

ヒッグス粒子のなぞ



信州大学理学部

長谷川 庸司

話の内容



1. 素粒子物理学と標準理論
2. ヒッグス粒子
3. ヒッグス粒子の探索
 1. LHC/ATLAS実験
 2. ILC計画
4. 近未来の素粒子物理学
5. 最後に

素粒子物理学と標準理論

- **素粒子とは：物質の最小構成要素**
物質の最小単位の探求は、古代ギリシャ時代からの人類の疑問
- **小さい「ものを見る」**
光などの粒子をぶつけて反射・散乱したものを観察する
ぶつける粒子のエネルギーが高いほど、小さいものまで見えるようになる
 - 科学技術の進歩とともに小さいものが「見える」ようになってきたので素粒子も変わってきている

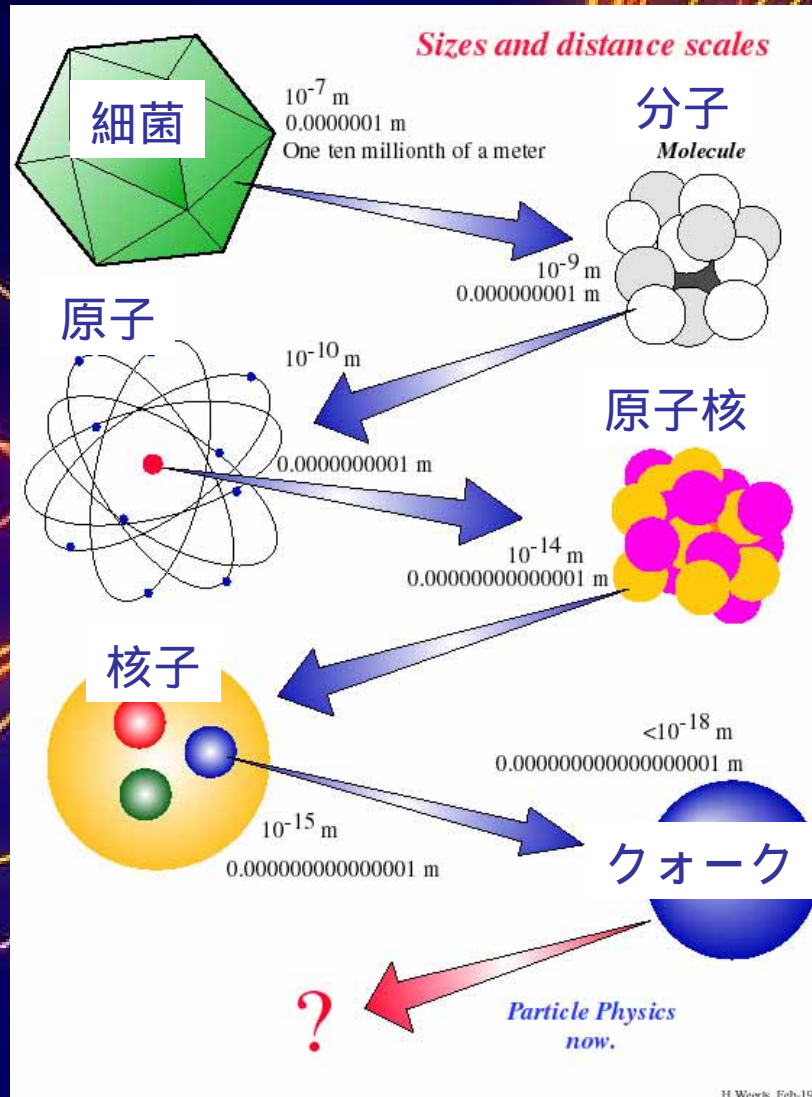
素粒子物理学と標準理論

18~19世紀
ラボアジェ、ドルトンら

1897年
~1910年代
トムソン、ラザフォード

1920年代
~1930年代
チャドウィック

1960年代
フリードマンら



光学顕微鏡

電子顕微鏡

粒子加速器

素粒子物理学と標準理論

- 素粒子物理学とは

- 素粒子とその間に働く力（相互作用）の性質を明らかにする学問
- 小さいものを調べるのに、ぶつける粒子に高いエネルギーを与える必要があるので「高エネルギー物理学」ともいう

