

AXEL実験(3日目の小原トーク参照)の
高圧キセノンガスTPC技術を応用して、
面白い暗黒物質探索実験がしてみたい、
というプロジェクトです。

DarkAXEL

中村輝石(神戸大)

for the AXEL collaboration

自己紹介

- 中村輝石(3人目?の中村です)
 - 学振PD 所属:神戸大、住处:京大
- プロジェクト
 - NEWAGE(低圧ガスを使った方向に感度を持つ暗黒物質探索)@学生時代
 - AXEL(高圧キセノンガスを使った0 $\nu\beta\beta$ 探索)@今
 - DarkAXEL(高圧キセノンガスを使った方向に感度を持つ暗黒物質探索)@本音



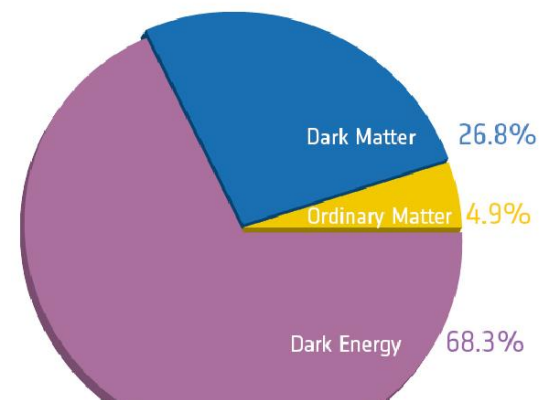
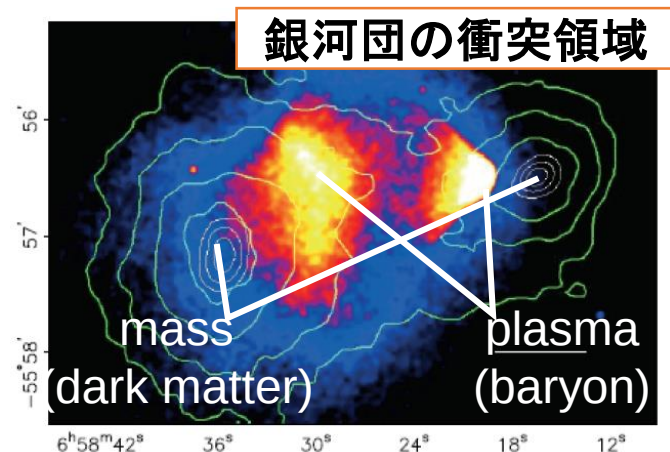
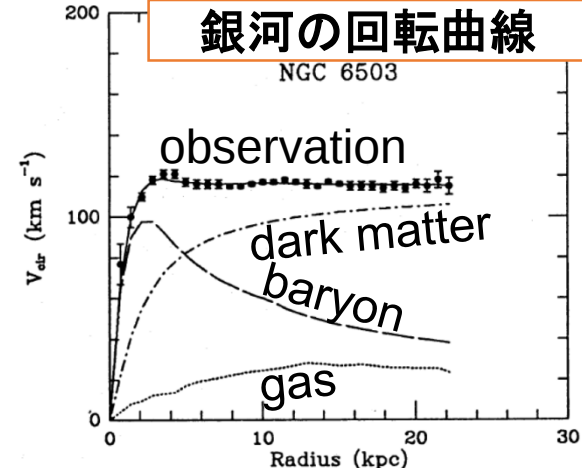
イメージキャラクター
「だあくまたん」



暗黒物質の存在(宇宙)

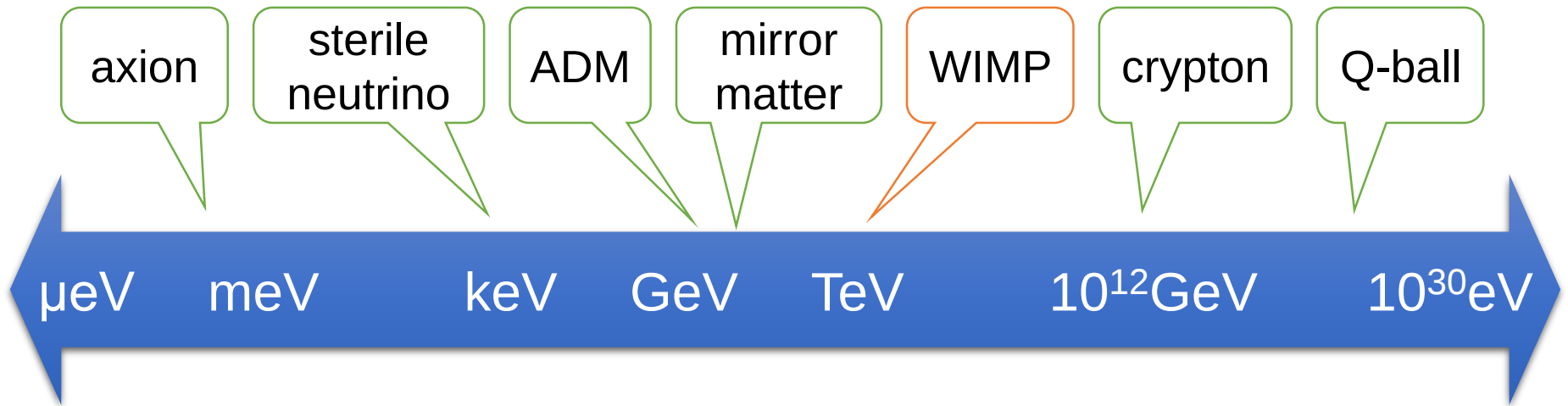
- 銀河スケール
 - 銀河の星の回転速度がケプラーの法則より速い
- 銀河団スケール
 - 銀河団衝突領域の質量分布がプラズマ分布より先行している
- 宇宙論スケール
 - CMB測定など⇒マター密度 ~ 0.25
 - BBNモデル⇒バリオン密度 ~ 0.05
 - 差分の0.2は未知の質量

