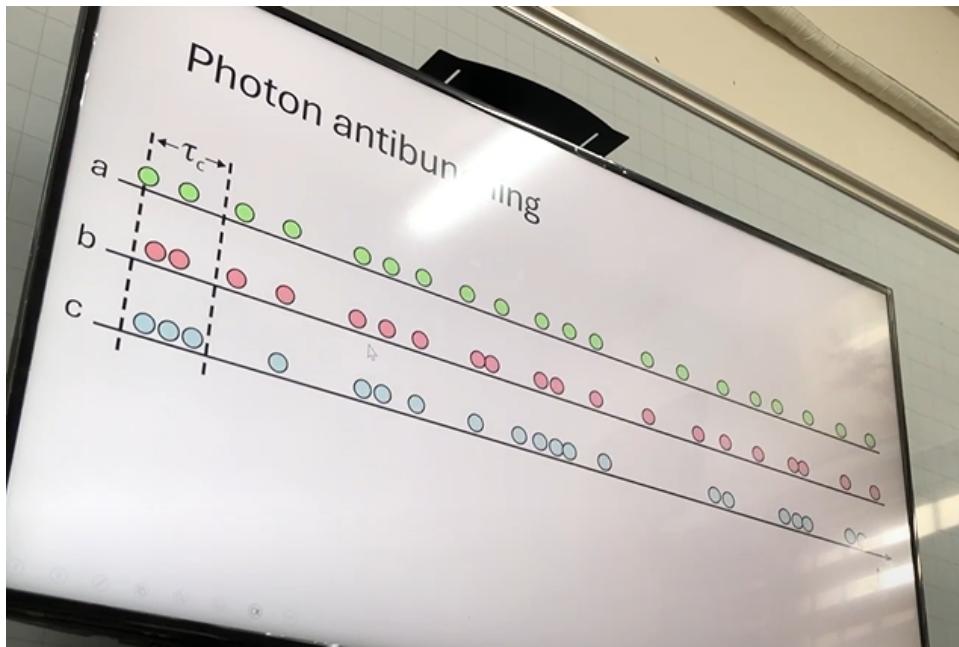


Chap 6 : Photon antibunching

1 Photon antibunching

Hiện tượng lượng tử (quantum phenomenon): các photons đơn lẻ được phát xạ cách tuân tự (sequentially) thay vì phát xạ theo các nhóm (in group)

(*Tìm cách làm sao tạo sub-poissonian tuân tự, không dính chùm nhau*) (Ta có 3 sơ đồ không cách



đều hǎn, khá đều)

a → Antibunched light → sub - P

b → Random /Coherent → P (laser)

c → Bunched light (chaotic light) → super P

Phân loại coherent:

+ Spatial coherent: coherent xét theo không gian, chung một nguồn, với khoảng cách đủ lớn, liên quan tới θ , độ dài coherent: $l_s < \frac{\lambda}{\theta}$, xem lại giao thoa.

+ Ngoài ra còn có partial coherent: trong cuộc sống không có perfectly coherent mà chỉ có 1 phần

+ Temporal coherent: coherent xét theo thời gian

Classical: ánh sáng là sóng → dễ dàng "tụ tập" thành group/nhóm/bó.

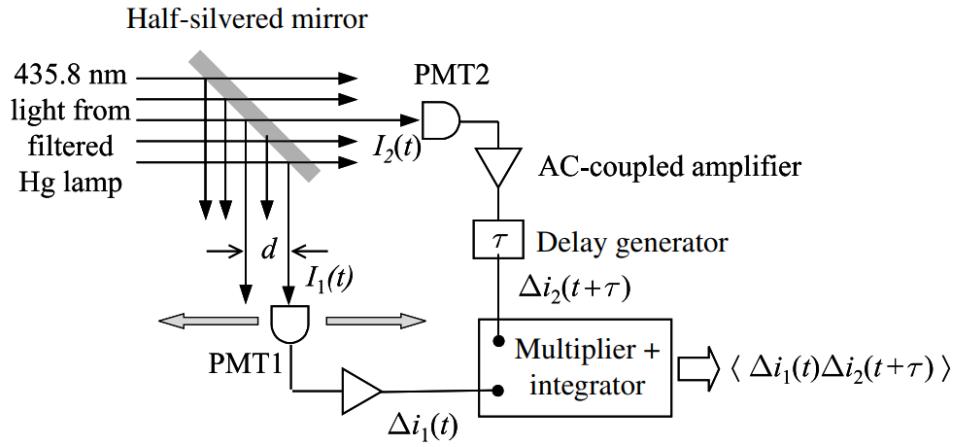
Photon antibunching (*photon là đặc trưng lượng tử của ánh sáng*) ↔ quantum nature of light: photon → có thể 'control' việc phát xạ photon

