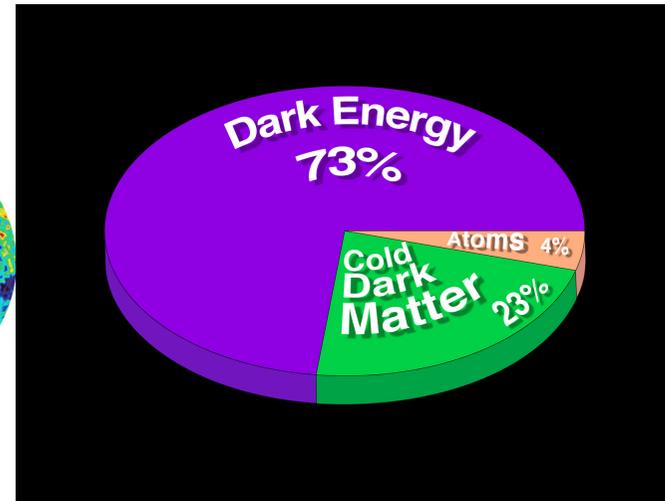
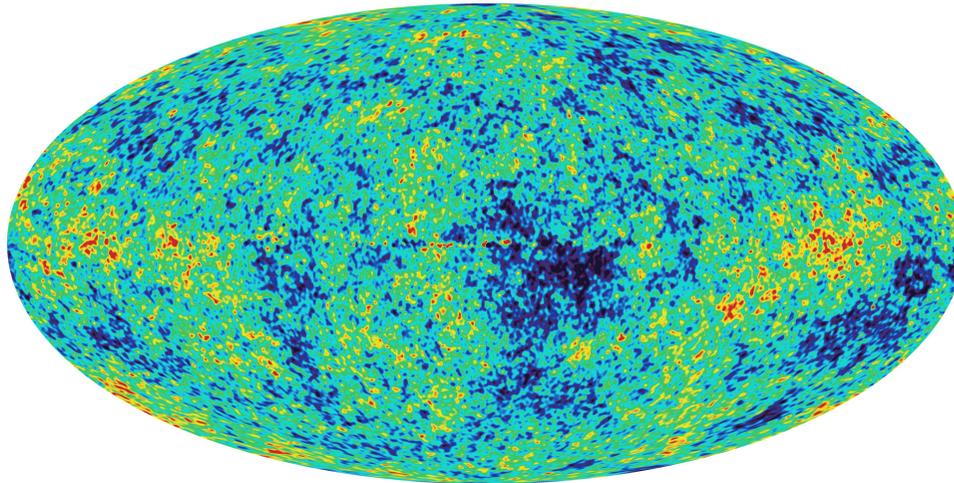


ダークマター（暗黒物質） の正体は何か？

東京大学大学院理学系研究科

蓑輪 眞

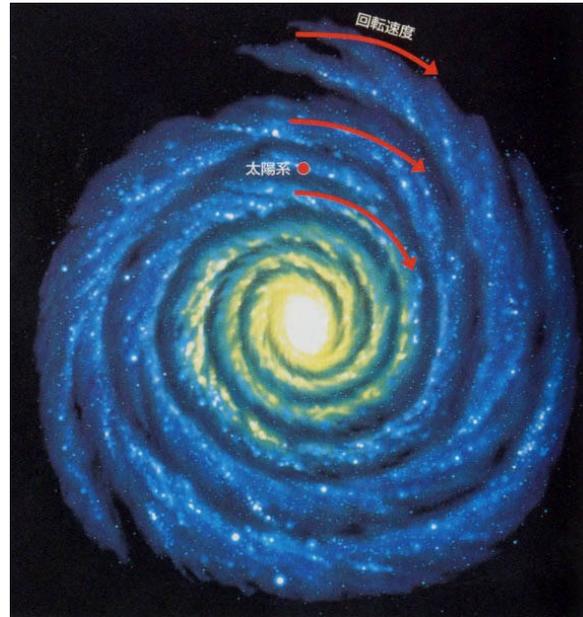
宇宙の暗黒物質



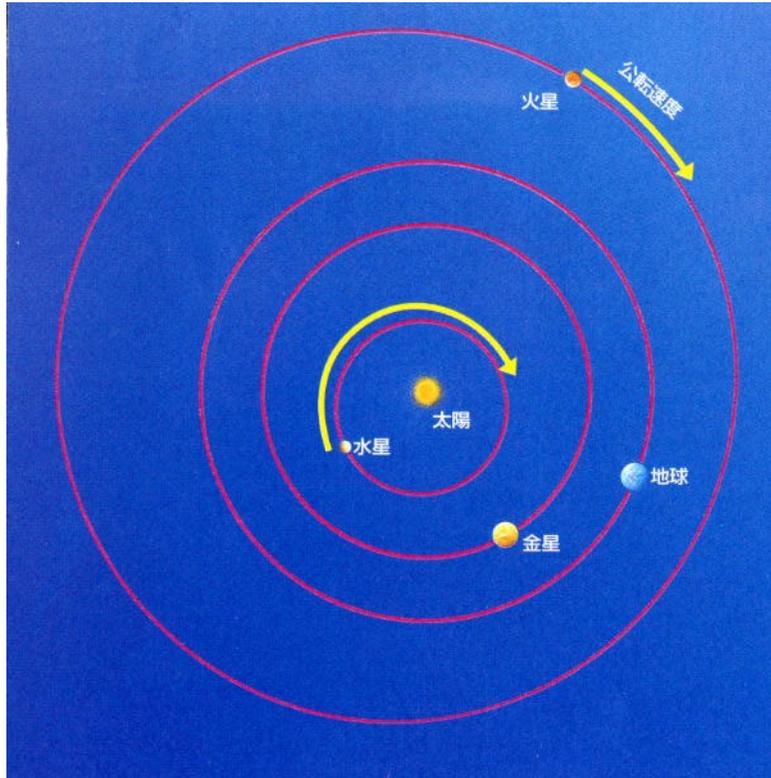
Pictures: NASA/WMAP Science Team, <http://map.gsfc.nasa.gov/>

