

光渦と原子分子の相互作用研究へ向けた光電子イメージング装置の開発

金安達夫¹, 彦坂奏正², 吉村大介¹

¹九州シンクロトロン光研究センター, ²富山大

光渦とは螺旋状の波面を持ち軌道角運動量を運ぶ性質のある光である。可視から近赤外の波長域では光渦の生成はいくつかの手法が確立されており, その利用研究も様々な分野で盛んに行われている。近年, 円偏光アンジュレータ放射の高調波は光渦の性質を持つことが見出された。これにより既存の放射光施設において短波長域の光渦を利用した研究が可能になりつつある。我々は円偏光アンジュレータで生成される軟 X 線領域の光渦と原子分子の相互作用の解明を目的とした実験研究を開始した。

本研究では気相の原子分子を対象として光電子の角度分布測定と吸収スペクトル測定を行うために, 光電子イメージング装置(Velocity map imaging spectrometer)を開発した。イメージング装置は電子の捕集効率に優れる全立体角型の検出システムである。開発した装置では最大 30 eV 程度の光電子まで全立体角の捕集が可能である。試料ガスは漏れ出し分子線で供給される。イオン化点で生成された光電子は電場で捕集され, 二次元検出器(直径 40 mm)で光電子速度分布の投影像(光電子イメージ)を得る。光電子の角度分布は光電子イメージから画像解析によって求める。また, 光電子の収量を計数しつつ波長掃引を行えば全電子収量スペクトルの測定も可能である。発表では光電子イメージング装置の開発状況および円偏光アンジュレータ放射の高調波を用いた試験的な測定結果を報告する。

光渦と原子分子の相互作用研究へ向けた光電子イメージング装置の開発

金安達夫¹, 彦坂泰正², 吉村大介¹

¹九州シンクロトロン光研究センター, ²富山大

Introduction

自由空間を伝播する光ビームは近軸波動方程式の解でよく表される。円筒座標系の解であるラグール・ガウスモードの光は光渦とも呼ばれ、i)螺旋波面、ii)ドーナツ状のビーム形状、iii)螺旋波面に応じて光に軌道角運動量の性質が付与される、といった特徴を持つ。

近年、円偏光アンジュレータ放射の高調波に光渦の性質が見出された[1,2]。これにより既存の放射光施設で真空紫外からX線領域の光渦を用いた研究が可能となりつつある。我々は短波長域の光渦の可能性に着目し、光渦と原子分子の相互作用の解明を目的とした実験研究を開始した。

円偏光アンジュレータ放射による光渦の発生

n次高調波：一光子あたり(n-1)ħの軌道角運動量を持つ光渦

利点：光学素子による波面操作が困難な真空紫外からX線領域で波長可変の光渦を生成可能

研究目的

- 軟X線領域の光渦と原子分子の相互作用の解明
- 短波長域の光渦利用は未知数、新奇利用法の開拓へ貢献

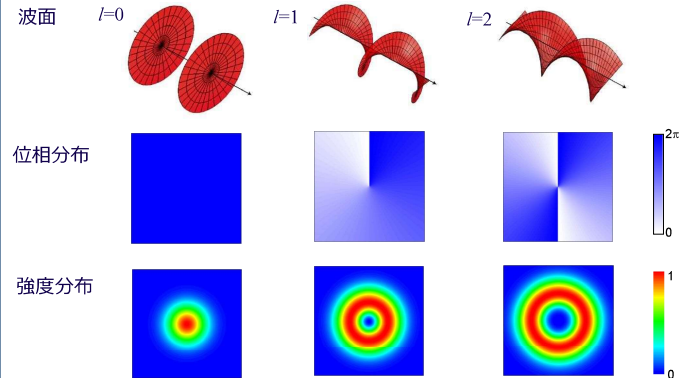
1. S. Sasaki and I. McNulty, Phys. Rev. Lett., **100**, 124801 (2008).
2. J. Bahrtdt et al., Phys. Rev. Lett., **111**, 034801 (2013).
3. A. Picon et al., New J. Phys. **12** (2010) 083053
4. C.T. Schmiegelow and F. schmidt-Kaler, Eur. Phys. J. D **66** (2012) 157

