

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。

具体的には・・・

加速器を用いた実験

高エネルギーフロンティア
(とにかく高いエネルギーでの現象を見る)

強度フロンティア

(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)

LHC

・ATLAS実験

J-PARC

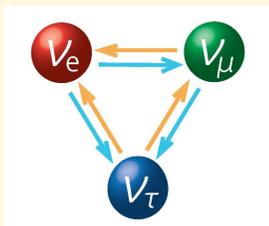
・T2K実験
・KOTO実験

地下実験

・AXEL実験(二重ベータ崩壊探索実験)
・スーパーカミオカンデ実験
・ハイパーカミオカンデ計画

スタッフ

教授	中家 剛	305号室	ニュートリノ実験
准教授	市川 温子	306号室	ニュートリノ実験
准教授	Roger Wendell	304号室	ニュートリノ実験
助教	南野 彰宏	303号室	ニュートリノ実験
助教	隅田 土詞	308号室	ATLAS実験



●現在の成果

- ① **eニュートリノの出現**の観測。
2011(世界初)
2013(出現現象の存在を確立7.3σ)
- ② **μニュートリノの消失**の観測。
2013(精度世界一)



スーパーカミオカンデでの梶田隆章博士の研究がノーベル物理学賞を受賞！(2015)

T2K実験、スーパーカミオカンデ実験が2016年基礎物理学ブレークスルー賞を共同受賞！

●どんな実験をしているの？

J-PARC(Tokai)で生成されたニュートリノの変化を前置検出器とSuper-Kamiokandeで測定することでニュートリノ振動のパラメータを調べる。



後置検出器 Super-Kamiokande

前置検出器と後置検出器の測定結果を比較してニュートリノ振動を検出

前置検出器



ND280検出器(off-axis) 振動前のニュートリノのフラックス、スペクトルを測定

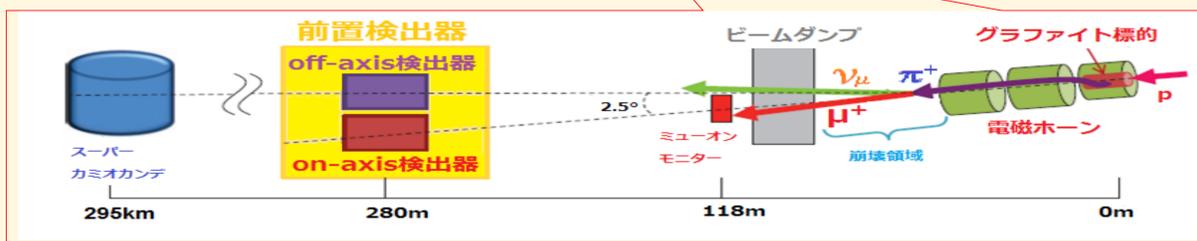


INGRID検出器(on-axis) ニュートリノの方向、強度をニュートリノ反応から測定

Hyper-K(SKの約10倍の体積)へのアップグレードに向けた研究も進行中！

●今後の展望

- レプトンに対するCP対称性の破れの有無を検証 →物質が反物質より多いことの起源を考えるうえで重要
- $m_1 < m_2 < m_3$ か $m_3 < m_1 < m_2$ (質量階層性) についても決着をつける糸口が得られることが期待される。



