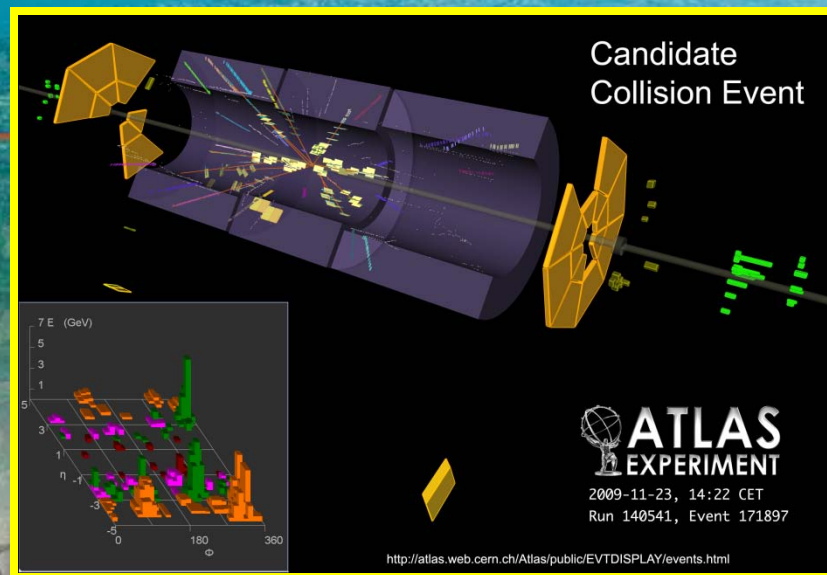
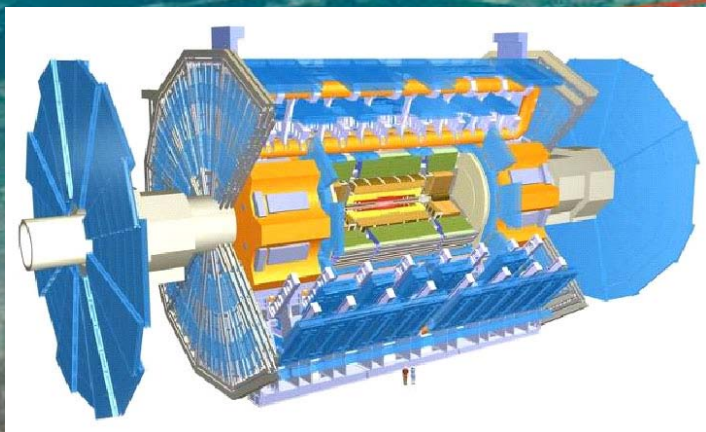


LHC実験が切り拓くテラスケールの世界

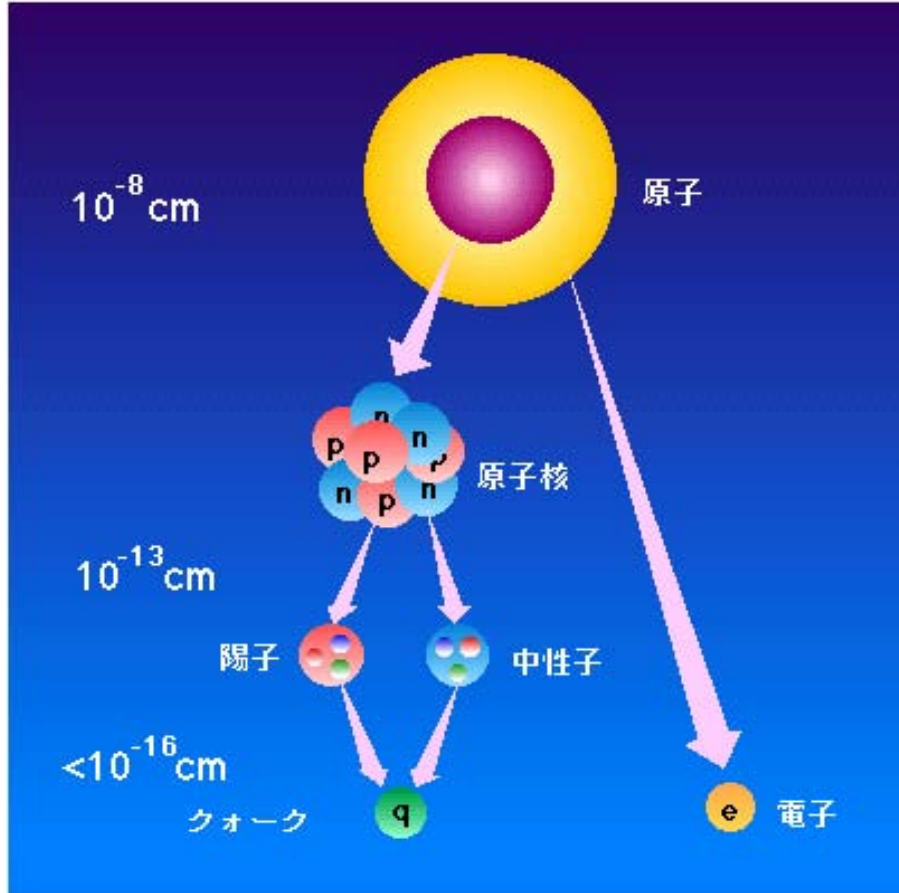
東京大学素粒子物理国際研究センター
小林富雄



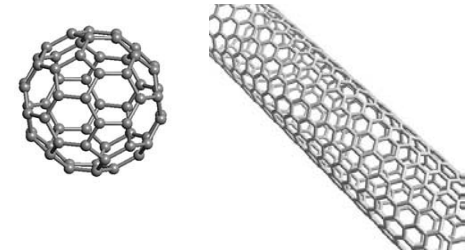
11. Feb. 2010
一般公開講演会

ナノスケール(長さ)

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$
→ エネルギーにすると 200 eV(電子ボルト)



ナノテクノロジー



(これはまだフィクションの世界)

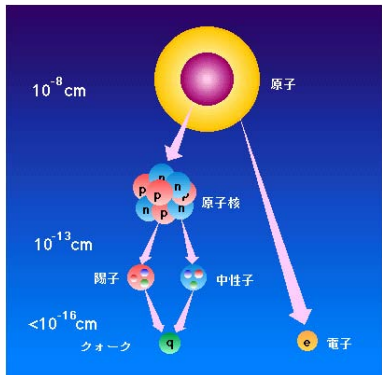
素粒子物理:
標準理論で $\sim 200 \text{ GeV}$ (10^{-16} cm) まで理解
($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$)

テラスケール(エネルギー)

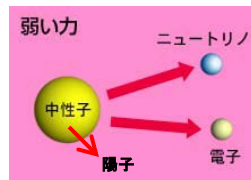
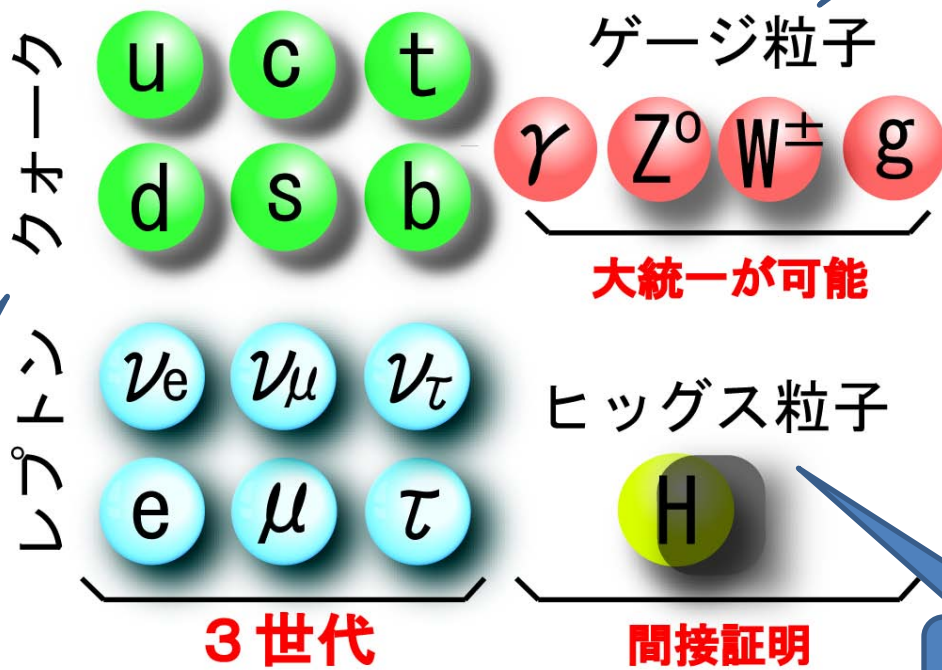
$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV} = 1000 \text{ GeV}$
→ 長さにすると $2 \times 10^{-17} \text{ cm}$

未知の領域:
ここを直接調べるのがLHC
標準理論が成り立っているのか?
まったく新しい世界が開けるのか?

素粒子の標準理論(モデル)



力を媒介する粒子



物質を構成する粒子

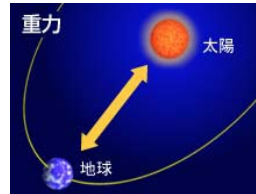
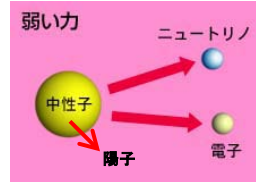
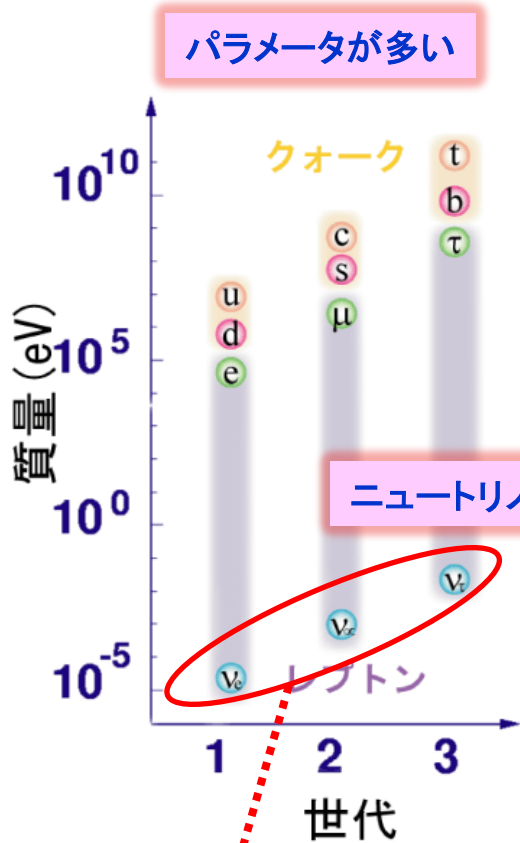
質量の起源



・素粒子の標準理論はこれまでの実験結果をほぼ説明
・だがしかしヒッグス粒子だけが未発見



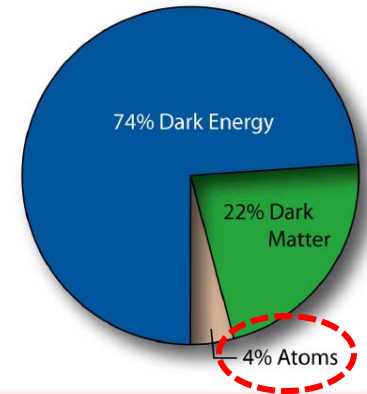
標準理論は究極の理論ではない



電弱統一
(標準理論)

大統一?

量子重力?



標準理論は宇宙の 4% しか説明していない



LHCはヒッグス粒子や標準理論を
超える新粒子・新現象の発見をめざす



ジュネーブ

CERN 研究所

LHC 加速器

CERNの概要

研究所:

CERNは、仏名のC Conseil E Européen pour la R Recherche Nucléaireの略称
英語名称はEuropean Organization for Nuclear Research
素粒子の基本法則や現象を加速器を用いて探究する研究所
ジュネーブ郊外のスイスとフランスの国境にまたがる

沿革:

1954年: 欧州12カ国の国際的研究機関として設立
1959年: 28GeVの陽子シンクロトロン(PS)完成
1971年: 陽子・陽子コライダー(ISR)の完成
1976年: 450GeV大型陽子加速器(SPS)の完成
1983年: 陽子・反陽子コライダーでWとZ粒子を発見
1989年: 50+50GeV電子・陽電子コライダー(LEP)の完成
1994年: 陽子・陽子コライダー(LHC)の建設を決定
2000年: LEP2加速器の運転を終了
2008年: LHC建設が完成し、450GeVビーム周回に成功
2009年: LHC実験開始

運営:

年間予算 約1,000MCHF(1,000億円相当)

