


■本資料のご利用にあたって(詳細は「利用条件」をご覧ください)

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

***** : 著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC : 著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

 : パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

なし : 上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。
無償で、非営利かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

- I 複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
- II 上映
- III インターネット配信等の公衆送信
- IV 翻訳、編集、その他の変更
- V 本資料をもとに作成された二次的著作物についての I からIV

ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学 UTokyo OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2015, 浅井祥仁

The University of Tokyo / UTokyo OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2015, Shoji Asai



素粒子研究の最前線 — 新しい素粒子像

*

"Getting around the LHC
Transport dans le LHC" (2005/10/24), CERN Document Server
<http://cds.cern.ch/record/905939/?ln=en>
CERN-AC-0510028-04

東京大学 理学系研究科
浅井祥仁

講義の目次(keyword)

- 1) ビックバンって言うけれど。。非常識だよな。
- 2) 素粒子って？
- 3) 小さい物を調べる技術: 加速器
- 4) 素粒子の標準理論
- 5) 質量って？
- 6) ヒッグス粒子の見つけ方
- 7) ヒッグス粒子発見の意味 真空のエネルギー
- 8) 常識を疑う。エネルギー運動量保存
----- 休憩(質問コーナー)
- 9) 素粒子と空間の関係
- 10) 超対称性と暗黒物質
- 11) 4次元じゃない？ 重力を考える



Hubble 望遠鏡：無数の銀河

観測可能な領域で

銀河 ~ 300,000,000,000 (10^{11})

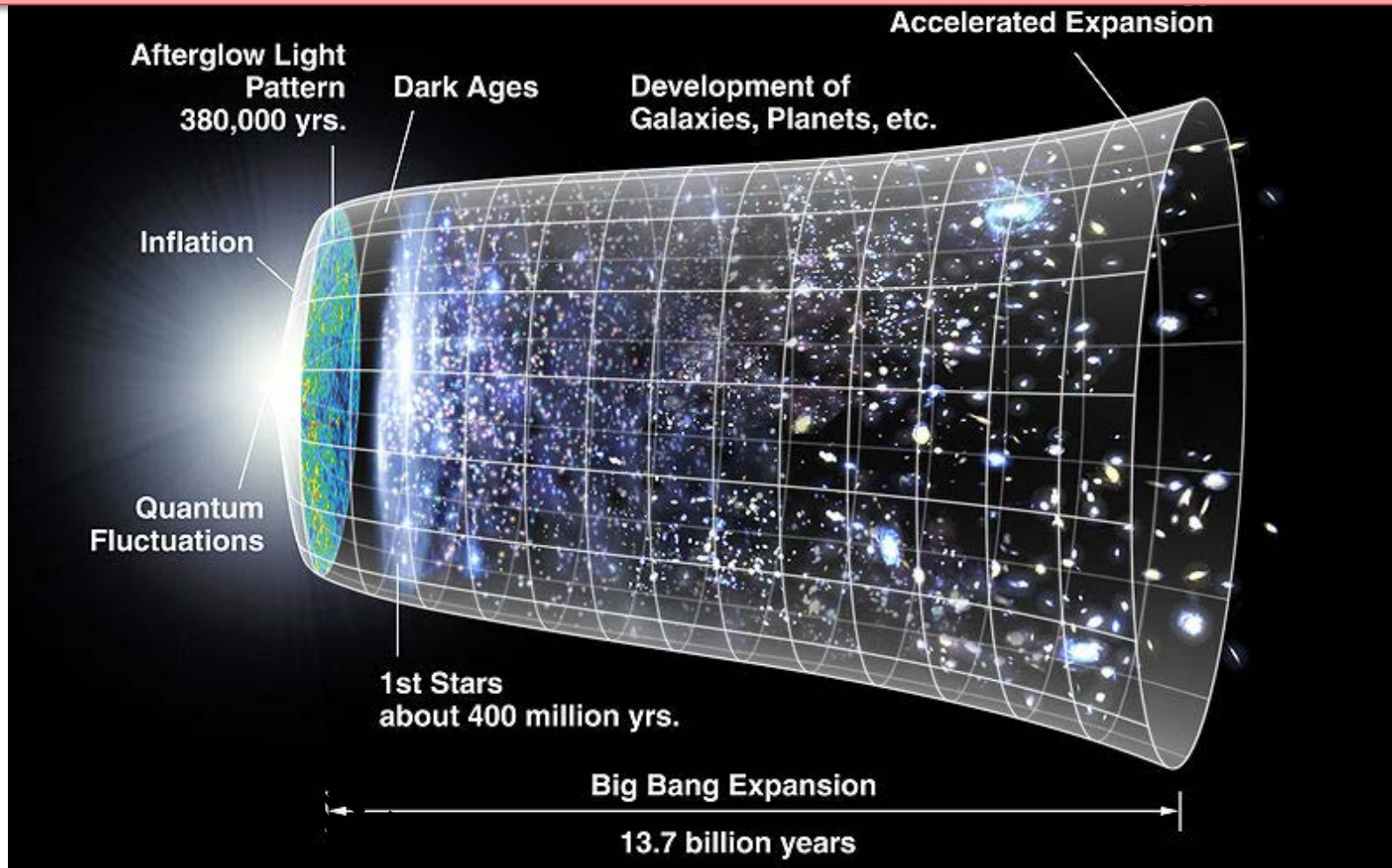
恒星

~30,000,000,000,000,000,000,000 (10^{22})

その 総質量 > 10^{54} kg (無茶苦茶ある)

5

宇宙の始まり ビッグバン



どうやって宇宙が誕生したの？
無から作られた！？！
エネルギーは???

始まりは小さい
38万年以前は磨りガラス

“素粒子”研究 6

* ©Courtesy NASA/JPL-Caltech

素粒子の階層性

分子

原子

原子核

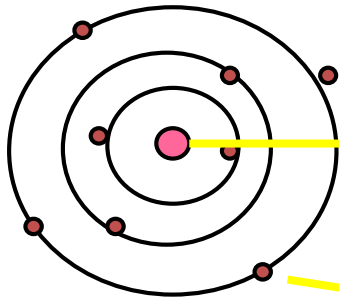
核子

素粒子

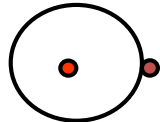
H₂O
水の分子



酸素原子

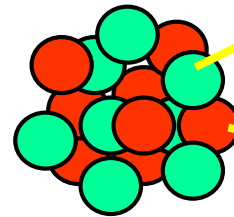


水素原子



10⁻¹⁰ m

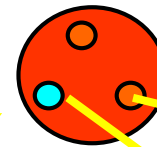
酸素原子核



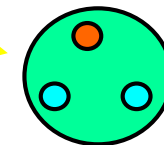
原子核の大きさ
10⁻¹⁵ m

原子と比較すると
10万分の1

陽子



中性子



10⁻¹⁵ m

u-クォーク



d-クォーク

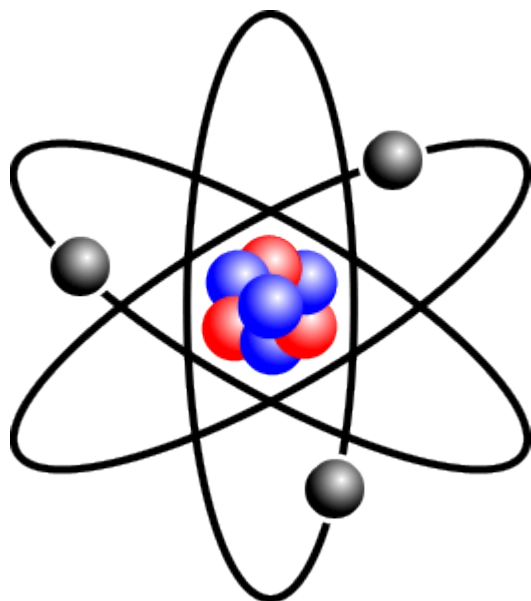


電子

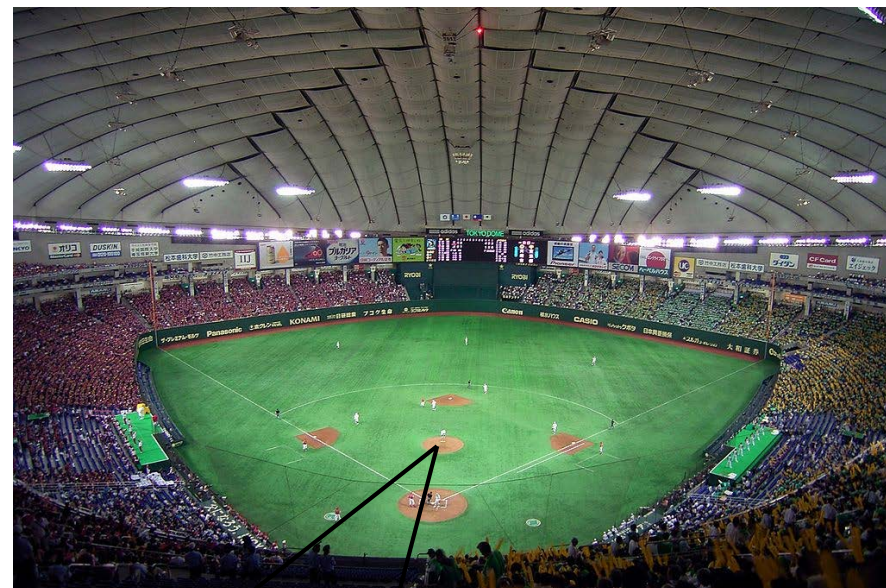


大きさ?

