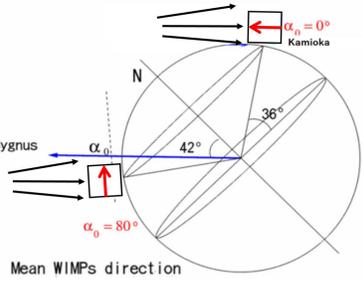
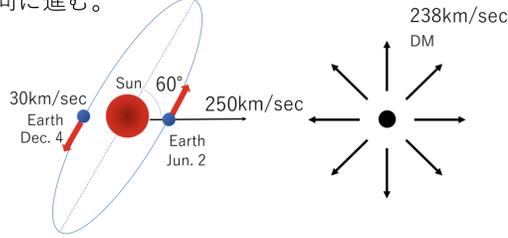


1. 研究目的

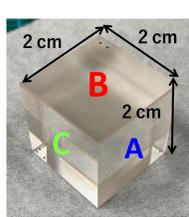
○ 暗黒物質候補WIMPが飛来する方向

- WIMP：銀河内を $v_0 = 238 \text{ km/s}$ のMaxwell速度分布に従い存在。
- 太陽系：銀河内を $\sim 250 \text{ km/s}$ で白鳥座の方向に進む。
- 白鳥座の方向からWIMPの「風」を受ける

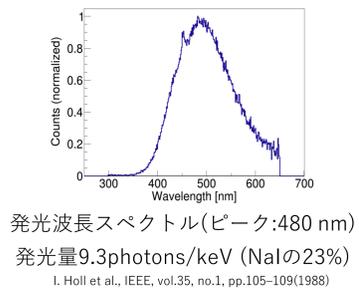
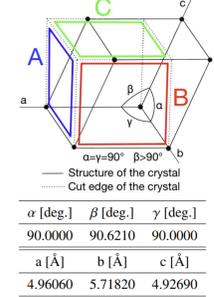


- 重粒子の入射方向と光学軸のなす角で発光量が変化する「異方性発光シンチレータ」を使用
- WIMP飛来方向(白鳥座方向)と結晶の光学軸とのなす角が自転により日周変動
- 発光量の日周変動を捉える

