SPring-8/SACLAにおける 光子光子散乱の探索 I



<u>山道智博</u>、安達俊介、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^B,犬伏雄一^B,澤田桂^B,矢橋牧名^B,石川哲也^B 東大理,東大素セ^A,理研/SPring-8^B

日本物理学会2013年秋季大会@高知大学 2013/09/20

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の最終検証



-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, charged SUSY(高エネルギー),etc...

光子光子散乱: 先行実験



-最高感度の実験(<u>Bernard 2000</u>):QED予言値に18桁足りない

- ・可視光領域での低断面積:7.3×10⁻⁷⁰ [m²]@1eV
- ・光学系で発生する白色光由来バックグラウンド(BG)

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

我々は世界初のX線光子光子散乱実験を行っている

X線自由電子レーザー(XFEL)施設 SACLA

SACLA

-世界最高強度のXFELを発振する施設

-XFELは水平偏光

-光子数8×10¹⁰photons/pulse@10keV, パルス幅10fs,繰り返し20Hz(20137月) 1パルス当たりの光子数が大きく、パルスが短い



◆1µmコヒーレント集光を利用出来るEH3を使用 -高いパルス強度・小さいビーム断面積→High Luminosity -7/24-26(48h)のbeamtimeにおいて本測定(次講演) -使用光子エネルギー:10.985keV

X線衝突の方法:ビームスプリッター

使用可能なXFELは1本のみ →ビームスプリッターを用いて分割・交差 -X線ビームの分割:シリコン単結晶による透過型(Laue case)回折 -2枚の刃(t0.6)を削り出したシリコン単結晶にXFELを入射すると、 互いに平行な2刃の格子面での回折によりX線を分割・交差(4分割効率:~1%) -単一XFELを分割/光路が全く同じ →ビーム交差は時間的・空間的に保証 X線光学分野で確立された技術を応用 -入射角の必要精度~10µradなので、ゴニオメータで入射角調整



X線交差のKinematics

-重心系での光子エネルギー:高次の格子面で大 →(4,4,0)格子面を使用 10.985keV 入射X線に対する交差角:72° ω_{CM}=6.46keV

boost系での散乱実験
 -光子光子散乱は重心系で4πに散乱:boost方向にシグナルが集中
 -boost方向のシグナルエネルギーは入射光よりも大きくなる

-本実験でのsignal coverage/エネルギー signal coverage:17.4% エネルギー:18.1~19.9keV

主要な10.985keV BGをエネルギー測定により cutする事が可能



実験セットアップ:X線分割・交差



-真空チェンバー中にビームスプリッターを置き、 X線を真空中で回折・交差:大気分子による散乱を抑制

-透過/散乱光はカプトン窓でチェンバー外に出し、 透過光強度・シグナル(18.1~19.9keV)を検出器で測定

ビームスプリッター

刃

間隔25mm

シグナルX線測定:Ge検出器

efficiency

硬X線領域で、高い分解能と検出効率 シグナル(18~20keV)を測定

-結晶径60mm/結晶厚さ25mm -分解能(o): 157eV @ 14.4 keV -検出効率: 67% @ 18keV (窓・空気での減衰込み)

-Brass製円筒(t1)で検出器を覆う →環境γ線を遮蔽

シグナル領域の環境BG: 70mHz -XFELに同期してFlush ADCで 波形読み込み

→XFEL非同期BG・ノイズをcut

Canberra製Ge検出器 BE2825 硬X線領域 検出効率 Attenuation in the window 0.8 data 0.6 MC (best fit, 7.7 µm) 0.4 MC (with 30 cm air Ge K-edge 0.2 attenuation, 8.6 µm) 0 10 20 30 40 50 60 energy (keV)

シグナル領域

BG study

-シグナルは非常に微弱

- →信号領域(18~20keV)に入るバックグラウンドを極力抑えたい SACLA~1日DAQでの信号領域BGを0にする事が目標
- -全く新しい手法の散乱実験であるため、 信号領域に入り得るBGの洗い出し・対策の為BG studyを行った
- -BG studyの為には、平均強度の高い光源が必要

→高強度X線光源 SPring-8 BL19LXUを使用



BG study: SPring-8 BL19LXU

◆SPring-8 BL19LXU -最高強度のビームライン(水平偏光) -平均強度がSACLAの~10⁴倍 →BG studyに最適

光源	実測平均強度@10.985keV	pulse長	繰返し
SPring-8 BL19LXU	2.4×10 ¹³ photons/sec	40 psec	40 MHz
SACLA EH3	<u>6.3×10⁸ photons/sec</u> (集光•分光後)	10 fsec	20 Hz

-SACLAでの本実験に先立ち6月にbeamtime取得・実験

-10⁴強度の高いBL19LXUでのBG study(本講演) →SACLAでの本測定(次講演)に向けたBG対策

BG測定セットアップ



-SACLAでの本測定とほぼ同じセットアップ -透過光は鉛でダンプし、シグナルと同じ経路からのBGをPHADCで測定

得られたBG spectrum



13

22keV BGの同定

-22keV peakは信号領域に近く重要 →散乱1次光pileup(11keV+11keV)か、散乱2次光かどうかを同定 チェンバー直前にt1 Alを置き、22keV peakの減衰を1次光と比較



まとめ

- ・実光子の光子光子散乱は未観測:QEDの最終検証
- ・我々は世界初のX線光子光子散乱実験を行っている
- •X線領域では断面積が24桁増大
- ・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
- ・本測定に向け、SPring-8 BL19LXUでBG studyを行った
- BGには多数の高次光成分・特に2次光は信号に近く
 SACLAではビームライン上流で排除
- ・SACLAでの本測定結果:次の講演