

高エネルギー物理学（素粒子物理学）研究室

～高エネルギー物理学とは～

実験を通して物質の構成要素である素粒子や空間の性質・起源を探究する学問。

スタッフ

| | | |
|-----|---------------|----------|
| 教授 | 中家 剛 | ニュートリノ実験 |
| 准教授 | 市川 温子 | ニュートリノ実験 |
| 准教授 | Roger Wendell | ニュートリノ実験 |
| 准教授 | 田島 治 | CMB実験 |
| 助教 | 隅田 土詞 | ATLAS実験 |

素粒子実験の方向性

高エネルギー実験
(高いエネルギーでの現象を見る)

ATLAS

宇宙実験
(天体観測により宇宙の秘密を探る)

CMB実験、SK

大強度実験
(たくさんの粒子を生成して、稀にしか起こらない現象を見る)

T2K、KOTO

地下実験
(低バックグラウンド環境で稀な現象を探す)

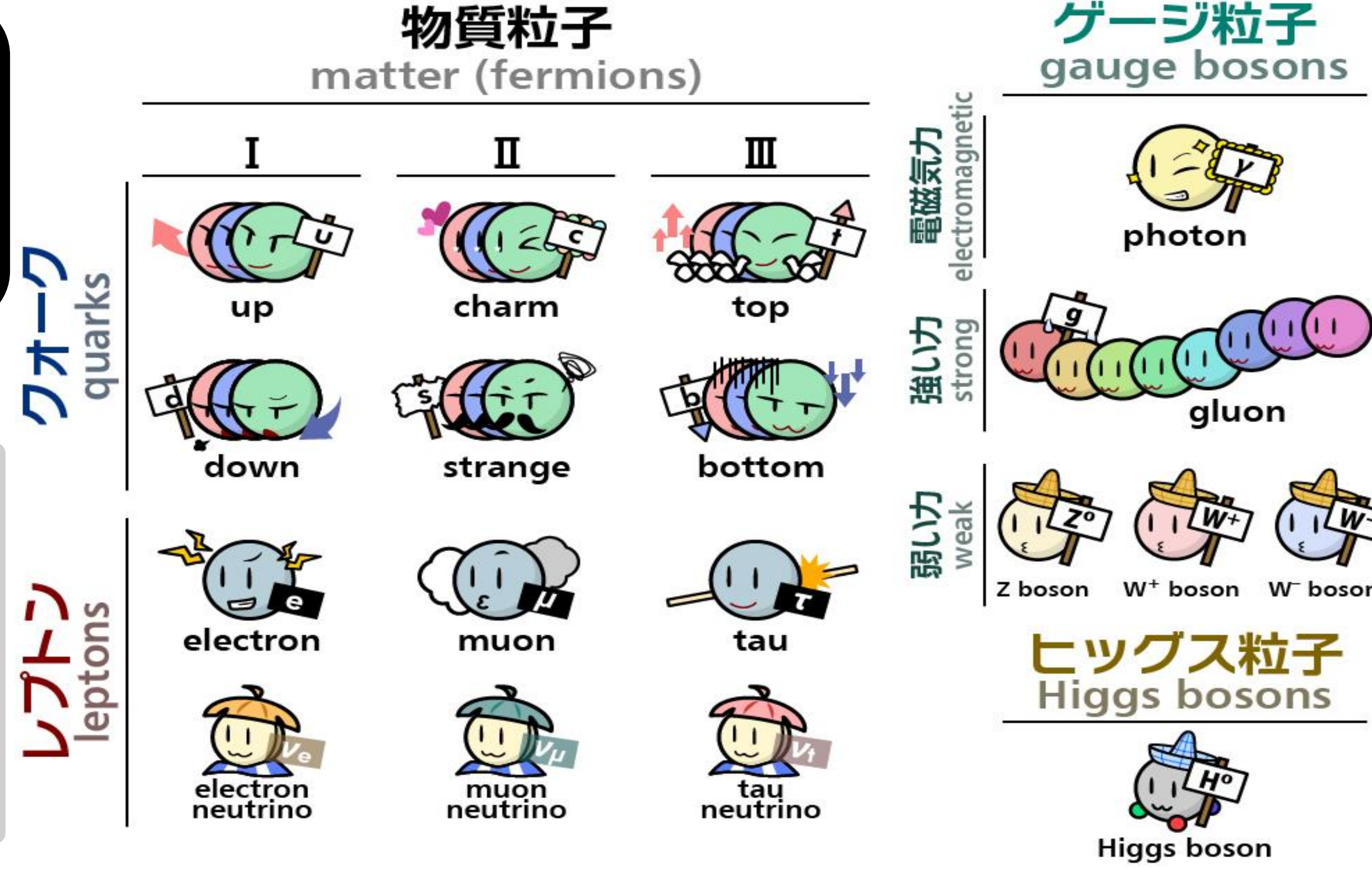
AXEL実験、SK、HK

未解決問題

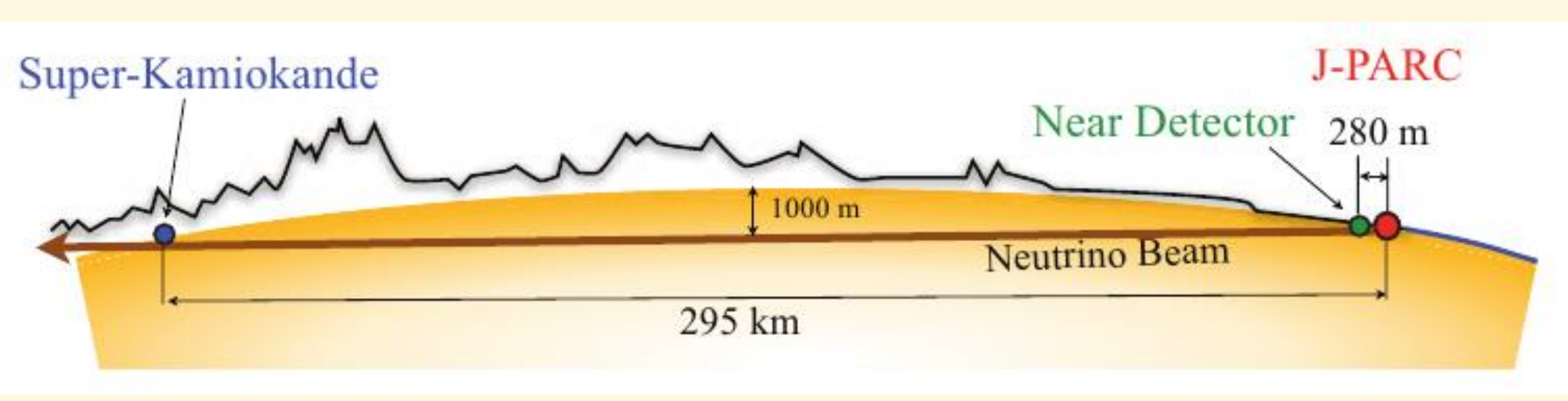
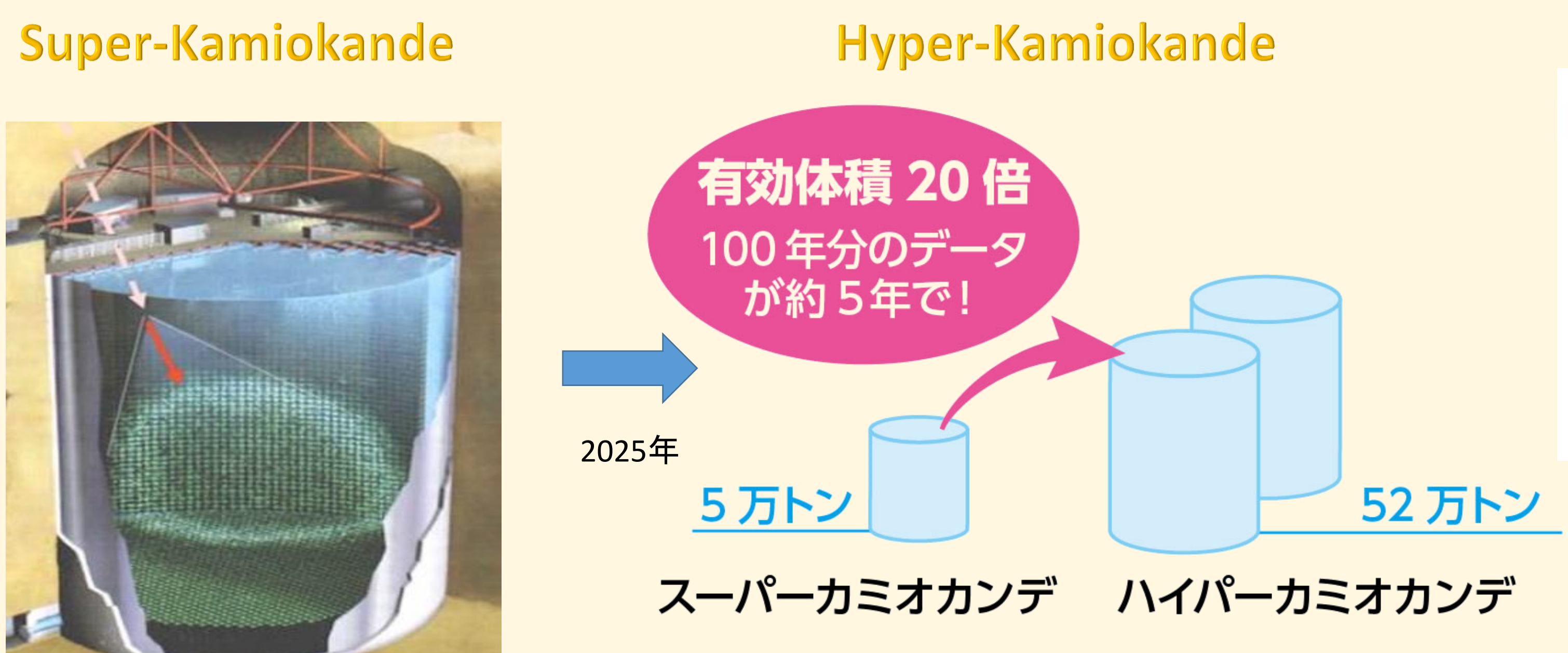
- ニュートリノの質量は？
- ニュートリノはマヨラナ粒子？
- 反物質はなぜ少ない？
- ダークマターの正体は？
- 重力は？
- ニュートリノでのCPの破れはあるか？
- 他にも相互作用はある？
- 未発見の粒子はある？
