

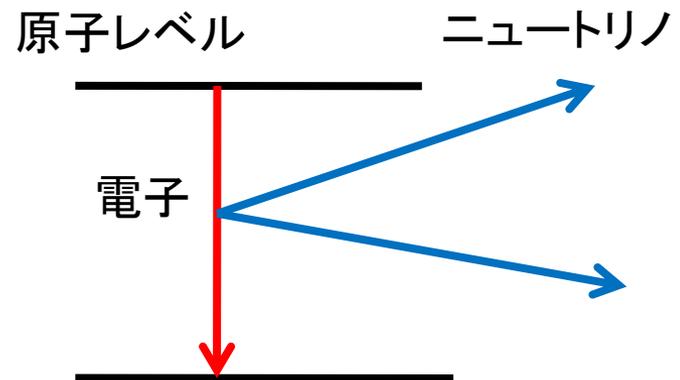
SPAN 紹介

笹尾、南條

岡山：吉村、中野、福見、中島

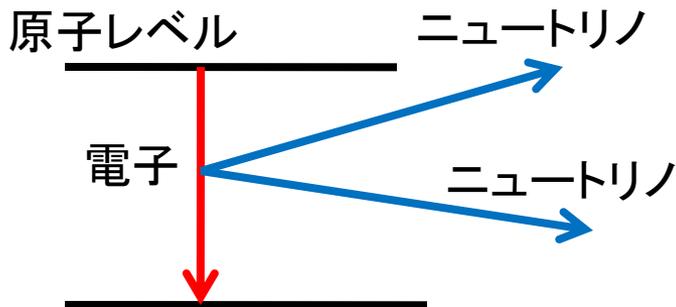
Atomic Neutrino

- 原子の励起状態からの電子遷移に伴い、ニュートリノ対が放出される。
 - これは原理的に可能。
 - ご利益は
 - Majorana か Dirac の判別
 - 絶対質量、混合角、CP-parameter
 - 問題
 - 弱い相互作用 $\propto Q^5$
 - Rate $\sim 10^{-34} \times (Q/\text{eV})^5$
 - 増幅機構が必要



Spectroscopy of Atomic Neutrino

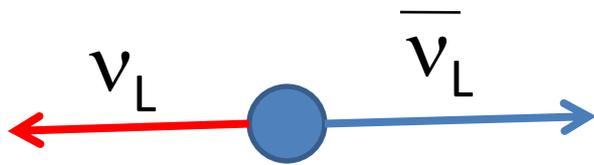
- Neutrino pair emission
 - Sensitive to Majorana or Dirac
 - 同種粒子効果を拾う
- Atom
 - Threshold behavior \rightarrow Absolute mass m_1, m_2, m_3
 - $2eV > \text{mass} \rightarrow 50\text{meV}, 10\text{meV}, \gg m_1?$
 - ν_e から $\nu_1, \nu_2, \nu_3 \leftarrow \rightarrow U_{ej} \rightarrow \theta_{12}, \theta_{13}, \delta$



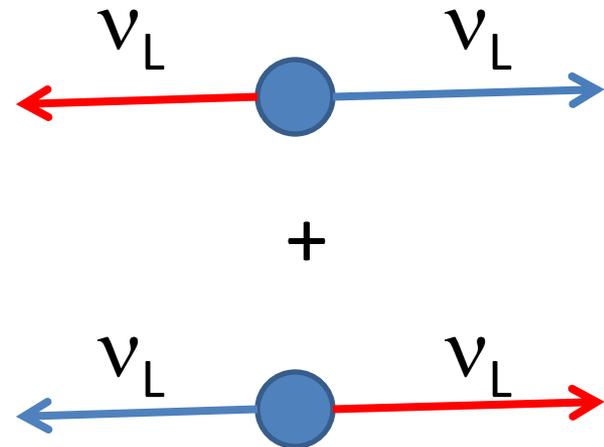
$Q > m_i + m_j$ で起こる

同種粒子効果

- 昔からある話 $\rightarrow \pi^0 \rightarrow \nu\nu$
 - MajoranaはDiracの時の2倍のレート
 - 干渉項がconstructive



ν_R の分も同様



m_ν^2 が掛かるので、非常に小さい
 $\sim 10^{-24}$ のBranch

(振幅で足して、2乗)/2!

