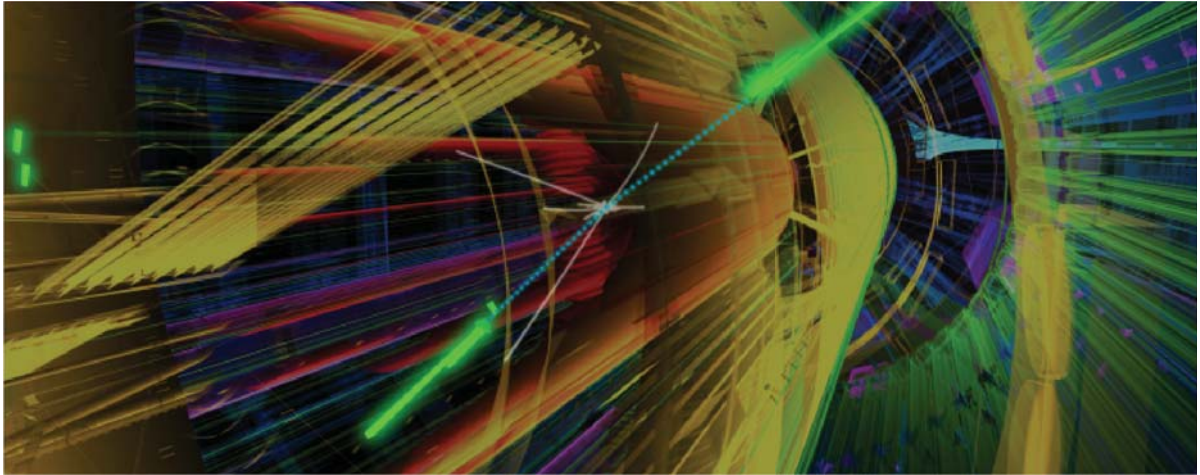


LHC アトラス日本グループ メディア懇談会：後半資料

「期待される研究成果について」



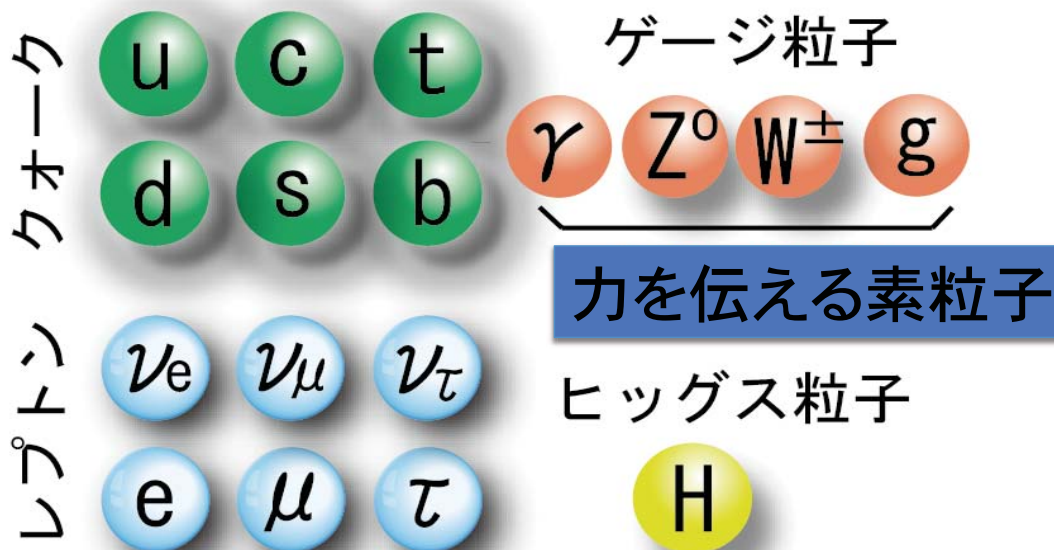
浅井祥仁(東京大学大学院・理学系研究科)

1

2012年 ヒッグス粒子発見

“17種類”の素粒子
が存在

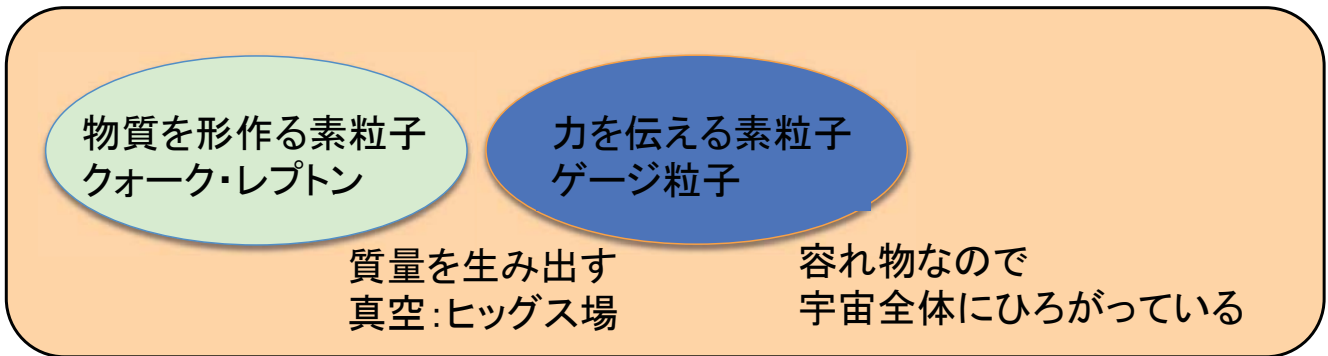
標準理論の完成



2

実は、このヒッグス粒子がトラブルのもと

ヒッグス粒子は、全く新しい3番目のカテゴリー



「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
～宇宙の成り立ちの鍵を握っている

その反面 今までの素粒子と全く違う性質:

「量子的な効果」(あとで)をうけてしまう。

その結果、ヒッグス粒子の質量 125GeVより 無茶苦茶重いはず

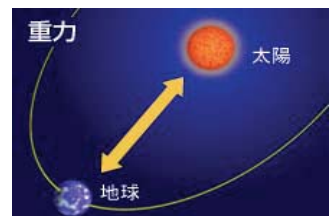
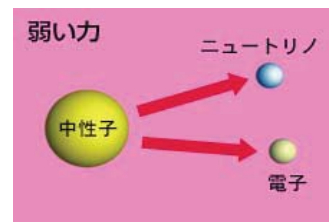
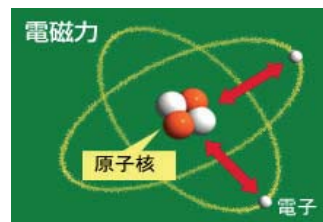
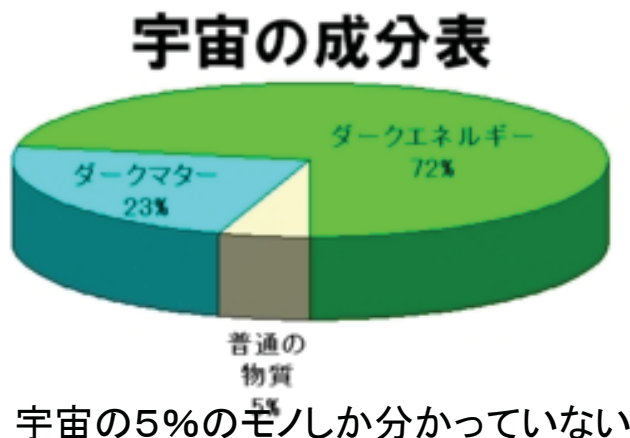
ヒッグス粒子への「量子的な効果」を抑制する

新しい原理があるに違いない

ついでに、他のことも説明してくれるといいな。。。。

1. 宇宙の95%を説明してくれる?

2. 力の統一

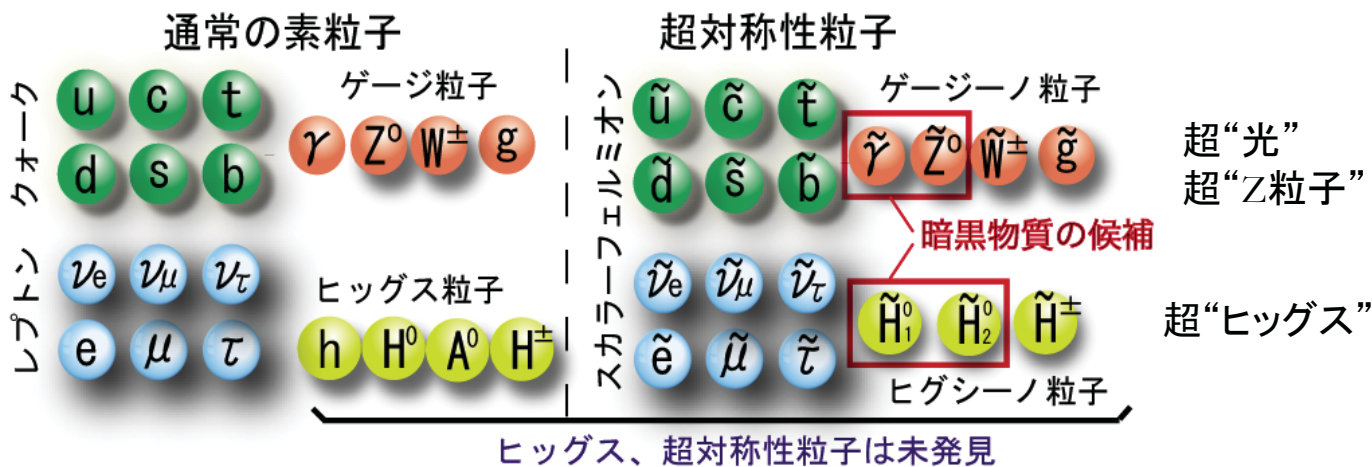


1. “超” 対称性

どういう原理か？ 素粒子のスピンは必ず対になっている

スピン: 素粒子から空間がどう見えているか？

“時空”と“素粒子”をむすびつける “すごい”性質 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

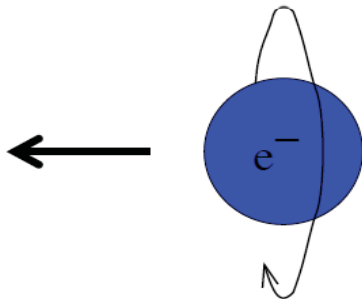
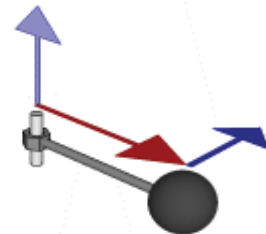
空間と素粒子って関係あるの???

