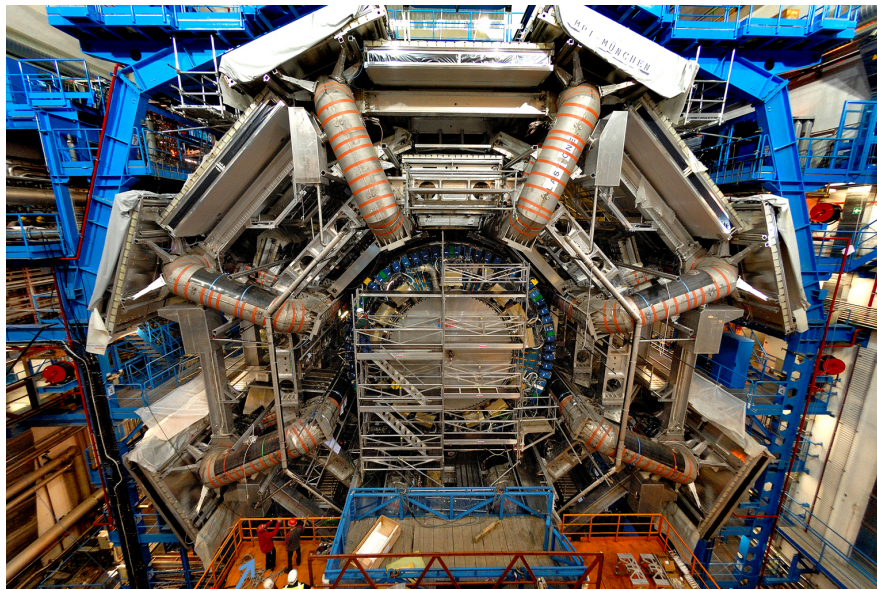


起こった素粒子反応を捕らえるアトラス検出器



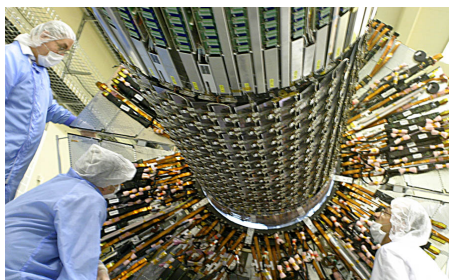
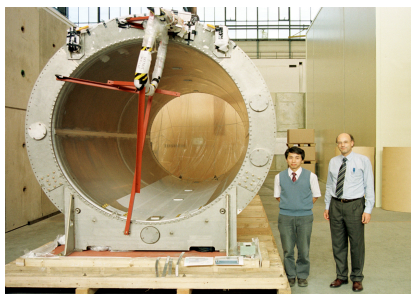
人間

直径22m 長さ44m 1.1億チャンネル高性能

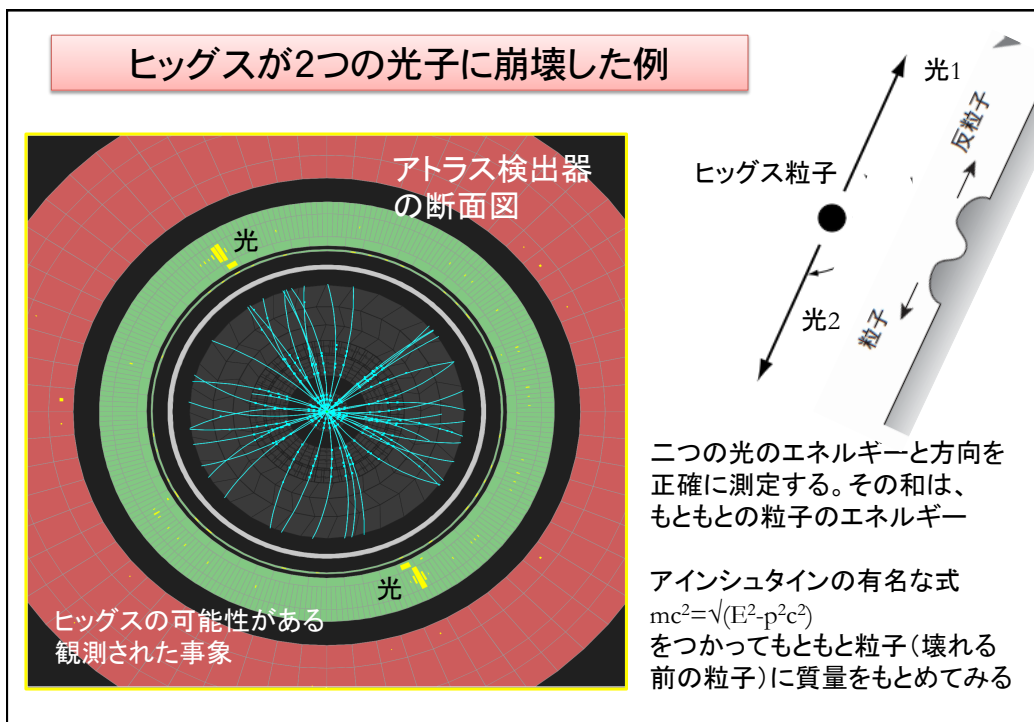
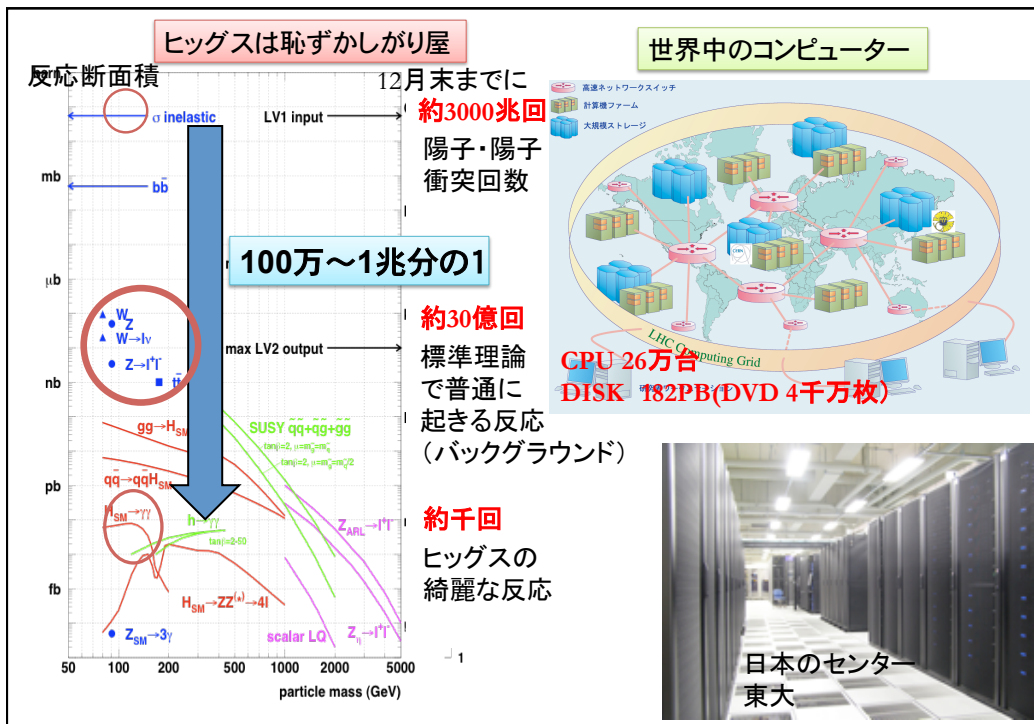
ビデオ

