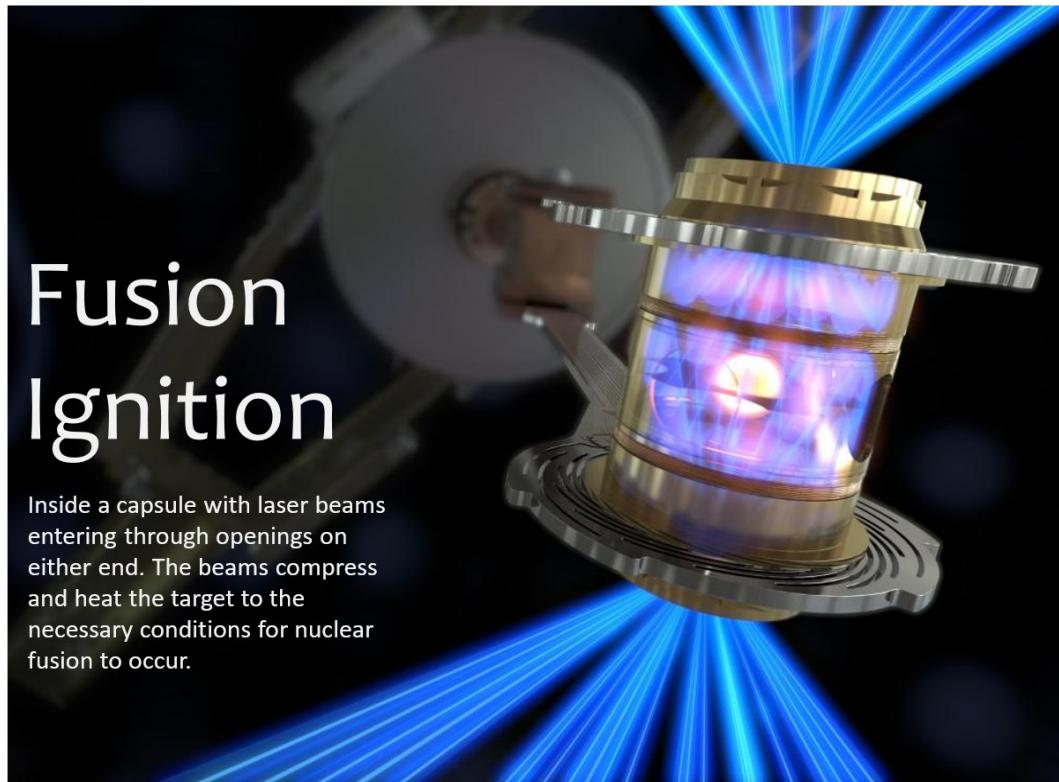
- a core electron is ionized ;
- the liberated electron propagates freely;
- the electron is driven back to the ion and recombines with it emitting HH radiation.

Dưới tác động trường laser : (a) bị ion hóa \rightarrow e sẽ bay; thế bị biến dạng
Khi trường laser giảm \rightarrow đây; điện trường hút e bén phá hạt nhân \rightarrow phát ra sóng điện hoa bức cao

Tại xung ngắn thì phức tạp: phổ công suất: $\Delta E \Delta t \dots$



- Nguyên tử được đưa vào một trường laser cực mạnh.
- Ở cực đại của trường, thế Coulomb bị biến dạng đến mức các electron liên kết yếu nhất có thể đi vào vùng liên tục.
- Bó sóng điện tử phát ra sau đó được dẫn hướng bởi trường và trong những điều kiện nhất định, sau đó có thể truyền đến gần ion gốc với tốc độ cao.
- Khi đó e kết hợp lại với ion, phát ra động năng dưới dạng photon

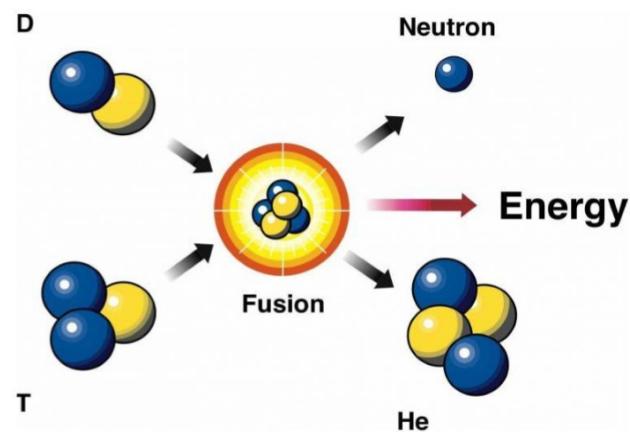


Fusion Ignition

Inside a capsule with laser beams entering through openings on either end. The beams compress and heat the target to the necessary conditions for nuclear fusion to occur.

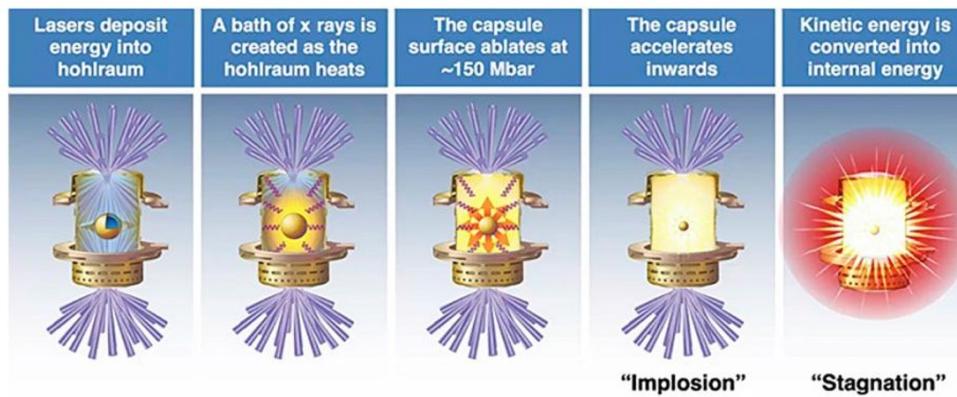
42

FUSION ENERGY



43

FUSION ENERGY



A laser-driven inertial confinement fusion.

In ignition experiments, the implosion crushes the capsule to smaller than the width of a human hair, impelling the fuel to temperatures and densities exceeding those found in the sun. Achieving the conditions for ignition demands precise control of design, laser, and target parameters.

[THE AGE OF IGNITION - Inside Lawrence Livermore National Laboratory's Fusion Breakthrough \(2023\)](#)