- 粒子と反粒子の違いは？
- ヒッグス粒子は1種類？

素粒子物理学の現状

標準模型
電磁気学、強い相互作用、弱い相互作用のほとんどの実験結果を矛盾なく説明するが、解決すべき問題を抱える。当研究室ではこの理論を超える、新しい物理を探究している。



京都大学のニュートリノグループは、SK実験、HK実験、T2K実験を進めている。ニュートリノがスーパーカミオカンデのような超大型の検出器、T2Kのような300kmもの大規模な実験を必要とするのはなぜか。ニュートリノは、弱い力と重力としか相互作用をしないため、反応確率がとても小さいからである。ニュートリノはガンマ線を受け止める鉛の中でさえ、相互作用せずに1光年も進むことができるほど自由奔放な粒子である。そんなニュートリノを捕まえて研究するのが、以下のニュートリノ実験である。



SK HK 飛んでくるニュートリノを捕まえて、それを飛ばした物質の研究を行う。



ニュートリノ振動の解析を中心に、レプトンにまつわる未解決問題の解答を与えようとする実験。

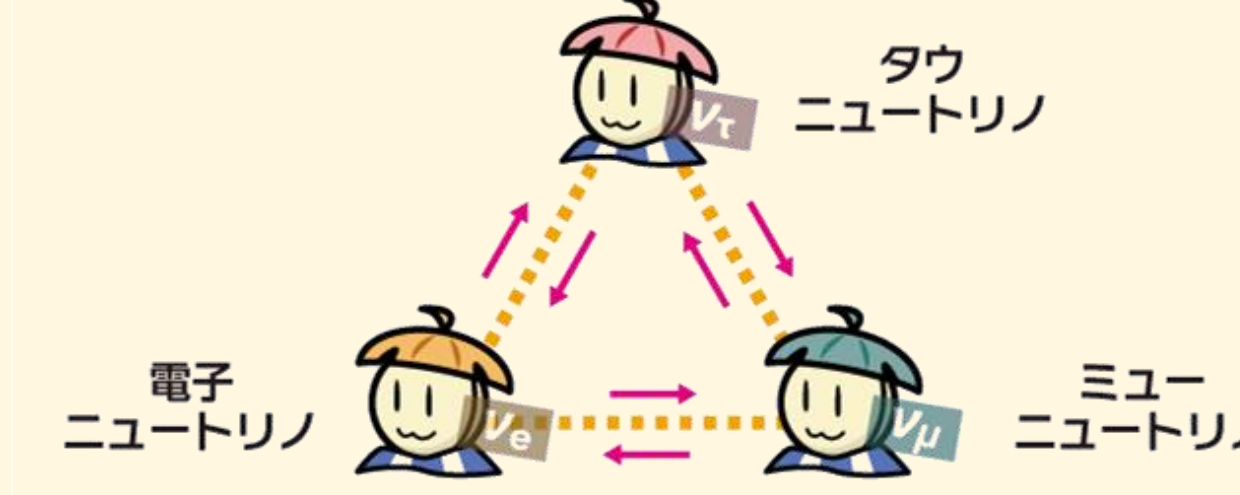
飛んでくるニュートリノとは？

- 加速器ニュートリノ → T2K
- 大気ニュートリノ → 質量階層性
- 天文ニュートリノ → 宇宙の歴史

*SK実験ではニュートリノ以外に、当初の予定であった大統一理論を検証する陽子崩壊の探索も行っている。 $p \rightarrow \pi^0 + e^+ \rightarrow 2\gamma + e^+$