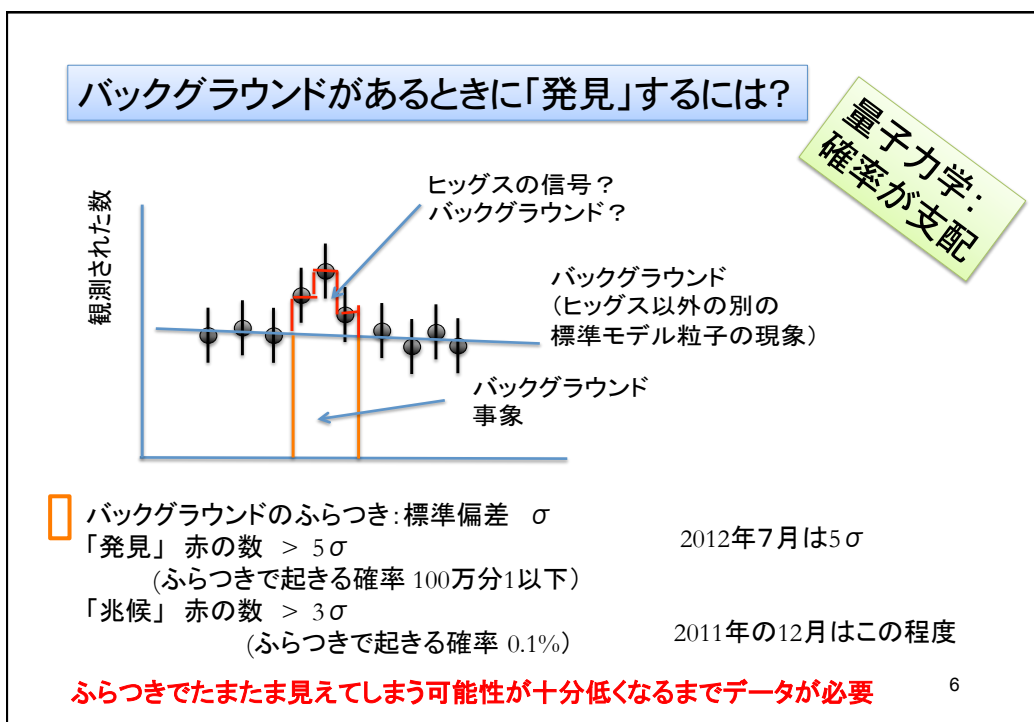
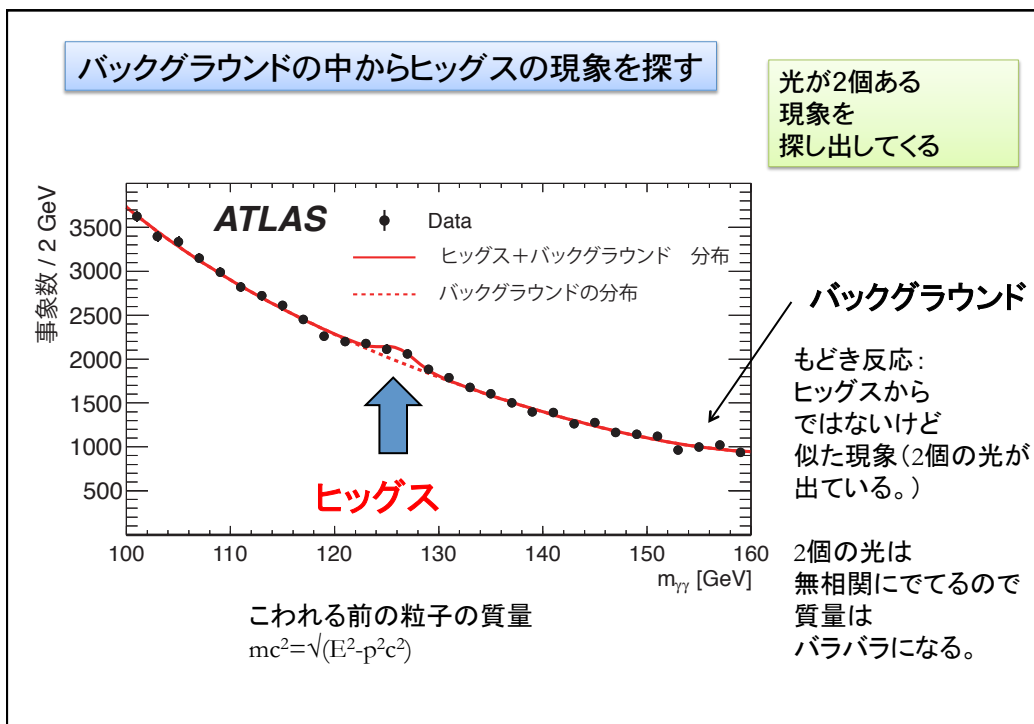
日本が作ったATLAS実験の3つの検出器

16研究機関から110名ほどが参加

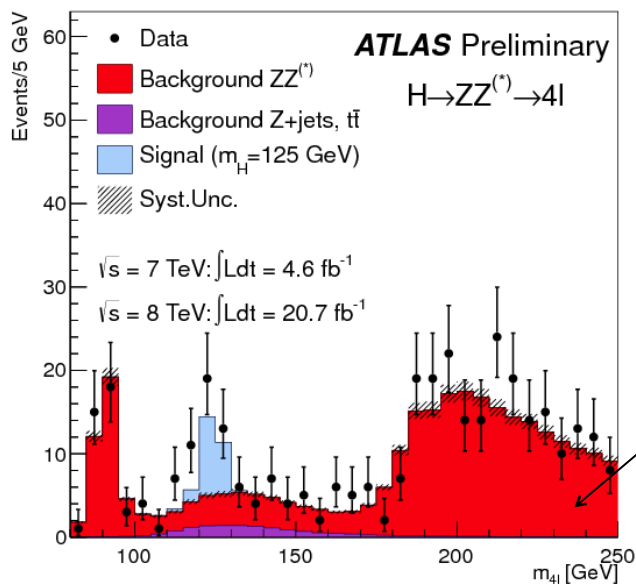
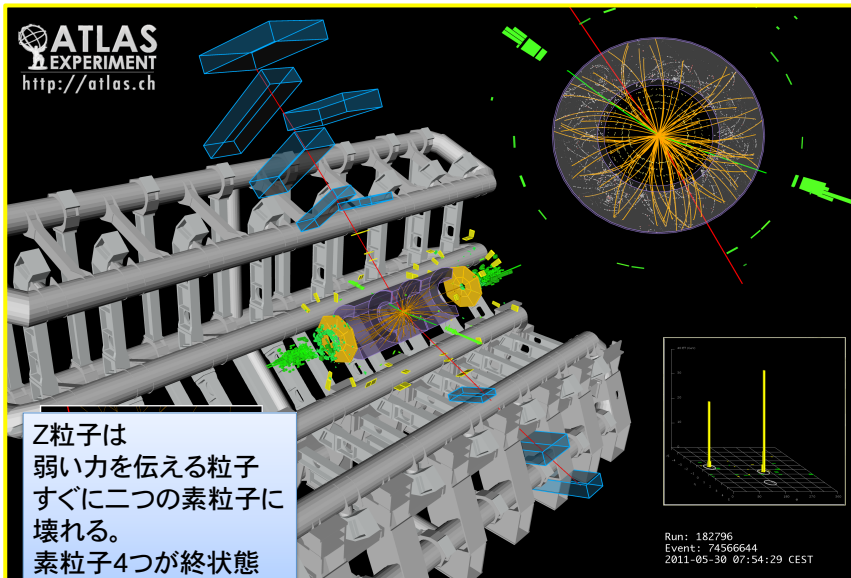