- 素粒子物理学の標準理論

- 素粒子物理学には「標準理論」と呼ばれる理論がある

素粒子物理学と標準理論

標準理論に出てくる素粒子たち

- 物質を構成する粒子
クォーク、レプトン
- 力を伝える粒子
グルーオン、光子、
Wボゾン、Zボゾン
- 質量を与える粒子
ヒッグス粒子

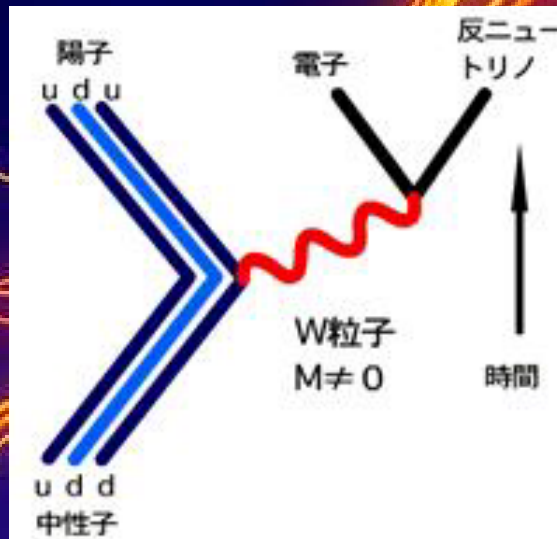
| 物質粒子 | | | | 力を伝える粒子 | |
|------|-------------------------|------------------------|------------------------|---|--|
| | 第1世代 | 第2世代 | 第3世代 | | |
| クォーク | アップ | チャーム | トップ | 強い相互作用 グルーオン | |
| | ダウン | ストレンジ | ボトム | 電磁相互作用 光子 | |
| レプトン | <small>電子ニュートリノ</small> | <small>μニュートリノ</small> | <small>τニュートリノ</small> | 弱い相互作用 Wボゾン Zボゾン | |
| | 電子 | ミューオン | タウ | 質量を与える粒子 (未発見) ヒッグス粒子 ヒッグス粒子 ヒッグス粒子 | |

素粒子物理学と標準理論

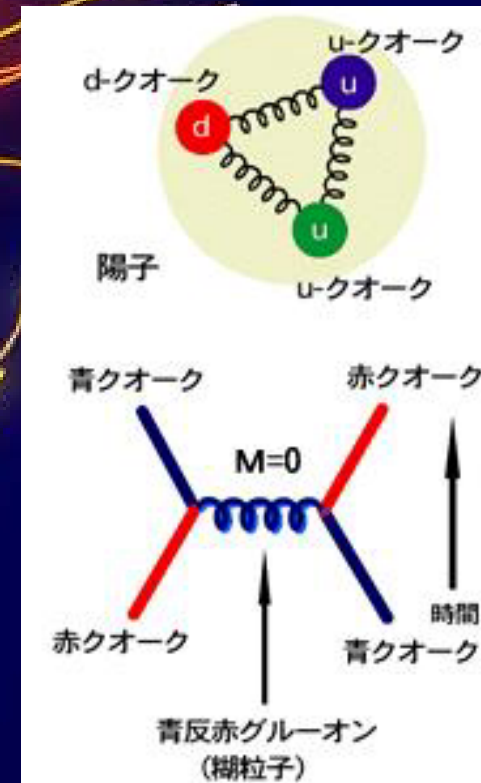
電磁気力



弱い力



強い力



重力相互作用

加速器で見ることができる領域では、他の3つの力と比べて非常に弱い

素粒子物理学と標準理論

- **標準理論は実験事実を非常によく説明し、現在のところほころびが見つかっていない**
 - 全ての物質粒子、力を伝える粒子は実験で見つかっている
- **ヒッグス粒子が未発見**
 - ~ 標準理論の最後のピース ~
 - 標準理論は、大成功をおさめているが、最も重要な粒子のひとつが見つかっていないという観点から「画竜点睛を欠」いている状態
 - ヒッグス粒子とはどのような粒子か？

