

ガスTPCを用いたKK-axionの探索

池田 智法
神戸大学

NEWAGE

- NEWAGE実験はガス検出器を用いた方向に感度を持った暗黒物質探索実験
- ターゲットはWIMP
- 他の暗黒物質候補は探せないのか..



ガスTPCを用いて太陽KKアクシオンを探そうとした人たちがいた

Searches for solar Kaluza-Klein axions with gas TPCs

B. Morgan, et.al

Astroparticle Physics 23(2005)287-302

シミュレーション止まりの論文ではあるが、ガス検出器の特徴を活かした解析方法によって他の検出器より良い感度を見積もっている

Available online at www.sciencedirect.com



Astroparticle Physics 10 (2005) 287–302

Searches for solar Kaluza–Klein excitations with gas TPCs

P. M. Higgs^{a,*}, N.J. Hall^a, S. M. Barr^a, A. Armel-Funkhouser^d,
D.H. Hooper^b, J. Jäger^c, D.P. Snowden^e, K. Ziogas^f

^a Department of Physics and Astronomy, University of Sheffield, Hounsfield Road, Sheffield S10 7RH, UK
^b Institut für Experimentelle Kernphysik, J-Darmstadt, Schlossgartenstr. 9, D-64280 Darmstadt, Germany
^c Institut für Angewandte Physik, Universität Würzburg, Am Hubner, D-60486 Frankfurt, Germany
^d Physics Department, Occidental College, 1600 California, Los Angeles, CA 90041, USA
^e Physics Department, University of Thessaly, 22501 Thessaloniki, Greece
^f European Laboratory Particle Physics, CERN, European Organization Nuclear Research, CH-1211 Geneva, Switzerland

Received 18 April 2004; received in revised form 1 December 2004; accepted 9 January 2005