よくこんな絵がよく教科書に



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stylised_Lithium_Atom.png
Image by Liquid_2003/Halfdan, from Wikimedia Commons
CC BY-SA 3.0



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokyo_Dome_2007-2.jpg
Image by DX Broadrec, from Wikimedia Commons
CC BY-SA 3.0



スカスカ。。
何故つぶれない？



From wikipedia

素粒子の階層性

分子

原子

原子核

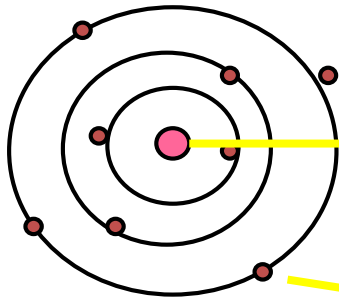
核子

素粒子

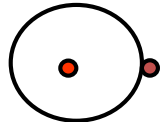
H₂O
水の分子



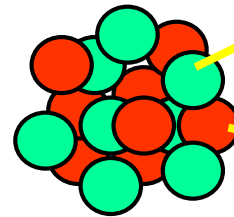
酸素原子



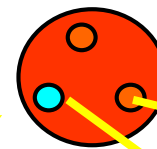
水素原子



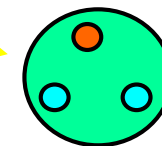
酸素原子核



陽子



中性子



u-クォーク



d-クォーク



電子



原子核の大きさ
 10^{-15} m

原子と比較すると
10万分の1

10^{-15} m

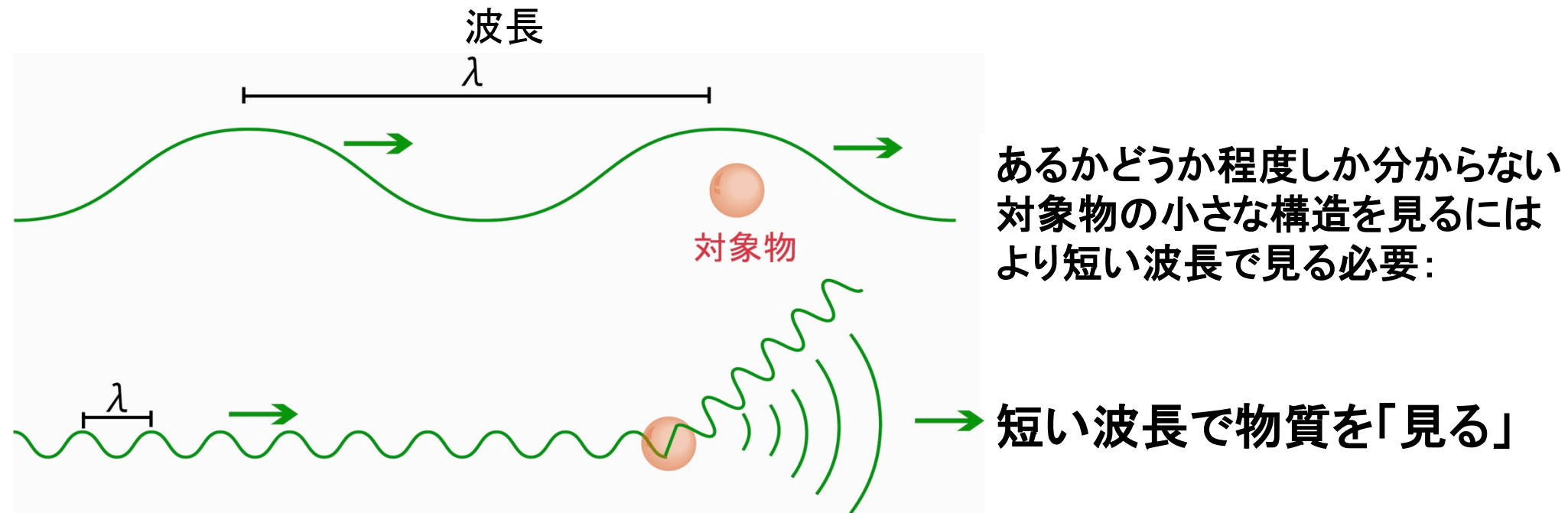
$< 10^{-19}$ m

(大きさはない)

10^{-10} m

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

運動量 ~ エネルギー

短い波長



高いエネルギー

波である証拠 → 電子でも干渉

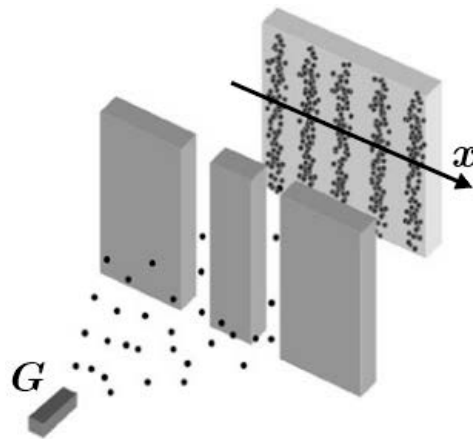
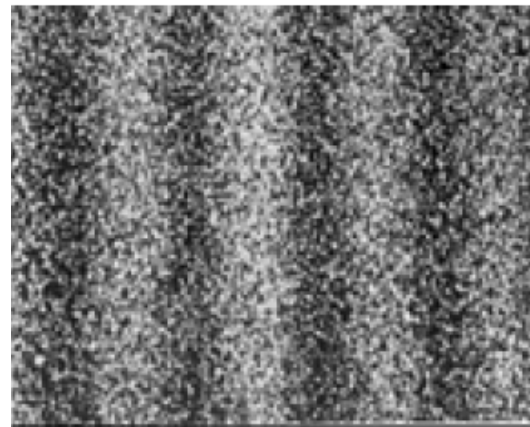


Image by Koantum, from
Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2slits.png>
CC BY-SA 3.0

* 画像提供: 株式会社日立製作所中央研究所



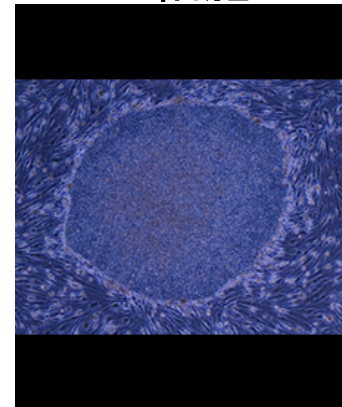
加速器は、 超高性能 顕微鏡

倍率1000倍程度



Photo from Wikipedia

iPs細胞



©京都大学教授 山中伸弥 *

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 $\sim 10^{-19}$ m (原子核 10万分1)

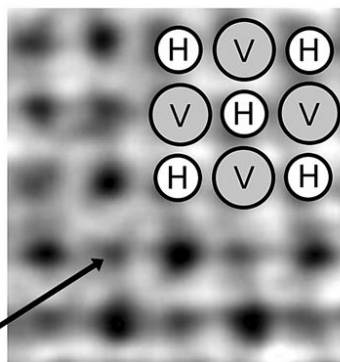
"First LHC magnets installed
Installation du premier
aimant du LHC" (26 Apr.
2005), CERN Document
Server
<http://cds.cern.ch/record/834351?ln=en>
CERN-AC-0504028-10