ニュートリノ振動とは？

3種類のニュートリノ(ν_e, ν_μ, ν_τ)が飛行中に種類を変えること。



ニュートリノ振動から判明する未解決問題(例)

未解決問題1
レプトンのCP violation
(粒子・反粒子の性質の相違)

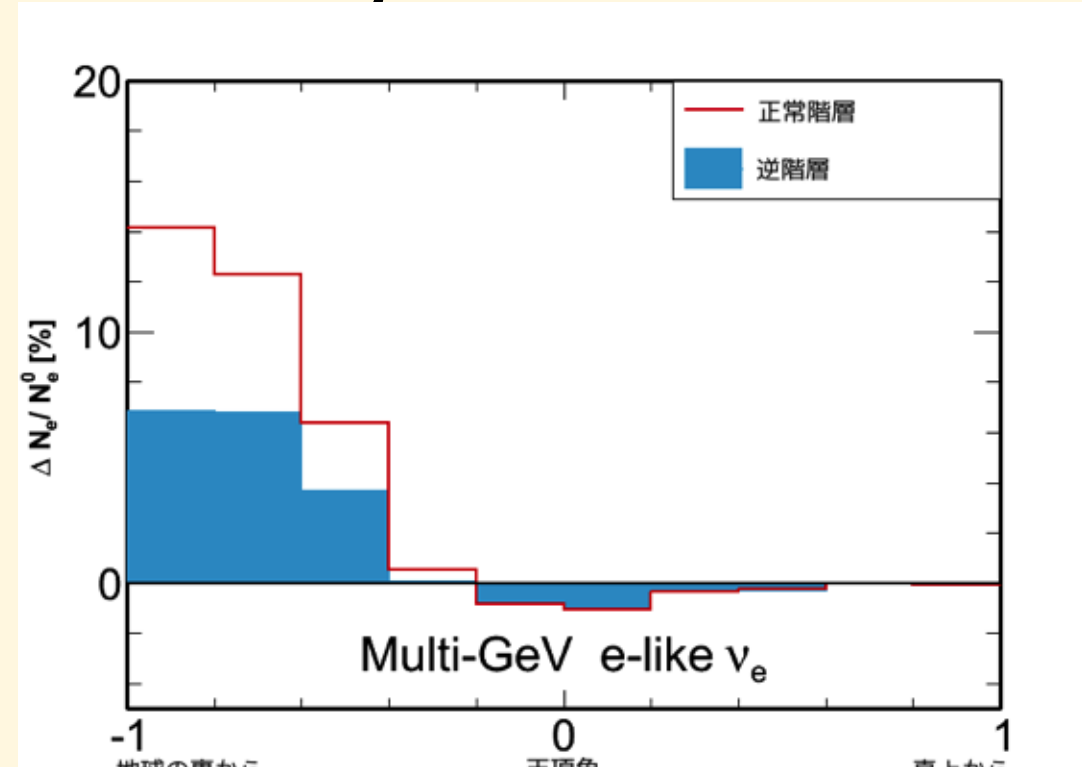
未解決問題2
ニュートリノの質量階層性

*90%の確からしさで観測(2017年2月)

*ニュートリノ質量が $(m_1 < m_2 < m_3)$ なら順階層
 $(m_3 < m_1 < m_2)$ なら逆階層

京都大学の研究内容

大気ニュートリノを用いた質量階層性の解析
地球の裏側から飛んでくるニュートリノの種類から質量階層性が決定される。

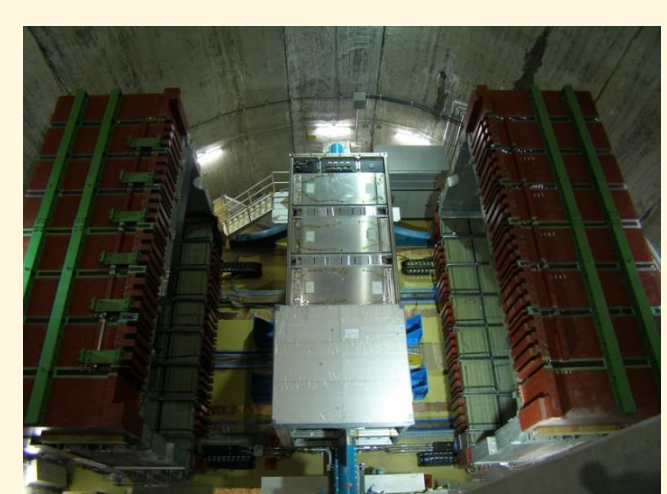
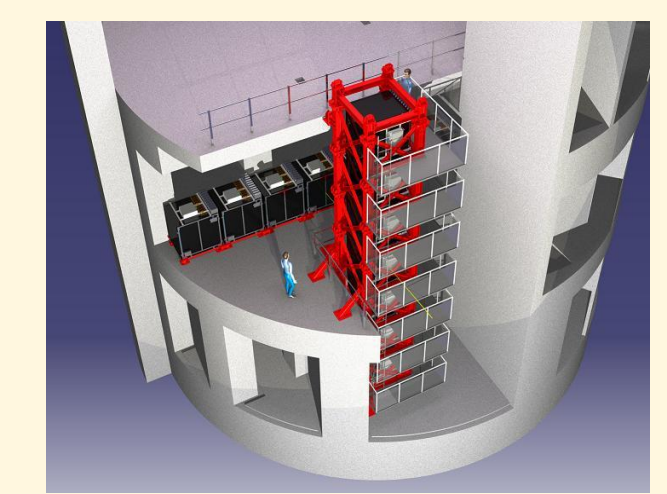


HK用新型光検出器の開発
光量の分解能および、時間分解能を底上げし、陽子崩壊探索等に貢献する。



京都大学の研究内容

- J-PARC加速器のビーム強度強化
統計量を稼ぎCPVをいち早く見つける。
- 「INGRID」「MUMON」の強化
ビームの方向・強度を測定・管理する。
- 「ND280」検出器の強化
前置検出器として、ニュートリノ反応を測定する。