Hệ phát xạ photon kiểu antibunched → 'simultaneous photon detection' ↓; 'detecting them sequentially' ↑.

The second order correlation function $g^{(2)}$

Đại lượng để định lượng độ 'antibunching' của photons: $g^{(2)}$ - 'the second-order correlation function'/hàm tương quan bậc 2:

$$g^{(2)}(\tau) \equiv \frac{\langle E^*(t)E^*(t+\tau)E(t+\tau)E(t) \rangle}{\langle E^*(t)E^*(t) \rangle \langle E^*(t+\tau)E(t+\tau) \rangle} = \frac{\langle I(t)I(t+\tau) \rangle}{\langle I(t) \rangle \langle I(t+\tau) \rangle}$$



Hình 1: HBT experiment

Sóng mà nó không tương quan với nhau nghĩa là độ phủ nhau của $I(t)$ và $I(t+\tau)$ Photon đi vào sẽ được tách ra $I_1(t)$, $I_2(t)$, $I_2(t)$ đi qua cái bộ delay, 2 cái I đó đi qua bộ tích hợp (trộn) cho ra $\langle \Delta I_1(t) \Delta I_2(t + \tau) \rangle$. Phải lấy Δ vì ta quan tâm độ thăng giáng.

Nhắc lại $g^{(1)}$ - 'the first-order correlation function'

$$g^{(1)}(\tau) \equiv \frac{\langle E^*(t)E(t + \tau) \rangle}{\langle E^*(t)E(t) \rangle} = \frac{\langle E^*(t)E(t + \tau) \rangle}{\langle |E(t)|^2 \rangle}$$

$\langle \dots \rangle$: trung bình trong khoảng thời gian dài T

$$\langle E^*(t)E(t + \tau) \rangle = \frac{1}{T} \int_T dt E^*(t)E(t + \tau)$$

nếu độ phủ nhau không nhiều thì tích phần bằng 0

Chọn dòng vào $2I(t)$ và $I_1(t) = I_2(t) = \langle I(t) \rangle + \Delta I(t)$ trung bình + thăng giáng
Chú ý:

$$\begin{aligned} \langle \Delta I(t) \rangle &= 0 \quad \text{Nó thăng giáng qua lại, nên trung bình bằng 0} \\ \text{nên ta quan tâm } \langle \Delta I(t) \Delta I(t + \tau) \rangle_{\tau=0} &= \langle \Delta I(t)^2 \rangle \\ \langle \Delta I(t) \Delta I(t + \tau) \rangle_{\tau \gg \tau_{coherent}} &= 0 \end{aligned}$$

Từ đây [CM]

$$\begin{aligned} &\Rightarrow \langle I(t)I(t + \tau) \rangle_{\tau \gg \tau_{coherent}} = \langle I^2 \rangle \\ g^{(2)}(\tau) = 1; g^{(2)}(0) &= \frac{\langle I(t)^2 \rangle}{\langle I \rangle^2}; g^{(2)}(0) \geq g^{(2)}(\tau) \end{aligned}$$