K中間子グループ

～K中間子で探る 小林益川理論を超える物理～

◆KOTO実験は何をやるの？

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の崩壊を世界初観測

◆なにがわかるの？

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊は

- CP対称性を破っている。
- 標準理論で計算される崩壊分岐比が非常に小さい。
- 標準理論における理論的誤差が小さい。

⇒「CP対称性を破る新しい物理」が見えやすい。

崩壊に未知の粒子が媒介していれば崩壊確率が標準理論の予想と変わってくる。

標準理論を超える新しい物理が発見できる！！

KOTO実験検出器

京大担当

金標的

陽子

ビーム

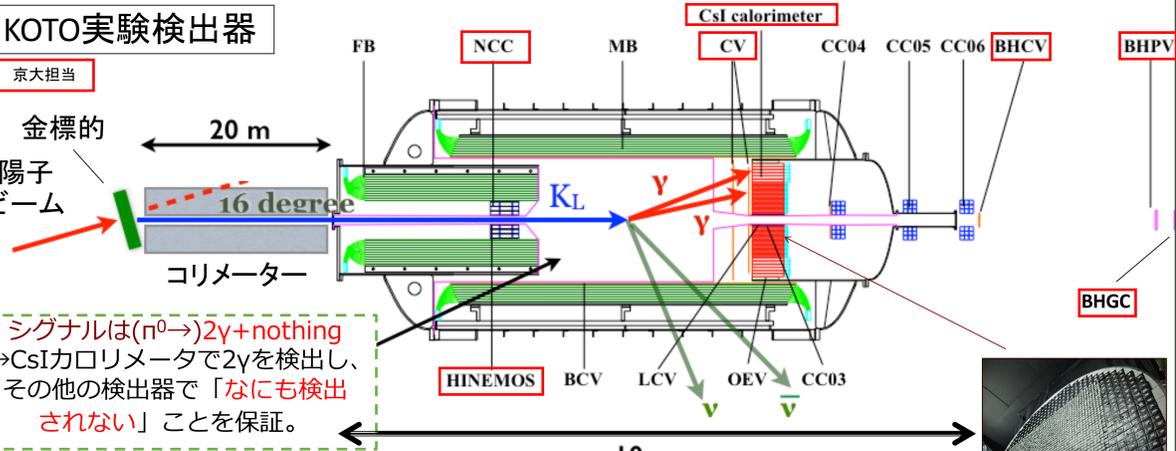
コリメーター

シグナルは $(n^0 \rightarrow) 2\gamma + \text{nothing}$
→CsIカロリメータで2γを検出し、その他の検出器で「なにも検出されない」ことを保証。

● CP対称性の破れ??

物質と反物質が従う物理法則が違うこと。小林・益川によって証明！しかしこの破れが小さすぎるということがわかってる。

世界最高感度の測定で標準模型を超えた物理に迫る！！



KOTO検出器外観



CsIカロリメータ

AXEL

A Xenon ElectroLuminescence

～究極の $0\nu\beta\beta$ 検出器～

○ AXEL実験で観測したいこと

～ $0\nu\beta\beta$ 崩壊の観測～

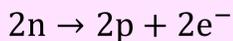
ニュートリノの未解決問題

- ニュートリノが非常に軽いのはなぜか
- 宇宙に反物質がほとんど存在しないのはなぜか
- ニュートリノの質量階層性

$0\nu\beta\beta$ 崩壊が観測できれば
これらの謎を解明する手がかりとなる

○ $0\nu\beta\beta$ 崩壊とは？

- ニュートリノの伴わない2重ベータ崩壊

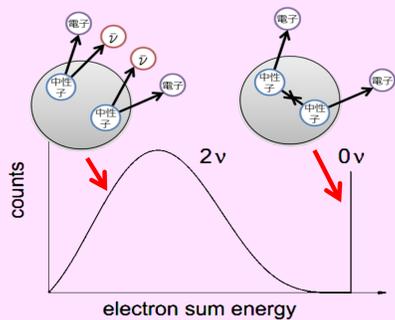
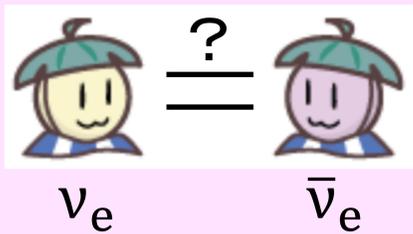


(普通の二重β崩壊: $2n \rightarrow 2p + 2e^- + 2\bar{\nu}_e$)

- ニュートリノがマヨラナ粒子であれば起こる
- 半減期が非常に長いので測定が難しい
(半減期) $> 10^{25}$ 年 (宇宙年齢) $\sim 10^{10}$ 年)

○ マヨラナ粒子とは？

- 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 (標準模型の範囲内)

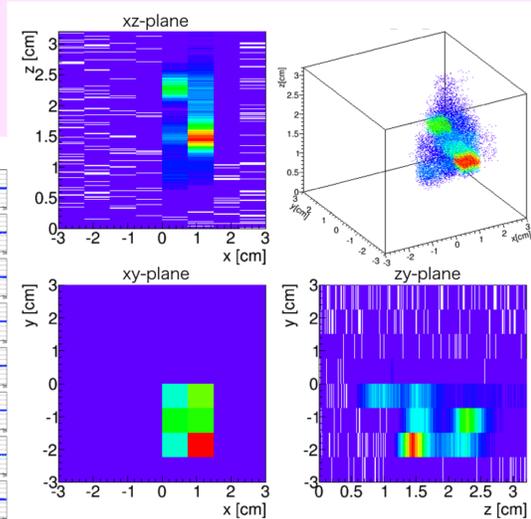
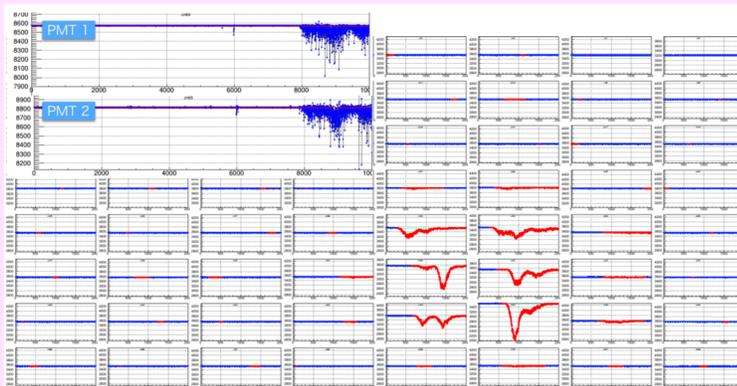
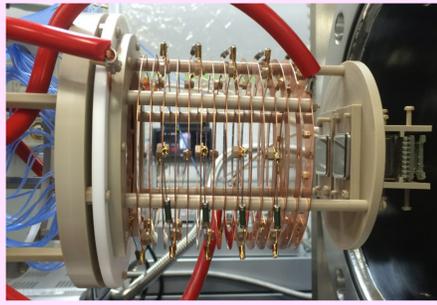