ヒッグス粒子～質量の起源～

- なぜヒッグス粒子が必要なのか
 - 標準理論の基礎となっているゲージ理論
 - 時空のあらゆる点でものさし(ゲージ)を変えても、物理現象が変わらないという理論
 - ヒッグス機構：素粒子に質量を与えるための仕組み
 - ゲージ理論では、「対称性」が保たれている
素粒子の質量はゼロ
 - 「対称性が破れる」と質量を持つ
「ヒッグス粒子」がなければならない。

ヒッグス粒子～質量の起源～

- 物理学者がたくさん集まったパーティー会場で、人々は近くの人々と静かにおしゃべりをしている。
- 物理学者がヒッグス粒子に対応している。おしゃべりが、相互作用に相当し、起こったり起こらなかったりしている。



ヒッグス粒子～質量の起源～

- パーティー会場に高名な物理学者が入って来ると、周りに人々が集まってくる。高名な物理学者は、動きにくくなる。



- 高名な物理学者が素粒子に対応。
- 動きにくくなる 質量を持った。

ヒッグス粒子～質量の起源～

- パーティ会場に「噂」が流れる。「噂」の周りに人集りができる。人集りは動きにくくなる。



ヒッグス粒子が自分で集まり（自己相互作用）、質量を持つようになる。

質量を持つということ

- 真空は、何もない空間ではなく、ヒッグス粒子が満ち溢れている。
- 素粒子は、ヒッグス粒子と相互作用することによって、抵抗力を受ける。
質量を持った！！

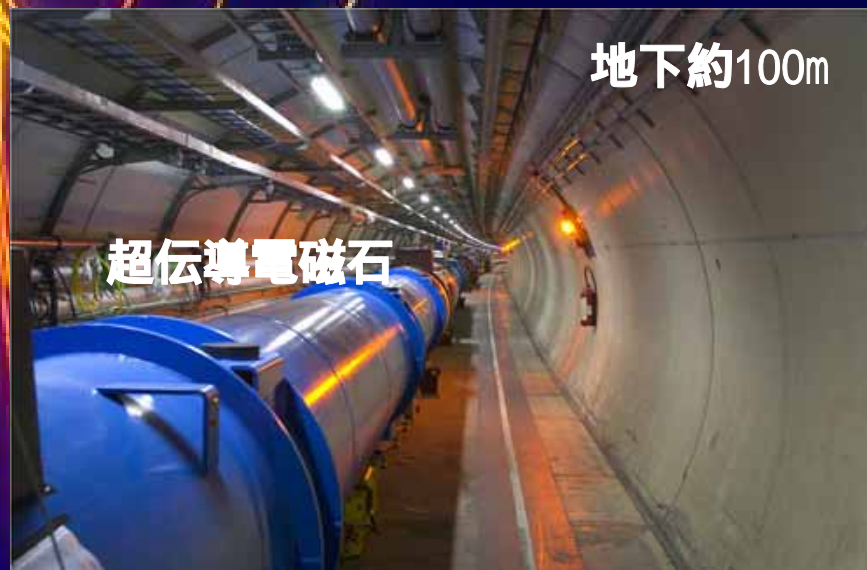
ヒッグス粒子の探索

- 素粒子の発見：高エネルギー状態を作ることによって素粒子を生成し、その質量を測定する
生成したことの確認
その素粒子が崩壊するときに現れる特徴を探す
- ヒッグス粒子の探索
 - 加速器により粒子を加速し衝突させることによりビッグバン後約100億分の1秒後の高エネルギー状態を作り、ヒッグス粒子を生成し、崩壊したときの特徴的な現象を探す
- 標準理論による予想
 - トップクォークの質量の測定値を用いて予想
2500億電子ボルト以下
- 現在までの実験による探索
 - LEP（電子と陽電子を衝突させ、高エネルギー状態を作る加速器、エネルギー2090億電子ボルト）
1140億電子ボルト以下にはない

