

近赤外・長波長ダブルパルスレーザーによる水素原子の多光子イオン化過程の変化
(JAEA) ○乙部智仁

強いレーザーの特徴の一つに、古典的な大強度電場の実現がある。800nmの短パルスレーザーを使用した実験では電場の効果はトンネルイオン化という現象で現れている。一方、最近では中赤外やThz領域の強いコヒーレント光の開発が進んでいる。このようなレーザー場は光子エネルギーが小さいために多光子イオン化が起こりにくく、電場の効果のみを物質に与えることが可能となる。このような強い電場にさらされた物質の光物性はこれまでの理解とは大きく変わることが予想される。

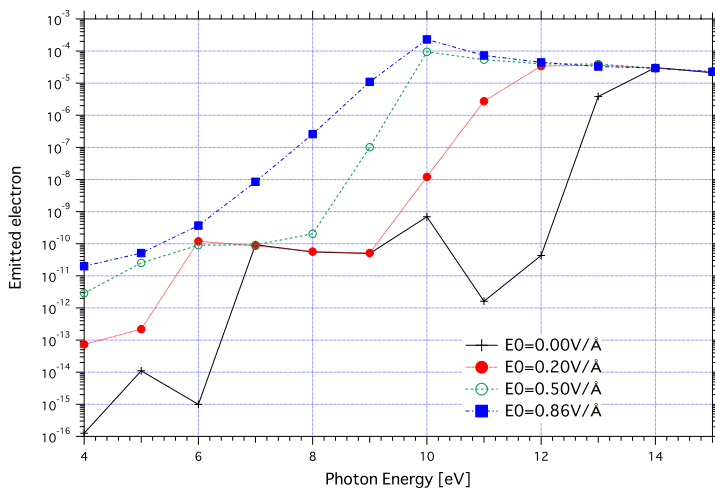
本研究では長波長レーザーに曝された原子分子及び固体の光励起特性を、時間依存シュレディンガー方程式

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V_0 + V_{ext} \right] \psi$$

を実時間実空間法を用いて数値実験を行った。 V_0 はクーロン場と平均場を含んだポテンシャル。 V_{ext} はレーザー場であり、

$$V_{ext}(\vec{r}, t) = \vec{r} \cdot (\hat{r}_0 E_0 \sin(\pi t/T)^2 + \hat{r}_1 E_1 \sin(\pi t/T)^2 \sin(\omega_1 t))$$

とした。1の添字は近赤外から紫外光までの高波長光を示し、0の添字は長波長光を示す。最初に、原子分子の基本的な物質として水素原子についてイオン化の計算を行った。図1

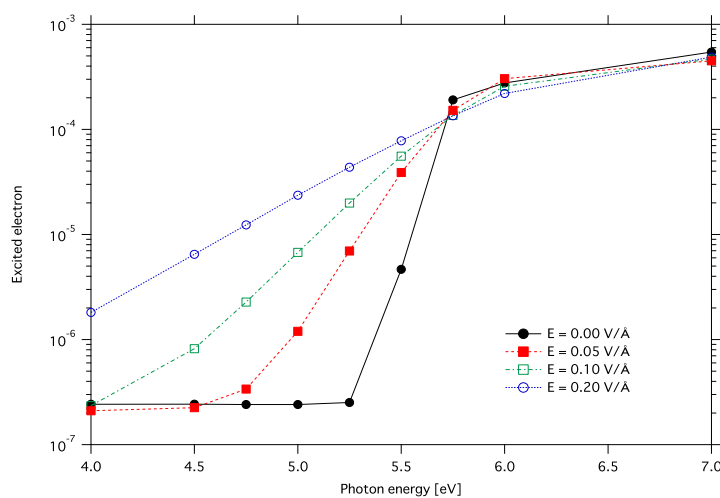


は水素原子のイオン化率の短波長光の振動数依存性を示した。短波長光の強度は非線形効果を無視できるように十分小さくし ($1 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$)、合成電場の影響を減らす為に長波長光と短波長光の偏光方向は直交するようにした。長波長光がない時は振動数が上がるに従ってステップ関数的にイオン化確率が増加している。電場をかけて行くに従ってイオ

ン化率の変化はなだらかになり、イオン化率の saturation が低い振動数で起こるようになる。

イオン化の saturation 位置が低下するのは電場によってポテンシャルバリアが形成されることで実効的にイオン化ポテンシャルが低くなったことを示している。一方、イオン化率の振動数依存性がなだらかになる現象は、基底状態のポテンシャルバリア内での電子の存在密度によって再現することができる事を発見した。これはポテンシャルバリア内の電子を短波長光で電場によってエネルギーが下がっている連続状態に励起している事に対応する。この結果は電子波動関数の漸近形を光によって観測できる可能性をしめしている。

次にダイヤモンドでの同様の計算を行った。図2に励起電子数の振動数依存性を示した。



水素原子の時のようなバンドギャップの低下は見られないがステップ関数的なイオン化率の低下が電場をかけることで指数関数的な変化に変わっている事が分かる。この効果は Franz-Keldysh 効果と呼ばれ、エネルギーギャップ中にしみ出した波動関数が離れた場所の励起状態へと遷移する過程である。注目すべき点は原子分子と結晶という違う性質をもった物質が同じ理由により光物性を変化させるということである。

講演では電子密度の空間分布との関連と多光子イオン化率の変化を中心にこれら現象について詳細を議論したい。