

## 2B01

### ヨウ素分子の振動波束を用いた量子フーリエ変換実験

(分子研<sup>1</sup>, JST-CREST<sup>2</sup>, 総研大<sup>3</sup>, 東北大・院理<sup>4</sup>)

○穂坂 綱一<sup>1,2</sup>, 島田 紘行<sup>1,2</sup>, 千葉 寿<sup>1,2</sup>, 香月 浩之<sup>1,2,3</sup>, 寺西 慶哲<sup>2,4</sup>,  
大槻 幸義<sup>2,4</sup>, 大森 賢治<sup>1,2,3</sup>

#### [序]

我々は分子の振動固有状態に位相振幅情報を“書き込み”、そして“読み出す”ための基盤技術を開発してきた[1,2,3,4]。また、その応用例として、分子の振動波動関数の時間発展を用いた量子ゲート操作を提案している[5]。本講演では、その中からフーリエ変換に関する最近の実験結果に関して報告する。

#### [分子の内部自由度を用いた量子情報操作]

分子に短パルスレーザー光を照射して、電子励起状態に振動固有状態の重ね合わせ  $\sum a_i |i\rangle$  (振動波束) を発生させると、それぞれの固有状態の複素振幅  $a_i$  には、励起に用いた光パルスの位相振幅情報が転写される。従って、励起パルスを波形制御することで分子に任意の位相振幅情報を書き込むことが出来る。さらに、波束の時間発展を用いて量子ゲート操作を行うことも可能である[5]。操作結果は波束の時間発展[2,3]や波束ホログラフiever [6]によって読み出すことができる。Bucksbaum らは Cs 原子の Rydberg 状態の重ね合わせ (Rydberg 波束) に位相情報を入力し、その結果をホログラフ的に読み出すことに成功しているが、それはインターフェログラムの直接測定ではなく、共分散測定による相対相関決定であった[7]。これに対して本研究では、各固有状態のインターフェログラムを同時に直接測定することによって、固有状態間の位相関係を読み出し、ゲートの動作状況を確認した。

#### [波動関数の時間発展を用いた量子フーリエ変換]

本研究では、波束の時間発展を用いて量子フーリエ変換を実装した[5]。4状態の離散フーリエ変換は任意のベクトル  $\{f_k\}$  に対して式 1-a の行列で表され、対角化により対角行列と変換行列  $w$  の積の形に変換される(式 1-b)。ここで基底変換:  $M_j = w^{-1}F_j$ ,  $m_k = w^{-1}f_k$  を行うと、フーリエ変換 1-a は、各  $m_k$  のユニタリーな時間発展と見なすことが出来る(式 1-c)。式 1-c のような時間発展をする物理系として調和振動子が考えられる。調和振動子の各固有状態の相対位相関係は、隣接する状態のエネルギー差  $\Delta E$  に対して、 $T = h/\Delta E$  の周期で時間発展する。

$$F_j = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_k f_k \exp(i \frac{2\pi}{N} \times j \times k) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & i & -1 & -i \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -i & -1 & i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix} \quad 1-a$$

$$= w \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} w^{-1} \begin{pmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix} \quad 1-b$$

$$\begin{pmatrix} M_0 \\ M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \exp(0) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \exp(i \frac{2\pi}{4}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \exp(i \frac{2\pi}{4} \times 2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \exp(i \frac{2\pi}{4} \times 4) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_0 \\ m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix} \quad 1-c$$

本研究では調和振動子としてヨウ素分子の B 状態の振動固有状態  $v=34,35,36,38$  を用い、その係数ベクトル  $\{a_{v=34}, a_{v=35}, a_{v=36}, a_{v=38}\}$  の時間発展を利用した。1/4T の時間発展により、係数ベクトル  $\{a_i\}$  の相対位相は式 1-c のように変化する。これを用いるとフーリエ変換 1-a を実行することが出来る。

## 【実験と結果】

実験装置の概要を図 1 に示す[5,8]。マイケルソン干渉計の一方の光路にパルスシェーパーを導入し、振幅と位相を整形した光パルスと参照光パルスの位相ロック列を発生させる。整形光パルスを超音速ジェット中のヨウ素分子に照射することで、任意の入力状態  $\{a_{v=34}, a_{v=35}, a_{v=36}, a_{v=38}\}$  を書き込む。一定時間経過後に、参照光パルスを照射し、各固有状態のインターフェログラムを同時測定することによって位相振幅情報を読み出す。代表的な 4 つの始状態に対して、フーリエ変換が実行されたことを確認した。

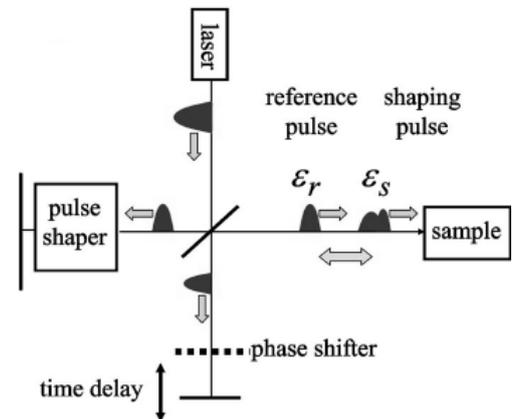


図 1 実験装置の概要図[5]

## 【参考文献】

- [1] K. Ohmori, Y. Sato, E. E. Nikitin, and S. A. Rice, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 243003 (2003).
- [2] K. Ohmori, H. Katsuki, H. Chiba *et. al.*, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 093002 (2006).
- [3] H. Katsuki, K. Hosaka, H. Chiba, and K. Ohmori, *Phys. Rev. A.* **76**, 013403 (2007)
- [4] H. Katsuki, H. Chiba, B. Girard, C. Meier, and K. Ohmori, *Science* **17**, 1589(2006)
- [5] Y. Teranishi, Y. Ohtsuki, K. Hosaka, H. Chiba, H. Katsuki, and K. Ohmori, *J. Chem. Phys.* **124**, 114110 (2006).
- [6] T. C. Weinacht, J. Ann, and P. H. Bucksbaum, *Phys. Rev. Lett.* **80**, 5508 (1998).
- [7] J. Ann, T. C. Weinacht, and P. H. Bucksbaum, *Science.* **287**, 463 (2000).
- [8] 千葉 他 本討論会 1P096