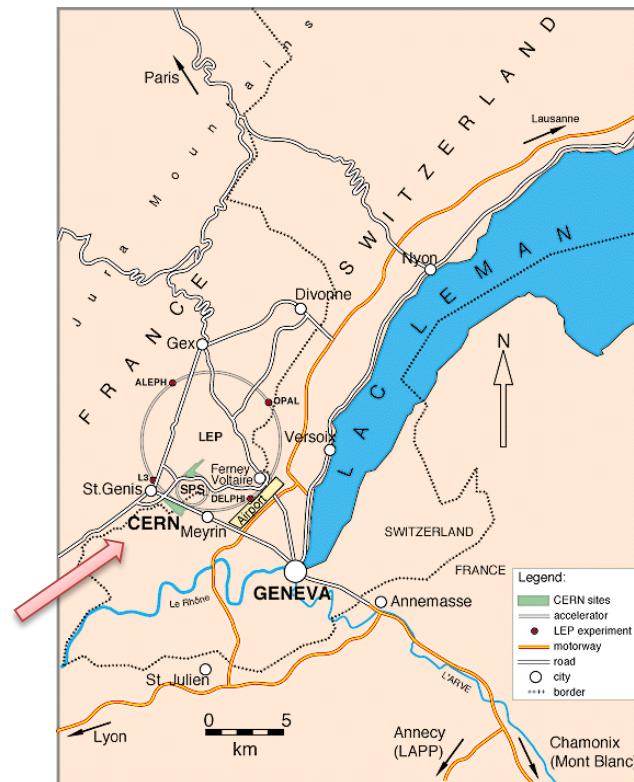
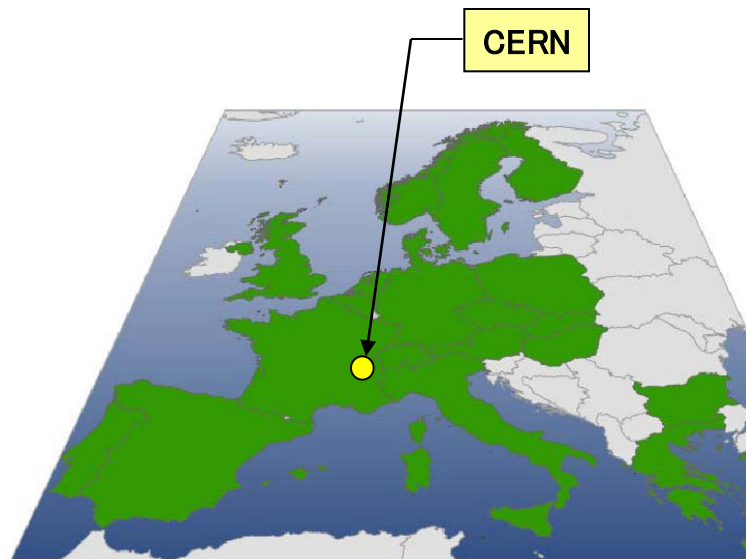
職員数 約2,500人

加盟国(20カ国): ドイツ, イギリス, フランス, イタリア, スペイン, オランダ,
スイス, ベルギー, ノルウェー, スウェーデン, ポーランド, オーストリア,
ギリシャ, デンマーク, フィンランド, ポルトガル, チェコ, ハンガリー,
スロヴァキア, ブルガリア

オブザーバー: **日本**, 米国, ロシア, イスラエル, インド, トルコ, EU, UNESCO
(日本はLHC加速器建設に協力)

利用:

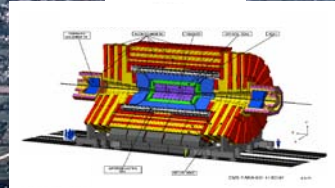
CERNの加速器を利用する研究者数は年間約**8千人** (これは全世界の
高エネルギー実験研究者の約半数にあたる)



CERN研究所とLHC加速器



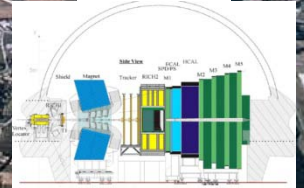
CMS



LHC

テラスケール物理の
解明をめざす

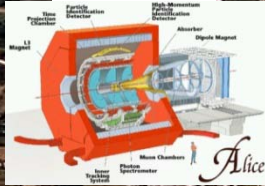
LHCb



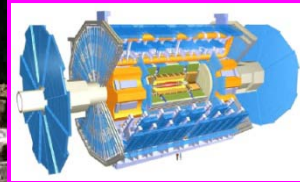
ジュネーブ空港

SPS

ALICE



ATLAS



CERN

PS

LHC (Large Hadron Collider at CERN)

(大型ハドロンコライダー)



- ・ 14 TeV の陽子・陽子衝突型加速器
- ・ LEPトンネル(周長27 km)を利用
- ・ 建設に14年
- ・ 総建設費は約5000億円
- ・ 2008年9月完成、ビーム周回に成功

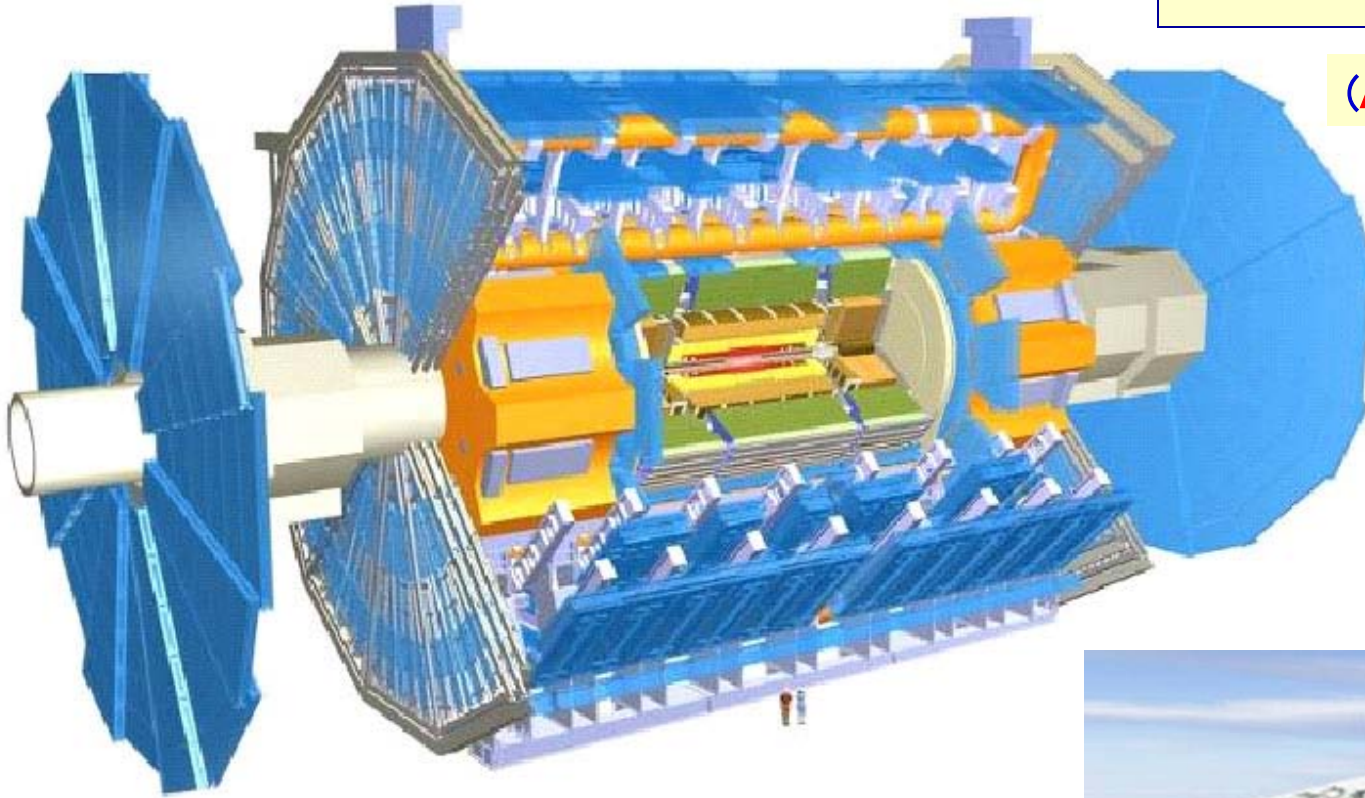
* CERNのLEP(電子・陽電子)は 200 GeV
* 米国フェルミ研究所のTevatron(陽子・反陽子)は 2 TeV

2-in-1超伝導ダイポールマグネット:
磁場強度 8.3T、超流動ヘリウム温度 1.9K、長さ 14.3m、1232台

ATLAS実験装置

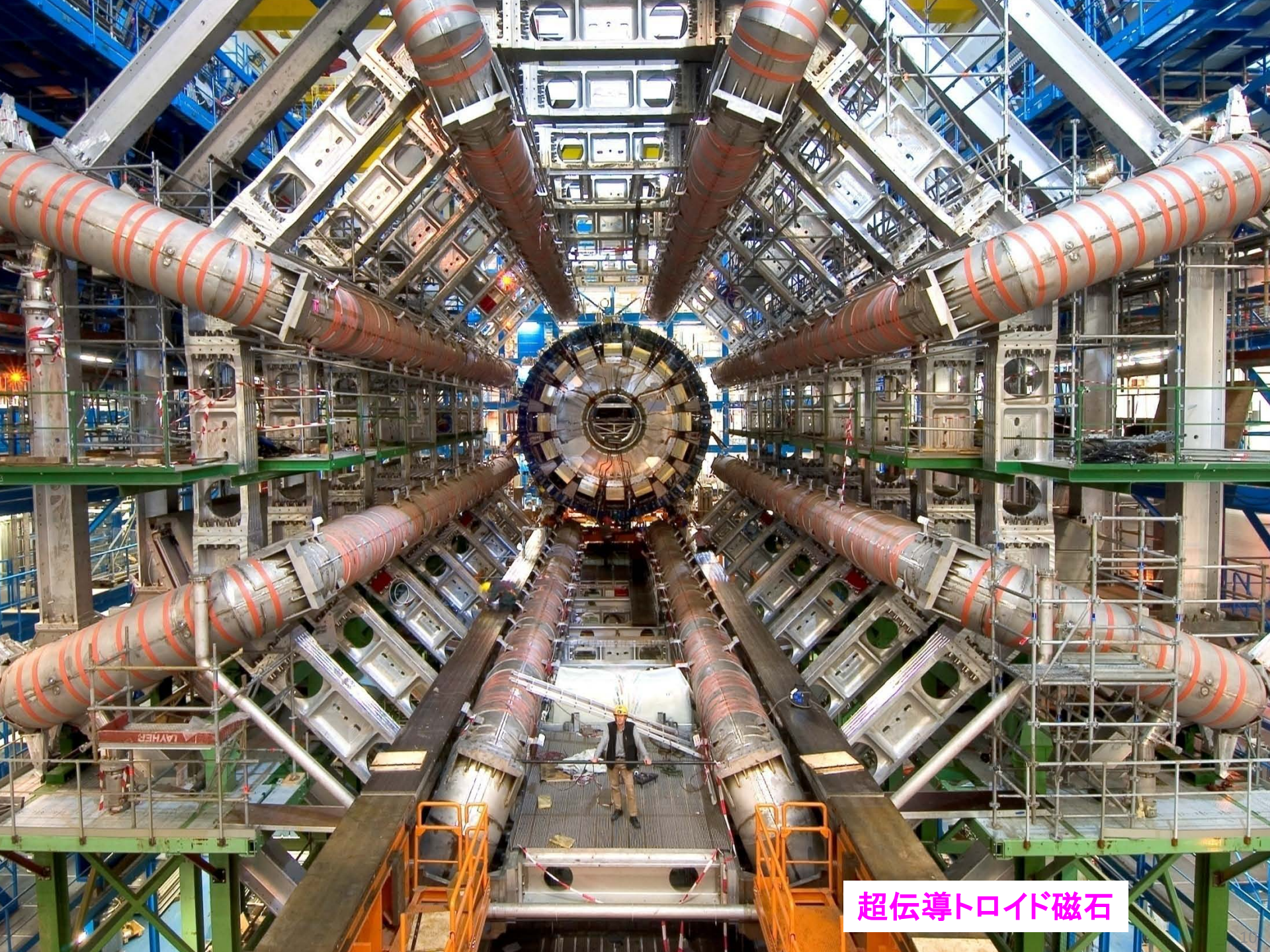
(A Toroidal LHC Apparatus)

巨大かつ精密な
粒子検出器

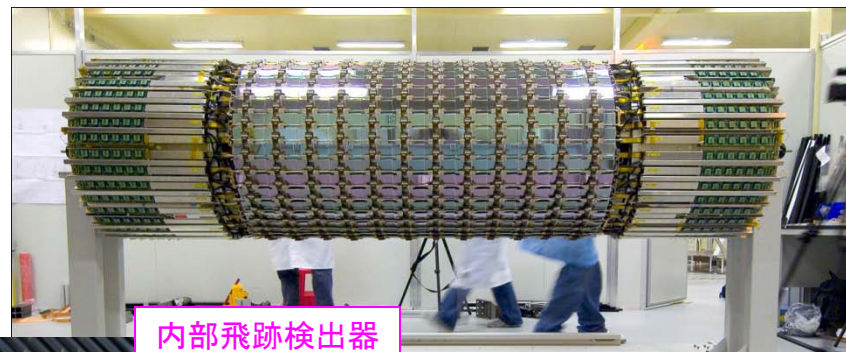
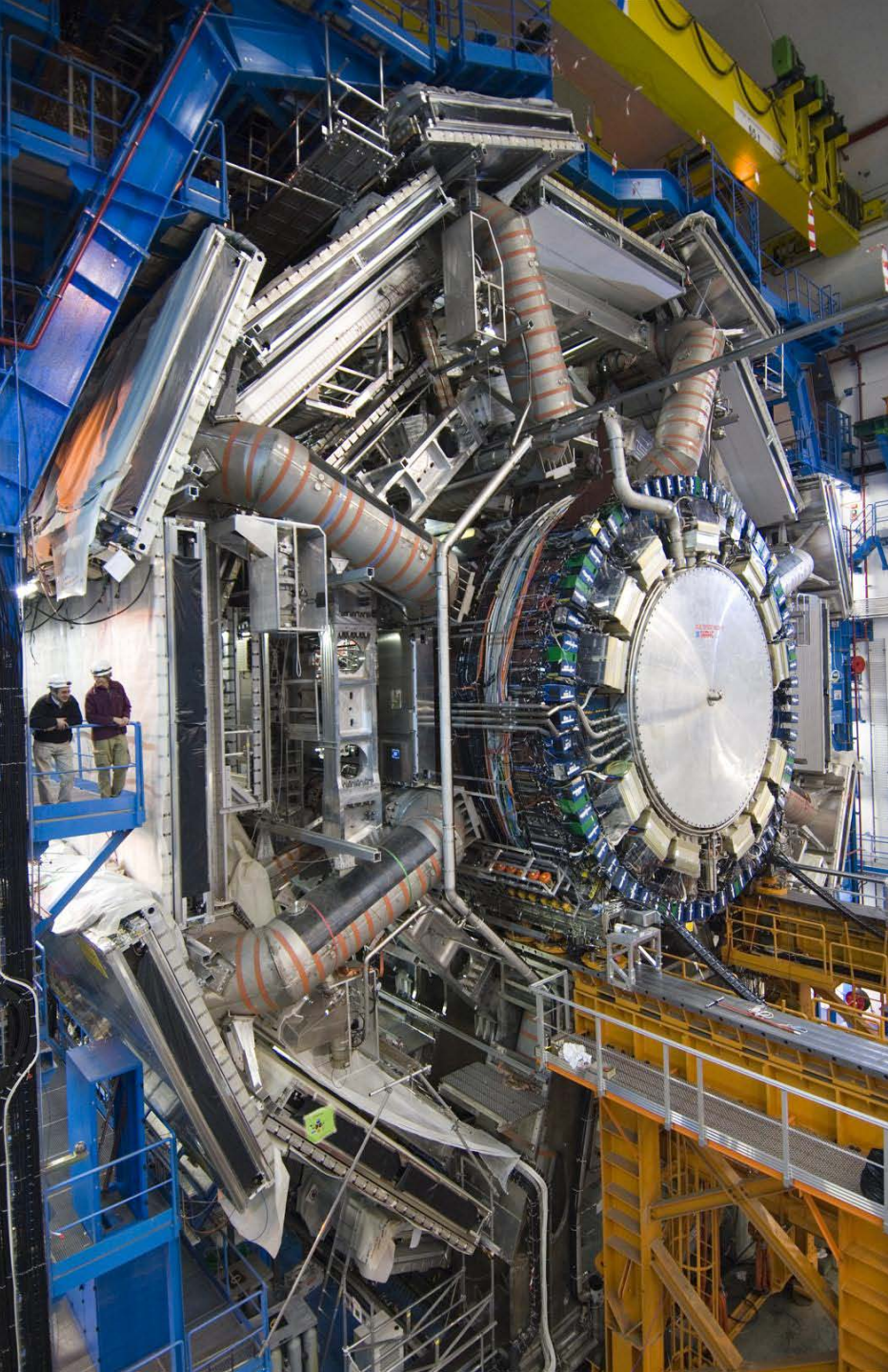