素粒子のスピン

スピン: 回転に関係している。
実際に回っているわけではない。

$$\tau = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$$



素粒子はスピンを
もっている。

粒子の持っている“固有の性質”: (起源不明)

スピン $1/2$ フェルミ粒子

スピン 1 ボーズ粒子

2種類あることが分かっている。このスピンって??

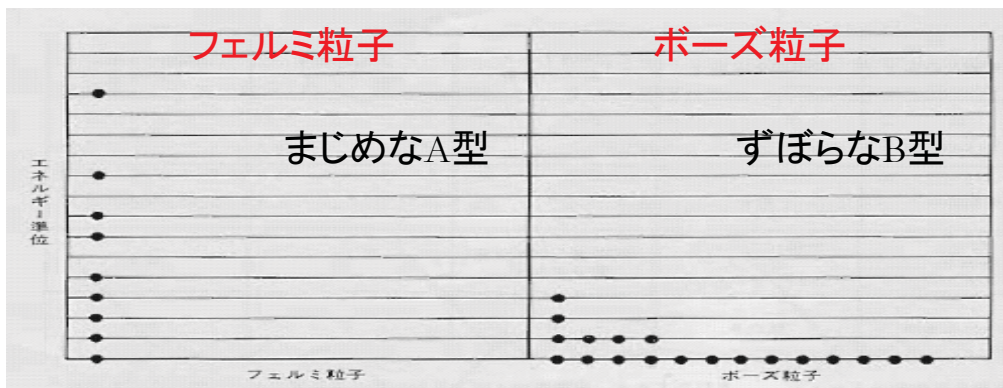
ボーズ粒子 (整数スピン) 360度でもとの状態に戻る。(我々の感性)

フェルミ粒子 (半整数スピン) 360度回しても符号が逆:

720度回してはじめてもとの状態に戻る。

→ フェルミ粒子から見ると2回転して元に戻るような世界

スピン: 素粒子固有の性質であると同時に、空間の見え方を表している

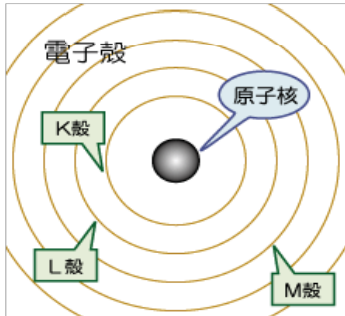


血液型で言えば
A型とB型だと
思って下さい

別冊サイエンスより

物質を作る粒子

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



化学: 電子の軌道
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

力を伝える粒子

ボーズ粒子とよばれ スピン 1

同じ状態にいくつでも入れる
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

(ボーズ粒子とフェルミ粒子) 対になっている → 超対称性

7

量子力学 「嘘ついていい」

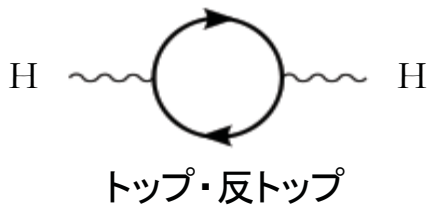
無茶苦茶小さい値

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

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

大きくエネルギー (ΔE) がずれていても
短い間 (Δt) ならいい。

光や電子に
ついて、この問題を
解決したのが
朝永先生
くりこみ(あきらめの
哲学)



これが「量子的な効果」の正体

ヒッグス粒子は、無茶苦茶
重くなるはず。

超対称性: 違う
スピンの粒子も

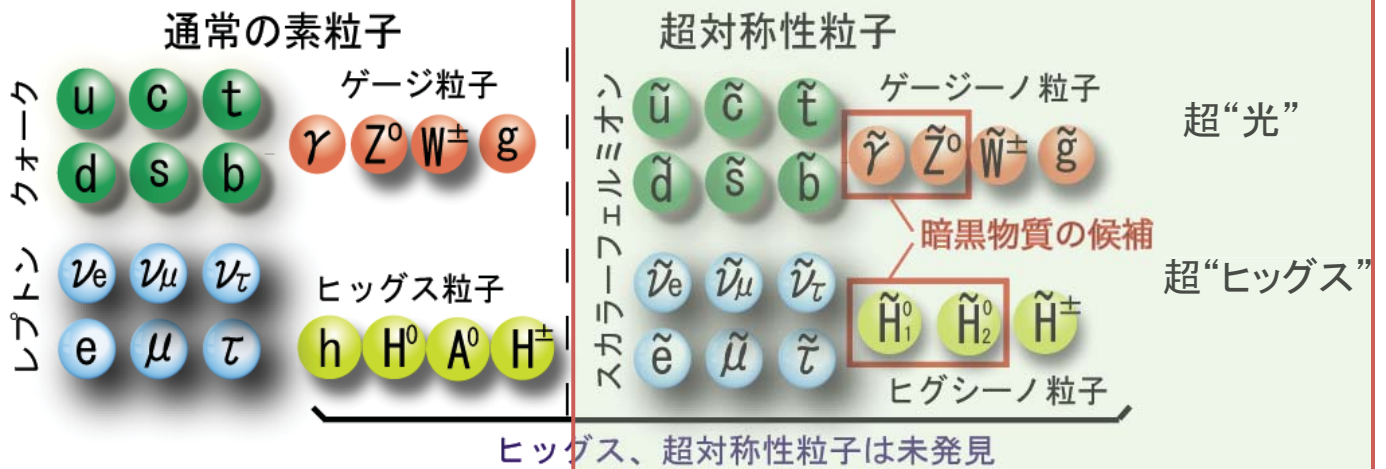
360度まわすと、プラスと
マイナスがどうなるか?



「量子的な効果」を抑制できる!!

8

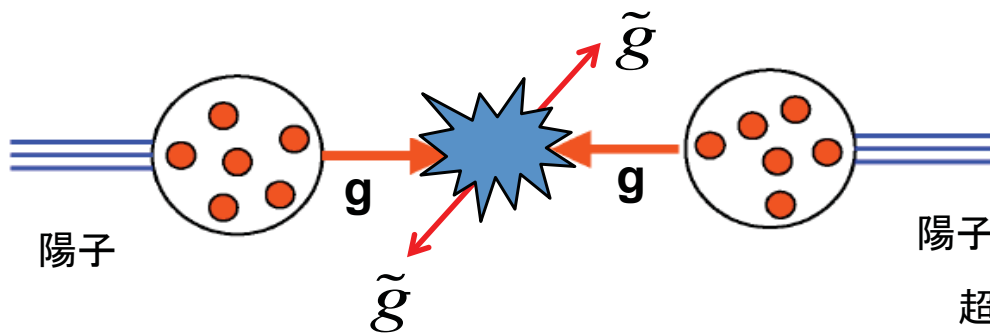
でも、スピンゼロの電子やスピン1/2の光を見たことないぞ



こっち側の粒子が10~100倍程度重くなっている!!!

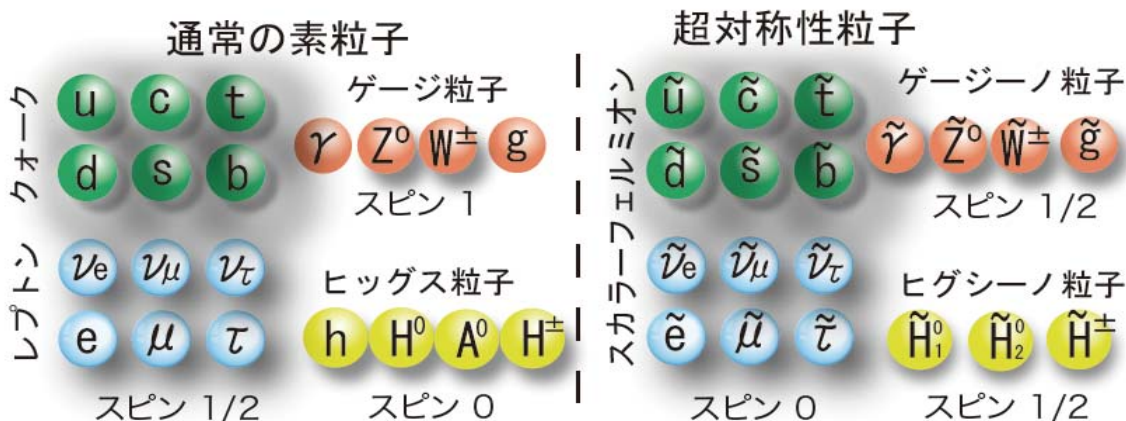
$E=mc^2$ 重い粒子を作るには
これまで以上にエネルギーの高い加速器が必要!!!

