

# IR Laser Controlled Ionization of Helium by Attosecond XUV Radiation



全 曉民 (Xiao-Min Tong)

筑波大学計算科学センター



# 発表の流れ

---

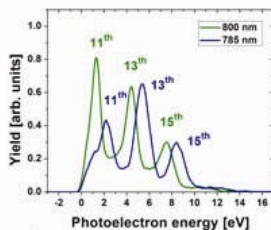
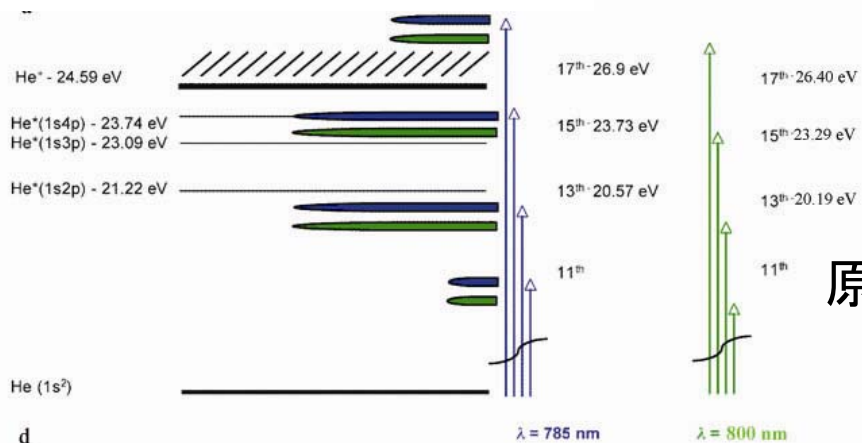
- 研究背景： 強レーザーによって、原子分子構造を解析と制御
- 物理過程： 紫外線のレーザーで、原子光電離過程の制御
- 計算方法： 時間依存のSchrodinger方程式を解く
- 計算結果：

電離過程と 原子構造及びXUV光源の関係を分かった  
IRとXUVのtime delayによって、電離過程の制御  
IRの強度によって、原子構造の制御ができる
- まとめ：

# 研究背景:

2006年 アメリカ科学院 2010の原子・分子光学の展望:  
AMO 2010: Controlling the Quantum World  
(量子世界の制御)

## 原子エネルギー構造



指紋

原子の指紋を改造したい



# 研究背景:

---

## 原子エネルギー構造制御の条件:

- (1) 強度: 電子と原子核の相互作用
- (2) 時間: 電子の運動時間

## IR レーザー:

- (1) 強度:  $10^{16}$  W/cm<sup>2</sup> (太陽表面光強度より 100億倍以上強い)
- (2) 時間: 1fs =  $10^{-15}$  秒 ( 数百ナノメートル )