INGRID 検出器 ND280 検出器

Near Detector



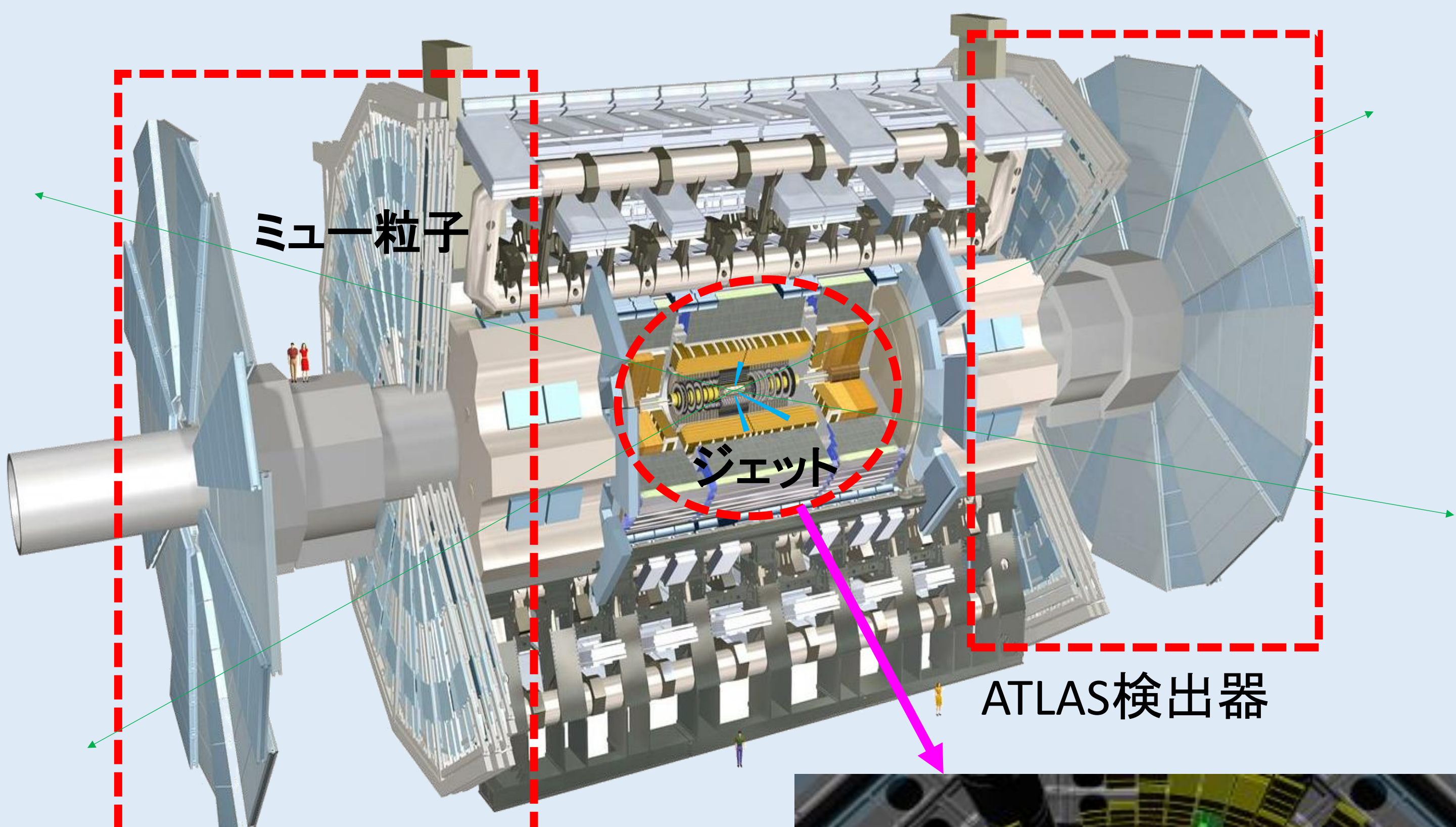
ATLAS group



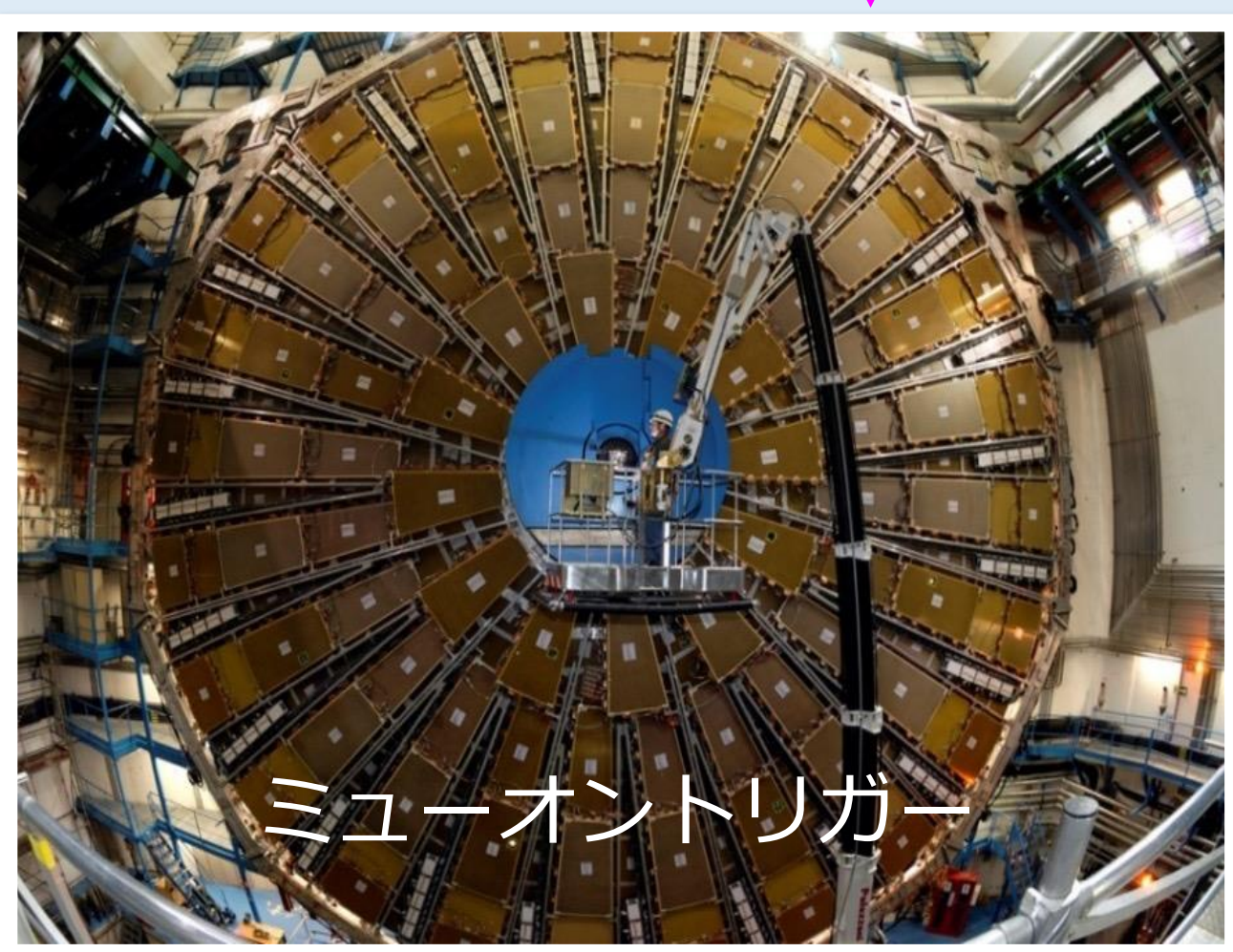
ATLAS実験とは

Large Hadron Colliderによる陽子衝突事象を巨大検出器で観測し未知の新粒子を探索する素粒子実験

- 世界最高エネルギー(重心系13TeV)で未発見の新粒子を生成し観測
- 世界で唯一、ヒッグス粒子の生成と観測が可能



京都ATLASの貢献



ミュオントリガー

ヒッグスや新粒子の崩壊によって生成された高運動量ミュオン粒子を確実に検出するための"トリガー"の研究を行っている