- ・直径 22m、長さ 44m、重さ 7000t
- ・世界最大の超伝導トロイド磁石
- ・センサー数 1.1億チャンネル
- ・37カ国、172の参加機関、2880名の研究者
(2009年9月時点)による国際共同実験
- ・日本グループ(15の大学・研究所、110名)は
ミュオントリガー検出器、内部飛跡検出器、
ソレノイド超伝導磁石などに貢献

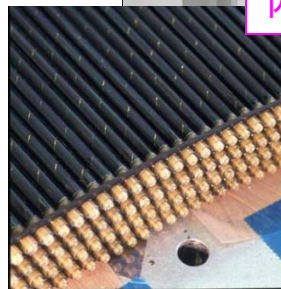




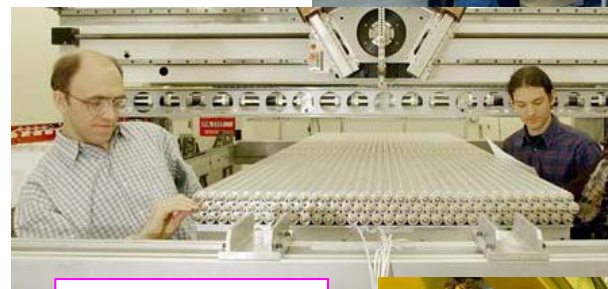
超伝導トロイド磁石



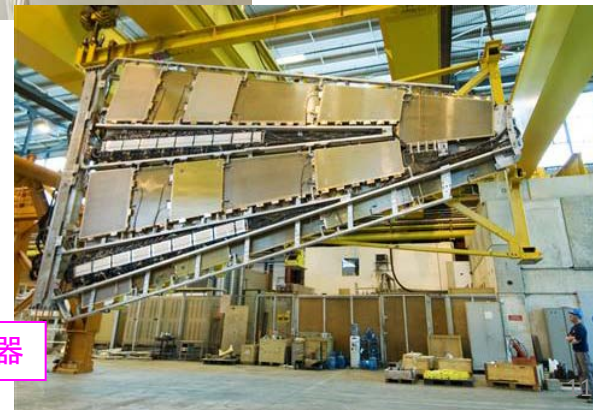
内部飛跡検出器



電磁カロリメータ



ミューオン検出器



ミューオントリガー検出器

アトラス測定器 (日本担当部分)



内部



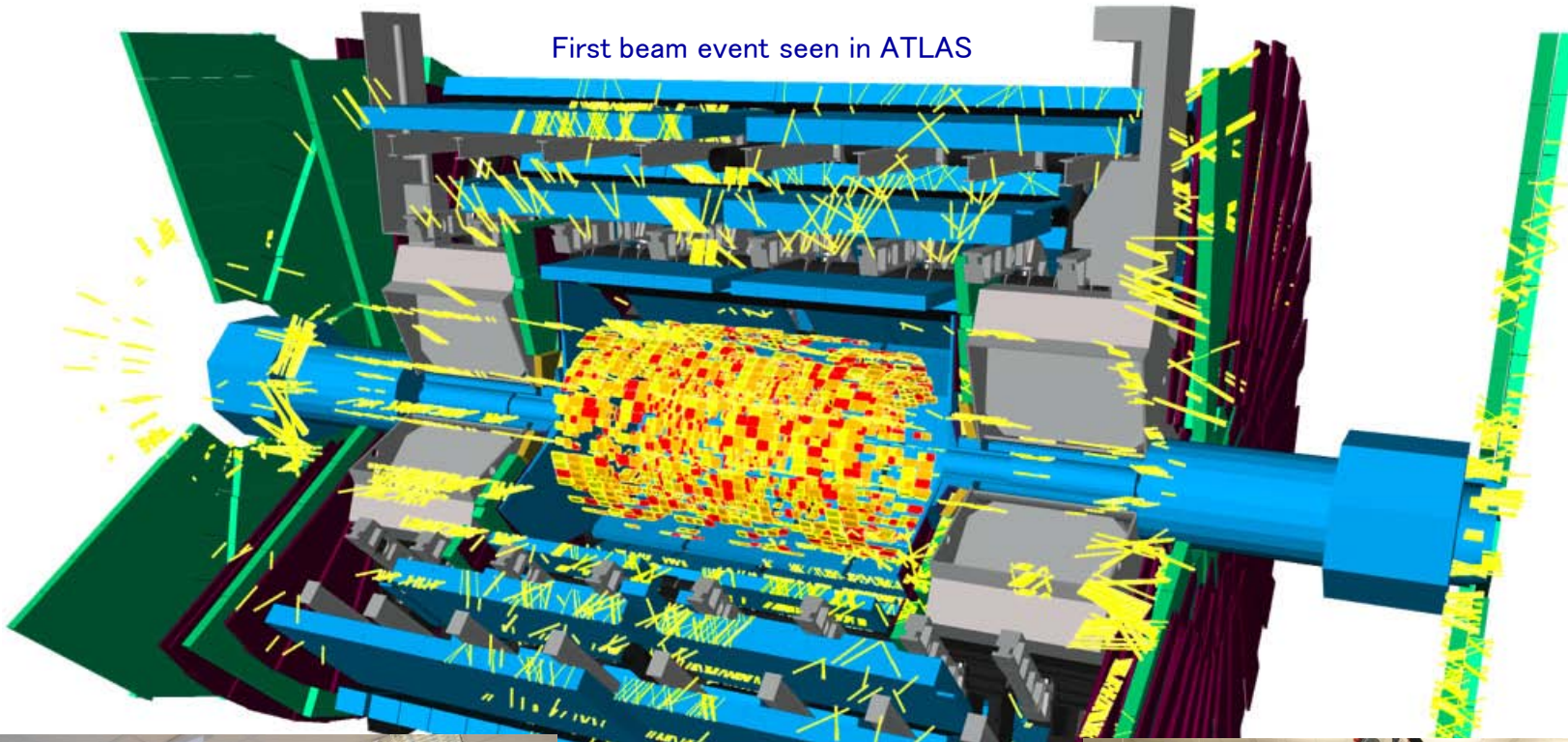
超伝導ソレノイド磁石



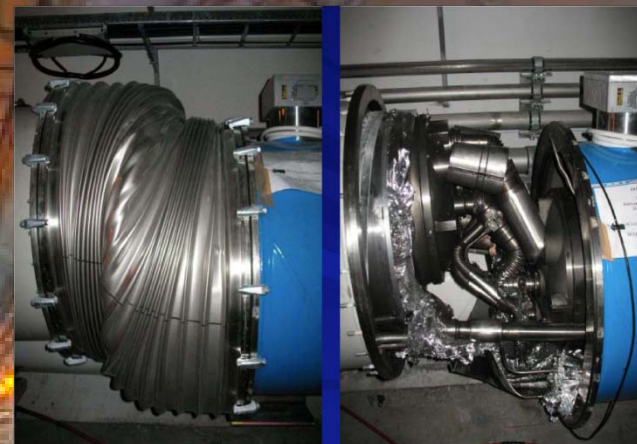
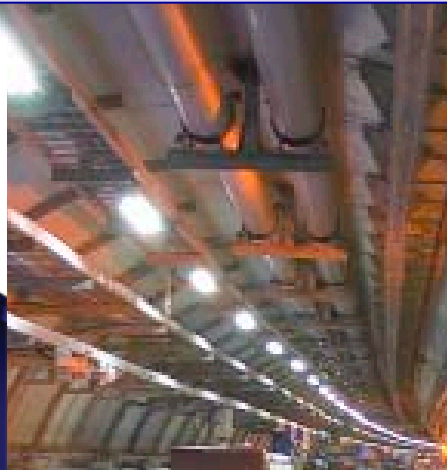
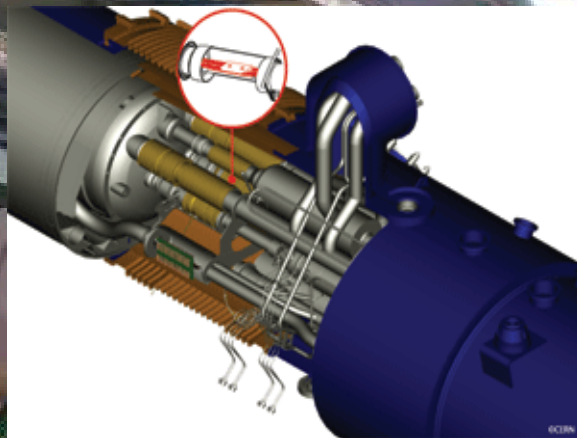
ミュオントリガー検出器

LHCビーム周回成功 (2008年9月10日)

First beam event seen in ATLAS



LHC大量ヘリウム流出事故 (2008年9月19日)



バードストライクが原因で・・・



NY, 15.Jan.2009

1. 超伝導マグネットの励磁テスト中に、超伝導ケーブル結線部の抵抗値が増加 → 温度上昇 → クエンチ(常伝導状態に)
2. 電源トリップが作動したものの、アーク放電が発生 → 真空(断熱)容器に穴
3. 真空容器内およびビームパイプ内にヘリウムが流出 → 衝撃波
4. 減圧排気バルブが開放されたが、
→ 真空隔壁が破壊、いくつかのマグネットが動かされ
→ 6トンのヘリウムがトンネル内に流出

- ・53台のマグネットを修理
- ・2009年4月末に設置完了
- ・今後同様の事故が起こらないよう対策
- ・2009年10月末から運転再開

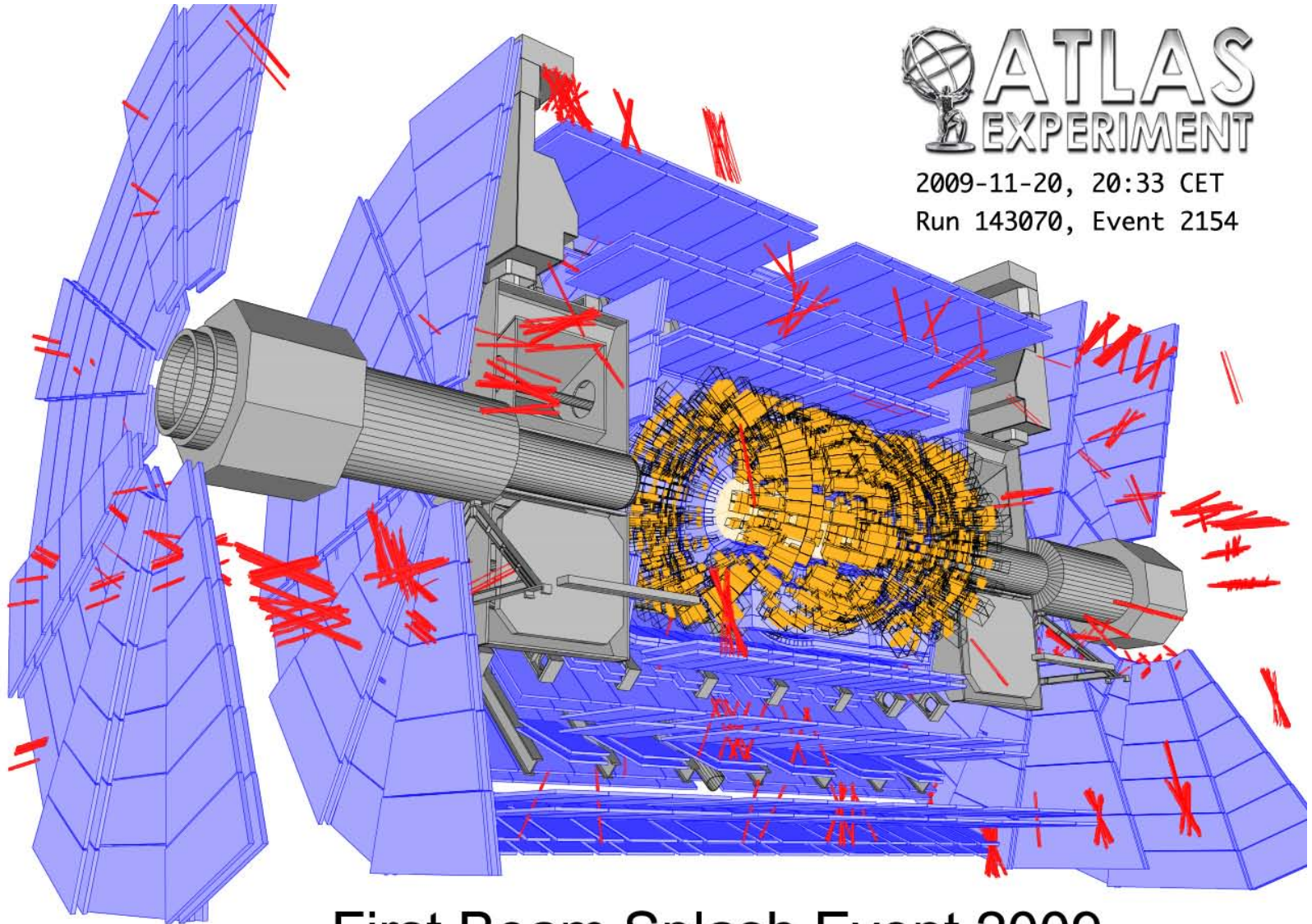
LHCビーム周回再開

(2009年11月20日)