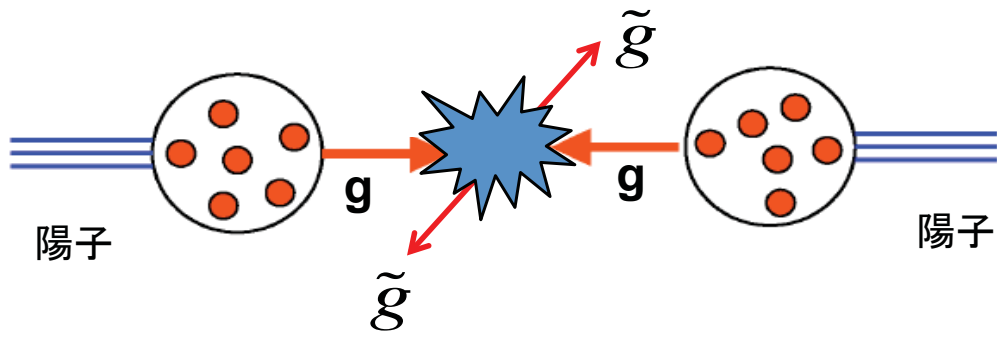
LHCの衝突エネルギーを約2倍に増強



超対称性粒子を作り出すことができるようになってくる。

例: 強い力を伝えるグルオン(g)の超対称性版グリーノ(\tilde{g})が出来ている予想図





こいつらが
LHCで出来やすい:
陽子は複合粒子で
グルオンやクォーク
がいっぱいいるので



こいつらは
LHCでは出来にくい
けど、赤より一般に
軽いので、チャンス

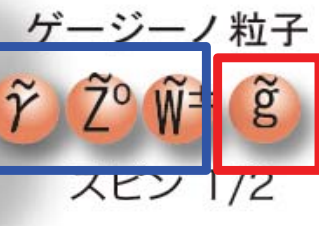
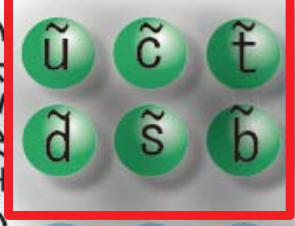


超対称性粒子

スピン 1
ゲージ粒子
 W^\pm g

スピン 0
ヒッグス粒子
 H^0 A^0 H^\pm

スカラーフェルミオン

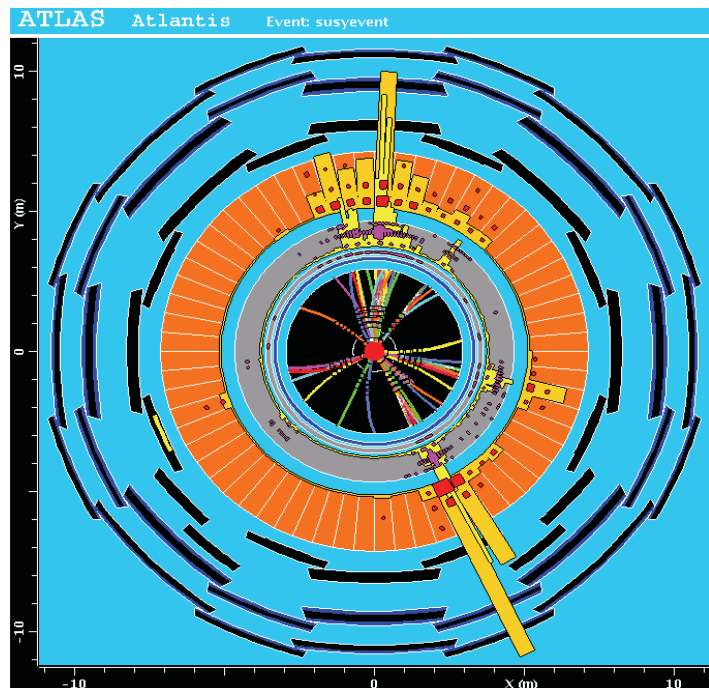
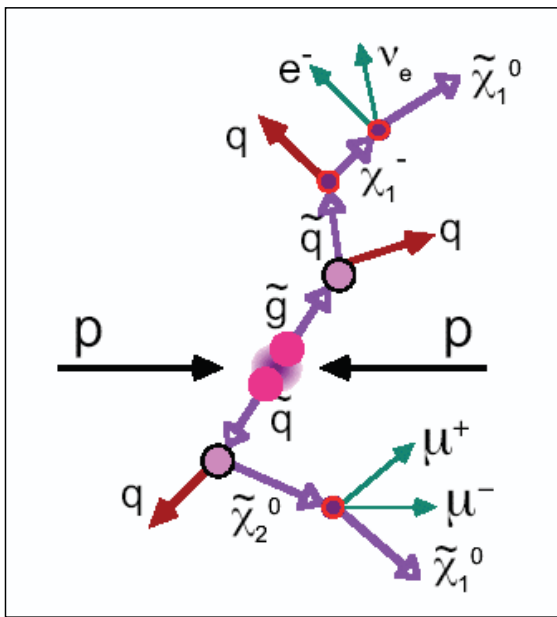


個人的には、、、 11

どうやって見えるの?

ヒッグス粒子の時を思い出してください。

生成された超対称性粒子は重いので、どんどん軽い物に壊れてしまう。最後は、普通の粒子複数と一番軽い超対称性粒子(暗黒物質)2個になる。

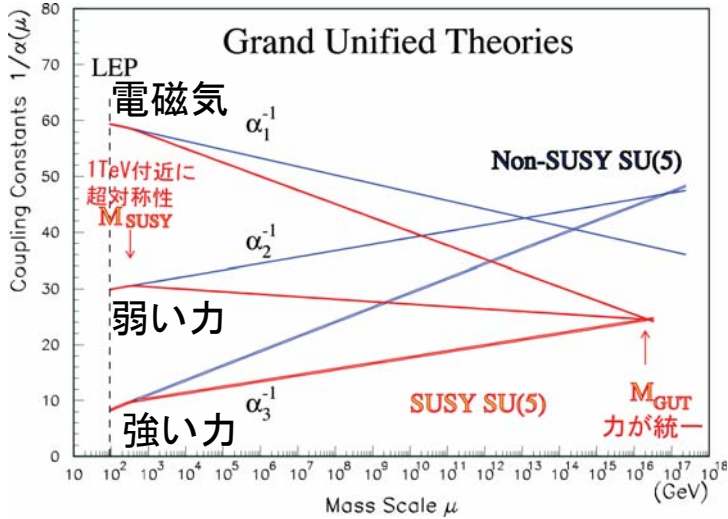


(予想図)