同種粒子効果とは？

ニュートリノ対生成カレント

u は2成分スピノル

Dirac particle ($\nu \neq \bar{\nu}$)

$$j_D^\alpha(\vec{p}_1 h_1, \vec{p}_2 h_2) = -i \sqrt{\frac{E_1 + h_1 p_1}{E_1 - h_1 p_1}} u^\dagger(\vec{p}_2, -h_2) \sigma^\alpha \sigma_2 u^*(\vec{p}_1, h_1)$$

Majorana particle ($\nu = \bar{\nu}$)

同じ質量固有状態の $\nu_i \bar{\nu}_j$ は区別がつかない。
→反対称波動関数が現れる。

$$j_M^\alpha(\vec{p}_1 h_1, \vec{p}_2 h_2) = -i \sqrt{\frac{E_2 + h_2 p_2}{E_2 - h_2 p_2}} u^\dagger(\vec{p}_1, -h_1) \sigma^\alpha \sigma_2 u^*(\vec{p}_2, h_2) \\ + i \sqrt{\frac{E_1 + h_1 p_1}{E_1 - h_1 p_1}} u^\dagger(\vec{p}_2, -h_2) \sigma^\alpha \sigma_2 u^*(\vec{p}_1, h_1)$$

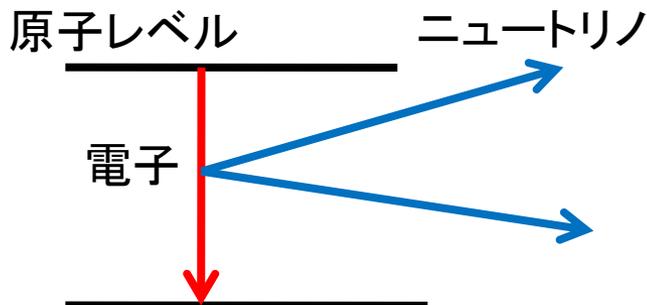
今回は？

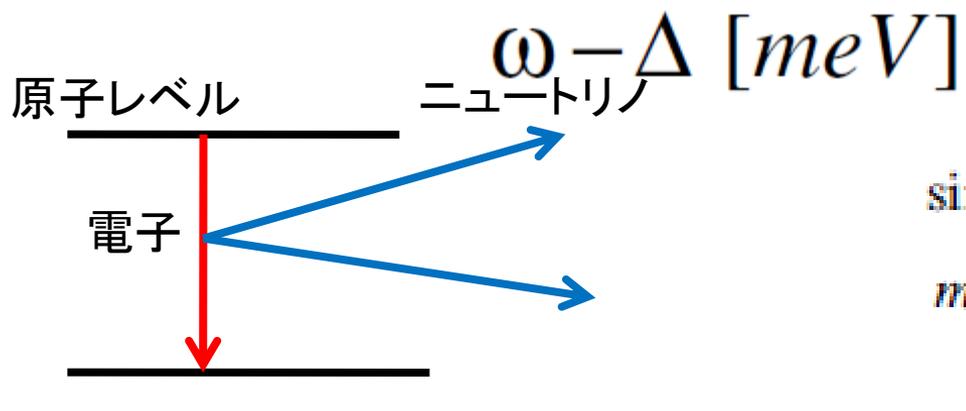
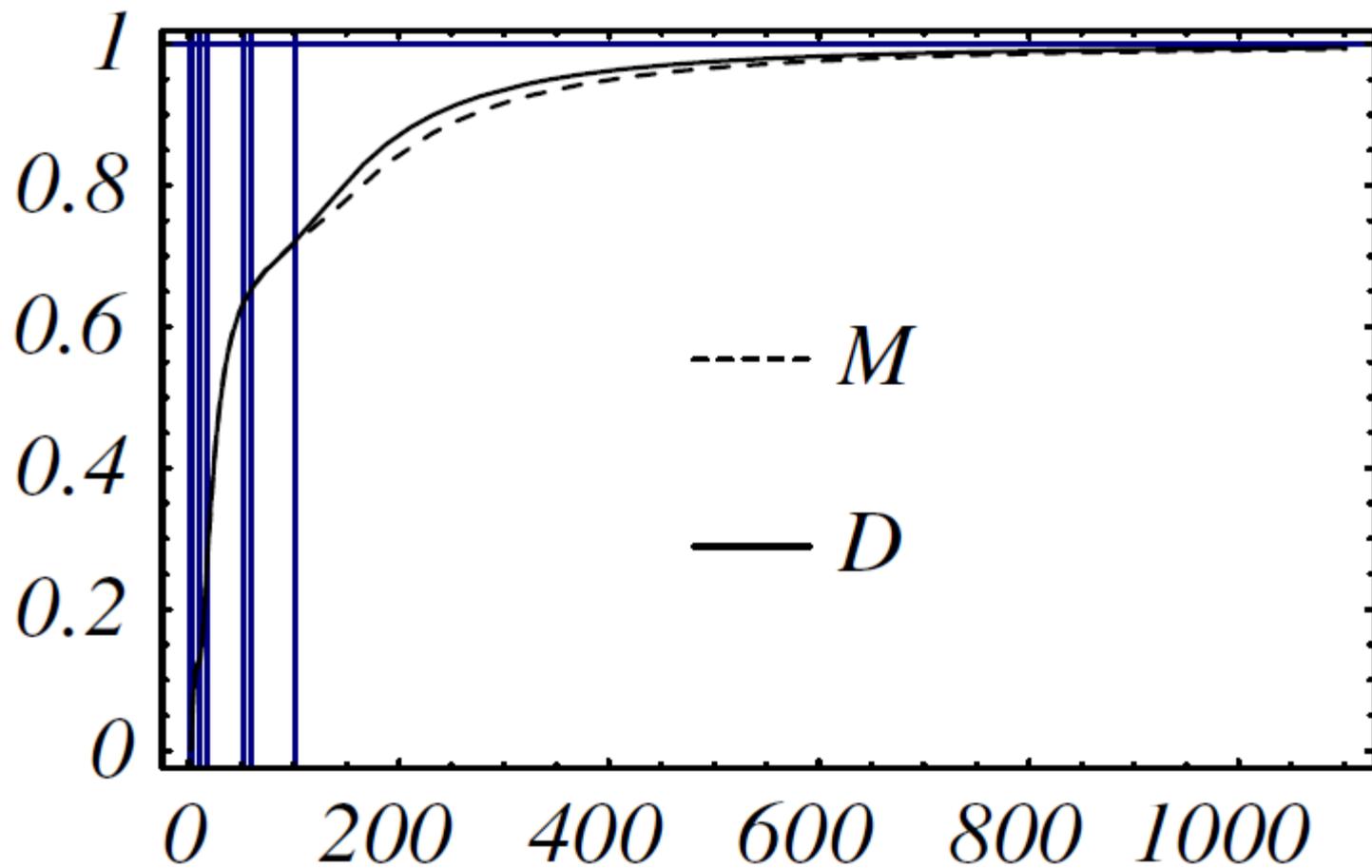
Majonara のレートは、Dirac のレート + 干渉項

$$\sum_{h_1, h_2} |j_M \cdot j_e|^2 = \sum_{h_1, h_2} |j_D \cdot j_e|^2 + \delta_{ij} \frac{m_i m_j}{2E_i E_j} (j_0^e (j_0^e)^\dagger - \mathbf{j}^e (\mathbf{j}^e)^\dagger)$$