**IRレーザーで原子エネルギー構造制御の可能である!**

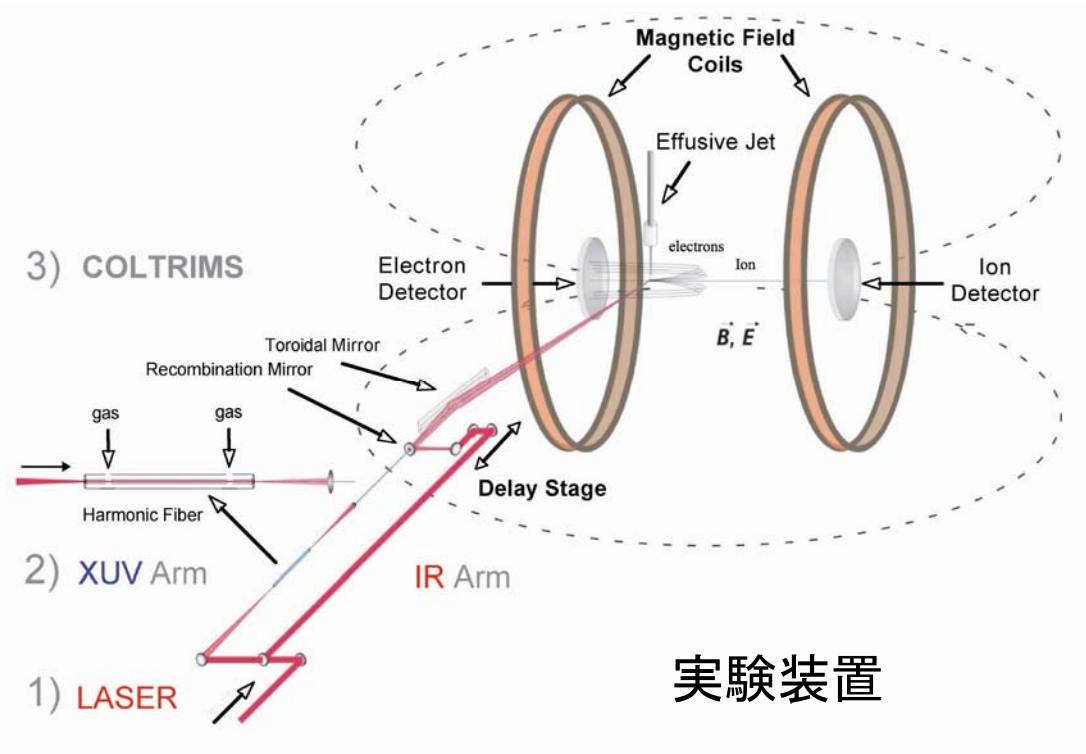
# 物理過程:

IR:  $\cos(\omega_0 t)$

1周期: 2.6 fs

— |e>

— |g>



制御効果を見える手法: アト秒レーザー  
電離信号は time-delay に依存することが分かった。

# 計算方法:

摂動論適用しないので、時間発展の方法しかない

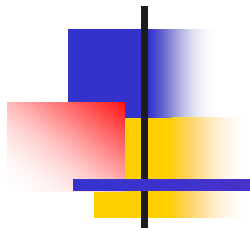
$$i\frac{\partial}{\partial t}\Phi(t) = H(t)\Phi(t) \quad \text{with } \Psi(-\infty) = \Phi_0$$



$$\Phi(t) = -i \int_{-\infty}^t e^{-i \int_{\tau}^t [H_0 + V_{in}(\tau')] d\tau'} V_{in} e^{-iE_0\tau} \Phi_0 d\tau + e^{-iE_0t} \Phi_0$$

$$V_{in}(t) = r \cdot E_x e^{-2 \ln 2 \frac{t^2}{\tau_x^2}} \cos(\omega_x t) \\ + r \cdot E_{IR} e^{-2 \ln 2 \frac{(t-t_d)^2}{\tau^2}} \cos(\omega_0(t-t_d))$$

X. M. Tong, S. Watahiki, K. Hino and N. Toshima, Phys. Rev. Lett. **99** (2007) 093001.



# 計算方法:

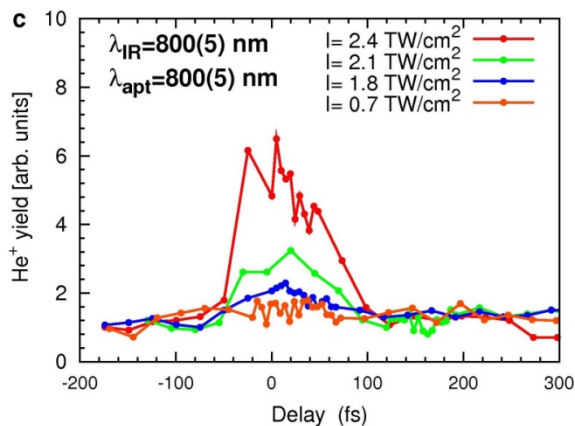
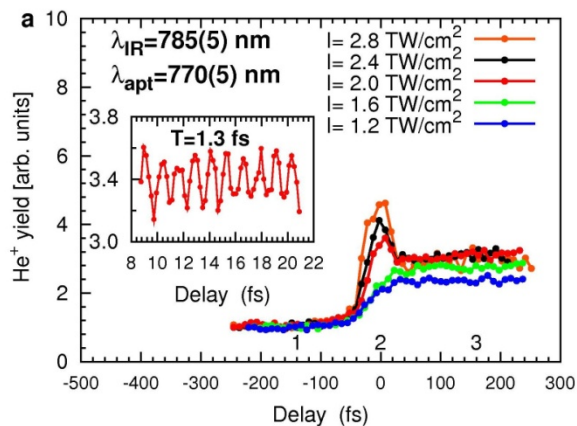
---

