

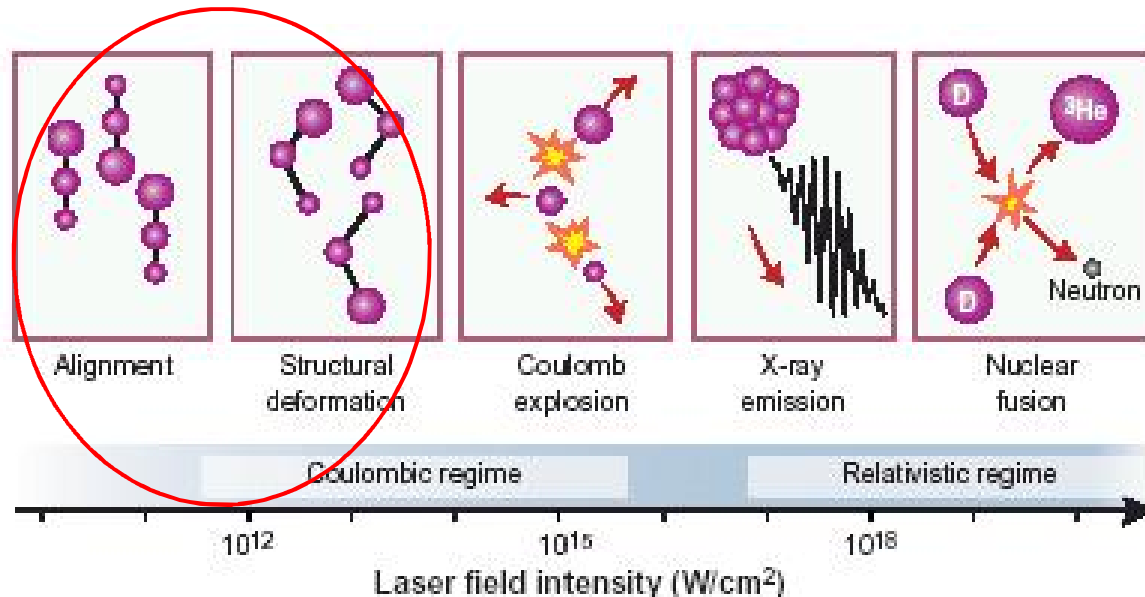
強レーザー場中原子分子の 放射光による観測の試み

高エネ機構 物構研 放射光

足立 純一

新しい対象：配列あるいは変形，着衣分子

- 新奇な対象：強レーザー場中にある原子分子
- 中程度のパワー密度： 10^{11} - 10^{12} W cm⁻²
 - 分子の配列あるいは変形
 - Coulomb 爆発が起こる領域よりも低いパワー密度



K. Yamanouchi, Science **295**, 1659 (2002).

実験 1: 強レーザー場中 CS_2 分子

- 強レーザー場中での分子

- 分子の断熱的配向

- 分子のドレスト状態における構造変形

- 参考文献

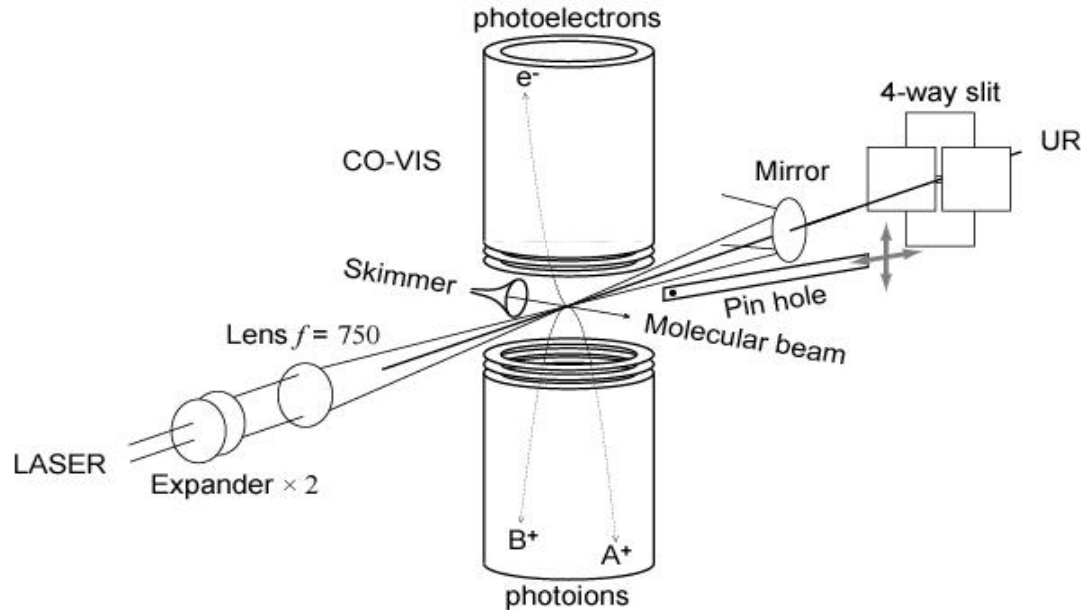
- [総説]: H. Stapelfeldt and T. Seideman, *Rev. Mod. Phys.* **75**, 543 (2003).

