

DAMA実験における中性子 バックグラウンドの季節変動2

名古屋大学

久野光慧 / 森下美沙希

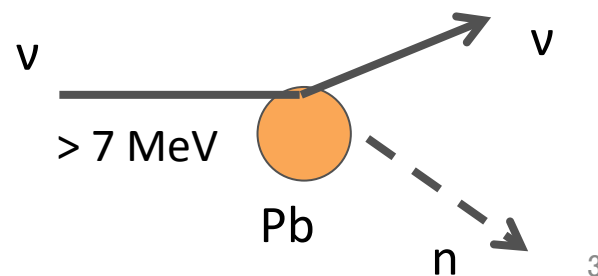
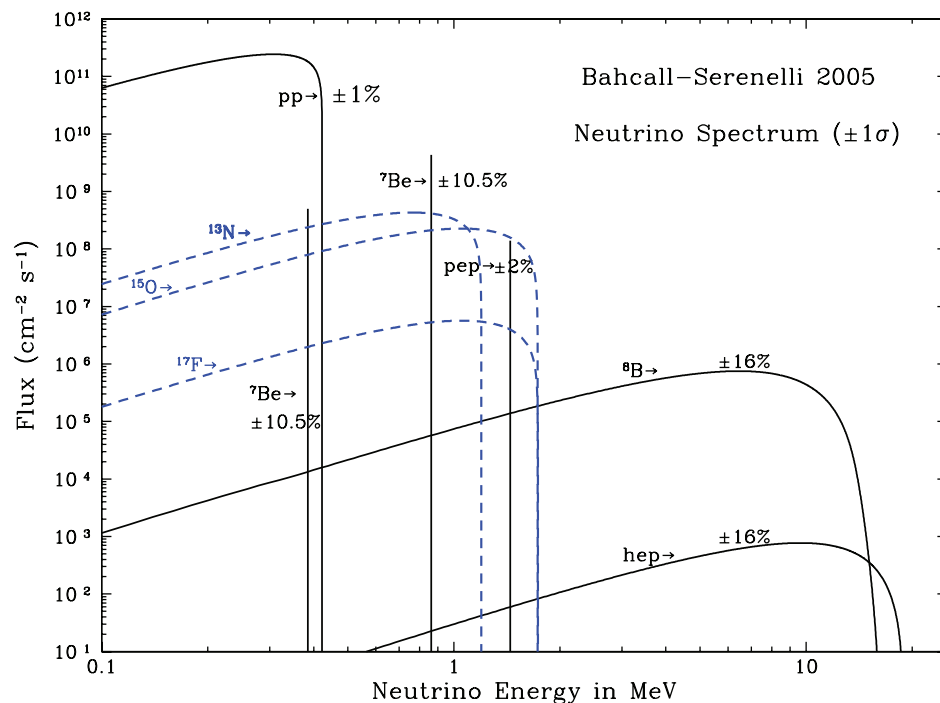
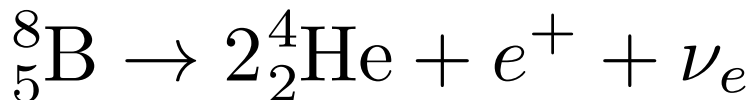
2015/5/17

内容

- muonとneutrinoはDAMAの示すシグナルとなるような十分なneutronをつくるか
- DAMAに注目した点
- neutronとdark matterの区別

neutron 破碎

- detectorの周りのシールドとしてPbがよく使われる
- muon、neutrinoがPbに衝突することでneutronをつくる
- neutrinoのエネルギー $E_\nu > 7 \text{ MeV}$ で ^{208}Pb からneutronがでる
- ^8B 太陽neutrinoのエネルギーは7 MeVより大きい値をもつ



neutron event rate

neutronの比率をR

$$R \sim \Phi \sigma n V$$

^8B 太陽neutrinoのfluxと ^{208}Pb をターゲットとしたcross sectionより

$$\begin{aligned}\Phi_\nu &\sim 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \\ \sigma_\nu &\sim 10^{-41} \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$R_\nu \sim 10^{-35} n V \text{ neutrons/sec}$$

muonについて

$$\begin{aligned}\Phi_\mu &\sim 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \\ \sigma_\mu &\sim 10^{-26} \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$R_\mu \sim 10^{-34} n V \text{ neutrons/sec}$$