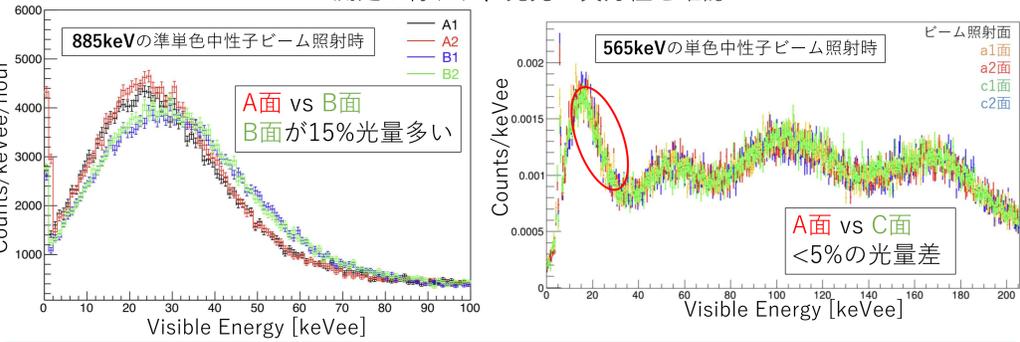
○ 異方性発光ZnWO₄結晶シンチレータ



- 密度7.87 g/cm³
- 単位格子は単斜晶系
- 光学軸に垂直なB面に粒子が入射する際、発光量が最大

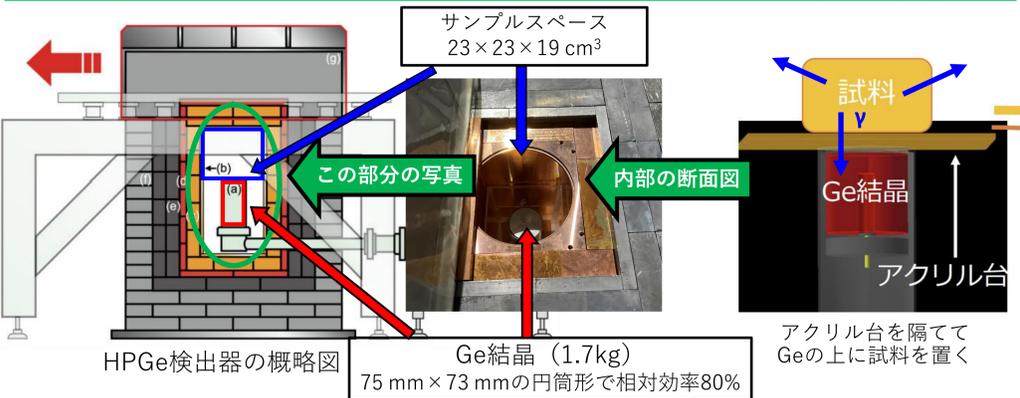


先行研究で産総研の中性子ビーム(885 keV, 565 keV)による酸素原子核反跳の測定が行われ、発光の異方性を確認



2. HPGe検出器

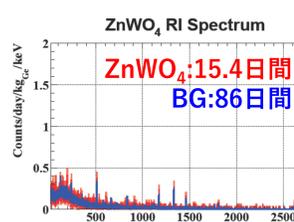
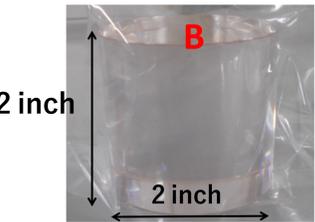
Ichimura et al., PTEP, vol.2023, no.12, p.123H01(2023)



ZnWO₄結晶、PMT、PMTのHVデバイス回路基板を測定

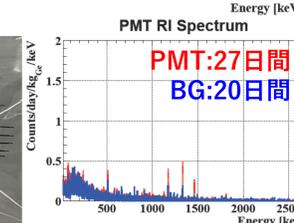
3. 検出器の放射性不純物量

ZnWO₄結晶(円筒)



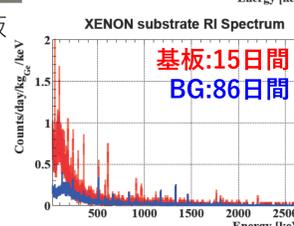
項目	放射能 [mBq]	上限値(90%CL) [mBq]
U系列上流	-7.7 ± 22.9	< 29.3
U系列中流	0.9 ± 0.7	< 1.8
Th系列	0.6 ± 0.7	< 1.5
⁴⁰ K	5.4 ± 3.5	< 9.9
⁶⁰ Co	-0.1 ± 0.3	< 0.3
¹³⁷ Cs	0.6 ± 0.4	< 1.0
Ac系列	-3.4 ± 2.6	< 3.3

PMT(R11410-20)



項目	放射能 [mBq]	上限値(90%CL) [mBq]
U系列上流	3.1 ± 3.6	< 7.7
U系列中流	0.9 ± 0.7	< 0.9
Th系列	0.6 ± 0.7	< 0.8
⁴⁰ K	11.7 ± 3.0	-
⁶⁰ Co	1.1 ± 0.3	-
¹³⁷ Cs	-0.5 ± 0.3	< 0.3
Ac系列	0.3 ± 0.9	< 1.4

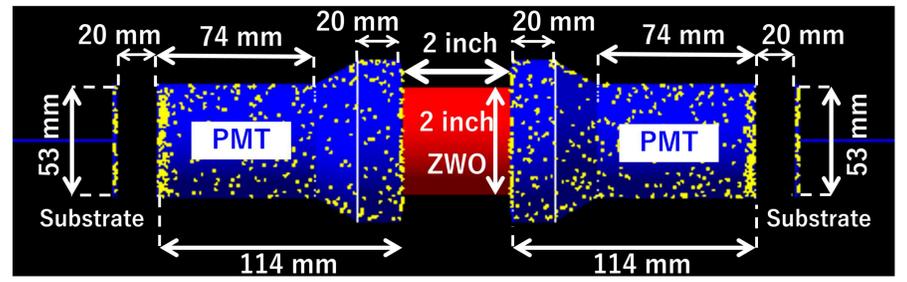
PMTのHVデバイス回路基板



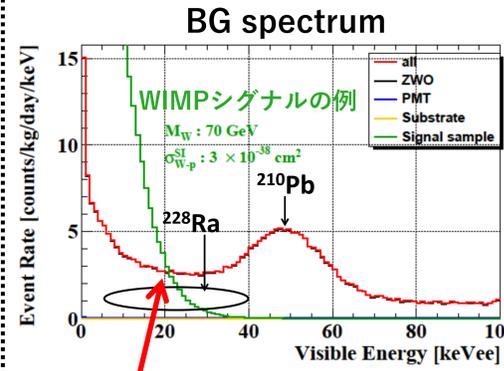
項目	放射能 [mBq]	上限値(90%CL) [mBq]
U系列上流	0.71 ± 0.33	-
U系列中流	0.26 ± 0.04	-
Th系列	0.11 ± 0.04	-
⁴⁰ K	0.01 ± 0.16	< 0.22
⁶⁰ Co	-0.30 ± 0.01	< 0.02
¹³⁷ Cs	-0.02 ± 0.02	< 0.02
Ac系列	-0.12 ± 0.07	< 0.08