- [電子線回折]: 星名賢之助ら, *J. Chem. Phys.* **118**, 6211 (2003).

- [レーザー実験]: 岩崎純史ら, *Chem. Phys. Lett.* **346**, 379 (2001).

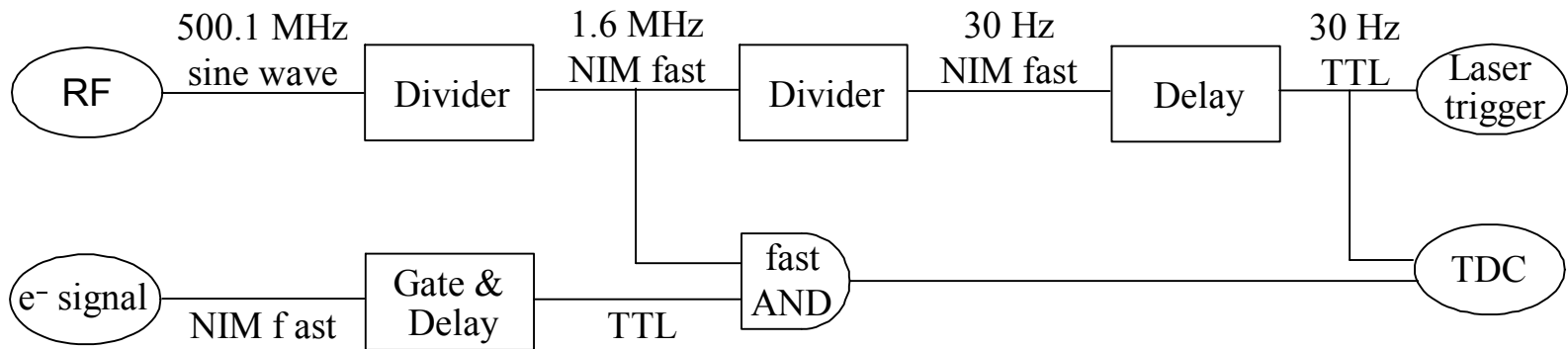
- これまでのところ有効なデータは得られていない

強レーザー場中分子の分光計測

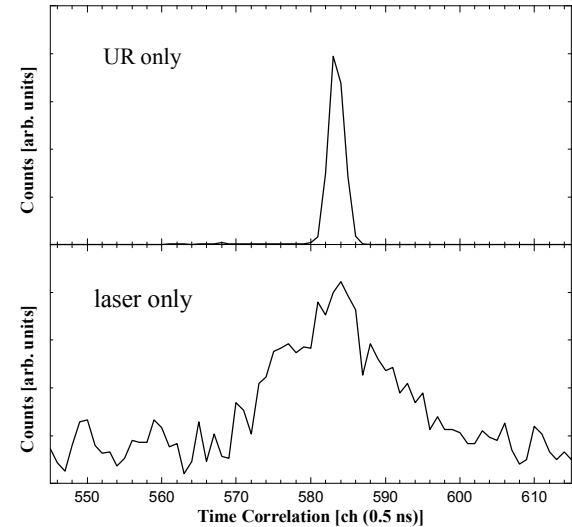


- 寺本高啓ら, *AIP Conf. Proc.* **879**, 1805 (2007). “SRI2006”
- ナノ秒パルスNd:YAGレーザー: 0.4~0.5 TW/cm²
 - 1064 nm, パルス幅 ~8 ns, 0.8~1 J/pulse × 30 Hz
