

X線自由電子レーザー施設SACLAにおける 高強度レーザーを用いた真空回折の探索

<u>清野結大,稲田聡明A,難波俊雄A,浅井祥仁</u>,

籔內俊毅^B, 富樫格^{BC}, 犬伏雄一^{BC}, 玉作賢治^B, 井上伊知朗^B, 大坂泰斗^B, 矢橋牧名^{BC}, 石川哲也^B

> 東大理,東大素セ^A,理研/SPring-8^B, JASRI^C 2018/03/25

•本研究はSACLA大学院生研究支援プログラムの助成を受けたものです

Strong-Field QEDと真空回折

・量子場の理論は標準理論をはじめ自然を良く記述しているが、高強度電磁場下ではあまり検証されておらず、Strong-Field QEDと呼ばれる新分野を構成

<u>Strong-Field QEDで起こりうる物理現象の例</u>

- 電磁場による真空の屈折率変化
- 相対論的運動をする荷電粒子と光の相互作用
- 高次の非線形相互作用

→高強度レーザーの発達により検証可能に!

- ・局所的な電磁場(pump光)で屈折率勾配を生み出すと、 Pump光 probe光に回折が生じる→真空回折 ・小さな構造を通過するほど大きく回折 するため、非常に小さい(かつ高強度な) pump光が必要 $\theta \sim 30\mu \mathrm{rad} \times \left(\frac{1\mu \mathrm{m}}{w}\right) \left(\frac{E}{10\mathrm{keV}}\right)$
- 高強度なprobe光も必要

実験場所:XFEL施設SACLA



SACLAでは高強度レーザーとXFELが 両方使える!

Pump光:500 TWレーザー

・昨年に導入完了
 瞬間的に高強度なフェムト秒レーザー

パルス幅<u>30 fs</u>、パルスエネルギー<u>10 J</u> 波長<u>800 nm</u>

・補償光学の技術により、1µmまで
 集光可能

Probe光:SACLAのXFEL

・瞬間的に<mark>高強度</mark>の光パルス パルス幅<u><10 fs</u> パルス光子数<u>10¹¹ photon/pulse</u>



•500 TWレーザーを1 µmに集光する









- 2日间のDAQでシグブル数は ~100 photonsに達する
- Probe XFELはXFELの集光点付近でダンプ
 スリットを用いて回折光だけを切り出す
 - •2日間のDAQでシグナル数は







プロトタイプ実験@2017/12

- まずは出力の弱いレーザーを用いてプロトタイプ実験を行った
 - 目的:-時間・空間のアライメント技術の確立

- 世界初の真空回折実験成功

- ビームタイム: 2017/12/18 ~ 12/21 (72時間)
 Probe光: XFEL

 光子エネルギー 9.8 keV

 Pump光: フェムト秒レーザー

 パルスエネルギー 0.9 mJ (500TWレーザーは10J)
 - 波長 800 nm - パルス幅 23 fs





2018/03/25 日本物理学会



****** 衝突点 レンズ 穴あき Т 放物面鏡 XFEL • ザー 1*σ*~3.5mm

レーザー&XFELサイズ



レーザーパラメータ ・集光サイズ 縦:2*σ* 9.8 μm 横: 9.7 μm ・ポインティングのゆらぎ 縦:1*σ* 0.6 μm 横: 0.3 μm

XFELパラメータ ・衝突点でのXFELサイズ 1σ縦: **28 μm** 横: **36 μm**

XFELのワイヤースキャン結果(縦) 0.16 od voltage[V] 0.14 ۳- T¥... 0.12 0. 0.08 0.06 0.04 erf()によるfit 0.02 100 -250-200 -150 -100 -50 50 0 [um]]]





空間的アライメント

 衝突点位置にZn箔(25µm)をセットし、XFELとレーザーで照射痕を 作る。両者の相対位置を比較し空間的アライメントを行う。



時間アライメント

- GaAs薄膜(5µm)を用いたタイミングアライメントを行った。
- レーザーとXFELをGaAs薄膜に照射すると、同タイミングで照射されたときのみレーザー透過率が下がる



本測定&limit

レーザー照射タイミングをスキャンしながら本測定を行った





本測定&limit

レーザー照射タイミングをスキャンしながら本測定を行った





真空回折観測へ向けた改善策

・BG抑制

probe XFELを細くするshaper開発 probe XFELを回折なく細くして、ビームダンプを回り込む光を減らす BG抑制率:10-4→10-16 Probe XFEL Probe XFEL ビームダンプ



表面形状が変形するデフォーマブルミラーを用いてレーザー波面を成形

きれいな波面のレーザーで小さく集光し、シグナルの角度発散を増加させる

- レーザー集光サイズ:10 µm→1 µm - シグナル角度発散:3 µrad→30 µrad

. シグナル数12桁up

500 TWレーザー光学系の設計及び実験
 pulse強度4桁upでシグナル数8桁up
 真空回折の初観測



まとめ

- ・局所的な高強度電磁場は、伝播する光に回折を引き起こす これは真空回折と呼ばれる、Strong-Field QEDでの現象だが未検証
- ・本実験では高強度電磁場を500 TWレーザーで生成し、
 SACLAのXFELをprobeとして真空回折を観測する
- ・プロトタイプ実験を世界に先駆けて行い、真空回折現象に初めての 制限をつけた
- ・レーザーの集光、BGの抑制が今後の課題
- ・来年度以降にSACLAの500 TWレーザーを用いて実験を行い、 Strong-Field QEDで予言される真空回折の初観測を行う