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 I

稲田聡明, 山崎高幸^A, 難波俊雄^A, 浅井祥仁, 小林富雄^A, 田中義人^B, 玉作賢治^C, 澤田桂^C, 矢橋牧名^C, 石川哲也^C, 犬伏雄一^D, 金道浩一^E, 野尻浩之^F 東大理, 東大素セ^A, 兵庫大院物質理^B, 理研/SPring-8/SACLA^C, JASRI/XFEL^D, 東大物性研^E, 東北大金研^F

連続講演での内容

本講演

- アクシオンとその探索
- 実験・セットアップの概要と期待される感度
- 磁石

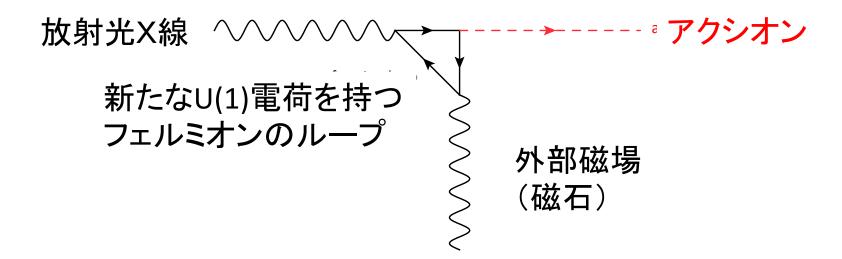
次の講演

- ・ 今年2月のテスト実験
- 今後とアップグレード

放射光と結合する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)

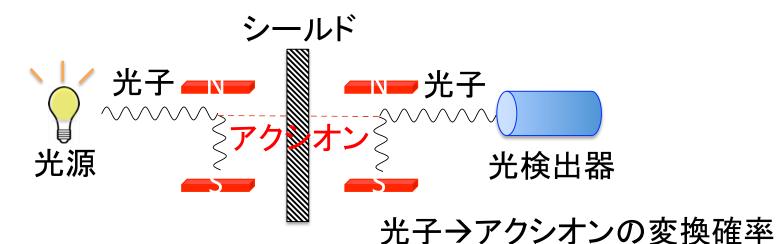


擬スカラー
$$L_{\alpha\gamma\gamma} = -\frac{g_{\alpha\gamma\gamma}}{4} F_{\mu\nu} \tilde{F}^{\mu\nu} a = g_{\alpha\gamma\gamma} \underline{\vec{E} \cdot \vec{B}} a$$
 電磁場テンソル

電場と平行な磁場成分が 結合に寄与

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



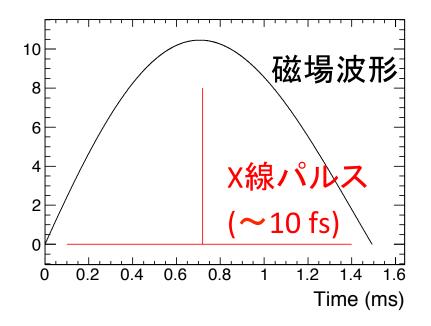
壁の前後に強力な磁石を設置 探索の感度は磁場の強さ×長さに比例

$$P = \left(\frac{g_{\alpha\gamma\gamma}BL}{2}\sin\theta\right)^2, \theta = \frac{m_{\alpha}^2l}{4\omega}$$