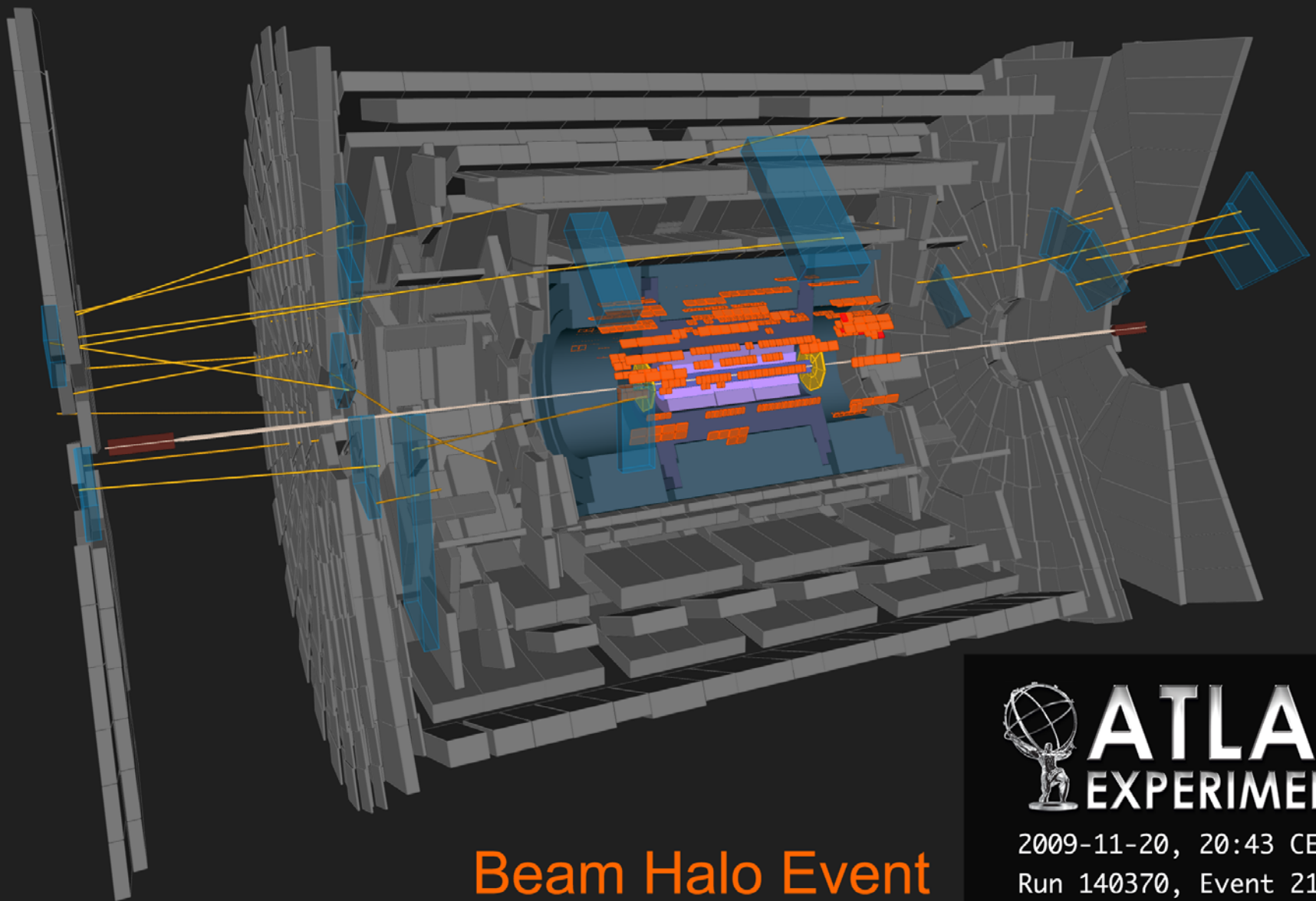


2009-11-20, 20:33 CET

Run 143070, Event 2154



First Beam Splash Event 2009



Beam Halo Event

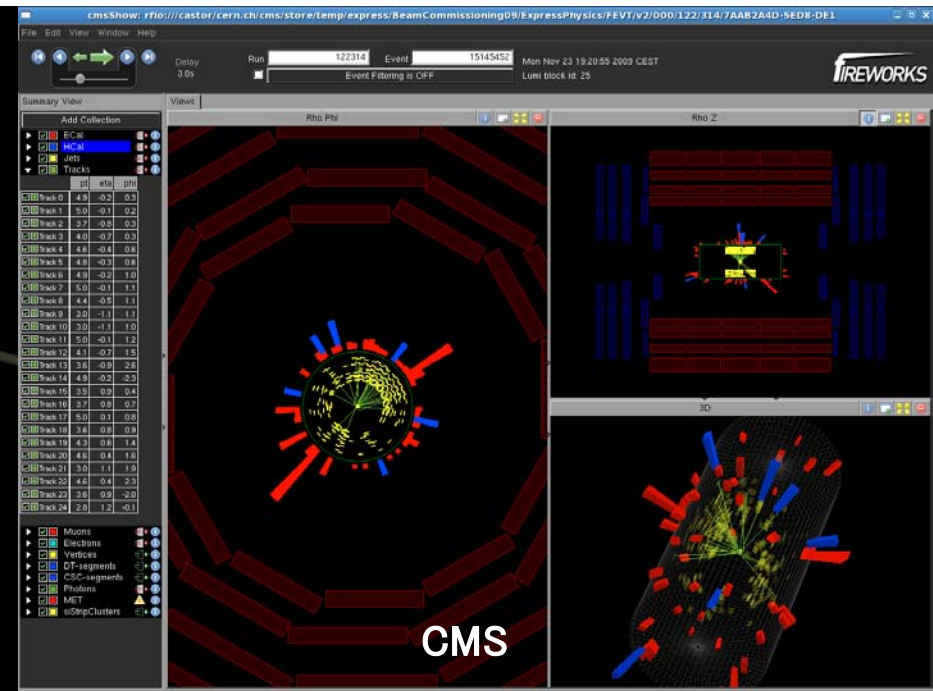
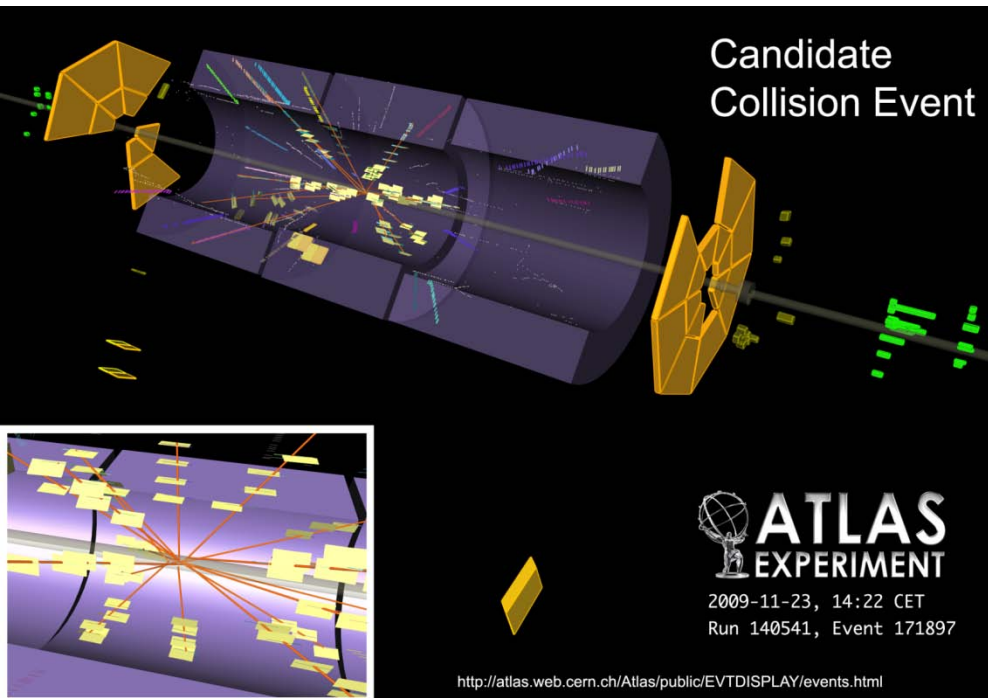


ATLAS
EXPERIMENT

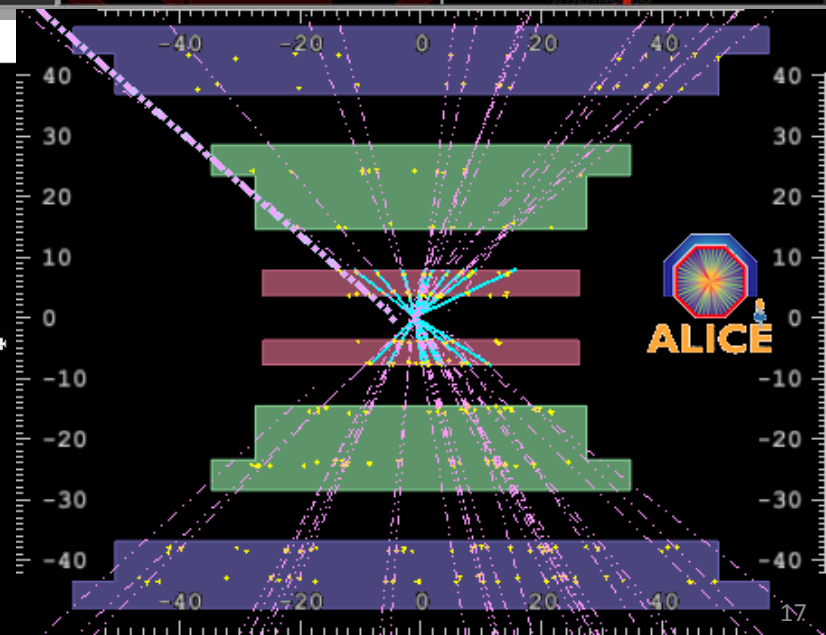
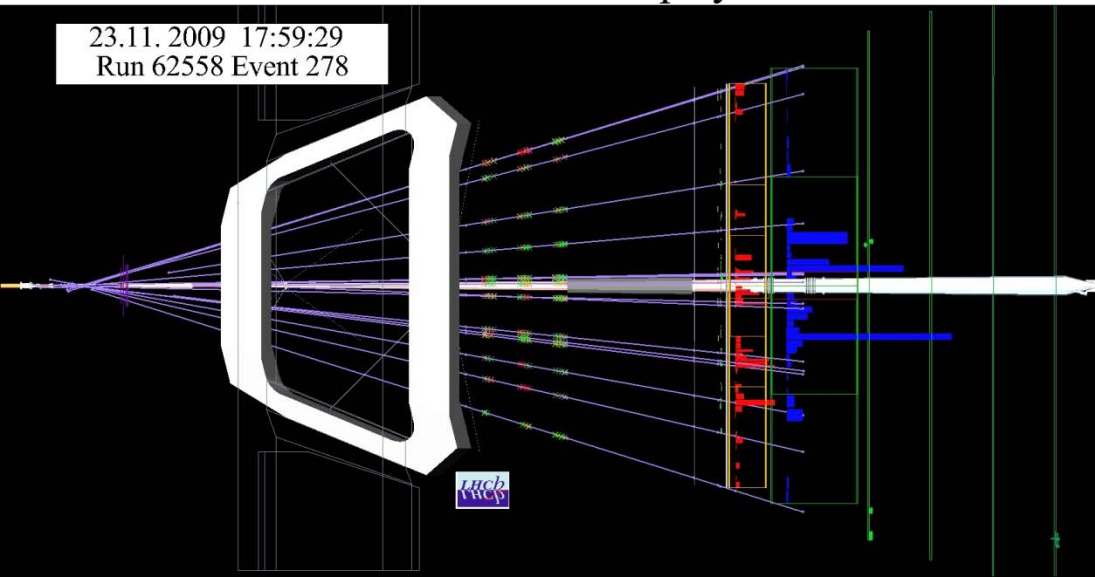
2009-11-20, 20:43 CET
Run 140370, Event 2195

ビーム衝突に成功(11月23日)