次世代加速器によるヒッグス粒子の探索

- LHC/ATLAS実験

- 大型ハドロン衝突型加速器(Large Hadron Collider; LHC)
スイス、ジュネーブにあるヨーロッパ素粒子物理学研究所(CERN)で、
2007年から稼働予定の、陽子と陽子を衝突させる加速器
直径約8.6km、地下100mにトンネル内に設置
エネルギー14兆電子ボルト(真空中での光の速さの約99.999999%)

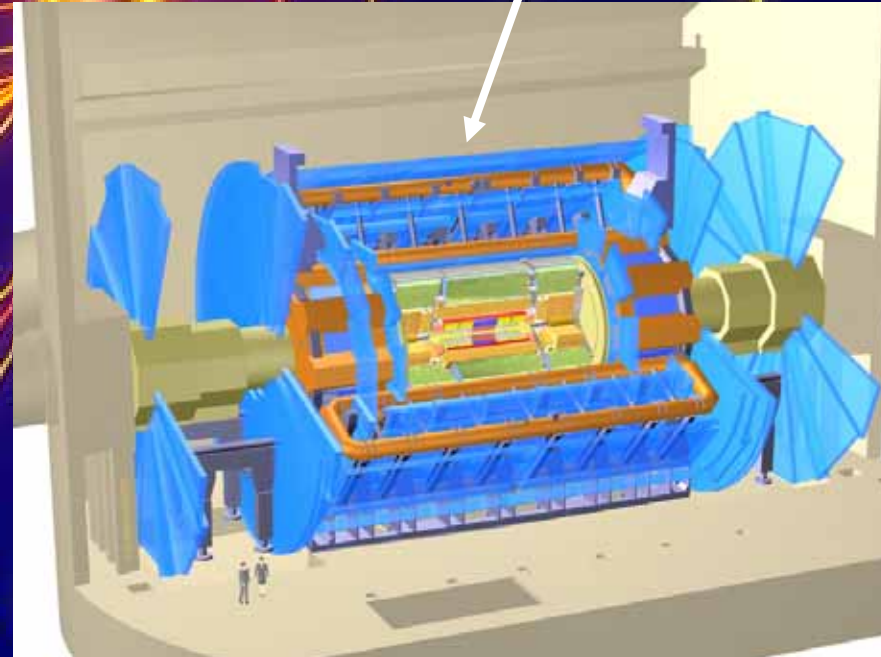
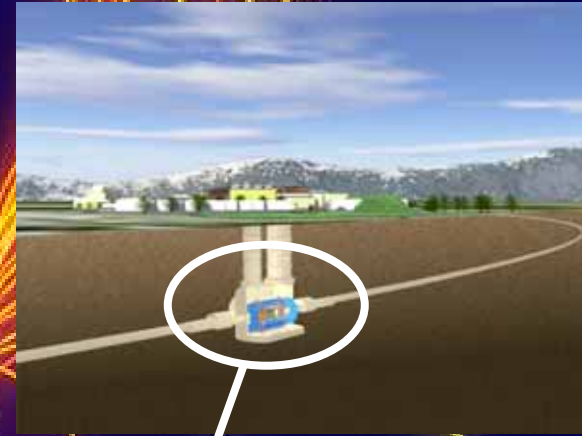


ATLAS実験

ATLAS測定器：

LHCの衝突点におかれる測定器で、
たくさんの放射線検出器の集合体

- 高さ22m（6階建てのビルの高さ）、長さ40m、重さ7000t
- 放射線の飛跡を検出する運動量の測定
- 放射線のエネルギーを測定、など
- 衝突によって生じる放射線を検出し、それらの運動量、エネルギー、種類から、衝突時に起こったことを調べる（「見えないものを見る」）