⇒様々な宇宙の階層に暗黒物質の証拠あり



宇宙のエネルギー組成比

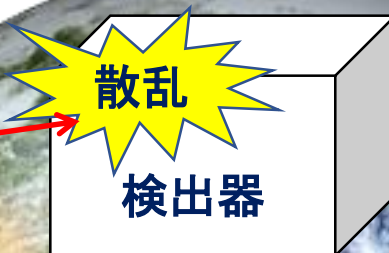
暗黒物質の候補（素粒子）



- 初期宇宙の大規模構造を乱さない $\Rightarrow$ 非相対論的 (CDM)
- BBNの原子核合成と差 $\Rightarrow$ 非バリオン
- 未発見 $\Rightarrow$ 散乱断面積が小さい or 数密度が低い
- 候補はたくさんある

暗黒物質探索

直接検出



間接検出

γ 線
ニュートリノ
反物質



対消滅

銀河中心や太陽など
質量のあるところ



WIMP χ

q クォーク

Q

χ

q

散乱

検出器

検出器

加速器

対生成

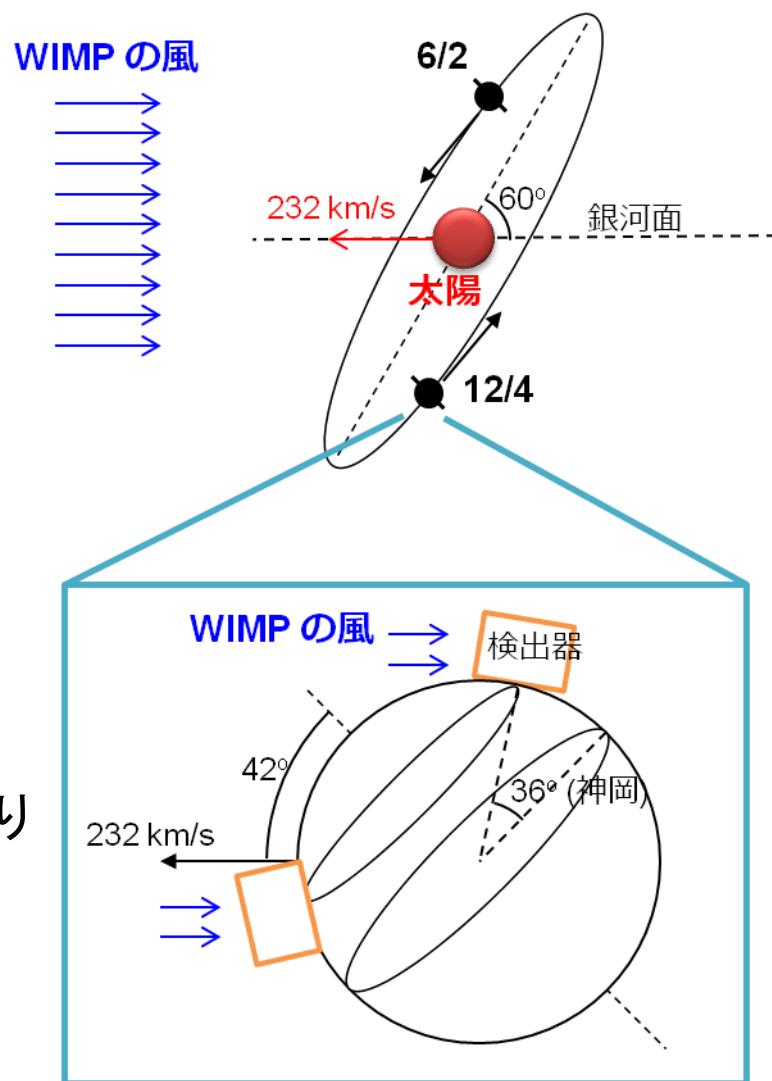
p

p

加速器実験

暗黒物質の直接探索

- 季節変化
 - イベントレート: 夏 > 冬
 - 変化は数%と小さい
 - 環境変化の系統誤差もある
 - 普通の実験はこっち
- 方向感度
 - 反跳原子核の方向異方性
 - 変化量は数倍と大きい
 - 飛跡が短いので難しい
 - ニュートリノBGを突破できる可能性あり
- 飛跡の縦横が分かれば方向感度