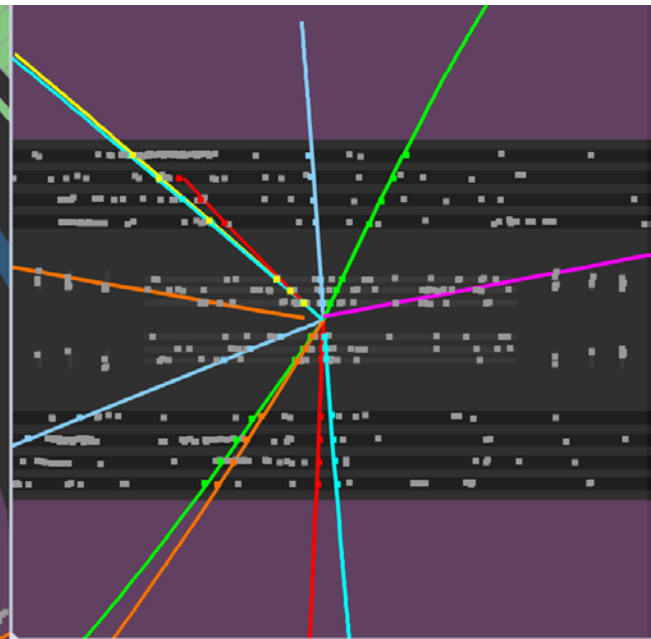
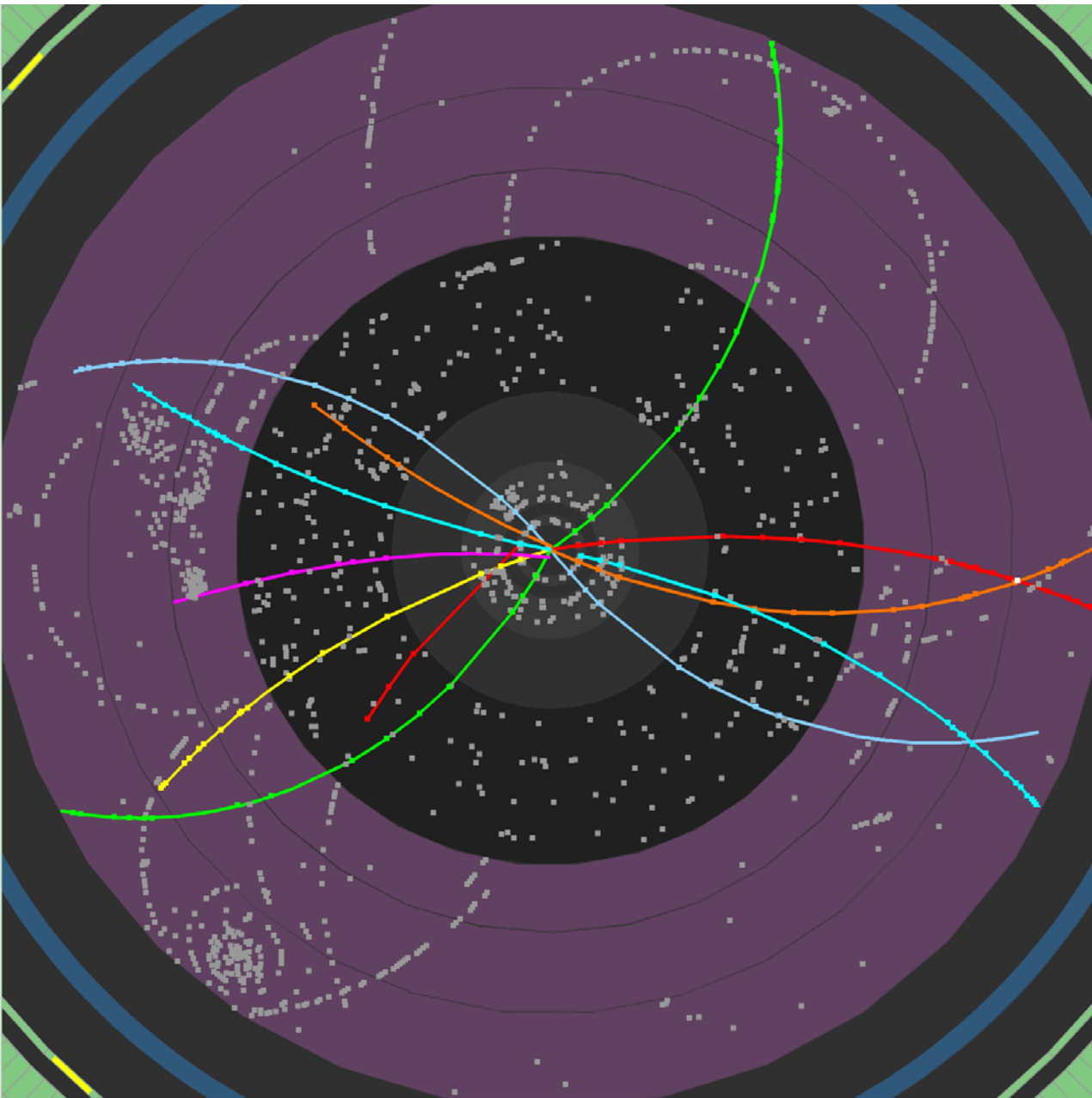
E_{cm} (衝突エネルギー) = 900 GeV



LHCb Event Display



内部飛跡検出器に磁場をかけて(12月6日)



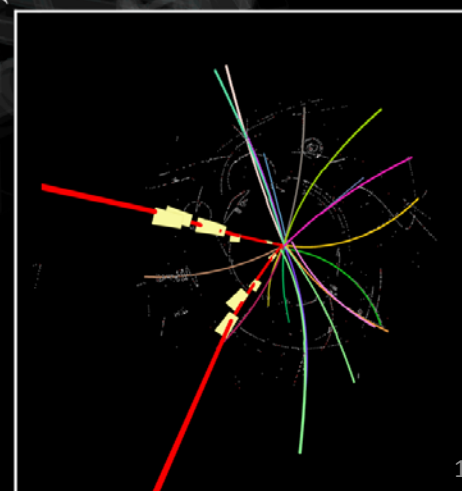
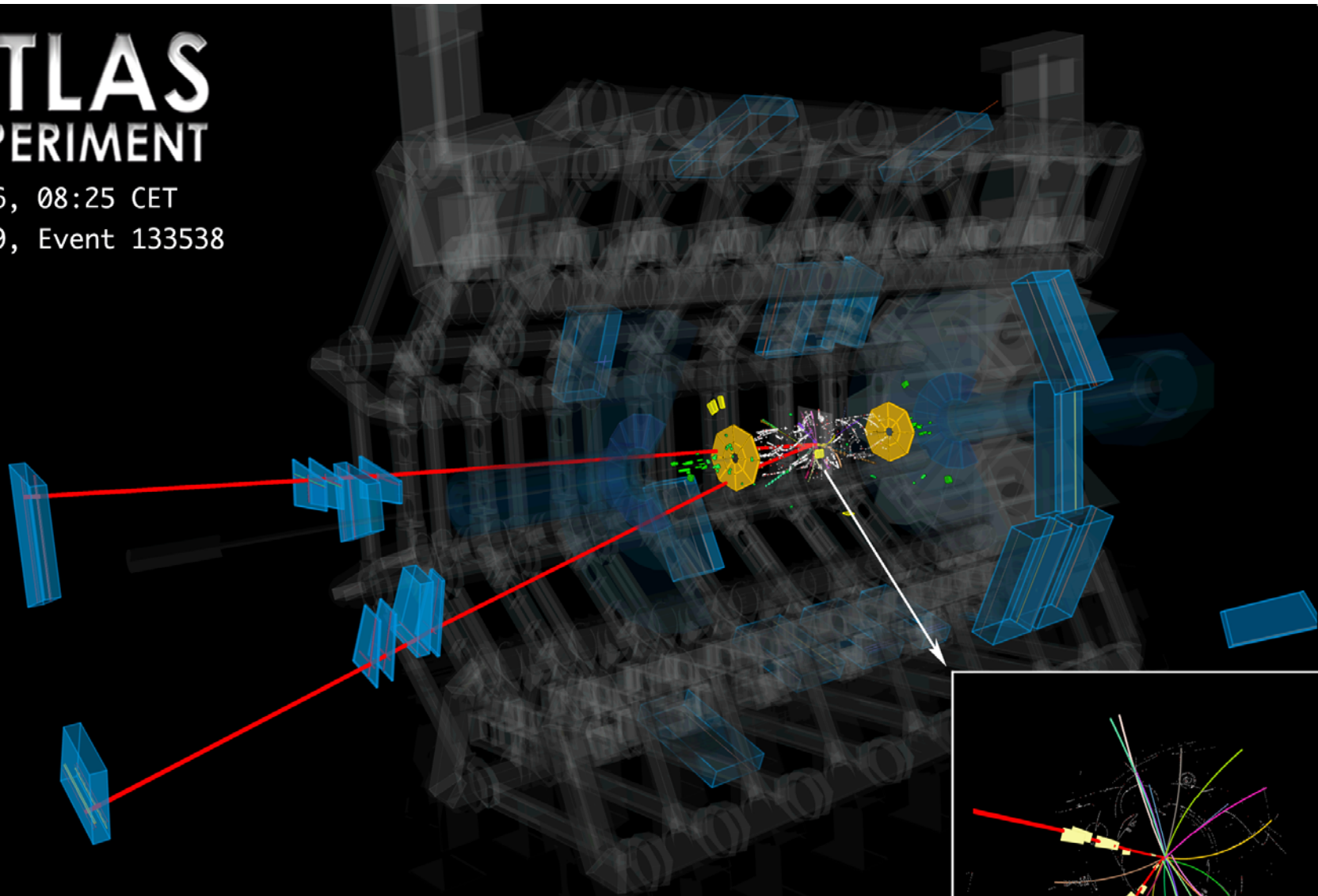
ATLAS
EXPERIMENT

