SPring-8/SACLA における パルス強磁場を用いた 弱結合未知粒子の探索

<u>稲田聡明</u>, 山崎高幸^A, 難波俊雄^A, 浅井祥仁, 玉作賢治^B, 田中義人^C, 澤田桂^B, 矢橋牧名^B, 石川哲也^B, 犬伏雄一^D, 松尾晶^E, 金道浩一^E, 野尻浩之^F

東大理,東大素セ^A,理研/SPring-8/SACLA^B, 兵庫大院物質理^c, JASRI/XFEL^D,東大物性研^E,東北大金研^E

日本物理学会2015年秋季大会@大阪市立大学 2015/09/26

光を使ってアクシオンを探したい

Axion-like Particle (ALP) の性質 二つの光子と結合:光→アクシオン変換(逆過程も同様)



探し方

- アクシオンは物質との相互作用が小さい
- アクシオンを介して遮光壁を通過してくる光子を検出
- 透過光子は元の光子と同一エネルギー



壁の前後に強力な磁石を設置 探索の感度は磁場の強さ×長さに比例

- $P = \left(\frac{g_{\alpha\gamma\gamma}}{2}\frac{\beta L}{\theta}\frac{\sin\theta}{\theta}\right)^2, \ \theta = \frac{m_{\alpha}^2 l}{4\omega}$
- 可視光源を用いた実験は過去20年間繰り返し探索されてきた
- X線光源を用いれば可視光よりも 1-2<mark>桁重い</mark>ALPを探索可能 3



- 磁場:パルス磁石で瞬間的に 強磁場を発生。
- ・ 光源:SACLA(超高輝度のX線 フェムトレーザー)
- この二つを同期させる
- またパルスに同期しない環境
 BGをカットし、S/Nが向上



- そのために、以下を開発している
- ビーム軸方向に長さがあり、磁場発生効率・冷却効率の 良いパルス磁石
- 繰り返し動作可能な、コンデンサ放電型バンク
- 出張実験なので、磁石・バンクとも可搬である必要がある

従来のパルス磁石・バンクとの比較

▶ パルス磁石

	従来	本実験
形状	ソレノイド	レーストラック
最大磁場	$70-80\ {\rm T}$	現状 14 T
		将来的には 30 T
繰り返し	10 分に 1 発程度	~Hz オーダー



▶ バンク

	従来	本実験
大きさ	小部屋 クラス	可搬で,実験ハッ チに収まろサイズ
充電エネルギー	500 kJ	30 kJ





- 磁石の中心を通る浅い角度でビームを斜め(交差角2°)に通す
- 磁場応力に耐える(構造)強度が必要、外部補強で強度を出す ために、磁石自体は非常にシンプルな構造にする。

磁石の構造 2/2 カプトンで絶縁された平角銅線をガラスエポキシの芯棒に密に巻く



渦電流による磁場のキャンセルを抑えるためSUSの外部補強を分割

液体窒素に浸けて抵抗を減らす

冷却効率を上げるため、厚さ約20mmの平べったい形になっている

磁場性能



- 繰り返し時の発生磁場は8.4T(磁場応力は磁場の2乗に比 例するので、磁場応力に対する安全係数は2倍)
- 磁場発生の繰り返しは平衡温度が200Kを超えないよう、
 0.5Hzで運転

コンデンサバンク 1/2

- 最初の4.5kV放電で9Tを発生
- 磁石(10mΩ/個)の発熱によるロス以外のエネルギーがコ ンデンサを-3kVに逆充電



- 逆充電された3kVで2発目6Tを打ち,再度発熱によるロス 以外がコンデンサに戻ってくる
- ロスした分のエネルギーを充電



X線光源, SACLA





SACIA	光源性能	值
 SPring-8に併設するX線FEL 高輝度X線パルスを出力する 2012 年にユーザー運転を開始 	エネルギー 最大強度 サイズ パルス幅 繰り返し	$\sim 10 \text{ keV}$ (可変) 4×10^{11} photon/pulse $\sim 100 \ \mu \text{m}$ < 10 fs 30 Hz

実験のセットアップ 1/2



実験のセットアップ 2/2

SPring-8, BL19LXU, EH1(Geは隣のハッチ)



SPring-8でのテスト 1/2

- SACLAのとなりにあるSPring-8のビームライン(BL19)で7/20 から5日ビームタイムをもらい、以下を確認
 - 全体のセットアップ,バンクと磁石の動作
 - 磁石のアライメント



SPring-8でのテスト 2/2

<u>セットアップと動作確認</u> ハッチ内に磁石とバンクを収め 9Tで繰り返し動作を確認





<u>磁石のアライメント</u>

- 1/8^{1²}のパイプ内径2.2mm,長さ4mに わたってX線を通す
- →(時間をかければ)常温で90%は通る
- 77Kに冷やすとX線の強度が低下.
- <mark>熱収縮(Δ_{//}=15mm,Δ_⊥=0.5mm)</mark>により どこかでビームパスを切ってしまって いる



SACLAのビームタイム: 2.5日 → アライメントに時間をかけられない
 Phaseを分け、まず最初の探索ではパイプ径の大きい磁石で実験を行う



光子との結合定数に対する期待感度

- 黒:先行実験
- 赤, 緑: SACLA, 2.5 daysで線の上側の領域を棄却(95% C.L.)



可視光実験による制限よりも1桁重い質量領域において初探索

No signalの場合には先行実験における制限を5倍更新予定

まとめ

- SACLAの高輝度X線パルスを光源に用い、光子と弱く結合する Axion-like Particleを探索する
- ・ 光子↔ALP変換に使用するパルス磁石とその充放電バンクを 開発している.
- 本番用(となるはず)の磁石8個とバンクを製作しSPring-8でテ スト実験を行った.
- セットアップや磁場発生等で特に問題は無かったが,窒素冷却時にアライメントが不安定となるので,より径の大きい磁石を作り直し最初の探索を行う