100万倍程度 10^{-10} m



* 画像提供: 株式会社日立ハイテクノロジーズ

水素原子！！



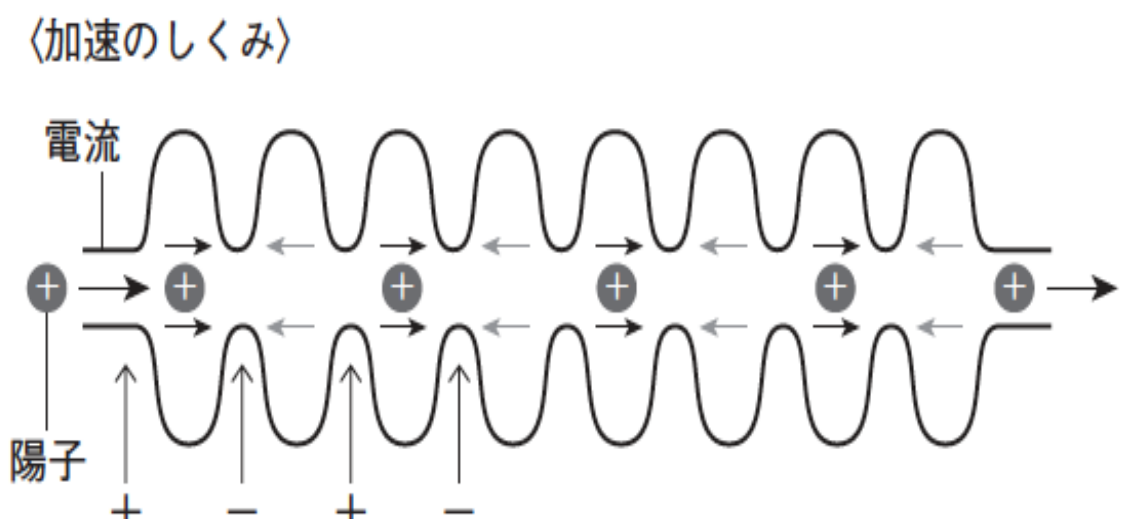
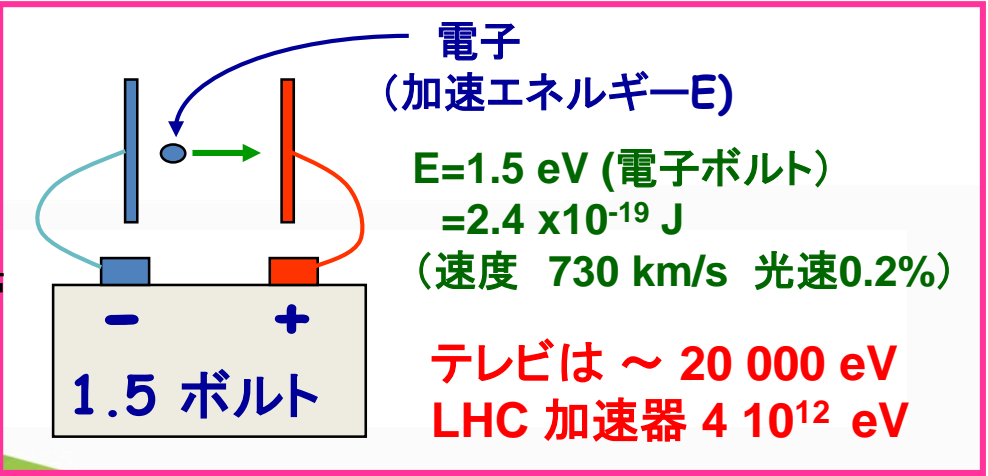
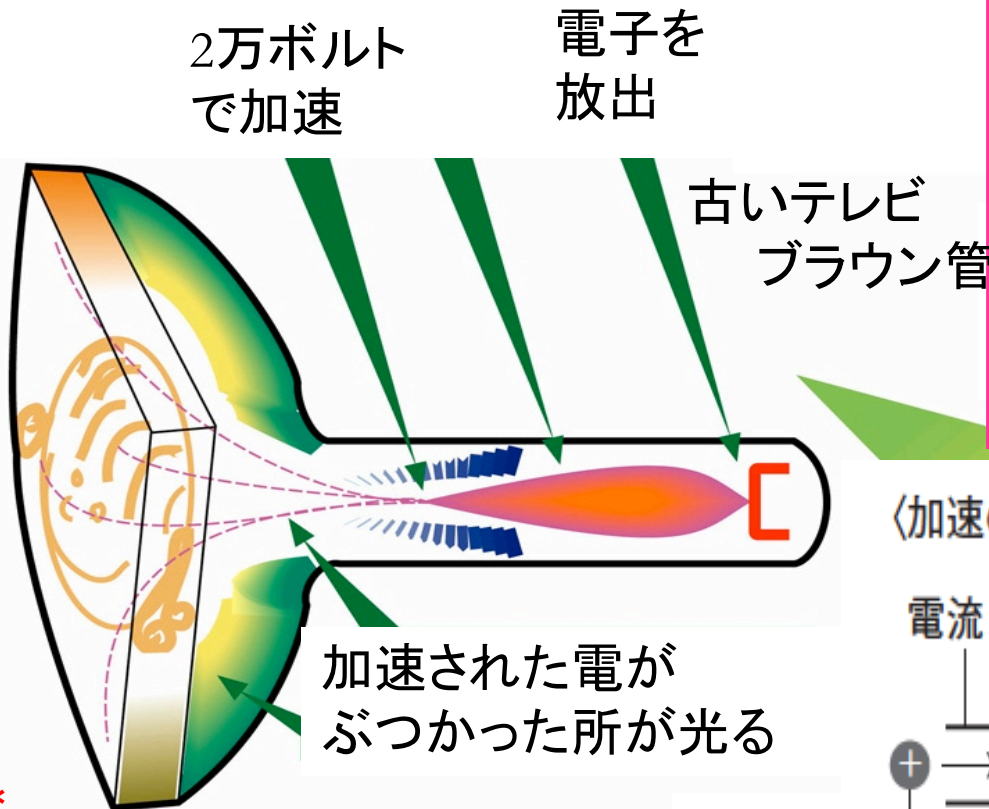
H

*

幾原雄一
東大教授



実は身近な加速器： 電子ボルト(単位)



* "Did you know your television set is an accelerator?", CERN Document Server
<http://cds.cern.ch/record/841500>
 Photo by Jean-Luc Caron ©1993-2015 CERN

ぶつかわっちゃうとだめなので
 静電場でなく、電磁波を使って
 加速するのが加速器
 ブラウン管のざっと1億倍の加速能力

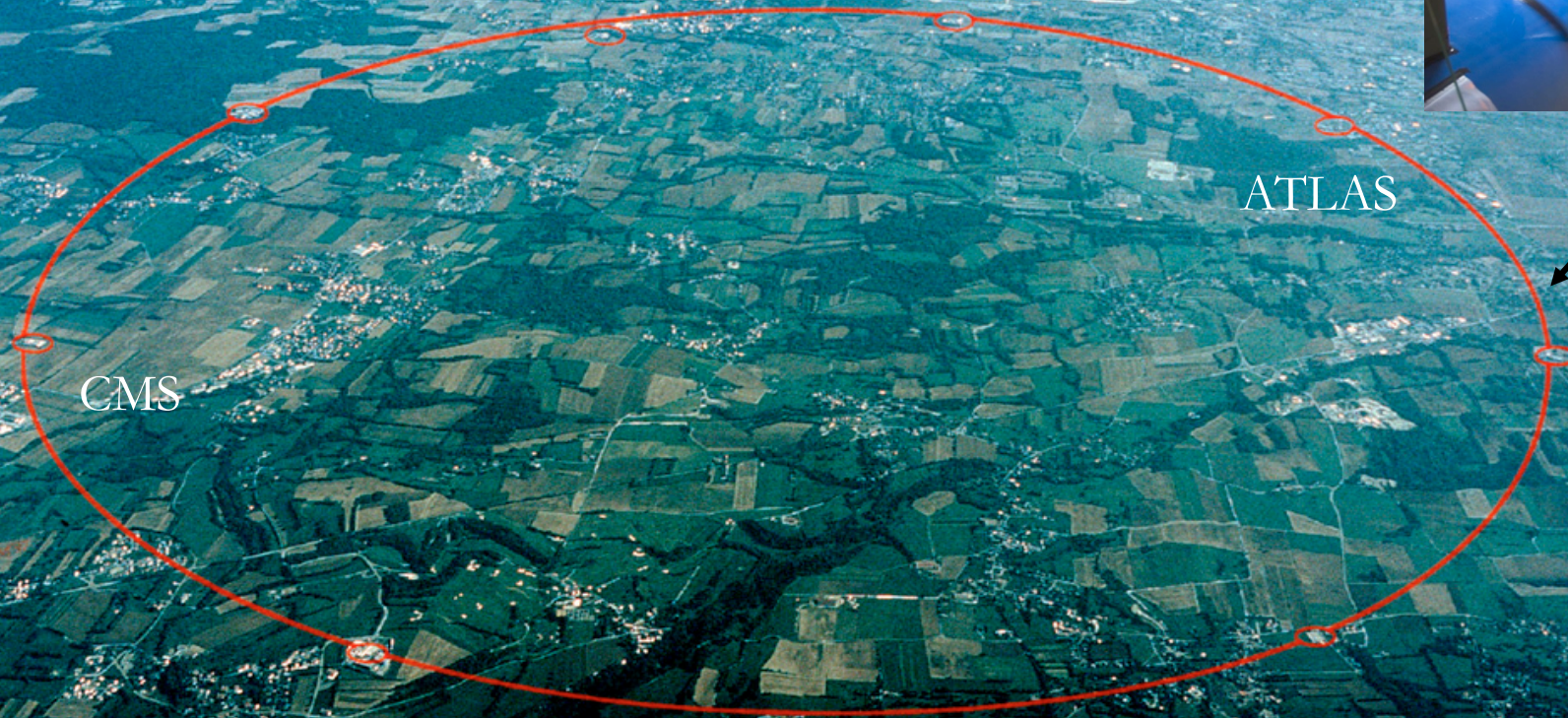
浅井祥仁『ヒッグス粒子の謎』(祥伝社、2012年)
 * http://www.s-book.net/plsql/slib_detail?isbn=9784396112905
 P89 図15LHCの加速装置
 プラスとマイナスの電極が交互に並んでおり、交流で電荷が入れ替わることで繰り返し加速されていく。

世界最大の加速器LHC

一周27 km 地下トンネル
陽子を光速の99.999997% まで加速
(4TeV(兆電子ボルト))



*



トンネル内部

"Getting around the LHC
Transport dans le LHC"
(2005/10/24), CERN Document
Server
[http://cds.cern.ch/record/905939/
?ln=en](http://cds.cern.ch/record/905939/?ln=en)
CERN-AC-0510028-04

ビデオ

14

*

よく見る写真は、加速してるんでなくて、
曲げてるだけ(でも 陽子は曲げるのが大変)



よく見るとトンネルが曲がっている

曲がっていく

陽子

磁場

超伝導で約1万アンペアの電流ながして
強力な磁場

LHCの加速装置はシヨボイ

小さな努力の
積み重ね

一周して加速したエネルギーかなり小さい (16 000 000 eV) ただ、
毎秒1万回転ぐらいますので、あっという間に、約 10^{13} eV (光速 99.999997%)