2009-12-06, 10:04 CET
Run 141749, Event 406601

Collision Event

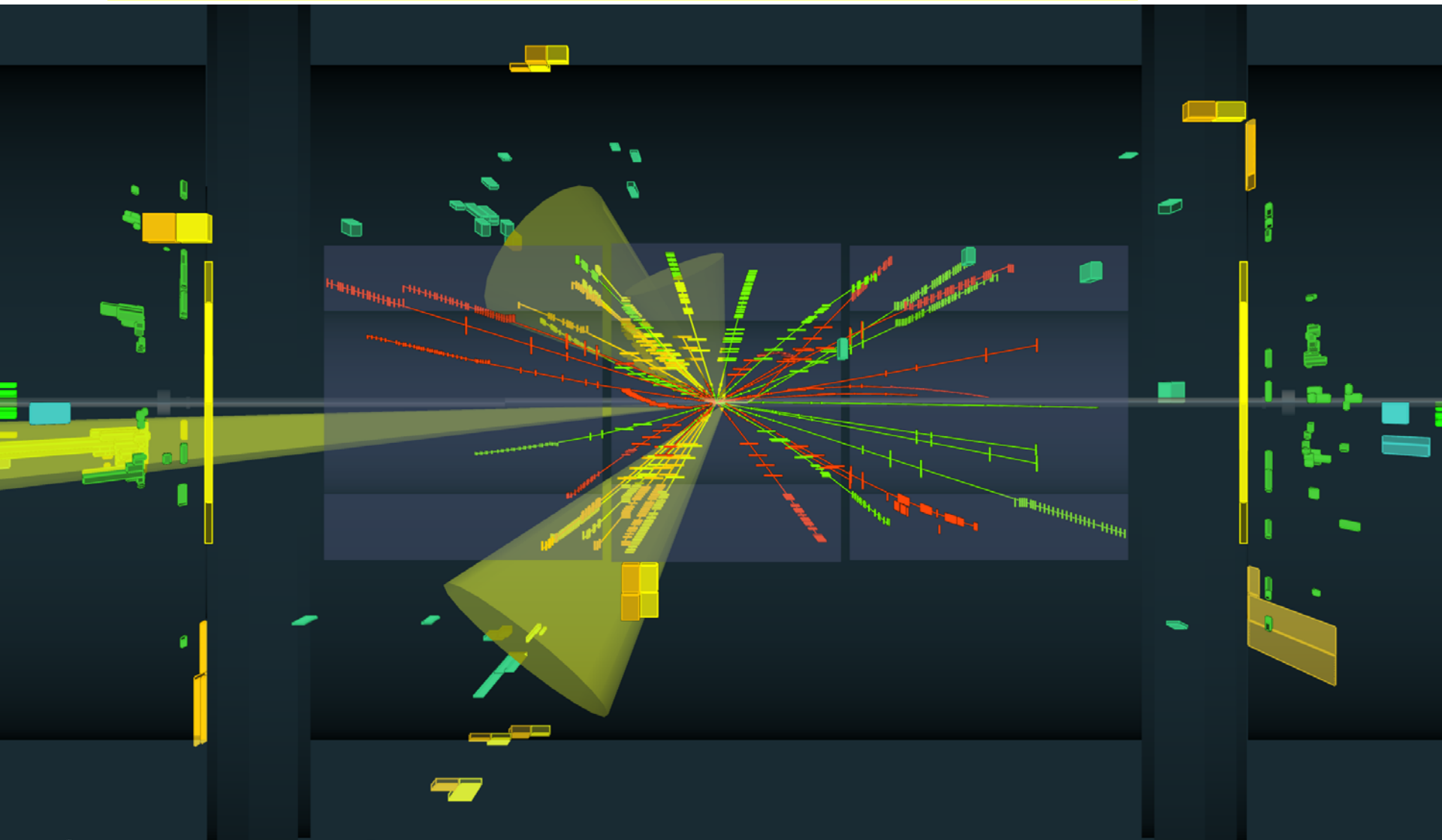


2009-12-06, 08:25 CET
Run 141749, Event 133538



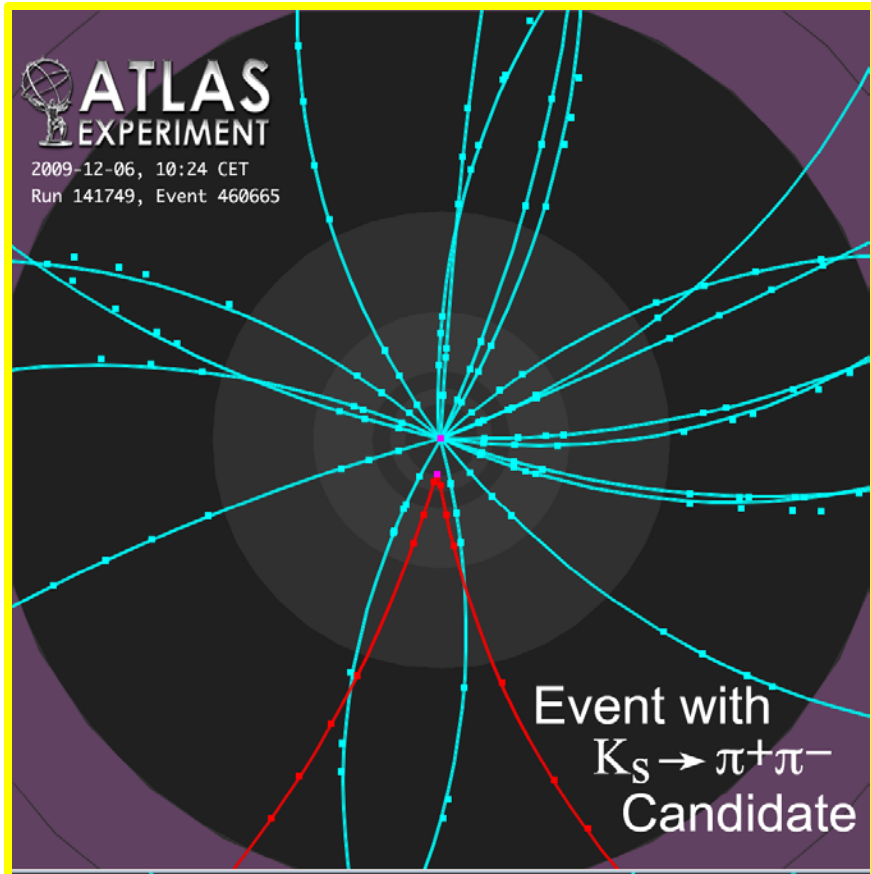
Collision Event with 2 Muon Candidates

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

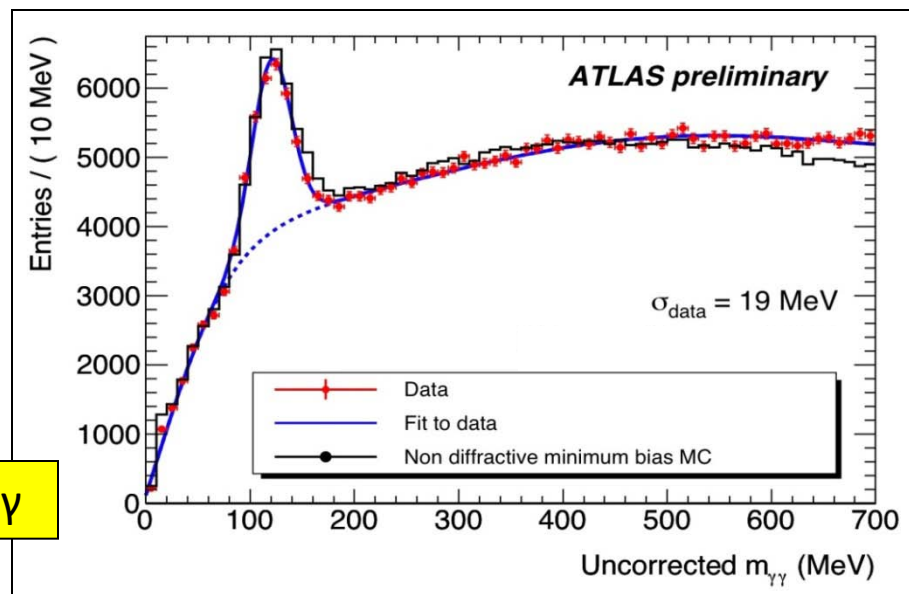
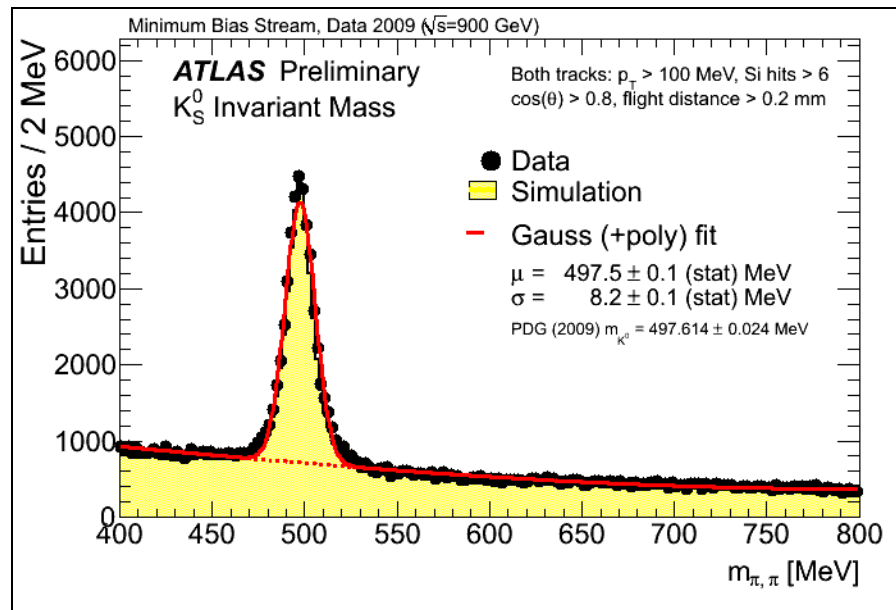


データ解析(例)

粒子の種類、エネルギー、方向を測定
衝突点で何が起きているか



$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$



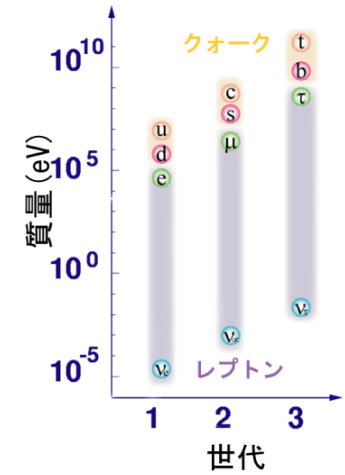
これからのLHC運転予定 (先週決定)

- 現在、クエンチ保護システムのチェックおよび超伝導マグネットのパワーテストを行っている
- 今月後半から運転再開
- 衝突エネルギー 7 TeV での実験開始は3月後半から
- 2010年～2011年は 衝突エネルギー 7 TeV で連続運転
- 2012年はシャットダウン(超伝導線の結線やり直し、超伝導マグネットの再トレーニング、など)
- 2013年から 13～14 TeV で運転

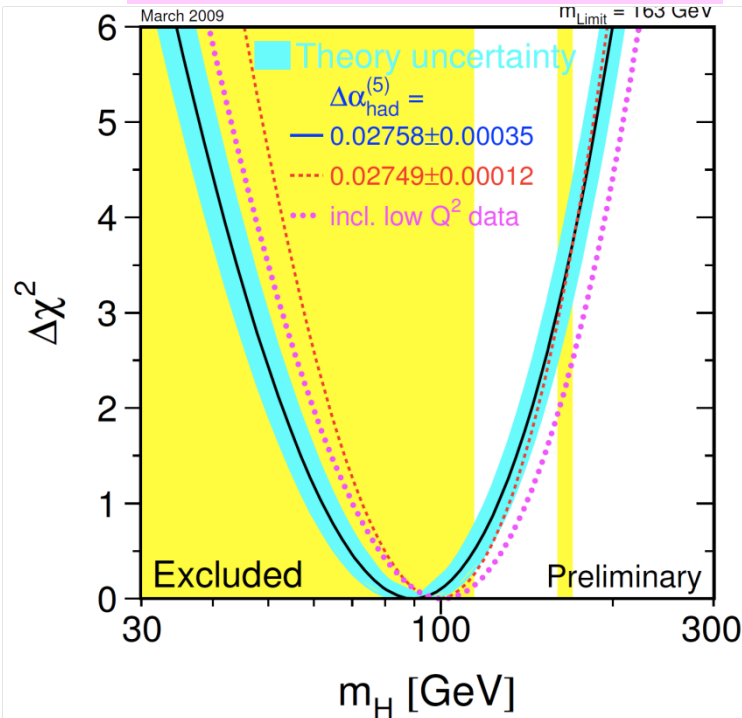
これから4～5年のうちに
期待される結果は…

質量の起源をになうヒッグス粒子

- ・標準理論で唯一未発見の粒子
- ・ヒッグス粒子は重い粒子と強く結合

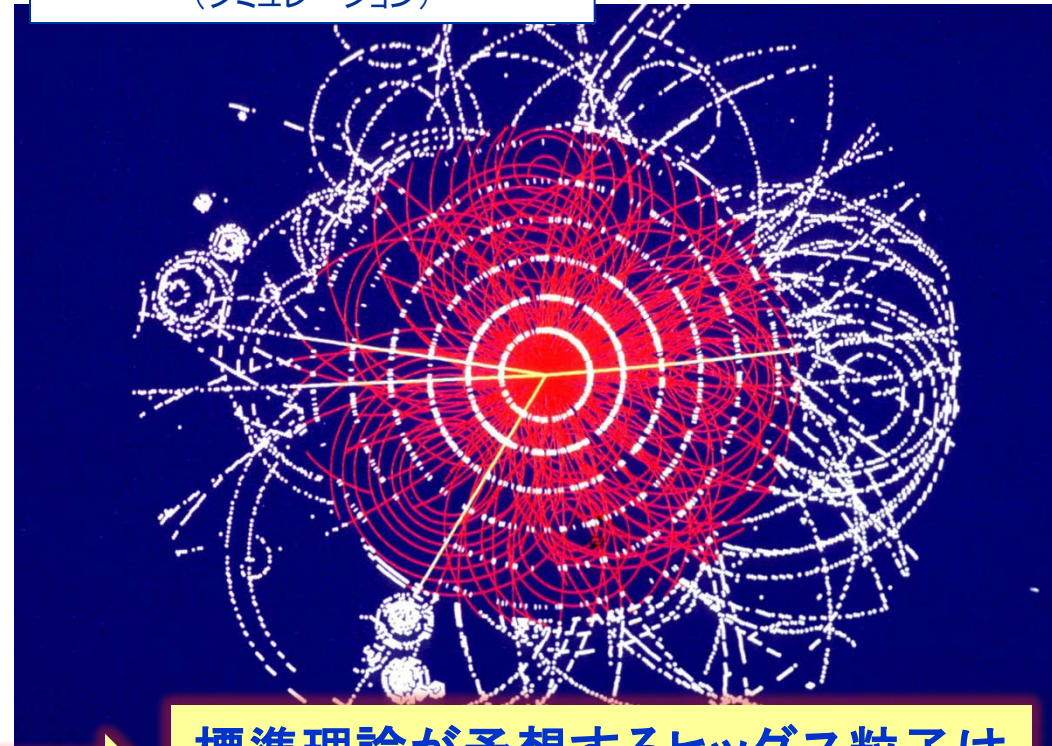


LEPやTevatronでの実験結果からの制限



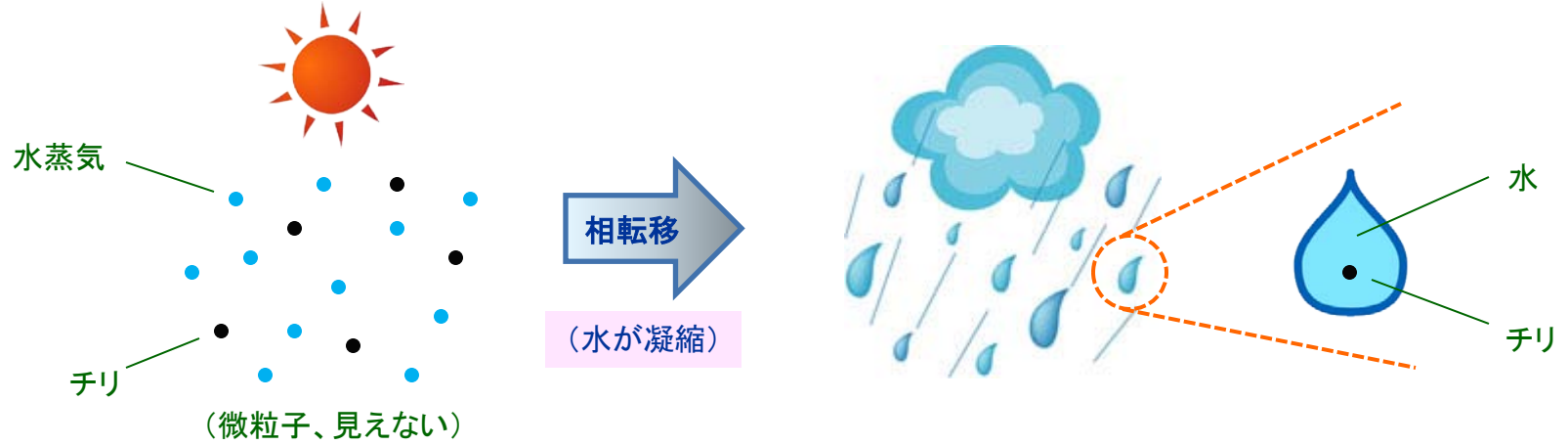
ヒッグス粒子の質量は
115~160 GeV の間にありそう

ATLAS実験でのヒッグス粒子発生事象
(シミュレーション)

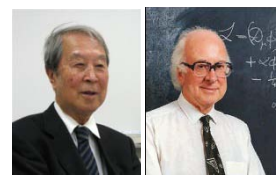
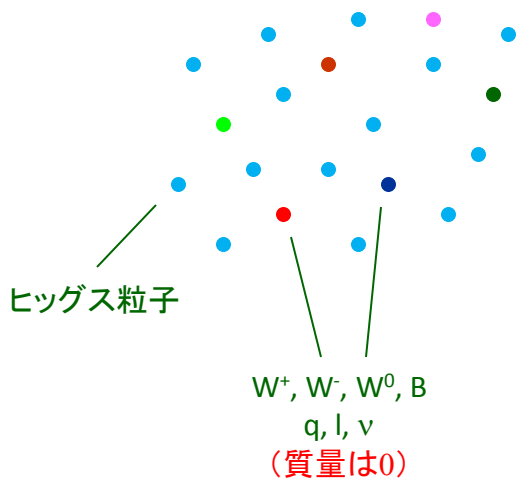


標準理論が予想するヒッグス粒子は
LHCで確実に発見可能

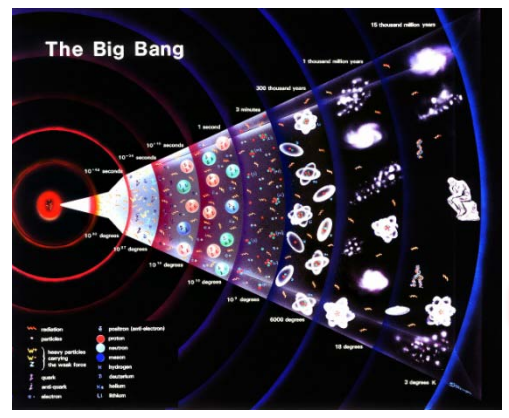
もしヒッグス粒子が発見されたら？ (ヒッグス機構について)