 - ビーム広がりが < 0.5 mrad / 2 (エクスペンダー), $f = 750$ mm → 125 μm
- PF BL2C
 - 0次光 (アンジュレータから光を分光せずに使用)
 - 四象限スリットにてスポットサイズを限定

時間同期と実験条件

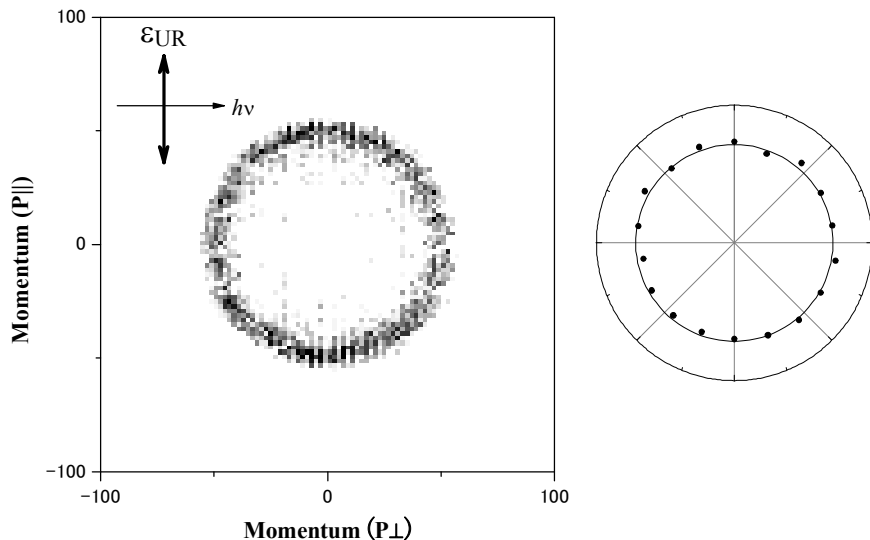


- 試料ガス
 - 10 % CS₂ in He
 - よどみ圧: 0.1 atm ~ 3 atm
- 全イオン収量 20000 cps ~ 50000 cps
 - 50k cps / 1.6 MHz ~ 0.03 counts/SR-pulse
 - 0.03 counts/SR-pulse × 30 Hz → 1 cps

