

南野彰宏(横国大) 2019年8月24日 新学術「地下宇宙」領域研究会



- D01班の研究概要
- ·環境中性子測定
- ラドン除去(竹内さん)
- ・レーザー共鳴イオン化
- •スクリーニング(市村さん)
- データベース(市村さん)
- (表面アルファ) (伊藤博士さん)
- ・まとめ

F		三五
Γ		

- ppb: parts-per-trillion: 10<sup>-9</sup>
  - Xe中にKrが1ppb = 10<sup>9</sup>個のXe原子に対してKrが1個
- ppt: parts-per-trillion: 10<sup>-12</sup>
- ppq: parts-per-quadrillion: 10<sup>-15</sup>

#### 神岡地下実験室

- 水換算での岩盤の厚さ(宇宙線μ遮蔽): 2700 m.w.e
  - 宇宙線µフラックスはグランサッソの約5倍



# D01班の研究概要



#### 各プロジェクトの数値目標

- 環境中性子
  - 液シン検出器の地下環境中性子測定の閾値を1 MeVまで下げるために α線BGを1/10以下に低減する。
- ラドン測定
  - Gd水中のラドン測定(濃縮(1週間)): 0.1 mBq/m<sup>3</sup>
  - Gd水中のラドン測定(リアルタイム(1日)): 0.5 mBq/m<sup>3</sup>
- レーザー共鳴イオン化
  - Xe中のKr 測定: O(10) ppqレベル
  - Rn共鳴イオン化の初観測
- スクリーニングシステム
  - ・世界一の低BG: 連続成分がO(10) counts/day/kg(Ge重さ)

# 環境中性子測定

#### 中性子測定コンソーシアム の活動を継続

#### 中性子測定コンソーシアム

- •新学術「地下素核」の領域をまたいだ研究
  - ・2015年5月に立ち当げ後、若手を中心に活動。
  - 中性子測定コンソーシアム  $\rightarrow$  CHI SO KO  $\rightarrow$  地底
  - メーリングリスト: chisoko アット list.waseda.jp
  - メンバー(30名): <u>http://bit.ly/30ifAuO</u>
    - メンバー随時募集中。気軽に田中さん(早大)までご連絡を。
       masashi.tanaka アット aoni.waseda.jp







#### 環境中性子測定の動機

- 極低バックグラウンド環境下での稀事象探索実験において環境
   中性子は主要な背景事象源のひとつであり、そのフラックス、
   エネルギー分布、時間依存、飛来方向等の詳細な理解が探索感
   度向上のためには重要となる。
- ・中性子測定コンソーシアムは、実験グループを跨ぎ測定技術・ 機材等を共有し、測定手法を確立したうえで、多地点・長期間 の測定を行いその結果を公表・共有することを目的としてい る。

#### <sup>3</sup>Heと中性子の反応断面積



- 検出原理
  - $^{3}\text{He} + n \rightarrow^{3}\text{H} + p + 0.76 \text{ MeV}$ 
    - 熱中性子(~0.025eV): 高い感度
    - 高速中性子: 減速材(ポリエチ)で熱化し検出
      - スペクトルを仮定し、Geant 4で検出効率の見積り(不定性大)









. 1

鈴木さん修論(早稲田、2016年度)

液体シンチレーター検出器



#### • 検出原理

p-キシレン

- 液シンBC-501A: 溶媒(キシレン)+ 発光物質 + 波長変換剤
- 中性子が陽子を反跳したエネルギーをシンチ光で観測。
- 波形弁別で $\gamma$ 線( $\beta$ 線) BGは低減できるが、 $\alpha$ 線BGはきつい。



## 中性子測定コンソーシアムの成果 (一部)

- <sup>3</sup>He比例計数管による神岡地下の環境中性子測定
  - 詳細は水越さんのポスターを参照
    - 論文: https://doi.org/10.1093/ptep/pty133

4つとも<sup>3</sup>He比例計数管の測定

Flux (×10-6 cm-2 s-1)	Thermal (<0.5 eV)	Non-thermal	
Kamioka (This result, Mizukoshi)	7.9 ± 0.2 +0.7 -0.7	$15.6 \pm 0.5 + 1.2$	
Kamioka (Minamino 2004)	8.26 ± 0.58	11.5 ± 1.2	
Gran Sasso (A. Lindi 1988)※	13.3 ± 1.5	10.2 ± 1.1	
LSM (K. Eitel 2012)※	14.3 ± 1.3	4.2 ± 2.8	

 $\times$  They used the different definition of flux. We compared in the same definition.

