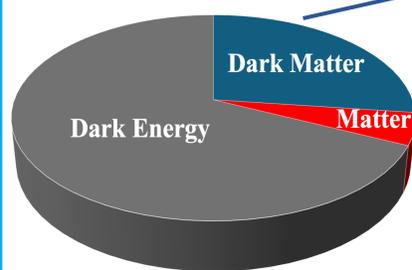


宇宙暗黒物質探索に向けたCaF₂蛍光熱量検出器の開発

松本朋也、野田健太、梅原さおり^A、吉田齊
阪大理、阪大RCNP^A

1. 背景

宇宙暗黒物質

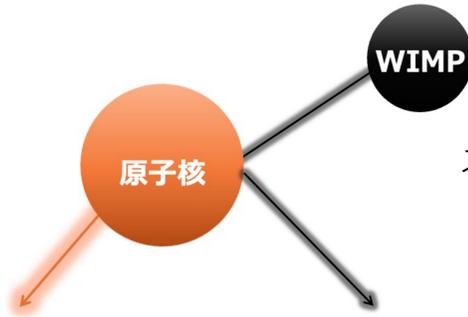


宇宙の約27%を占める暗黒物質

有力候補：WIMPs
(Weakly Interacting Massive Particles)

- 質量はMeV ~ TeVのオーダー
- 中性かつ安定

WIMPsの直接探索を行いたい！

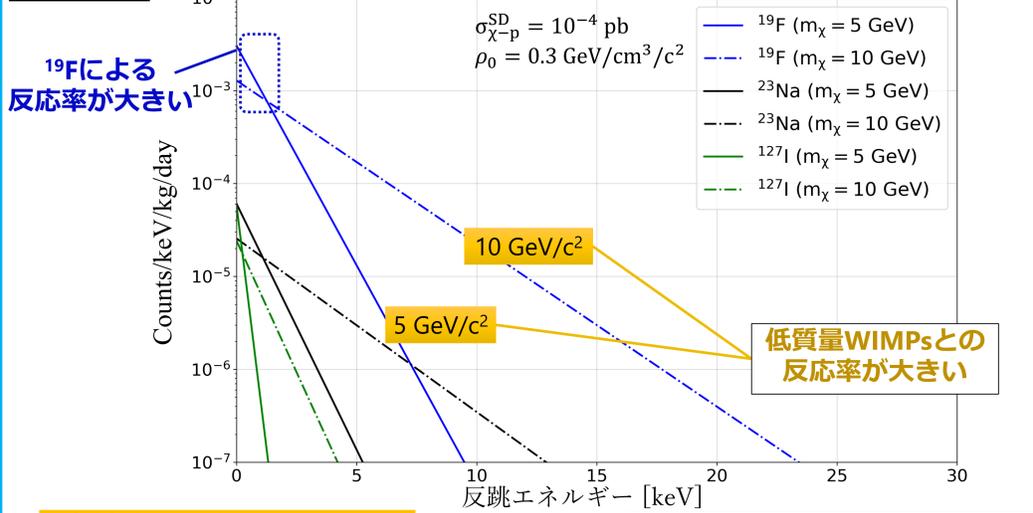


直接探索：WIMPsが原子核と弾性散乱した際の原子核の反跳エネルギーを測定

WIMPsの原子核に対する反応断面積を求める際にスピン依存(SD)とスピン非依存(SI)の項に分割できる

スピン依存(SD)の相互作用に注目する

要求性能



高純度CaF₂結晶を用いた蛍光熱量検出器を開発する

要求性能

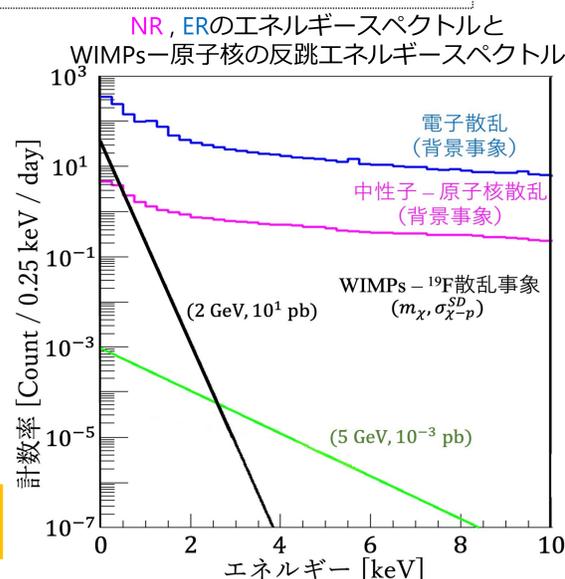