Available online 21 January 2005

この論文の概要

□ 目的

- 1m³の低気圧ガスTPCを用いた太陽KKアクシオンの探索感度を見積もる

□ 太陽KKアクシオンの観測方法

- 太陽の重力によってトラップされたアクシオンの2 崩壊をガスTPCを用いて観測する

KKアクシオンの寿命: $10^{11} \ll \ll 10^{17} @ 10\text{keV}$

□ 主な特徴

- 物質量の小さいガスだからこそできる、Spatial-Sepalation Cut(2 の距離のカット)が非常に強力なBG除去能力を発揮している



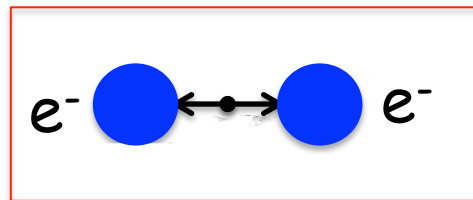
太陽KKアクシオンの検出方法

- ガス中では



電子が2つのイベントに見える

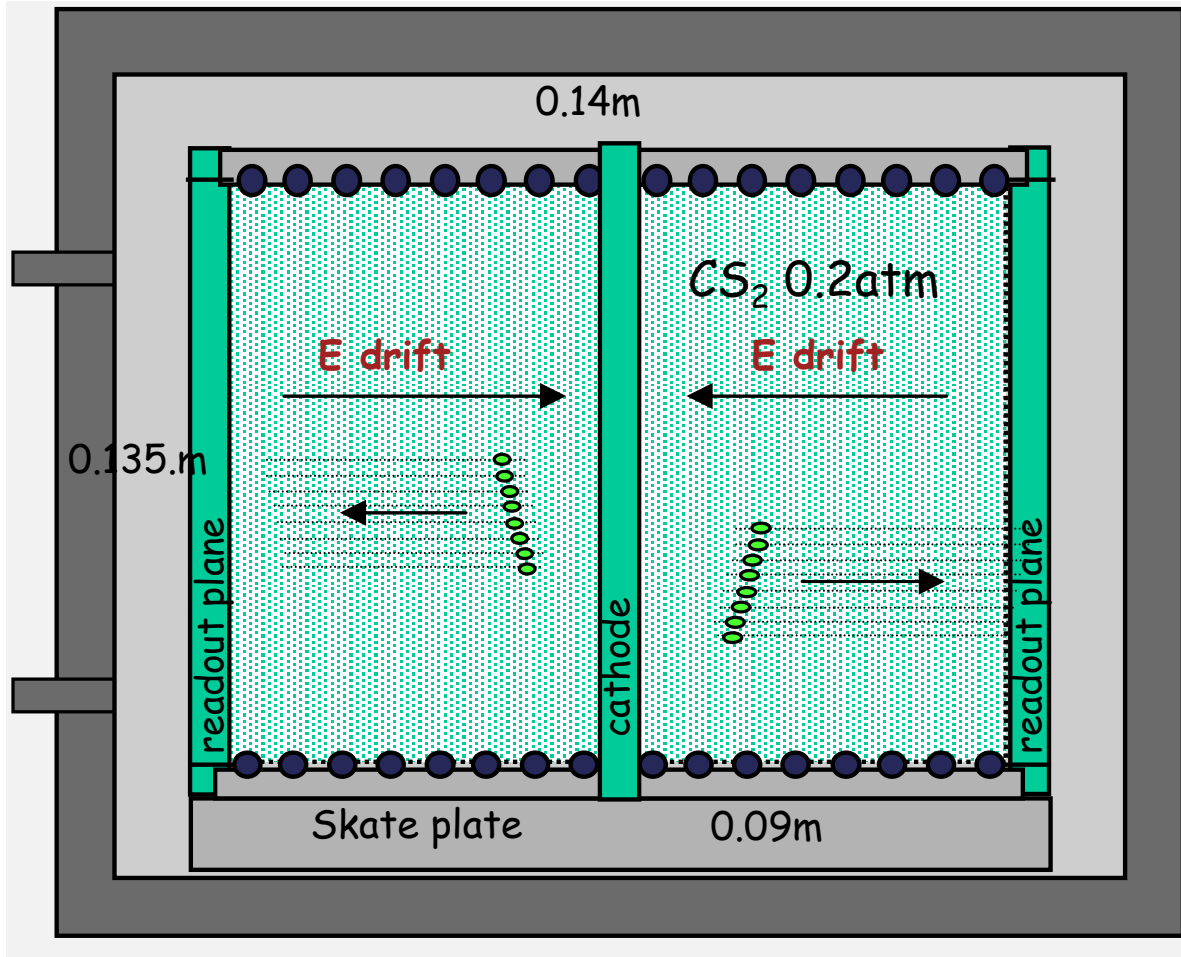
- 個体検出器(半導体など)では



があまり走らない
ので電子が一つの
イベントに見える

シミュレーションで用いる検出器の構成

□ 検出体積 1m^3 のガスTPC(ほぼDRIFT-2d)



Slide from CERN-1105-Neil Spooner

- Fiducial volume: $1\text{m} \times 5\text{m}$
 - $1 \times 1\text{m}$ readout plane
 - 1mm pitch
 - **CS₂ gas**
The photon mean free path is $\sim 0.1\text{cm}$ @ a ion decays
 - Energy threshold 1keV
 - Longitudinal & transverse diffusion: $\sim 1\text{mm}$
 - Drift V: $\sim 9\text{m/s}$
- これらのパラメータは 検出効率の最適化を考えて決めていないっぽい
- 現行のDRIFT-2dのパラメータに合せてあるようだ
- ほんとは $2 \times 2\text{m}^2$ readout(MWPC)
- Energy threshold 1keVも良すぎるような気がする