ソレノイド超伝導磁石、半導体飛跡検出器
ミューオントリガー検出器、トリガーシステム





ヒッグスがZZに崩壊 (ZZ→μμee)



大事な点
ちがうタイプの研究でも
同じように見えている。

更に ATLASばかりでなく
CMSと言う商売がたきも
同じように見えている。

バックグラウンド

2012年3月7日
発表の新しい
結果

4つのレプトン(e, μ)のエネルギーや運動量を測定して
 $mc^2 = \sqrt{(E^2 - p^2 c^2)}$ でもとめた質量

7月4日 ヒッグス粒子 (と考えられる新粒子) 発見!

ヒッグスさんも

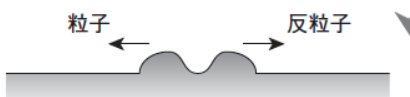


新聞各紙も一面で

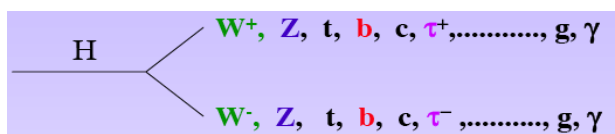


CERNの歴代の所長さんも

「と考えられる」とは歯切れが悪いな～



ヒッグス粒子はすぐに粒子対に壊れる。
重たい粒子に良くくっつく



この壊れ方に分けて
それぞれ探索を行っている

LHCでの見えやすさ: $\gamma\gamma > ZZ > WW > \tau\tau > bb$

7/4 見えた 11/14 見えた 3/7 おぼろげ
ながら

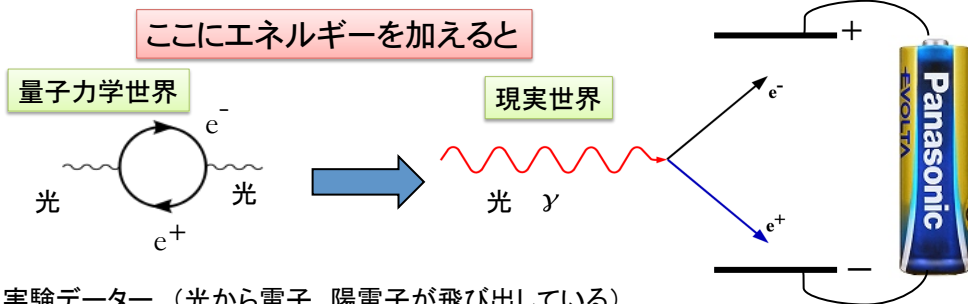
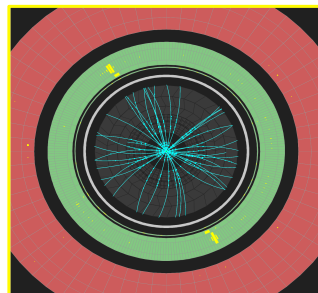
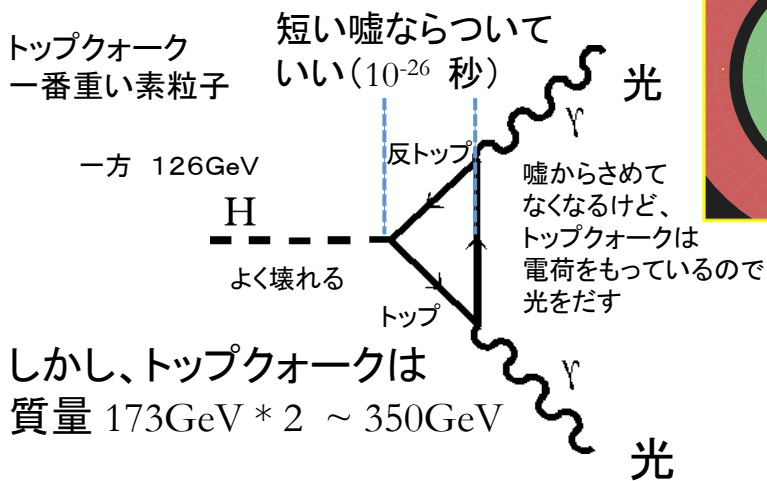
壊れる割合や、そのほかスピンなどをしらべている。
壊れる割合がずれていたら、発見した新粒子は、「標準理論ヒッグス」でなく
もっと凄い「超」対称性理論のヒッグスだったことになるわけです。

「もっと凄なもの」かもしれないので「と考えられる」が入っているワケ

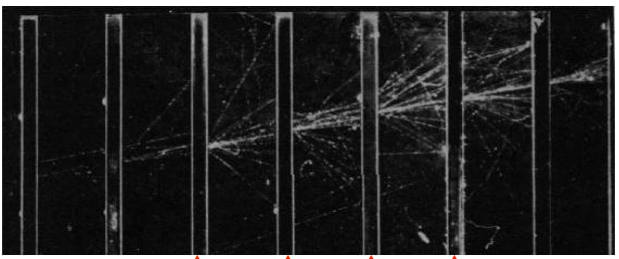
量子力学「嘘ついていい」

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar \quad \Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar$$

$$\hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$



実験データー (光から電子、陽電子が飛び出している)



エネルギーを与えている所

エネルギーをあたえると量子力学的な仮想状態から現実の粒子として取り出すことができる。

何でそんなに時間がかかるの？

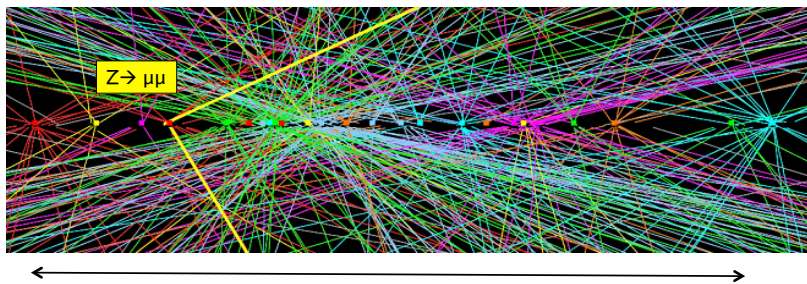


みんなサボってるわけではありません。

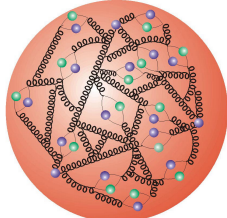
たくさんデータをとるために衝突頻度をあげている。
陽子のかたまりが1回すれ違うと25-30個陽子・陽子が衝突