2003 年 WMAP 衛星 宇宙背景放射のゆらぎの測定

もっと身近な暗黒物質は



われわれの住む銀河にもある

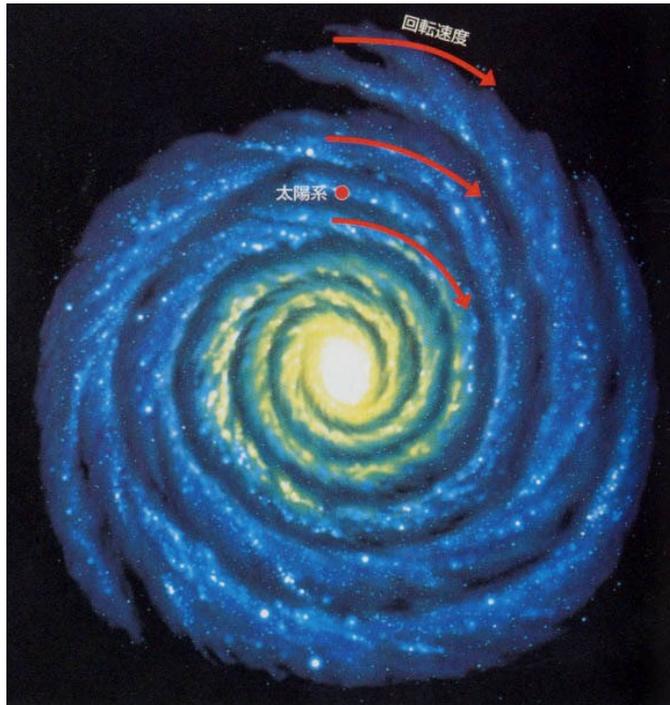


ケプラーの第三法則

遠くの惑星ほど
太陽の引力が弱いから
ゆっくり公転

渦巻銀河も回転している

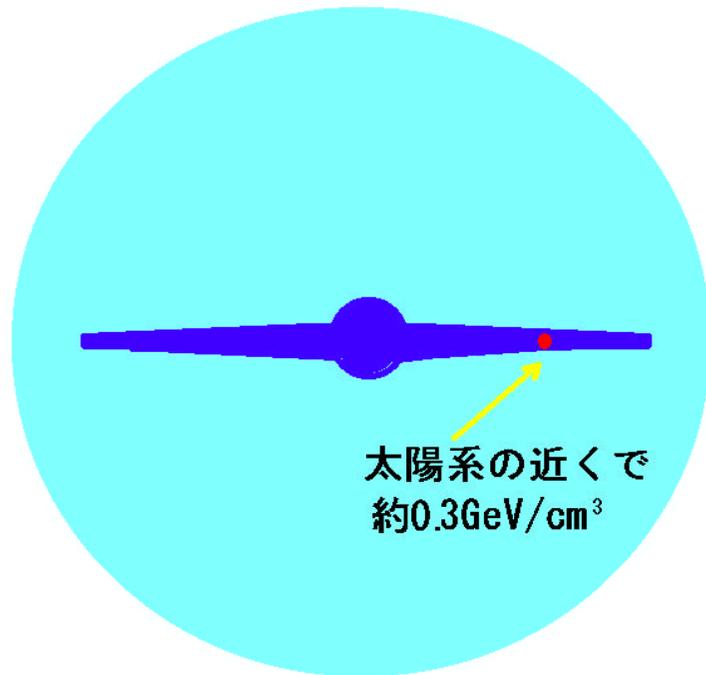
渦巻銀河も回転している



ほとんどの質量は中心に集まっているのに、

近くも遠くも**同じ速さ**で公転している

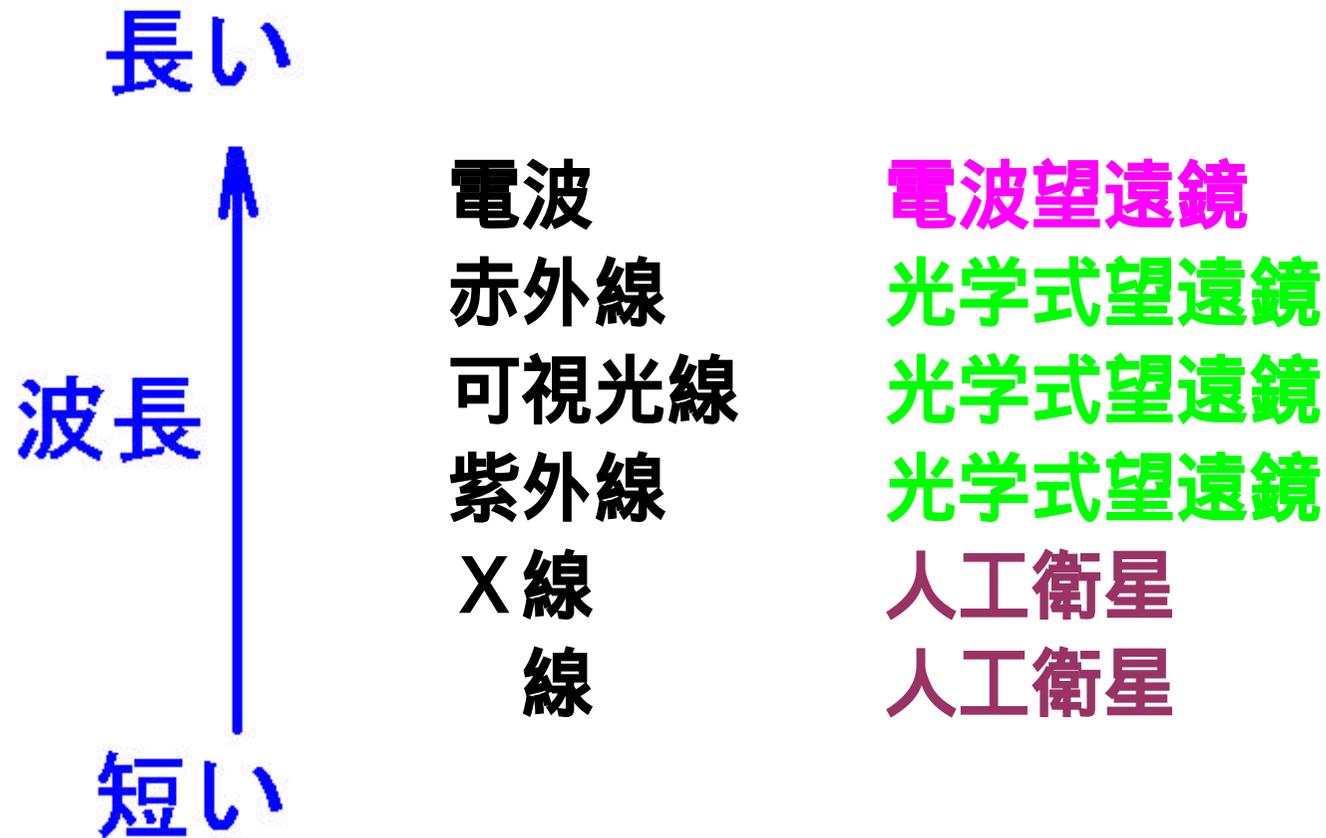
- 遠くのものを中心に強く引きつけるものが**何か**あるに違いない
- **その力**の源は銀河全体をつつんでいるはずだ



観測不可能な**何か**が銀河を取
囲んでいる

暗黒物質のハロー

これまでの普通の天体観測手段の**電磁波**
では**暗黒物質**は見つかっていない

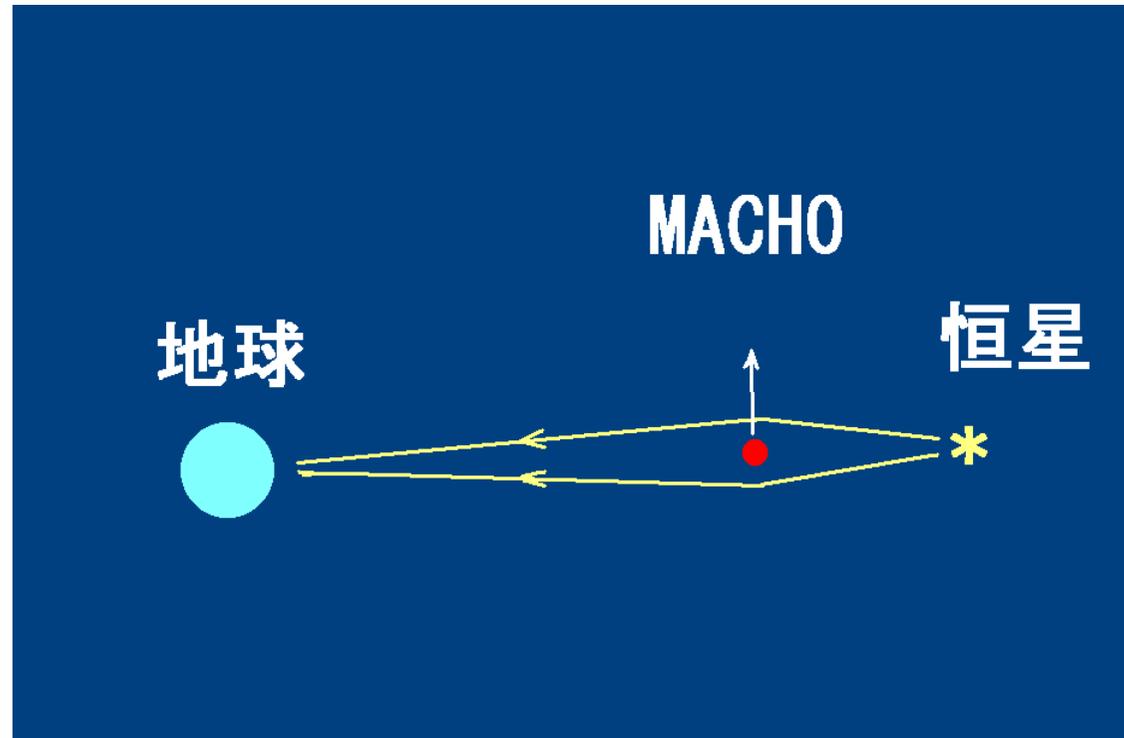


暗黒物質の正体は？あまり光らない (電磁波を出さない)星か？



- 褐色矮星
 - 白色矮星
 - 中性子星
 - ブラックホール
- まとめて **MACHO**
(マッコヨ)