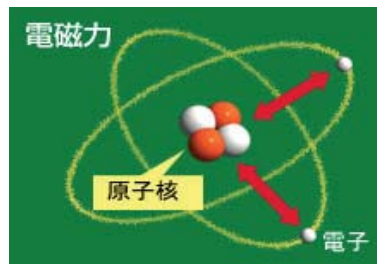
特徴は、見えない粒子(暗黒物質)によるアンバランスさ
暗黒物質工場

超対称性は、すごい 大統一・超統一

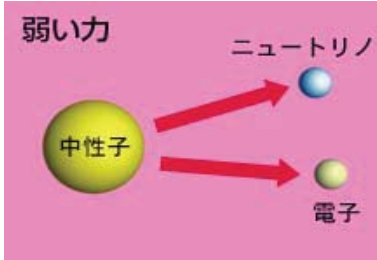
力の強さは、どんな種類の
粒子がいるかで変化する。
“超”粒子がいると、



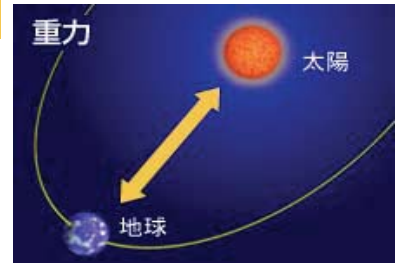
3つの力がひとつだった！



自然に存在する
4つの力のうち

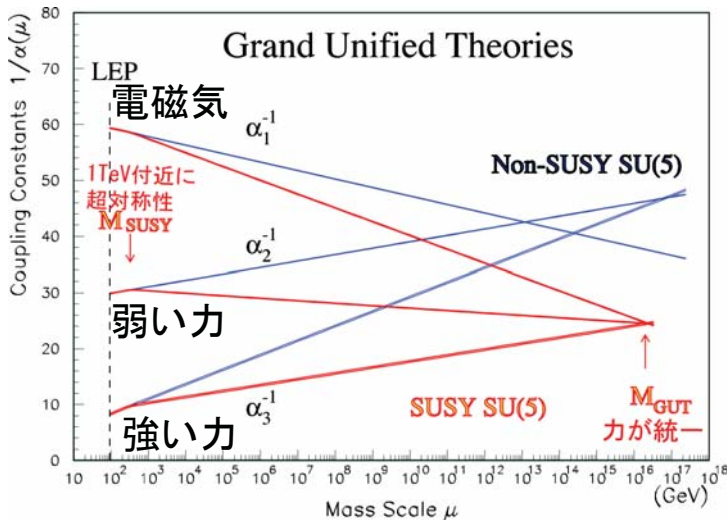


電磁気力
弱い力
強い力
の強さを測定する。
「強さ」は、宇宙の
温度を高くしていくと
変化する。



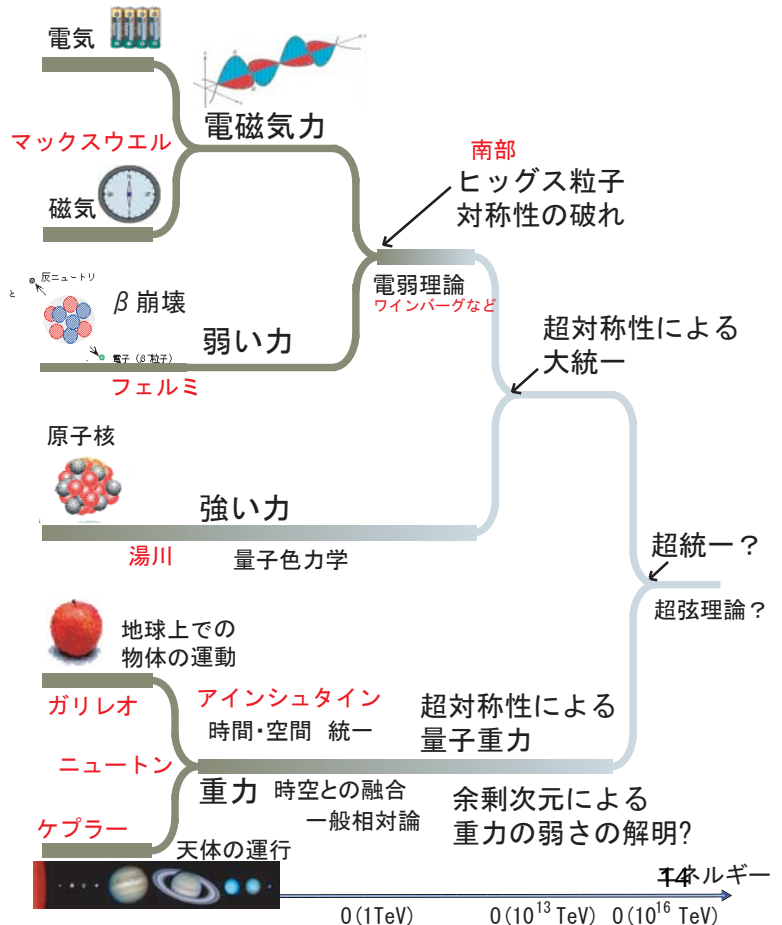
感動できない貴方へ

力の強さは、どんな種類の
粒子がいるかで変化する。
“超”粒子がいると、



もうひとつの力、重力は？

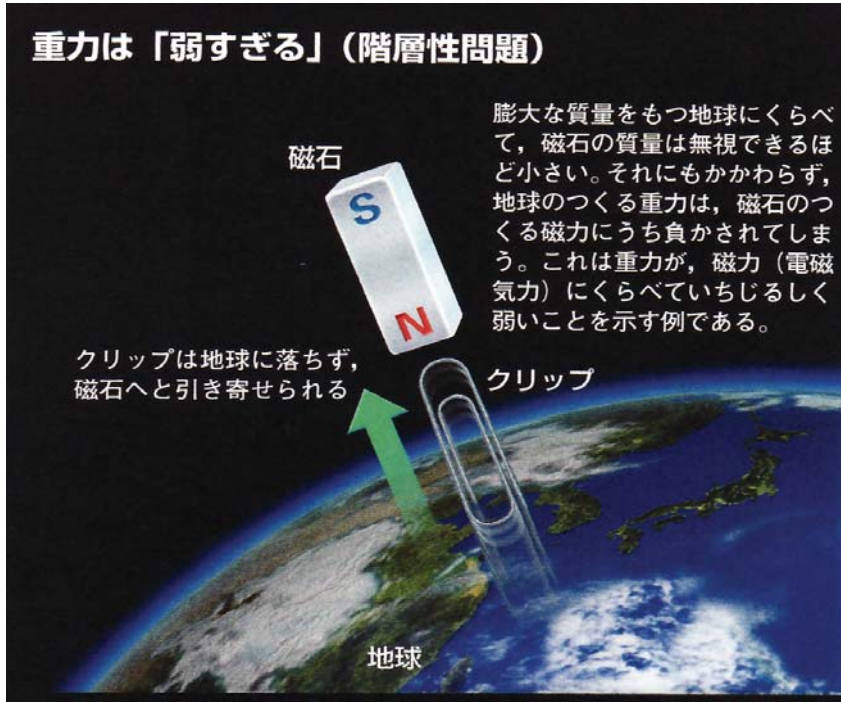
物理学の大まかな歴史と「統一」



2.重力まで統一する 余剰次元

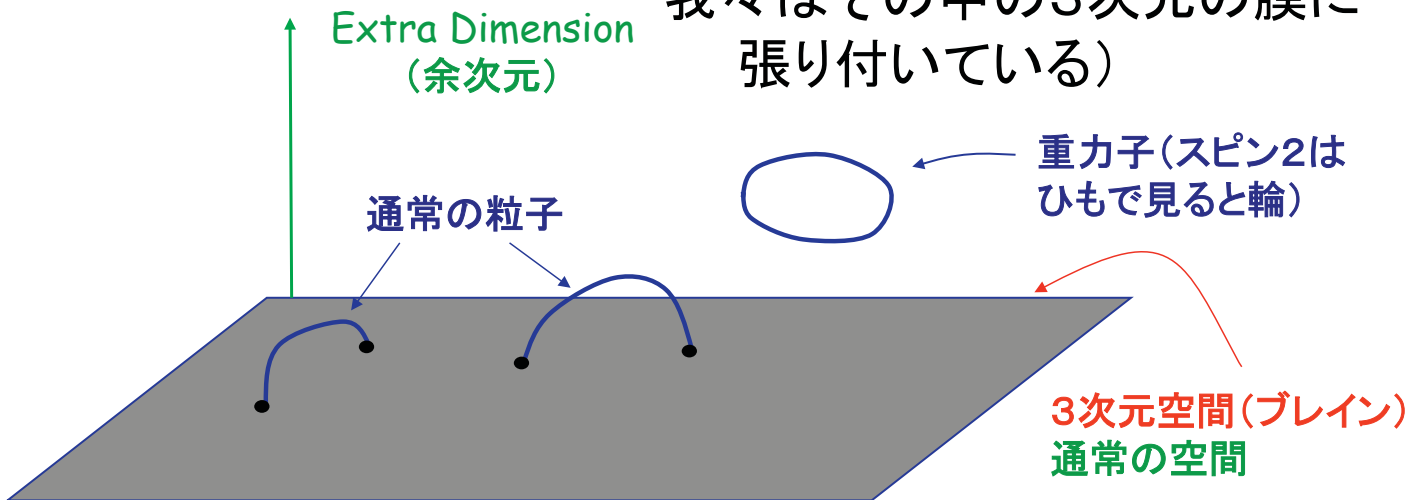
4つの力のうち、重力が弱すぎる。他の力と比較して 10^{-40}

ニュートンより



その解として有力な「余剰次元とブレイン理論」

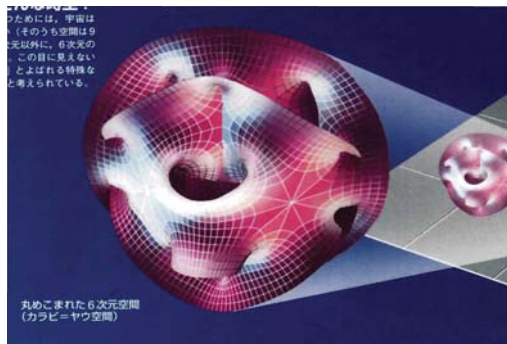
膜に張り付いた人生 (空間は9次元(ヒモ理論)
我々はその中の3次元の膜に張り付いている)