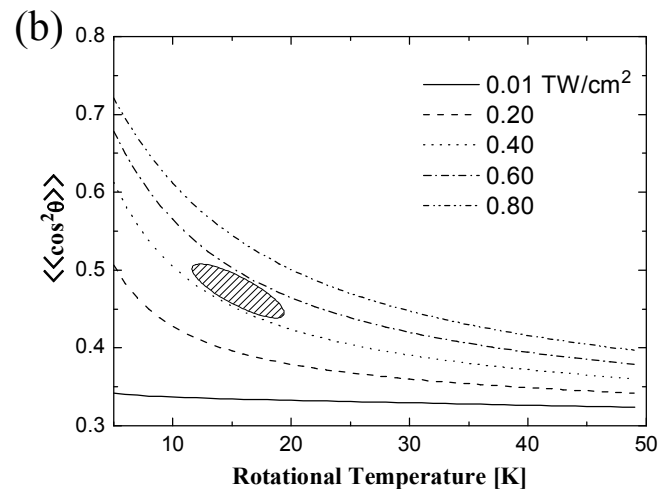
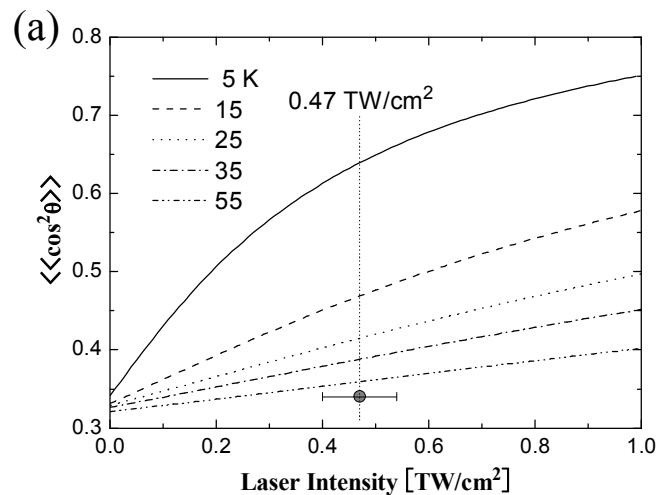
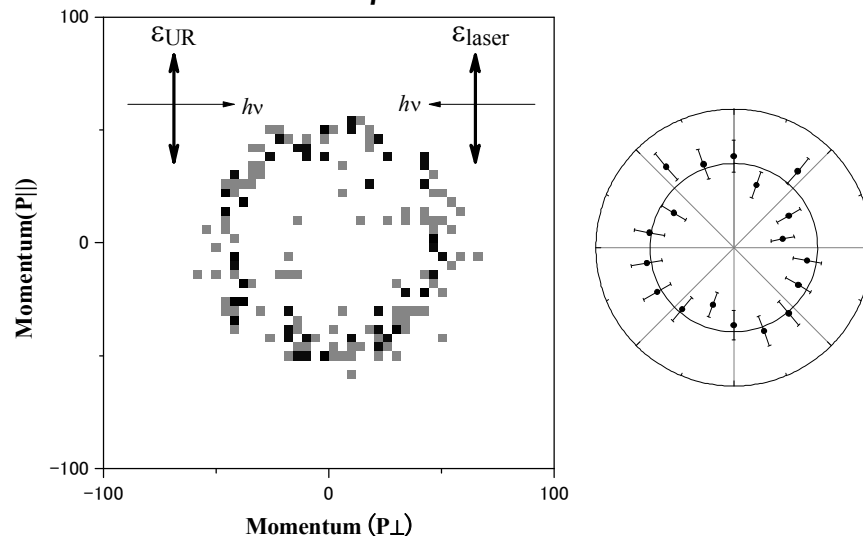


結果: レーザー光子場中 CS_2 分子からの 解離イオン角度分布

$$\beta = 0.00 \pm 0.015$$



$$\beta = 0.07 \pm 0.082$$



実験 2: 強レーザー場中原子の光電離

- 強レーザー場中原子の光電離
 - 基底状態での“着衣”
 - 連続状態の“着衣”
 - 参考文献
 - [理論]: A. Cionga *et al.*, *Phys. Rev. A* **47**, 1830 (1993).
 - [レーザー実験]: H.G. Muller *et al.*, *J. Phys.* **B 19**, L733 (1986).
 - これまでのところ有効なデータは得られていない

サイドバンド強度の評価 1

• 単純化

$$S^{(n)} = -\pi i (f_{\text{I}} + f_{\text{II}} + f_{\text{III}})$$

$$f_{\text{I}} = J_n(\lambda) \left\langle \phi_{c, \mathbf{k}_n}^{(-)} \left| \frac{1}{c} \mathbf{A}_{0X} \cdot \mathbf{P} \right| \phi_{1s} \right\rangle$$

$$\lambda = \alpha_0 \cdot \mathbf{k}_n \quad \frac{k_n^2}{2} = E_{1s} + \omega_X - n\omega_L$$

$$f_{\text{II}} = J_{n+1}(\lambda) \left\{ \frac{\omega_L}{2} \left[\left\langle \phi_{c, \mathbf{k}_n}^{(-)} \left| \alpha_0 \cdot \mathbf{P} G_c \left[\frac{k_n^2}{2} - \omega_L \right] \frac{1}{c} \mathbf{A}_{0X} \cdot \mathbf{P} \right| \phi_{1s} \right\rangle \right. \right.$$