カットアルゴリズム

1 Same-energy cut

$$|E_1 - E_2| > \sqrt{2}x\sigma_p(\bar{E})$$

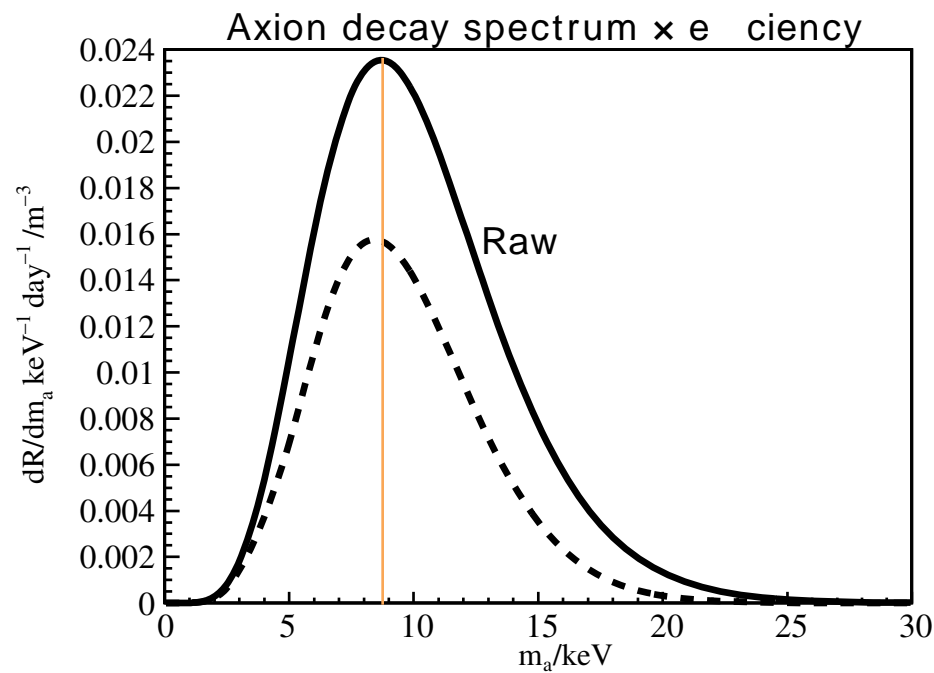
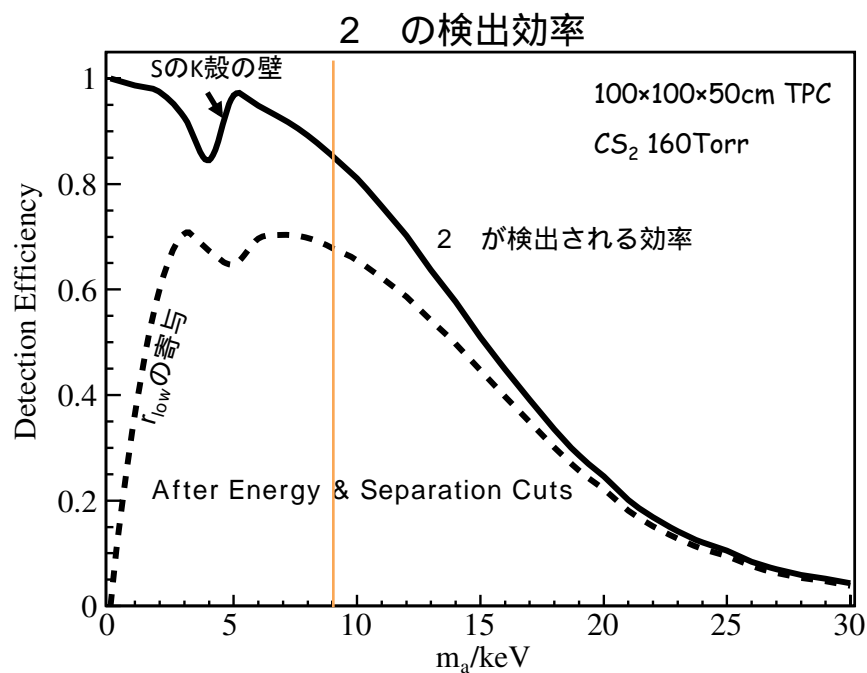
Special case