- 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桁重いALPを探索可能 /

実験の概要

- 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,

- ビーム軸方向に長さがあり、磁場発生効率・冷却効率の 高いパルス磁石
- 繰り返し動作可能な、コンデンサ放電型バンク を開発している

X線光源, SACLA

兵庫県,播磨

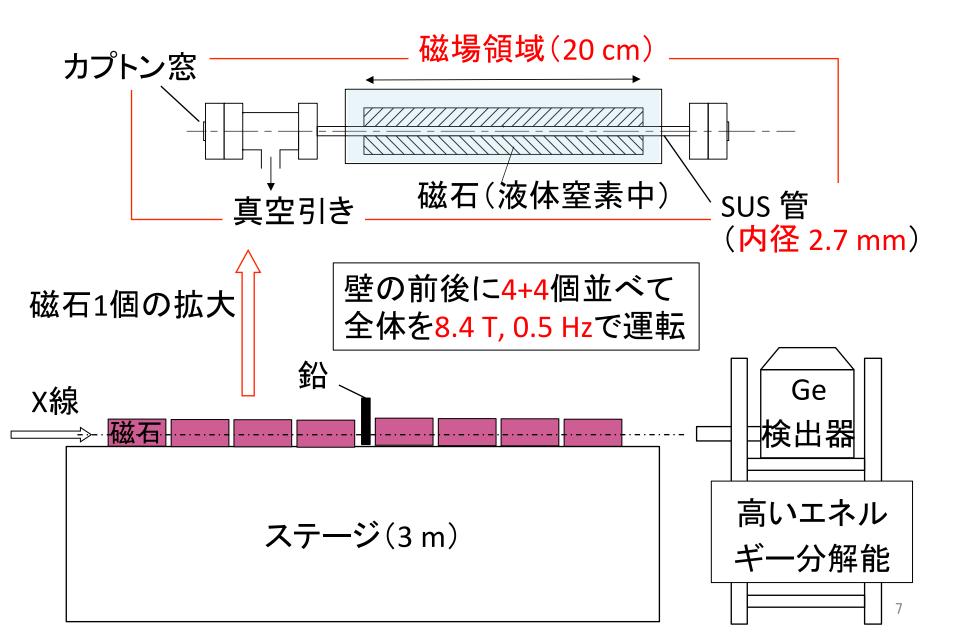


SACLA

- 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

光源性能	値
エネルギー	$\sim 10 \text{ keV}$ (可変)
最大強度	$4 \times 10^{11} \text{ photon/pulse}$
サイズ	$\sim 100 \mu \text{m}$
パルス幅	< 10 fs
繰り返し	30 Hz

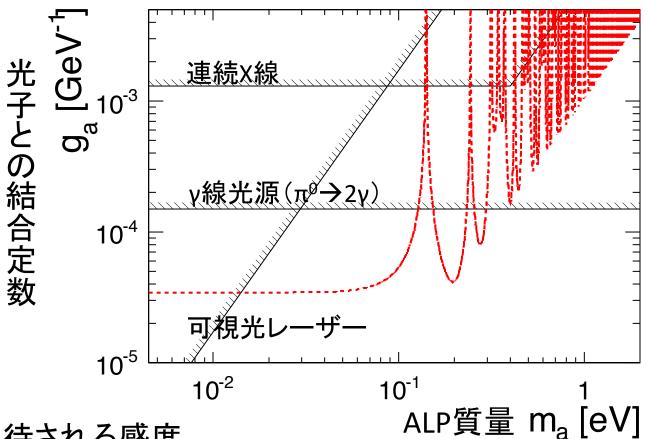
実験のセットアップ



光子との結合定数に対する期待感度

• 黒: 先行実験

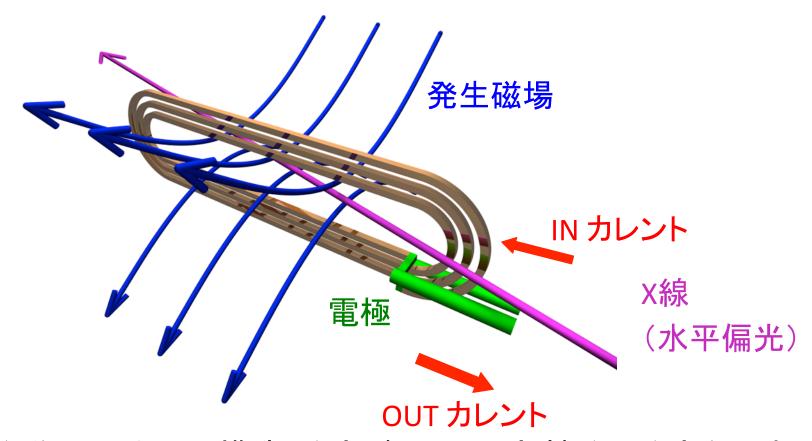
赤: SACLA, 2.5 daysで線の上側の領域を棄却(95% C.L., <u>expected</u>)



期待される感度

- 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

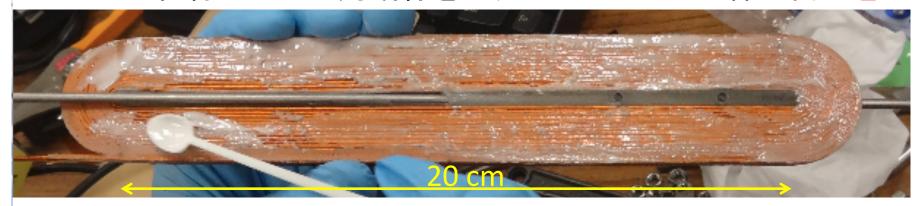
磁石の構造 1/2



- 強磁場に耐える(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.
- 磁石の中心を通る浅い角度でビームを斜め(交差角2°)に通す