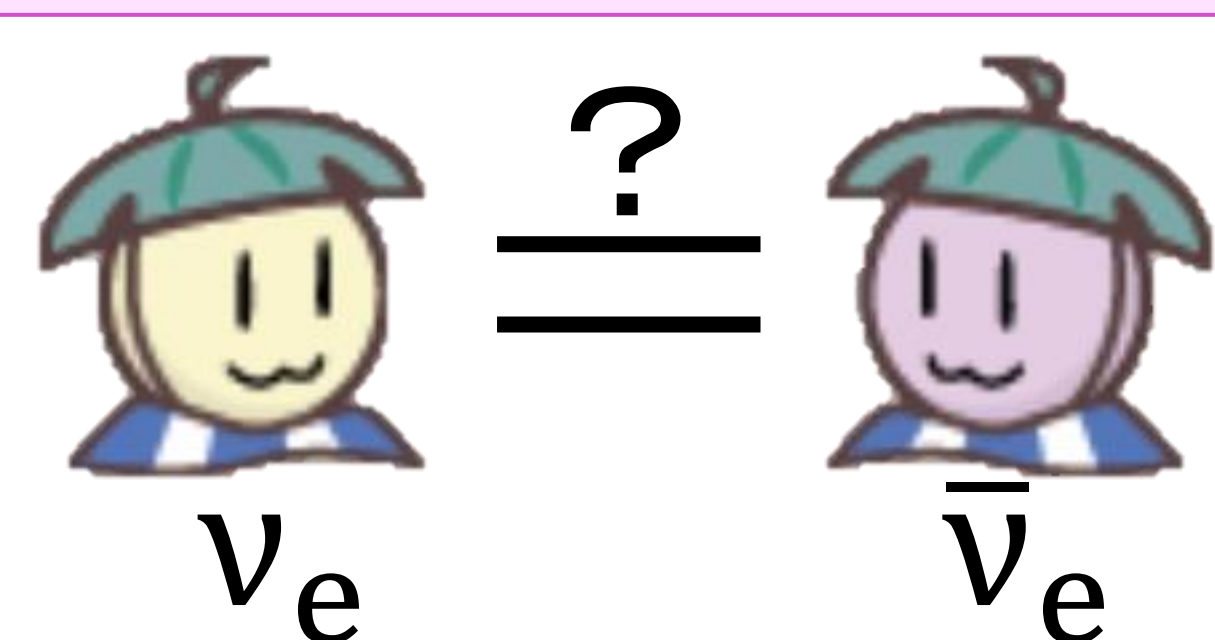


ジェットのエネルギー測定

高エネルギーのクォーク/グルーオンによるジェット事象はATLASにおける物理測定で非常に重要である。ジェットの精密なエネルギー測定のための研究を行っている

AXEL

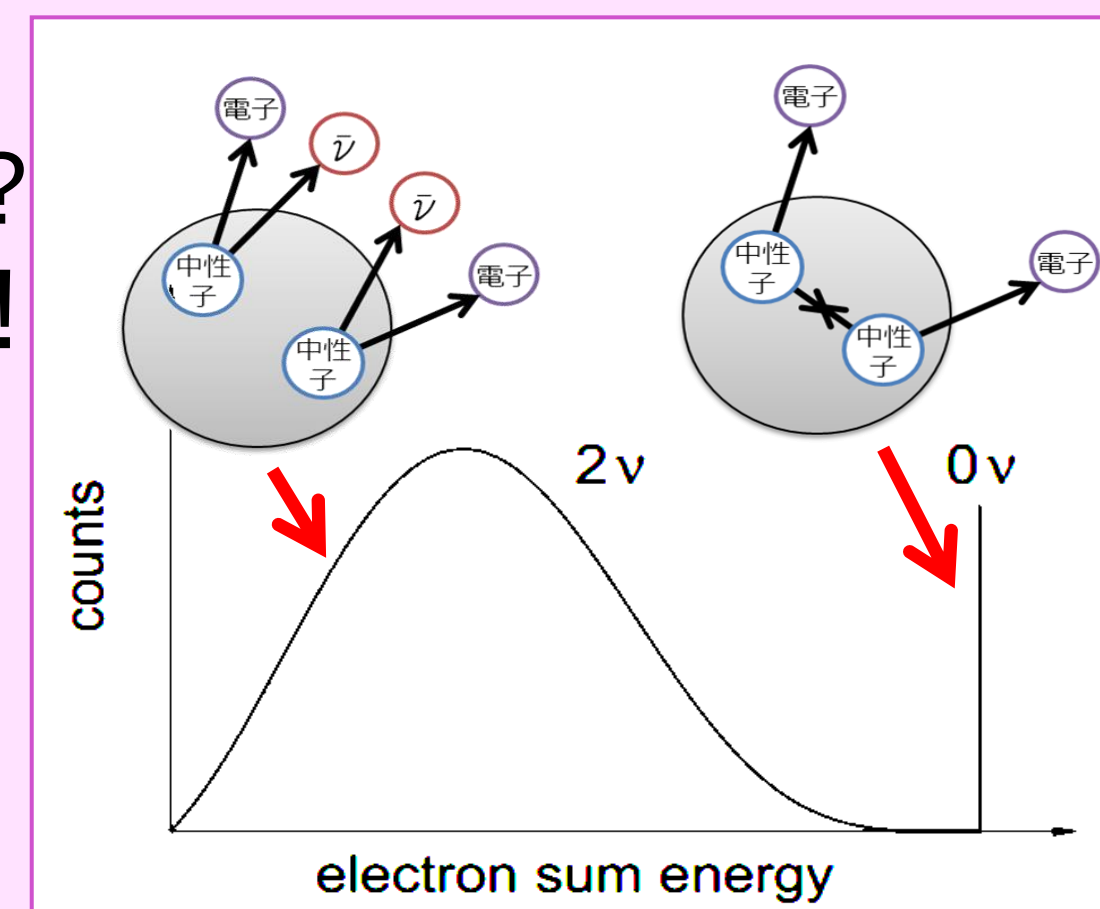
A Xenon ElectroLuminescence detector



~究極の0νββ検出器~

○ ニュートリノはマヨラナ粒子か？

- 粒子と反粒子が同じフェルミ粒子のこと。
- ニュートリノはマヨラナ粒子の唯一の候補。
- ニュートリノがマヨラナ粒子なら……
 - なぜニュートリノが非常に軽いのか？
 - なぜ宇宙に反物質がほぼ存在しないのか？
 これらの謎を解明する手がかりとなる！