同種粒子による干渉項

- 高エネルギーでは見えなくなってしまう。
- ニュートリノ質量と同レベルの原子を使う。
 - $K \rightarrow \pi \nu \nu$ 崩壊でもあった話だが、エネルギーが高すぎて見えない。



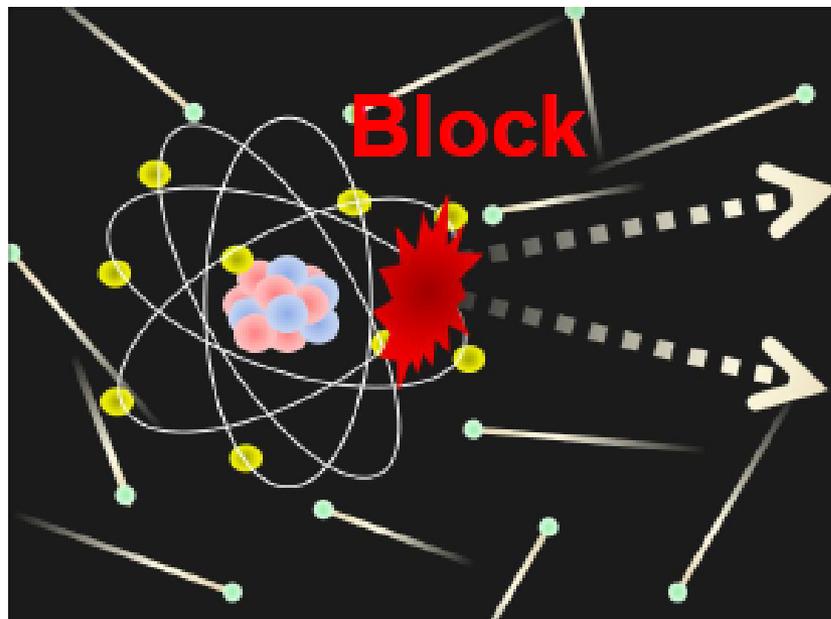


$$\sin^2 \theta_{12} = 0.35, \quad \sin^2 \theta_{13} = 0.032,$$

$$m_1 = 1.0 \text{ meV}, \quad m_2 = 9.0 \text{ meV},$$

$$m_3 = 50.8 \text{ meV},$$

3. パウリブロッキング効果



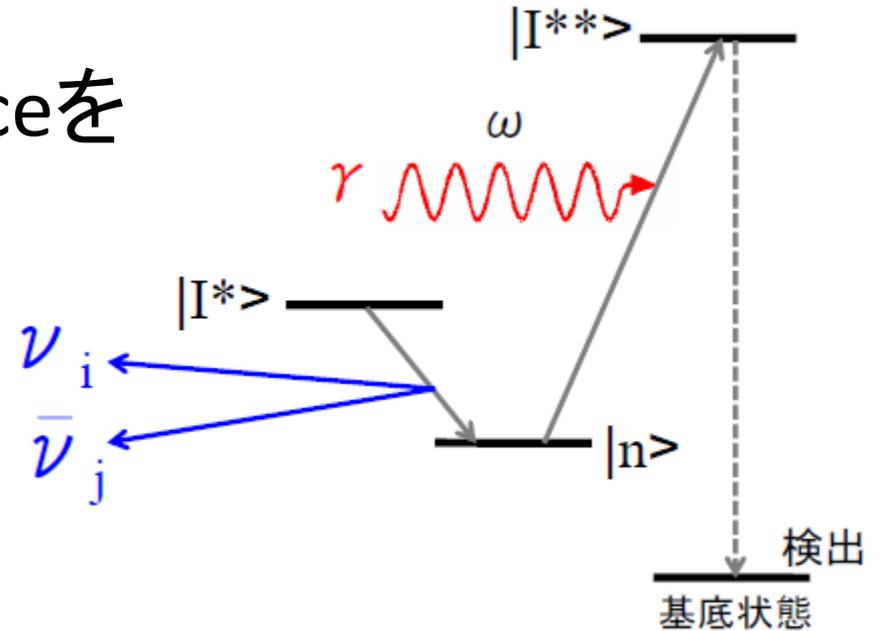
- パウリ排他律
- 宇宙背景ニュートリノの影響によるBlocking
- Pauli Blocking factor