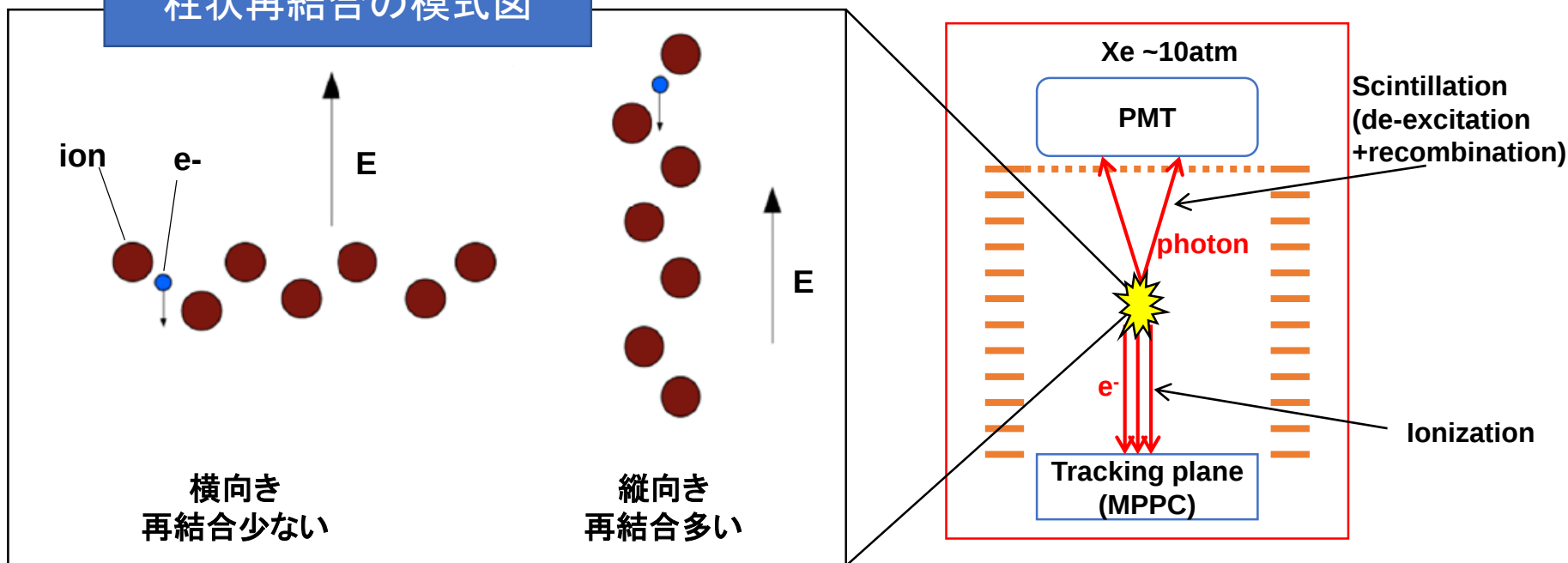


柱状再結合

- High pressure xenon gas TPC can be a dark matter detector with directionality + mass + SI sensitivity

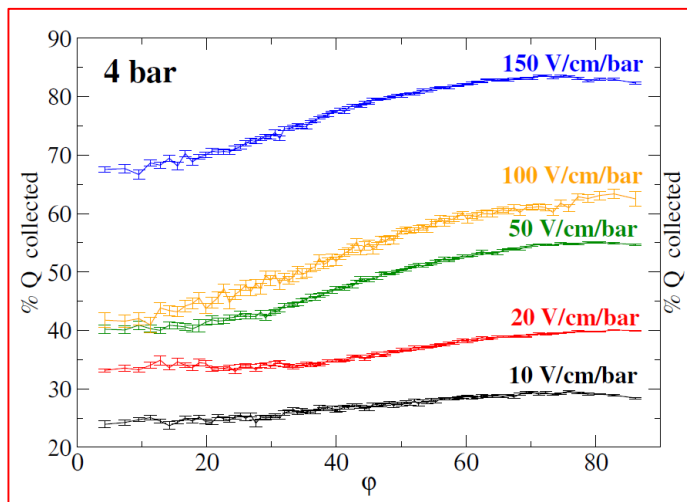
D. Nygren J Phys. Conf. Ser. 460 (2013) 012006

柱状再結合の模式図



先行研究(NEXT)

- XeにTMAを混ぜ、電子の冷却・ペニング効果・波長変換、を期待
- 電離信号の角度依存性を検出 PoS (TIPP2014) 057
- 発光が抑制されてしまう J. Phys. Conf. Ser. 650 (2015) 012012