マイクロ重力レンズ効果による MACHO 探し



MACHO の重力により光の進路が曲げられる
凸レンズの効果で恒星が突然明るくなる現象を探す

今のところ少ししか見つからず

それでは暗黒物質の正体は？

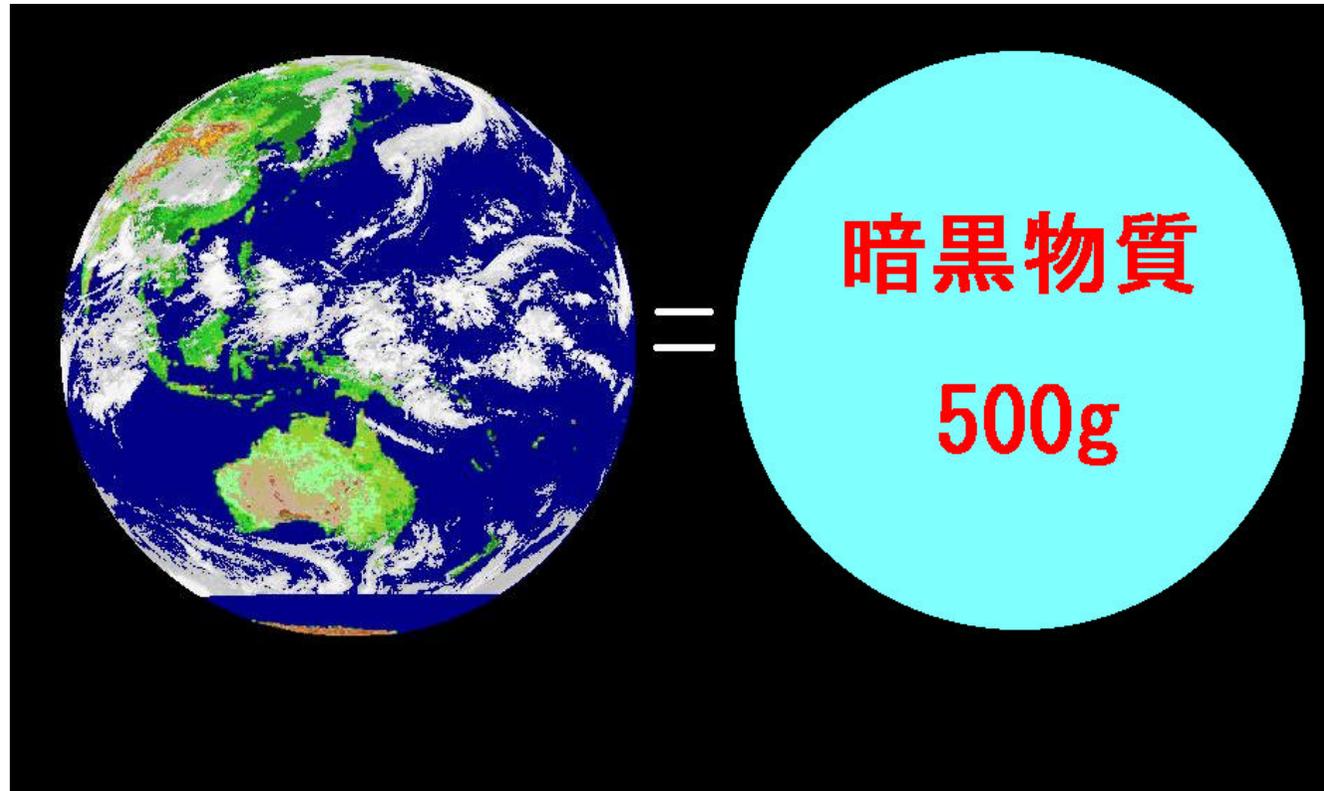
- 微少な**素粒子**の可能性が大きい
- バラバラのまま飛んでいる

太陽系の近くで
約 $0.3\text{GeV}/\text{cm}^3$

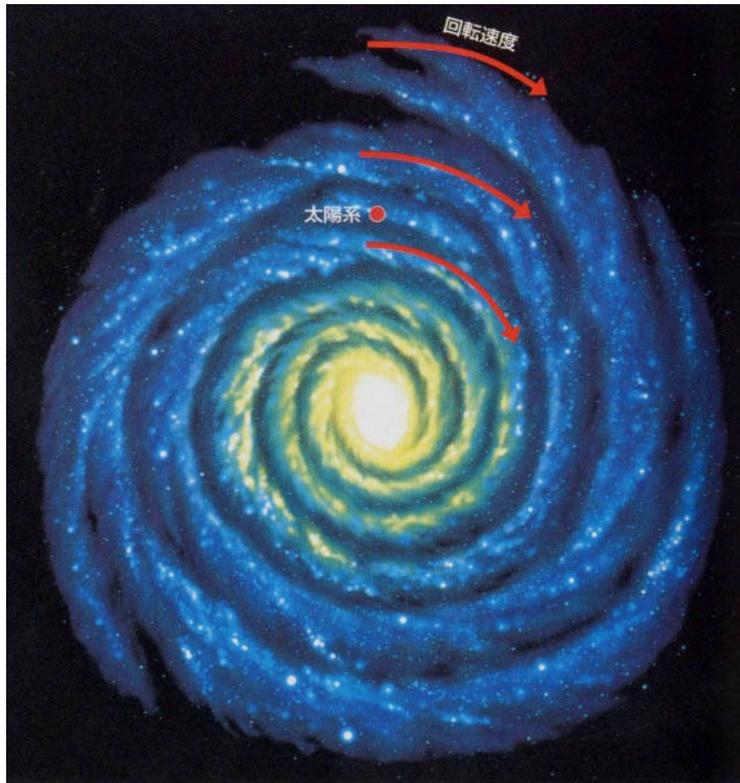
とはどのくらい？

- 水素原子 0.3 個分の質量

地球に含まれる暗黒物質は



しかし、銀河系全体では
光っている星の質量の **10倍以上の暗黒物質**がある



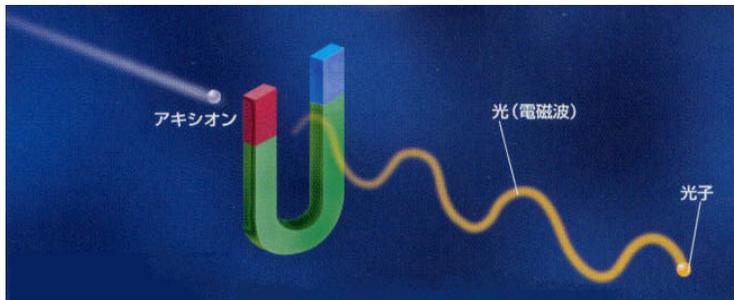
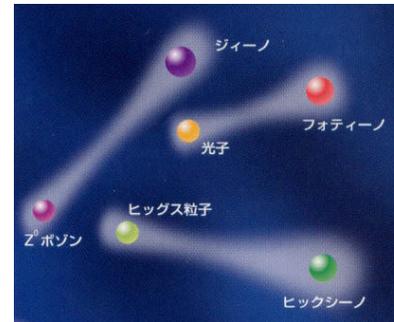
星と星の空間にも
暗黒物質は
びっしりとつまっている

暗黒物質候補の素粒子



~~ニュートリノ~~

ニュートラリーノ



アキシオン

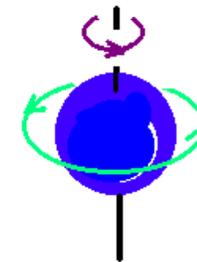
ニュートラリーノ とは？

NEUTRAL : 電氣的に中性な

-INO: フェルミ粒子

フェルミ粒子 : スピン $1/2, 3/2, \dots$

ボーズ粒子 : スピン $0, 1, 2, \dots$



超対称性



物質粒子

は **フェルミ粒子**

クォーク

レプトン

力を伝える粒子

は **ボーズ粒子**

光子

グルーオン

Z, W 粒子

実在

ボーズ粒子

だけど

物質粒子

フェルミ粒子

だけど

力を伝える粒子

ニュートラリーノ

はこの仲間

未発見

暗黒物質ニュートラリーノの性質

- 電氣的に中性
- 質量 30GeV (アルミ原子程度) 以上
- 平均速度およそ 220km /秒 (おそい)
- 銀河系の中で等方的に飛行
- 物質とはまれにしか衝突しない
- ほとんどすり抜ける