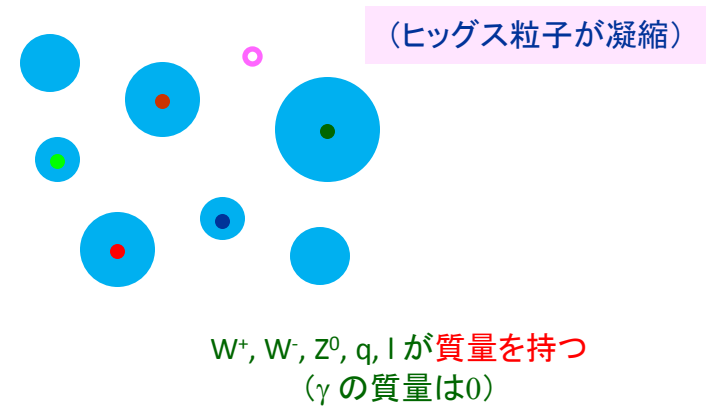
宇宙初期



自発的対称性の破れ



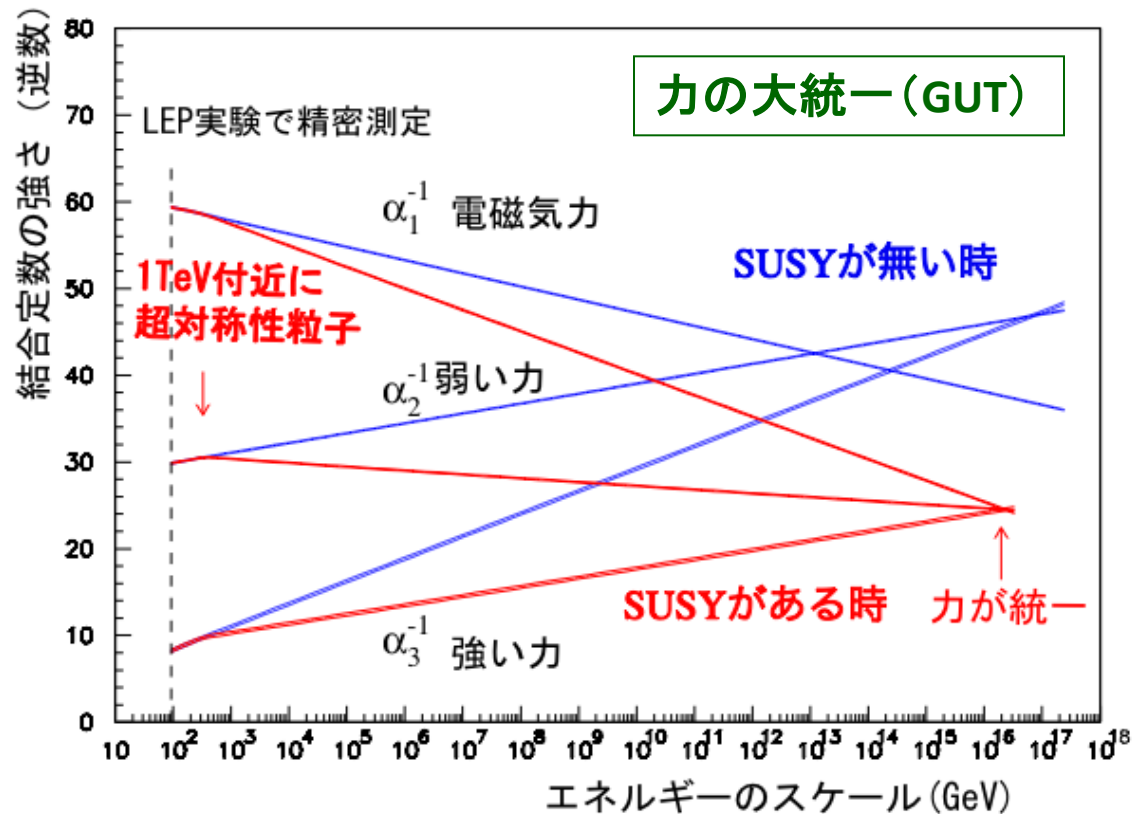
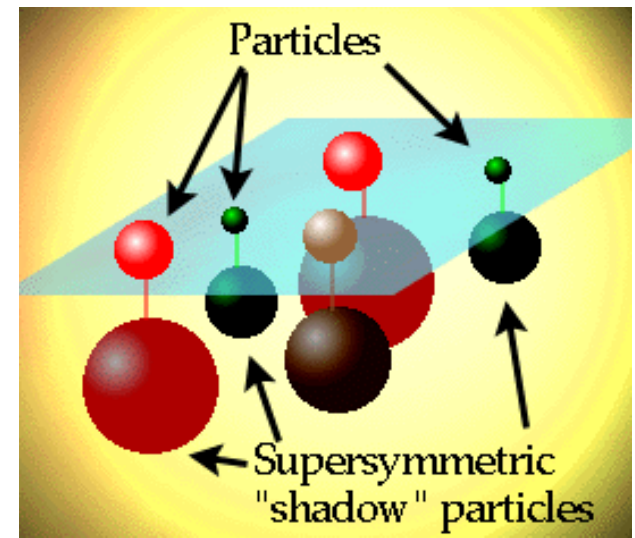
温度が下がると



真空とは？
宇宙とは？ (村山先生の講演)

超対称性(SUSY)

- ・ 標準理論を超える有力な理論
- ・ **重力**を含むすべての力の統一する可能性
- ・ 宇宙の**ダークマター**の有力候補
- ・ 実験的な兆候(**力の大統一**)

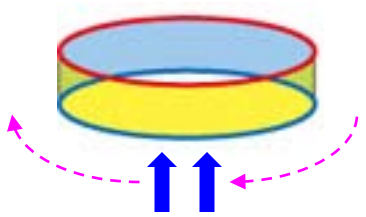


超対称性とは？

スピン(自転)

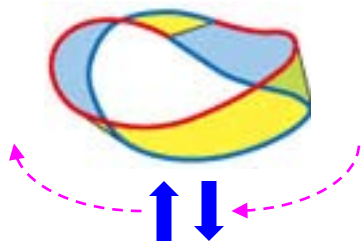


素粒子の世界では、2種類の“スピン”がある



1回転したら
元に戻る

ボソン(ボーズ粒子)
整数スピン
ゲージ粒子(力の媒介粒子)



2回転しないと
元に戻らない

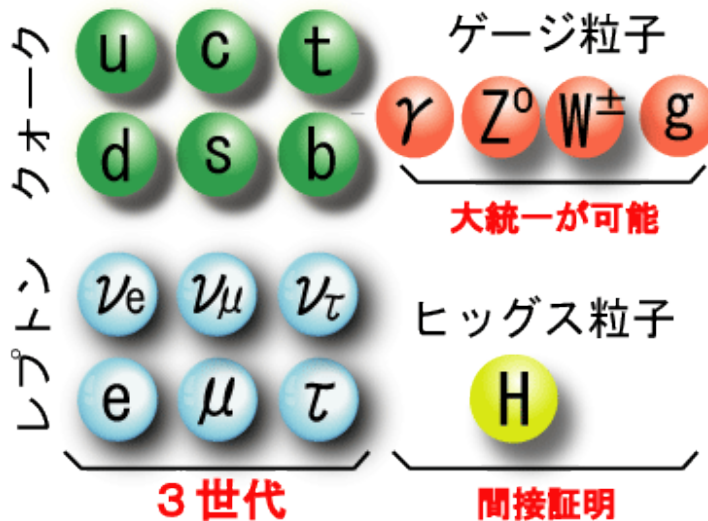
フェルミオン(フェルミ粒子)
半整数スピン
クォーク・レプトン(物質を構成する粒子)

超対称性とは、ボソンとフェルミオンの間の対称性

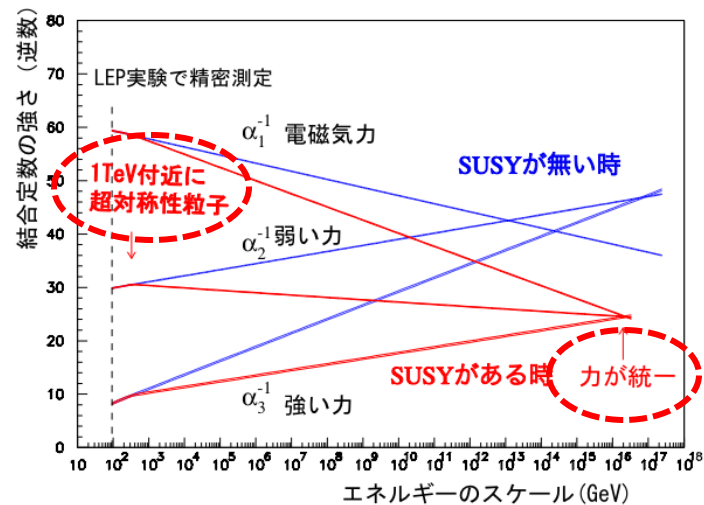
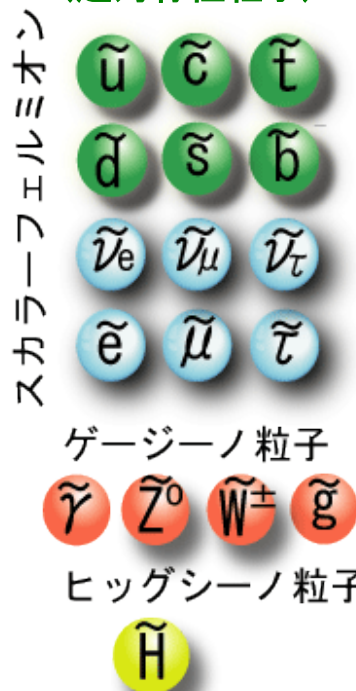
超対称性粒子

標準理論の粒子とスピンの
1/2だけ異なる粒子

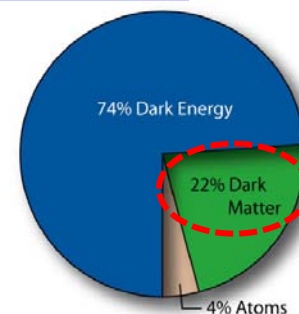
(標準理論の素粒子)



(超対称性粒子)

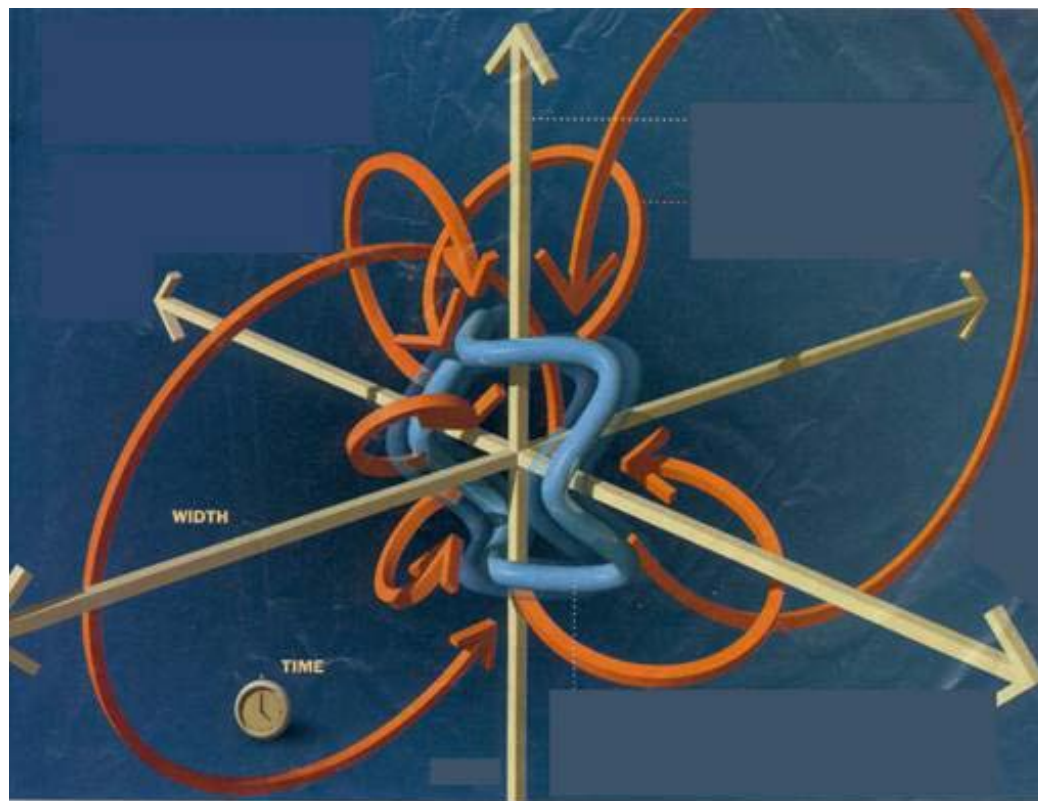


この中で最も軽い中性粒子が
ダークマターの有力候補



LHC実験は力の大統一やダークマターに
必要な超対称性の領域をほぼカバー

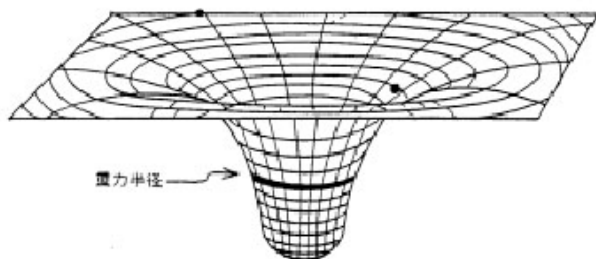
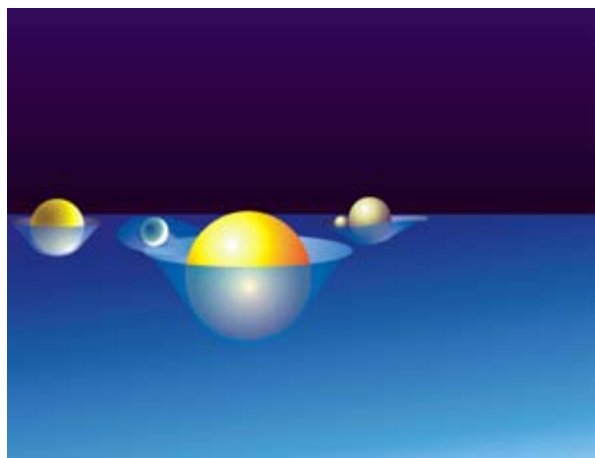
我々は4次元の時空に住んでいるのか？