グランサッソと神岡は同程度(岩盤中のU/Thの  $(\alpha,n)$ +自発核分裂が主なソース)

#### 鈴木さん修論(早稲田、2016年度)

## 中性子測定コンソーシアムの成果 (一部)

- 液シン検出器による神岡地下の環境中性子測定
  - 神岡地下は地上の約1/1000
  - α線BGのためUnfoldingが10MeV以下で困難。
  - α線BGを1/10以下に低減したい。



液シン(BC501A, 4.37kg) PMT(浜ホト H6527)





#### 環境中性子測定の目標とプラン

- 目標
  - •多地点(神岡、グランサッソ)・長期間(数年)・<sup>3</sup>He+液シンで測定
  - シミュレーションとの比較による体系的理解





#### 液シン検出器低BG化の速報

- •低BG化:ステンレス容器(内側反射材なし)+液シンの純化
  - Bi-Poのrateは<sup>222</sup>Rnの半減期で減少後、4mBqで下げ止まり。
    - 今のところ低BG化前とオーダーで同じ。更なる低BG化が必要。



# レーザー共鳴イオン化

#### レーザー共鳴イオン化の目標とプラン

- 目標
  - O(10) ppqの感度でのXe中のクリプトン測定
  - Rnの共鳴イオン化信号の初観測と元素選択的Rn除去
  - 硫酸ガドリニウム水中のGd<sup>3+</sup>イオン発光寿命測定

	2019	2020	2021	2022	2023
	装置移設・	 整備 クリフ	。 。トン測定		
レーザー共鳴 イオン化	東大東海キャ	ンパス	ラドン測定		
			Gd <sup>3+</sup> イオン発光測定		

図は Y. Iwata, H. Sekiya, C. Ito, NIM A 797 (2015) 64-69 から

#### <sup>85</sup>Kr

- 液体Xeによる暗黒物質探索のBG(Q値687keVのβ崩壊)
  - •工業的にXeガスを生成するときにKrがO(10~100) ppbレベルで混入
  - ${}^{85}$ Kr/Kr ~  $10^{-11}$ の同位体比で混入
  - XENONntでは蒸留でKr混入率をO(10) ppqレベルまで低減



Y. Iwata, H. Sekiya, C. Ito, NIM A 797 (2015) 64-69.

20

#### レーザー共鳴イオン化によるKr測定

• Arガス、Xeガス中のKrを0.4、0.8 pptまで測定成功

測定ガスをPulsed Supersonic Valve (PSV) でパルスで導入、
 212.6 nmのパルスレーザー(~10mJ/pulse, 幅~5ns, 10Hz)でイオン化、



Y. Iwata, H. Sekiya, C. Ito, NIM A 797 (2015) 64-69.

※1 Eur. Phys. J. C (2014) 74:2746

#### レーザー共鳴イオン化によるKr測定

- •利点:元素選択的イオン化によりBGが少ない
- 欠点: 検出効率が低い(効率~10<sup>-5~-6</sup>)ため測定感度がO(1) ppt
- 目標: 「ガスクロ+MS測定」 ※1の感度(8 ppq)を超える
  - Kr濃縮の導入 + TOF-MFの排気をCold-fingerで回収



#### レーザー共鳴イオン化によるRn測定

- Rn測定
  - ・共鳴4波混合により145.2 nmの真空紫外光レーザーを生成。
  - まずはRnの共鳴イオン化信号の初観測
  - •次に電場等で元素選択的Rn除去(Xeの干渉がない)
  - この真空紫外光レーザー生成技術はKr測定の感度改善にも応用化