4. (方向感度のない)暗黒物質探索感度

○ 測定値から予想されるBGスペクトル

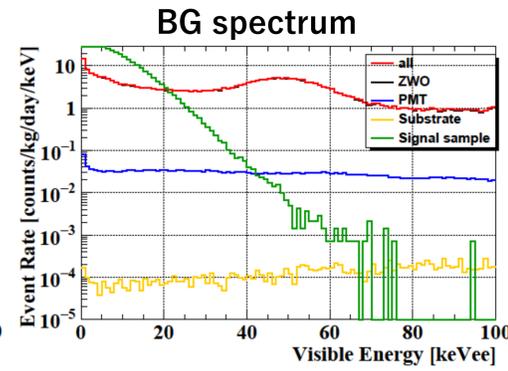


Geant4で作成した暗黒物質探索時の想定セットアップのジオメトリ
ZnWO₄とR11410-20、PMT基板から放射性核種を測定量だけ崩壊させる。※黄点:RIの崩壊点



Geant4を用いたシミュレーションで求めたBGエネルギースペクトル(放射能の中央値)

※トリガー効率は考慮していない

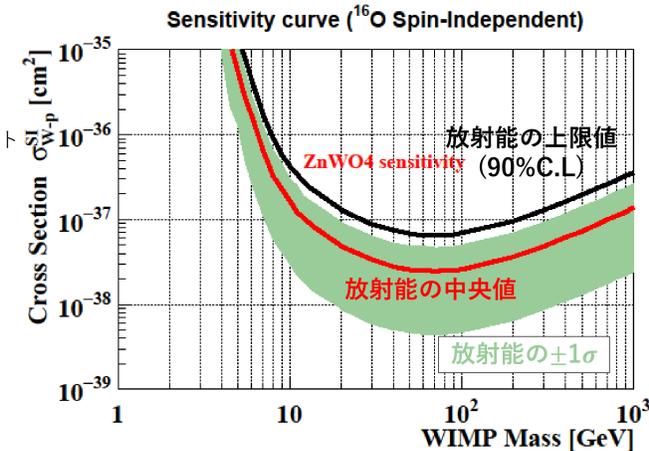


ZnWO₄のU系列とTh系列の寄与が大
PMTは⁴⁰Kのβ線による寄与が大

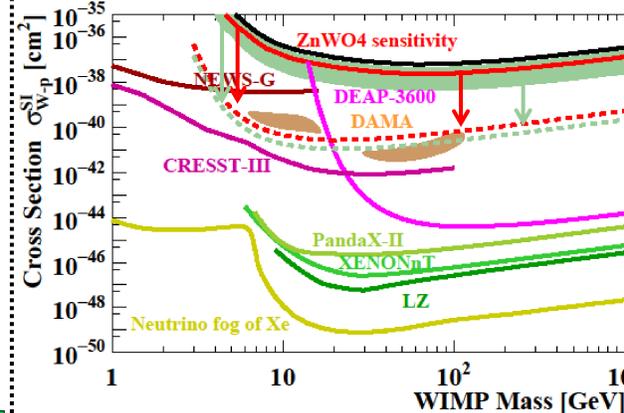
○ (方向感度のない)暗黒物質探索感度

- 閾値 20 keV_{ee}以上で、ある質量を仮定したWIMPのイベント数がBGのイベント数を超過する時、散乱断面積の上限値としてプロット
- WIMP-酸素原子核のスピンに依存しない相互作用のみ

※保守的にトリガー効率が十分100%であろう閾値として20 keV_{ee}を設定している。



Sensitivity curve (16O Spin-Independent)



- 低閾値化
→集光量を向上させる。
→フォトダイオードの使用も検討
- DAMAのNaIよりRIが1桁多い(中央値)
→より高純度のZnWO₄結晶の開発
- O原子核反跳のみで探索
→WとZnもターゲットにした探索

閾値2 keV_{ee}、RIを2桁除去でDAMA領域に感度

5. まとめ

- 方向感度検出器による暗黒物質シグナルの検出を目指す。
→発光異方性のあるZnWO₄結晶シンチレータを用いた検出器の開発を行っている。
- 検出器内の放射性不純物量の定量と方向感度のない暗黒物質探索感度の導出を行った。
 - HPGe検出器で検出器部材の放射性不純物量を測定した。
 - 測定量から予想したBGスペクトルをWIMPのシグナルと比較し、方向感度のない暗黒物質探索感度を計算し、WIMP質量70 GeVで断面積 $\sigma_{W-p}^{SI} = 2.5 \times 10^{-38} \text{ cm}^2$ と求めた。

今後の展望

- さらに集光量を向上させ低閾値での探索と、より高純度ZnWO₄の開発
- 超純水シールド内などでの実際のBG測定
- 方向感度による暗黒物質探索を実施する。