LG-mode Beam

空間特性

Vector Potential

$$A = A_0 \sqrt{\frac{2pl}{\pi(l+p)}} \frac{(\sqrt{2\rho})^{|l|}}{w(z)} H_l \left(\frac{2\rho^2}{w^2(z)} \right) \exp(i l \phi) \exp(ikz - i\omega t) \frac{w_0}{w(z)} \exp\left(\frac{-\rho^2}{w^2(z)} + \frac{ik\rho^2}{2R(z)} + i\Phi_s(z) \right)$$



光渦と原子の相互作用

- 渦の中心近傍で多重極遷移($\Delta l = l + 1$)が許容[3,4], 位相特異点から離れると双極子遷移が支配的と予測
- 渦の効果は波長スケール
- 波長より充分大きいビーム径, 空間的に広がった気相試料
→ 双極子遷移が支配的と予想

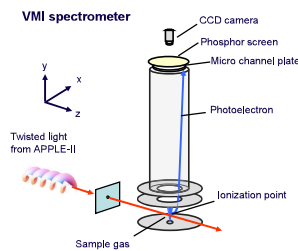
装置開発

SAGA-LS BL10における気相実験系の構築

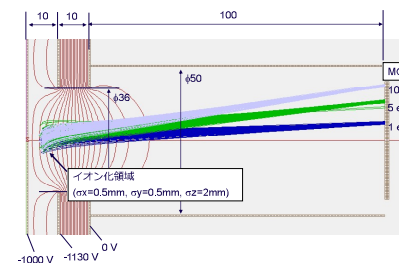
実験手法：光電子イメージング法による気相試料の光電子角度分布測定と吸収分光

光源：APPLE-II型アンジュレータ

光渦ビーム： $h\nu = 200-450$ eV, $l = 1-2$

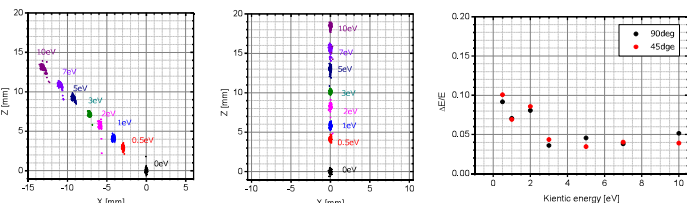


Velocity map imaging spectrometer



- 漏れ出し分子線を用いた簡便な実験配置
- 最大20 eV程度の光電子を全立体角で捕集

検出器上の到達位置とエネルギー分解能



実験結果

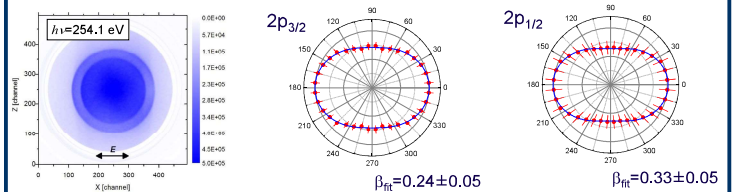
Ar光電子の角度分布測定

• 光ビーム径~1 mm, 平面波(直線偏光)と光渦(円偏光二次)イオン化を比較

水平直線偏光

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\sigma}{4\pi} [1 + \beta P_2(\cos\theta)]$$

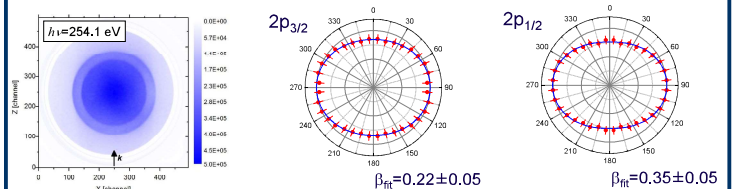
双極子近似角度分布



光渦(円偏光二次光)

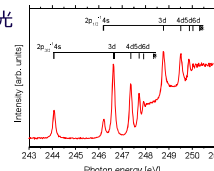
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\sigma}{4\pi} \left[1 - \frac{1}{2} \beta P_2(\cos\theta) \right]$$

双極子近似角度分布

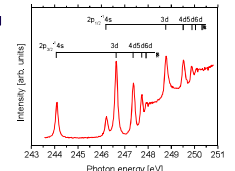


吸収スペクトルの比較

水平直線偏光



光渦



- 軟X線領域の光渦と原子分子の相互作用研究を目的としてVMIを開発
- 今回の実験条件では平面波と光渦イオン化に有意な差異は見られない
- 原子分子相互作用における光渦の効果の検証方法の検討を進める