重力子は、広い空間を自由に行き来して、我々は3次元の膜にはりついている。重力子がこの膜に来たときだけ感じる → 重力が弱く見える。

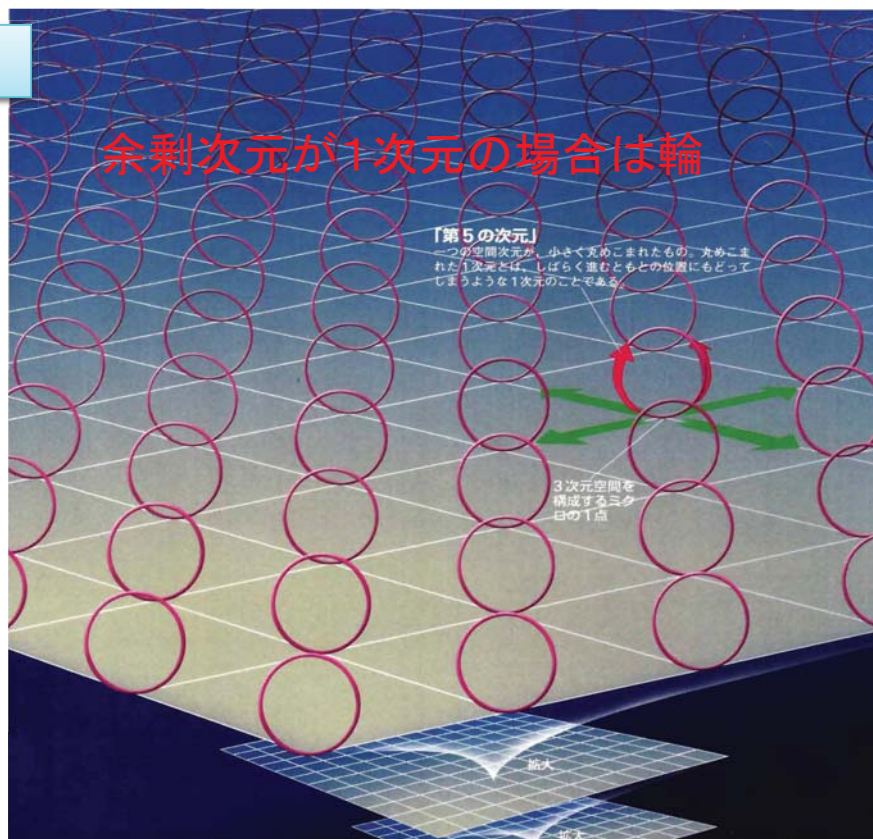
何故、3次元しか見えない？

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
 10^{-19}m と大きいかもしれない



ニュートンより

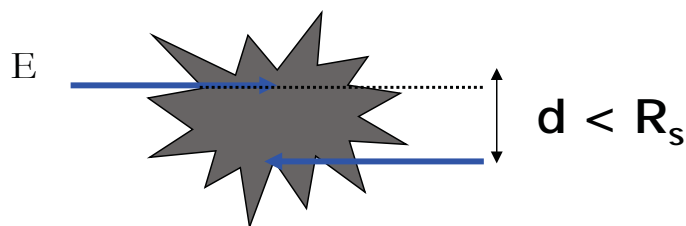
小さくなっている余剰次元の大きさが鍵

小さくなっている余剰次元の大きさが不明
 10^{-35}m くらいかもしれないし、 10^{-19}m と意外に大きいかもしれない

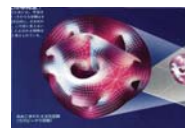
LHCは 10^{-19}m まで見られる顕微鏡(付録参照) もし、大きさが 10^{-19}m だとLHCで見える。この距離まで近づくと、残りの次元が見える。

これが見える場合: 重力の大きさが40桁ぐらい大きくなる。

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場合



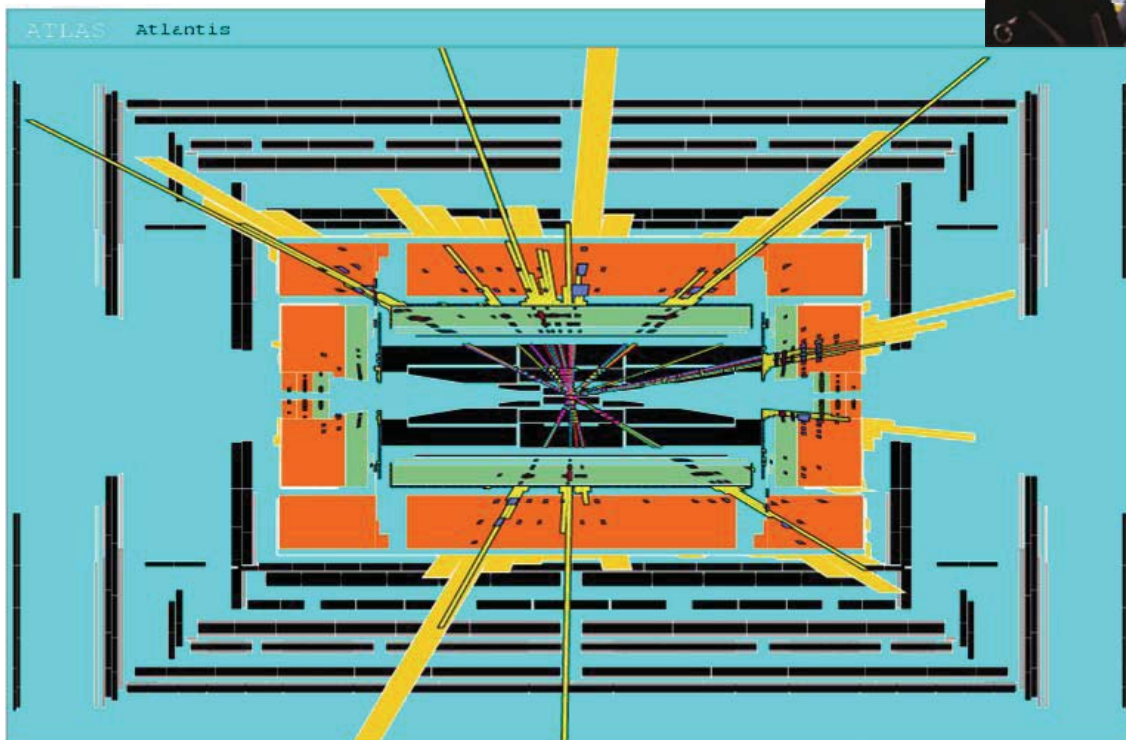
エネルギー E
 細かさ $1/E$ (10^{-19}m)まで分解して
 見ることが出来る。



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)よりもdが小さいと吸い込まれてブラックホールになる。

R_s : 地球(10^{24}kg) は角砂糖1つぐらい。もし重力が40桁強くなると、

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。(安全な理由は付録)
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)

19

オッズが
高い

Do you think it is possible that black holes will be created in collisions at the LHC, which is due to start up next year?
I think the chance that you will find mini black holes is less than 5%. I haven't booked my ticket to Stockholm yet.

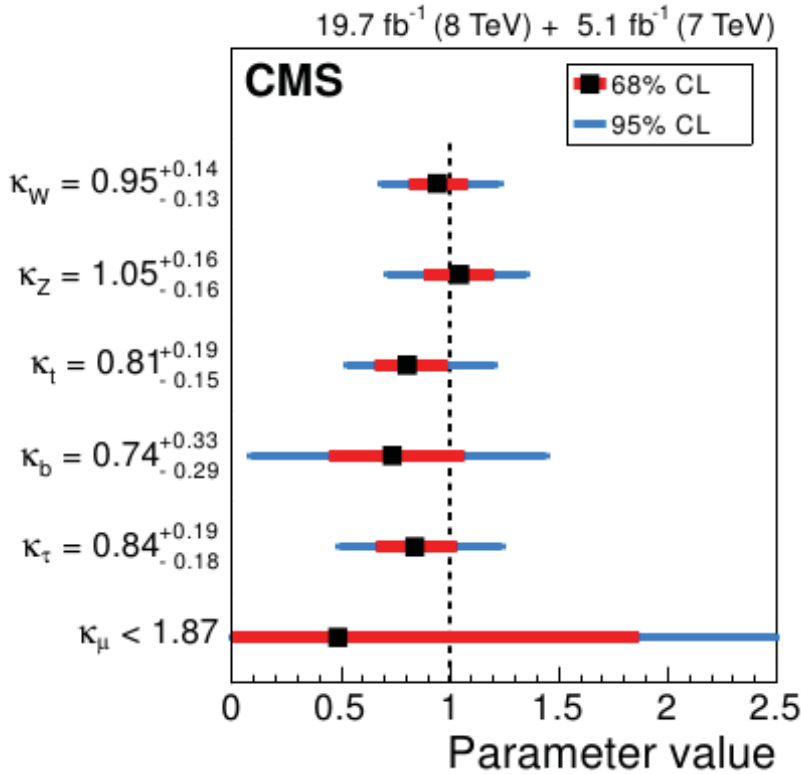
What would you regard as the most important discovery that experiments at the LHC could make?

You have to weight the importance with the probability. There are three candidates: superpartners, black holes and the Higgs. 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.



余剰次元が
どのくらいの大きさになってるか
不明。10 19mって可能性もあるが、
それは、新しい原理の0番目だけ
説明してくれて、1, 2番目はX

3. ヒッグス粒子の性質を調べる。(宇宙の将来)

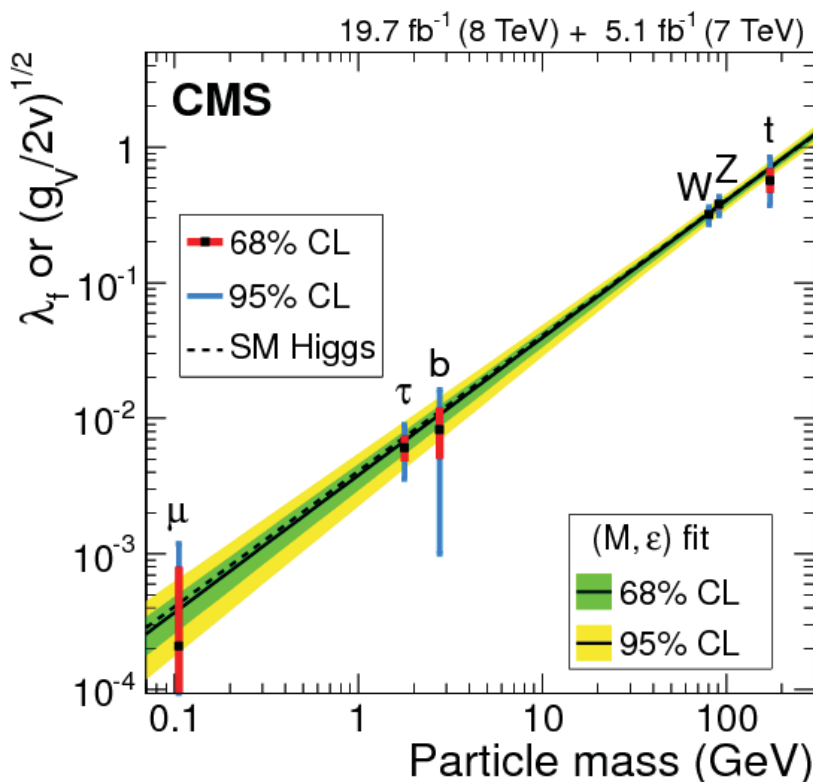


LHCは
30京回陽子と陽子を衝突
今までの約100倍の
実験データを収集する。

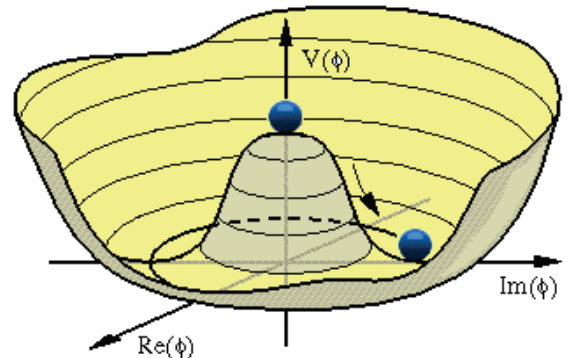
ヒッグス粒子といろいろな
粒子との結合の強さ
a few-5 %ぐらいの精度で
決められる。

オタク??
何故、細かく調べたいのか?