$$\left. \left. + \left\langle \phi_{c, \mathbf{k}_n}^{(-)} \left| \frac{1}{c} \mathbf{A}_{0X} \cdot \mathbf{P} G_c (E_{1s} + \omega_L) \alpha_0 \cdot \mathbf{P} \right| \phi_{1s} \right\rangle \right] + \frac{\lambda}{2} \left\langle \phi_{c, \mathbf{k}_n}^{(-)} \left| \frac{1}{c} \mathbf{A}_{0X} \cdot \mathbf{P} \right| \phi_{1s} \right\rangle \right\}$$

$$f_{\text{III}} = J_{n-1}(\lambda) \left\{ \frac{\omega_L}{2} \left[\left\langle \phi_{c, \mathbf{k}_n}^{(-)} \left| \alpha_0 \cdot \mathbf{P} G_c \left[\frac{k_n^2}{2} + \omega_L \right] \frac{1}{c} \mathbf{A}_{0X} \cdot \mathbf{P} \right| \phi_{1s} \right\rangle \right. \right.$$

$$\left. \left. + \left\langle \phi_{c, \mathbf{k}_n} \left| \frac{1}{c} \mathbf{A}_{0X} \cdot \mathbf{P} G_c (E_{1s} - \omega_L) \alpha_0 \cdot \mathbf{P} \right| \phi_{1s} \right\rangle \right] - \frac{\lambda}{2} \left\langle \phi_{c, \mathbf{k}_n}^{(-)} \left| \frac{1}{c} \mathbf{A}_{0X} \cdot \mathbf{P} \right| \phi_{1s} \right\rangle \right\}$$

• 強レーザー場に現れる特徴的な値

- パワー密度 I_0 : 1 a.u. = $\varepsilon_0 c F_0^2 / 2 = 3.5 \times 10^{16} \text{ W cm}^{-2}$
- 電場強度 F_0 : 1 a.u. = $e / (4\pi\varepsilon_0 a_0^2) = 5.14 \times 10^9 \text{ V cm}^{-1}$
- 周波数 ω : 1 a.u. = $6.579 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$

サイドバンド強度の評価 2

- 単純化 $S^{(n)} = -\pi i (f_I + f_{II} + f_{III})$

$$f_I = J_n(\lambda) \left\langle \phi_{c, \mathbf{k}_n}^{(-)} \left| \frac{1}{c} \mathbf{A}_{0X} \cdot \mathbf{p} \right| \phi_{1s} \right\rangle$$

$$\lambda = \alpha_0 \cdot \mathbf{k}_n$$

$$\frac{k_n^2}{2} = E_{1s} + \omega_X - n\omega_L$$

- $|J_n(\lambda)/J_0(\lambda)|^2$ を評価すればよい？

– 0.5 TW cm⁻², 1064 nm

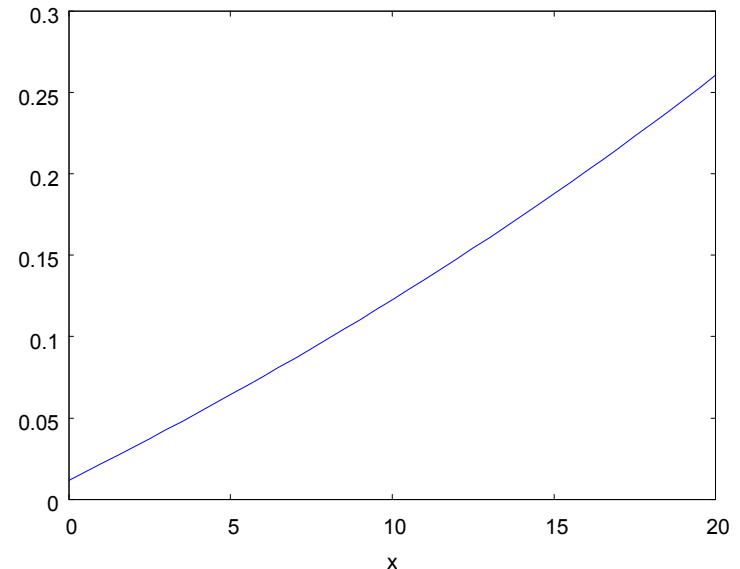
$$\Rightarrow |\alpha_0| \sim 0.522 \text{ a.u.}$$