これより、neutron比の関係は

$$\frac{R_\nu}{R_\mu} \sim 0.1$$

Φ : flux
 σ : cross section
 n : ターゲットの数密度
 V : 体積

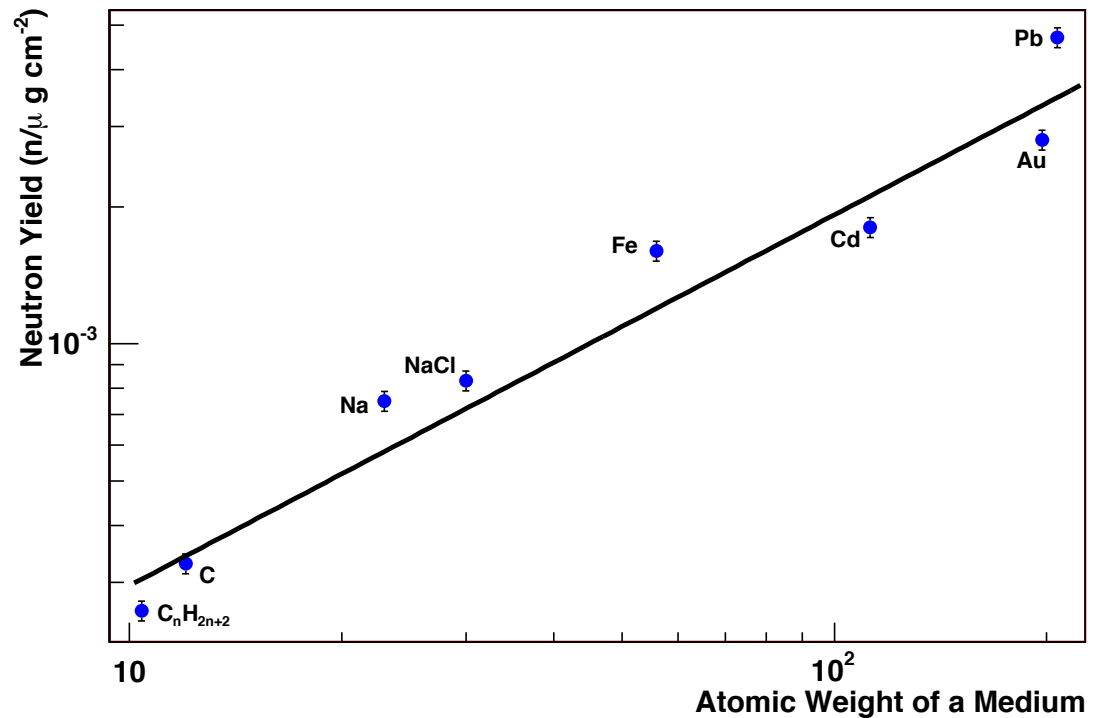
DAMAとの対応

- Pbについて、数密度 $n \sim 10^{29} \text{ m}^{-3}$ 、ターゲットの体積 $V \sim 1000 \text{ m}^3$ とする
 - $R_v \sim 100 \text{ neutrons/days}$
 - $R_v + R_\mu \sim 1000 \text{ neutrons/days}$
 - $\sim 1 \text{ m}^3$ of lead is present in the DAMA/LIBRA shield ?????
- これはDAMAの検出比と似ている
 - 250 kg NaI(Tl), recoil energy 2-6 keV
 - $3.5 \times 10^6 \text{ events/keV}$, Exposure 1.33 ton \times yr
 - $\sim 2.6 \times 10^3 \text{ event/keV/kg/yr} \sim 1700 \text{ event/keV/day} \sim 7000 \text{ event/day} \text{ ?????}$
 - $(0.0112 \pm 0.0012) \text{ cpd/kg/keV} \sim 2.5 \text{ cpd/keV} \sim 10 \text{ cpd} \text{ ?????}$
- muonによるneutronの(n,p)反応のみを考えたときのmean free pathは $\lambda = 2.6 \text{ m}$
 - このときの有効体積は $V_{\text{eff}} \sim 450 \text{ m}^3$ 程度と見積もられる
- これはDAMAのシグナルを説明するために必要な体積Vに近い
- neutron生成の全ての過程を考えている訳ではない
 - $V \sim 1000 \text{ m}^3$ をより小さく補正できるかもしれない