Dây là đặc trưng của ánh sáng coherent

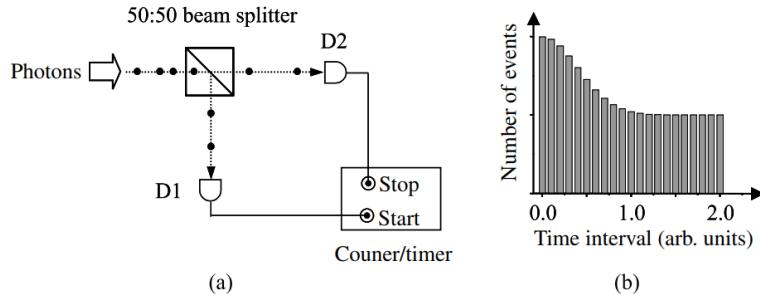
Nguồn ánh sáng đơn sắc 'perfectly coherent': cường độ không phụ thuộc thời gian:

$$g^{(2)}(\tau) = \frac{\langle I(t)I(t + \tau) \rangle}{\langle I(t) \rangle \langle I(t + \tau) \rangle} = \frac{\langle I_0^2 \rangle}{\langle I_0^2 \rangle} = \frac{I_0^2}{I_0^2} = 1$$

Có thể xét các trường hợp ánh sáng gauss, ánh sáng lorentz,...

Light source	Property	Comment
All classical light	$g^{(2)}(0) \geq 1$ $g^{(2)}(0) \geq g^{(2)}(\tau)$	$g^{(2)}(0) = 1$ when $I(t) = \text{constant}$
Perfectly coherent light	$g^{(2)}(\tau) = 1$	Applies for all τ
Gaussian chaotic light	$g^{(2)}(\tau) = 1 + \exp[-\pi(\tau/\tau_c)^2]$	τ_c = coherence time
Lorentzian chaotic light	$g^{(2)}(\tau) = 1 + \exp(-2 \tau /\tau_0)$	τ_0 = lifetime

Hình 2: Tổng hợp lại cho các nguồn ánh sáng khác nhau

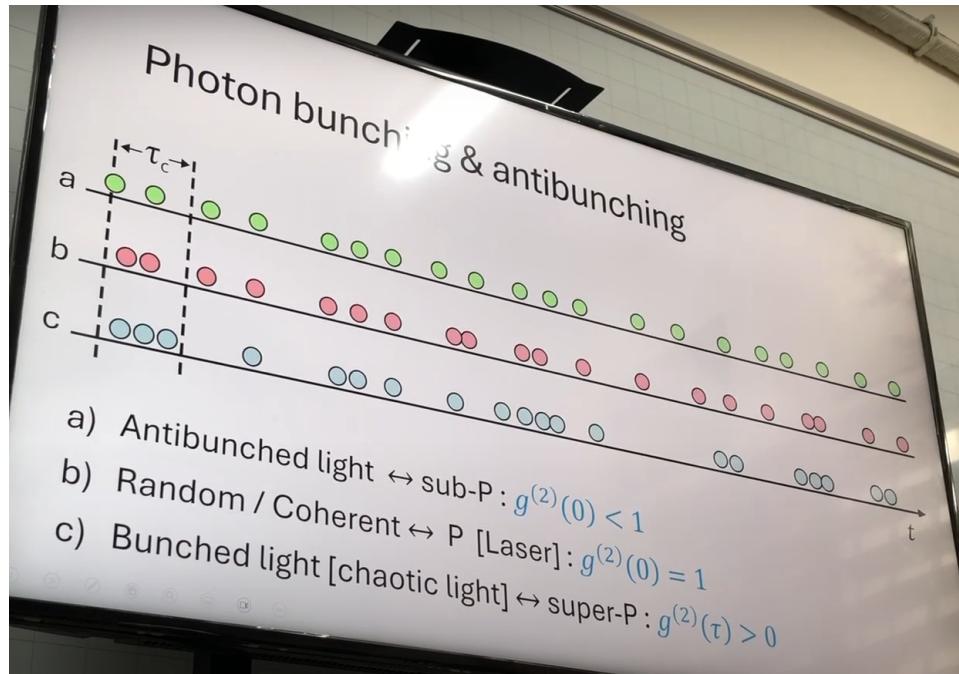


Hình 3:

