暗黒物質直接探索 by 液体希ガス(Review)





- 検出原理の紹介
- ・暗黒物質直接探索の動向+伏見さん(Nal)+中さん(方向)
- 暗黒物質探索実験 (現状)
 - LXeTPC, LArTPC
 - ・幅広い質量領域へのチャレンジ
- ・ 暗黒物質探索実験 (近い将来 2020-)
- WIMP以外のターゲットは?
 - ・pp solar neutrino, 二重ベータ崩壊、捕獲, 超新星





XMASS, XENON, LZ ...

Interaction with dark matter

Goodman and Witten PRD(1985)



electronic recoil



-U/Th/40K etc background

fast neutron WIMP

WIMPとターゲット原子核の弾性散乱

Interaction with dark matter

Goodman and Witten PRD(1985)



electronic recoil



fast neutron -U/Th/40K etc background WIMP - light mass DM (<1 GeV) 最近ではModelと実験の進展があり反跳電子もチャンネルも 開拓されている



観測される頻度



Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo

Integral spectrum



検出器の質量が重要

エネルギーしきい値が重要

直接探索から得られるもの

・我々の周りにDMが存在!

・DMの質量と断面積

- 例えば200 ton x year exposure (cross section ~XENON1T sensitivity)
- ・100 GeV 以上は上限値が困難

・他の原子核と合わせれば可能。例えばAr



希ガス液体による探索

Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo

暗黒物質直接探索は激しい国際競争



But 1249 Dark Matter users spread out

Area corresponds to number of people based on most recent publication from any experiment that has published scientific papers in the last two years. This relied on Inspire-HEP. I almost certainly missed an experiment . Number of authors also does not correspond to FTEs since not all experiments require collaborators be 100% committed to that experiment. See <u>gist</u> for calculation notes. 16/March/2019



Dark Matter Detection community big

Area corresponds to number of people based on most recent publication from any experiment that has published scientific papers in the last two years. This relied on Inspire-HEP. I almost certainly missed an experiment. Number of authors also does not correspond to FTEs since not all experiments require collaborators be 100% committed to that experiment. See <u>gist</u> for calculation notes. 16/March/2019



30年に及ぶ暗黒物質探索

Evolution of the WIMP–Nucleon σ_{SI}



30年に及ぶ暗黒物質探索

Evolution of the WIMP–Nucleon σ_{SI}



Liquid Rare Gas

	Z(A)	Boiling Point at 1 atm [K]	Density [g/cm ³]	ionization [e [_] /keV]	scintillation [photon/keV]
Ar	18(40)	87.3	1.40	42	40
Xe	54(131)	165	3.06	64	46

液体キセノン (-100°C)



Dual-phase Time Projection Chamber(LXe, LAr)





波形弁別(LAr: DarkSide, DEAP..)

Singlet state with $\tau = 6$ ns. Triplet state with $\tau = 1.6$ µs.



有効体積カット

MeVガンマ線が 数keV有効体積にエネルギーを落とし そのS後fac後出器を~1Acc通り抜けるの は非常にまれ => Newtrongs v

(内部バックグラウンド削減が鍵とな る, Kr, Rn,)

Xe High Z(=54) High Density ~3g/cc





Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo



低質量DMへの進展

Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo



Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo





近い将来 2020-2025 active mass





Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo

G2実験でのチャレンジ

- ・大量の液体キセノン純化
- •neutron Veto 検出器
 - -どちらもこのフェーズの新しいチャレンジ
 - -DM検出感度の上げるために必要
 - -日本グループの貢献



Challenge: neutron veto



- ・8 neutron/20 ton-year single scatter of neutrons ・TPCだけでは識別は不可能
- ・U/Th からのfissionや (α,n) 反応 (Cryostat, PMT, PTFE)
- >85% neutron tagging efficiency for DM discovery.
- ・XENONnT (Water +Gd) (EGADS, SK-Gdの技術)
- •n + Gd > total 8 MeV gamam













液体シンチレータ+Gd





Feed-throwghs for cables / pipes

LZ projected WIMP sensitivity, arXiv:1802.06039

Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo

WIMP-neutron

CHILLER

DMの他には探索できる?

Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo

太陽ニュートリノ

 $v_x + e \rightarrow v_x + e$



solar v(>1keVを観測できる。)

pp neutrino XENOnT(4 ton) : ~1 event/day DARWIN(FV 30 ton): ~8 event/day ~SK(⁸B)

Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo

DARWIN (JCAP, 2014), arXiv:1606.07001

2重ベータ崩壊

- 136Xeが候補
- 自然存在比8.8%(XENONnT, 500 kg 136Xe) e.g. EXO-200 ~200kg, KamLAND-Zen 400kg
- ・高エネルギー分解能

実験

KamLAND-Zen

EXO-200

XENON1T

Q:2458 keV $^{136}Xe \rightarrow ^{136}Ba + 2e^{-1}$

検出媒体

4.7%

1.23%

0.9%

液体シンチレ

液体キセノン

液体キセノン

タ



35

Summary

- XENONnT(2019-), LZ(2020-), PandaX-IV(2020)
- DarkSide-20k (2022)
 - 暗黒物質直接探索 5年でσ~10⁻⁴⁷ 10⁻⁴⁸ cm2
- ・広い質量領域への改善(< 1GeV)
- ・暗黒物質検出器 => 低バックグラウンド環境

-DM

-二重ベータ崩壊、二重電子捕獲などの稀崩壊

-超新星ニュートリノ