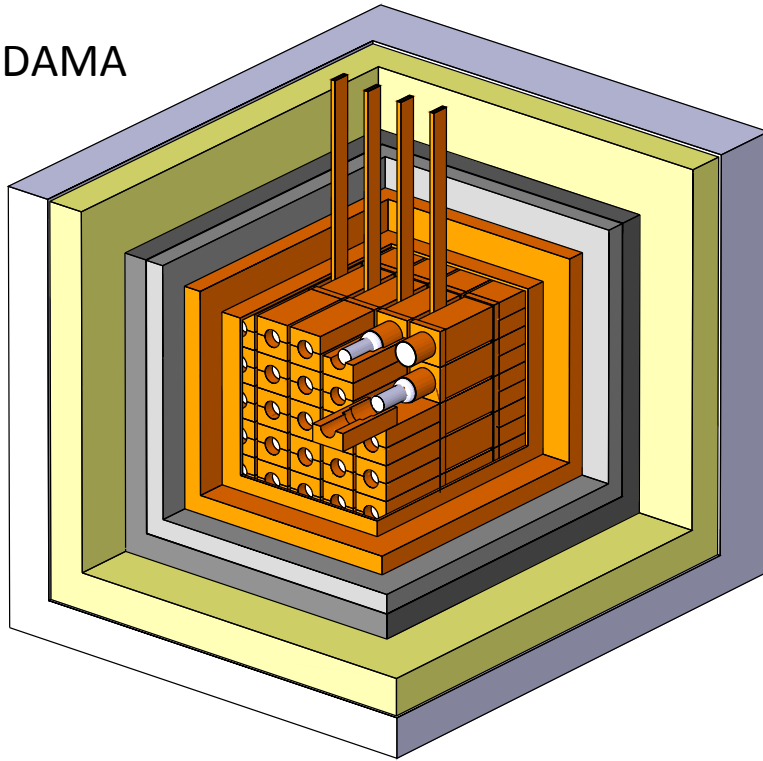
⇒muon+neutrino modelでDAMAのシグナルを説明できるかも

DAMAに注目した点

- シールドの構造
- しきい値

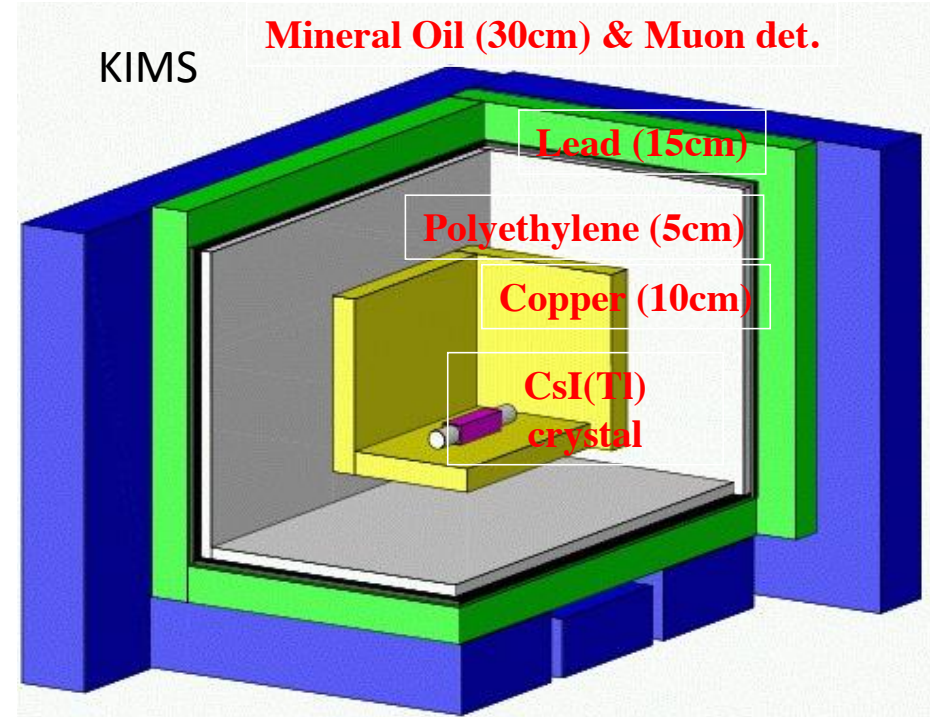


DAMA



KIMS

Mineral Oil (30cm) & Muon det.

