

“Fitting the modulation in DAMA with neutrons from muons and neutrinos”

(Jonathan H. Davis , ArXiv 1407.1052(2014))

についてのまとめ

- I. INTRODUCTION
- II. ANNUAL MODULATION OF NEUTRINOS, MUONS AND DARK MATTER
- III. RATES OF COSMOGENIC NEUTRONS
- IV. HIGHE-ORDER MODES AND FUTURE TESTS
- V. CONCLUSION

名古屋大学

理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻

基本粒子研究室(F研)

久野 光慧 森下 美沙希

DAMA/LIBRA実験について

<目的>

銀河ハロー起源のダークマターを見つける

←keV-energyで反跳された原子核を見つける

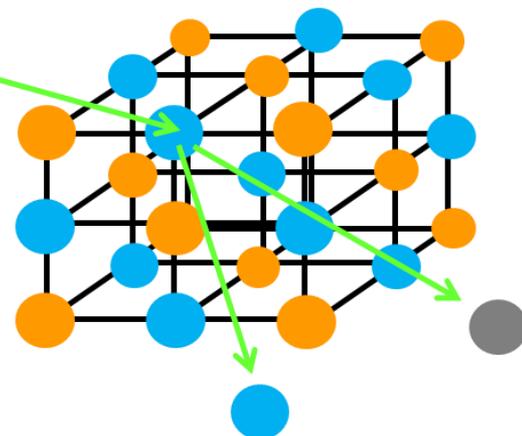
Naを検出器に使う

■ 250kg

■ Gran Sassoの地下に設置

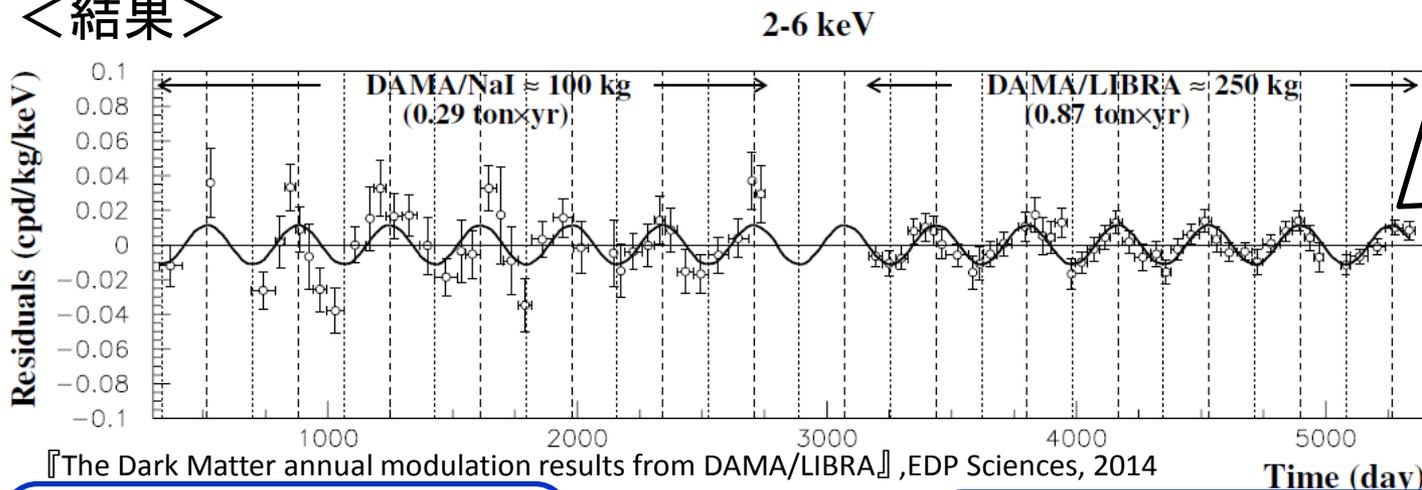
WINP

● ... Na
● ... I



Recoiled nucleus

<結果>



$$A \cos(\omega(t - t_0))$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$A = (0.0116 \pm 0.0013) \text{ cpd/kg/keV}$$