5MeVの α 線を用いた評価

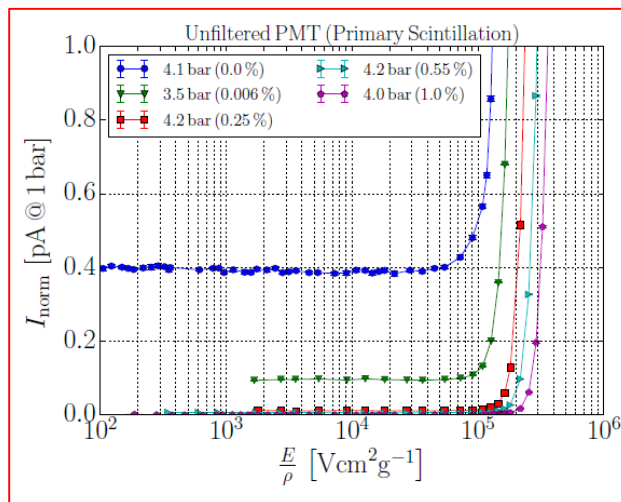
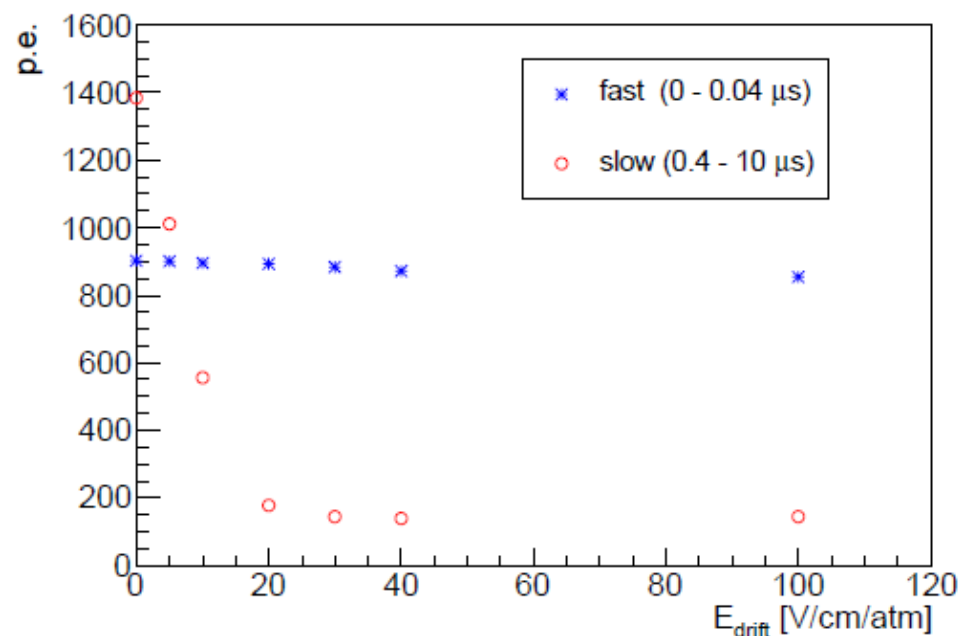
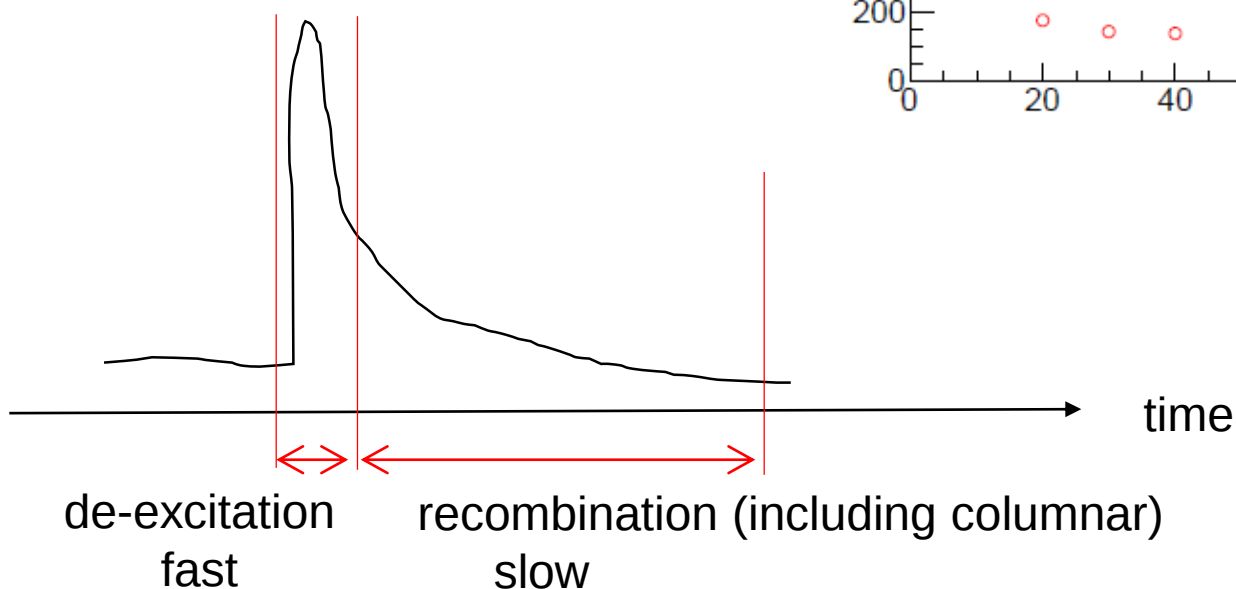


Figure 8. Primary scintillation light yield with Xe+TMA gas mixture, measured at approximately 4 bar total pressure and various TMA concentration.