## 計算の特徴:

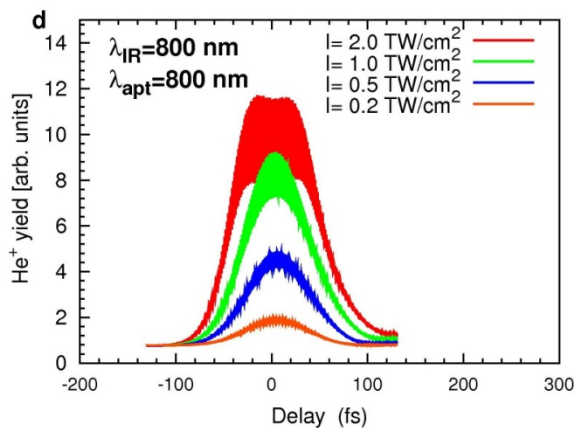
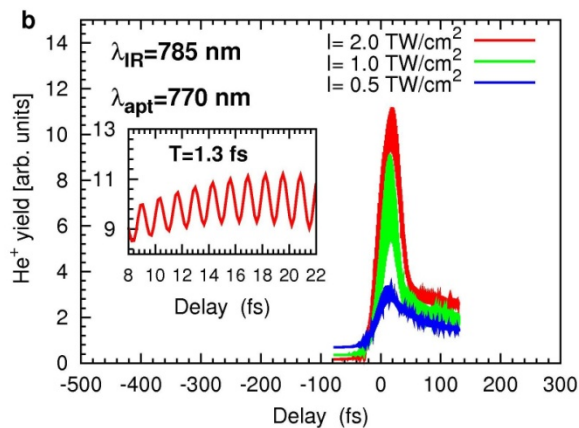
有限の範囲で数値計算で、電離の部分を解析で得る。「2」  
IRとXUV パルス一終わった後、全ての物理情報を得る。  
time-delay  $t_d$  と レーザー場のパラメーターを全て並列した。

「2」 X. M. Tong, K. Hino and N. Toshima, Phys. Rev. A **74** (2006) 031405(R).