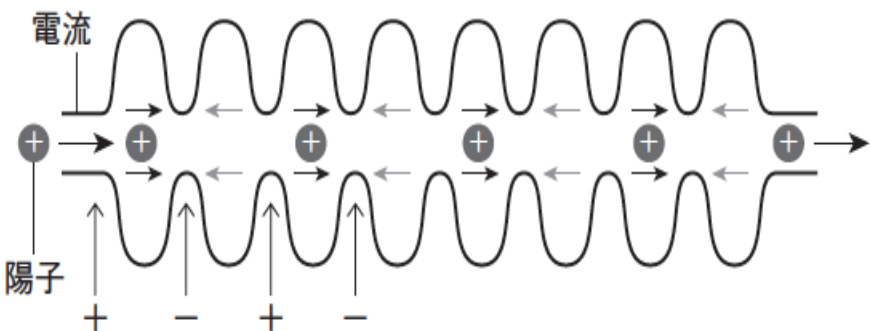
こんな加速器がわずか 8個設置されているだけ。

*CERN



400MHzの高周波

〈加速のしくみ〉 * 浅井祥仁『ヒッグス粒子の謎』(祥伝社、2012年)
http://www.s-book.net/plsql/slib_detail?isbn=9784396112905
P89 図15LHCの加速装置



プラスとマイナスの電極が交互に並んでおり、交流で電荷
が入れ替わることで繰り返し加速されていく。

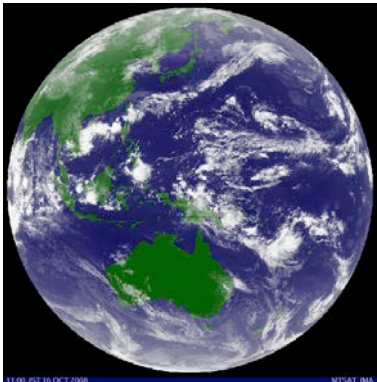
これまで16種類の素粒子が見つかった

物質を形作る素粒子
クォーク・レプトン

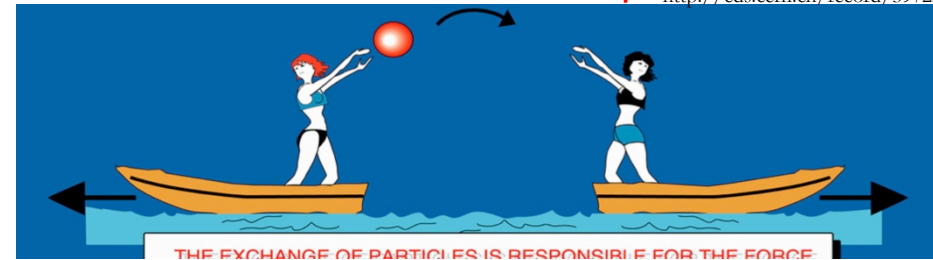
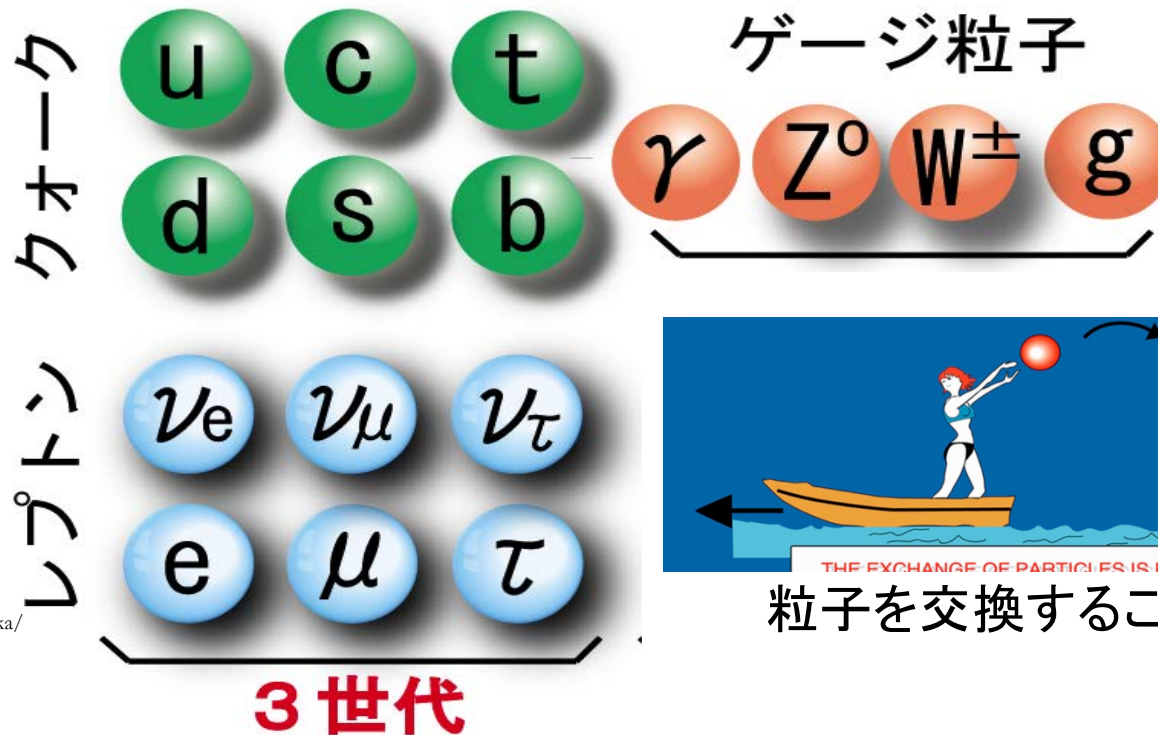
力を伝える素粒子
ゲージ粒子

標準模型

地球も皆さんも
すべて



気象庁
「ひまわり6号が撮影した地球」
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p01.html



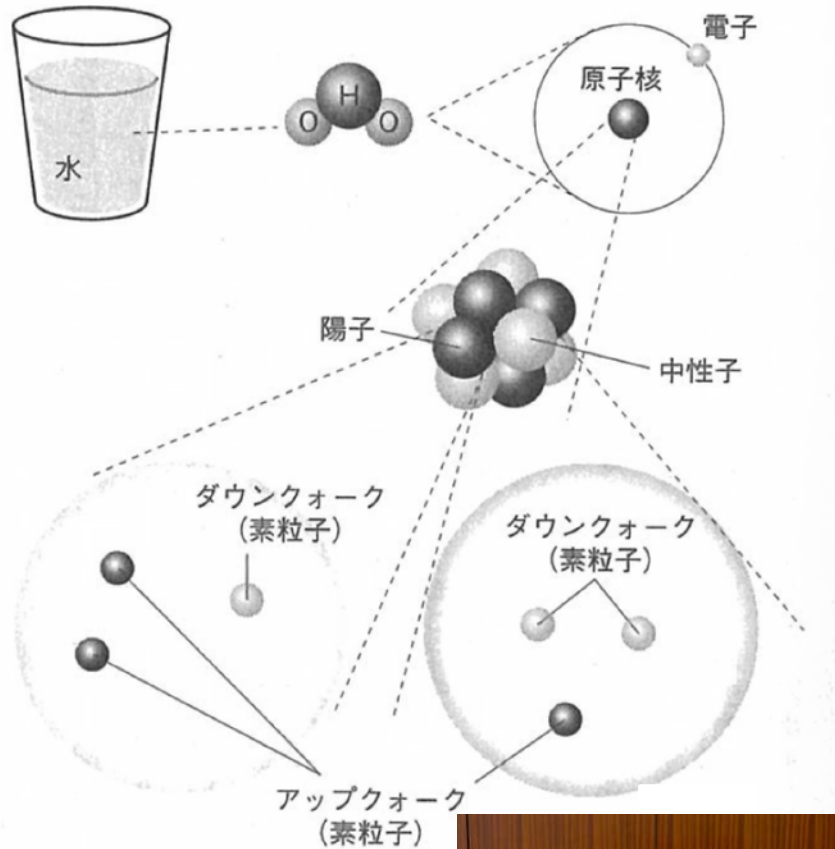
©CERN
「The forces in Nature」
* <http://cds.cern.ch/record/39722>

粒子を交換することで力が働く

素粒子I: 物質を形づくる素粒子

*

浅井祥仁『ヒッグス粒子の謎』(祥伝社、2012年)
P23図4素粒子の「標準モデル」、P35図5物質はどこまで「細かく」できるか？



	第I世代	第II世代	第III世代
クォーク	u アップ	c チャーム	t トップ
	d ダウン	s ストレンジ	b ボトム
レプトン	U_e 電子 ニュートリノ	U_μ ミュー ニュートリノ	U_τ タウ ニュートリノ
	e 電子	μ ミューオン	τ タウ

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

* Courtesy of KEK

益川・小林先生



素粒子II: 力を伝える素粒子

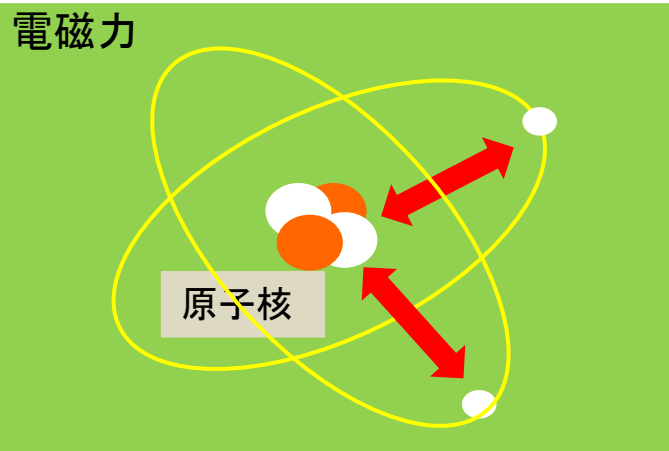
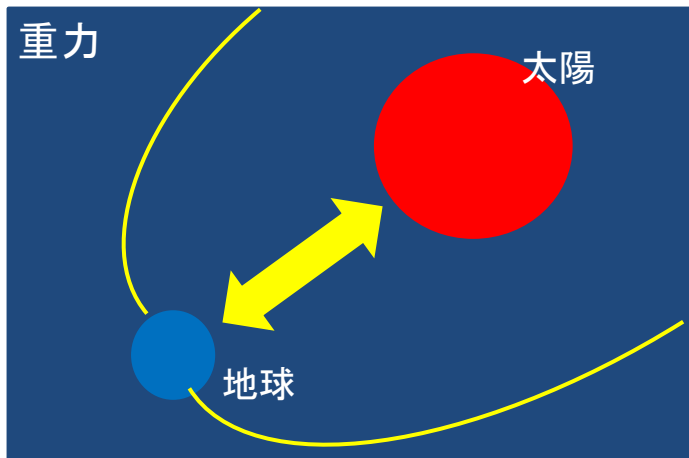
粒子を交換することで力が働く