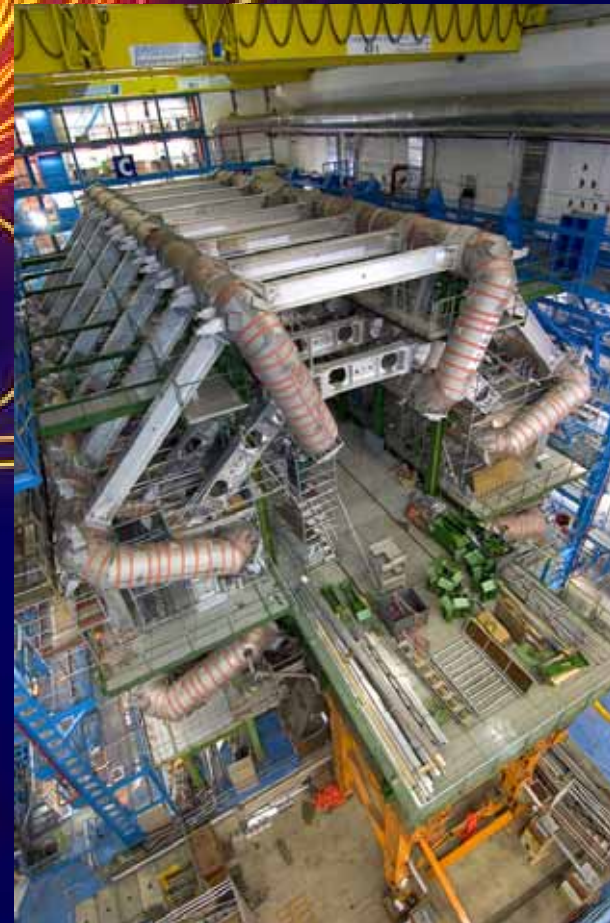


アトラス測定器の建設状況

2002年7月



2005年9月



現在

- http://atlaswebpub.web.cern.ch/atlaswebpub/web-sites/pages/UX15_webcams.htm