X線を用いた評価

Time profile of scintillation

- 再結合光は脱励起光より発光が遅い
- 遅い成分(slow)は角度依存があるかも！



EL電場を印加時の波形

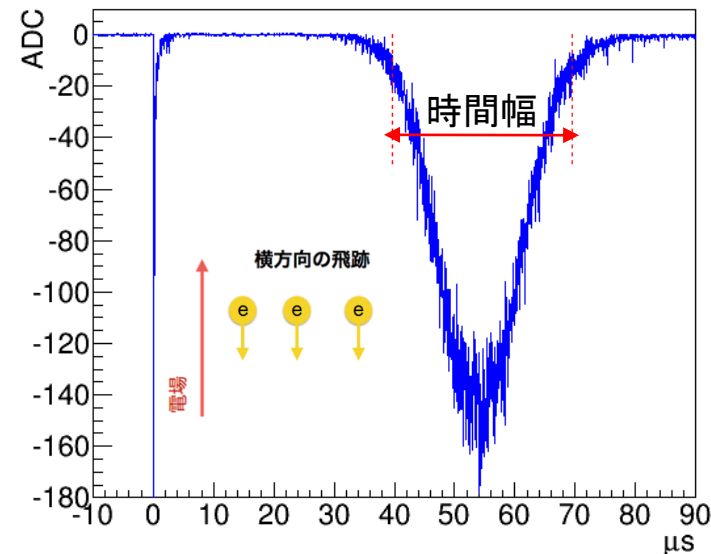
8atm Xe

$E_{\text{drift}} = 6\text{V/cm/atm}$

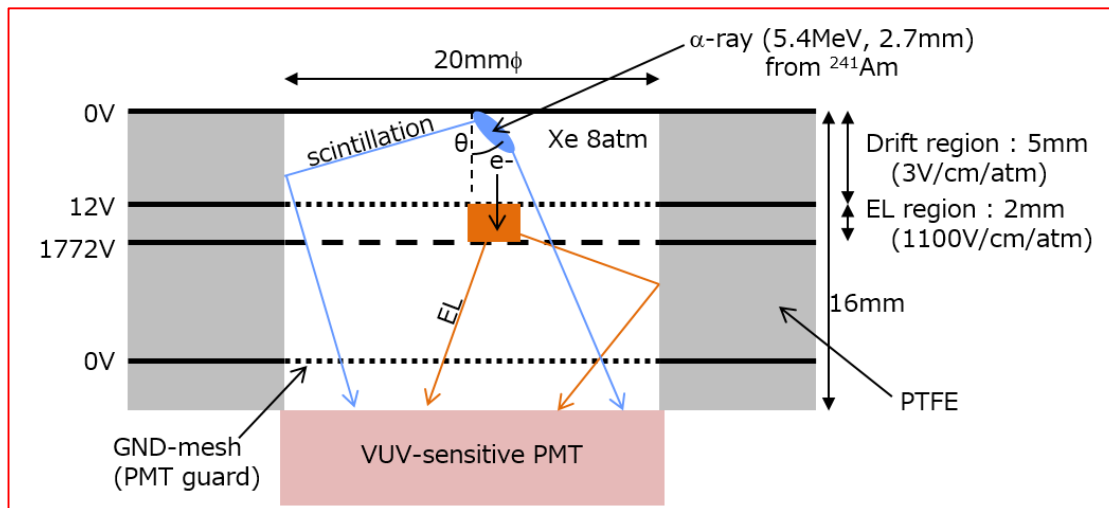
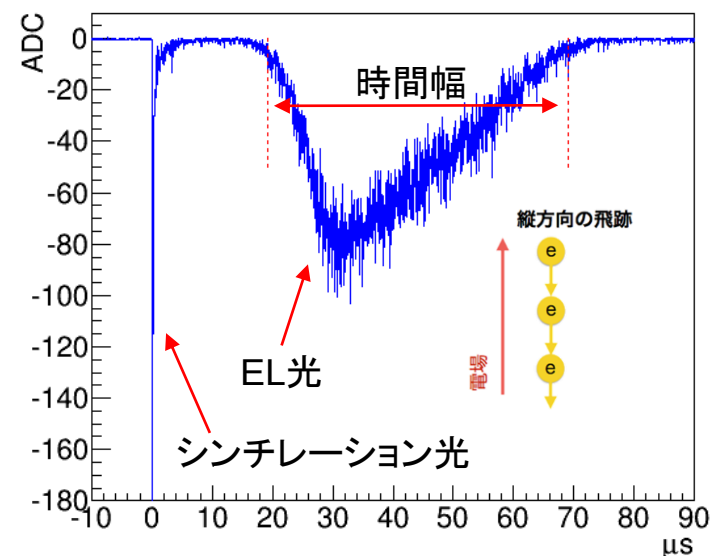
$E_{\text{EL}} = 1100\text{V/cm/atm}$