解析が
難しくなる

25 vertex

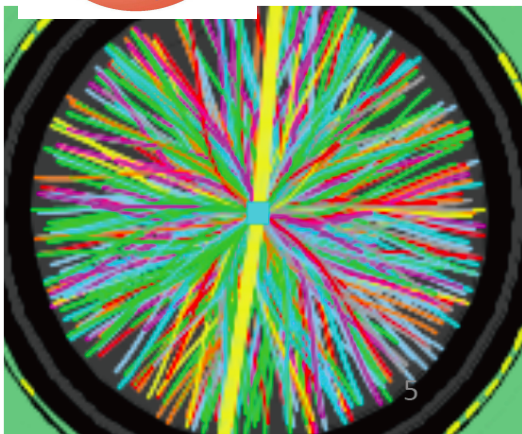


数千の粒子(一個一個はエネルギーは低い)が検出器に検出されるので
エネルギー測定ゼロ点が難しくなっていく。

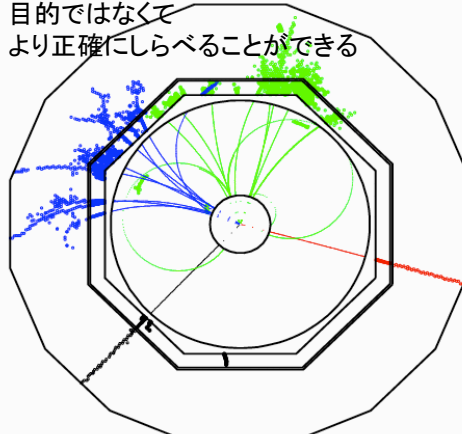


陽子は いろいろな素粒子で構成:
実験はたいへん:ゴミだらけ (3000兆回)
一方ILCは、きれい。(1週間ほどで)

時間短縮が
目的ではなくて
より正確にしらべることができる



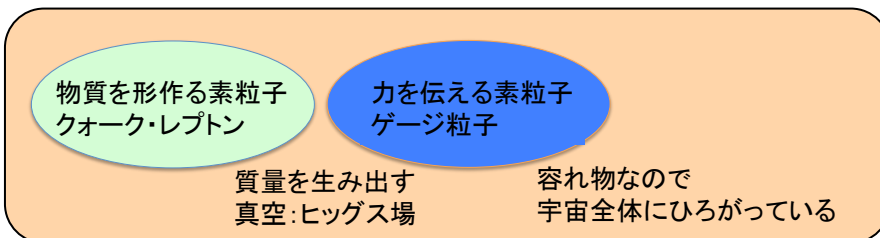
アトラスの実際のデーター



ILCで期待されるデーター

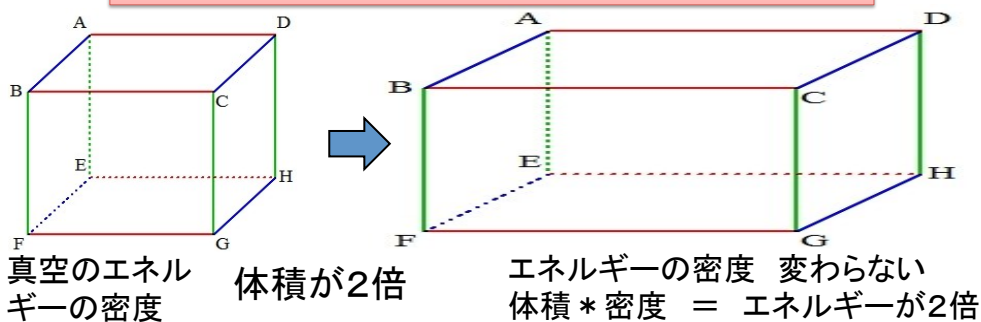
ヒッグス粒子発見の意義

「17番目の素粒子が見つかった」という **チョロい話**ではない



- (1) 素粒子の **質量の問題** → 止まることが出来る様になり
原子や星、生命への誕生に繋がっていった。 **多様な宇宙を作った。**
- (2) 「真空」の意味
真空が「真の空」でなく、何か詰まった 不思議な状態
真空のエネルギーが宇宙を生み、進化させていった。
- (3) 軽すぎる！！ **何か新しい粒子の存在を示唆**

不思議な真空のエネルギー



宇宙のインフレーション膨張にしたがって
エネルギーがどんどん増加 → **ビックバンがすごい**ことになった！！！！

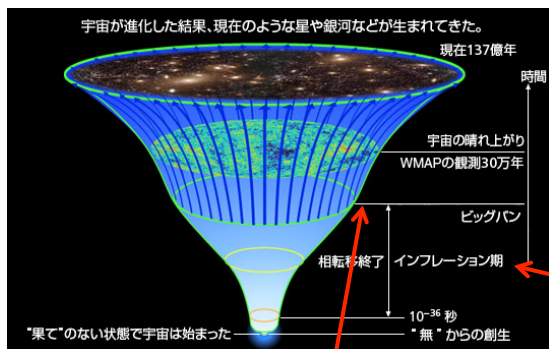
何もなかった宇宙から エネルギーとモノにみちた
宇宙が誕生した！！！！

宇宙の誕生の解明

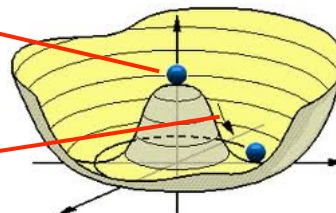
インフレーション宇宙、ビッグバンのエネルギーはどこから？



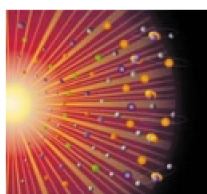
佐藤勝彦先生



インフレーションを起こすエネルギー



落ちた分のエネルギー
「ビッグバン」



今回見つかったヒッグスではないですが、同じような「色付きヒッグス」と言うのもあると考えられています。

ヒッグス粒子は軽すぎる!!!!