ヒッグス粒子って1つだけ?
何故 世代があるの?

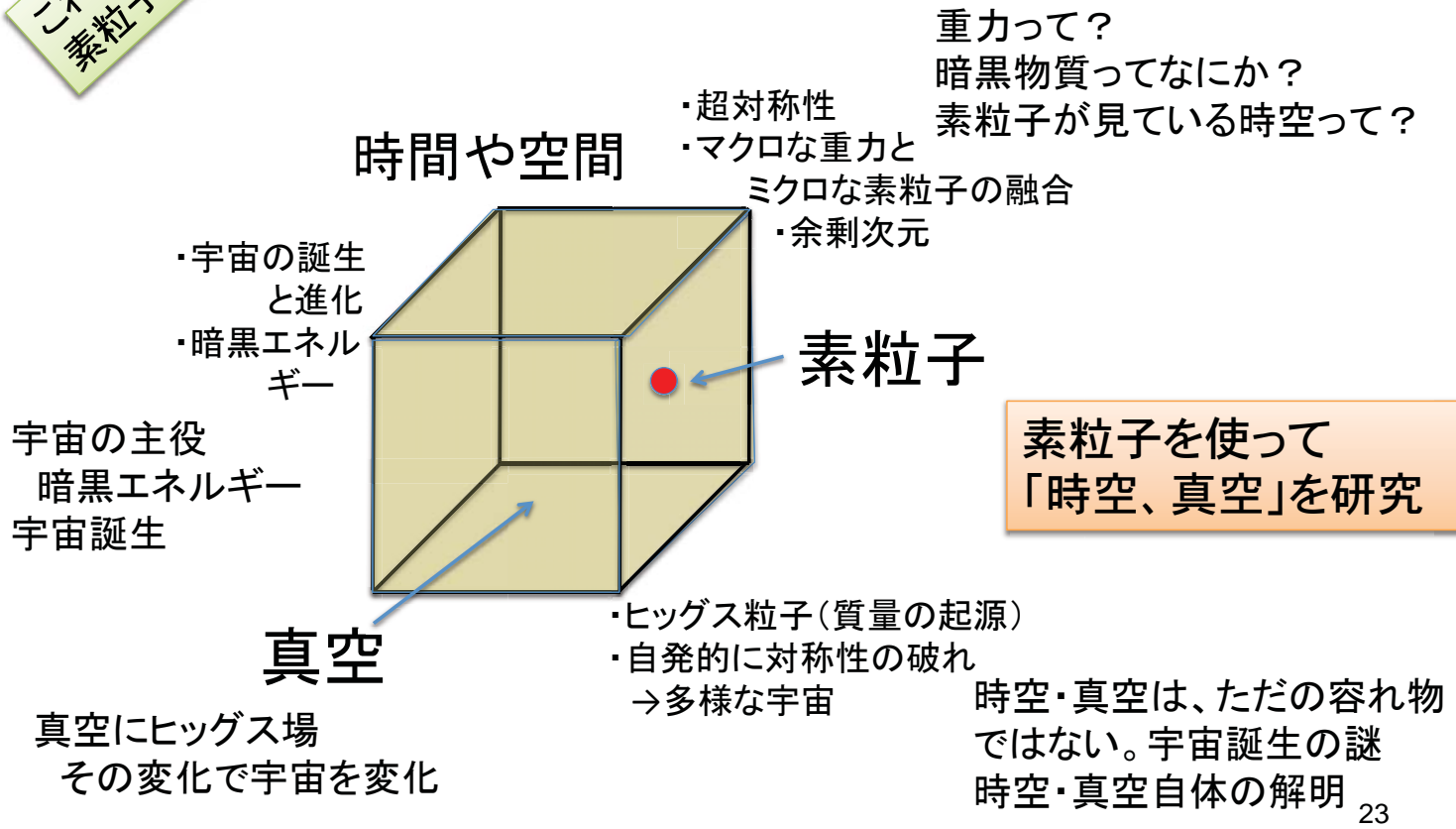


杞憂?
宇宙の真空は安定でない?



これからの
素粒子研究

ヒッグス発見:新しい自然観へのシフト



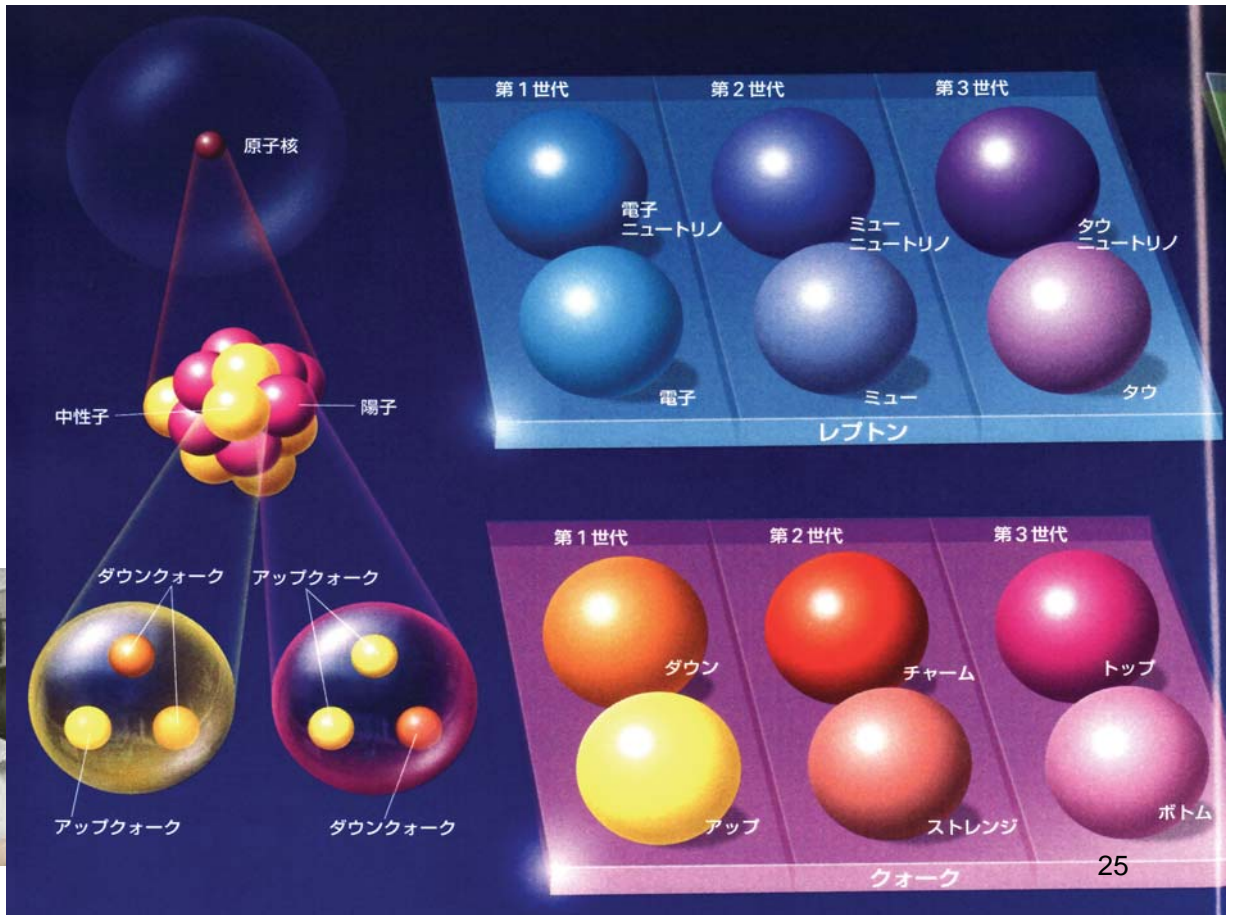
おまけ

素粒子I: 物質を形づくる素粒子

ニュートンより

陽子・中性子の核子は、2種類のクォークで構成
それ以外に電子とニュートリノ

このセットがちょうど3セットある



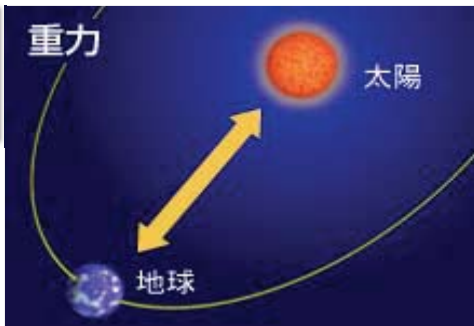
益川・小林先生

素粒子II: 力を伝える素粒子

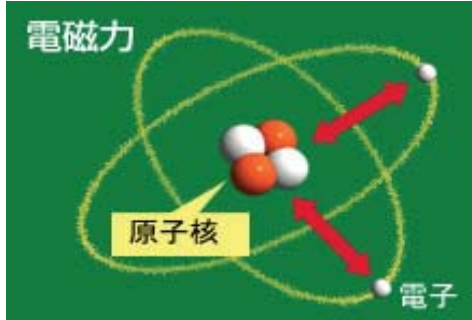
粒子を交換することで力が働く
ゲージ粒子

自然界の4つの力

重力子
(未発見)