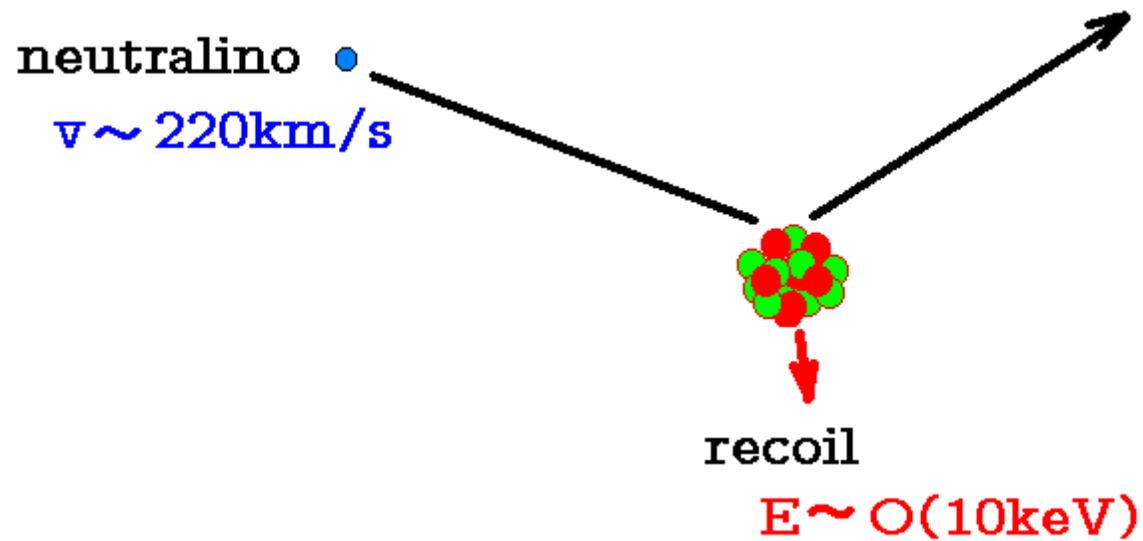
ニュートラリーノを捕まえる方法

素粒子検出器

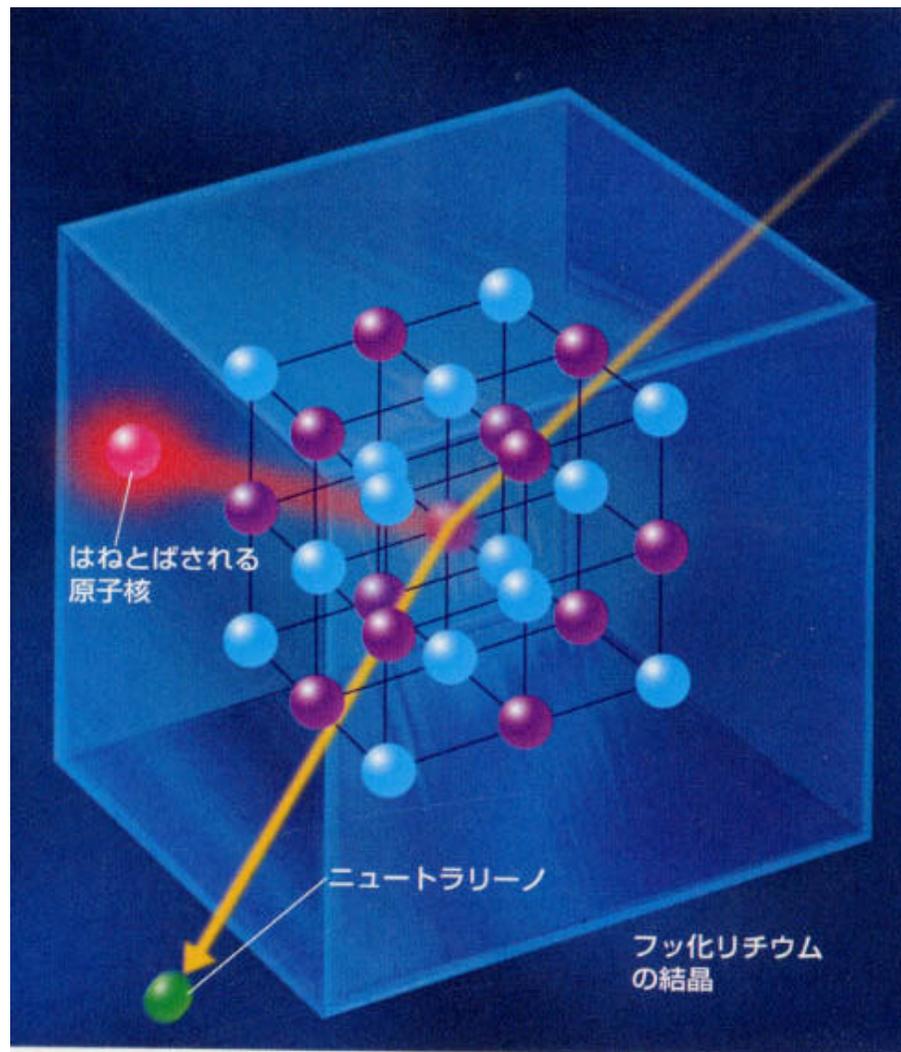
- シンチレーション検出器
- 半導体検出器
- 比例計数管などのガス式検出器

は中性粒子を検出できない

原子核との弾性散乱を使う



反跳 (recoil) 検出法

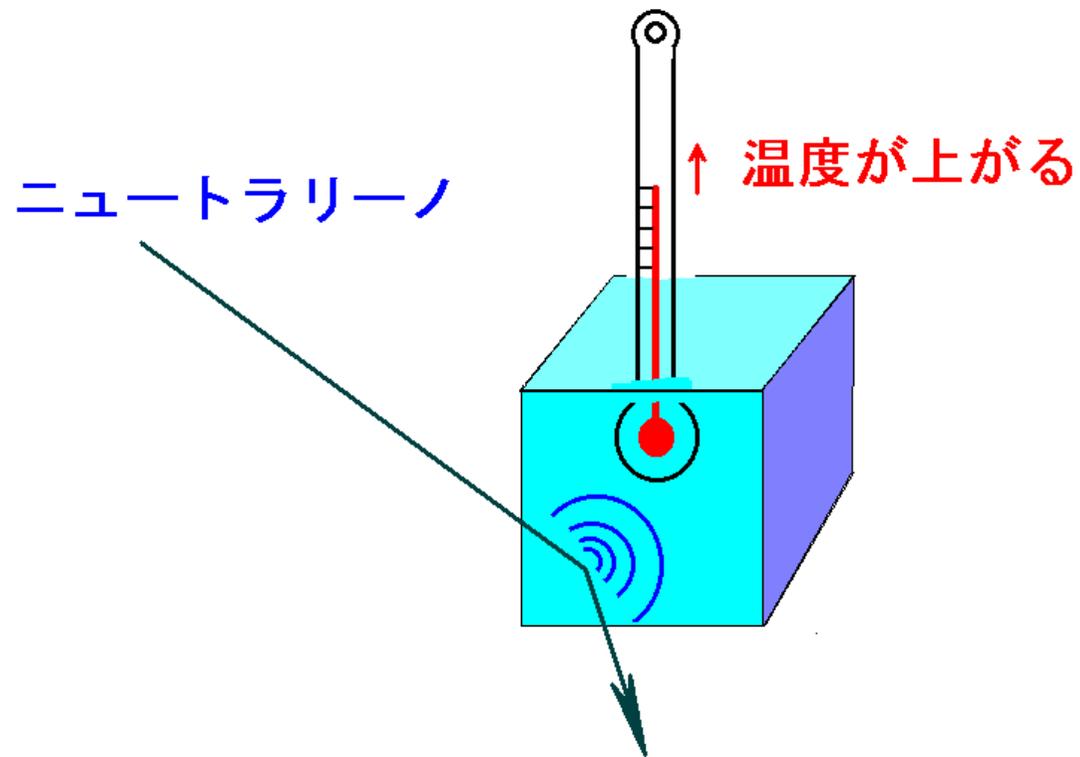


東京大学グループの方法

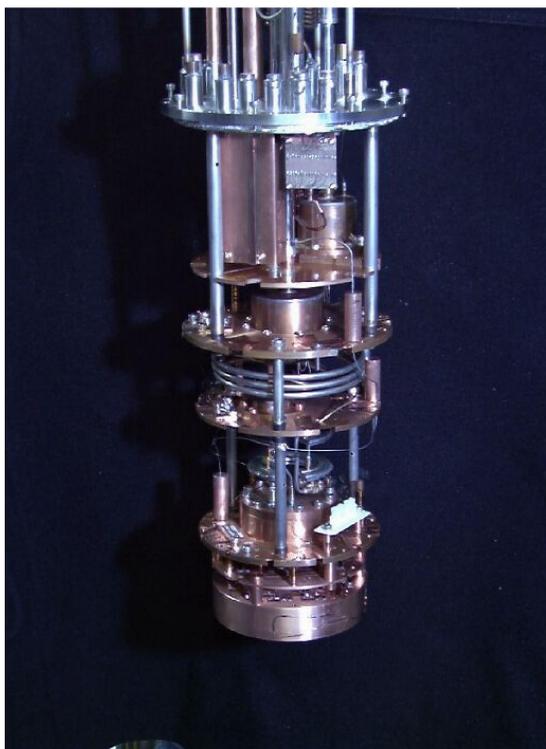
10keV の反跳原子核はかなり遅いので
検出効率が低くなる

熱量計（ボロメータ）で温度をはかる

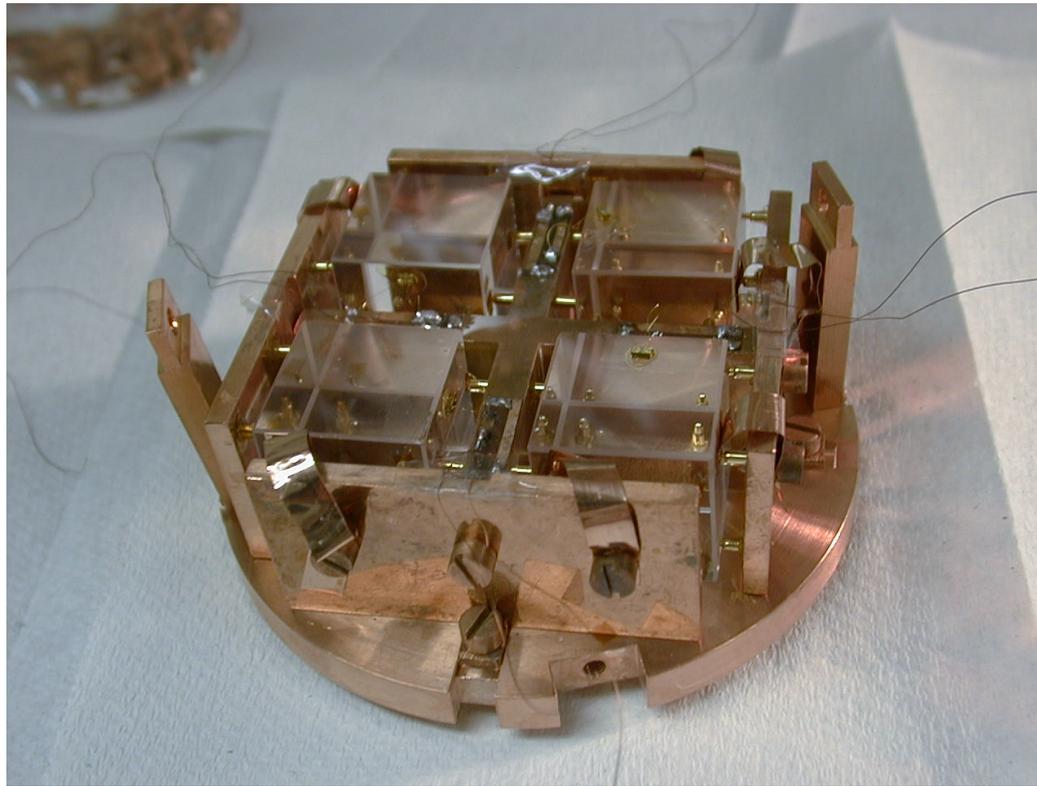