Các biến cố đi ra khá đều, chờ đợi có được sub-P

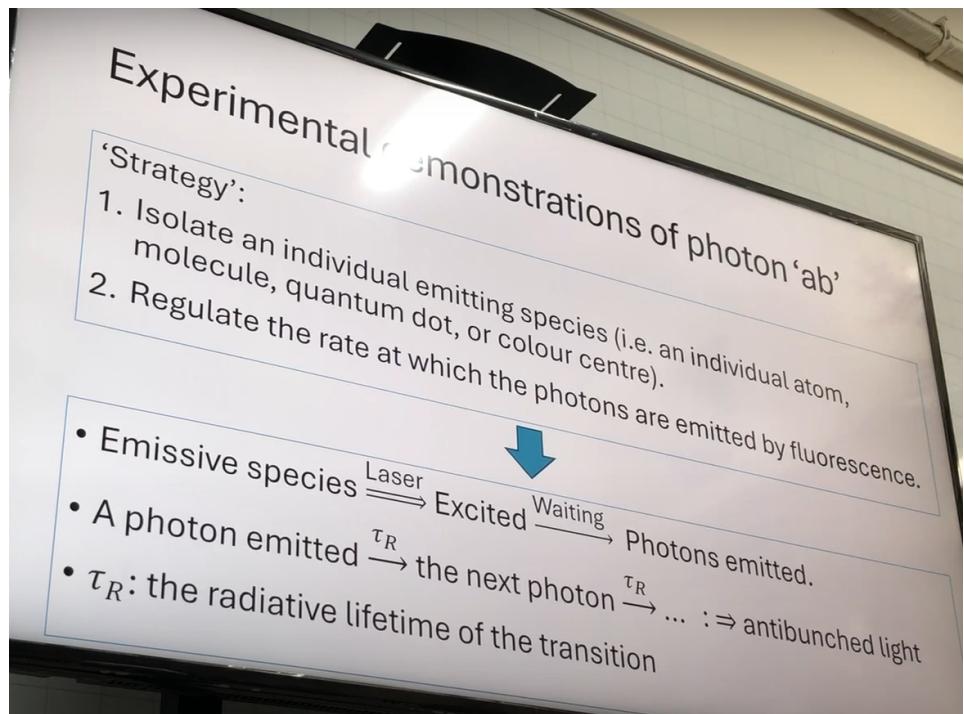
$$g^{(2)}(\tau) = \frac{\langle I(t)I(t+\tau) \rangle}{\langle I(t) \rangle \langle I(t+\tau) \rangle}$$

$$\rightarrow g^{(2)}(\tau) = \frac{\langle n_1(t)n_2(t+\tau) \rangle}{\langle n_1(t) \rangle \langle n_2(t+\tau) \rangle}$$