$$P(s; m_a) = \frac{s}{\lambda^2(m_a/2)} e^{-\frac{s}{\lambda(m_a/2)}}.$$

検出効率の計算

□ Axion崩壊による π^0 の検出効率を調べる

- TPCの領域で0-30keVまでMCで崩壊させる

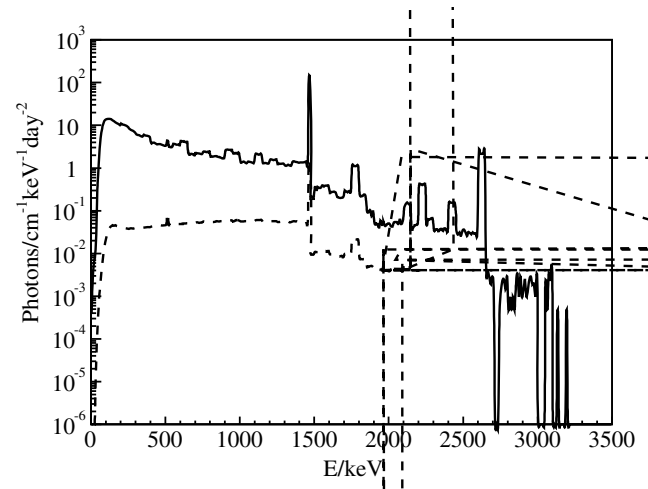
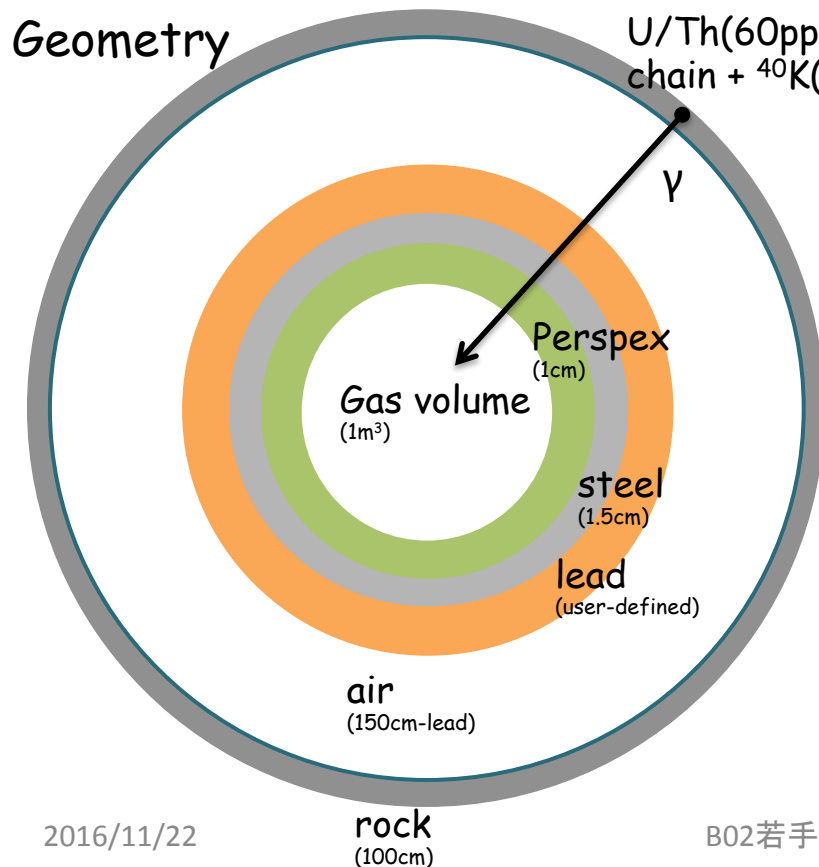