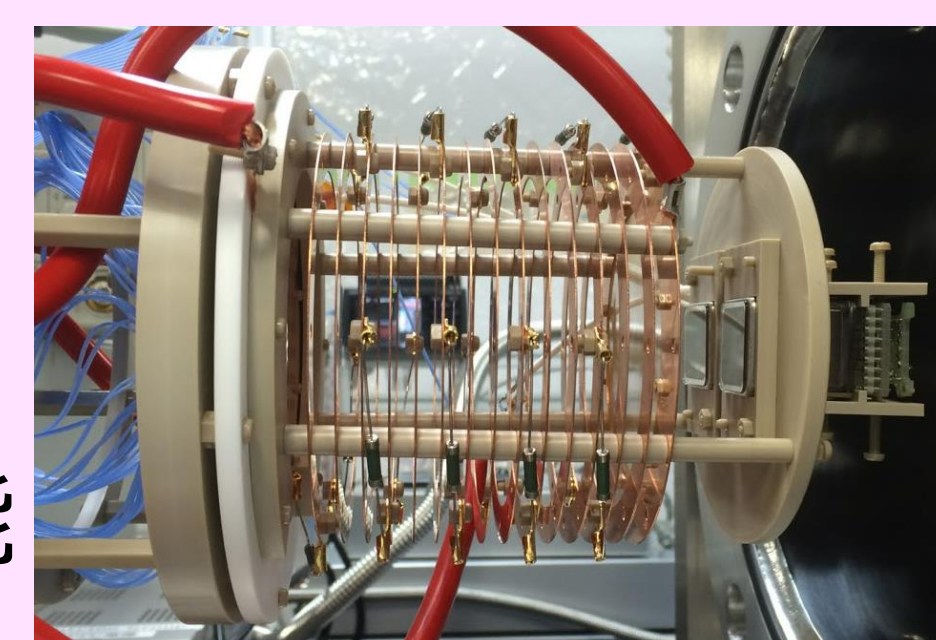


○ 0νββ崩壊とは？

- ニュートリノの伴わない二重β崩壊。
 $2n \rightarrow 2p + 2e^-$
(普通の二重β崩壊： $2n \rightarrow 2p + 2e^- + 2\bar{\nu}_e$)
- ニュートリノがマヨラナ粒子でないと起きない。
- (起こるとしても)半減期が非常に長いので測定が難しい。
(半減期) $> 10^{26}$ 年 (宇宙年齢) $\sim 10^{10}$ 年

○ AXEL検出器

- 高いエネルギー分解能
- 飛跡測定によるバックグラウンドの除去
- 高圧ガスによって崩壊核子を大量に用意
- 実現すれば世界最高の感度の測定が可能



○ 現在~今後

- 現在、10 L試作機から180 L試作機へのアップグレード中！
- ほぼ全ての実験・開発を京大の学生が行っている。

10 L試作機

原理検証

~ 2017年

2000 L検出器

感度世界記録更新

201? ~ 202?年

180 L試作機

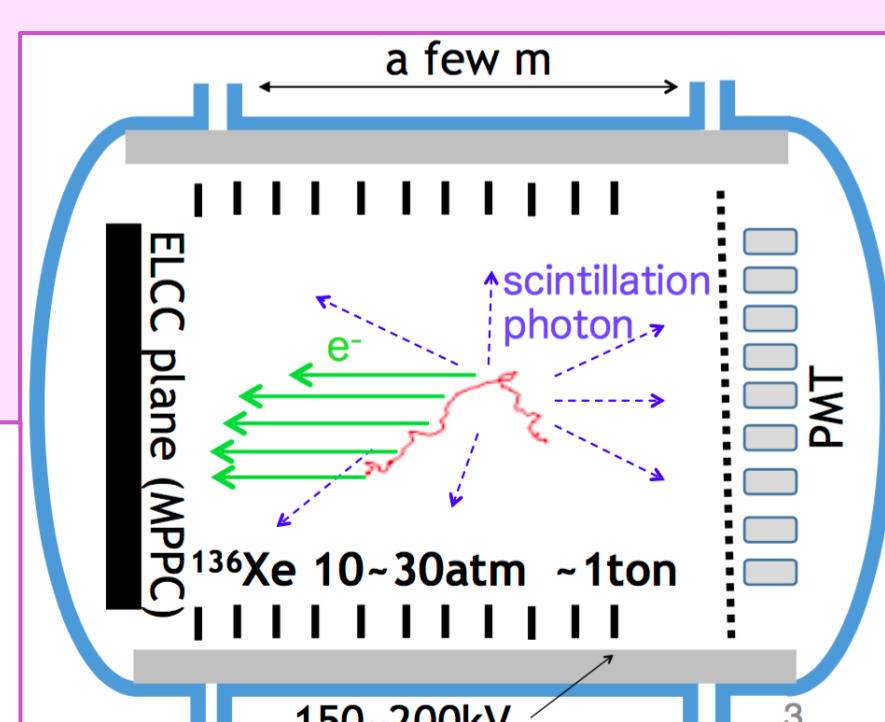
エネルギー分解能など性能評価

2017 ~ 201?年

1トン検出器

0νββ崩壊発見？

202?年 ~



K中間子グループ

~K中間子の稀崩壊観測で探る新物理~

1.背景

Belle実験によってquarkでCP対称性が破れることが明らかに！
Belleの結果は反物質のない状態を説明できず→CP破る要因が他にも？

2.KOTO実験とは？

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ というCP破る崩壊(標準模型での分岐比： $\sim 10^{-11}$)を観測