#### レーザー共鳴イオン化によるGd<sup>3+</sup>発光測定

- SK-GdでのGd<sup>3+</sup>発光の寿命を測定
  - SK-Gd: 硫酸ガドリニウム濃度 0.02%(1期)~0.2%(2期)
  - $Gd^{3+}$ :  ${}^{6}P_{7/2} \rightarrow {}^{8}S_{7/2}$  (312 nm)
  - Nd:YAGレーザー 第4高調波(266 nm)で励起 → 分光器 → PMT検出

Table 2



$[N_3^-]$ (mol 1 <sup>-1</sup> )	Eu <sup>3+</sup> (H <sub>2</sub> O)	$Eu^{3+}$ (D <sub>2</sub> O)	$Gd^{3+}$ (H <sub>2</sub> O)	Tb <sup>3+</sup> (H <sub>2</sub> O)
0	112.4±0.7	4020.0±6.0	$1480.0\pm20.0$	442.0±2.0
0.00001			$1380.0 \pm 14.2$	
0.00005			$1025.0 \pm 11.6$	
0.0001		$3880.0 \pm 5.0$	$850.0 \pm 11.2$	
0.0002			$548.0 \pm 9.3$	
0.0004			$215.0 \pm 3.2$	
0.0006			$170.0 \pm 2.6$	
0.0008			$152.0 \pm 2.1$	
0.0010		911.0±3.6	$136.0 \pm 1.4$	
0.05		191.3±0.9		
0.01	$111.4 \pm 0.6$	95.4±0.7		$441.0 \pm 1.8$
0.02	$94.1 \pm 0.4$	$50.3 \pm 0.6$		435.4±1.8
0.04	$44.8 \pm 0.4$	$31.5 \pm 0.3$		$416.7 \pm 1.4$
0.06	31.6±0.2	$22.0 \pm 0.2$		367.7±1.5
0.08	$24.1 \pm 0.2$			313.8±1.1
0.10	$20.5 \pm 0.1$	$16.0 \pm 0.1$		$244.2 \pm 1.2$
0.15				$139.7 \pm 1.4$
0.20	$11.6 \pm 0.1$			92.0±0.0
0.30				65.2±0.6
0.40				$50.0 \pm 0.6$
0.50	$6.34 \pm 0.06$			$34.7 \pm 0.5$

Stefan Lis et al., Journal of Alloys and Compounds **323-324** (2001) 125-127.



・地下実験の共通BGを、グループの垣根を超えて連携し、早期に測定・削減、技術を共通基盤化、成果を世界に発信する。



#### メーリングリスト

- メーリングリスト: lowbg\_d01 アット googlegroups.com
  D01班レギュラーミーティングの案内等に利用。
- メンバー(19名): <u>http://bit.ly/30uRoWg</u>
  - メンバー随時募集中。気軽に南野(横国大)までご連絡を。
     minamino-akihiro-nxアット ynu.ac.jp
  - Wikiで情報共有

# Backup

## 目標とする不純物量の上限

- KamLAND-Zen (A01)
  - U:, Th:
- CANDLES (A02)
  - U:, Th:
- XENONnT (B01)
  - U: , Th: , Kr: , <sup>222</sup>Rn:
- NEWAGE (B02)
  - U: ~5 ppb, Th: ~0.2 ppb
- SK-Gd (C01)
  - $^{222}$ Rn: ~0.1 mBq/m<sup>3</sup> (in water)

#### Gd<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>含有水チェレンコフ検出器にお けるGd<sup>3+</sup>発光事象

- •Gd3+の発光波長~312 nmが、チェレンコフ光の測定波長領域 に入る点と、発光寿命が長ければ、遅延同時計測の際のバック グラウンド要因になる可能性がある点がポイント
- 発光波長は大体予想がついているので、色々な試料条件における発光寿命の測定がメイン。
- 発光なので、測定可能な波長域は励起光源(266 nm)より長波長で、分光器の測定範囲(分光器に依存、通常は十分に広い)に依存。
- バックグラウンドは、Gd3+イオンの他の発光波長からの干渉、PMT ノイズあたりですが、Gd3+濃度を上げて分光器の分解能がそれほど悪くなければ、あまり気にならないはず。

計画