$(1 - f_i)(1 - f_j)$ f_i は ν_i に対するフェルミ分布関数。

$$f_i = \frac{1}{\exp\left(\frac{1}{T_\nu} \sqrt{E^2 - m^2} + \left(\frac{m}{z_d + 1}\right)^2\right) + 1}$$

増幅機構 (resonance)

- 原子レベルのresonanceを laserで拾う
- 同時に励起させ、検出



$$\frac{1}{(E_* - E_n - E_i - E_j)^2 + \gamma^2/4}$$

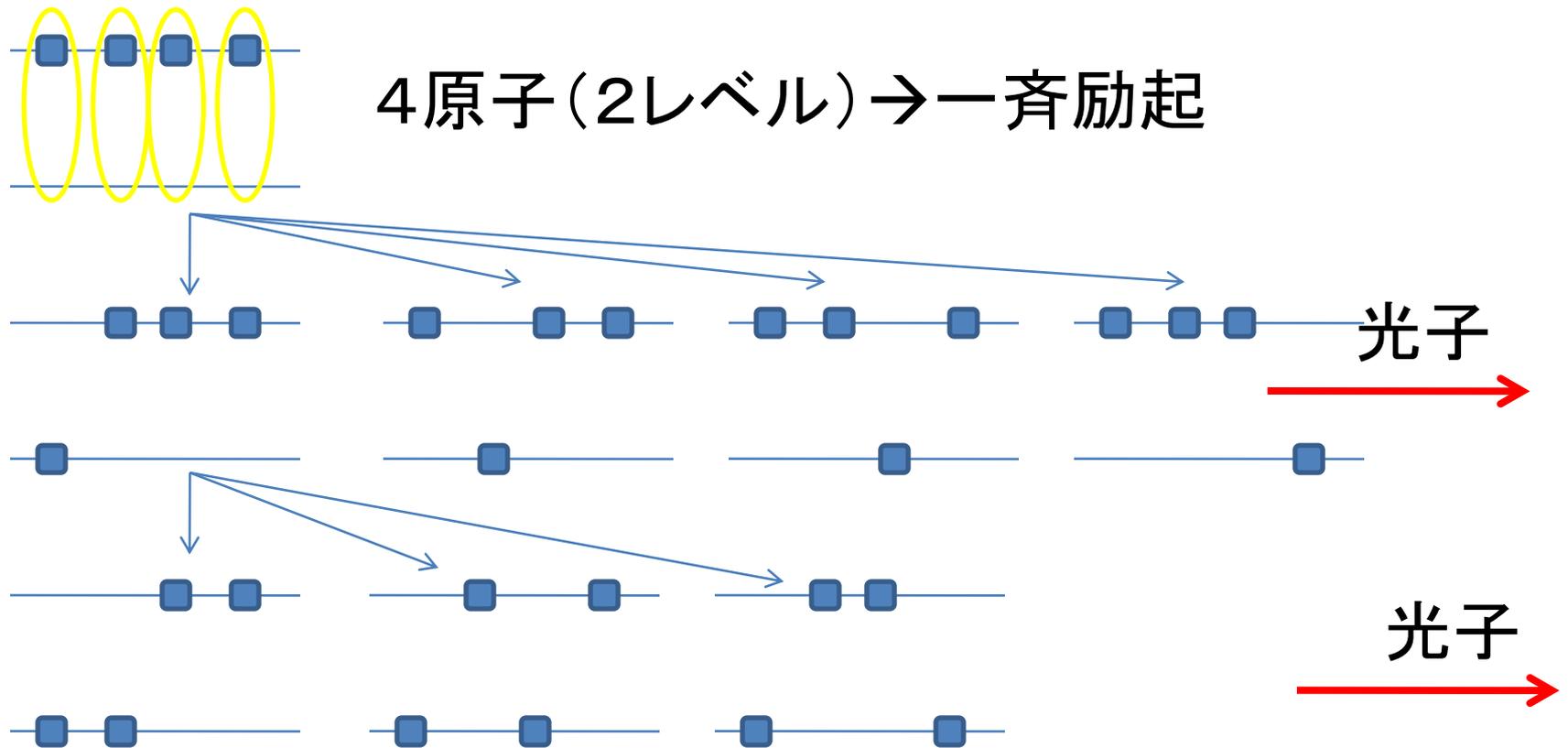
$$= \frac{1}{(E_{**} - E_n - \omega)^2 + \gamma^2/4},$$

