# X線自由電子レーザー施設SACLAでの 真空回折の探索

<u>清野結大</u>,山崎高幸<sup>A</sup>,稲田聡明,難波俊雄<sup>A</sup>,浅井祥仁, 籔内俊毅<sup>B</sup>,富樫格<sup>BC</sup>,犬伏雄一<sup>BC</sup>,大和田成起<sup>B</sup>, 玉作賢治<sup>B</sup>,矢橋牧名<sup>BC</sup>,石川哲也<sup>B</sup>

> 東大理,東大素セ<sup>A</sup>,理研/SPring-8<sup>B</sup>, JASRI<sup>C</sup> 2016/03/22

## 高強度電磁場の物理(Strong Field QED)

QEDは様々な面から検証されてきている

しかし、<u>高強度場電磁場下では十分な検証がなされていない</u>

Strong Field QED:高強度電磁場下の物理(を記述する未検証の理論)

- ・荷電粒子の相対論的加速運動
  - Unruh 効果
- ・仮想粒子が分極・磁化することによる、真空の屈折率変化
  - 真空回折←このトーク
  - 真空複屈折
- ・仮想粒子の実粒子化
  - Schwinger limit

High powerレーザーの高強度電磁場によって ようやく検証可能になってきた

### 真空の屈折率勾配による真空回折

<u>高強度電磁場によって真空は屈折率が1からずれる(</u>仮想粒子の分極・磁化) ex) 磁場があるとき n = 1 + **9×10<sup>-24</sup>B²**, B [T]

#### ~真空中に<u>非一様</u>な高強度電磁場があるとき~

→真空の屈折率に空間的な勾配が発生!!

→屈折率勾配のある真空に光を入射すると回折がおきる →真空回折









# X線自由電子レーザー(XFEL)施設SACLA



#### 回折させる光は、SACLAの世界最高強度のXFEL

#### SACLAのXFEL性能

- ・光子数 :5×10<sup>11</sup> photons/pulse @10 keV
- ・パルス幅 :<10 fs
- ・ビームサイズ :~200 µm →コヒーレント集光 ~2 µm
- ・角度発散 :~1 µrad →コヒーレント集光時~50 µrad

### High powerレーザー

- ・SACLAには、XFELに同期した 近赤外フェムト秒レーザーシステムがあり、これで高強度場を作り出す
- ・現在500 TWのレーザーをインストール中(1年以内に利用可能)
- ・500 TWのレーザーを1 µmに集光すれば、

**1.3×10<sup>6</sup> [T] & 3.9×10<sup>12</sup> [V/cm]**の高強度電磁場を作り出すことが出来る →屈折率 n = 1 + 5×10<sup>-11</sup>

レーザー性能	
・波長	: 800 nm
・パルスエネルギー	-:12.5 J
・パルス幅	: 25 fs
・繰り返しレート	: 1 Hz

#### 現在インストール中の500 TWレーザー



実験セットアップとシグナル領域



実験セットアップとシグナル領域

②**集光したXFELのパルスと500 TWレーザーのパルス**を集光点で正面衝突させる



実験セットアップとシグナル領域

②**集光したXFELのパルスと500 TWレーザーのパルス**を集光点で正面衝突させる

③30 µrad程度広がってきた回折光を検出する

その際、スリットで検出器に入ってくるXFELをカットする



実験セットアップとシグナル領域

②**集光したXFELのパルスと500 TWレーザーのパルス**を集光点で正面衝突させる

③30 µrad程度広がってきた<mark>回折光</mark>を検出する

その際、スリットで検出器に入ってくるXFELをカットする





日本物理学会 22/03/2016

実験セットアップとシグナル領域

② 集光したXFELのパルスと500 TWレーザーのパルスを集光点で衝突させる

③30 µrad程度広がってきた<mark>回折光</mark>を検出する

その際、スリットで検出器に入ってくるXFELをカットする





・どこかで1回散乱したX線(0)

検出器までのパスは2,3,4で全て切られる

・どこかで2回散乱したX線(1.1×10<sup>-19</sup>)

パス:スリット4で散乱(Ta)→衝突点で散乱(Al)→検出器

・残留ガスによる1回散乱(5.7×10-20)

残留ガスが10<sup>-3</sup> Paのとき、衝突点の前後0.5 m程度で散乱したX線 2回散乱したX線のみ考えると、BGの抑制率は10-19レベルまで可能 現在、Geant4でシミュレーション中 15

# 真空回折の感度

### 各パラメータ

### 近赤外レーザー 500 TWレーザー ビームウエスト :1µm 繰り返しレート :1 Hz パルスエネルギー: 12.5 J XFELビーム ビームウエスト : 2 µm 光子エネルギー: 10 keV 光子数:5×10<sup>11</sup> photon/pulse 検出 Ge検出器:検出効率 0.85

BG抑制

XFELビームに対して10<sup>-19</sup>(手計算)

Strong Field QED理論値では 1 pulse あたり **2×10<sup>-3</sup> photon** 1.5日の計測で**26 photon** 

Strong Field QEDで予言される 真空回折を**5o**で初観測

→<u>高強度場下の理論で未検証の</u> Strong Field QEDの検証

今後の予定

・**6月**(SACLAビームタイム 2.5日)

既に利用可能な2.5 TWレーザーでの予備実験

◆ XFELとレーザーを衝突させる

→極小(<u>µm</u>)&短時間(<u>fs</u>)のアライメントを行う

◆ シミュレーションの難しい回折の効果によるBG等の評価 <u>アライメント方法例</u>

[空間]金属薄膜にXFELで穴を開け、レーザーが穴を透過する割合を見る [時間]GaAs薄膜にXFELとレーザーを同時入射させ、

その際のレーザーの透過率を見る

・1年以内

500 TWレーザーを用いて本実験

<u>真空回折の初観測</u>

レーザー性能	Hidra 2.5 TW	THALES 500 TW
波長	800 nm	800 nm
パルスエネルギー	0.1 J	12.5 J
パルス幅	40 fs	25 fs
繰り返しレート	10 Hz	1 Hz

日本物理学会 22/03/2016

17

### まとめ

- ・QEDの検証は、高強度電磁場下では十分に検証されていないが high powerレーザーの高強度電磁場によって検証可能になってきた
- 高強度電磁場は真空に屈折率勾配を引きおこし、
   その真空を通過した光は真空回折を起こす
- ・高強度電磁場を500 TWレーザーで生成し、
   SACLAのXFELを入射させて真空回折を観測する
- ・500 TWレーザー1.5日の計測を行い、
   5oの感度でStrong Field QEDの予言する真空回折を初観測する
   →高強度場下の理論で未検証の、Strong Field QEDを検証
- ・6月のSACLAビームタイムに向け、2.5 TWレーザーで実験デザイン中