電磁力



光子

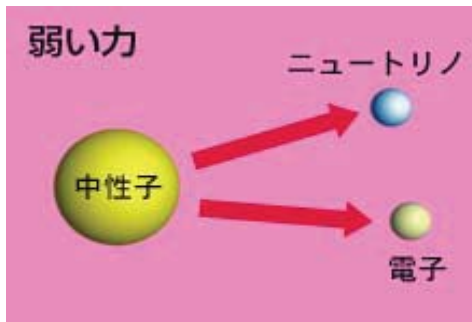
グルオン

強い力



原子核やクォークをまとめる力
湯川先生が予言

弱い力

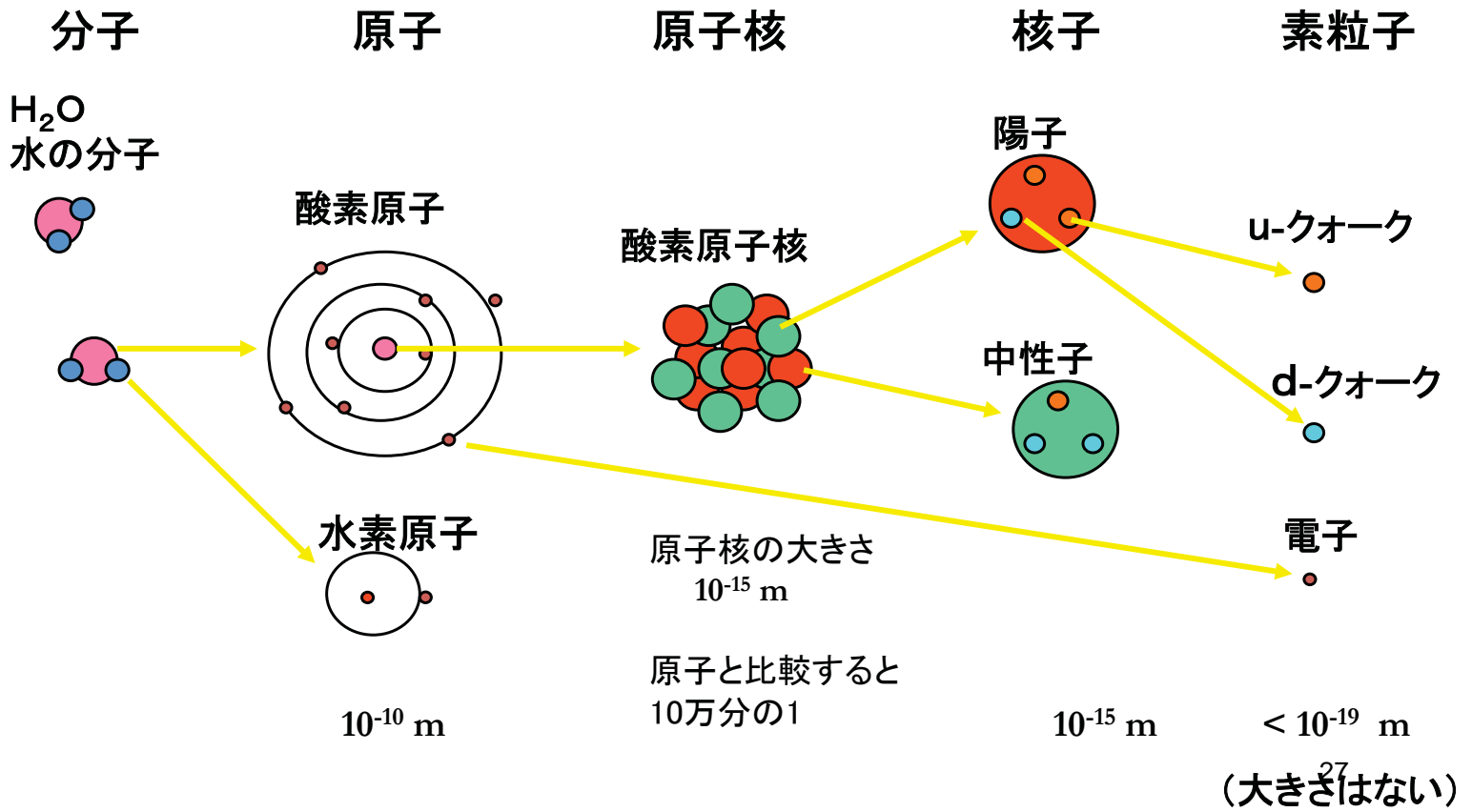


W,Z粒子

Cs137

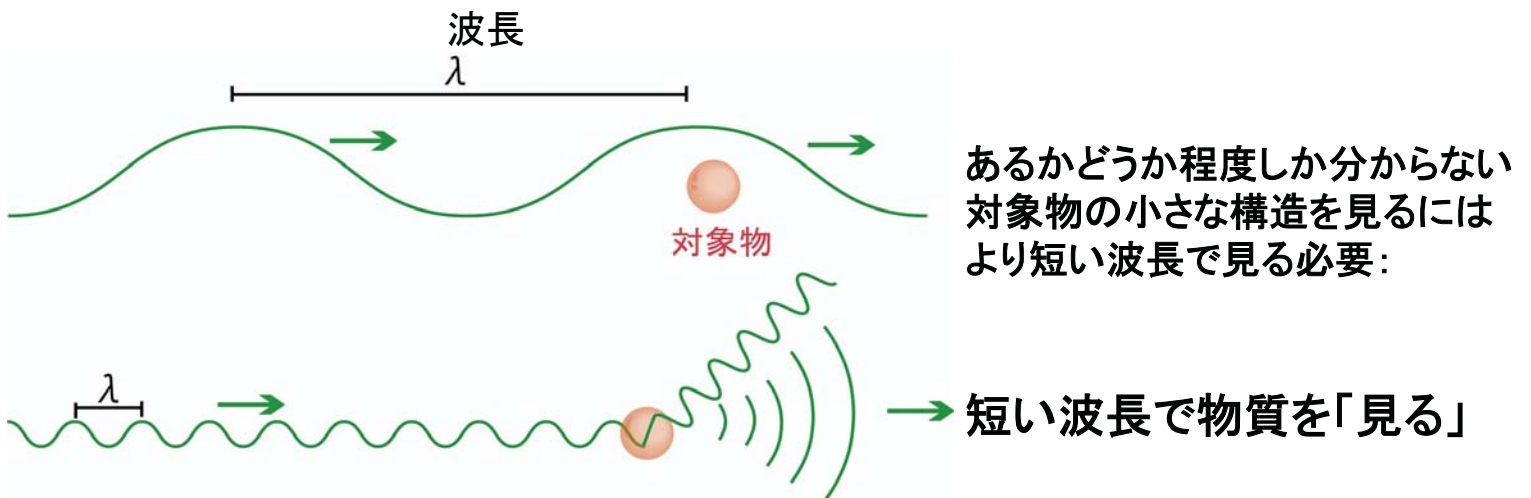
中性子は陽子に変わる

素粒子の階層性



10⁻¹⁹ m 以下 こんな小さいモノをどうやってみる？

小さなものを見るには、波長の短い光が不可欠



使う波長によって、測定出来る限界が決まっている

ブルーレイ > 普通のDVD (赤色レーザー)

小さな世界は **量子力学** が支配

小さく視ると、粒子と波の両方の性質が見えてくる。(2重性)

素粒子 = 粒 + 波

波の広がりの分だけ
ぼやける

ハイゼンベルグ
不確定性原理
 $\Delta P \Delta x > h/2\pi$

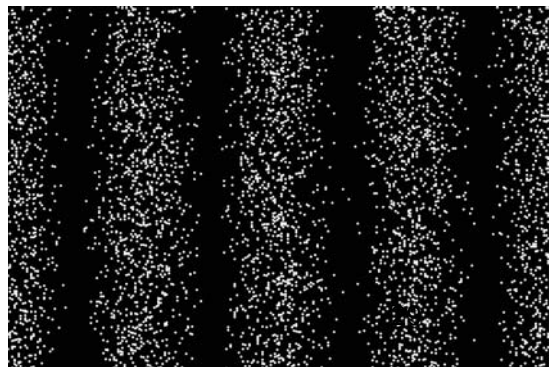
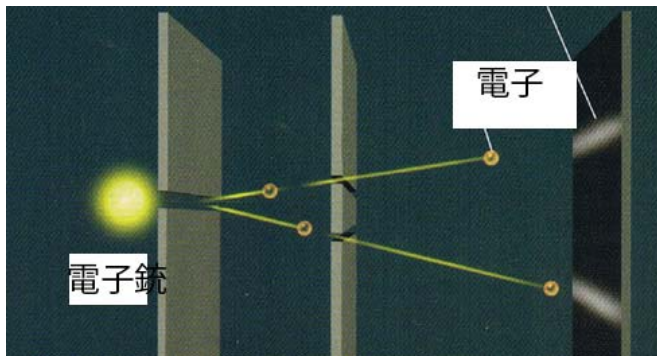
波長 $\lambda = \frac{h}{p}$