自然界の4つの力

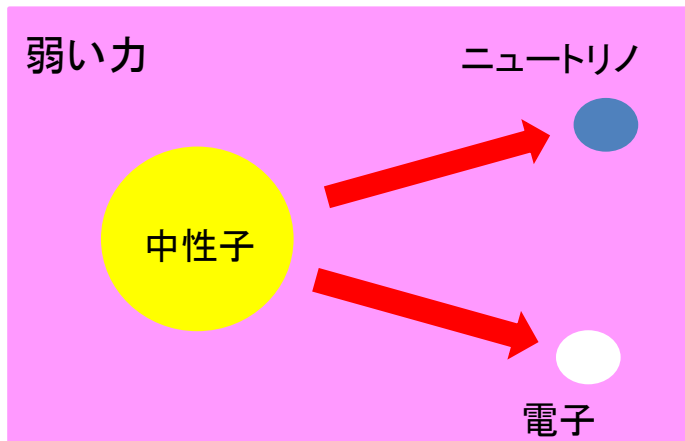


光子

重力子
(未発見)



グルオン



W,Z粒子

Cs137

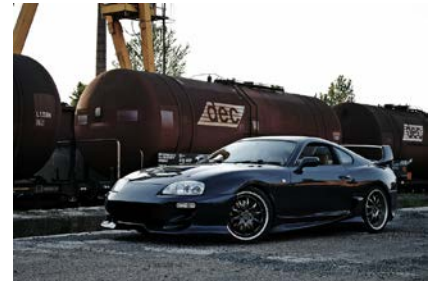
中性子は陽子に変わる



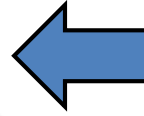
原子核やクォークをまとめる力
湯川先生が予言

相対性理論

Photo by O. HORBACZ, from GATAG
<http://free-images.gatag.net/tag/toyota-supra>
CC BY 3.0



100km/h



普通の感覚

50km/h

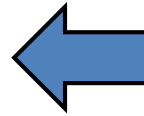
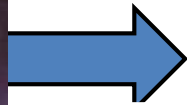


Photo by Toyota Motor Europe, from GATAG
<http://free-photos.gatag.net/tag/%E3%83%88%E3%83%A8%E3%82%BF-%E3%83%97%E3%83%AA%E3%82%A6%E3%82%B9>
CC BY 4.0

Photo by 伯理璽天德, from Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laser.jpeg>
CC BY-SA 3.0



光



30万km/秒

光には
こんな
不思議なことが
起きている。

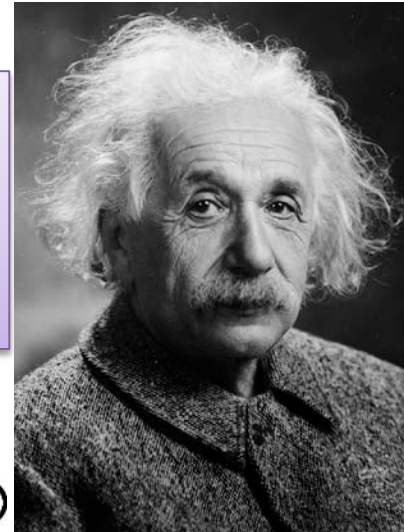


Photo from Wikipedia Commons

30万km/秒

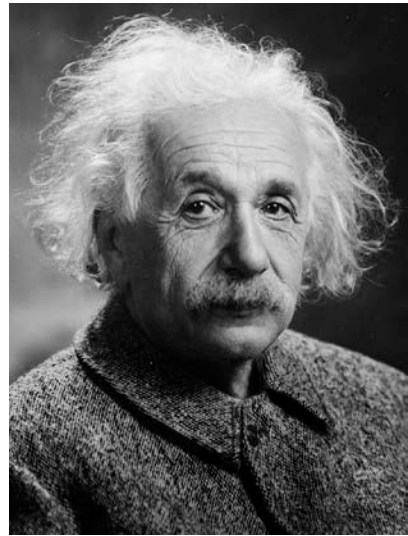
©JAXA
<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&cid=79d12311b52f6e6a97a34bfff93e2e8a>



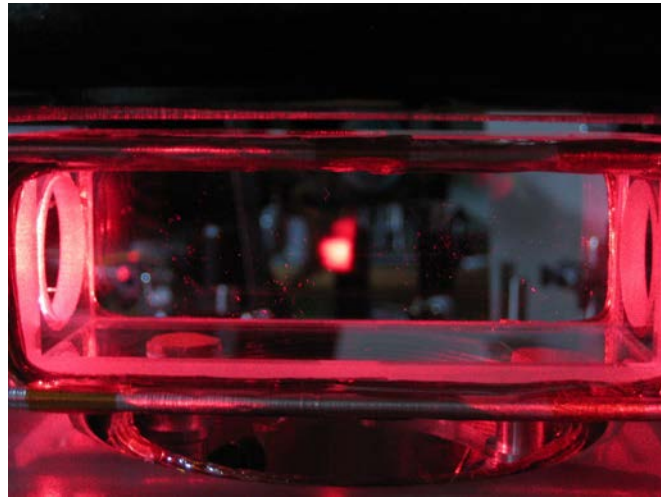
止まっている

*

素粒子の質量って？



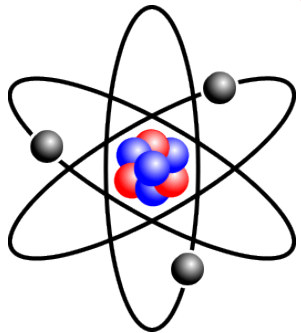
「止まった光??」
光は止まれない。
どんな人が、どうみても
秒速30万kmで
動いてる。



* 止まった原子
の写真(Li)
五神・湯本・井手口研究室

「原子や電子」も
とめることが
出来る。

この違いは何故？



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stylised_Lithium_Atom.png
Image by Liquid_2003/Halfdan, from
Wikimedia Commons
CC BY-SA 3.0

とまったから、原子核や
原子ができた。
とまれなかったら
この宇宙はできていなかった

「質量」

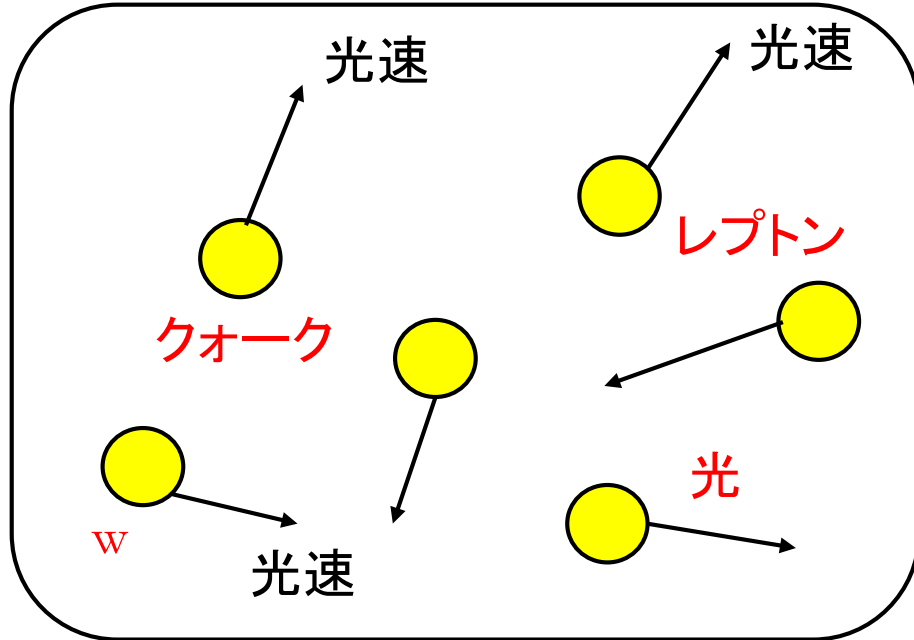
ニュートン方程式 $F = m_1 a$
速度の変化(加速度)を阻害
質量があると、減速できて止めることができる
 $m_1 = 0$ だと、いつも一定速度 c

重さは $F_g = m_g g$ (重力質量)
 $m_g = m_1$??? (等価原理)