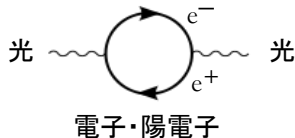
見えない粒子も
足跡を残す

量子力学「嘘ついていい」

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar \quad \Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar$$

$$\hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

大きく ΔE がずれる (嘘つく) と短い間



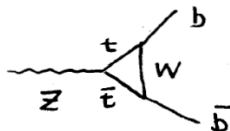
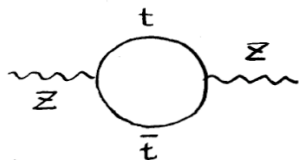
小さく ΔE 嘘つくと比較的長い間



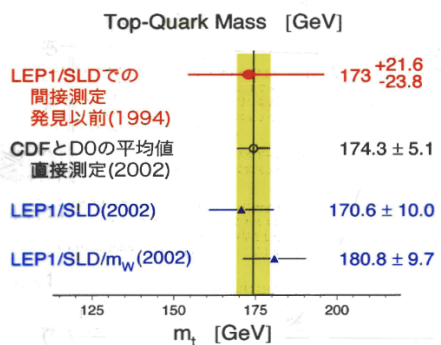
こういう、嘘の(量子力学の)効果:
少しだけど、ちゃんと見える。痕跡を残している

論より証拠

トップ・クォークの予言をしていた。重くて直接見えていなくても



このような効果を及ぼす

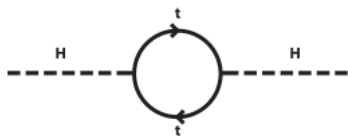


弱い力を伝えるZ粒子の性質 (質量・結合)を高い精度で調べることで、
トップクォークの痕跡をしらべ
その質量を正確に予言 (発見前に)

1994年に発見

19

ヒッグス粒子は軽すぎる!!!!



量子力学的状態(嘘の効果)トップクォークペアーになっている。
その痕跡で、ヒッグス粒子は、無茶苦茶重くなるはず。
でも 126GeVと軽い。何故???



何か、別の効果で
相殺??
「超対称性」!!

ぐるっと1周したとき、効果の符号が逆になる必要

素粒子の標準モデルとスピン

スピン: 粒子のもつ
固有性質: 自転の様な性格

標準理論

クォーク: u, c, t, d, s, b

レプトン: $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau, e, \mu, \tau$

ゲージ粒子: γ, Z^0, W^\pm, g

ヒッグス粒子: H

力の伝える粒子 (スピン1)

重カチ子 (スピン2)

3世代

2012年発見

スピン0、質量の起源

スピン1/2、物質を構成する基本粒子

スピンで役割が
違っている!

フェルミ粒子

物質を作る: (クォーク・レプトン)
フェルミ粒子と呼ばれ スピン $\frac{1}{2}$
「秩序」を重んじ、同じ状態には1個
しか入れない

電子殻: K殻, L殻, M殻

原子核

化学の時間で電子の軌道を勉強したと思いますが、同じ状態に入れられないから、下の状態から詰まっていく

ボーズ粒子

力を伝える: (光、W、Z、グルーオンなど)
ボーズ粒子とよばれ スピン 1, 0

同じ状態にいくつでも入れる
(レーザー、超伝導は同じ状態に
いっぱい入っている)

一個ぐらい消えてもいい
自由に生成あたり、消滅したり出来る
力を伝える性質

血液型で言えば
A型とB型だと
思って下さい

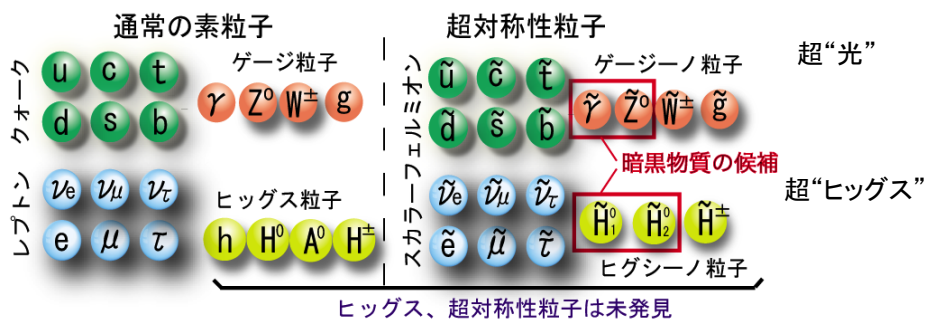
フェルミ粒子ーボーズ粒子の区別が様々な問題を引き起こす

(半整数スピン ⇔ 整数スピン) 区別をなくす → 超対称性

“超” 対称性

スピン: 素粒子から空間がどう見えているか? スピン $\frac{1}{2}$ 2回転対称 スピン1 1回転対称

“時空”と“素粒子”をむすびつける “すごい”規則 なので “超”対称性



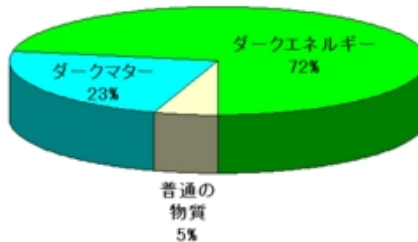
- 超対称性の利点 → 宇宙の暗黒物質の解明:
 → 力の大統一 → 色つきヒッグスの解明