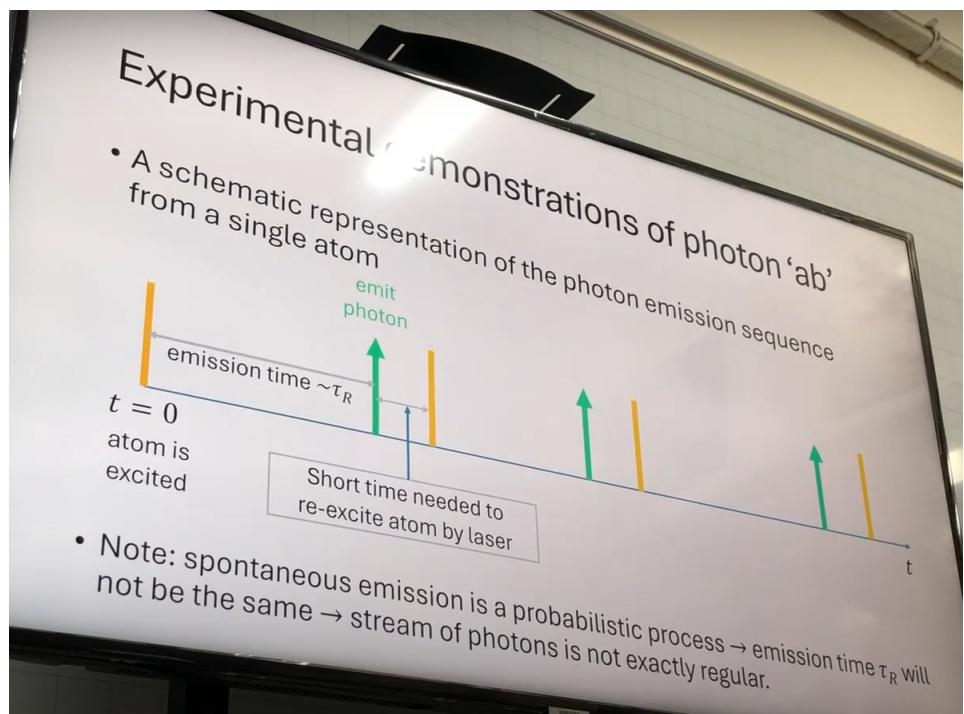


Hình 4:

Đầu tiên, người ta làm sao để có được chủng loại mang tính cá thể đơn lẻ và cho nó phát xạ ra \rightarrow sẽ có được rìa rạc. Sau đó chọn 1 mẫu vật phát xạ, kích thích lên xong rồi chờ (từ lúc kích thích lên

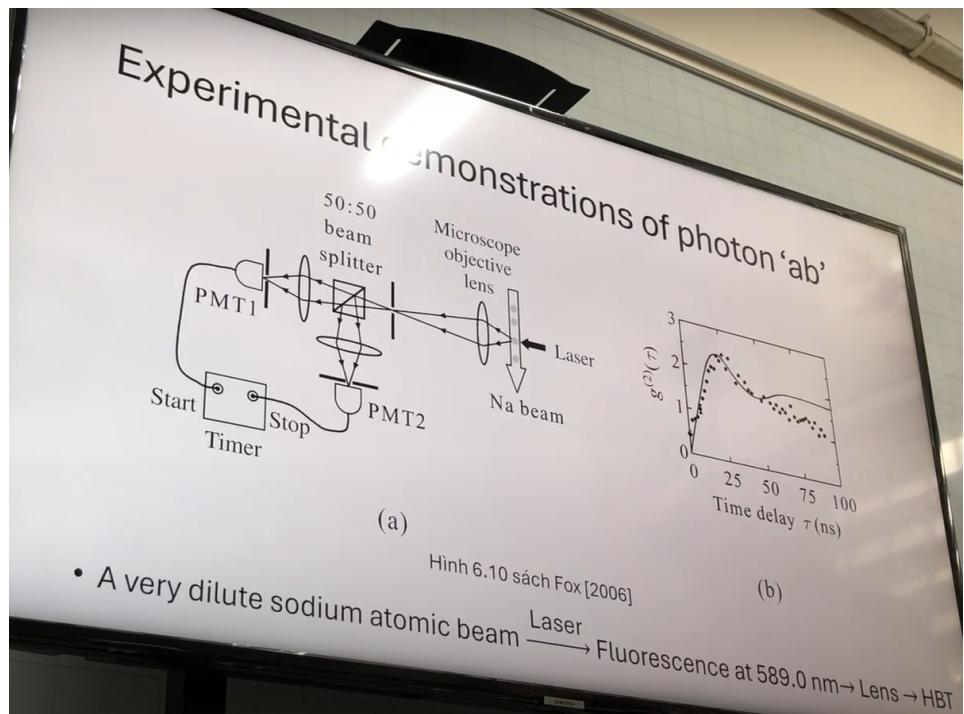


cho đến khi phát xạ ra cần có thời gian, (thời gian đó là bản chất của chất). Do có thời gian chờ nên photon phát xạ tuần tự → ta thu được antibunched light *trong SBE có T_2 là thời gian sống*. Ban đầu kích thích atom, sau đó đợi nó phát ra cần 1 thời gian cõ τ_R . Sau đó 1 khoảng thời gian