- 2keVから30keVでefficiency ~ 60%
- ピーク付近5 ~ 15keVで ~ 63%

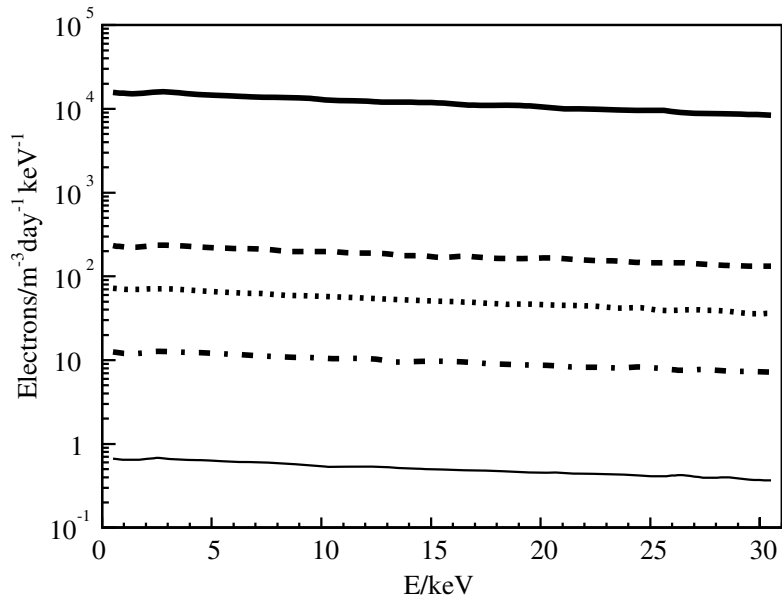
バックグラウンドの見積もり

□ バックグラウンドレートをシミュレーションで見積もる

- BGは検出器の素材、研究所坑内の岩に含まれる放射性同位体の崩壊からの
- 主にU/Th系列と ^{40}K



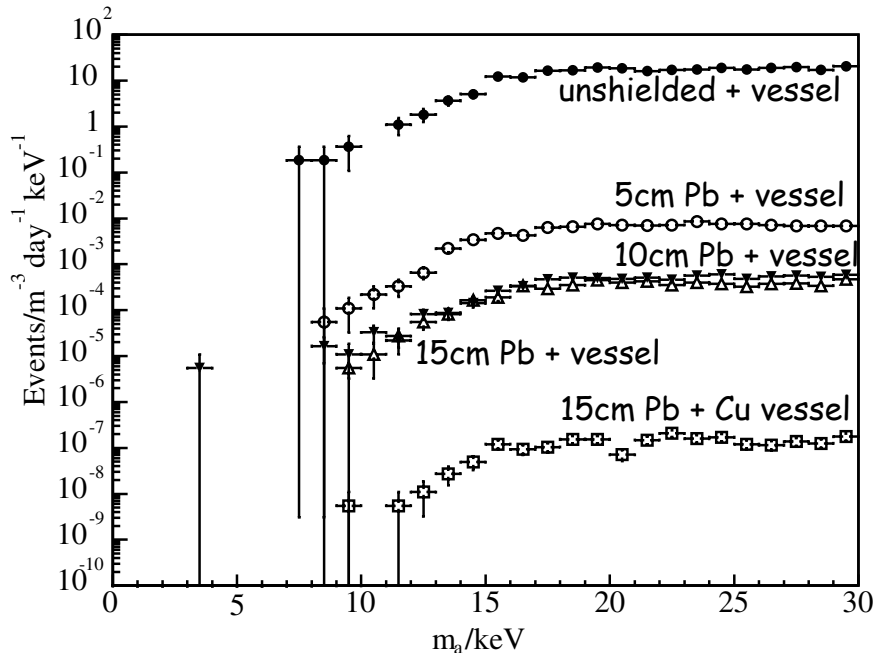
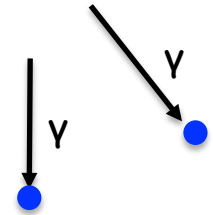
バックグラウンドの見積もり



BGの e^-e^- coincidences

□ 1電子生成イベント2つがBGとなる計数を見積もる

- Primary eventsはTPC領域一様で打ち込み、secondaryは先のBGレートからポアソンに従うように打ち込む
- Energy & Separation CutをかけてアクシオンlikeなBGレートを見積もる



1電子のBGレート(100×100×50cm TPC)

Configuration	Rock/s ⁻¹	Vessel/s ⁻¹	Total/s ⁻¹
1 unshielded + vessel	1.81	8.03×10^{-3}	1.82
2 5cm Pb + vessel	0.0274	8.03×10^{-3}	0.0354
3 10cm Pb + vessel	1.45×10^{-3}	8.03×10^{-3}	9.48×10^{-3}
4 15cm Pb + vessel	7.76×10^{-5}	8.03×10^{-3}	8.11×10^{-3}
5 15cm Pb + Cu vessel	7.76×10^{-5}	8.03×10^{-5}	1.58×10^{-4}