Horizontal-like event

- 電離電子はEL光に変換して取得
 - 縦方向の飛跡 $\Rightarrow$ 時間幅が長い
 - 横方向の飛跡 $\Rightarrow$ 時間幅が短い



Vertical-like event

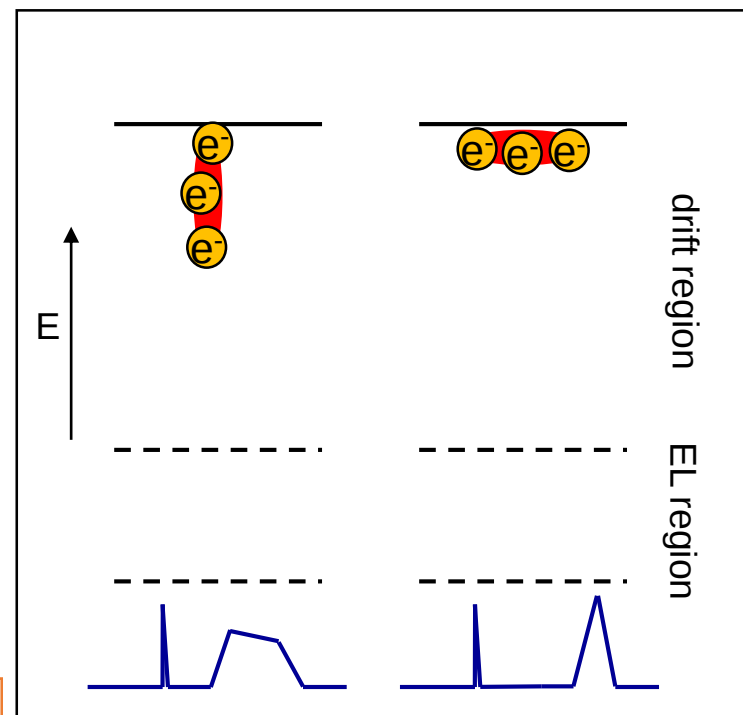


EL光の信号波形

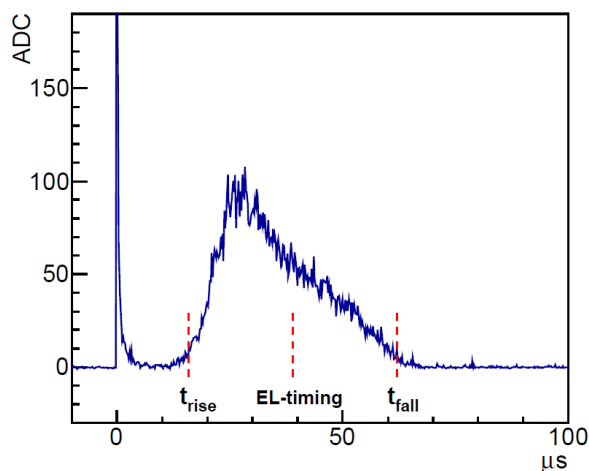
- 縦向きはELが早く始まる
- $EL\text{-timing} \propto \cos\theta$
- 角度 θ をEL-timingから求める

$$EL\text{-timing} = \frac{t_{\text{rise}} + t_{\text{fall}}}{2}$$

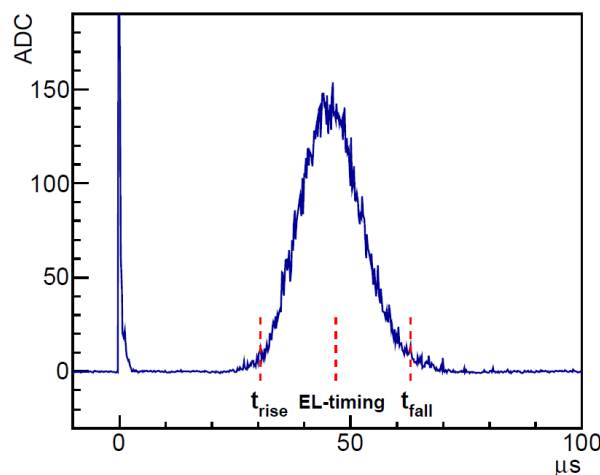
8atm Xe
 $E_{\text{drift}} = 6.6 \text{ V/cm/atm}$
 $E_{\text{EL}} = 900 \text{ V/cm/atm}$