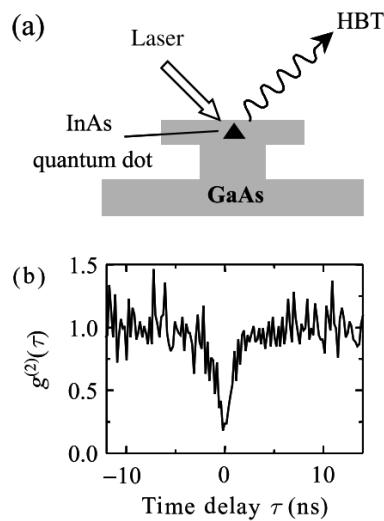


ngắn nга dùng laser cho atom tái kích thích rồi tương tự tiếp tục như vậy. Nó tuần tự nhưng không đều, đó là thực tế. Không đều là vì nó là phát xạ tự phát, có sai số, xác suất. Ta thu được sub-P

cho laser chiếu vào 1 chùm muối loãng (loãng để không cho quá nhiều photon ra cùng lúc). Sau đó cùng đi vào bộ HBT tạo tách và trộn,... Ta đo được ở thời gian đủ ngắn thì $g^2 < 1$



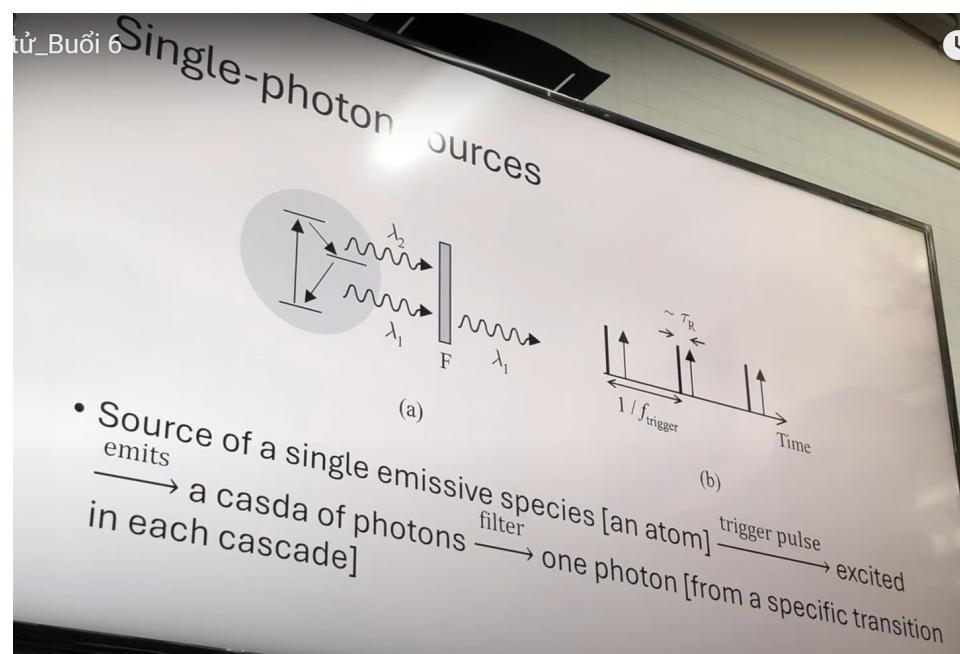
Thí nghiệm trên không hiệu quả, có cách chất lượng hơn là dùng bán dẫn, quantum dot.