この崩壊の分岐比からCPを破る要因を検証

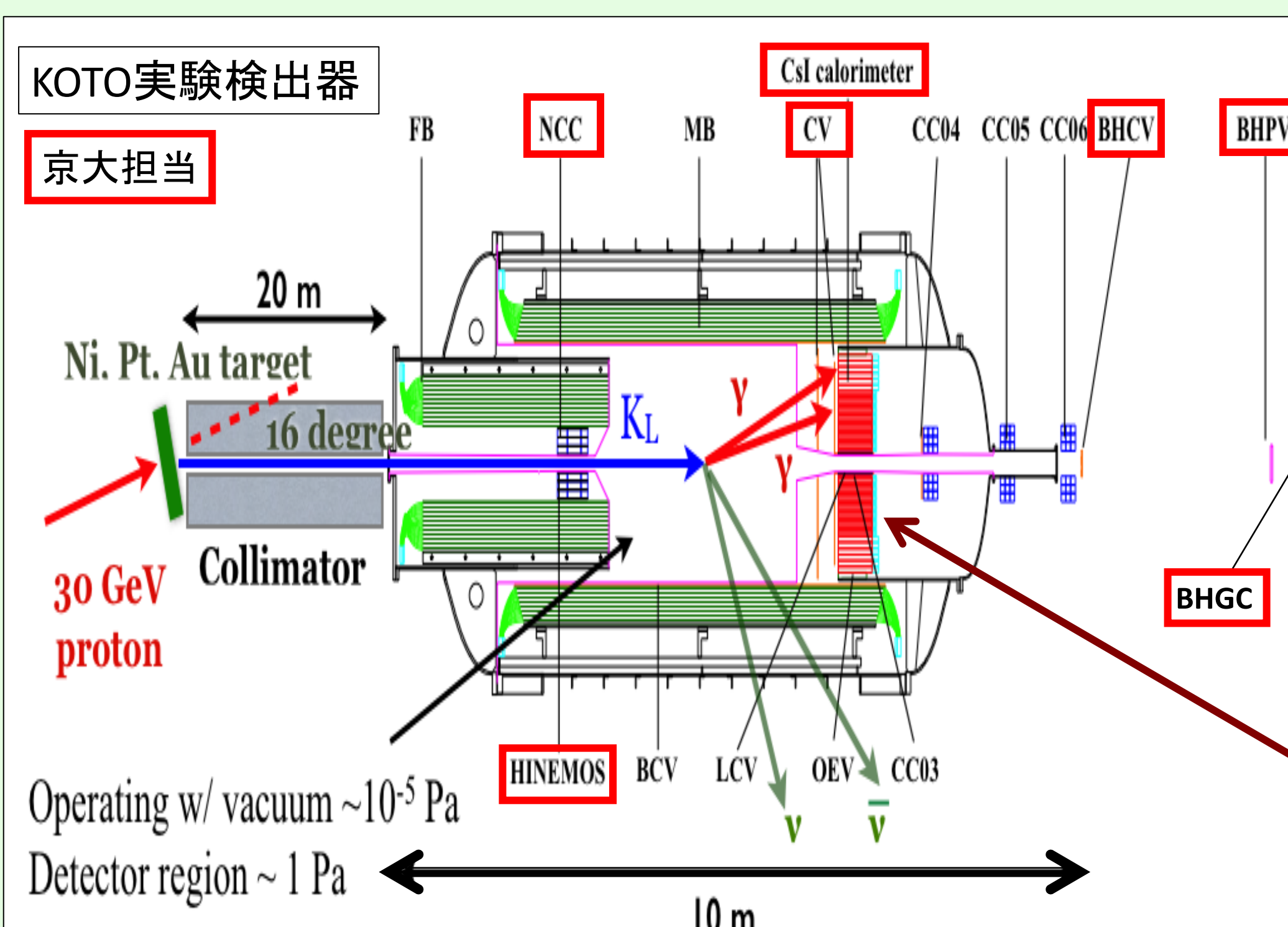
- 起きにくい反応を調べる利点
- 標準理論の精密測定可能
- 新物理の影響あれば顕著

標準理論の範囲で起きにくい反応観測

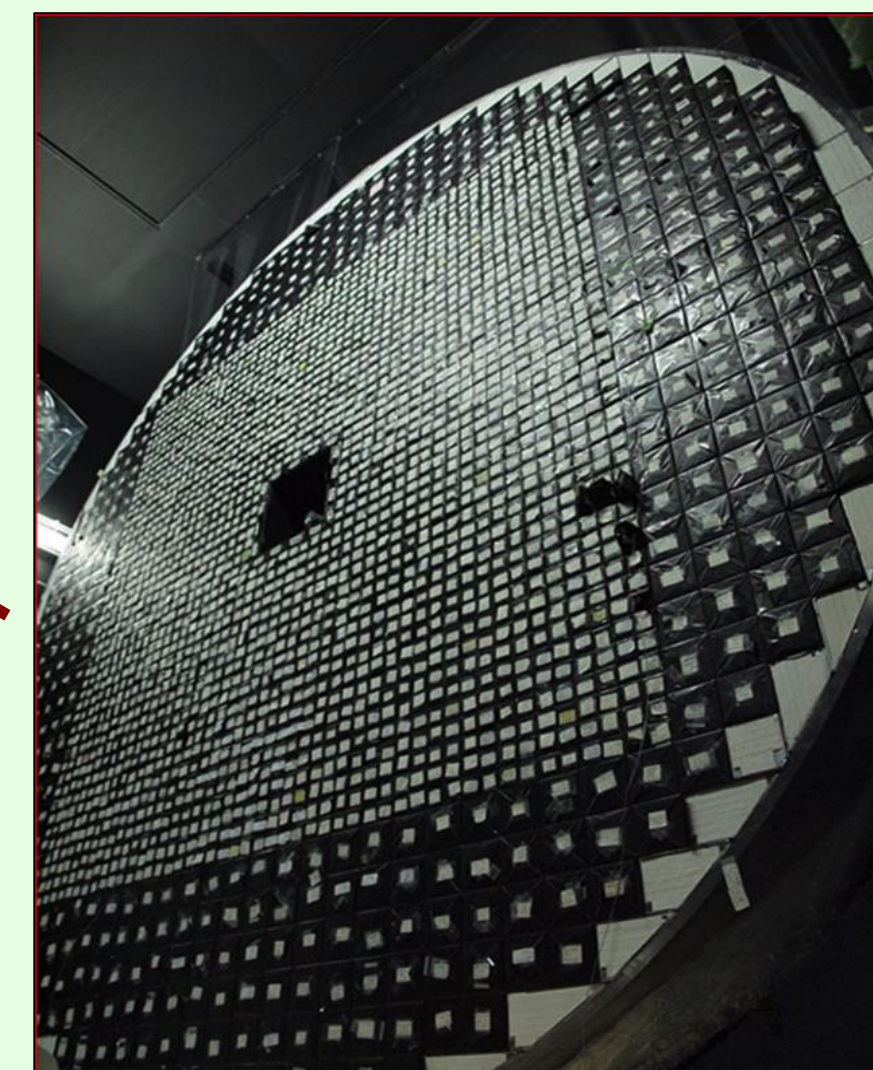
未知粒子が崩壊に関与すると分岐比の測定値と理論値がズレる

標準理論を超える新しい物理の発見！！

3.実験で使う装置



KOTO検出器外観



signal検出の心臓部 CsIカロリメータ

signal: ($\pi^0 \rightarrow 2\gamma$) + nothing
→CsIカロリメータ: 2γ検出
他の検出器: "何も検出せず"を保証