$$E_* + \omega = E_{**} + E_i + E_j,$$

$$\sim 2 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1} \frac{1 \text{ s}^{-1}}{\gamma} \frac{\sigma}{\text{nm}^2} \left(\frac{E}{1 \text{ eV}} \right)^5$$

$$\times \left(10^{-9} \frac{\omega_0}{\Delta\omega} \right) \frac{P}{W \text{ mm}^{-2}}.$$

増幅機構(SuperRadicone)



光子を放出しながら、コヒーレンスが増大していく

Super radiance

- スピンの合成のアナロジーでよい

- $|2\rangle = |\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow\rangle$

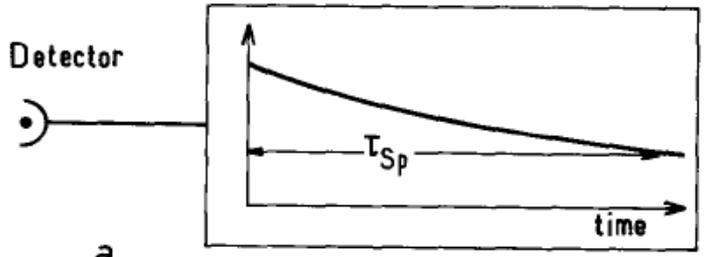
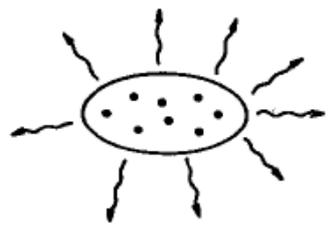
- $|0\rangle = \alpha |\uparrow\uparrow\downarrow\downarrow\rangle + \dots$

