

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 II

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

螺旋状の波面を持ち軌道角運動量を運ぶ性質を有する特異な状態の光は「光渦」と呼ばれている。近年、円偏光アンジュレータの高調波放射は光渦の性質を持つことが明らかとなった。円偏光アンジュレータを用いた光渦の発生法は、レーザー光源では生成が困難な真空紫外から X 線領域をカバーすることに加えて、高調波の次数と偏光方向を選択することで光の運ぶ軌道角運動量を容易に制御できる優れた特徴を有する。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進めている。光渦と原子系の相互作用では、光の位相が急激に変化する狭い空間領域で特異な電子遷移が顕在化するなど興味深い現象も観測されており、近年、実験研究が盛んになりつつある。

実験は SAGA-LS の軟 X 線ビームライン BL10 で行っている。光源は APPLE-II 型の可変偏光アンジュレータである。円偏光放射の二次、三次高調波(軌道角運動量 lh ($l=1,2$)の光渦)では 200-450 eV のエネルギー領域を利用できるため、希ガス原子や軽元素からなる分子の内殻電子励起・イオン化が主な観測対象となる。

本研究では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を開発した。本装置を用いて最大 30 eV 程度までの光電子が全立体角で捕集可能である。光電子の角度分布は二次元の光電子イメージを画像解析することで得られる。また光電子イメージング装置の上流には可動式のピンホールが取り付けられており、光渦ビームの中心付近を数十 μm の空間スケールで切り出すことが可能である。発表では開発した装置の動作状況に加え、Ar2p 光電子の角度分布測定および吸収スペクトル測定を報告する。

軟X線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 II

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

光渦とは螺旋波面をもち軌道角運動量を運ぶ性質を有する光である。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[1,2,3]。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進めている。

研究目的

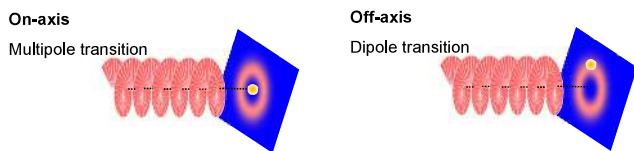
- 軟X線領域の光渦と原子分子の相互作用の解明
- 短波長域の光渦利用は未知数、新奇利用法の開拓へ貢献

研究手法

- 気相試料の光電子角度分布測定と吸収分光
- VUV領域は分子研UVSOR[4,5], 軟X線領域はSAGA-LSで実験

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, 位相特異点から離れると双極子遷移が支配的



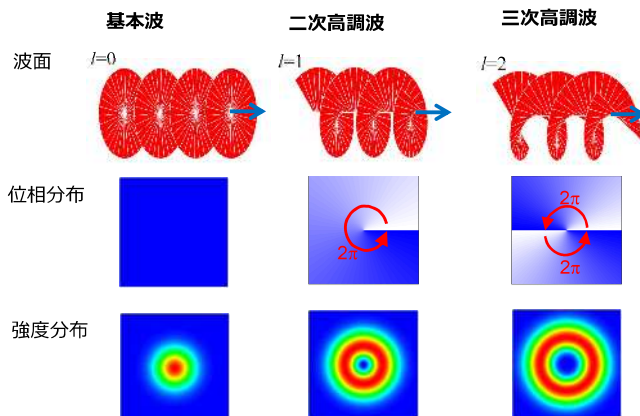
光渦の生成

円偏光アンジュレータの高調波

n次高調波: 一光子あたり(n-1) $\hbar$ 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

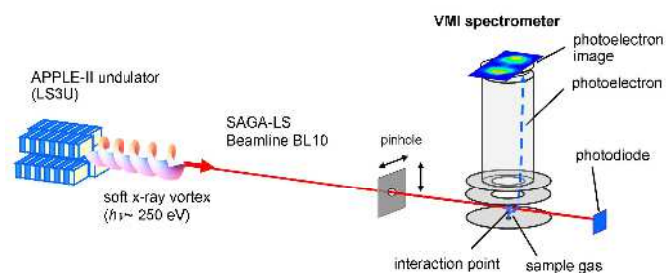
空間特性



1. S. Sasaki and I. McNulty, Phys. Rev. Lett., **100**, 124801 (2008).
2. J. Bahr et al., Phys. Rev. Lett., **111**, 034801 (2013).
3. A. Picon et al., New J. Phys. **12** (2010) 083053
4. T. Kaneyasu et al., Phys. Rev. A, **95**, 023413 (2017).
5. T. Kaneyasu et al., Journal of Synchrotron Radiation **24**, 934 (2017)

実験結果

Gas-phase experiment @ SAGA-LS BL10



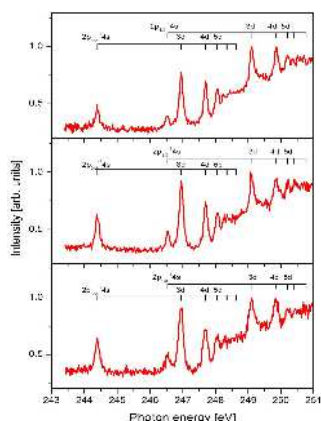
- APPLE-II型アンジュレータによる円偏光高調波を利用(SAGA-LS BL10, $h\nu=200-450$ eV, $l=1-2$)
- ピンホール(50 μm)で光渦ビームの中心部を切り出し
- Ar 2p光電子角度分布と吸収スペクトルを測定

吸収スペクトル

水平直線偏光

光渦(円偏光二次光)

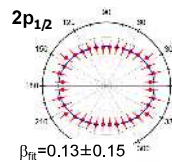
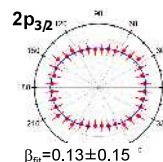
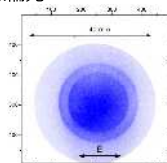
光渦(円偏光三次光)



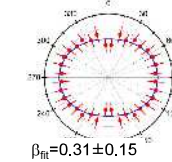
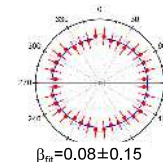
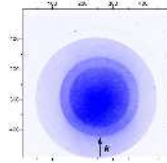
Ar2p光電子角度分布

Photoelectron Imaging @ $h\nu=254$ eV

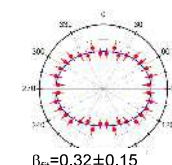
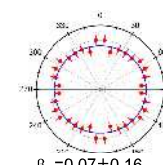
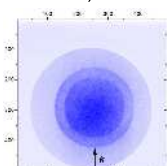
水平直線偏光



光渦(円偏光二次光)



光渦(円偏光三次光)



まとめ

- 吸収スペクトルには平面波と光渦で有意な差異は観測されない
- 実験条件の制限: 原子の大多数は位相特異点から離れた空間領域で相互作用
- 光電子角度分布も平面波と光渦で大きな差異は見られない

今後

- 光渦ビームの高品質化と特異点近傍を選択的に観測する手法の導入が必須
- 原子分子との相互作用における渦の効果を探るため新たな実験を計画中