SPring-8/SACLAにおける 光子光子散乱の探索



<u>山道智博</u>、稲田聡明、難波俊雄^A、浅井祥仁、小林富雄^A 玉作賢治^B,田中義人^C,犬伏雄一^D,澤田桂^B,矢橋牧名^B,石川哲也^B 高橋忠幸^E、渡辺伸^E、佐藤悟朗^F

東大理,東大素セ^A,理研/SPring-8^B、兵庫大院物質理^C JASRI^D、ISAS/JAXA^E、早大理工^F

日本物理学会 2014年秋期大会@佐賀大学 2014/09/18

光子光子散乱(photon-photon scattering)

- ◆量子電磁力学(QED)の予言(1936年) -<mark>真空の非線形効果</mark> 光子同士が仮想電子を介して散乱
 - -実光子同士の散乱は未観測 →QEDの重要な検証



-無偏極全断面積σ(重心系での光子エネルギーω<700 keV) σ=7.3×10⁻⁷⁰(ω[eV])⁶ [m²] 断面積はωの6乗に比例

-未知粒子の寄与が有る場合、断面積がエンハンス ex)axion, dilaton, etc...

X線を用いた新しい光子光子散乱実験



-X線領域では可視光領域に比べ断面積が24桁増大 -1光子エネルギー測定が可能:エネルギー情報でのBG排除 -回折限界が小さく、ビームを小さく集光出来る

我々は昨年世界初のX線光子光子散乱実験を行った :Physics Letters B 732 (2014) 356-359

X線自由電子レーザー(XFEL)施設 SACLA

SACLA

- -世界最高強度のXFEL(水平偏光)を発振
- -光子数1.2×10¹¹photons/pulse@11keV, パルス幅10fs,繰り返し30Hz(2014) 1パルス当たりの光子数が大きく、パルスが短い
- -ビーム幅 : 200µm × 200µm (FWHM)

-1µmコヒーレント集光を利用 高いパルス強度・小さいビーム断面積→High Luminosity -入射光子エネルギー:10.985keV



SACLA upgrade

-繰り返し : 20Hz(2013) → 30Hz(2014) -ビーム強度: 2倍に増加(2014) -シード化(導入中)



-単色性が大幅に改善: ~50eV(2013) → ~500meV →実験のインテンシティが大幅(~10²倍)に増加

-高インテンシティ環境下ではBGも増加 →検出器を改良し、SN比を向上した実験を計画 -2014/11/03-06 (60h)にSACLAのビームタイムを取得

X線ビームスプリッター 1/2

-SACLAのX線ビーム(巾200µm/10fsec)を交差させる事は非常に難しい →確実に交差させる為、X線ビームスプリッターで1本のビームを分割・交差

◆X線ビームスプリッター:X線光学分野で確立された技術
-X線ビームの分割:シリコン単結晶による透過型(Laue case)X線回折
-3枚の刃(t0.2mm)を削り出したシリコン単結晶を使用



X線ビームスプリッター 2/2

-ビームスプリッターの刃で2段続けてX線回折 → 1本のX線ビームを分割・交差 -光路長が幾何学的に一致 → 分割ビームの交差は時間的・空間的に保証

-<u>薄い刃・単色性の高いX線に対し高効率</u> → ルミノシティ大 交差ビーム強度は入射ビームの1%/0.55%(simulation)



X線交差のKinematics

-X線回折 : シリコン(4,4,0)格子面を使用 10.985keV X線に対する交差角:72°→ω_{см}=6.46keV



予測されるBGの特性



SACLAでのパイルアップレートを推定するため、<u>BG study</u>を行った

シリコン両面ストリップ検出器(DSSD)

- ◆検出器に必要な性能
 - -大きな有効面積でパイルアップ光子を分離できる、<u>電極分割型</u>の検出器 -高いエネルギー分解能
 - →ASTRO-H衛星で開発された、シリコン両面ストリップ検出器 (DSSD)を使用

DSSD

- -結晶寸法 : 32mm×32mm×t0.5mm
- -ストリップ数:128×2
- -ストリップ間隔 : 250µm
- -エネルギー分解能(FWHM): 1.1keV@22keV 検出効率: 40% @ 20keV
- -検出効率 : 40% @ 20keV



-全ストリップch読み出しにより、ヒットした光子の位置情報を取得 同時入射したパイルアップ光子を分離可能

BG study: SPring-8 BL19LXU

-本実験でのパイルアップ排除が上手く出来るかを推定する為に、 SPring-8 BL19LXUでBG studyを行い、BGレート・スペクトルを測定

◆SPring-8 BL19LXU -最高強度のビームライン(水平偏光) -瞬間強度はSACLAより低いが、平均強度がSACLAの10倍 →BG studyに最適

光源	平均強度@10.985keV	瞬間強度	繰返し
SPring-8 BL19LXU	<u>3.4×1013 photons/sec(実測)</u>	8.5×10 ⁵ photons/pulse	40 MHz
SACLA EH3	<u>3.2×10¹² photons/sec</u> (集光後)	1.1×10 ¹⁰ photons/pulse	30 Hz

-SACLAでの本実験に先立ち、6/10-14にビームタイムを取得・実験

BG測定セットアップ



-干渉計は真空チェンバー中に入れ、 真空中でX線を分割・交差

-DSSDは検出器箱に入れ、 チェンバーに近づけて配置

-交差点の方向から来るX線を サンプルホールドし測定

◆実験目的
-検出器に入るBG光子のレートと、
エネルギースペクトル・位置情報を
測定する
→SACLAでのBGを推定



-1次光以外の構造は無く、信号領域BGは0 consistent

-入射光強度3.4×10¹³ photons/secに対し、散乱1次光BGのレートは0.9Hz Geant4 MC結果(0.3Hz)とファクター3で一致 -ファクター3のずれ・入射位置の構造:ミスアラインメントで出来たBGパスが原因 SACLAでの30Hz 1日DAQでは許容範囲(次頁)

SACLAでのBG



-信号領域に入る環境BG(~10⁻²/day)を考慮しても、BGフリーな測定が可能

期待される感度

◆シード化後の期待感度 -30Hz,1日DAQ(3×10⁶ pulses)での断面積感度:2.4×10⁻³¹[m²] →2013年実験を6桁強上回る

-先行実験(Bernard,2000)を抜き、QED断面積に対し最高相対感度



将来計画

◆Bragg型ビームスプリッター,50nm集光鏡の使用:O(10⁶)
-Laue型と違い2段目の回折効率が~100%
大型化が可能→集光鏡をスプリッターの後ろに入れ、垂直集光が可能
-水平集光に現在開発中の50nm集光鏡を使う

◆3本目で散乱光をinduce -3本目のX線ビームを衝突点に入れる事で、散乱光を励起出来る(<u>Bernard 2000)</u> -SACLA Braggビームスプリッター+他BLでinduce→世界初の観測へ



まとめ

-実光子の光子光子散乱は未観測:QEDの重要な検証 -我々はX線領域の光子光子散乱実験を行っている -シード化したSACLAでSN比/感度の向上した実験を計画 -XFEL光源 SACLAからのX線ビームを ビームスプリッターを用いて回折/交差させる -X線検出器には、電極分割型の検出器を用いる -本測定に向け、SPring-8 BL19でBG studyを行った -SACLA 1日 DAQでBGフリーな実験が可能 -シード化後で最高相対感度の実験が可能 -2014/11/03-06 (60h)に本実験を行う