陽子と陽子の衝突

- http://atlas.ch/etours_exper/images/DelectMap.swf



アトラス測定器よるヒッグス粒子の検出

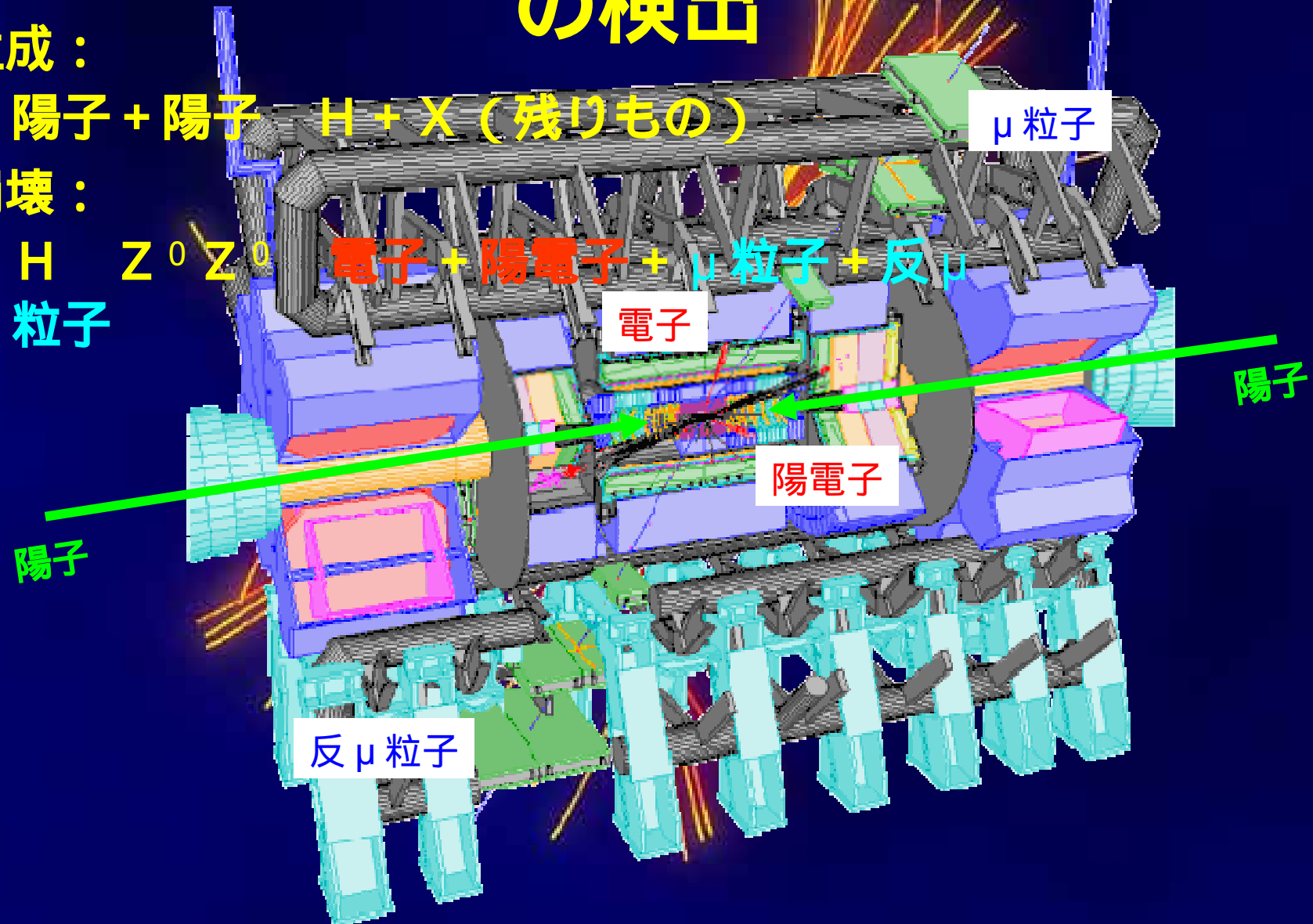
生成：

陽子 + 陽子 \rightarrow H + X (残りもの)