暗黒物質をさがせ

弾丸銀河団(34億年): 銀河団同士の衝突

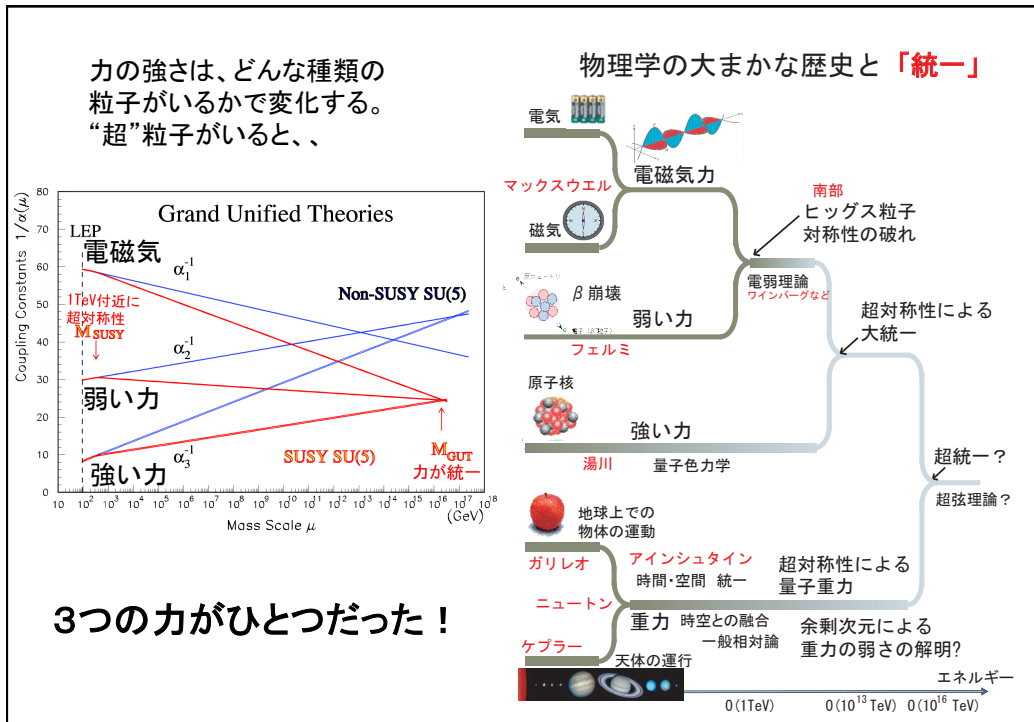


宇宙の成分表



暗黒物質がダークである証明写真

赤い所: 物質(Gas)がぶつかって熱くなってX線を出している
 青いところ: 重力レンズ効果 銀河団の質量分布



LHCで探る超対称性粒子

陽子の中のグルーオンやクォーク同士が反応して
スカラー・クォークやグルーノを作る

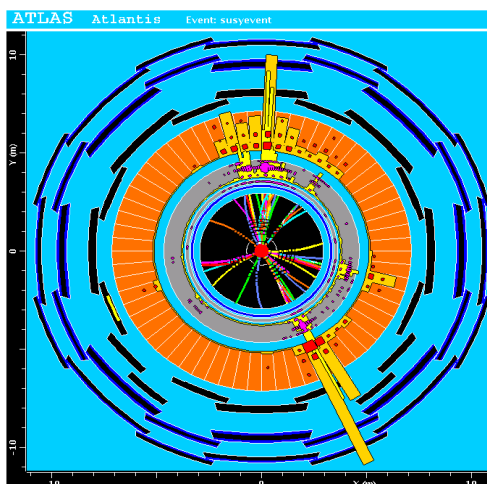
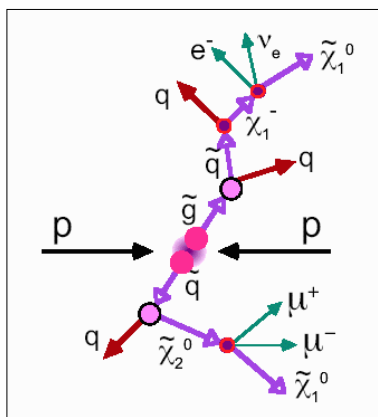
超対称性粒子

スカラー・フェルミオン	\tilde{u} \tilde{c} \tilde{t}	ゲージノ粒子
	\tilde{d} \tilde{s} \tilde{b}	$\tilde{\gamma}$ \tilde{Z}^0 \tilde{W}^\pm \tilde{g}
		スピンの 1/2
	$\tilde{\nu}_e$ $\tilde{\nu}_\mu$ $\tilde{\nu}_\tau$	ヒグシーノ粒子
	\tilde{e} $\tilde{\mu}$ $\tilde{\tau}$	\tilde{H}^0 \tilde{H}_2^0 \tilde{H}^\pm
		スピンの 0 スピンの 1/2

$g\bar{g}$ prod.	$q\bar{q}$ prod.	$q\bar{q}$ prod.

26

生成された、グルイーノやスカラークォークは軽い超対称性粒子に崩壊し
LHCでこんな感じの現象が観測される。



特徴は、見えない粒子(暗黒物質)によるアンバランスさ^(予想図)
LHCはDark Matter 工場(factory)

27

2015 LHCはエネルギーを増強して超対称性を探る

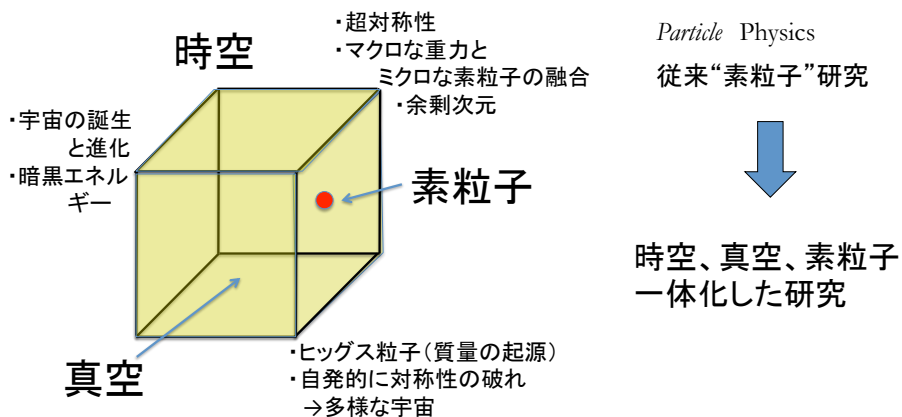


昨年の12月17日で
8TeVの
実験は終了

2015年再開
13-14TeVに
エネルギーを
増強して
超対称性粒子を
3TeVの質量
まで発見可能

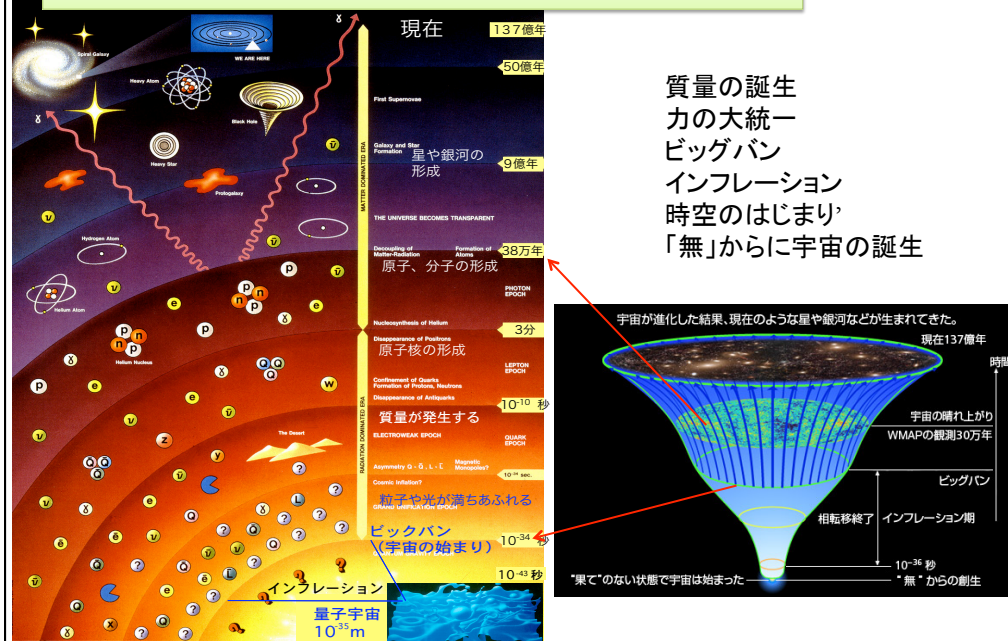
曲げるための磁石:いまは6000アンペアの電流
陽子4TeVまでしか曲げられない。
増強して 1万アンペア → 7TeVまで曲げられる。