- N atom $|M\rangle$

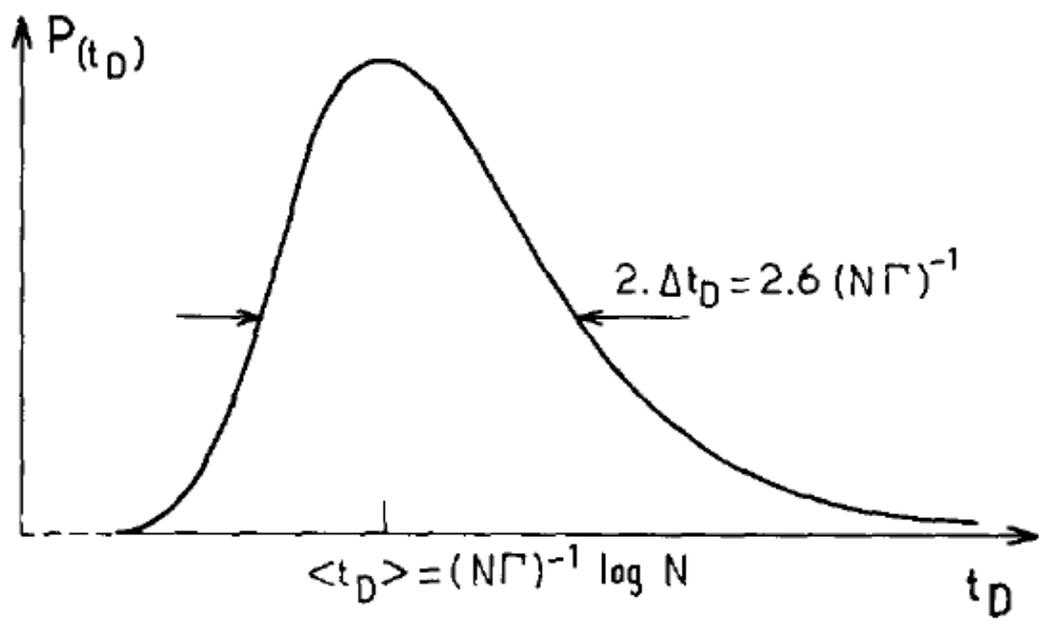
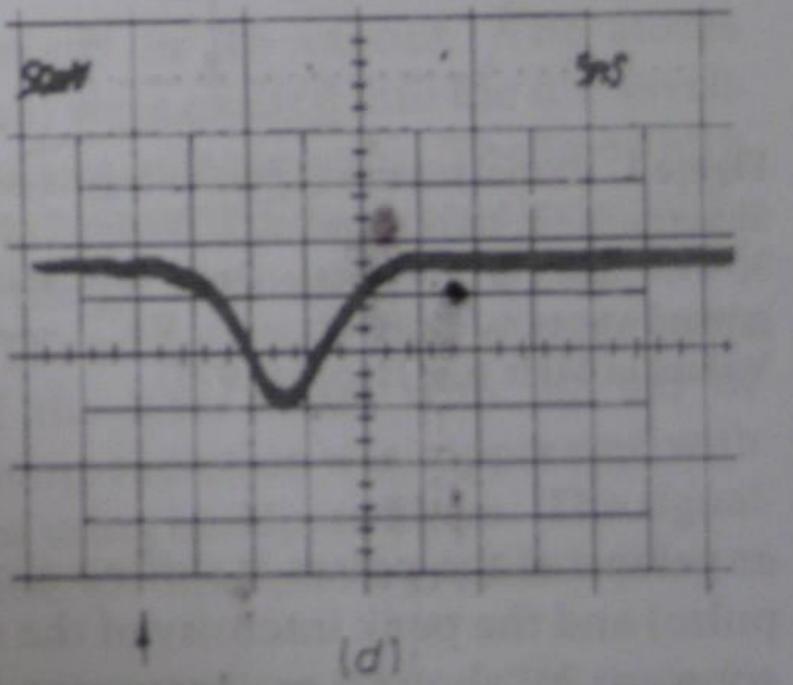
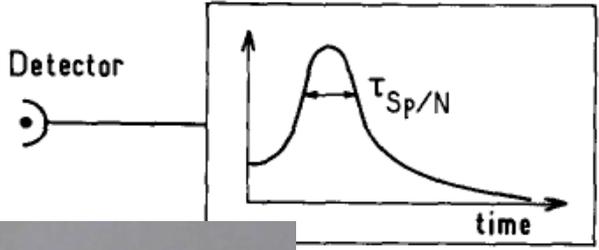
- rate (振幅の2乗) $\propto (N/2+M)(N/2-M+1)$