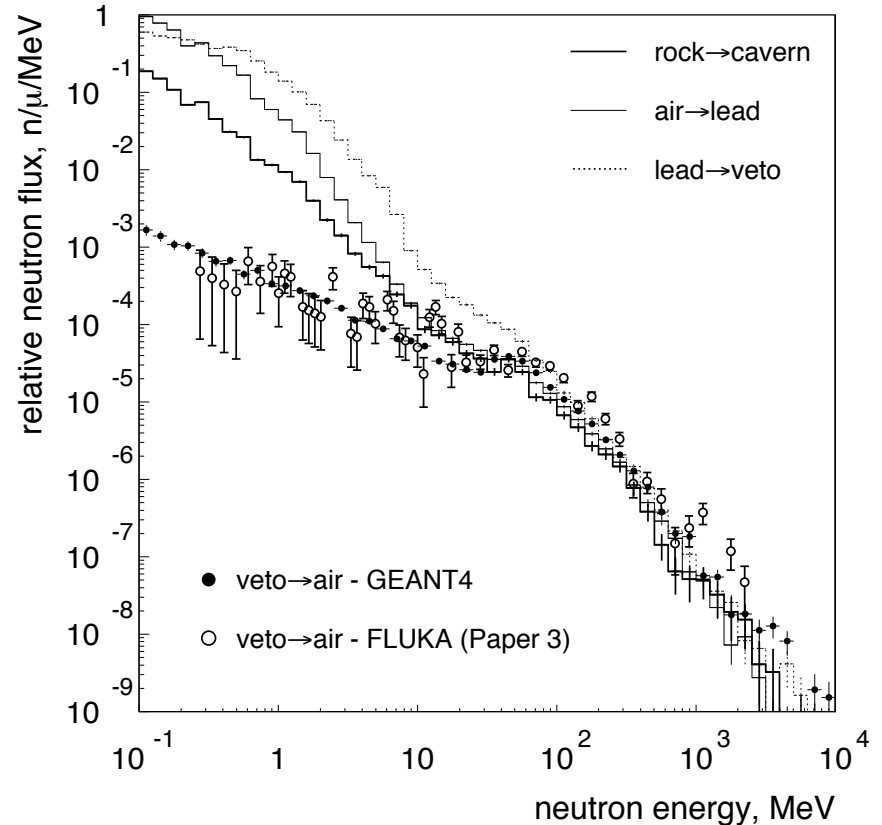


Cu/Pb/Cd-foils/polyethylene/paraffin/...

- neutronを遮断するためにPolyethyleneがよくきく
- DAMAのシールドの構造をみると、neutronを多くつくるPbの外側にPolyethyleneのシールドがある
- DAMAの構造ではPbからでるneutronを遮断できない可能性がある

しきい値

- muonが引き起こすneutronのスペクトルは低いエネルギーで現れることが知られている
- muonとneutrinoが引き起こすneutronは10-100 keVの運動エネルギーをもつ
- neutronがNaを散乱した時のrecoil energyは2-6 keV
- DAMAはdark matterによるrecoil energyを2-6 keVで見ている