崩壊：

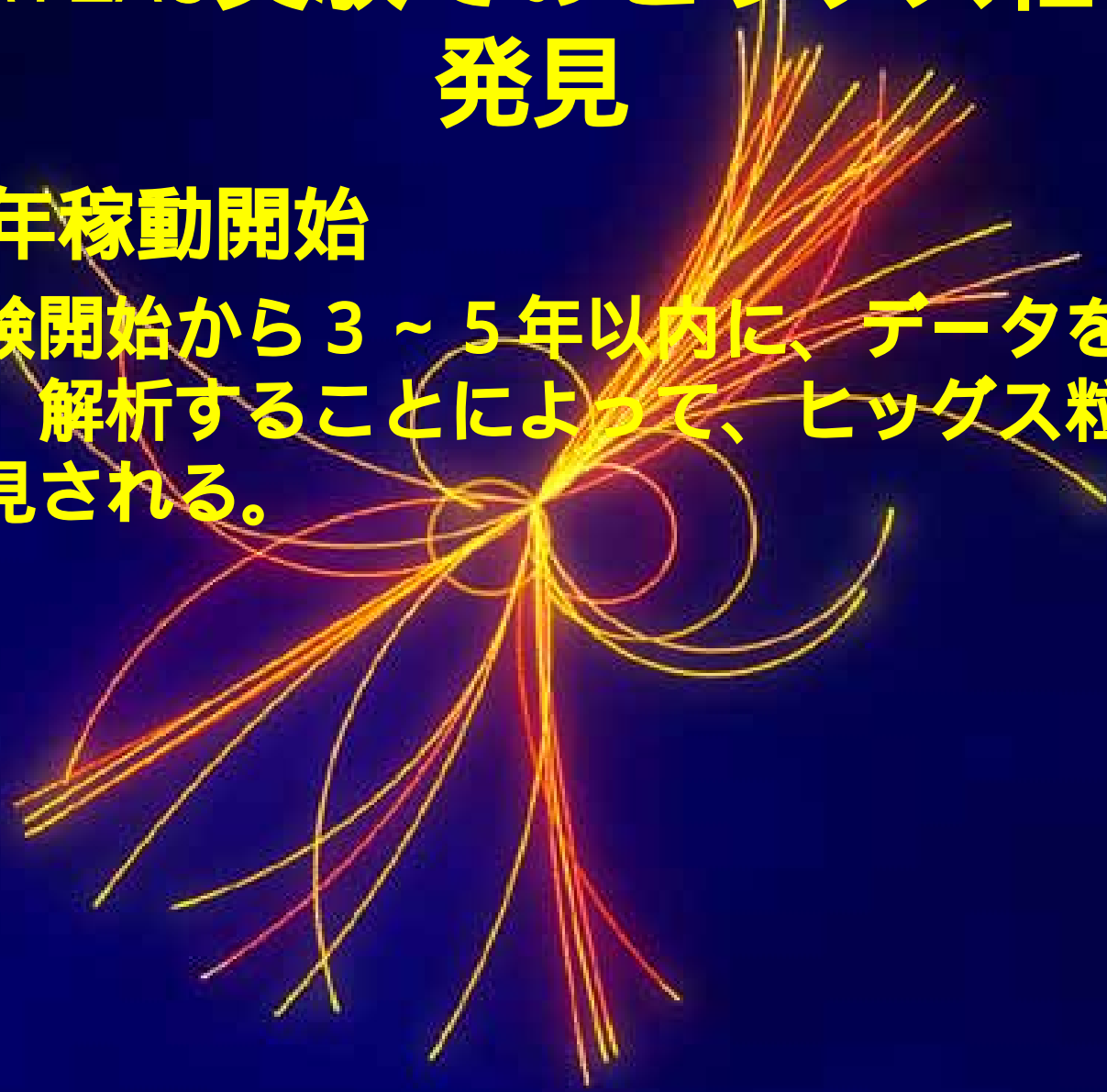
H \rightarrow Z⁰ Z⁰ 電子 + 陽電子 + μ 粒子 + 反 μ

粒子



LHC/ATLAS実験でのヒッグス粒子の 発見

- 2007年稼動開始
 - 実験開始から3～5年以内に、データを収集し、解析することによって、ヒッグス粒子が発見される。



次世代加速器による探索

- ILC計画
 - 電子と陽電子を衝突させる加速器
 - 長さ40kmの直線型加速器、エネルギー5000億から1兆電子ボルト
 - 計画段階であるが、今から10年以内の実験開始を目指す。