# 計算結果： APTの波長の依存



実験



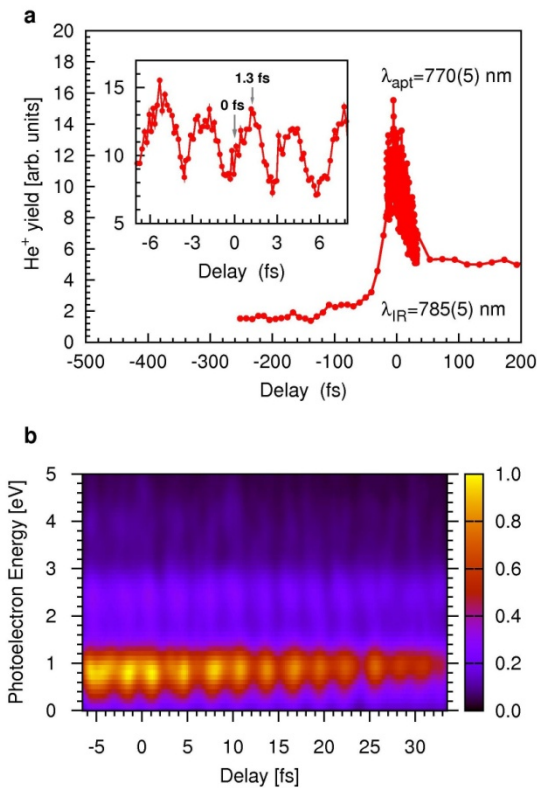
計算

三つの領域： APTより IR先に、後、同時に到着

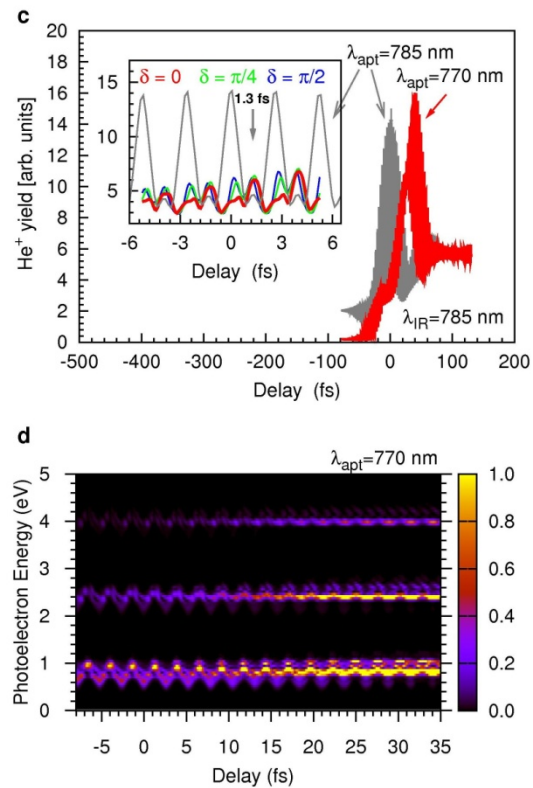


# 計算結果： 電子のエネルギー分布

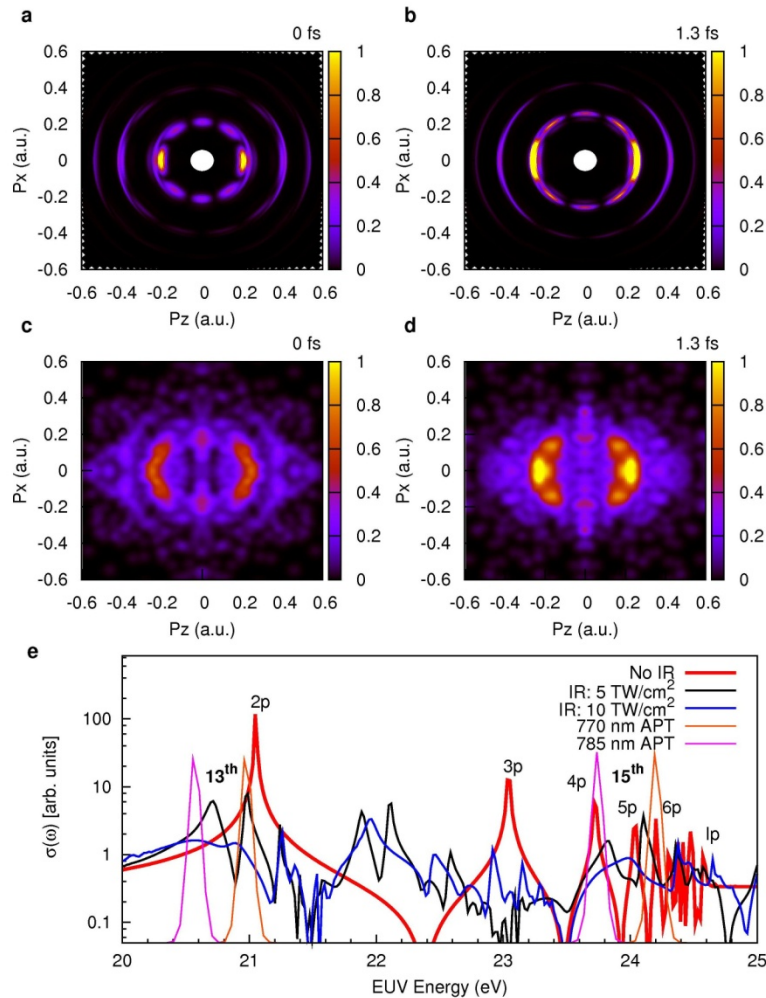
## 実験



## 計算



# 計算結果： 電子の運動量空間分布



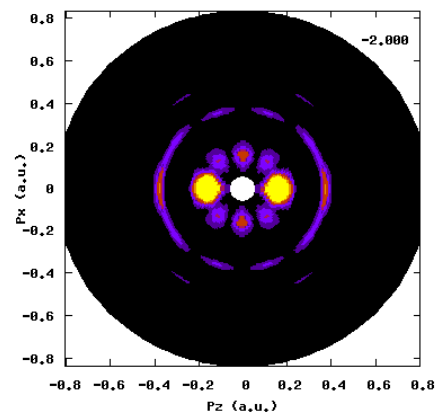
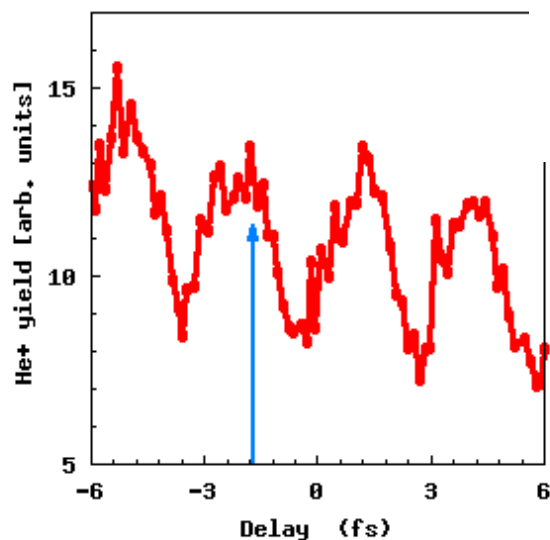