$$T = (0.999 \pm 0.002) \text{ year} \approx 1 \text{ year}$$

$$t_0 = (146.7 \pm 7) \text{ day} \approx 152.5 \text{ day (June 2nd)}$$

『The Dark Matter annual modulation results from DAMA/LIBRA』, EDP Sciences, 2014

DAMA/NaI

1年周期

6月2日あたりにピーク

過去のデータと
矛盾はない

DAMA/LIBRA

季節変動を9.2σの優位性で検出

1年周期、2%の変動幅、5月下旬にピーク

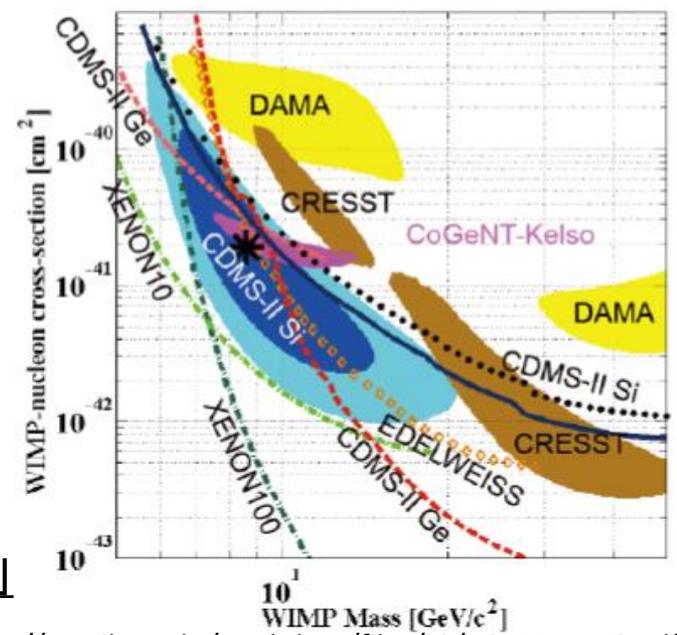
この季節変動はDark Matter(DM)起源と主張

しかし...

DAMAの季節変動から求められる

- Dark Matterと核子の断面積 $\sim 2 \times 10^{-40} \text{cm}^2$
- DMの質量 $\sim 10 \text{GeV}$

その他の多くの実験データに合っていない →



http://cup.ibs.re.kr/workshop/files/s3/HSLEE_KIMS.pdf

本論文の主張 =

「既知のプロセスでDAMAの季節変動は説明可能」

- cosmic muon
- solar neutrino (^8B)

Gran Sasso地下にある岩
 ディテクター周囲のシールド
 の中で衝突反応を起こして中性子を出す
 ⇒ DAMAは中性子を検出している

季節変動がある

- muon flux ⇒ 大気温度に依る
6月21日あたりにピーク
(DAMAのピークの約30日後)
- solar neutrino flux ⇒ 太陽-地球間距離の変化
1月4日あたりにピーク
(ピーク時周辺で、地球が太陽に最も近づく)

高エネルギーのmuonは、
 冬場はfluxが低く、夏場は高い(2%の変動)

地球が太陽に最も近くなるときに
 fluxは最も高くなる

II. ANNUAL MODULATION OF NEUTRON, MUONS AND DARK MATTER

導入するモデル = cosmic muon と solar neutrino の flux を組み合わせたもの
 ⇒ DAMA の季節変動の best-fit と比較
 ⇒ DM の signal が、既知のプロセスで説明できるか検証

< cosmic muon flux の式 >

$$\Phi_{\mu} \approx \Phi_{\mu}^0 + \Delta\Phi_{\mu} \cos(2\pi(t - \varphi_{\mu})/T_{\mu})$$

Borexino 実験から...

$$\frac{\Delta\Phi_{\mu}}{\Phi_{\mu}^0} = 0.0129 \pm 0.0007$$

$$T_{\mu} = 366 \pm 3 \text{ days}$$

$$\varphi_{\mu} = 179 \pm 6 \text{ days}$$

Φ_{μ}^0 : フラックスの平均値
 T_{μ} : 周期 φ_{μ} : 位相

⇒ ミューオンの季節変動のピーク =
 6月21日 (DAMA のピークの約30日後)

< solar neutrino flux の式 >

$$\Phi_{\nu} = \frac{R}{4\pi r^2(t)} \approx \frac{R}{4\pi r_0^2} \left[1 + 2\epsilon \cos\left(\frac{2\pi(t - \varphi_{\nu})}{T_{\nu}}\right) \right]$$

Borexino 実験から...