アクシオンlikeなBGレート

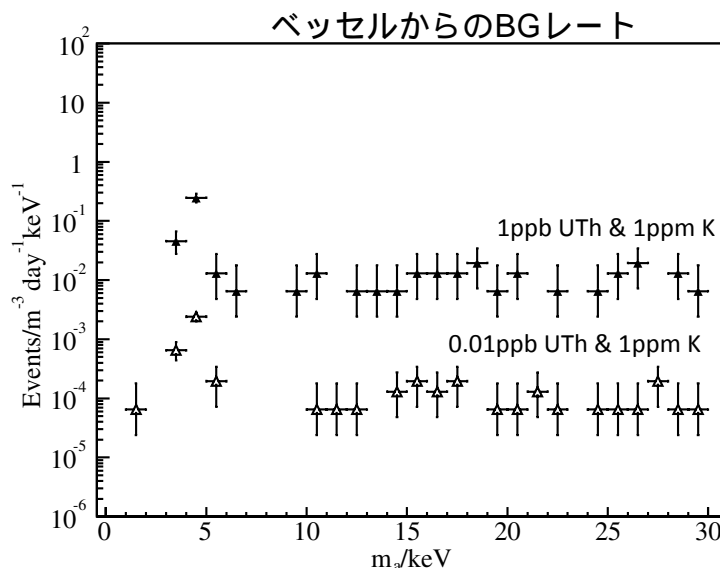
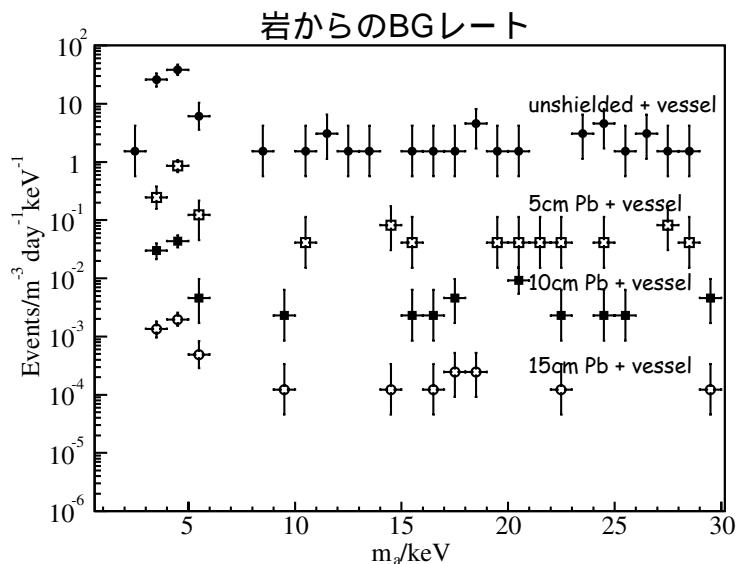
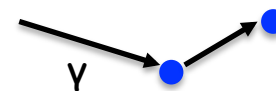
Configuration	R (0–30 keV)/m ⁻³ day ⁻¹
1 unshielded + vessel	270
2 5cm Pb + vessel	0.109
3 10cm Pb + vessel	7.82×10^{-3}
4 15cm Pb + vessel	5.81×10^{-3}
5 15cm Pb + Cu vessel	2.15×10^{-6}

- 期待される 2γ のレートは

$$R = 0.21 \text{ m}^{-3} \text{ day}^{-1}$$

BG電子の多重散乱

□ 1光子から2電子生成イベントのBGレートを見積もる



Configuration	R_d (0–30 keV)/ $m^{-3} \text{ day}^{-1}$	R_d (2–30 keV)/ $m^{-3} \text{ day}^{-1}$	R_d (6–20 keV)/ $m^{-3} \text{ day}^{-1}$
Rock, no shield	110	110	26.0
Rock, 5 cm Pb	1.64	1.64	0.328
Rock, 10 cm Pb	0.101	0.101	0.0161
Rock, 15 cm Pb	5.05×10^{-3}	5.05×10^{-3}	1.23×10^{-3}
Steel vessel	0.540	0.540	0.111
Copper vessel	4.94×10^{-3}	4.94×10^{-3}	6.50×10^{-4}