- ① 低エネルギー閾値
- ② 低BG

BGレートシミュレーション

- 検出器周辺：Al缶内に1 ppbの濃度のU/Th系列の放射性不純物を生成
- 結晶内部：10 μBqの濃度のU/Th系列の放射性不純物を生成
- 環境高速中性子：1 keV ~ 10 MeVの中性子を入射

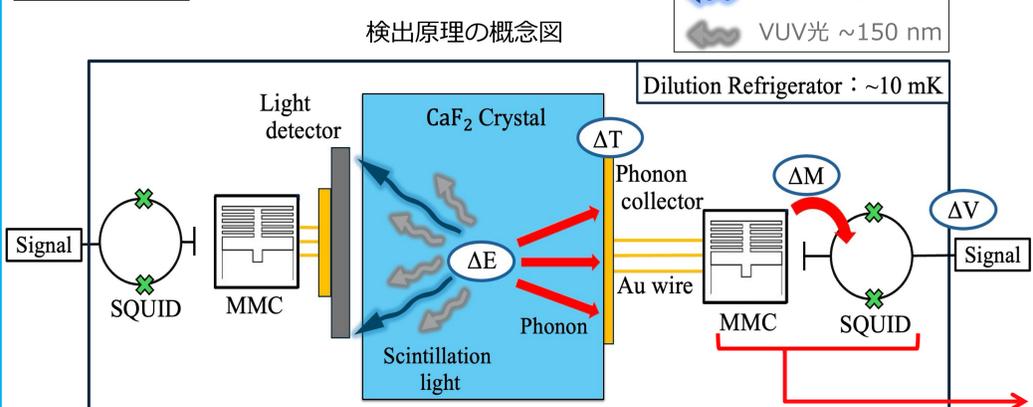
- 電子散乱(ER)の90%以上の除去
 - 1 keV以下のエネルギー閾値
- この検出器性能を満たせば低質量のWIMPs探索が狙える

極低エネルギー閾値を達成すれば低質量WIMPs探索が開拓が可能



2. 実験計画

検出器設計



MMCセンサー

- 温度変化を磁化変化として検出する熱量計
- 温度上昇の大きさに応じた誘導電流をSQUIDに伝える



~ 開発案 ~

- CaF₂結晶で減衰長が5 mm程度のVUV発光 → VUVを多く取得して蛍光信号量を増やす → 蛍光信号を利用した事象識別が可能
- 熱信号の減衰が他の無機結晶より大きい → 吸収体からの距離が近い設計
- イベントレートは結晶の体積に比例 → 厚さのみ薄くしてイベントレートの減少を抑える