⇒neutronとdark matterのシグナルを区別できない

区別の方法

- 2-4 keVのphaseのずれ
- 場所依存

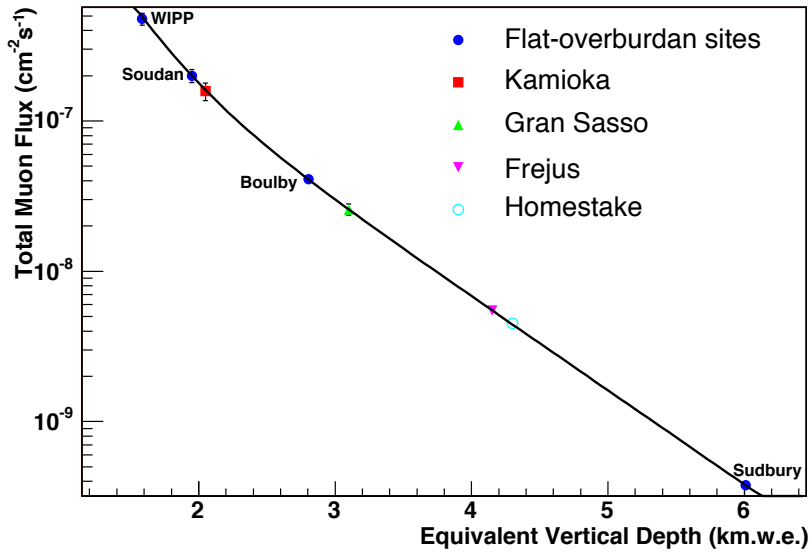
phaseのずれで区別

	A (cpd/kg/keV)	$T = \frac{2\pi}{\omega}$ (yr)	t_0 (days)	C.L.
DAMA/LIBRA-phase1				
2-4 keV	(0.0178 ± 0.0022)	(0.996 ± 0.002)	134 ± 7	8.1σ
2-5 keV	(0.0127 ± 0.0016)	(0.996 ± 0.002)	137 ± 8	7.9σ
2-6 keV	(0.0097 ± 0.0013)	(0.998 ± 0.002)	144 ± 8	7.5σ
DAMA/NaI & DAMA/LIBRA-phase1				
2-4 keV	(0.0190 ± 0.0020)	(0.996 ± 0.002)	134 ± 6	9.5σ
2-5 keV	(0.0140 ± 0.0015)	(0.996 ± 0.002)	140 ± 6	9.3σ
2-6 keV	(0.0112 ± 0.0012)	(0.998 ± 0.002)	144 ± 7	9.3σ

- ここまではrecoil energyが2-6 keVの場合を考えてきた
- 2-4 keVのエネルギーを使ったDAMAの見せたbest-fit phaseは～10daysだけ前にずれる
- このずれをmuon+neutrino modelで説明できるれば信憑性がある