– CO-VIS の分解能の制約:

$$k_0 \leq 10 \text{ eV}$$

– $KE = 7 \text{ eV}$

- メインピークの 8.7 %

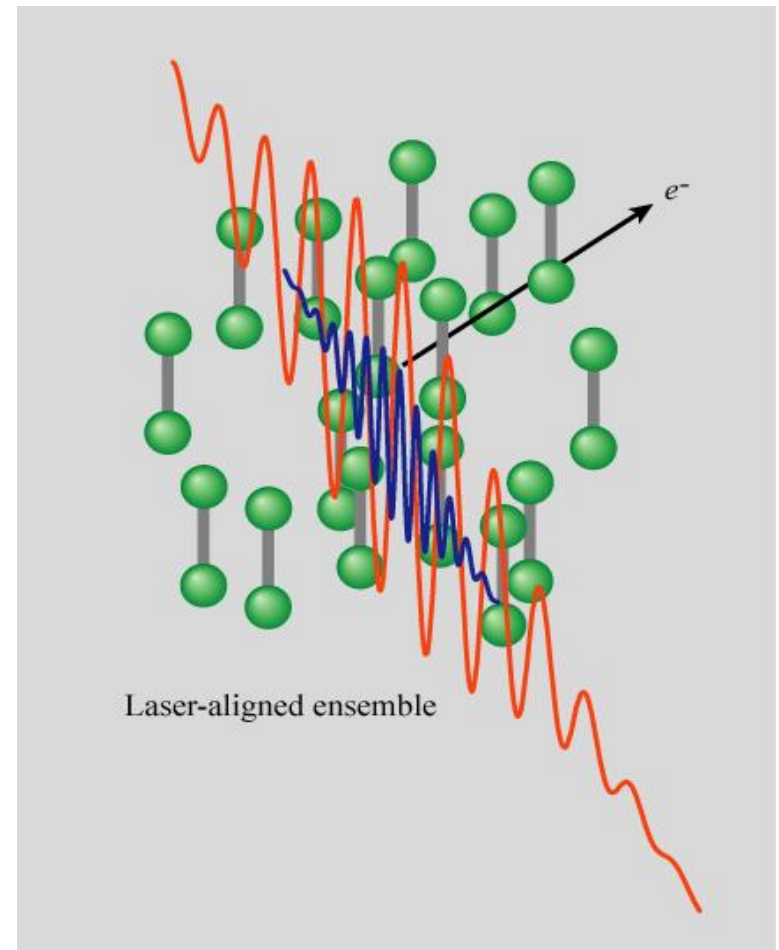


改善しなければならない点

- 1 パルスあたりの信号強度
 - 現状
 - 実験 1: 0.01 ~ 0.03 counts (活用できないイベント含む)
 - 実験 2 (Xe): ~ 0.02 counts (Auger ラインとの分離)
 - 実験 2 (He): < 0.01 counts
 - 改善法
 - 光チョッパーの導入
 - 分子線のパルス化
 - 排気系の増強
- その他の問題点
 - 放射光のスポットサイズ
 - 破損しない放射光スリット
 - 放射光の位置安定性
 - 100 μ m 程度の揺らぎ (BL28B)
 - より精度の高い重ね合わせ
 - アンプ付パワーメータの利用
 - 光学素子の破損防止
 - Multi mode 発振を抑止

レーザー配列させた分子からの 光電子角度分布測定

- 非解離性電離過程についての MFPAD 測定に適用?
- 非共鳴過程による分子配列
 - 断熱過程 (ns)
 - 非断熱過程 (sub ps)
 - ERL or FEL
- “着衣” 分子についての新しい情報が得られる可能性?



より高度な実験に向けて

- スポットサイズの適合性
 - 現状では
 - SR: $\geq 100 \mu\text{m}$
 - レーザー: 焦点距離に依存
 - SR スポットをより絞る必要
- パルス幅の適合性
 - 強いピークパワーのレーザー
 - Nd:YAG: 10 ns
 - Ti:Sapphire: 1ps–10fs
 - パルス幅の伸長が必要?
 - SR
 - 現世代リング ~ 100 ps
 - 次世代技術が必要