熱量計（ボロメータ）



希釈冷凍機で**絶対0度**近くまで
冷やす 比熱の減少

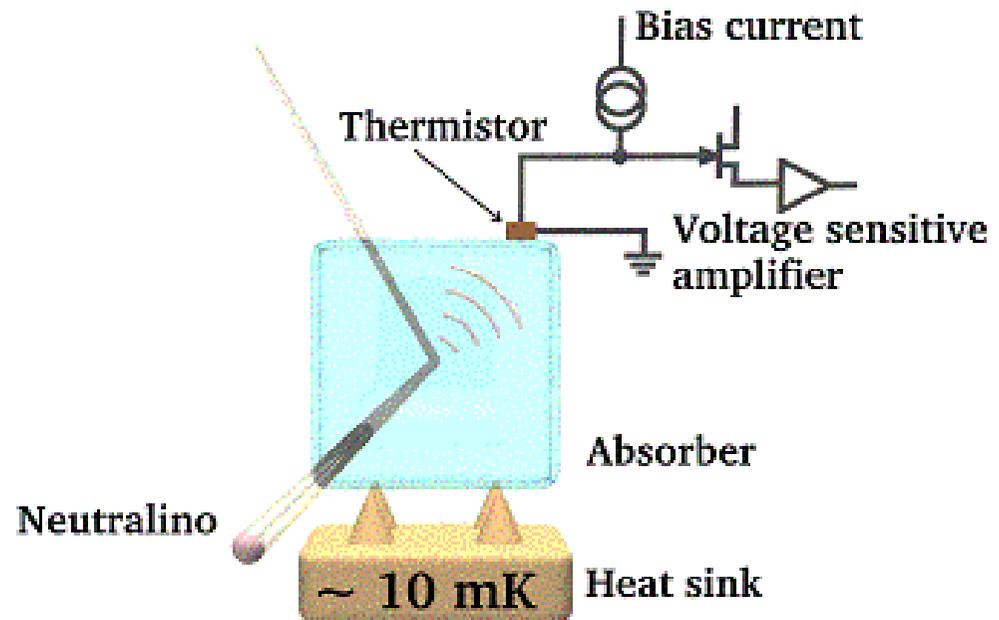


フッ化リチウム・ナトリウム結晶 と電子温度計

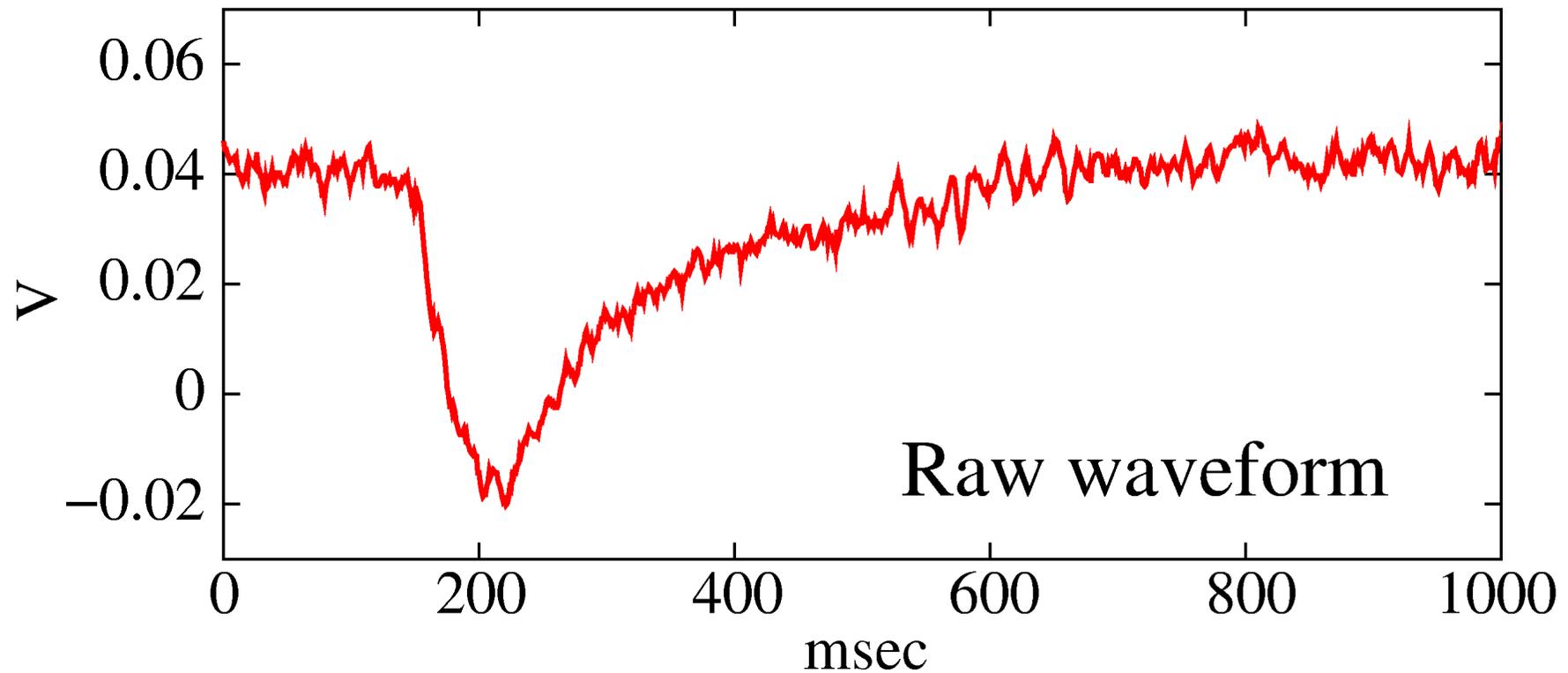


フッ化リチウム・フッ化ナトリウム ボロメータの特徴

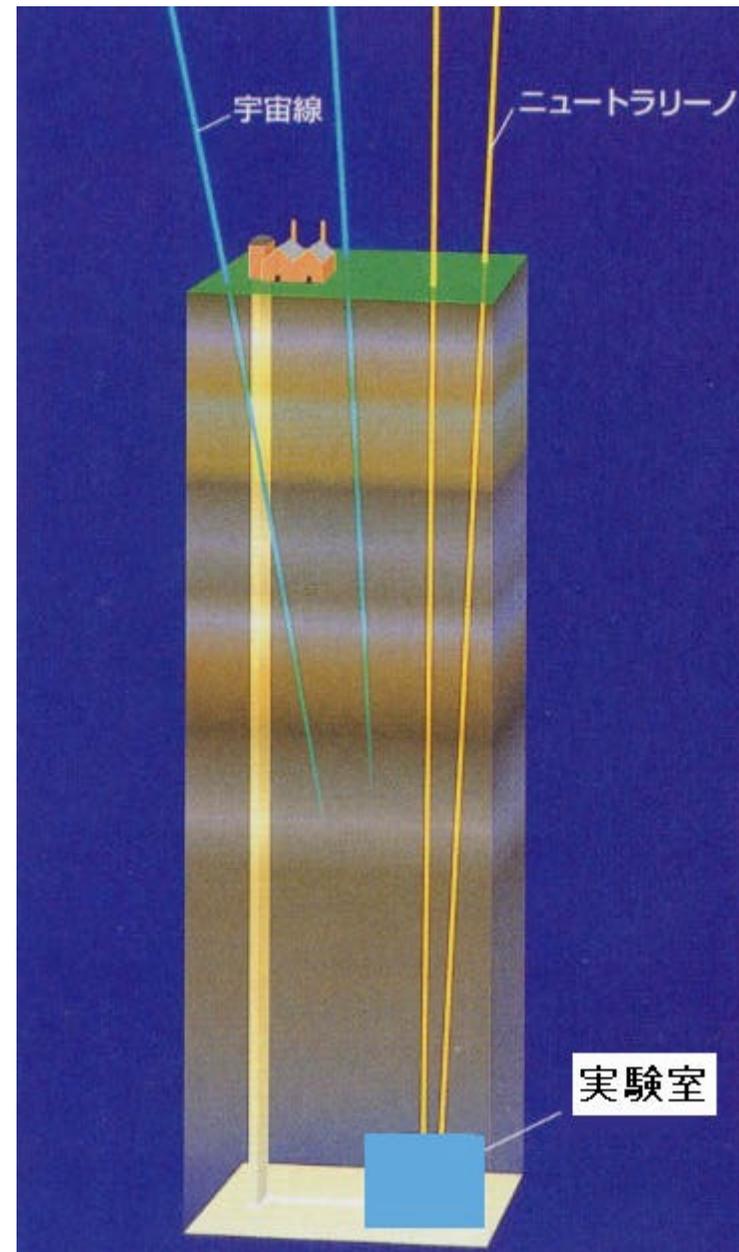
- 高分解能
 - 低しきい値
 - ^{19}F を含む
- スピン結合型相互作用
用に高感度



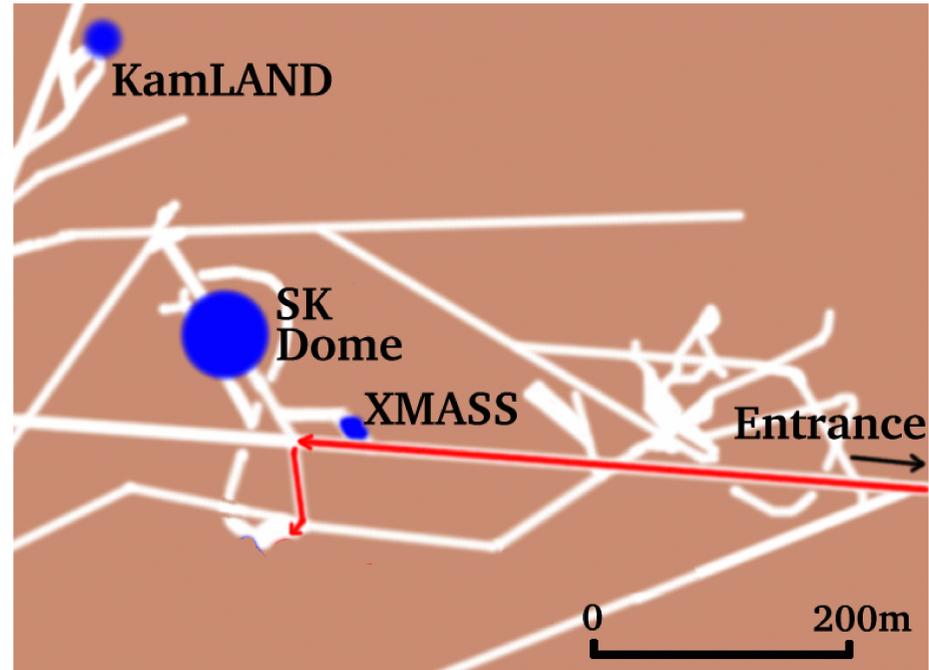
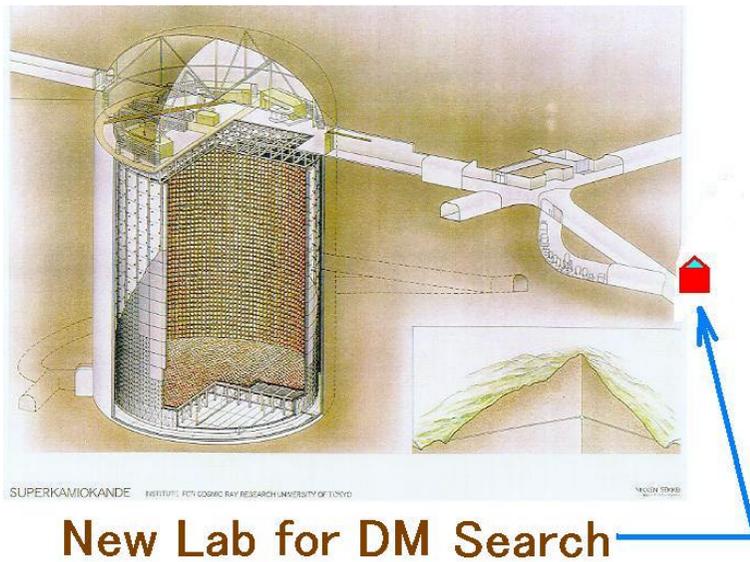
暗黒物質が入射すると こんな電気信号が出る