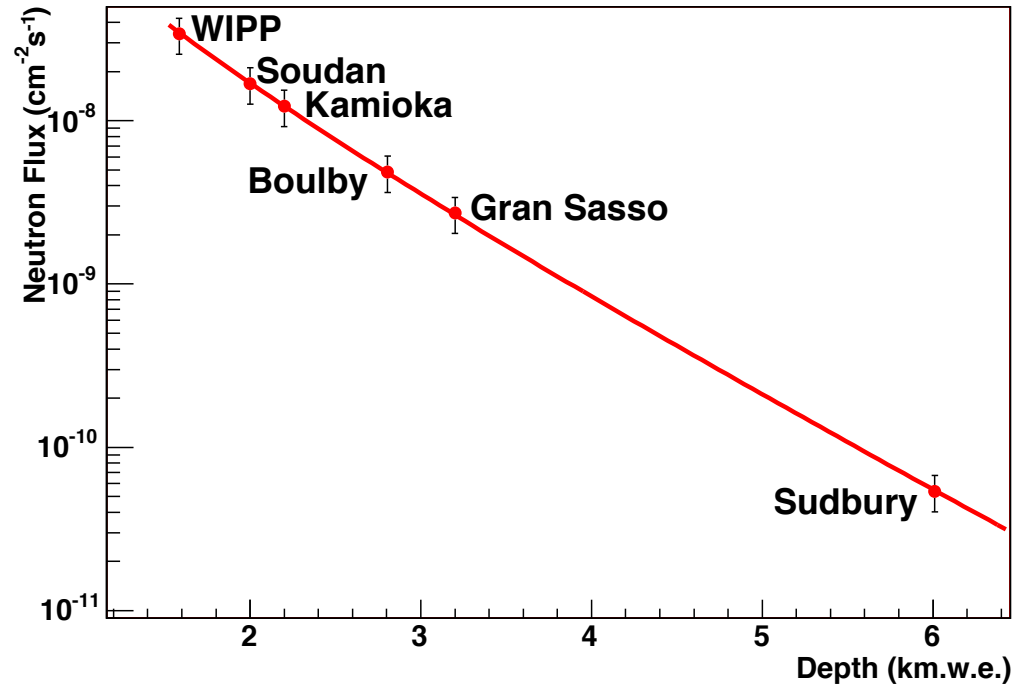
⇒neutronとdark matterの区別できるかも

場所で区別



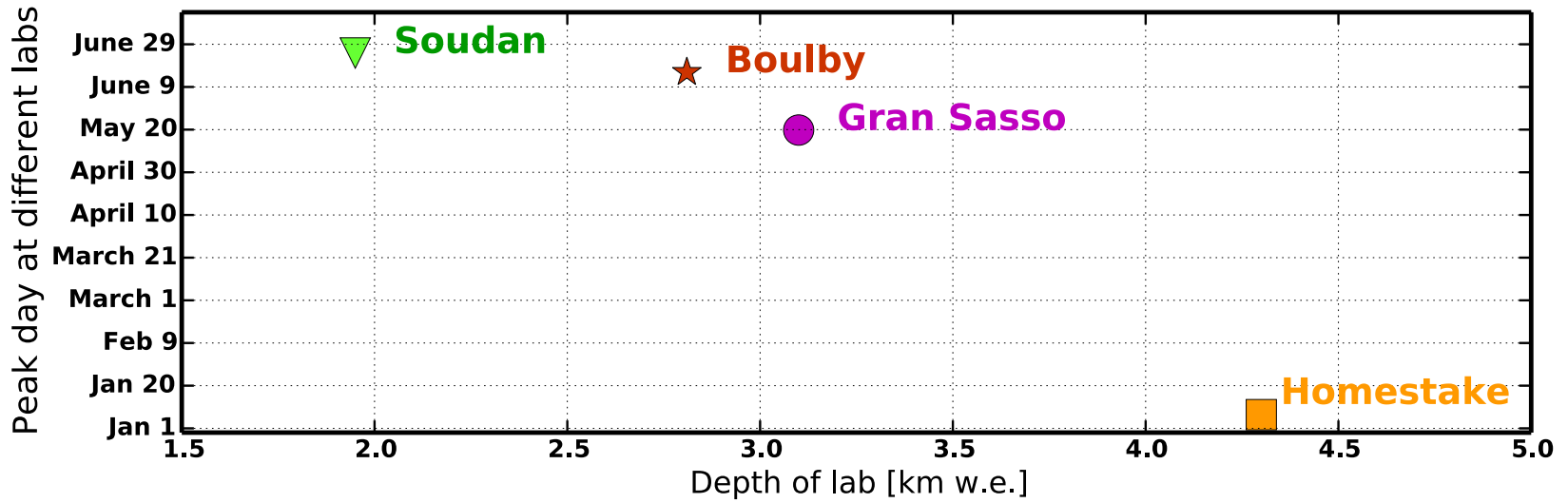
Site	Total flux $\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$	Depth km.w.e.
WIPP	$(4.77 \pm 0.09) \times 10^{-7}$ [6]	1.585 ± 0.011
Soudan	$(2.0 \pm 0.2) \times 10^{-7}$ [15]	1.95 ± 0.15
Kamioka	$(1.58 \pm 0.21) \times 10^{-7}$ [8]	$2.05 \pm 0.15^\dagger$
Boulby	$(4.09 \pm 0.15) \times 10^{-8}$ [9]	2.805 ± 0.015
Gran Sasso	$(2.58 \pm 0.3) \times 10^{-8}$ [this work]	$3.1 \pm 0.2^\dagger$
	$(2.78 \pm 0.2) \times 10^{-8}$ [16]	$3.05 \pm 0.2^\dagger$
	$(3.22 \pm 0.2) \times 10^{-8}$ [17]	$2.96 \pm 0.2^\dagger$
Fréjus	$(5.47 \pm 0.1) \times 10^{-9}$ [14]	$4.15 \pm 0.2^\dagger$
	$(4.83 \pm 0.5) \times 10^{-9}$ [this work]	$4.2 \pm 0.2^\dagger$
Homestake	$(4.4 \pm 0.1) \times 10^{-9}$ [this work]	4.3 ± 0.2
Sudbury	$(3.77 \pm 0.41) \times 10^{-10}$ [12]	6.011 ± 0.1

[†] Equivalent vertical depth with a flat overburden determined by the measured total muon flux.



- muonのfluxは実験場所の深さで異なる
- 深いほど、neutronのfluxが少ない

場所で区別



- 実験場所の違いでneutrino+muon modelのphaseがずれる

⇒neutronとdark matterを区別できるかも

Summary

- muonとneutrinoはdetectorの周りのPbでneutronをつくる
- muon+neutrino modelはDAMAのシグナルとよくあう
- このmodelのDAMAのシグナルの区別の方法として、phaseのずれと場所依存を考える