

## 1P129

分子を使った分光実験によるニュートリノ質量パラメータ決定の試み：  
ヨウ素分子を使った場合についての理論計算による検討

(<sup>1</sup>分子研, <sup>2</sup>岡山大極限量子, <sup>3</sup>岡山大自然, <sup>4</sup>岡山大理)

○田代 基慶<sup>1</sup>, 江原 正博<sup>1</sup>, 久間晋<sup>2</sup>, 宮本 祐樹<sup>3</sup>, 笹尾 登<sup>2</sup>, 植竹 智<sup>4</sup>, 吉村太彦<sup>4</sup>

### Molecular iodine for neutrino mass spectroscopy

(<sup>1</sup>Institute for Molecular Science, <sup>2</sup>Research Core for Extreme Quantum World, Okayama Univ., <sup>3</sup>Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama Univ., <sup>4</sup>Center of Quantum Universe, Okayama Univ.)

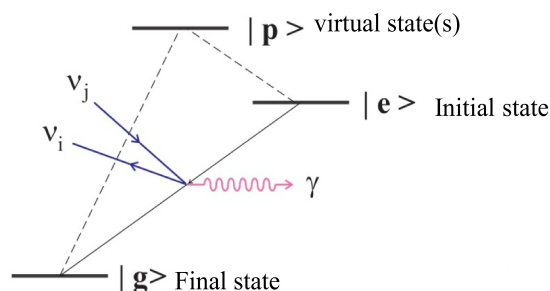
○Motomichi Tashiro<sup>1</sup>, Masahiro Ehara<sup>1</sup>,

Susumu Kuma<sup>2</sup>, Yuki Miyamoto<sup>3</sup>, Noboru Sasao<sup>2</sup>, Satoshi Uetake<sup>4</sup>, Motohiko Yoshimura<sup>4</sup>

この世界の物質は素粒子から構成されているが、その内訳として荷電レプトン(電子・ミューオンなど)、ニュートリノ、クォーク(陽子・中性子などハドロン構成要素)が知られている。他にも、これらの素粒子同士の相互作用を媒介するゲージ粒子として、光子・ウィークボゾン・グルーオンなどが存在する。これらの素粒子の質量や電荷、相互作用の様式などの基本的情報は、この世界の成り立ちや、初期から現在までの宇宙・銀河・恒星の進化などを理解する上で欠かせない知識であり、これまでの実験・理論的努力によって多くの事柄が明らかにされてきた。

ニュートリノは上で挙げた素粒子の1つであり、”弱い相互作用”のみを通じて他の物質と相互作用を行う。最近のニュートリノ振動実験などにより、ニュートリノは有限の質量を持つことが明らかにされたものの、未だ決定されていない基礎的なパラメータ(絶対質量、Dirac/Majoranaの区別など)が幾つか残されている。

最近、原子・分子を用いる精密分光実験でこれらのパラメータを決定できる可能性が議論されている(Fukumi et. al, Prog. Theor. Exp. Phys. 04D002 (2012)など)。基本的な原理は以下の図に示す通りであり、光子が1つとニュートリノ対が原子・分子の励起状態から放出される過程を利用する。今回我々は、I<sub>2</sub>分子をターゲットとした場合に得られる観測量を調べるため、電子状態計算・量子波束計算等を用いて理論的なスペクトルを計算した。また、類似の分子であるCl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>との比較も行い、スピン軌道相互作用の影響を調べた。