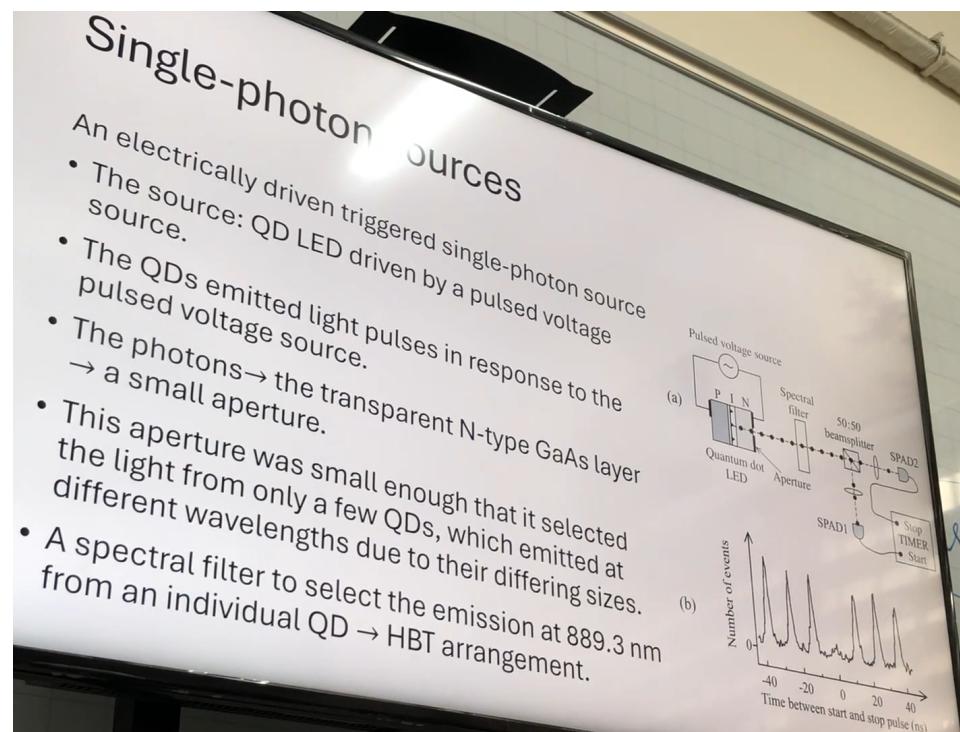
Với ý tưởng như trên, ngtia tạo ra nguồn single photon. Trước đây ngtia phải dùng electron để điều khiển photon ra.

Họ dùng 1 nguồn 1 atom (1 vài, atom rất nhỏ), dùng xung điện kích thích lên, phát xạ một đám photon có các bước sóng khác nhau, dùng lọc để ra được 1 photon, sẽ tạo được photon ra đều

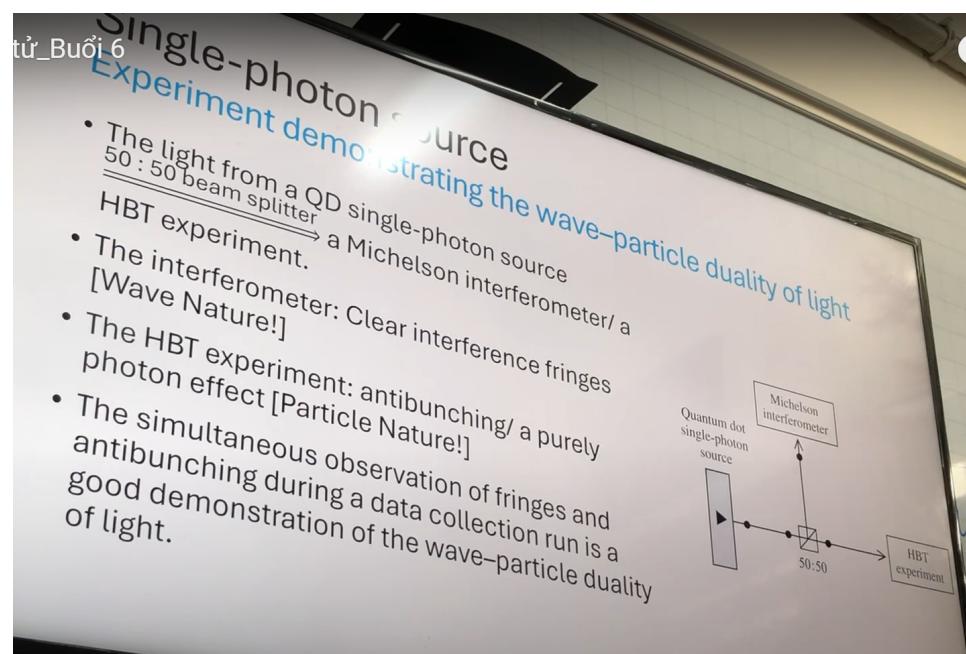
Dùng xung điện điều khiển trên bán dẫn, tạo được photon phát ra tuần tự khá đều. Nguồn là QD LED, sau đó là lọc,..... Tuần tự khá tốt



Hình 5:



Hình 6:



Hình 7: