



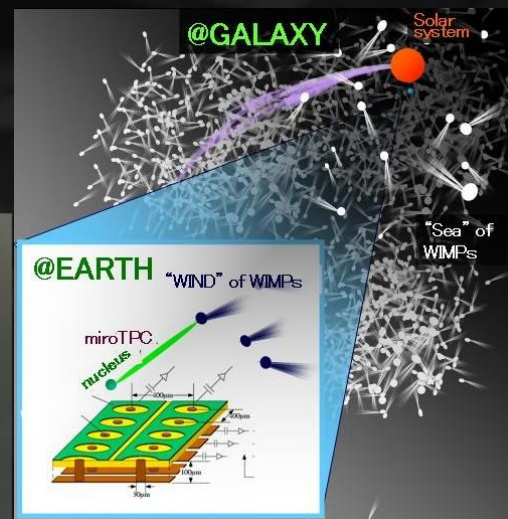
暗黒物質

2016年2月21日
JGFoS フォローアップ研究会



神戸大学

身内賢太郎



祝 ニュートリノ

A Thesis for the Doctor's Degree of Science

Dark Matter Search Experiment in a Deep Underground
Laboratory with LiF Bolometer

Kentaro Miuchi
Department of Physics, School of Science,
University of Tokyo

March 2002

査査

梶岡隆章

平成27年12月18日

ちょっとくやしけど うれしいはなし 「重力波検出」

アインシュタインが予言した重力波、米中心のLIGOチームが史上初めて観測に成功

2016年2月12日 by [Emily Calandrelli \(@TheSpaceGal\)](#)

832

List

31

23

157



シェア



ツイート



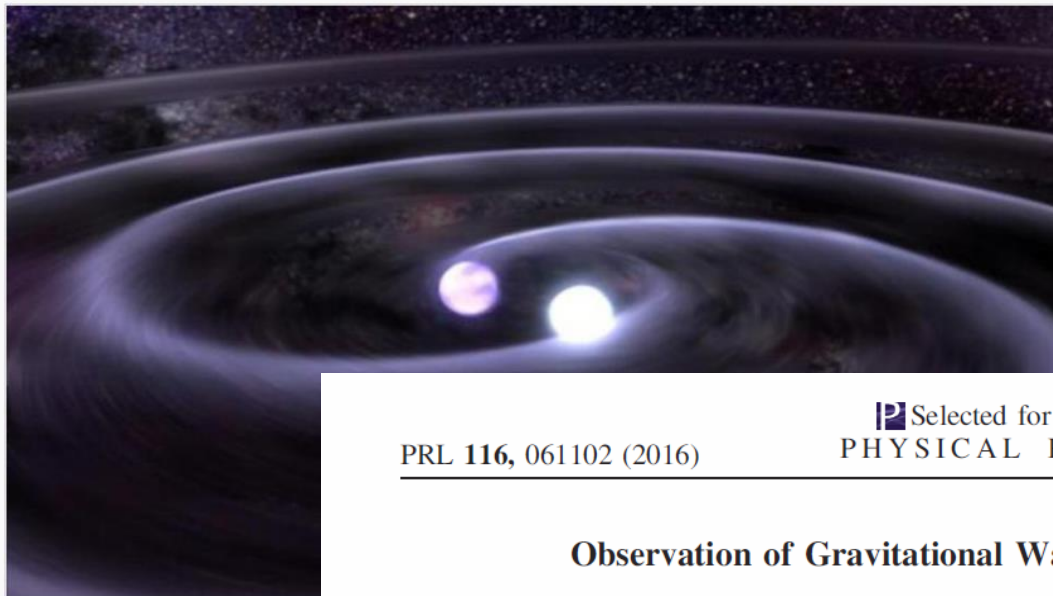
はてな



共有



Pocket



「われわれは重力波を観測
ライツィー教授

広告

Googleが自動運転車のワイヤレス充電システムを計画中

PRL 116, 061102 (2016)

Selected for a Viewpoint in *Physics*
PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
12 FEBRUARY 2016



Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

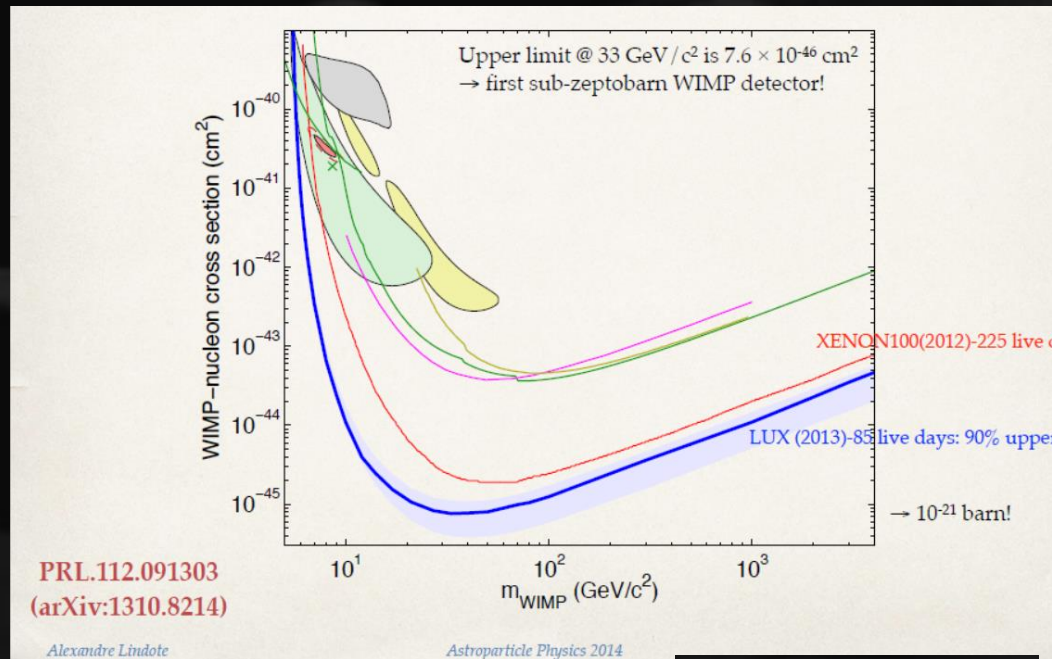
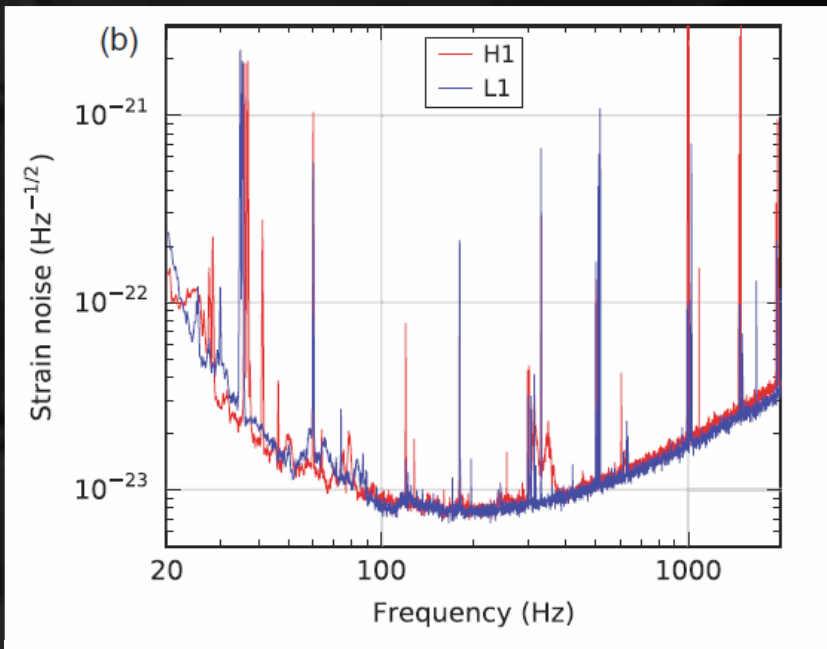
B. P. Abbott *et al.**

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)
(Received 21 January 2016; published 11 February 2016)

「重力波」 「暗黒物質」 物理学会の2大「ないもの探し」 =縦軸も横軸もlogスケール

重力波の感度曲線

暗黒物質の感度曲線



PRL 116, 061102 (2016)

1916年提唱
2016年発見

PRL.112.091303
(arXiv:1310.8214)

Alexandre Lindote

Astroparticle Physics 2014

1930年提唱
20**年発見

次は暗黒物質だ

現在の物理「標準理論」

- 陽子、中性子、電子、光子などは知られていた。
- 1970年代 コレクションのひな壇完成
- 2012年 コンプリート

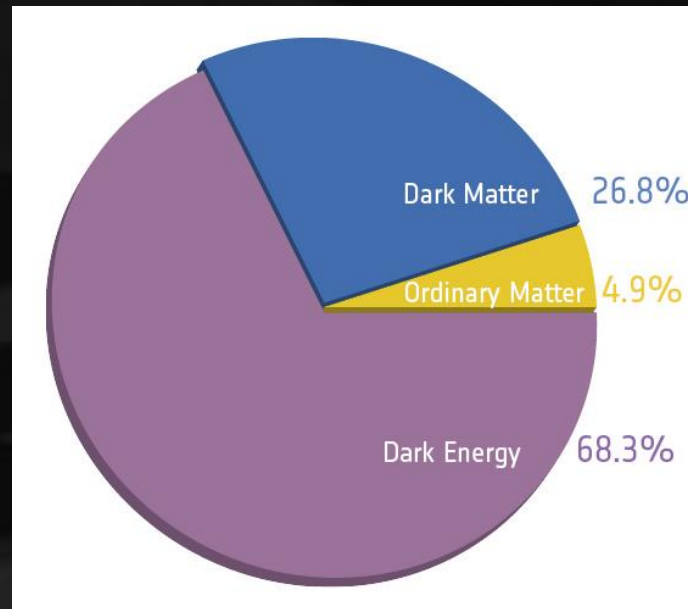
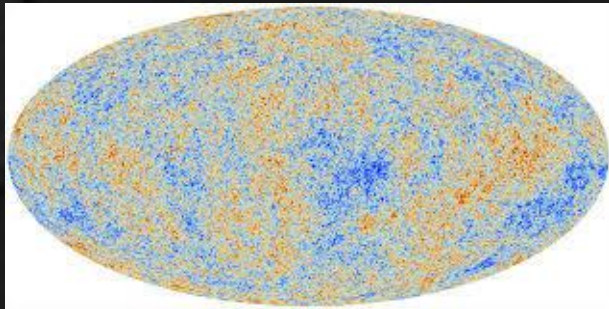
2000

質量を与える粒子



宇宙の理解（お約束）

宇宙の 95%はまだわからない



ダークマター

わかっていること

- 質量をもつ物質
- 宇宙の約1/4を占める
- 運動の速度

わからないこと

- 何だかわからん。
- 質量
- 「物」との反応の仕方

これをなんとか調べたい。

Direction Sensitive
WIMP-search

NASA WMAP TEAM

ダークマター

◆ ダークマター

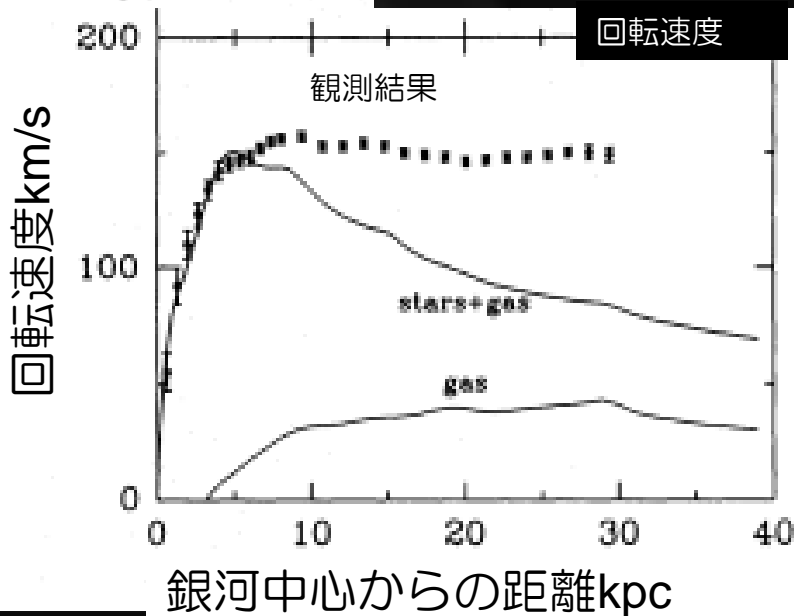
- 初出：1930年

- 1970年代～ 本格観測

- やや極端ですがこんな感じ



Astron. Astrophys. 223, 47-60 (1989)



- 高速で回転するには強い引力が必要
⇒星だけでは足りない
⇒「暗黒物質」があるはずだ！

1kpc(キロパーセク) = 3260光年



参考資料

ゆるーく 素粒子

Amazonポイント: 残高を確認
 カテゴリ ▶ マイストア キフト券 タイムセール Amazonで出品 ヘルプ

本 詳細検索 ジャンル一覧 新刊・予約 Amazonランキング コミック・ラノベ 雑誌 文庫・新書

素粒子の世界をご覧になった人は、こんな商品もご覧になっています

すぞい実験 ー 高校生にもわかる素粒子物理の最前線
 新品: ¥ 1,728
 8 点の全新品/中古品を見る ¥ 1,350より
 ★★★★★☆ (19) ✓プライム

イラストで 宇宙までまるわかり!
素粒子の世界
 秋本祐希 著
 洋泉社

素粒子の世界 単行本 (ソフトカバー)
 秋本 祐希 (著)
 ★★★★★☆ 2件のカスタマーレビュー

すべてのフォーマットおよびエディションを表示する

単行本 (ソフトカバー)
 ¥ 1,404
 ¥ 520 より 9 中古品の出品
 ¥ 1,404 より 1 新品

住所からお届け予定日を確認 153-0064 - 東京都目黒
 7/31 金曜日にお届けするには、今から16時間10分

amazonstudent Amazon Student会員なら、この商品

XMASS.

XMASS様出品

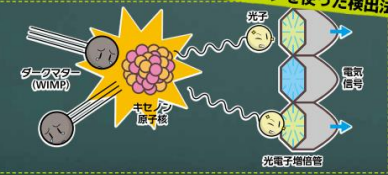


写真提供: 東京大学宇宙線研究所
 神岡宇宙素粒子研究施設

号54むかし理科の教科書で出ていた
 があるがする元の図解表、あれの
 右側にある素子。その素子
 実態は「ダークマター」検出器の内部には
 として運用されています。
 キセノンの型核「ダークマター」の
 うな「だま」が「だま」を「だま」
 の素子で「だま」を「だま」
 液体セレンが発光するのです。もち
 ろん、他の型核でも似たような現象
 が起きるには起きるのですが、ダーク

マターの「だま」が「だま」を出てくる光
 の量の2点において、液体セレンが
 とて「だま」したのです。その「ダ
 マター」が「だま」した素子の「だま」
 まわり「だま」した素子の「だま」
 で「だま」した素子の「だま」
 かも「だま」した素子の「だま」
 そんなこと「だま」した素子の「だま」
 2010年10月からXMASS検出器
 現在も全力で「だま」した素子の「だま」
 指し「だま」した素子の「だま」

キセノンをを使った検出法



129

NEWAGE.



写真提供: 東京大学

も「だま」した素子の「だま」
 た「だま」した素子の「だま」
 マター」進行方向から「だま」
 わります。その「だま」した素子の「だま」
 クマター」は、一定の方向から「だま」
 て「だま」した素子の「だま」
 NEWAGE実験は、この「だま」
 マターの「だま」した素子の「だま」

ダークマターの風の観測



131

ダークマターを 見つけ出せ! XMASS



XMASS
 Dark Matter for
 XMASS (2010)

642個の目!
 金属の球の中に
 神岡山の深さ約1000m、高さ
 10mの巨大な水のタンクがそびえ
 ています。そんな水のタンクの中心
 には輝くような球が輝いていま
 いられていて、きらびやかな輝き
 円盤がたまたま集り付けた約60面
 体がほかりの輝きを放っています。
 これが東京大学宇宙線研究所が
 「ダークマター」を見つけるための
 XMASSエクスプレス検出器です。
 写真を見てもなかなか上手に見え
 ませんが、裏には「だま」した素
 の「だま」した素子の「だま」
 ながら「だま」した素子の「だま」
 イラストに「だま」した素子の「だま」
 の「だま」した素子の「だま」
 が「だま」した素子の「だま」
 も「だま」した素子の「だま」

128

ダークマターの風を感じろ! NEWAGE



NEWAGE
 The Japanese Dark Matter
 Detector Experiment
 (2007)

「だま」した素子の「だま」
 神岡山の中心に「だま」した素子の「だま」
 ています。実験はXMASSだけではあ
 りません。ここでは「だま」した素子の「だま」
 大学が中心、京都大学、東京大学、
 宇宙線研究所で行っている。
 NEWAGE (二重)「だま」した素子の「だま」
 いておられます。
 地球が太陽の周りを回っているのは
 が、実はその中心に「だま」した素子の「だま」
 が「だま」した素子の「だま」
 太陽系も「だま」した素子の「だま」
 中心で、約200以上の「だま」
 が「だま」した素子の「だま」
 は「だま」した素子の「だま」
 は「だま」した素子の「だま」
 結集している「だま」した素子の「だま」
 走り抜けていく「だま」した素子の「だま」

130

身近なふしぎから宇宙のぎもんまでよくわかる!

なぜ?ど~して?

科学の図鑑



鳥をもった生き物がいるのはなぜ?

ど~してICカードで電車にのれるの?

火山はど~して火を出すの?

ど~して太陽の光が電気にかわるの?

好奇心が広がる
全55テーマ

電子レンジで食べ物があたたまるのはなぜ?

子供だって 「ダークマター」

宇宙空間のまっくらな部分にはなにもないの?



目に見えないけれど、たくさんの物質があるよ



うちゅうのギモン

宇宙空間のまっくらな部分に、なにがあるか考えてみたことはありませんか? 宇宙空間には、空気がないことはわかっています。だから宇宙飛行士は宇宙での作業では、宇宙服をきて、酸素をほせようとしています。長い間、宇宙空間のまっくらな部分にはなにもないと考えられていました。ところが研究がすすみ、なぞの物質があることがわかってきたのです。

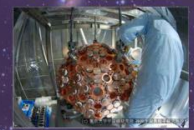
宇宙では、星や銀河など、みなさんの目で見えるものは、全体の4%くらいだといわれています。のこりは、「ダークマター」といわれる、目に見えない物質が全体の23%、正体不明のダークエネルギーが73%あると考えられています。ダークマターもダークエネルギーも、目には見えませんが、計算した結果、「ある」ということはわかっています。宇宙のなりたちにもかかわっているため、ダークマターとダークエネルギーの正体を解明するための研究がすすんでいます。

宇宙からとどく、ダークマターのわずかなしるしをとらえる!

岐阜県の神岡鉱山の山頂から1000メートル下の地底で、宇宙のなぞにせまるさまざまな実験研究をしている。



京都大学が中心になってすすめるNEWAGE実験の装置。「ダークマター」をとらえようとしている。



東京大学宇宙線研究所が中心にすすめているX-MASS実験の装置。ダークマターを観測している。

ハッブル宇宙望遠鏡がとらえた宇宙の画像。

オフィス303
永岡書店

加速器実験



ダークマター

何だ?

質量?
性質?



間接探索



直接探索



加速器実験

ダークマター
何だ?

質量?
性質?

間接探索

直接探索

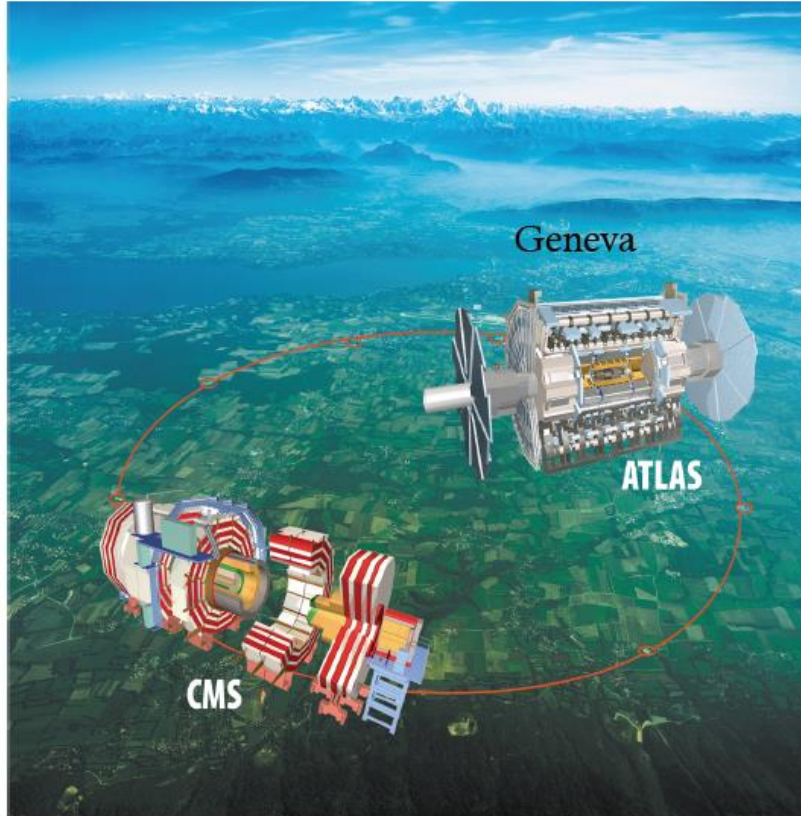
Direction Sensitive
WIMP-search
NEWAGE

加速器実験

暗黒物質をつくる

暗黒物質製造器：LHC

The Large Hadron Collider



Tunnel circumference: 27 km,
~ 100m under ground.
1232 main + 7000 smaller magnets,
B = 8 Tesla (@ 14TeV)
Operating temperature: 1.9K
4 Experiments: ATLAS, CMS,
ALICE, LHCb.

Claus Horn: First LHC Results

IDM2010 Montpellier - 30.07.2010 3

- 欧州原子核研究機構 CERN (2012年ヒッグス粒子発見)
- 陽子 と 陽子 を高エネルギーで衝突させる

Direction Sensitive
WIMP-search
NEWAGE

CERN 高エネルギー状態を作り出す



盗まれた反物質



実際には

反物質：たくさんつくられている。保存はできない。

暗黒物質：できるかもしれない。



加速器実験

暗黒物質をつくる

まだ 発見されていない。

2015年 エネルギーをアップした運転が開始された。

乞うご期待。

加速器実験

ダークマター
何だ?

質量?
性質?

間接探索

直接探索

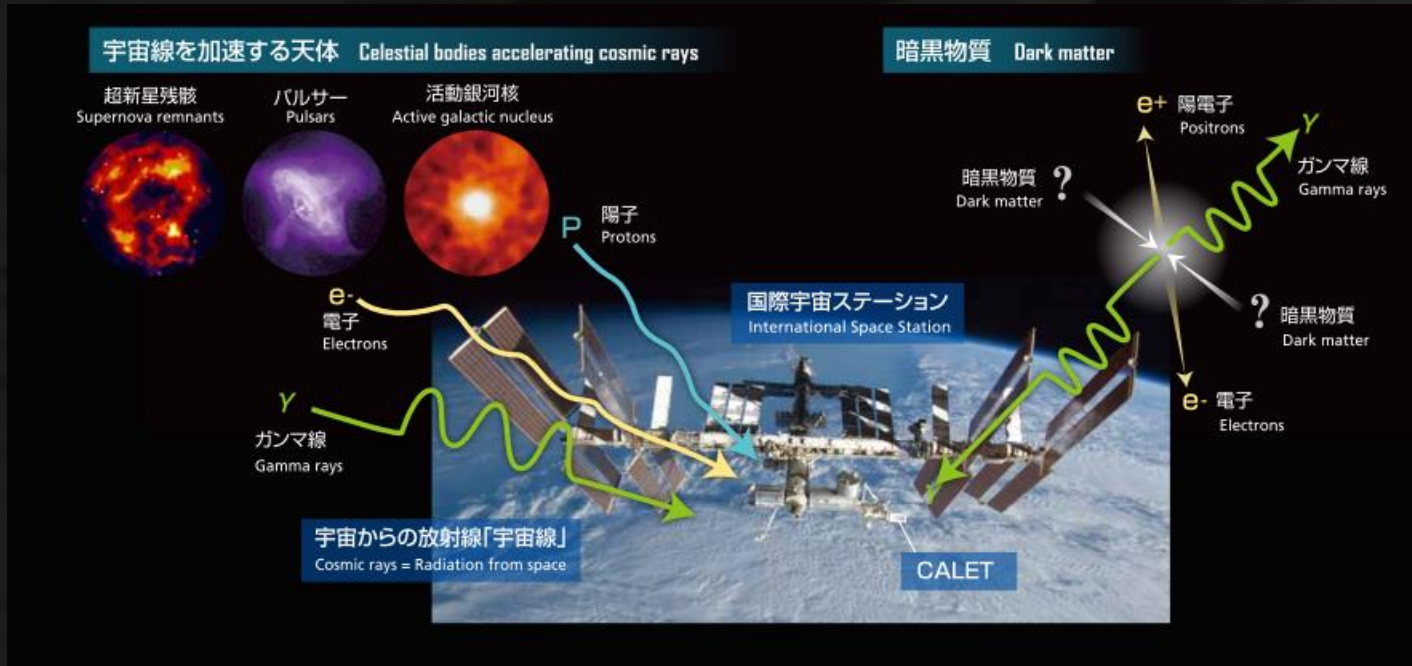
Direction Sensitive
WIMP-search
NEWAGE

間接探索

暗黒物質を見る

間接探索

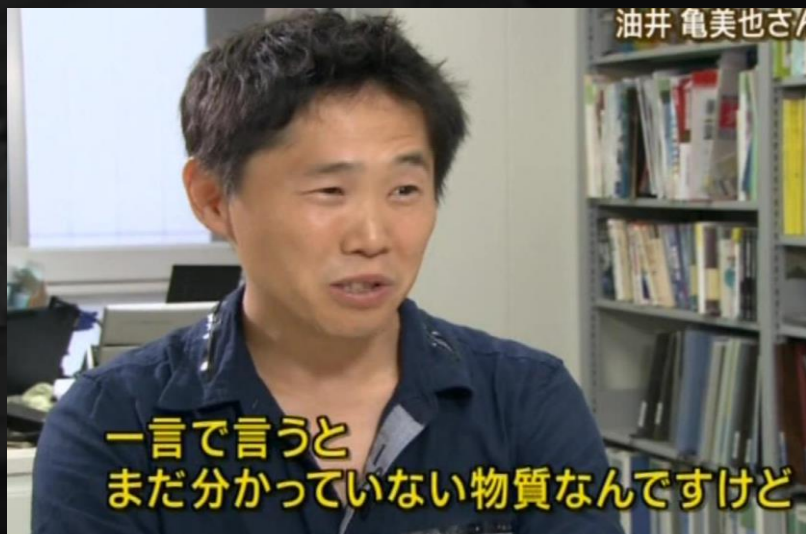
- 暗黒物質：重力のもと 銀河の中心などに集中
⇒暗黒物質同士が衝突して対消滅
そこからの信号（ガンマ線、陽電子、ニュートリノ）をみる。



CALETパンフレットより

◆ ガンマ線

- CALET : 8月16日
このとり で
宇宙ステーションに



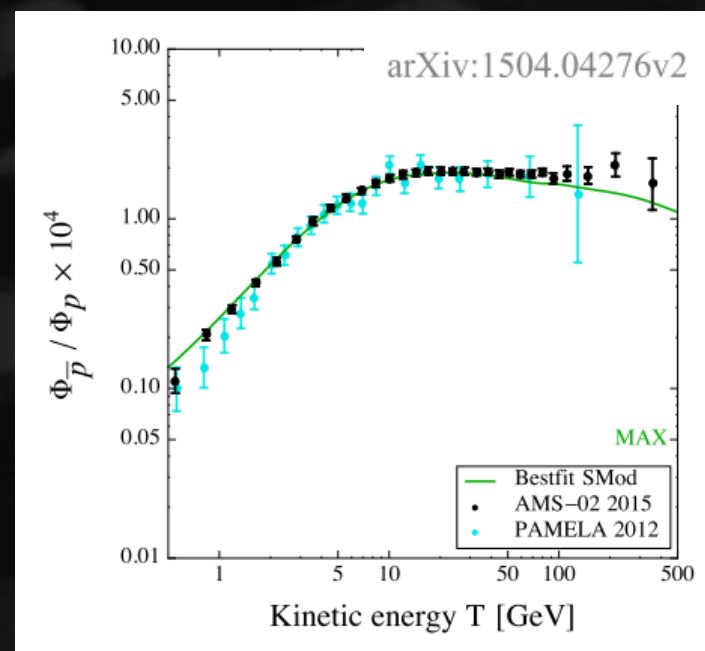
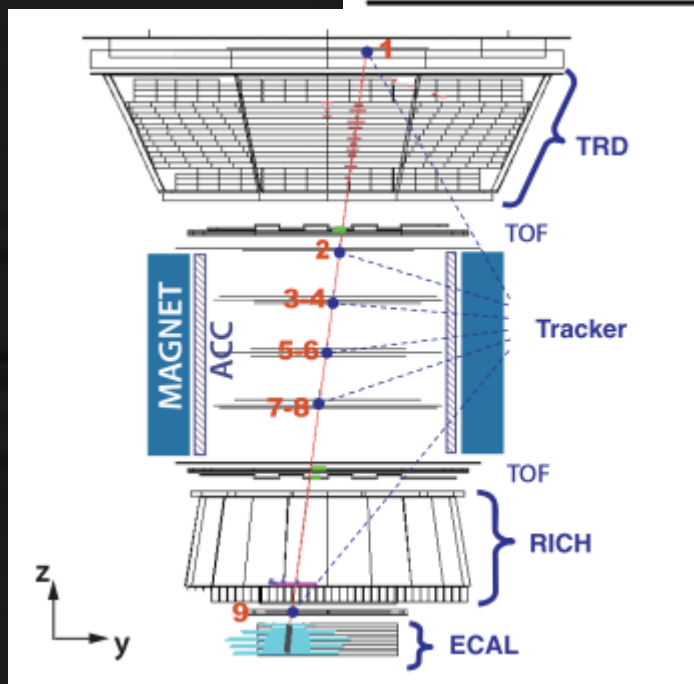
(2015年7月23日 報道ステーション)



陽電子（電子の反物質）

- AMS-02実験（2013年より国際宇宙ステーション）
- CALETの強力なライバル

PRL 110, 141102 (2013)



いまのところ暗黒物質以外の物質（緑線）
でデータ（黒点）を説明可能
⇒決定的な証拠はまだ。

間接探索

暗黒物質を見る

まだ 発見されていない。

2015年 ISSでCALET実験なども開始。

加速器実験



ダークマター

何だ?

質量?
性質?



間接探索

直接探索



直接探索

暗黒物質を待つ

暗黒物質探索

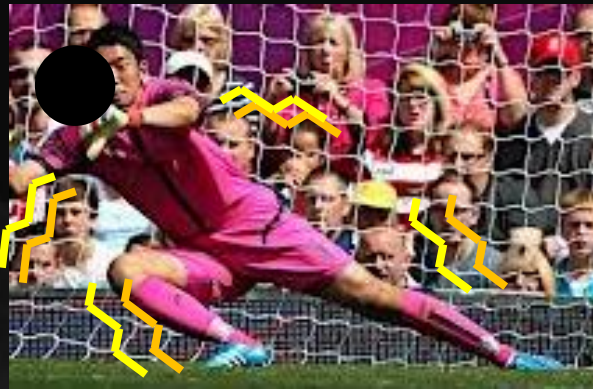
「物」に暗黒物質が「当たる」

捉え方：

①温度が上がる

②電気が生じる

③光が生じる



「検出器」



暗黒物質探索

- 宇宙から降り注ぐ「余計なもの」避ける。
⇒ 地下で実験する。

A world-wide effort to search for WIMPs

世界の地下活動



talks in the afternoon sessions
ome basics + brief review of the field

神岡は、実験数、
規模で世界1, 2位

XMASS

日本の暗黒物質探索実験 ： XMASSとNEWAGE

日経新聞
(2010年2月14日)

科学 月刊

2010年(平成22年)2月14日(日曜日)

神岡鉱山跡で観測準備が進む



(東大の鈴木教授の資料を基に作成)

暗黒物質探索実験の主な装置

| 検出装置 | 研究グループ | 特徴 |
|----------|------------|------------------------|
| XMASS | 東大など | キセノンとの反応を検出、従来の100倍の感度 |
| NEWAGE | 京大など | フッ素との反応を検出、飛来する方向を検知 |
| XENON100 | 米コロロンビア大など | キセノンとの反応を検出、高感度が可能 |
| CDMS II | 米ミネソタ大など | 半導体との反応を検出、感度を上げにくい |

岐阜、富山県境の山深い鉱山跡に先端装置を備え付け、宇宙最大級のなぞに迫る実験が3月にも始まる。宇宙の質量の4分の1を占めるとされるものの、いまだに見つかっていない「暗黒物質」の観測に東京大学などの研究チームが挑む。宇宙の誕生や変遷の解明につながるだけに米欧の研究者からも観測一番乗りへのきを削っており、日本の取り組みに強い視線を注ぐ。

1月下旬、雪が積もる岐阜県北部・飛騨市の山あいを進み、かつて垂鉛や鉛を産出した神岡鉱山の坑道にたどり着いた。中へは車で入れる。数分後、東大宇

XMASS :
XENON, LUXと同じ
液体キセノンを使用
(世界最大)。

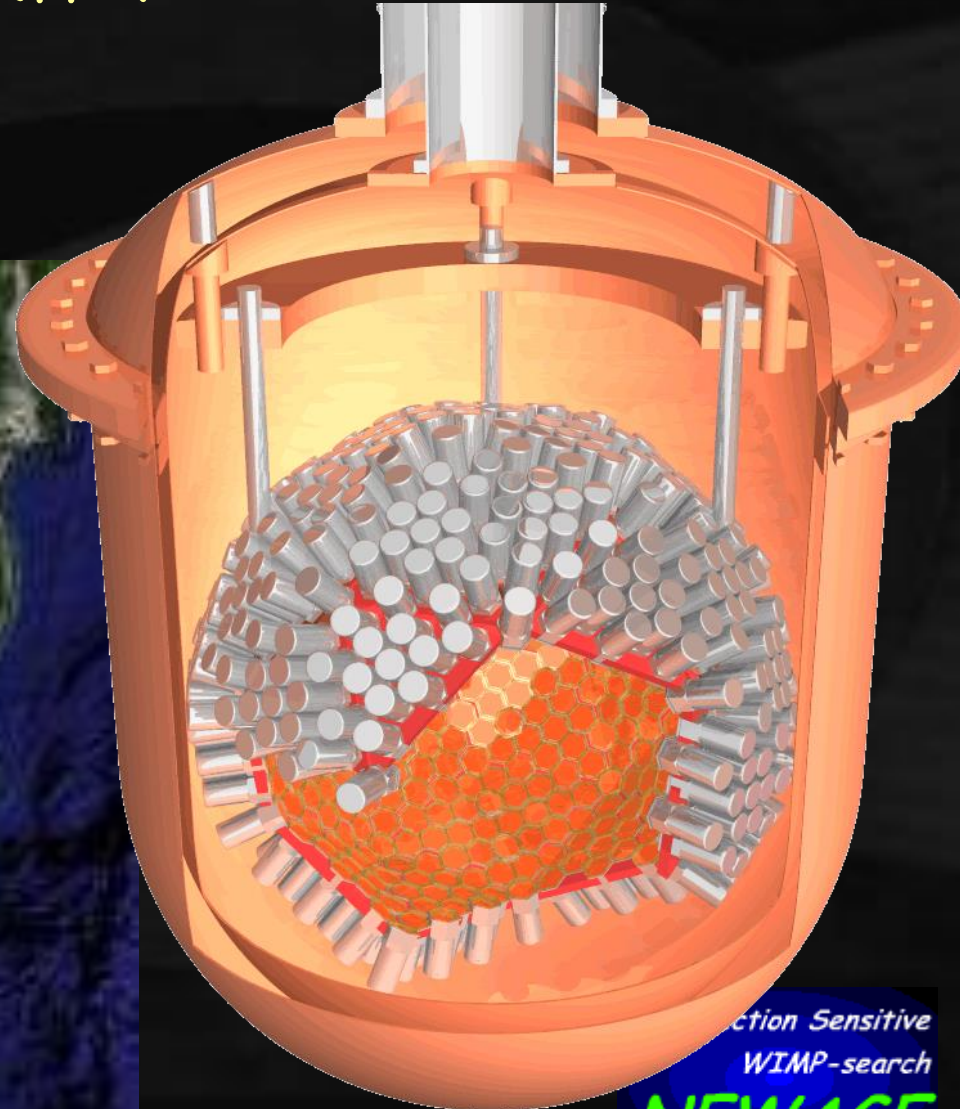
NEWAGE : ガスを用いて暗黒物質の
到来方向を見る
(ONLY ONE)。

ない「暗黒物質」を探せ



XMASS

- 800kg（世界最大）の液体キセノン
- 642本の光センサー
- 神岡地下で観測中



ction Sensitive
WIMP-search
NEWAGE

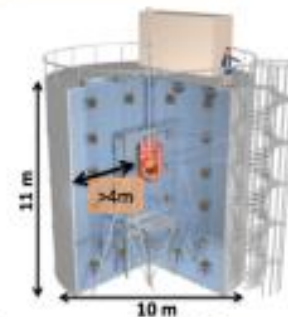
キーワード
低放射能技術
シンチレータ

XMASS「検出器」くみ上げ
中に 800kgの液体キセノン

Detector Construction



- 2009.11: PMT holder and PMT installation



- 2010.09: Construction Completed



12/07/25

Y. Suzuki @IDM2012 in Chicago

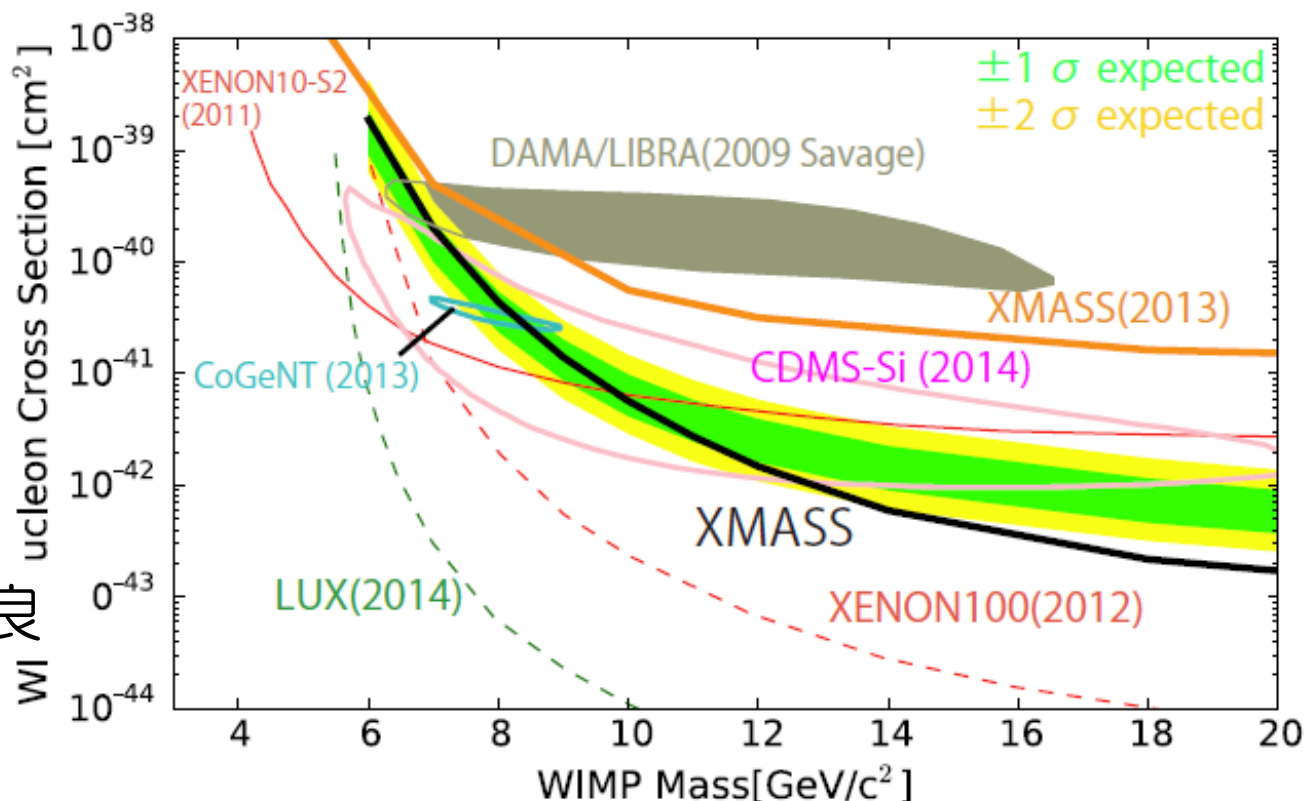
4

◀ XMASSの現状

- 未発見
- 世界の他グループと競争

Masaki Yamashita
Kamioka observatory, ICRR, the Univ. Of Tokyo
Kavli IPMU, the Univ. Of Tokyo
On behalf of XMASS collaboration
UCLA Dark Matter 2016 symposium , 19th/Feb/2016

実験の感度比較



NEWAGE



NEWAGE (研究代表: 身内)

暗黒物質検出の決定的証拠を目指す!

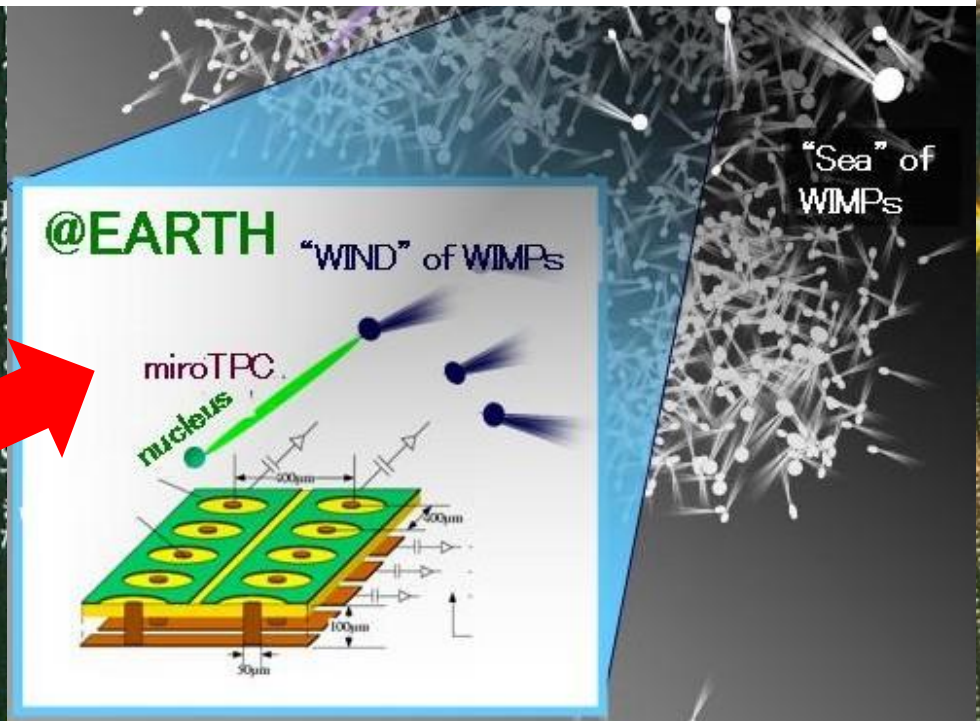
山梨日日新聞

2009年(平成21年)1月1日 木曜日



ガスを使った電子霧箱

今日の目的：
今後大型化を進めるにあたって、
みなさんのお知恵を拝借したい



「方向性」の重要性



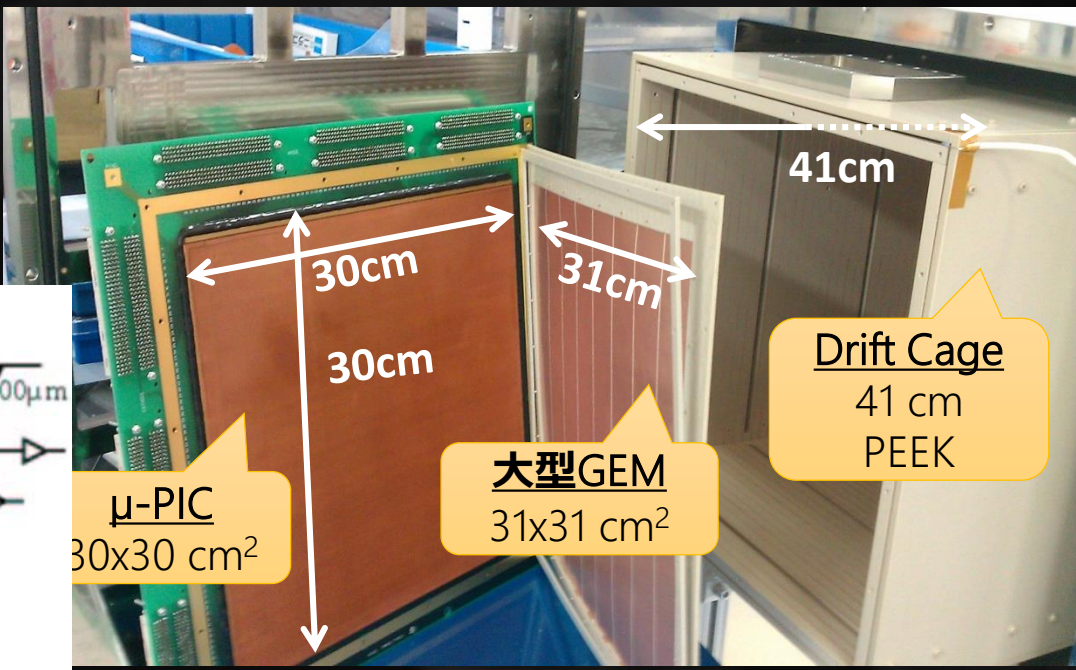
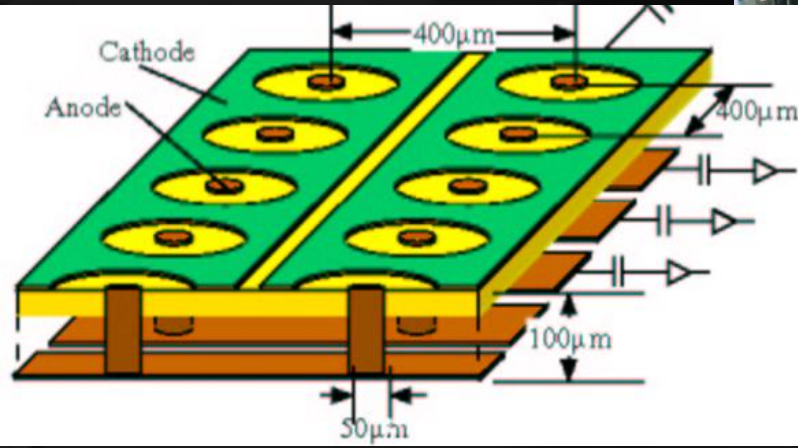
S
li

som
fysi
i
mä
R
för
fy
.
f

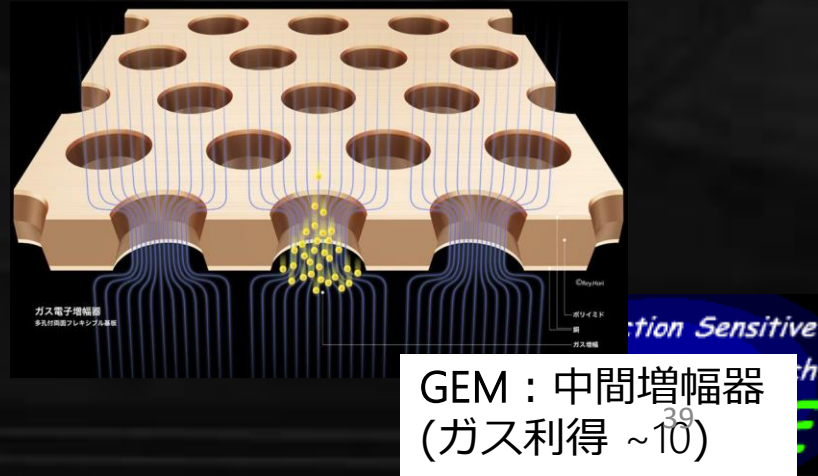
NEWAGE

三次元ガス飛跡検出器「マイクロTPC」

μ-PIC : アノードピクセルの間隔400μm (ガス利得 ~10³)



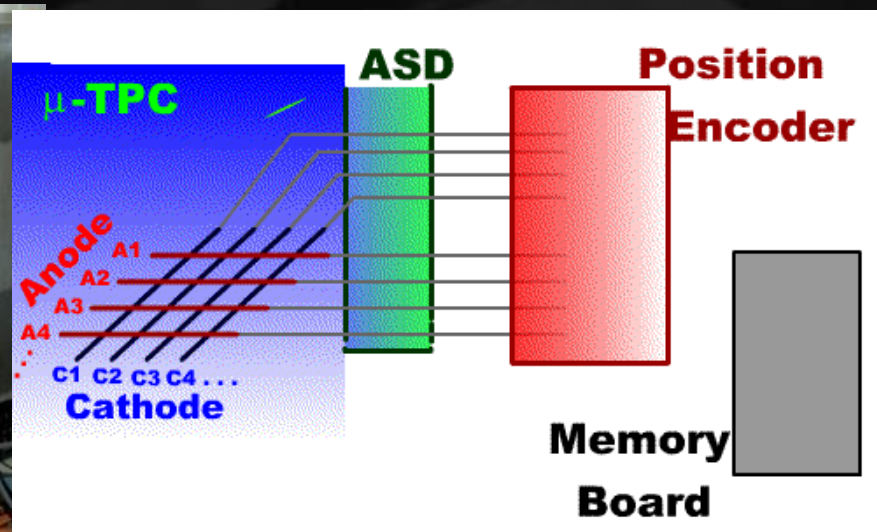
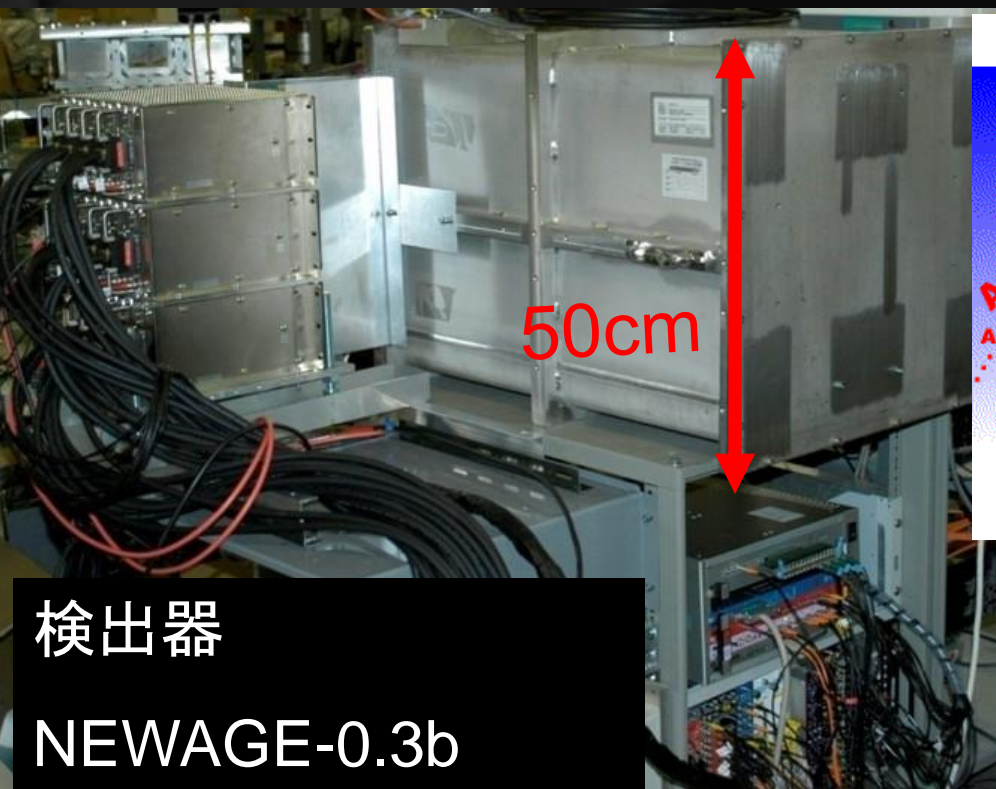
キーワード
微細加工技術
高電圧・放電



GEM : 中間増幅器 (ガス利得 ~10³)

NEWAGE

- 京大・神戸大で開発した「 μ PIC」検出器
- 30cm角検出器で地下実験中
- CF4 ガス

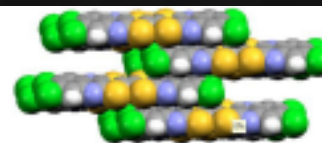


キーワード
ガス純化
炭素繊維真空容器
高速信号処理

その他

有機半導体 (with山形大)

- 産業様にさまざまな物質が開発されている
粒子検出器としてはほとんど実績なし
- 半導体としての基礎特性の測定中
→ 検出器としての試験へ



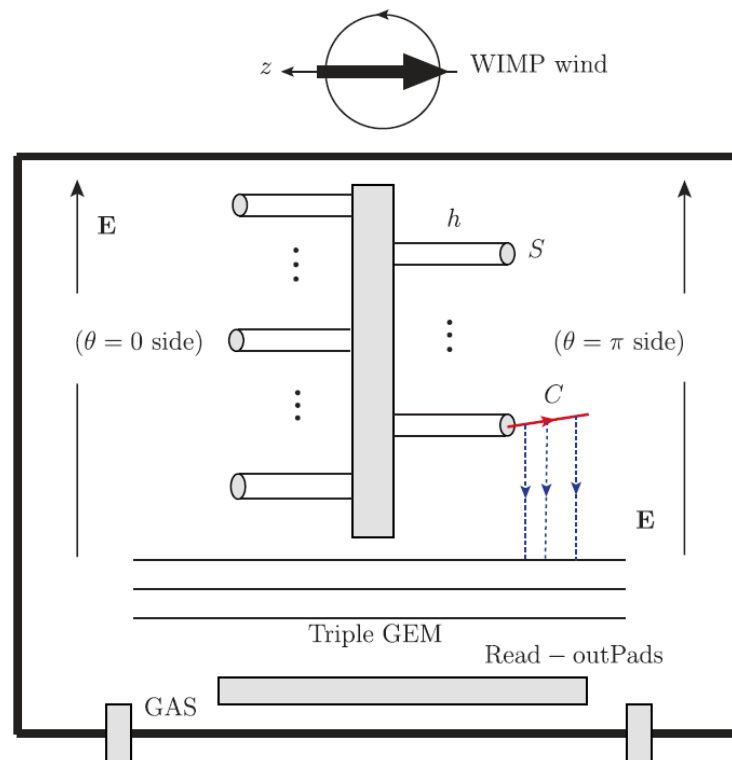
いずれの有機半導体も、左の様な層構造を持つため、移動度に異方性を持つ。

カーボンナノチューブ

- 使えるかもという提案
- アライメント
- 構造コントロールが重要

技術お持ちの方
ご教示ください

L.M. Capparelli et al. / Physics of the Dark Universe 9-10 (2015) 24-30



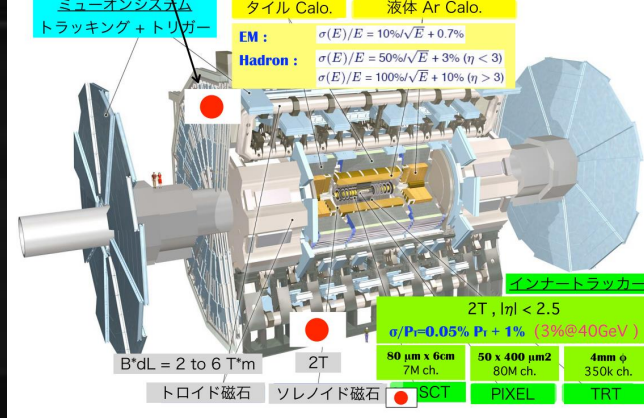
直接探索

暗黒物質を待つ

まだ 発見されていない。
XMASS、NEWAGEも世界と競争中



加速器実験

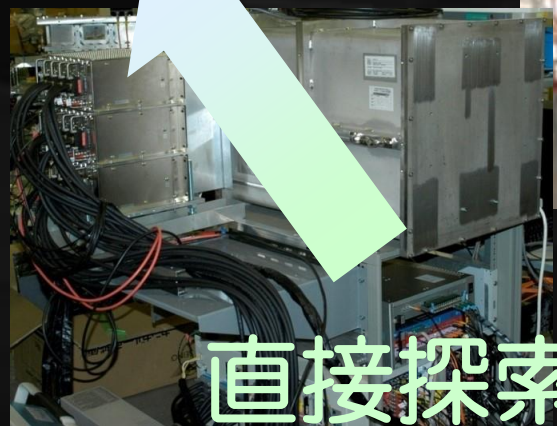


全世界でダークマター 挑戦中 何だ?

質量?
性質?



間接探索



直接探索