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

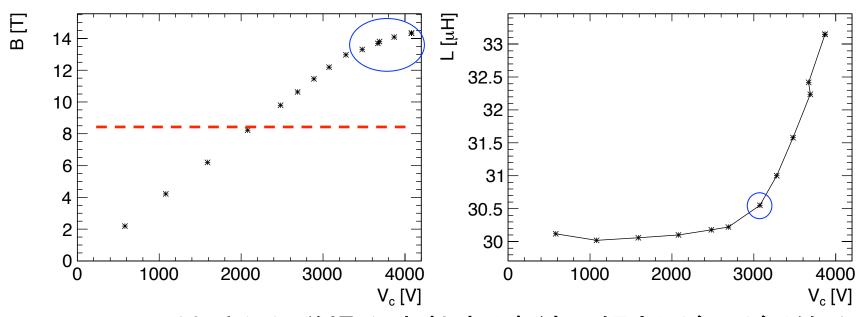


冷却効率も考え、厚さ約20 mmの平べったい形になっている

单発最大磁場

・ 左: 充電圧を上げた際に発生したピーク磁場

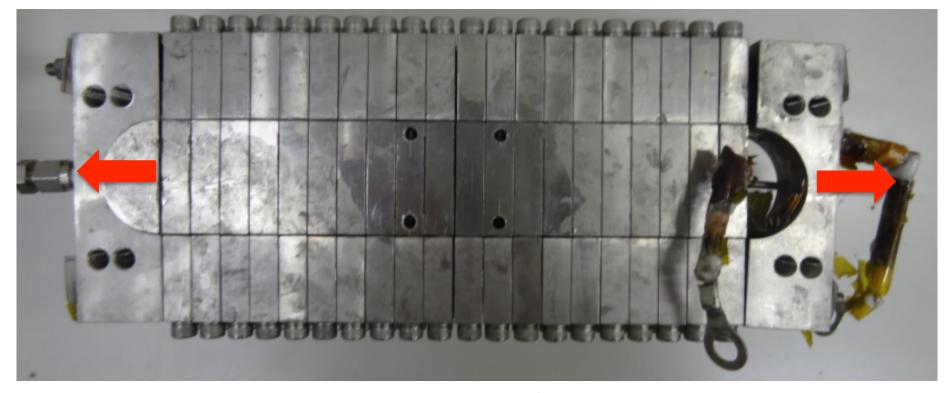
• 右:磁場発生後の磁石インダクタンス 磁石の変形を表す



- 3.5 kV付近から磁場発生効率(直線の傾き)が下がり始め, 14.4 Tで破壊, 3 kV付近から変形し始めていることも分かる.
- 本番の8.4 Tでの直線性は問題ない.. 安全係数はエネルギー (=力)で約2倍.

変形

- 繰り返し運転での耐性はこれから検証
- マージンを上げるために、今後も構造を改良していく

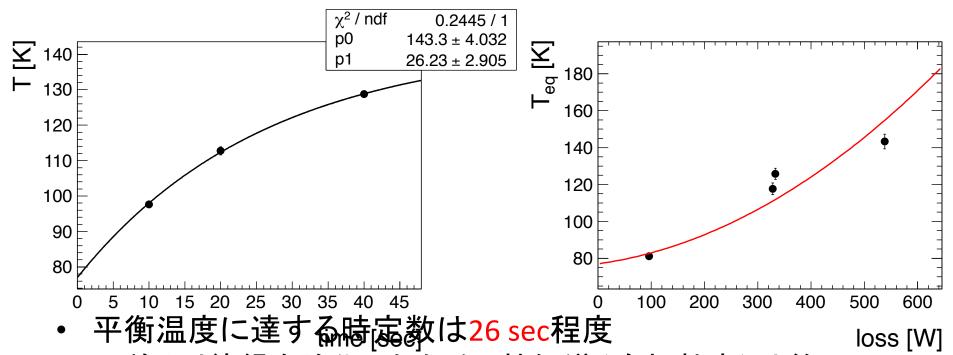


- 上下方向:M5ネジ80本で締めあげており変形は見られない
- 横方向:補強が分離(両端部分は線との接触面積が大きい)
- ネジ1本あたり3.9 kN@14.4 T(~SUS304のM5ナットの許容応力)
- → 冷却にそれほど影響しないところなので今後補強を強化する!?

磁石の発熱測定

左: 繰り返し運転中の温度上昇, 4.6 T@2 Hz(=発熱量538 W)

• 右:発熱量を変えた際の平衡温度



- 以前より絶縁を強化したため, 熱伝導(冷却効率)は約2~3 倍悪化. 本番は平衡温度が200 Kを超えない範囲で運転する 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。
- (ほぼ)本番用となる磁石を製作して性能評価を行い、単発8.4 Tで力(=強度)に対する安全係数約2倍を確認。
- 今後繰り返し耐性の検証を行う。またより強度の出る構造に 修正していく。

実際にこの磁石を2つ使ったテスト測定の結果が次の講演に続く