○ AXEL検出器

- 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



センサー部分 (MPPC)



○ 現在やっていること

京大の学生がほぼすべての実験・開発を行っている

- 新型検出器 (ELCC) の開発, 感度上昇
- 多数のMPPCを読み出すための回路の開発
- シミュレーションによる性能評価

○ 今後の展望

～2年後 (目標)～

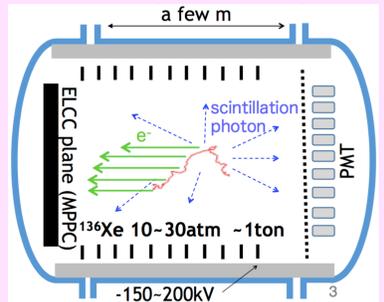
現在より大型の検出器を作製

- ☞ 世界最高のエネルギー分解能, バックグラウンド除去能力を達成

～将来 (202X年)～

1トン級の検出器を作製

- ☞ 世界記録更新, $0\nu\beta\beta$ の測定



ATLAS group

□ ATLASとは

世界最高エネルギー衝突型加速器LHCで陽子陽子衝突による反応や新粒子探索を行う実験。

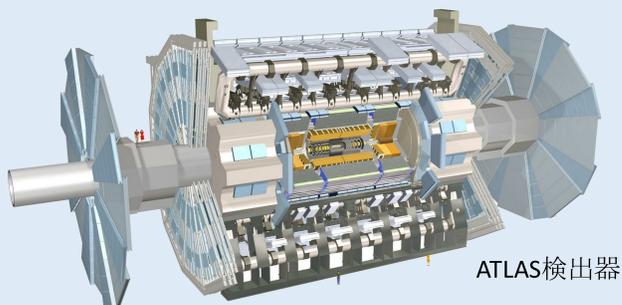
□ ATLASで何が分かるの？

世界最高エネルギー(13TeV)

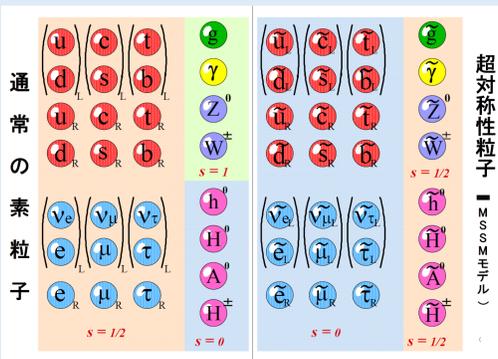
宇宙のより基本的な理解へ

新粒子の直接検出!

★ 標準理論を超えた新しい物理の発見

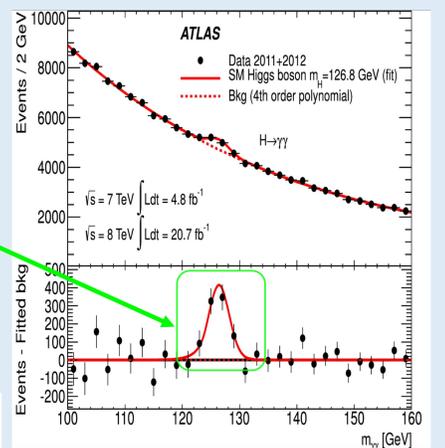
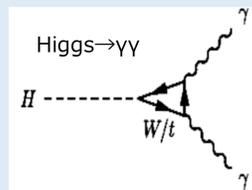


ATLAS検出器

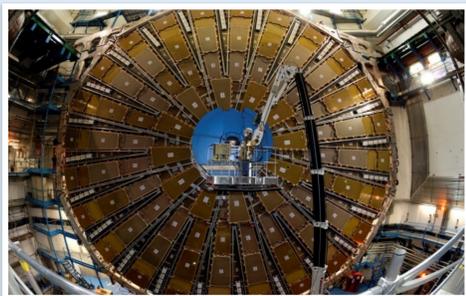


超対称性粒子etc...

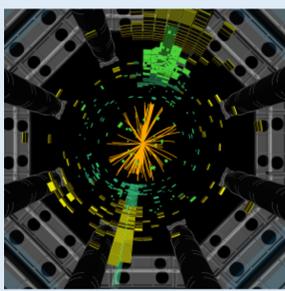
Higgs粒子発見 (2012年)



□ 京都ATLASが貢献しているところ



μ trigger upgrade



Jet calibration

高エネルギー陽子の衝突による反応の中から見たい反応だけを選別する必要がある。ATLAS実験では高エネルギーのμ粒子に崩壊するイベントをtriggerのひとつとしており、京都大学はμ triggerの性能向上のための研究を行っている。

陽子衝突によって多くのクォーク、グルーオンjetが生じる。jetのエネルギーは事象の再構成に重要である。京都大学はjetの精密なエネルギー較正の研究を行っている。

ここに新粒子の兆候が見えている可能性がある。2016年に取得する予定の多量のデータで引き続き検証を行っていく。

新物理発見のチャンス!