ヒッグス発見が新しい時代の幕開け



宇宙誕生の謎： 解明できるようになってきた

宇宙誕生の解明： 実験的に検証が出来る

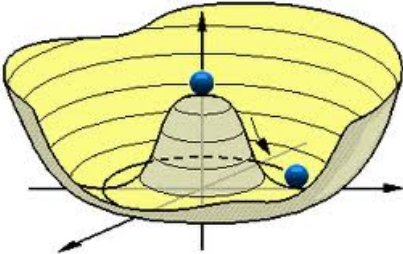


真空さん

ありがとうございました

ご静聴

物理学は実験科学です



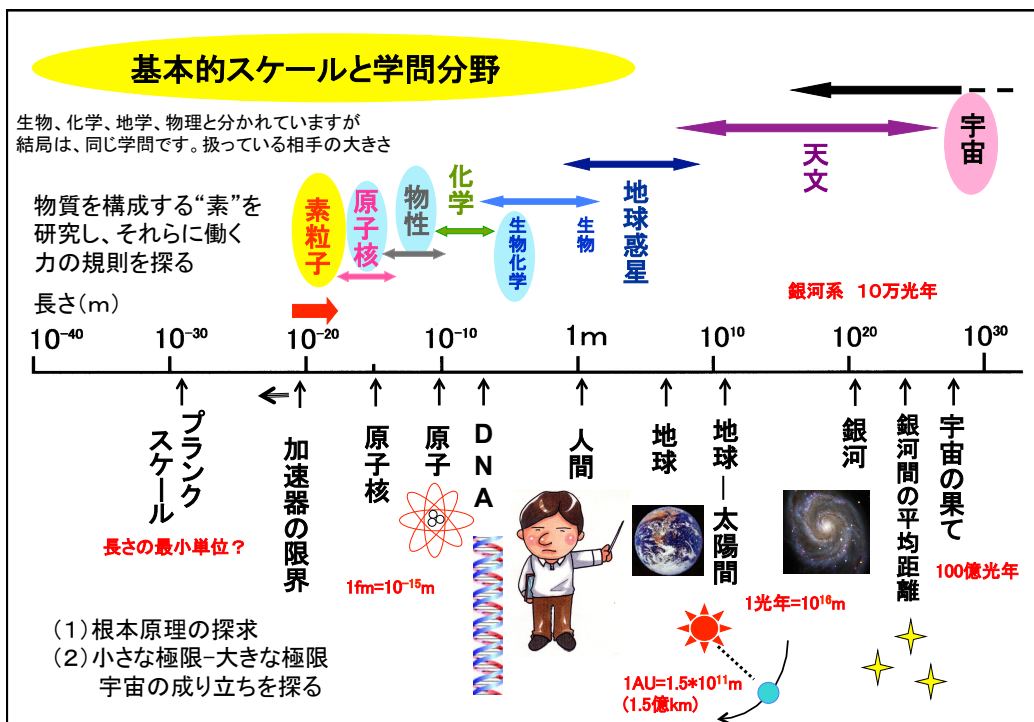
The diagram shows a yellow bowl-like structure with horizontal lines representing a potential well. In the center is a grey cone. Two blue spheres are positioned on the cone's surface. A vertical arrow points upwards from the center, and a horizontal arrow points to the right. A dashed line indicates a circular path around the cone's base.

左党の方は



The left image shows a bottle of Romanée-Conti wine with a label that includes 'ROMANÉE-CONTI' and 'MONOPOLE 1995'. Next to it is a glass of red wine. The right image is a close-up of a glass containing a green liquid, with a dark, dome-shaped object resting on the bottom. The diagram below is identical to the one in the first slide.

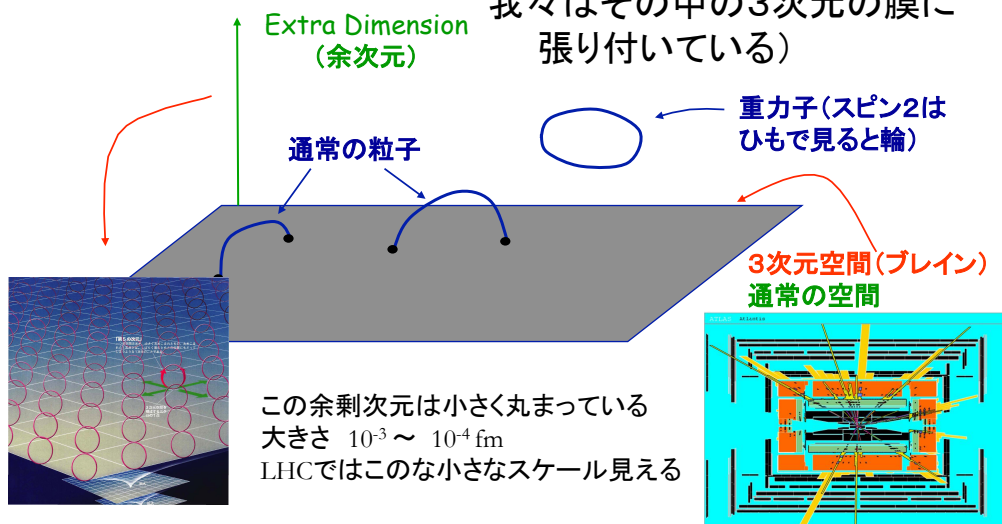
おまけ



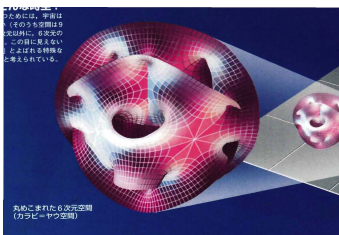
可能性2 余剰次元

膜に張り付いた人生 (空間は9次元(ヒモ理論))

我々はその中の3次元の膜に張り付いている)

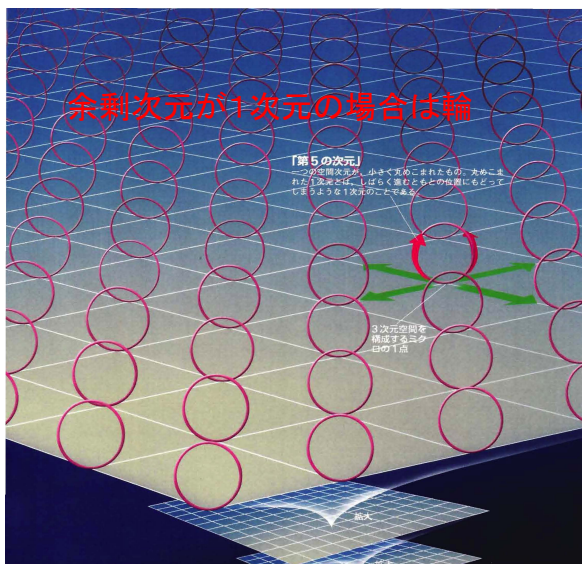


余剰次元はコンパクトに縮まっていて見えない。

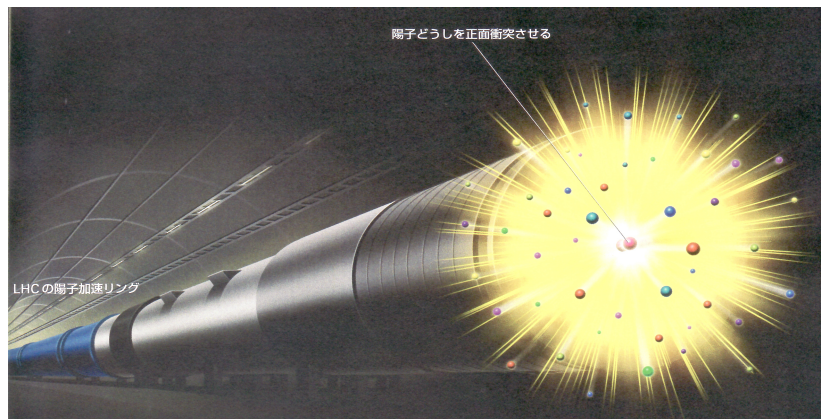


余剰次元が6次元の場合はふしぎな形

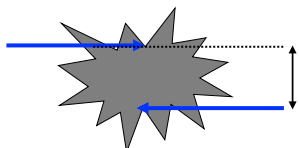
これの大きさが不明
 10^{-35} m くらいかもしれないし
 10^{-17} m と大きいかもしれない