50 mmΦ × 5 mmのCaF₂結晶での検出器を開発

低エネルギー閾値の評価

低エネルギーγ線源を使用し熱量を測定

点線源による位置依存性によらないイベントの測定からエネルギー閾値の評価を行う

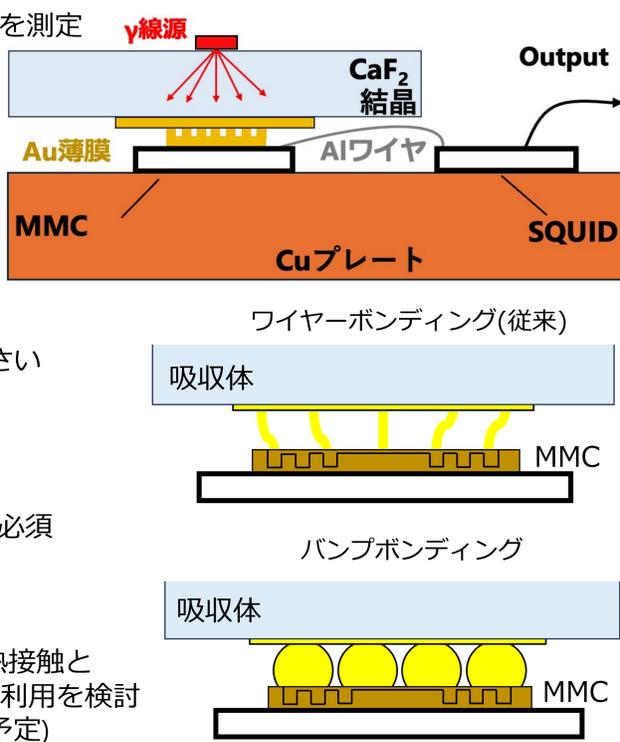
課題

放射線のエネルギーが小さい
= 温度変化・電圧変化も小さい

わずかな温度変化でも効率よくMMCに伝える設計が必須

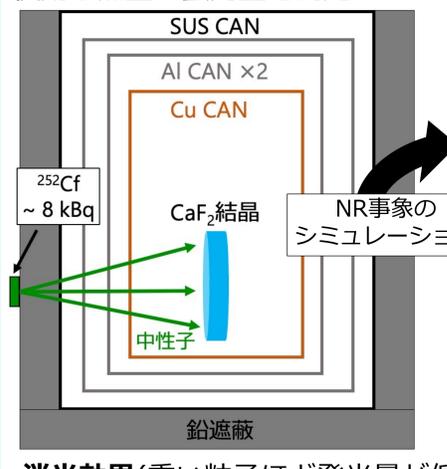
バンプボンディングによる熱接触と増幅器であるAmp-SQUIDの多段利用を検討 (韓国IBSでの実験を行う予定)

検出器設計の概念図



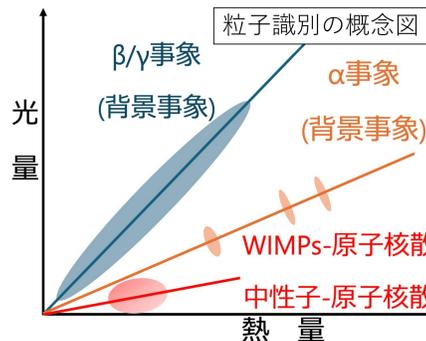
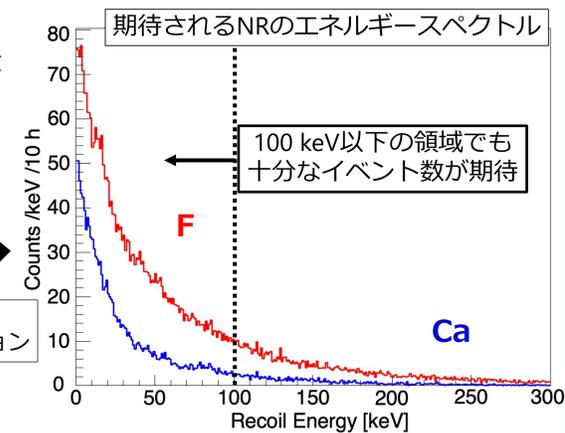
BG除去能の評価

中性子線源、低エネルギーγ線源を使用し熱量・蛍光量測定



消光効果(重い粒子ほど発光量が低下)

熱量/蛍光量の違いから特に低エネルギー領域でのNR事象とER事象の分離が期待



3. まとめ・展望

- 暗黒物質WIMPsの直接探索のため、CaF₂結晶を用いた蛍光熱量検出器を開発中
- 低エネルギー閾値とBG除去能は検出器の性能として必須
- γ線源や中性子線源を用いての熱量・蛍光量測定からエネルギー閾値およびBG除去能の評価を行うことを計画
- 低エネルギー閾値化に向けて、バンプボンディングやAmp-SQUIDの多段利用などをIBSと共同で推進する