上記過程のamplitude

$$\mathcal{M} = G_F \vec{E} \cdot \left( \sum_p \frac{\langle g|\bar{d}|p\rangle\langle p|\bar{S}|e\rangle}{\epsilon_{pg} - \omega} + \sum_q \frac{\langle g|\bar{S}|q\rangle\langle q|\bar{d}|e\rangle}{\epsilon_{qg} - \omega} \right) \cdot \sum_{ij} a_{ij} \nu_j^\dagger \vec{\sigma} \nu_i,$$

$$a_{ij} = U_{ei}^* U_{ej} - \frac{1}{2} \delta_{ij},$$

ニュートリノ波動関数

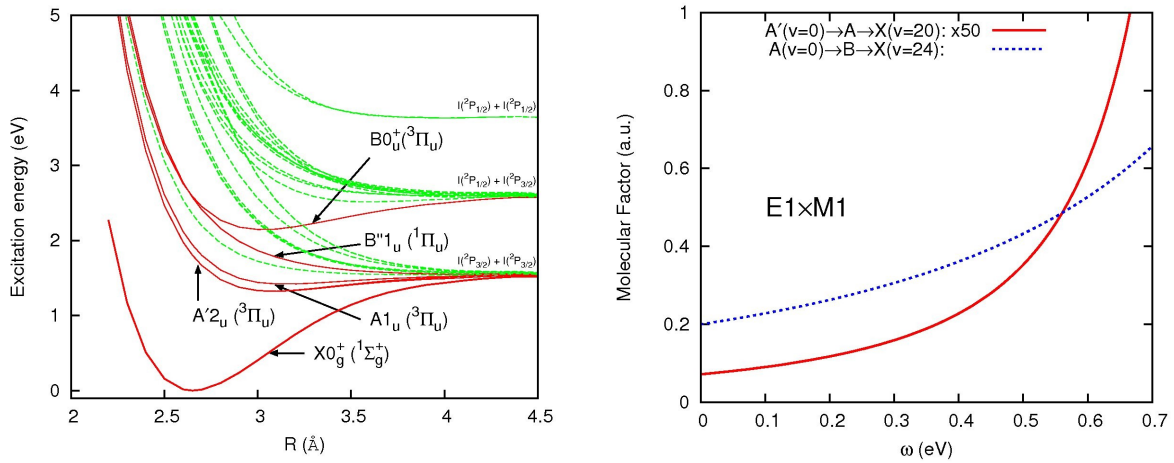


### 【手法】

CASPT2法を用いスピン軌道相互作用を考慮した上で、 $I_2$ の基底・励起電子状態を計算(下図参照)、電気双極子およびスピン演算子による遷移要素を求めた。光子・ニュートリノ放出過程としては(1)  $A' \rightarrow$  中間状態  $\rightarrow X$ , (2)  $A \rightarrow$  中間状態  $\rightarrow X$  の2通りの遷移の可能性を考え、双方について核間距離固定近似のもとで光子・ニュートリノ放出過程の強度を計算した。これらの結果をもとに寄与の大きい中間電子状態を1つ抜きだし、振動状態を考慮した計算も行った。

### 【結果】

計算に使用したポテンシャルエネルギー曲線は左図の様になっている。核間距離固定の計算から、(1)  $A' \rightarrow A \rightarrow X$  または (2)  $A \rightarrow B \rightarrow X$  という遷移が支配的な経路であることが判明した。これら(1)(2)の過程について、振動状態を含めて遷移強度(ニュートリノパラメータに依存しない部分)を計算した結果を右図に示す( $\omega$ は放出される光子のエネルギーに対応)。(1)の  $A'$  状態を始状態とする場合に比べて、(2)の  $A$  状態を始状態とする過程の方が50倍近く大きな強度を持っていることが分かる。これらの結果は将来的な実験でも  $A$  状態を始状態とする場合を想定することが望ましいことを示している。



以上で得られた結果に発光強度のニュートリノパラメータ依存部分を組み合わせ、発光スペクトルを計算した。下図に一例を示す(NH: normal mass hierarchy  $m_0 = m_1 < m_2 < m_3$ , IH: inverted mass hierarchy  $m_0 = m_3 < m_1 < m_2$ )。この結果は、閾付近での精密分光を行うことでニュートリノ質量に関する情報を得ることができる可能性を示している。