重力を含むすべての力を統一する理論では余剰次元が必要
超ひも理論の世界は10(または11)次元

余剰次元とミニブラックホール

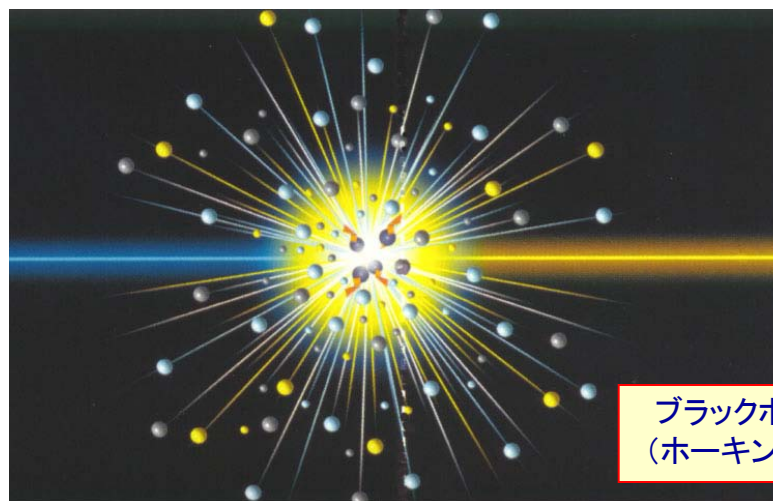
質量・エネルギー \leftrightarrow 時空のゆがみ
(アインシュタイン)



もし地球が $\sim 1\text{cm}$ 以下なら
ブラックホールに！



- ・超ひも理論の世界は10 (または11) 次元
- ・LHCの高エネルギー(つまり短距離)で余剰次元が見え出すかもしれない
- ・余剰次元が見える距離では重力が強くなる
- ・LHCでは大きなエネルギーが小さな空間に集中するので、ミニブラックホールが生成されるかもしれない…



ブラックホールの蒸発
(ホーキング、1975年)

Stephen HawkingがCERNを訪問

(2006年9月)

「LHCで何が発見されると思いますか？」
という質問に答えて

"Superpartners would be very important
and I estimate a 50% probability.
Black holes would also be very important.
The Higgs would not be so important,
and rather probable."

"I think the chance that you will find
mini black holes is less than 5%.
I haven't booked my ticket to Stockholm yet."

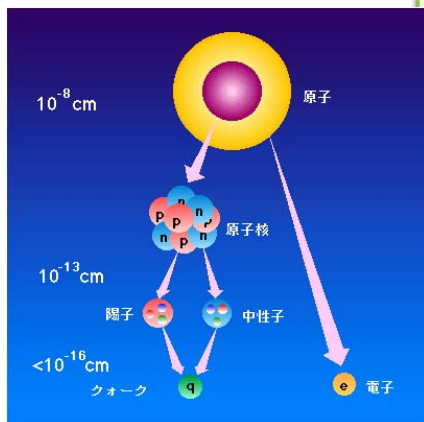
東大安田講堂でも公開講演会(2001年11月)
“Brane New World”



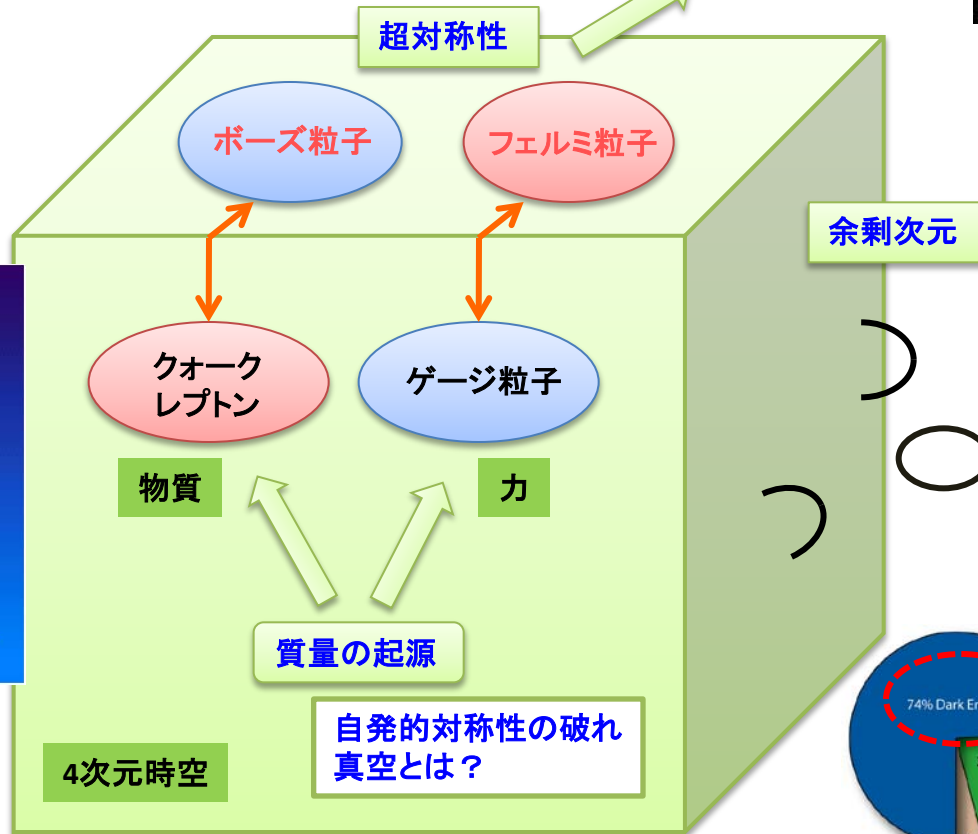
テラスケールから 新しい自然観の構築へ



- ・力の大統一
- ・ダークマター

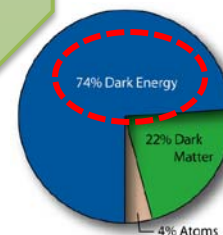
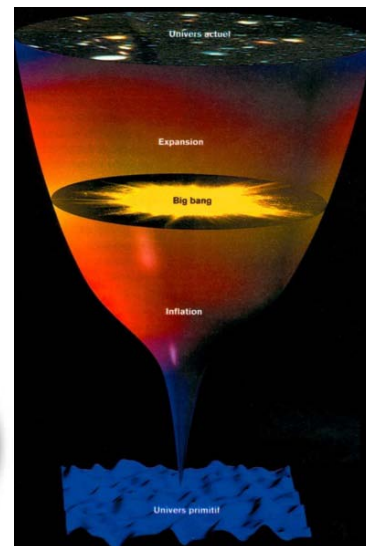


標準理論

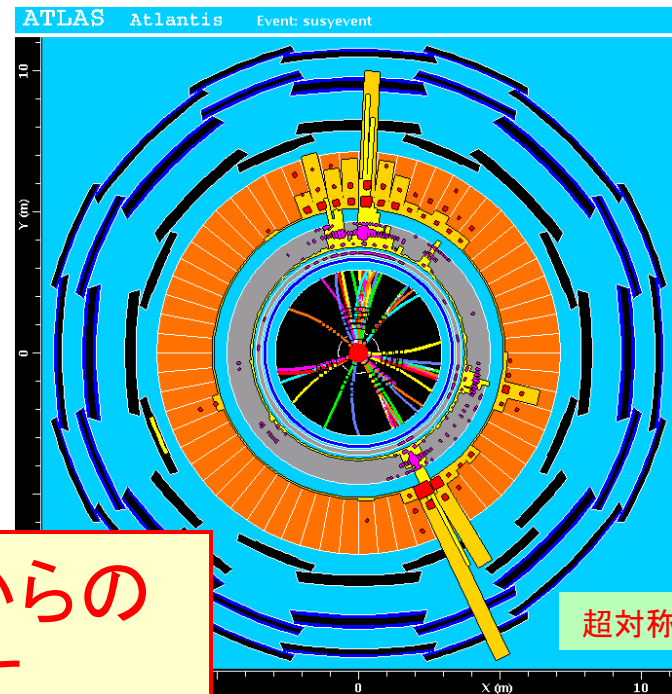
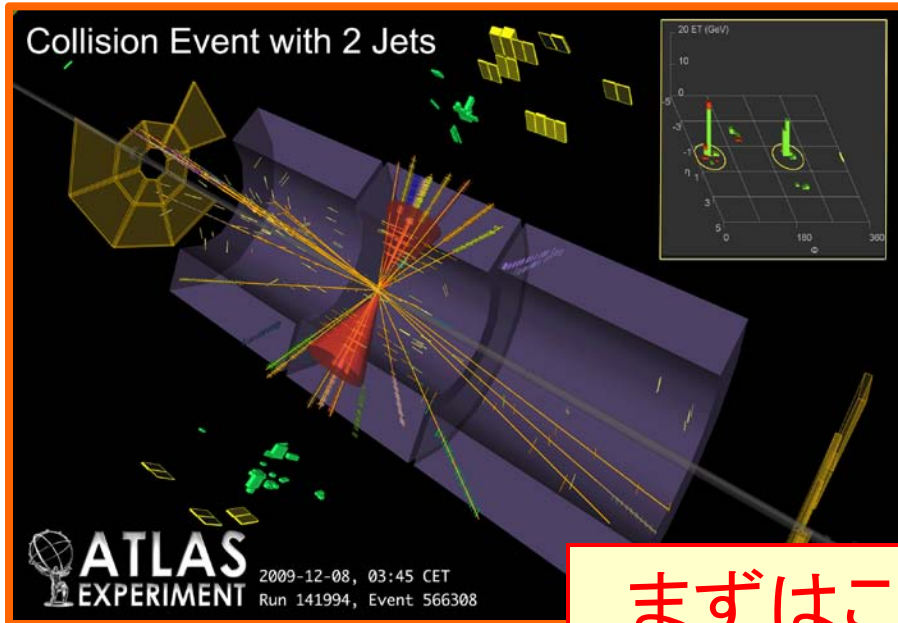


余剰次元

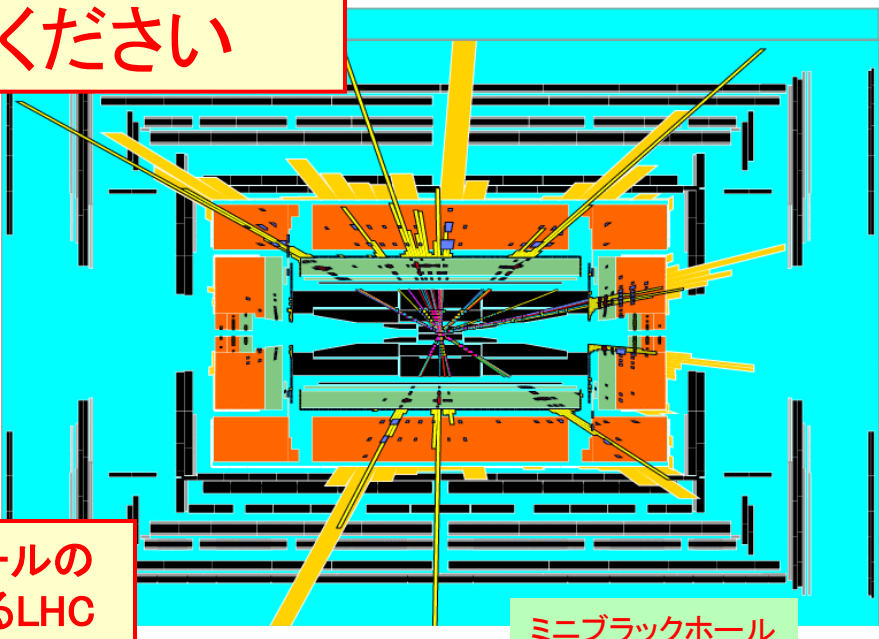
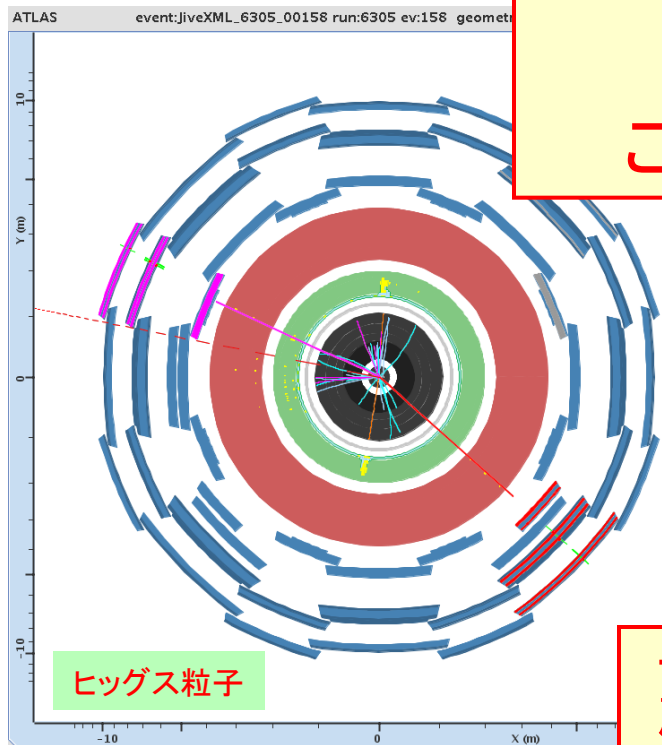
- ・超ひも理論
- ・量子重力
- ・ダークエネルギー
- ・インフレーション



- LHCでの初期の発見を更に深める将来計画:
- ・SLHC (スーパーLHC、衝突強度やエネルギーの増強)
 - ・ILC (e⁺e⁻ リニアコライダー)



まずはこれからの
2~4年に
ご期待ください



テラスケールの
扉を開けるLHC