${}^7\text{Be}$ $T_{\nu} = 1.01 \pm 0.07 \text{ years}$
 $\varphi_{\nu} = 11.0 \pm 4.0 \text{ days}$

Super-Kamiokande 実験から...

${}^8\text{B}$ $\varphi_{\nu} = 3 \text{ days}$

flux

$$(2.38 \pm 0.05(\text{stat.})_{-0.15}^{+0.16}(\text{sys.})) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

R : ニュートリノの生成割合
 $r(t)$: 太陽-地球間距離
 $\epsilon = 0.01671$

t : 1月1日からの日数
 r_0 : 太陽-地球間平均距離

T_{ν} : 周期
 φ_{ν} : 位相 (1月4日に最も $r(t)$ が小さくなる $\Rightarrow \varphi_{\nu} = 3 \text{ days}$)

Dark Matterの季節変動

Dark Matterが反応する確率

$$\frac{dR}{dE} = \frac{\rho_{DM}}{m_N m} \int d^3v \frac{d\sigma}{dE} v f(\vec{v} + \vec{v}_E(t))$$

ρ_{DM} : DM密度

m_N : 標的の核子の質量

m : DMの質量 $\sim 10\text{GeV}$

$\frac{d\sigma}{dE}$: 断面積

$f(\vec{v})$ = 銀河系のDMの速度分布 (Maxwell-Boltzmann分布で仮定)

$\vec{v}_E(t)$ = 地球静止系でのDMの速度 \leftarrow DMの季節変動の要因

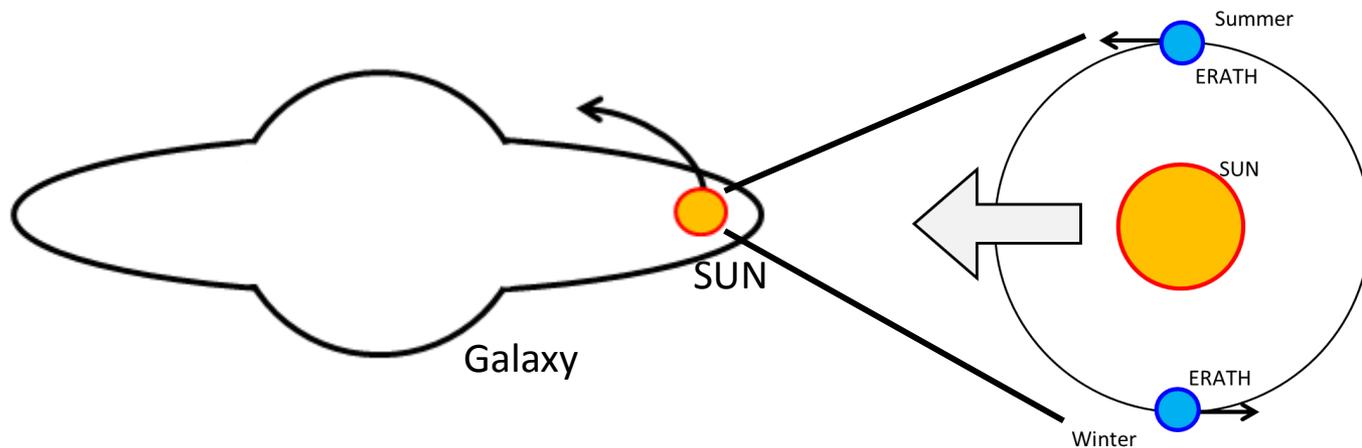
$$\vec{v}_E(t) = \vec{v}_0 + \vec{v}_{\text{pec}} + \vec{u}_E(t)$$

$$\vec{v}_0 = (0, 220, 0) \text{ km s}^{-1}$$

$$\vec{v}_{\text{pec}} = (11.1 \pm 1.2, 12.1 \pm 2.0, 7.3 \pm 0.6) \text{ km s}^{-1}$$