• 期待される 2γ のレートは $R = 0.21 \text{ m}^{-3} \text{ day}^{-1}$

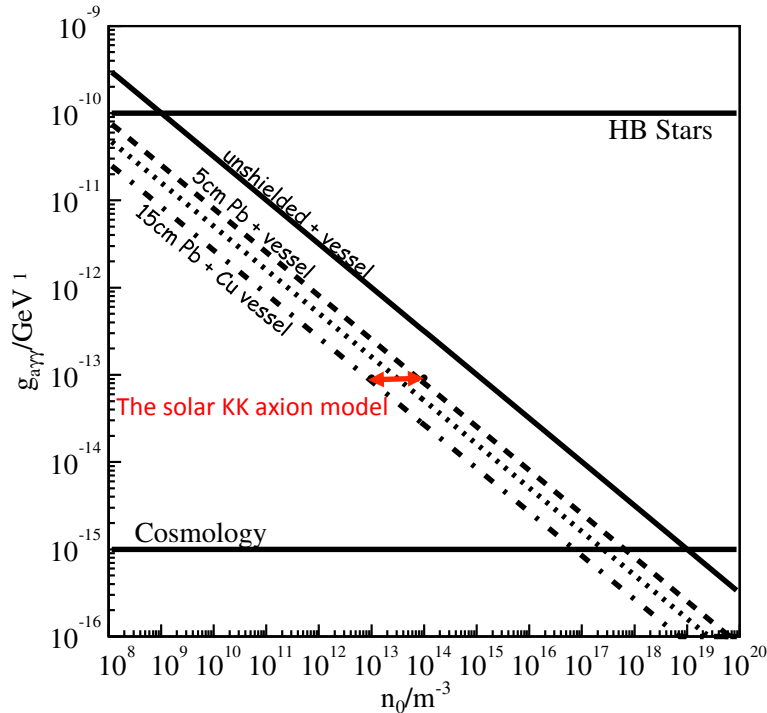
- K殻特性X線のピークがBGレートに大きく寄与してくるので質量閾値として6keVを設定

1m³ TPCを用いた太陽KKアクシオンの検出感度

□ BG見積もりまとめ

	Configuration				
	1 unshielded + vessel	2 5cm Pb + vessel	3 10cm Pb + vessel	4 15cm Pb + vessel	5 15cm Pb + Cu vessel
Random	88.7	3.63×10^{-2}	2.47×10^{-3}	1.97×10^{-3}	7.23×10^{-7}
Double	26.1	0.439	0.127	0.112	1.88×10^{-3}
Total	114.8	0.473	0.129	0.114	1.88×10^{-3}
Upper Limit (9)	1.30	0.0834	0.0343	0.0329	9.20×10^{-3}

□ 検出感度



- BGは電子の多重散乱が支配的
- 5-10cm Pb + steel vesselでソーラアクシオンモデルに感度はとどく
- 15cm Pb + Cu vesselでソーラアクシオンモデルをカバー
- ガス圧で2 の検出効率、カット効率をいじれるので最適化ができる

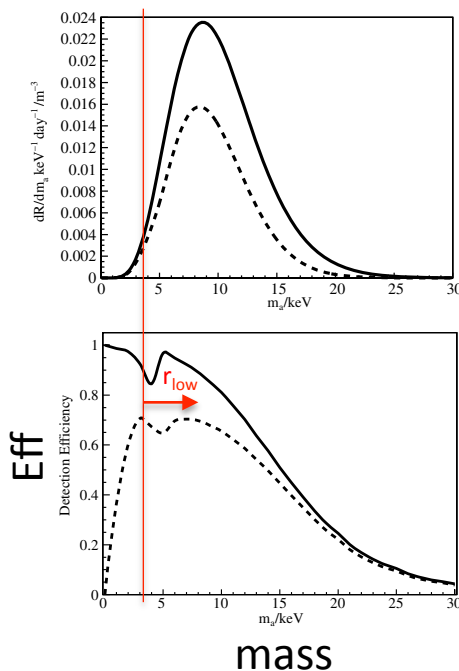
この論文の結論

1m³のガスTPC(CS₂0.2atm)で太陽KKアクシオン探索すると

- Pbシールド(5 ~ 10cm)で太陽アクシオンモデルに制限
- Pbシールド(15cm) + Cuベッセル でフルカバー

NEWAGEでは

	DRIFT	NEWAGE
体積	1m ² ×1m	0.3m ² ×0.4m
ピクセル	2mm ²	0.4mm ²
ガス	CS ₂ 0.2atm	Ar:C ₂ H ₆ (5:5)0.2atm
拡散@50cm	~1mm	~5mm