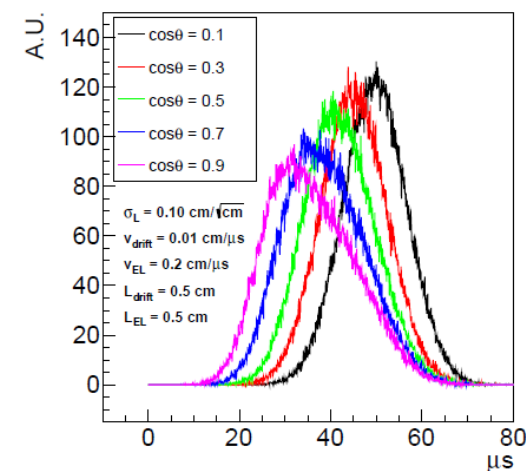
Vertical-like event



Horizontal-like event

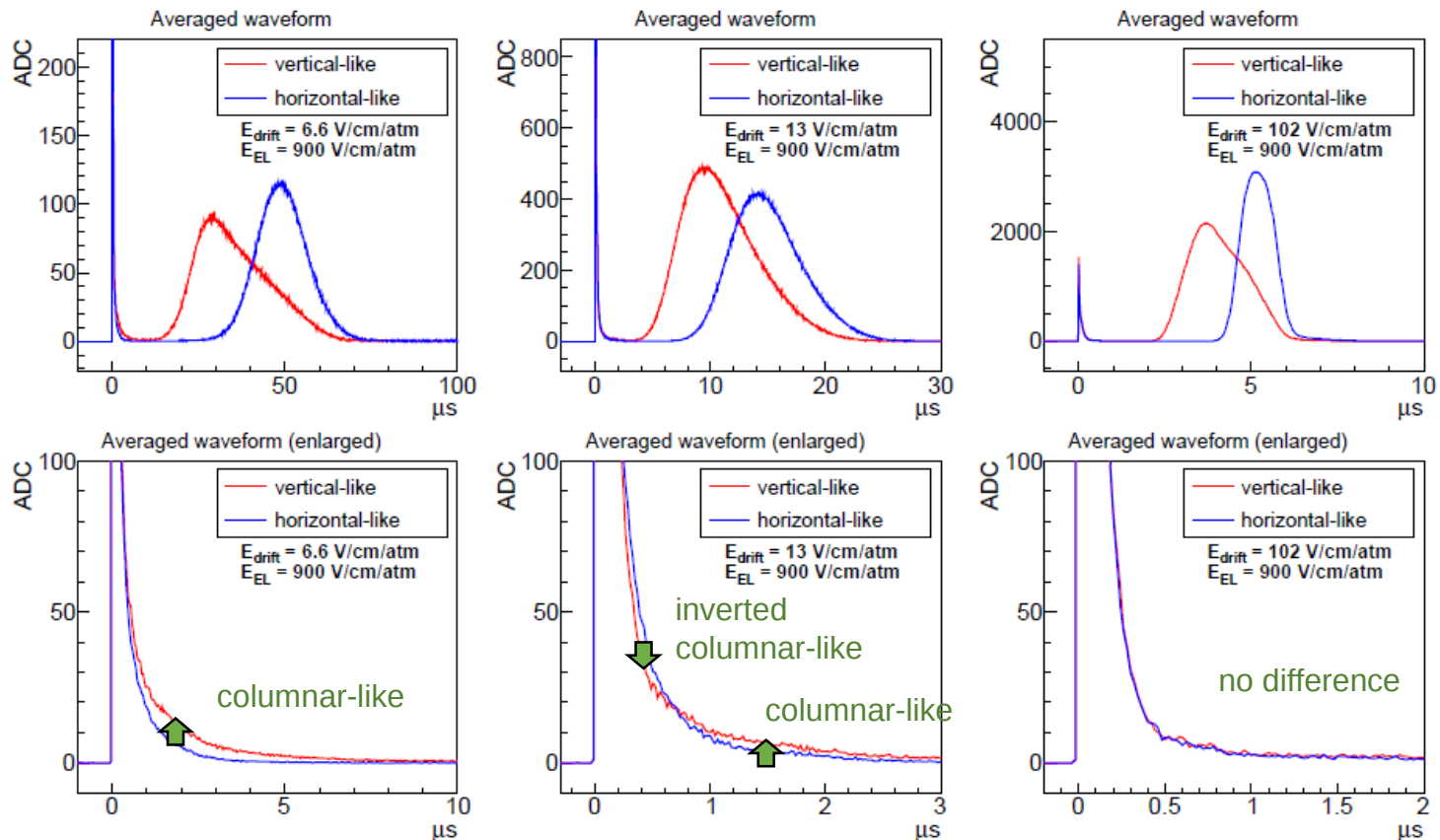


Simulated EL waveform



平均波形

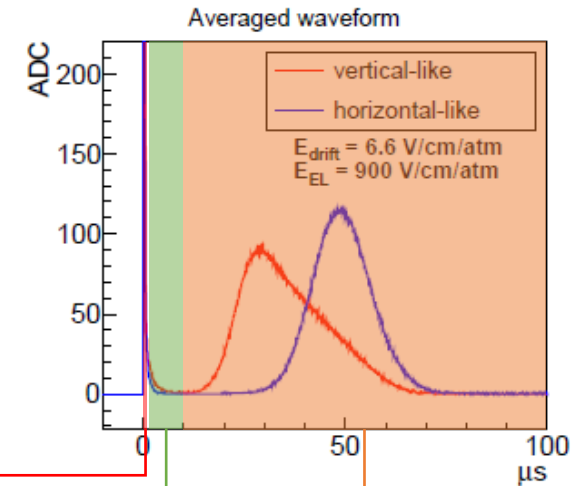
- 低電場 (6.6V/cm/atm): 柱状再結合っぽい！
- 中電場 (13V/cm/atm): 0.8 μ sを境に逆転
- 高電場 (102V/cm/atm): シンチ光には違いがない



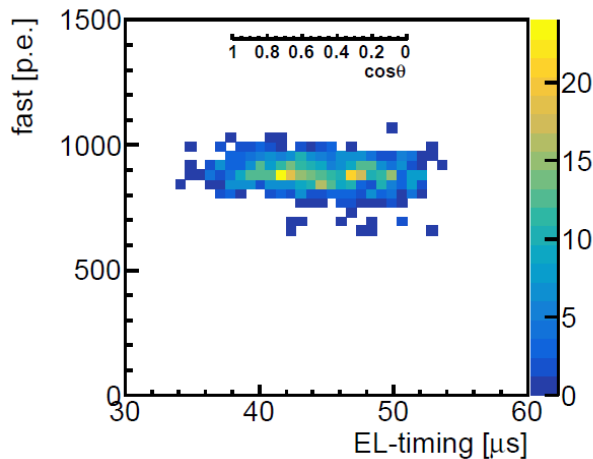
$$E_{\text{drift}} = 6.6 \text{ V/cm/atm}$$

光量の角度依存性

- fast (de-excitation): 一定
 - slow (recombination): 負の相関
 - EL (ionization): 正の相関
- > 柱状再結合！