宇宙線（ μ 粒子など）を
避けるために地下実験
室にもぐる



神岡鉱山



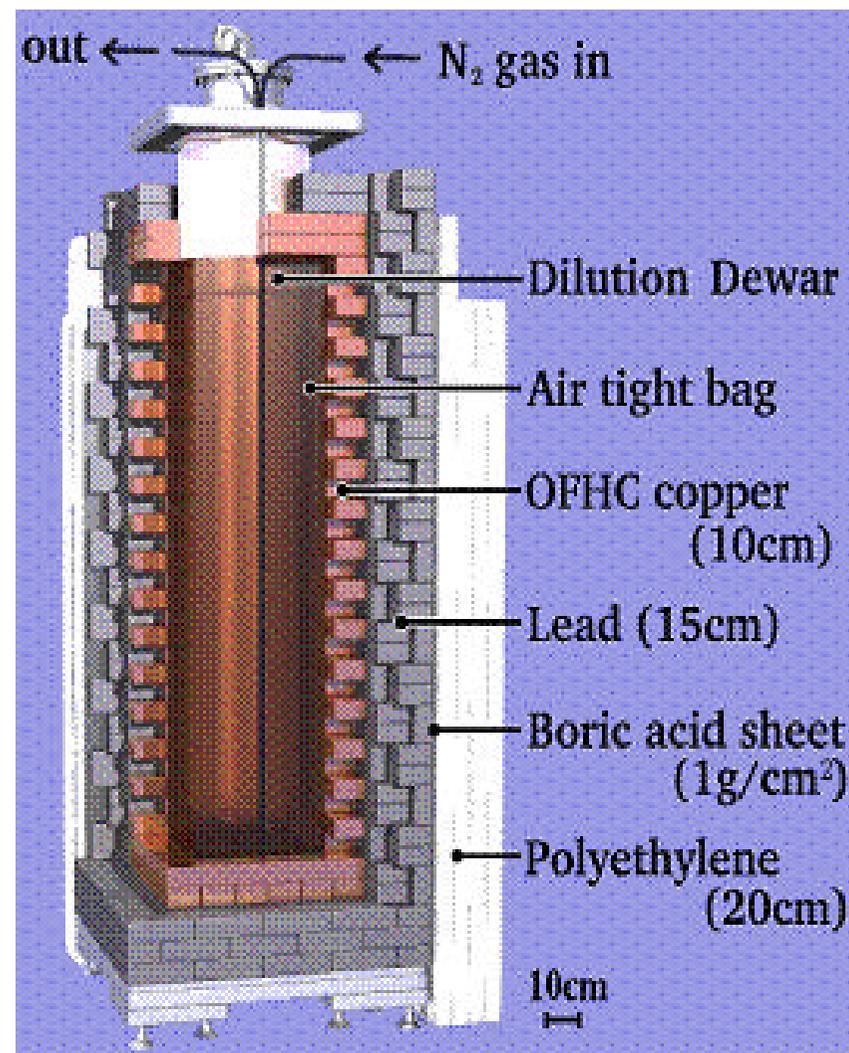
スーパーカミオカンデ
のそば

暗黒物質実験室



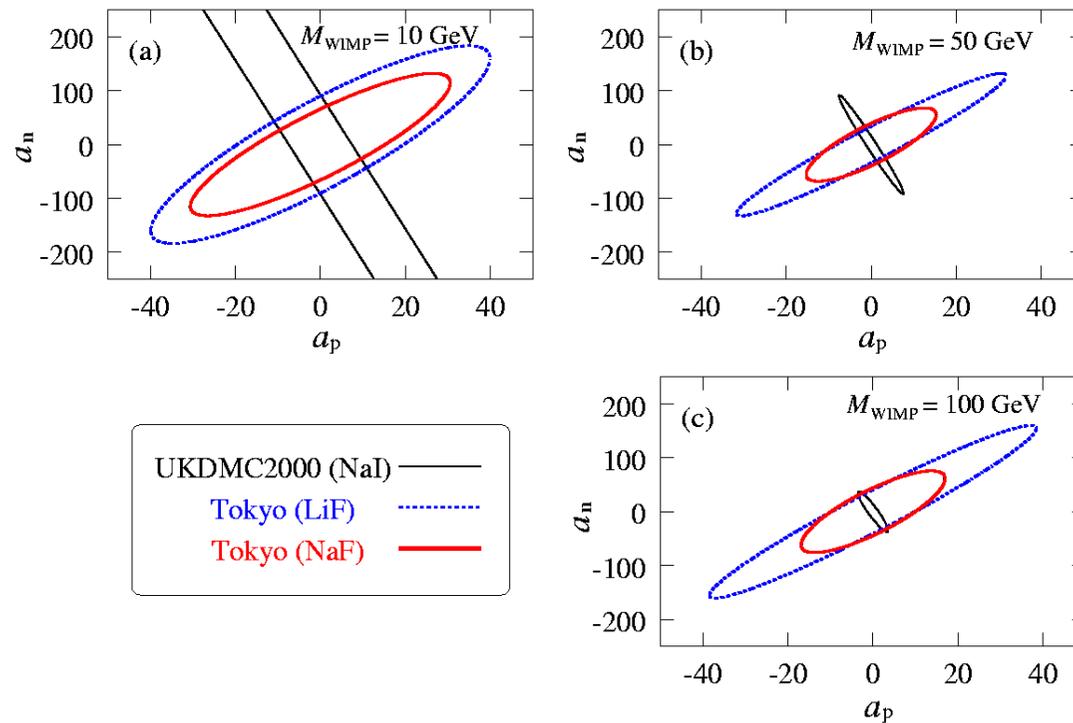
環境バックグラウンド放射線からの嚴重な遮蔽

- 20cm ポリエチレン
- 1g/cm² ホウ酸
- 15cm 低バックグラウンド鉛
- 10cm 無酸素銅
- ラドン除去窒素ガス



これまでの成果

暗黒物質ニュートラリーノは未発見
世界最高感度の UK グループを一部凌駕

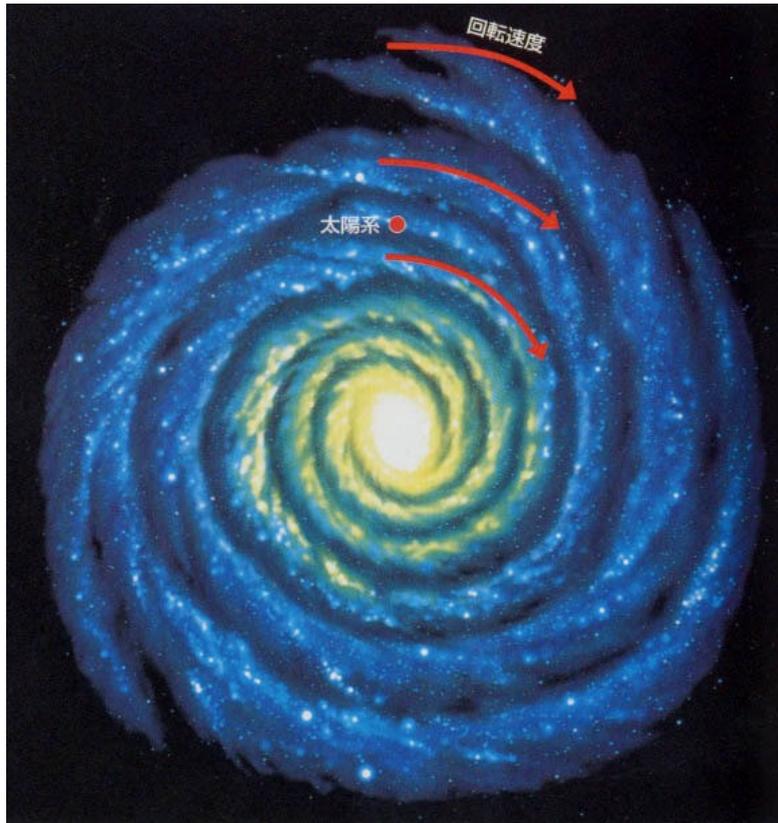


その他の暗黒物質実験

- 日本 奈良大塔トンネル
- アメリカ Soudan 鉱山
- イタリア Gran Sasso トンネルなど

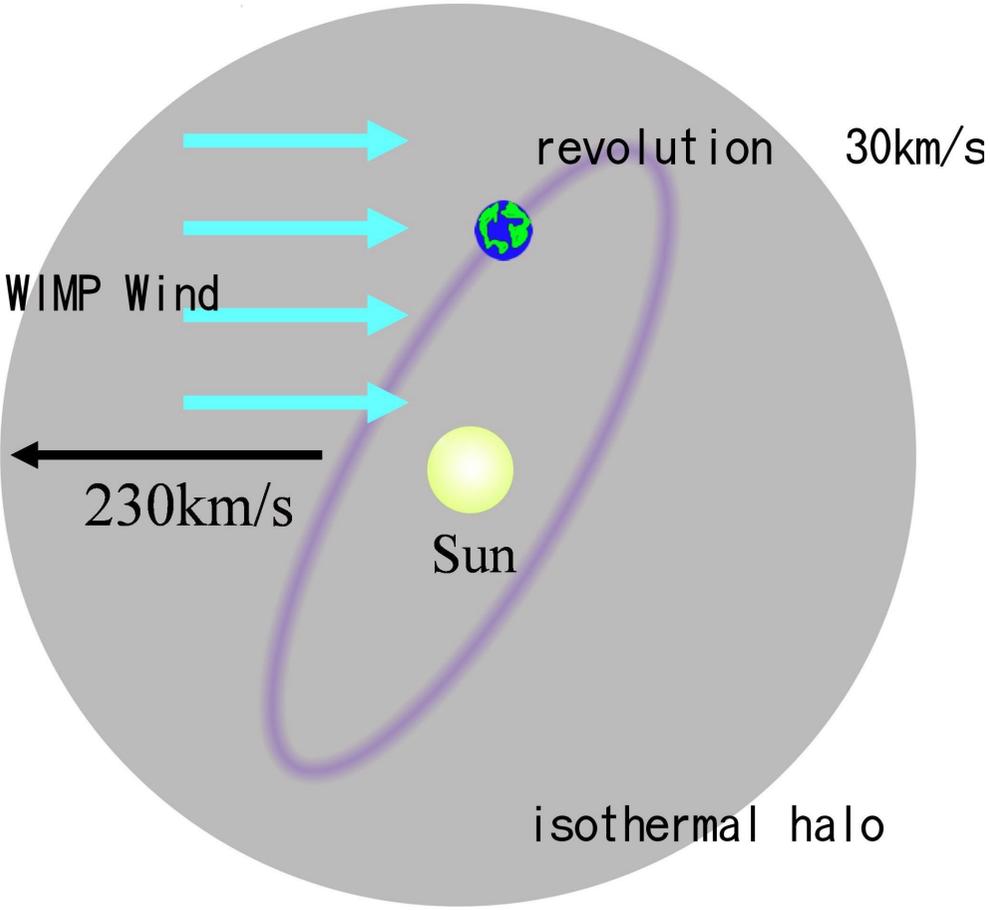
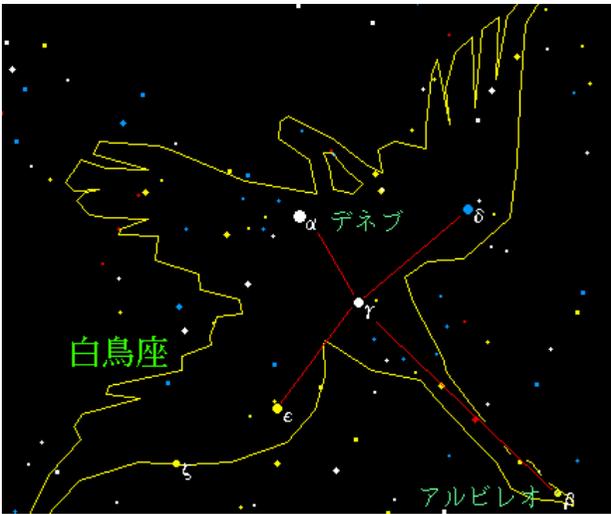
まだ**どこでも**発見されていない
もっと感度を上げるには？