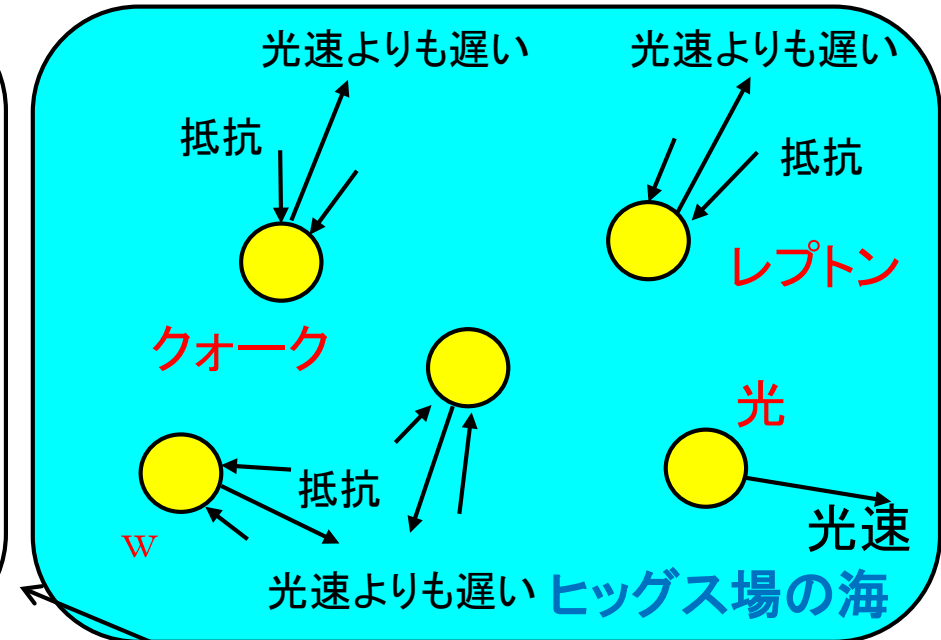
素粒子は、質量がないはず。でも、現実の世界では質量がある。

我々は悪い環境に住んでいる！！

真空の対称性がある場合



現実の世界



宇宙のはじまり
すべての素粒子の質量がゼロ。光速で運動

この悪い環境の効果(ヒッグス場と言う変な場に満たされている)で 質量があるようにみえている。

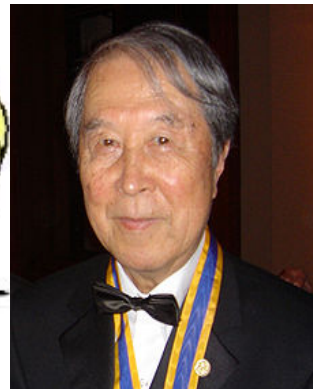
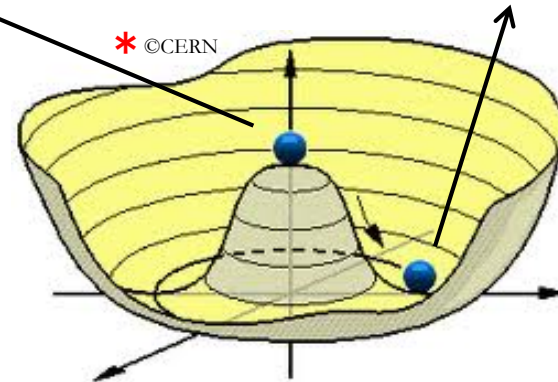
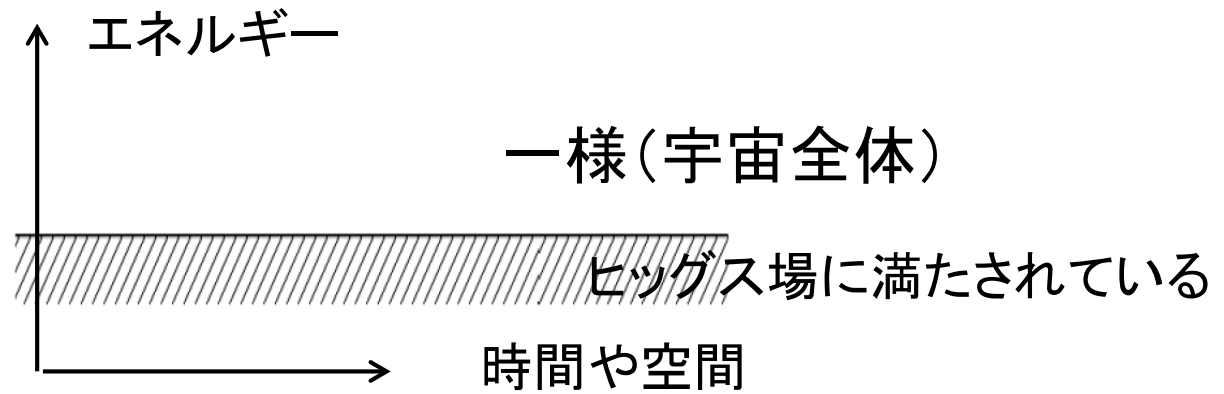


Photo by Betsy Devine, from Wikipedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:YoichiroNambu.jpg>
pg
CC BY-SA 3.0