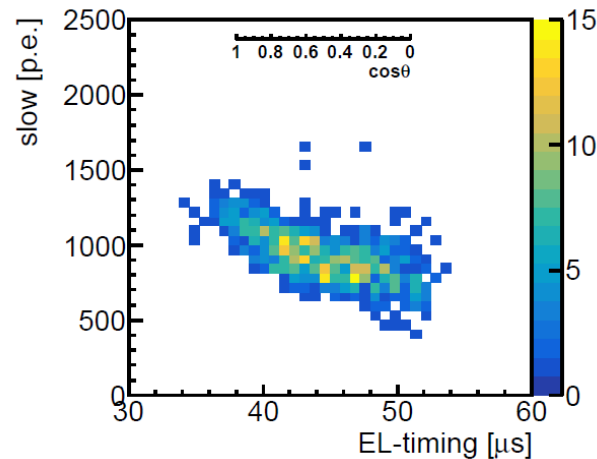


fast: 0-0.04 μs
de-excitation



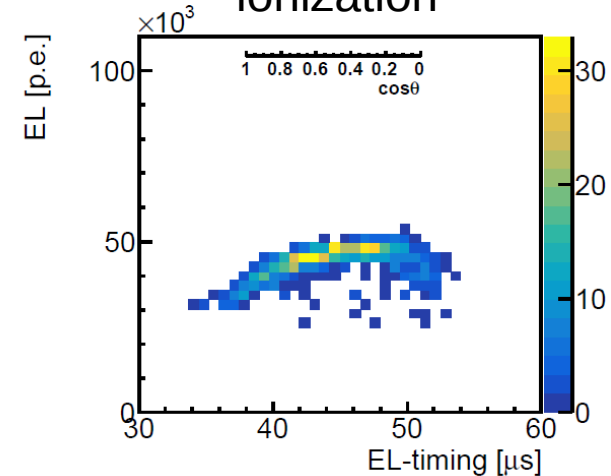
縦向き ←→ 横向き

slow: 0.4-10 μs
recombination



縦向き ←→ 横向き

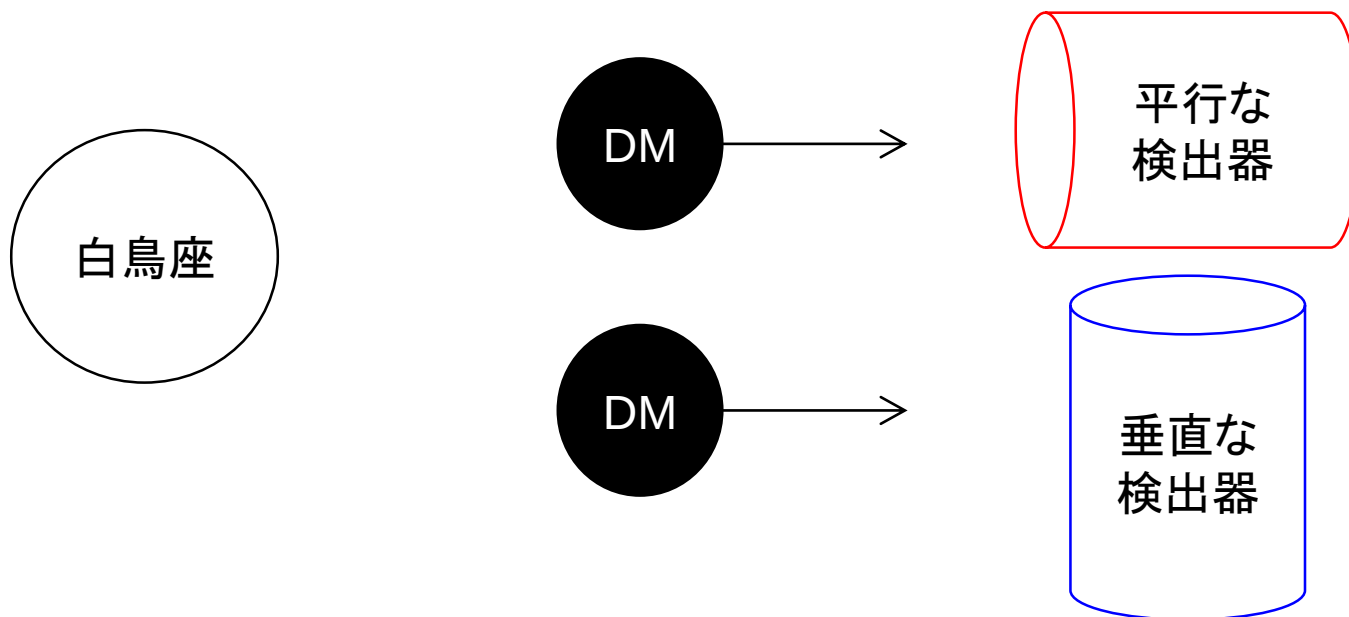
EL: 10-100 μs
ionization



縦向き ←→ 横向き

実際やるとなったら？

- ドリフト方向と白鳥座方向が平行/垂直な検出器を並べておくことを想定
- それぞれの検出器で、角度ごとのイベントレートに差が見られれば、方向に感度のある暗黒物質の信号！



まとめ

- 柱状再結合を電荷と光の両方で初観測
 - 方向感度＋大質量＋SI感度 が熱い
 - (エネルギー分解能もよいので、低閾値も狙えそう)
- 今後の予定
 - 原子核反跳による低エネルギーの調査
- 論文
 - できました！
 - みんなに読んでもらいたいのので、オープンアクセスです！