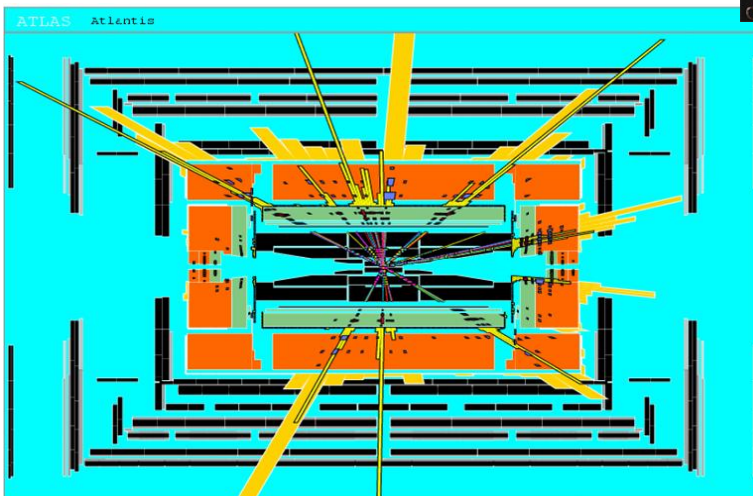
もし、大きさが 10^{-17} - 10^{-18} m だとLHCで効果が見える。
この距離まで近づくと、次元数が大きくなり 重力が強い力となる。



陽子の中のクォークが反対側の陽子のクォークとぶつかる距離が
ブラックホールの地平線の大きさ
(R_s シュバルツシルド半径)小さいと
 $d < R_s$ 吸い込まれてブラックホールになる。



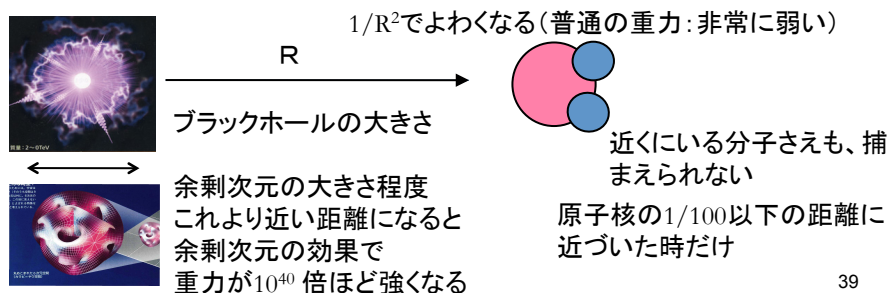
ブラックホールはすぐにホーキング輻射(蒸発)する。
地球を飲み込む心配はない。
蒸発で出てきた粒子が下の様に発見される。



エネルギー
の高い粒子
がいっぱい
発生する事象
(計算機で予想
したもの)

安全な理由(1):

(1) もの(地球)を飲み込めない ブラックホールと言っても
 大きさは 10^{-17}m 以下(原子核の1/100)で、その重さも水素原子の1万倍(せいぜい
 蛋白質分子)です。このブラックホールのもつ重力は非常に小さい。
 なぜブラックホールになったかと言うと、 10^{-17}fm 以下に近づいた時、
 隠れていた次元が見えて、重力が急に大きくなったからです。
 しかし、それ以上離れると、余剰次元は見えなくなり
 皆さんがよく知っている重力になり、非常に弱いです。
 (分子の大きさのなるのに $10^{13}\sim 10^{28}$ 年：宇宙の寿命 137億より圧倒的に長い)



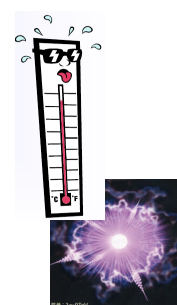
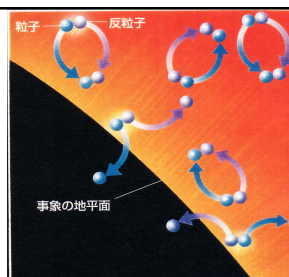
安全な理由(2):

(2) ブラックホールの蒸発(ホーキング輻射)

光さえも出てこれないと言うのは**古典的に**考えた時です。
 量子力学で考えると、粒子と反粒子は絶えず生成消滅を繰り返しています。事象の地平線の付近で粒子・反粒子ができて一方が放出されもう一方が落ち込む。ブラックホールのエネルギーを使って粒子・反粒子を生成していることになります。
 ブラックホールの中の粒子のエネルギーは、ブラックホールの温度で決まります。
 実はブラックホールにも温度があり、軽い程、温度が高くなります。今考えているミニブラックホール程度は、大変温度が高く(10^{15} 度、100兆度)です。

温度が高いのですぐに、たくさん粒子を放出します
 放出された粒子が、先のページ(P20)の様に観測されます。
 あっという間(10^{-27} 秒ぐらい)に蒸発します。

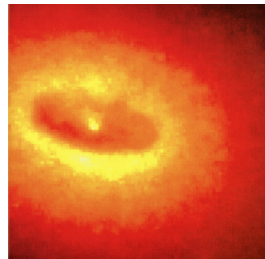
飲み込む量(1) \llll 蒸発量(2)



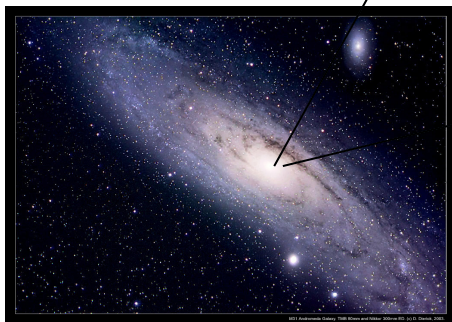
銀河の中心 約1000万太陽質量のブラックホール
T=0.00001度ぐらいの冷たい
宇宙年齢より長い寿命

飲み込む>>>蒸発

こいつらは十分重いので
4次元のムチャクチャ弱い重力でも
ブラックホールになった正統派



大きなガスが
巻き付きながら
吸い込まれている
様子



同じブラックホールでも
小さい距離でしか出来ない上に
軽いので全然ちがう。