プランク定数 h

運動量 ~ エネルギー p

短い波長 \longleftrightarrow 高いエネルギー

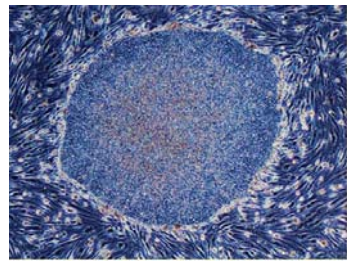
波である証拠 → 電子でも干渉



加速器は、
超高性能 顕微鏡

倍率1000倍程度

iPs細胞



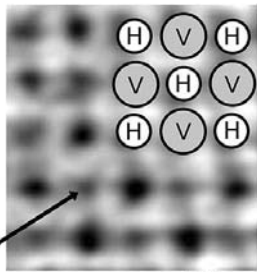
www.cira.kyoto-u.ac.jp

分解能

光学顕微鏡	光	光の波長 ~ 0.1ミクロン (=10 ⁻⁷ m)
電子顕微鏡	電子	電子の波長 ~ 1オングストローム (=10 ⁻¹⁰ m)
LHC加速器	陽子	陽子の波長 ~10 ⁻¹⁹ m (原子核 10万分1)

100万倍程度 10⁻¹⁰m

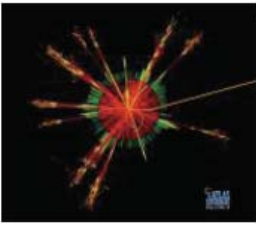
水素原子！！



幾原雄一
東大教授



米国でLHCの運用禁止を求める訴訟、ブラックホール生成実験は安全性が確認されていない



⊕ 画像を拡大する 【Technobahn 2008/3/28 13:15】
 欧州原子核研究機構（CERN）がスイスとフランスの国境沿いの地域に建設を進めてきた大型ハドロン衝突型加速器（LHC: Large Hadron Collider）の運用の禁止を求める訴訟が21日、米ハワイ州地方裁判所に提訴していたことが27日までに明らかとなった。

原告は米国政府の原子力保安検査官を務めたウォルター・ワグナーさん。ワグナーさんはLHCでの極小ブラックホール生成実験は、安全性が確認されているとは言えないとした上で、不用意にブラックホールを生成することは、その影響で災害が起きる可能性があるとして主張。その上で第三者機関によってLHCの安全性を確認できるまでの間、LHCの運用を禁止する仮処分命令を出すように裁判所に求めている。

CERNでは年内にもLHCの稼働を開始する予定で現在、最終準備作業を進めている。

LHCでは実際に、極小ブラックホールの生成実験が予定されている。しかし、LHCによってミニ・ブラックホールが生成できたとしてもそのミニ・ブラックホールは、理論上はホーキング放射によって直ぐに消滅することなども予想されており、実験そのものには危険性はないとする考えが今のところ、大勢を占めている。

ただし、一部では実験の危険性を指摘する声なども上がっていた。

画像はLHCで予定されている極小ブラックホール生成実験の概念図（画像提供：CERN）

ちなみに、そういう罪な研究をLHCで初めてした論文

ATL-PHYS-2003-037

Study of Black Holes with the ATLAS detector at the LHC

J. Tanaka^{1,†}, T. Yamamura², S. Asai¹, J. Kanzaki³

¹ International Center for Elementary Particle Physics (ICEPP), University of Tokyo

² Department of Physics, Faculty of Science, University of Tokyo

³ High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

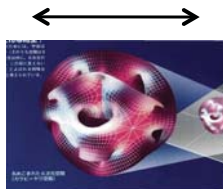
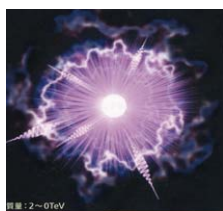
[†] Mail address: Junichi.Tanaka@cern.ch

Abstract

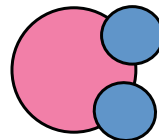
We evaluate the potential of the ATLAS detector for discovering black holes produced at the LHC, as predicted in models with large extra dimensions where quantum gravity is at the TeV scale. We assume that black holes decay by Hawking evaporation to all Standard Model particles democratically. We comment on the possibility to estimate the Planck scale.

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 $10^{-19}m$ 以下(原子核の1/10000)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、 $10^{-19} m$ 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)



$1/R^2$ でよくなる(普通の重力:非常に弱い)
 R
 →
 ブラックホールの大きさ

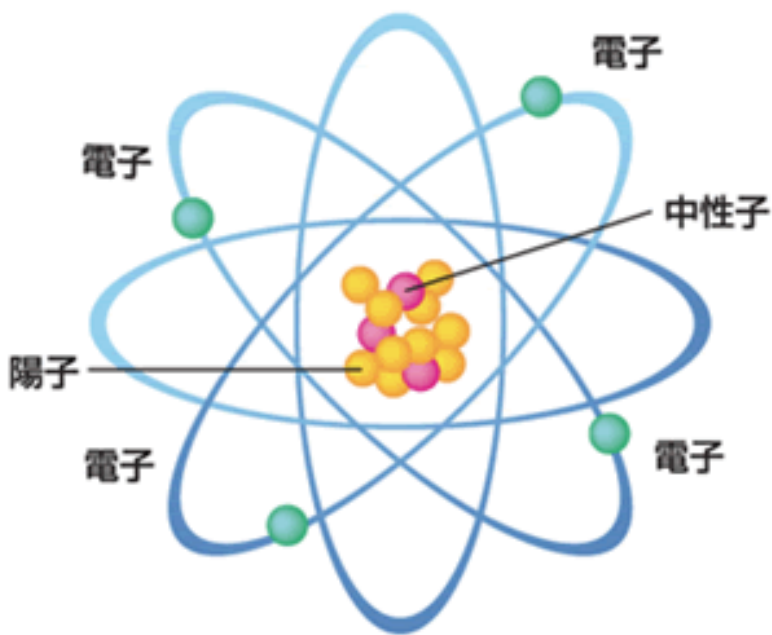


←
 余剰次元の大きさ程度
 これより近い距離になると
 余剰次元の効果で
 重力が 10^{40} 倍ほど強くなる

近くにいる分子さえも、捕まえられない

原子核の1/10000以下の距離に近づいた時だけ

物質はスカスカ よくこんな絵く教科書に載ってますが間違い



四国電力HPより



東京ドーム
wikipediaより



wikipediaより

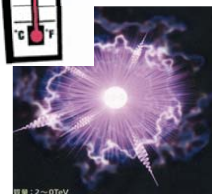
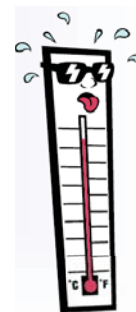
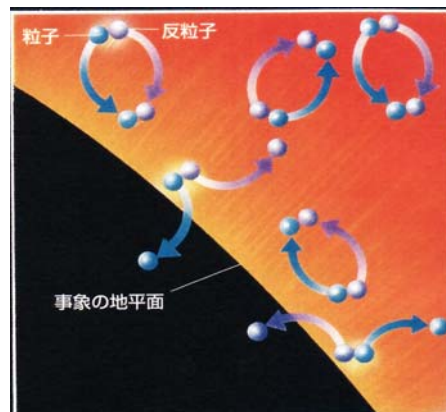
スカスカ。。。
何故つぶれない？

安全な理由(2):

(2) ブラックホールの蒸発(ホーキング輻射)

光さえも出てこら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、先のページのように観測されます。あっという間(10^{-27} 秒ぐらい)に蒸発します。



飲み込む量(1) <<<< 蒸発量(2)

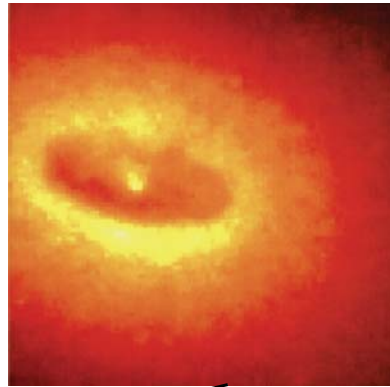
銀河の中心 約1000万太陽質量のブラックホール

$T=0.00001$ 度ぐらいの冷たい

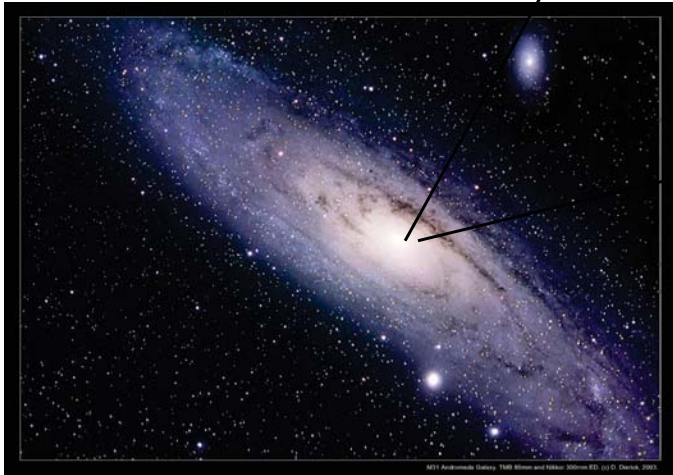
宇宙年齢より長い寿命

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。