東大グループの新しい試み

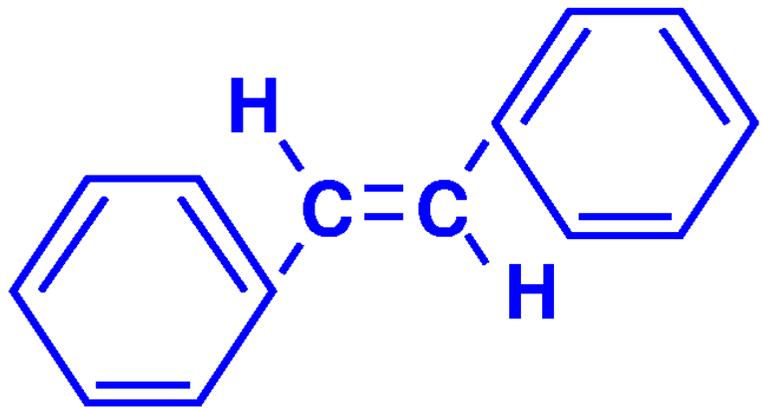


暗黒物質の風向きをはかる

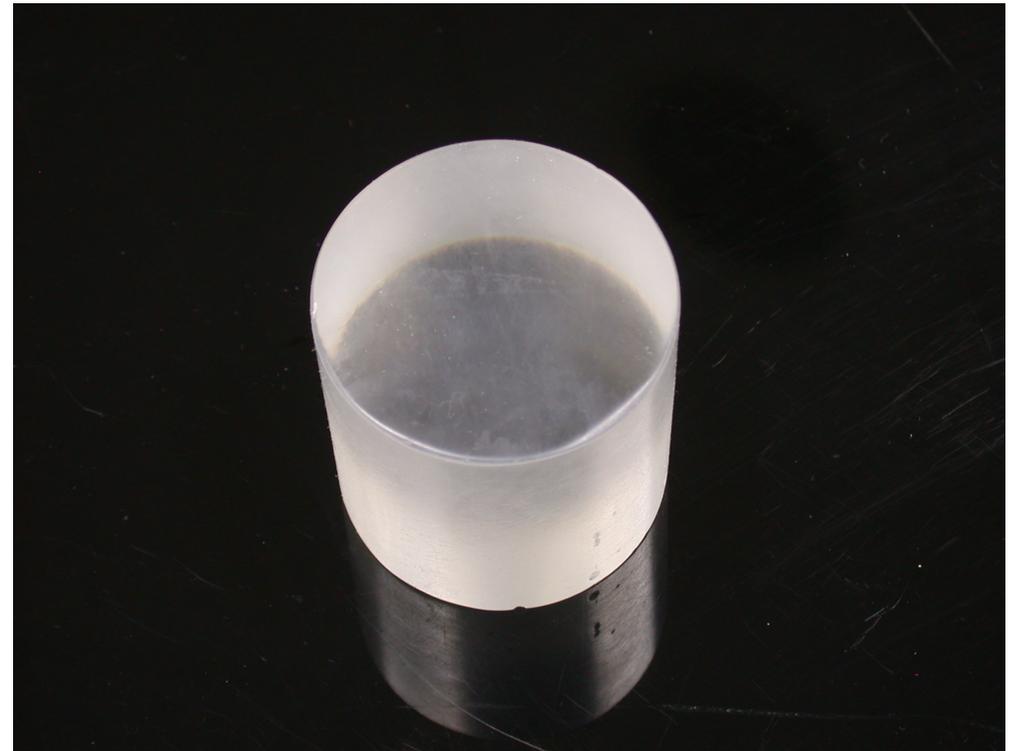
暗黒物質の風



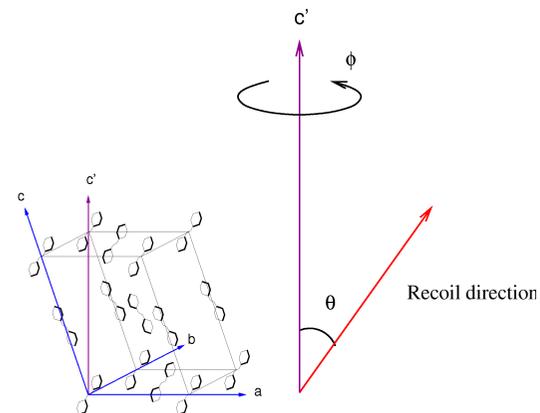
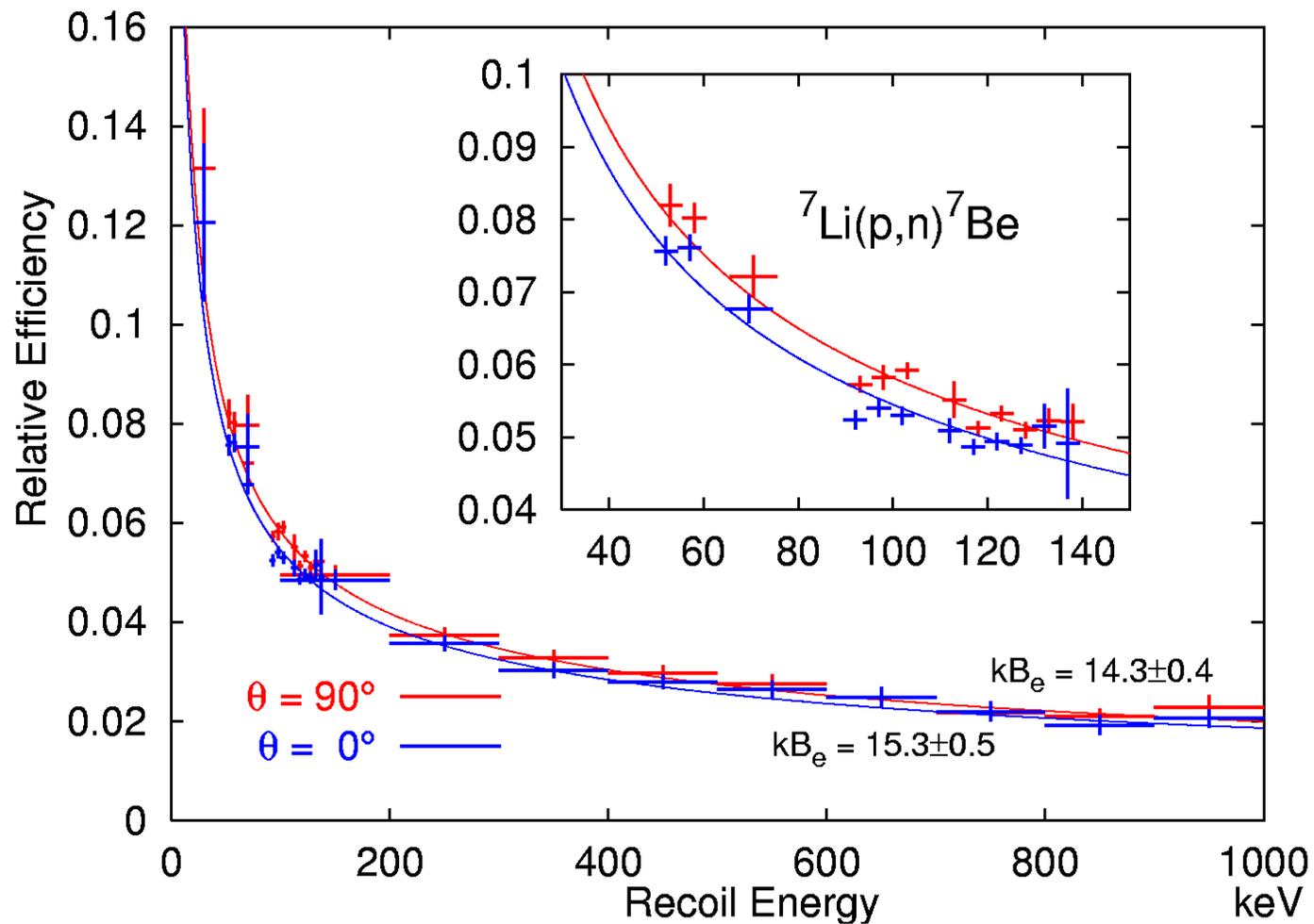
スチルベンシンチレータ



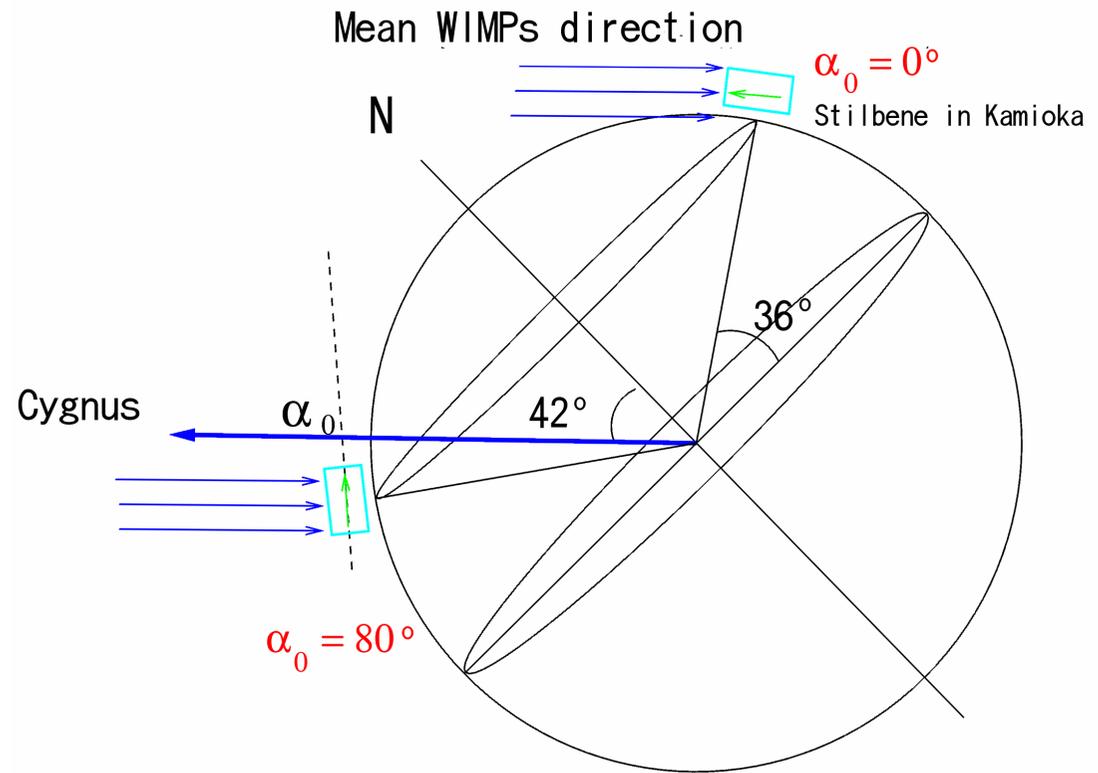
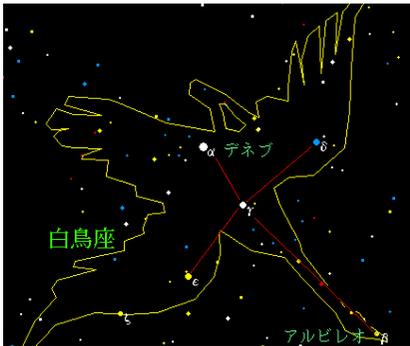
原子核の反跳方向
により発光量が異
なる



スチルベンには**方向感度**がある

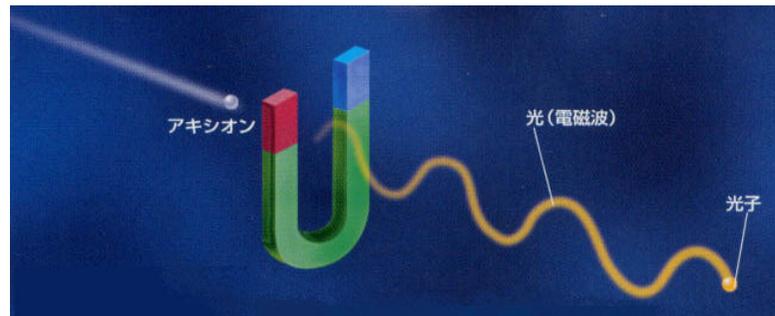


地球の自転により暗黒物質の結晶への入射方向が変わる