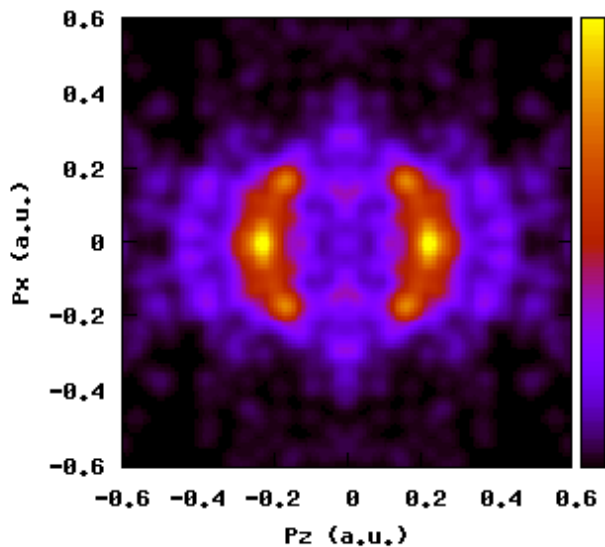
計算

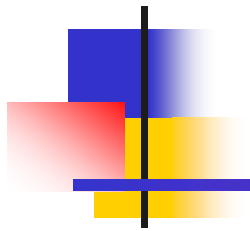
実験

IR強度によって、  
エネルギー構造の制御

# 計算結果： 電子の運動量空間分布

## Time-delay 依存性





# まとめ

---

- 大規模の数値計算によって、強レーザー場における原子電離過程を解明
- IR レーザーで原子電離過程の制御ルートを探す
- APT + IR 実験結果を解釈
- IR レーザーによって、原子エネルギー構造の制御方法を探す。
- IR レーザーによって、光吸収過程の制御方法を探す。