$\vec{u}_E(t)$: 太陽に対する地球の相対速度

DMのbest-fitの $\chi^2 = 69.76$ (自由度は不明)



DAMAの季節変動のシグナル ⇒ ミューオンやニュートリノのシグナル

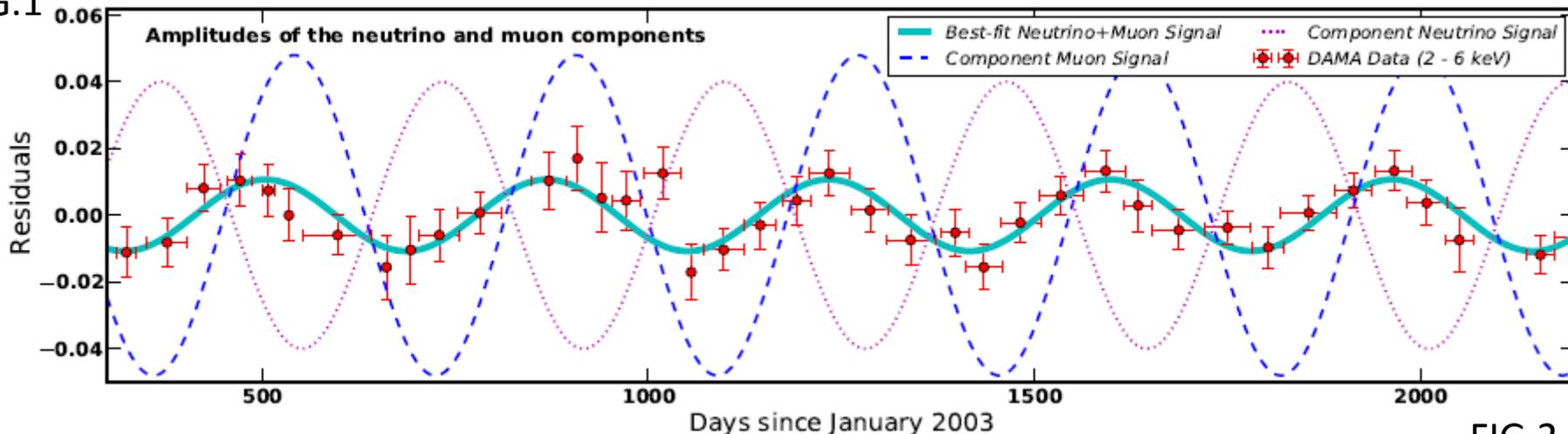
$$\Rightarrow A_{\mu+\nu} = A_{\nu} \cos(\omega(t - \varphi_{\nu})) + A_{\mu} \cos(\omega(t - \varphi_{\mu}))$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad A_{\nu}, A_{\mu}: \text{振幅} = \text{modulation 'residual'}$$

A_{ν}, A_{μ} : free parameter、 $T = 365$ days

1. $\varphi_{\nu} = 3$ days (Super-Kamiokande実験の ^8Be neutrorinosの値)、 $\varphi_{\mu} = 179$ days
2. $\varphi_{\nu} = 11.0$ days (Borexino実験の ^7Be neutrorinosの値)、 $\varphi_{\mu} = 179$ days

FIG.1



1の場合 $A_{\nu} = 0.039, A_{\mu} = 0.047$ ($\chi^2 = 66.74$)