- $M=N/2 : N$

- $M=0 : N/2 * (N/2+1) \propto N^2$

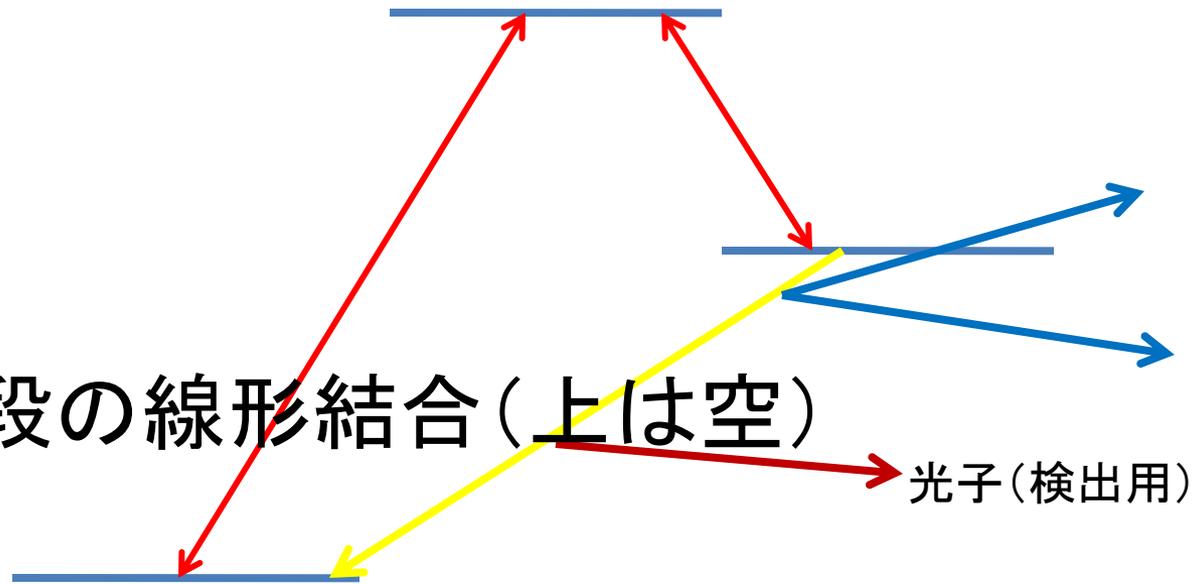


.a.



Dark State

- 最初から、Super Radianceにできないか？



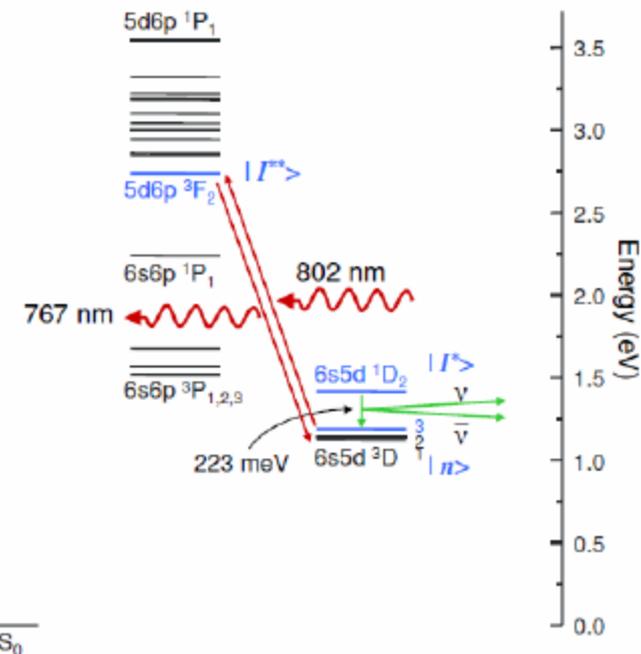
- 下2段の線形結合(上は空)

- N^2 のレートを維持し続ける？
- N を稼ぐ $\rightarrow 10^{10} \rightarrow 10^{20}$ のレート
 - 実はそれほど簡単ではない。

ターゲット

Elem.	E_n	$E_{I^*} - E_n$	$E_{I^{**}} - E_n$
Ne	16.619 eV	96 meV	614.5 nm
Ar	11.548 eV	175 meV	763.7 nm
Kr	9.915 eV	647 meV	760.4 nm
Xe	8.315 eV	1132 meV	823.4 nm
Ba	1.416 eV	223 meV	802 nm

Ba



実験

- レーザー共鳴 Rb
- ダークステート Rb
- Super radiance Rb
- レーザー製作 Ba