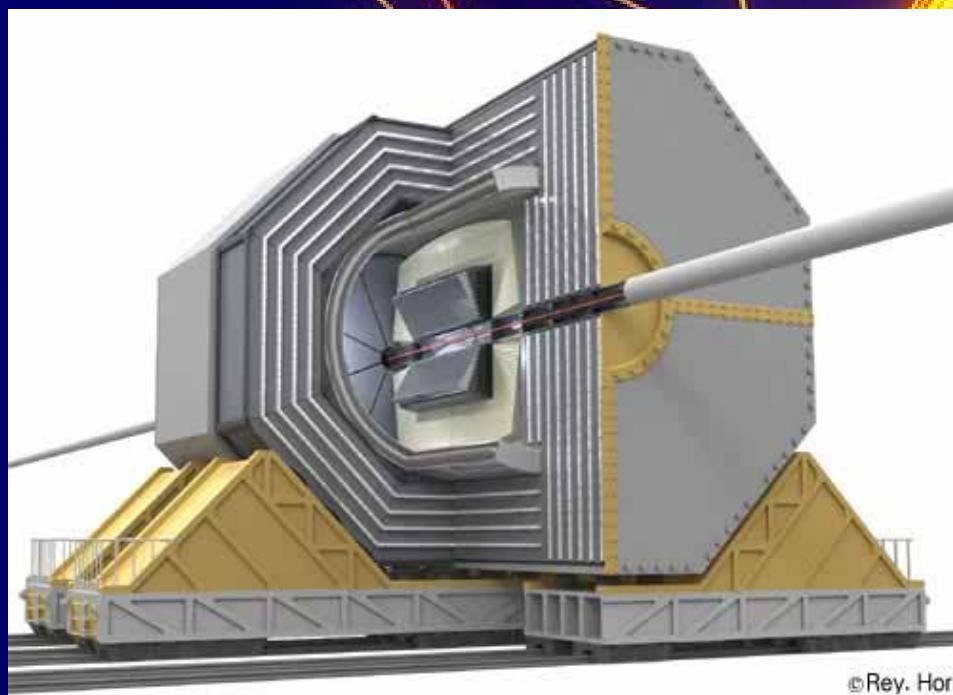


ILCによるヒッグス粒子の探索

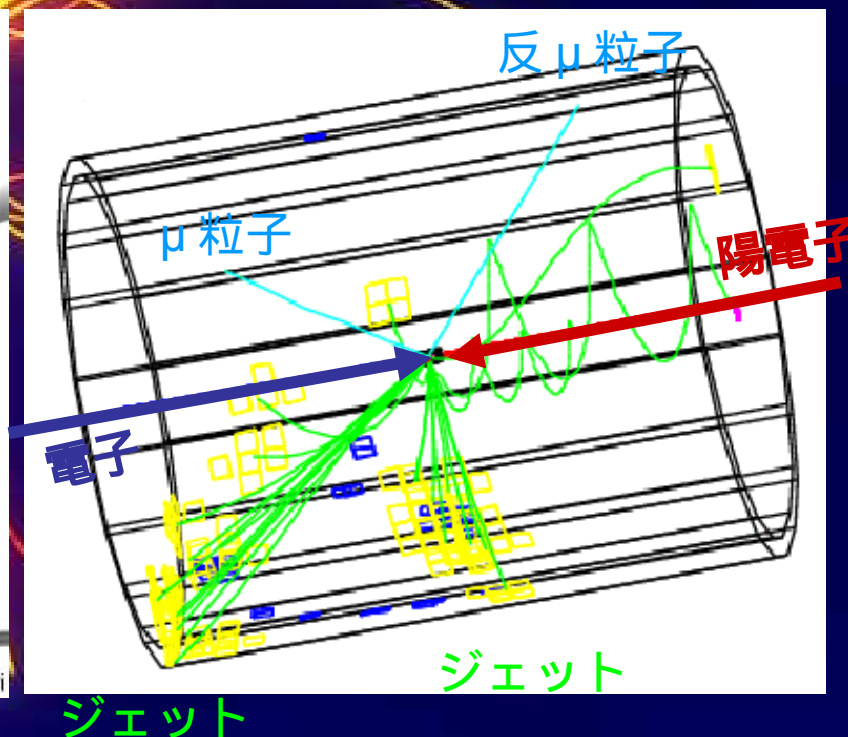
電子 + 陽電子 Z^0 $Z^0 + H$

H ジェット + ジェット

Z^0 μ 粒子 + 反 μ 粒子



© Rey. Hori



近未来の素粒子物理学

- ヒッグス粒子の発見
- 標準理論の枠内に収まらない実験事実の出現
 - 超対称性粒子（新しい素粒子）
 - 余剰次元（5次元以上の時空の存在）
 - ブラックホール など
- 標準理論を抱合するような、より大きな理論体系
 - 「究極の理論」の探求
 - 超対称性標準理論
 - 超弦理論、M理論 など

最後に



- 今は、素粒子物理学の変革期
- 皆さんが素粒子物理学を研究に携わるころには、より新しいステージへ進んでいるはず
- 若い才能が素粒子物理学のさらに押し進めることができる。



スライドで使用した写真、図の著作権は、
以下の研究所に帰属します。

高エネルギー加速器研究機構(KEK)

Centre European pour la Recherche
Nucleaire(CERN)

Deutsches Elektronen-Synchrotron(DESY)