2の場合 $A_{\nu} = 0.022, A_{\mu} = 0.030$

振幅の信頼性を示す分布図

★: best-fit point

FIG.2

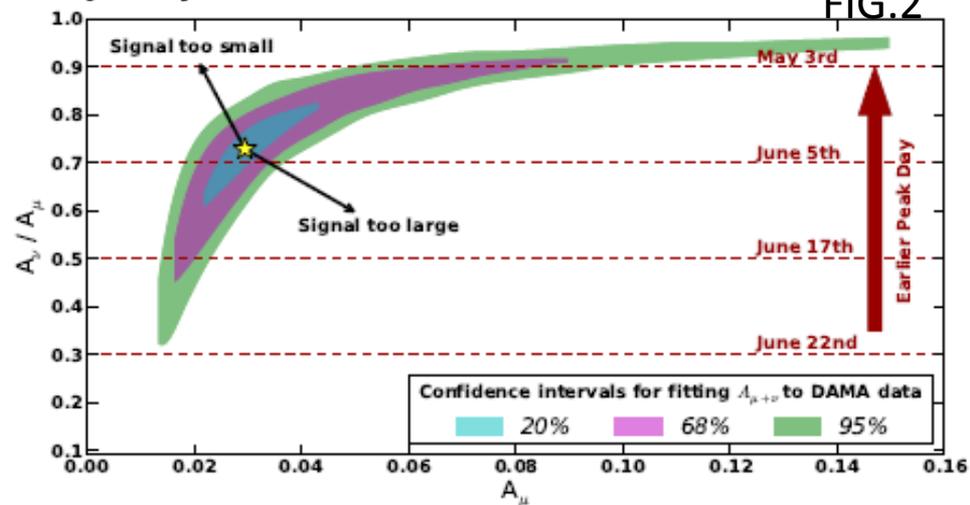
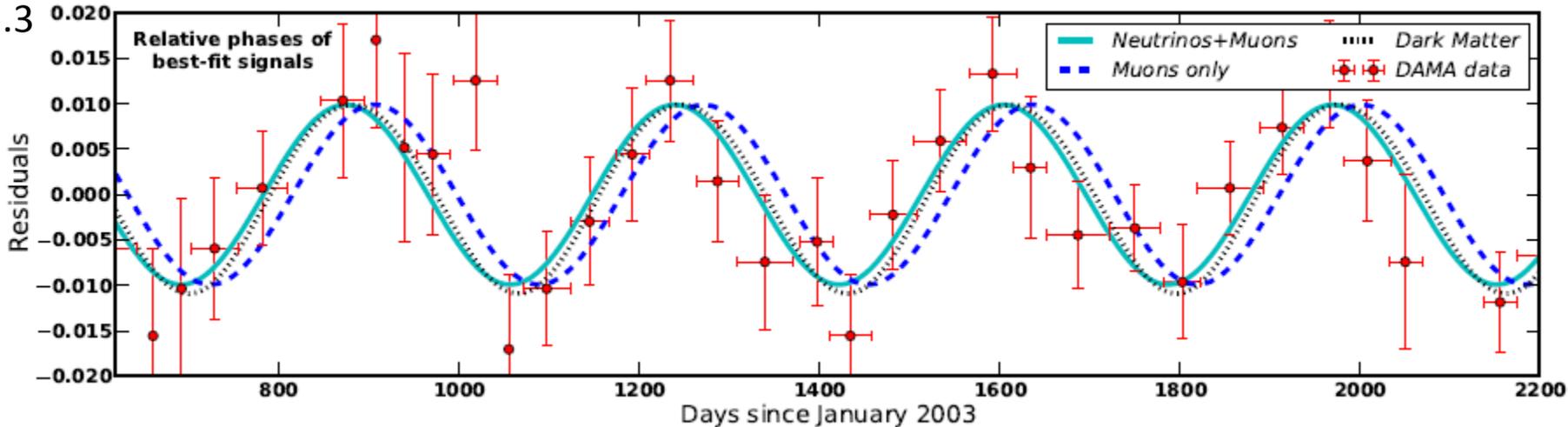


FIG.3



1の振幅 ($A_\nu = 0.039, A_\mu = 0.047$) を使用

free parameterの数が違うため、複数の検定方法を用いる

	Numbers of free parameters(k)	The number of data-points(n)	χ^2	AIC $= \chi^2 + 2k$	BIC $= \chi^2 + k \ln n$
Muons + Neutrinos	2	80	66.74	70.74	75.50
Dark Matter	1	80	69.76	71.76	74.14
Muons-only	1	80	90.39	92.39	94.77

Muons + Neutrinos とDark Matter の値は非常によく似ている

DAMAのデータを説明するのに、Dark MatterモデルとMuons+Neutrinosモデルはどちらも同じようにデータをよく再現している