□ Separationカット条件

l_0 = 拡散と位置分解能による広がり 低エネルギー電子の走る距離

- NEWAGEではDRIFTよりカットの閾値が約2倍悪くなる
- r_{low} による検出効率の低下がピーク(10keV)まで染み出してくるのが心配
- 拡散で高位置分解能の利点が全くない

□ Arの特性X線

- 3keV程度で同じくエネルギー閾値6keVが必要

□ 検出体積

- DRIFTの4%

Back-up

太陽アクシオンの軌道

L. DiLella, K. Zioutas / Astroparticle Physics 19 (2003) 145–170

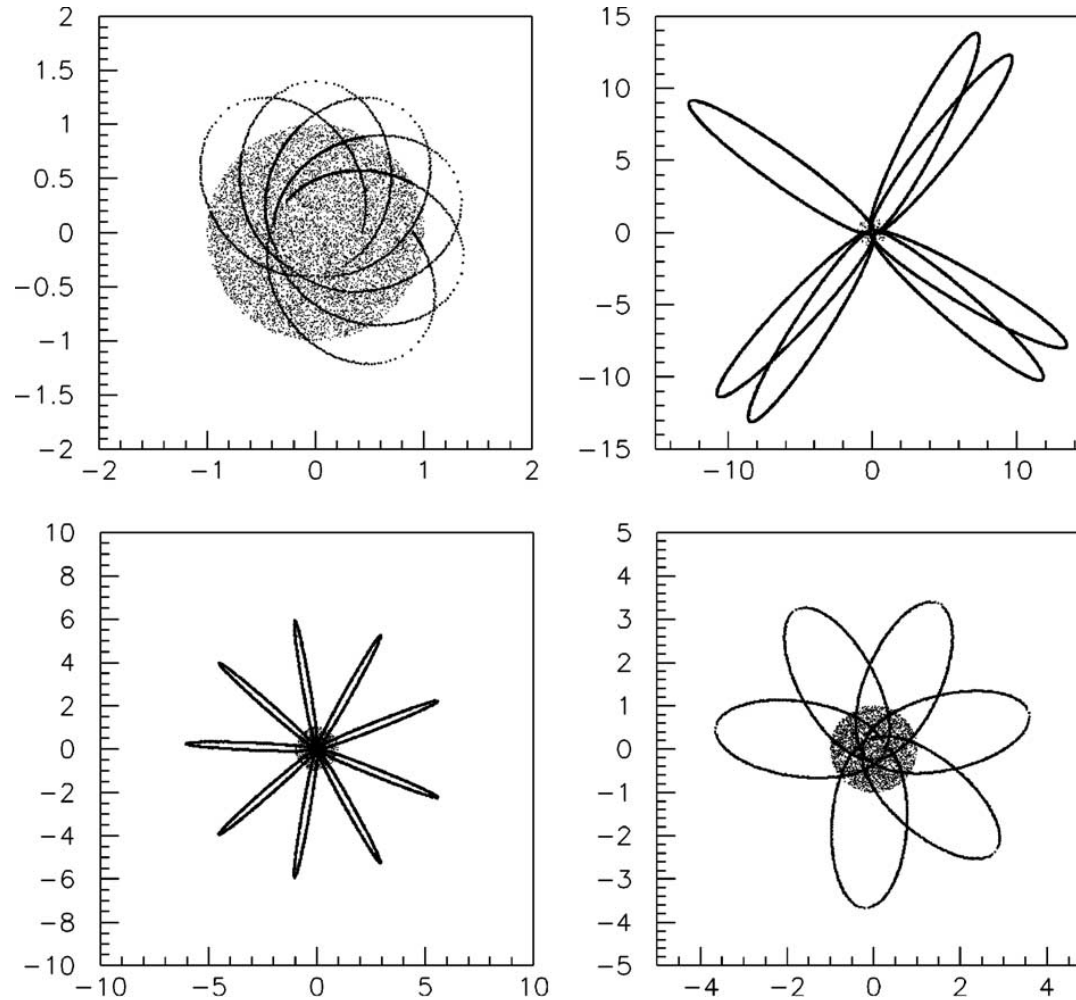


Fig. 4. Typical orbits of solar axions gravitationally trapped around the Sun. The two orthogonal coordinates are given in solar radii. The shadowed region in the center of each figure outlines the solar disk. Only the first few revolutions are traced.