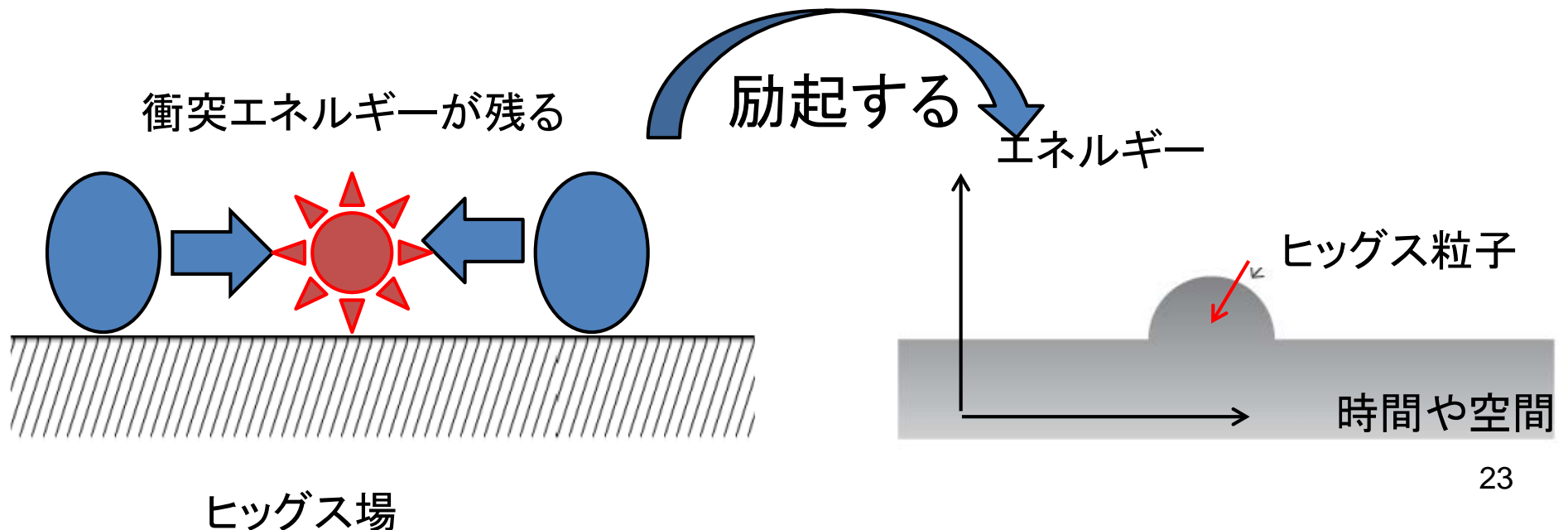
自然科学は、実証学問
検証されて初めて物理学になる

どうやって探す？

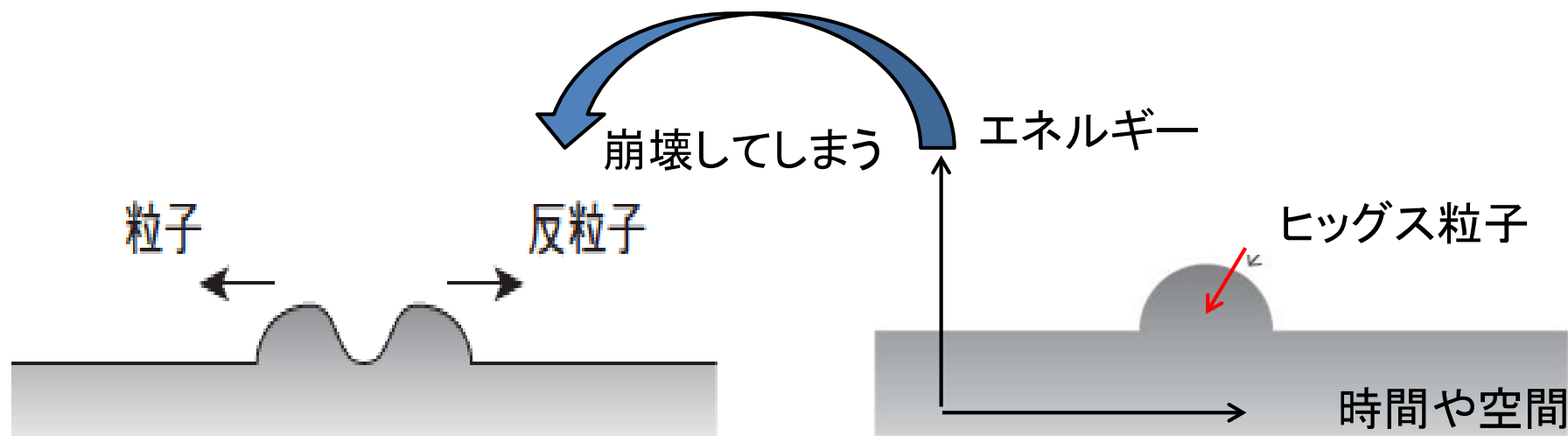


LHC加速器 高いエネルギーで、粒子と反粒子を衝突: 消えて無くなり、
エネルギーだけが残る。

$E=mc^2$ エネルギーが粒子になる



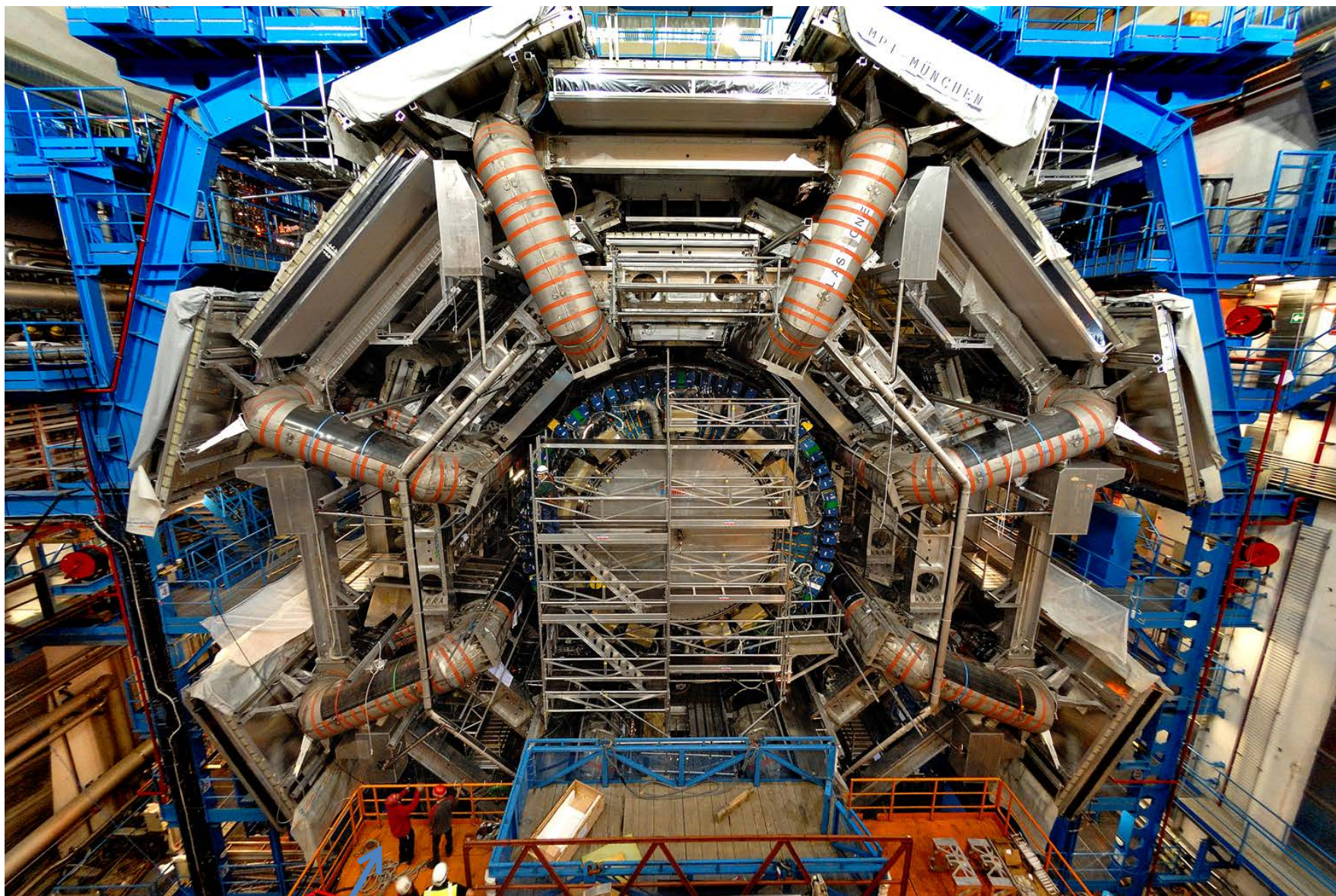
素粒子の世界では、時間逆向きのが普通に起きる。
(時間の向きを区別しない)



すぐに二つの粒子・反粒子に壊れてしまう

- 1) 壊れた残骸を探す
- 2) こうやって思うと、粒子ってなんなんでしょうね??
- 3) 反粒子って??

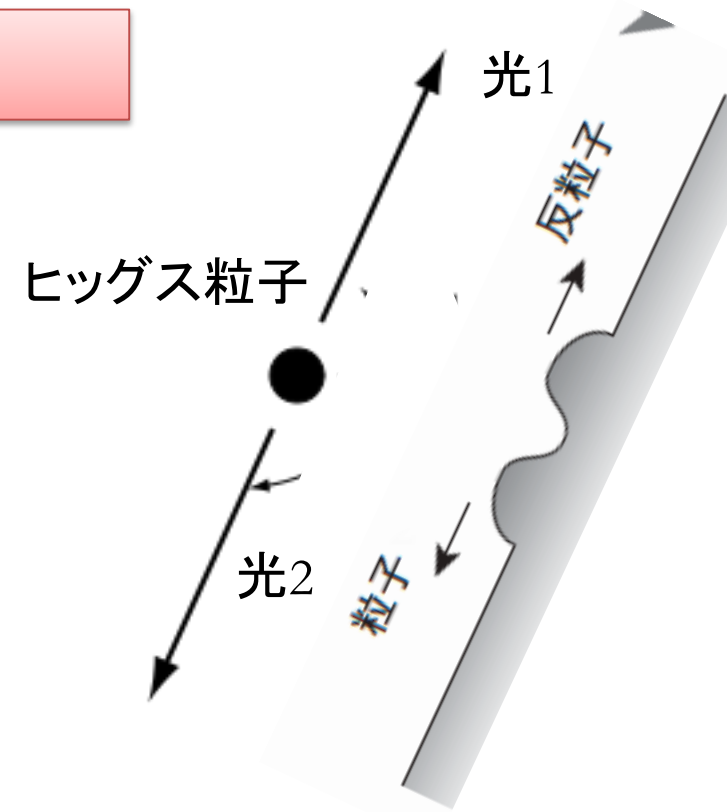
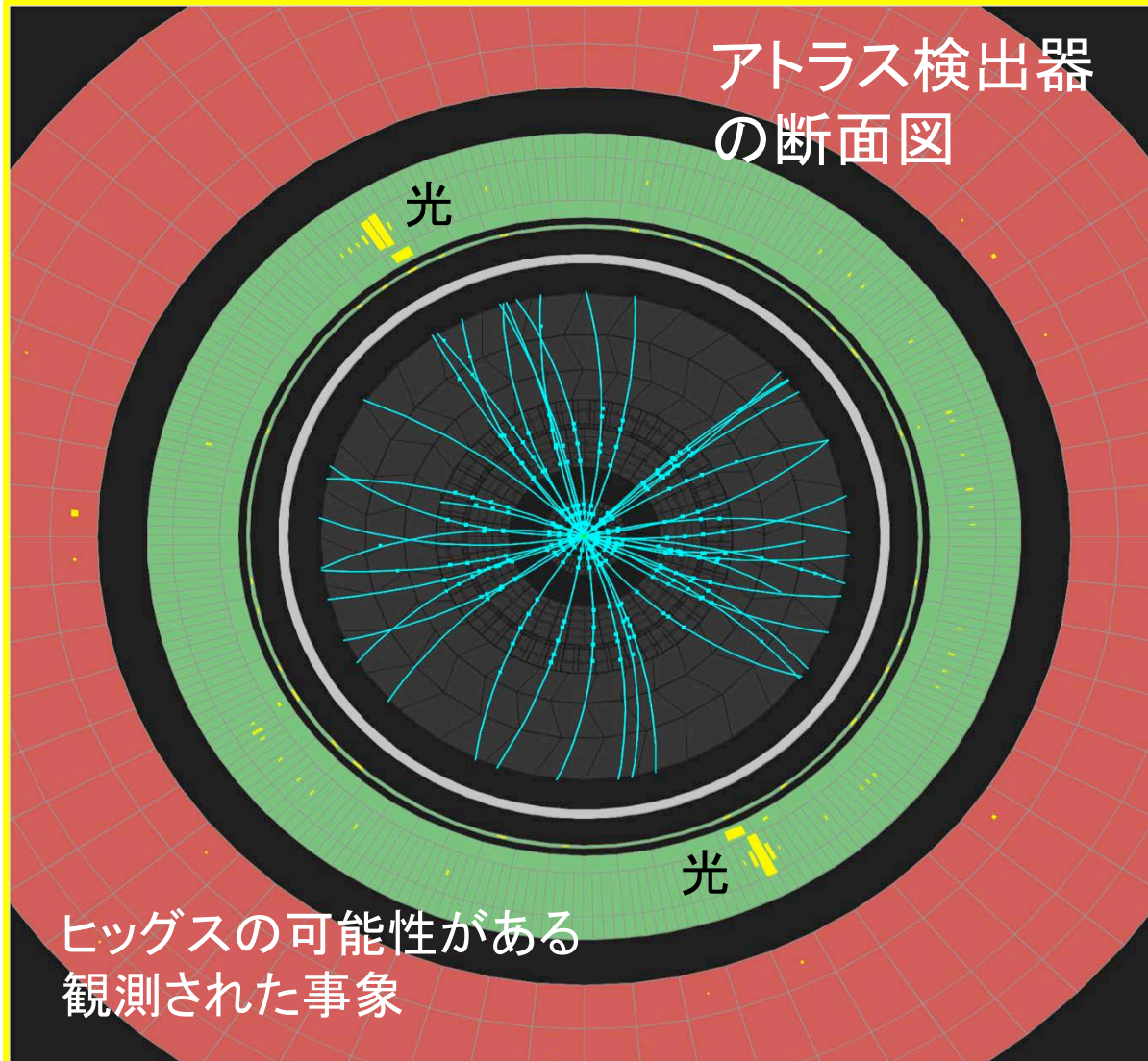
起こった素粒子反応を捕らえるアトラス検出器