もうひとつの候補 **アクシオン**

- 電氣的に **中性**
- 電子よりずっと **軽い**
- 平均速度およそ **220km /秒**
- 銀河系の中で **等方的**に飛行
- 物質とは **まれ**にしか衝突しないほとんど **すり抜ける**
- **磁場**の中で **光**に変わる



京都大学およびアメリカのグループが探索中

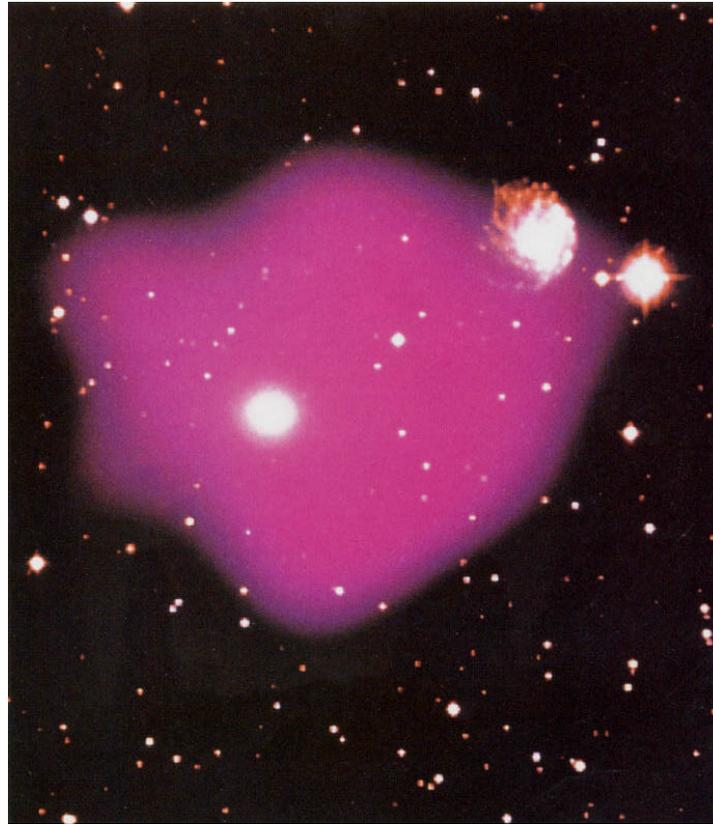
まとめ

- 渦巻銀河の**回転速度** **暗黒物質**ハロー
- 暗黒物質は**電磁波**では観測できない
- MACHO (光らない星) ではなさそう
- 第1候補：**ニュートラリーノ**

フッ素化合物熱量計(ボロメータ)で
観測(神岡)未発見だが善戦中
暗黒物質の**風を感じる検出器**を開発中

- 第2候補：アクシオン

銀河団にも暗黒物質



銀河団に付随する高温のガスは暗黒物質の重力のせいでバラバラにならない