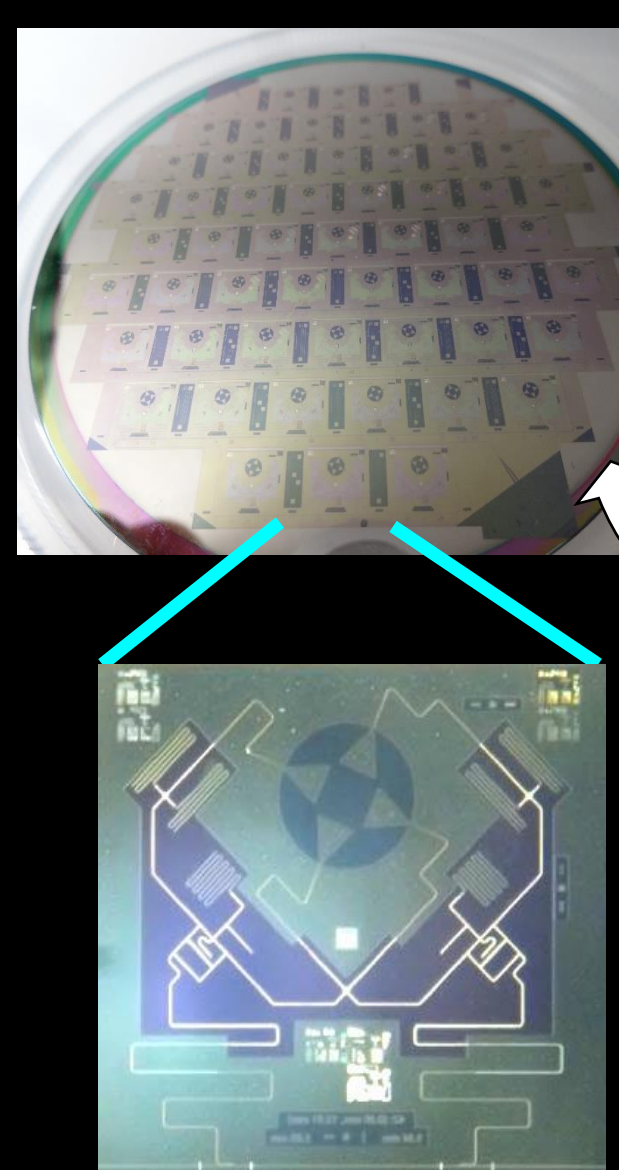
宇宙背景放射観測実験

宇宙最古の光「宇宙背景放射」(CMB)の精密観測によって、宇宙創成を支配した物理法則の解明を目指しています！

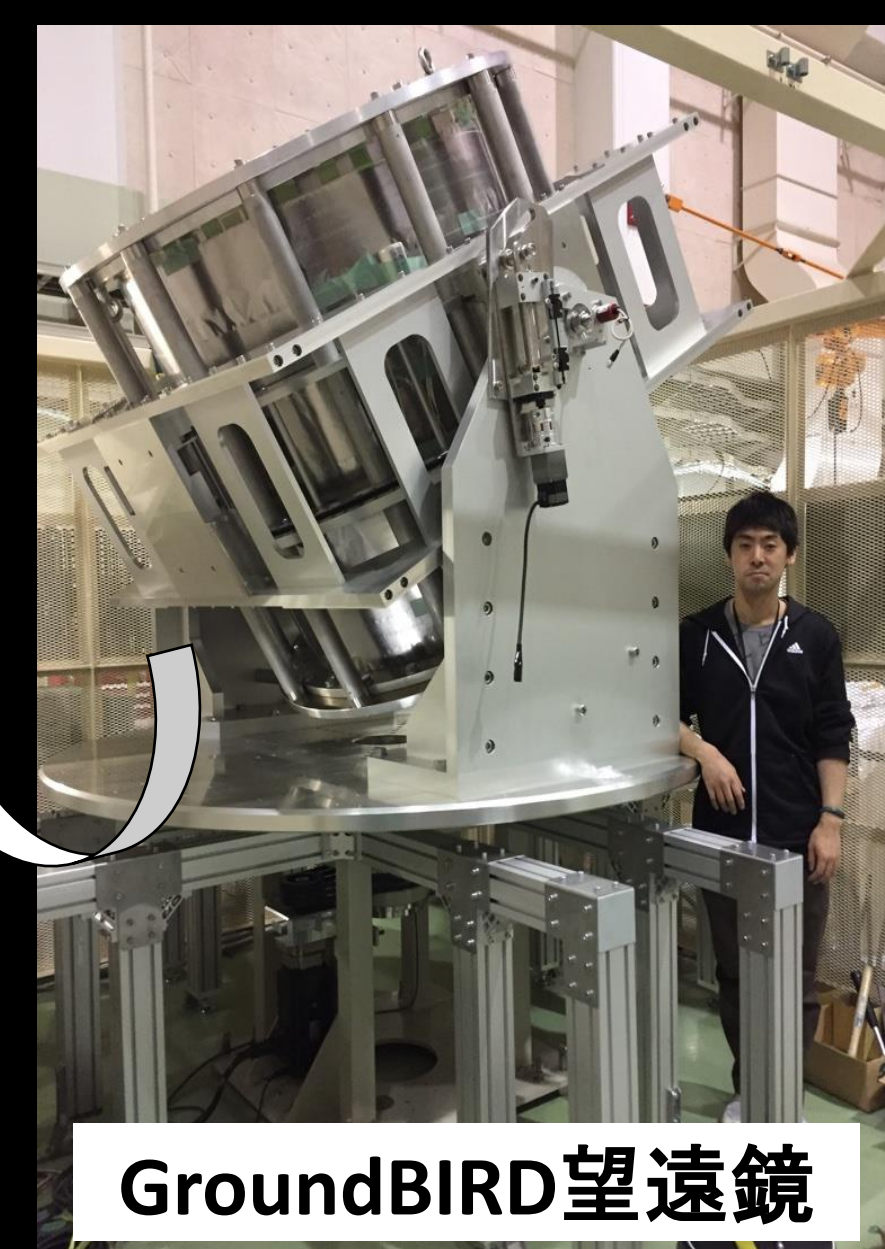
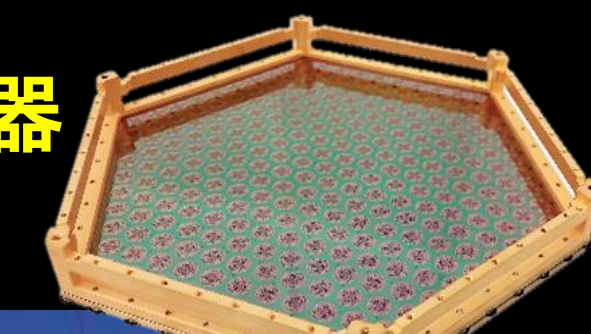
原始重力波をCMB偏光の特殊なパターンとして検出した暁には、宇宙インフレーション仮説と重力の量子化の決定的証拠となります。さらに、CMBの精密観測で宇宙背景ニュートリノの絶対質量・世代数、ダークマターの研究も可能です。

国内外の実験を装置開発とデータ解析で牽引します。

最先端超伝導検出器 "KIDs"



超伝導検出器 "TES"



GroundBIRD望遠鏡



Simons Array 望遠鏡群 (イメージ)

現在(138億年)

ダークエネルギー優勢期

CMBで宇宙のはじまりを観る！

星形成 (400万年)

大規模構造の形成

ダークエイジ

CMBの脱結合 (38万年)

インフレーション