何故
大きい？

ビデオ
25

ヒッグスが2つの光子に崩壊した例



二つの光のエネルギーと方向を正確に測定する。その和は、もともとの粒子のエネルギー

エネルギーと運動量保存
ここに昔何があったかが分かる

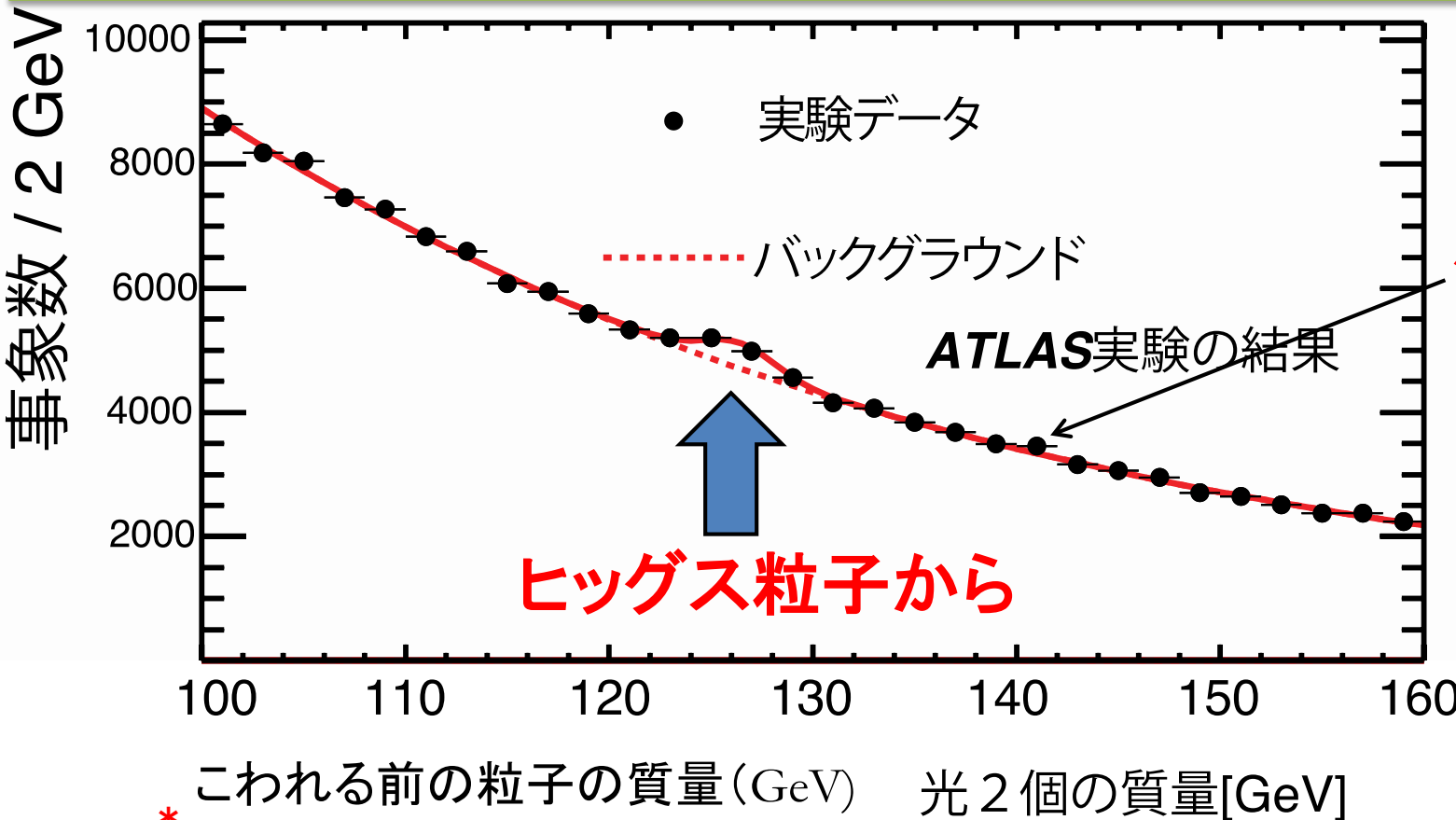
©CERN

The ATLAS collaboration (2011) Search for the Standard Model Higgs boson in the diphoton decay channel

with 4.9 fb⁻¹ of ATLAS data at $\sqrt{s} = 7$ TeV, ATLAS NOTE (ATLAS-CONF-2011-161)

<https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/CONFNOTES/ATLAS-CONF-2011-161/>

約2600兆回の衝突の中から光が2個ある現象を探し出してくる



**バックグラウンド
偽物反応:**
ヒッグスから
ではないけど
似た現象 (2個の光が
出ている。)
2個の光は
無相関にでてるので
質量は
バラバラになる。

ATLAS Experiment © 2017 CERN

よく、新聞に確率が書いてあったけど。。

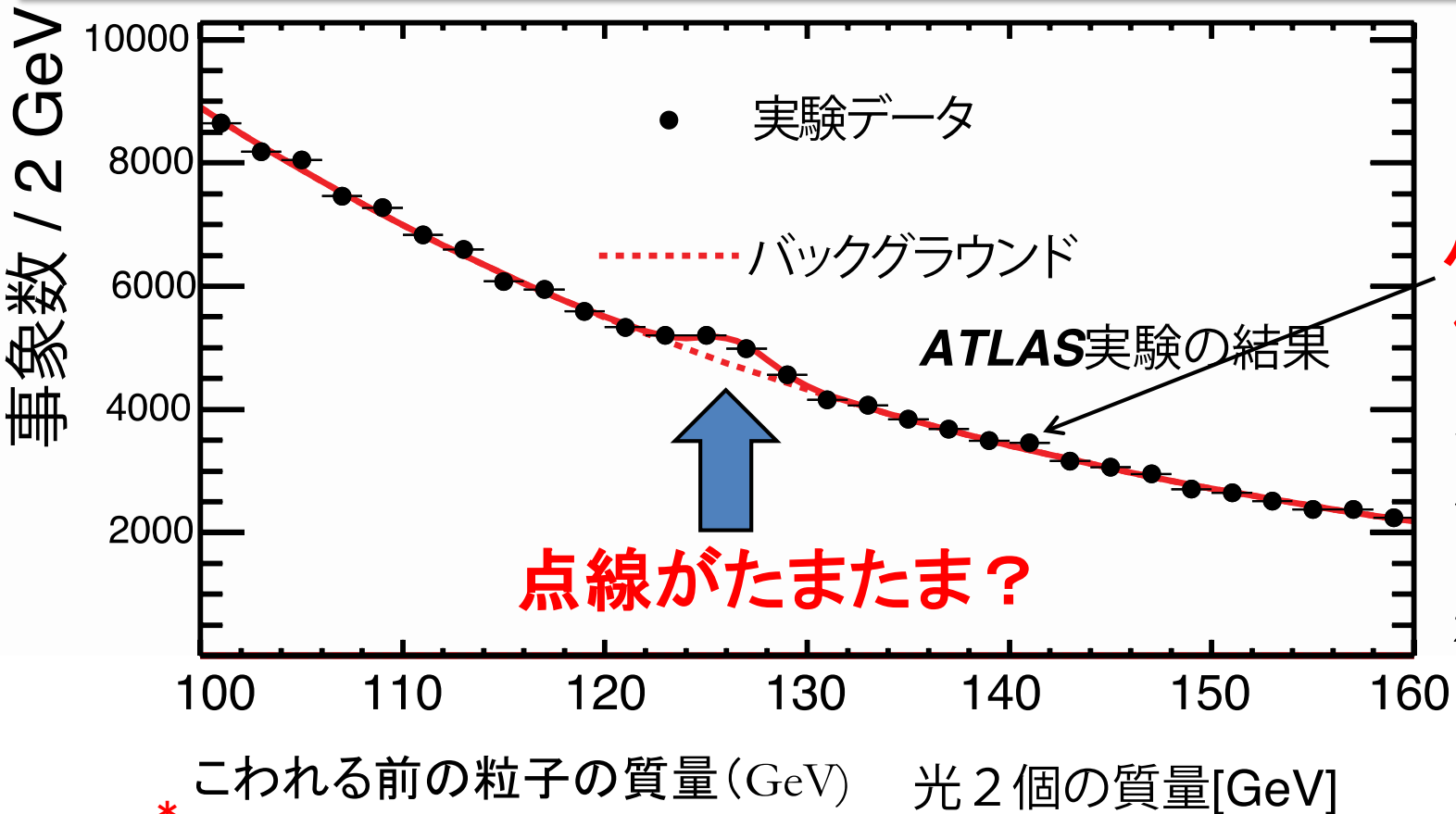
著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除し
ました

2011年12月読売新聞
見出し:ヒッグス粒子の存在 確率
99.98%

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除し
ました

2012年7月東京新聞
見出し:ヒッグス粒子 ほぼ確認 国
際チーム99.9999%

約2600兆回の衝突の中から光が2個ある現象を探し出してくる



**バックグラウンド
偽物反応:**
ヒッグスから
ではないけど
似た現象 (2個の光が
出ている。)
2個の光は
無相関にでてるので
質量は
バラバラになる。

ATLAS Experiment © 2017 CERN

素粒子反応: 確率現象
偽物反応が「たまたまヒッグス粒子から」のようになってしまふことがある。
その確率が 100万分の1以下になるまで、**“地道に”実験を繰り返す。**
(これが「発見」の条件)

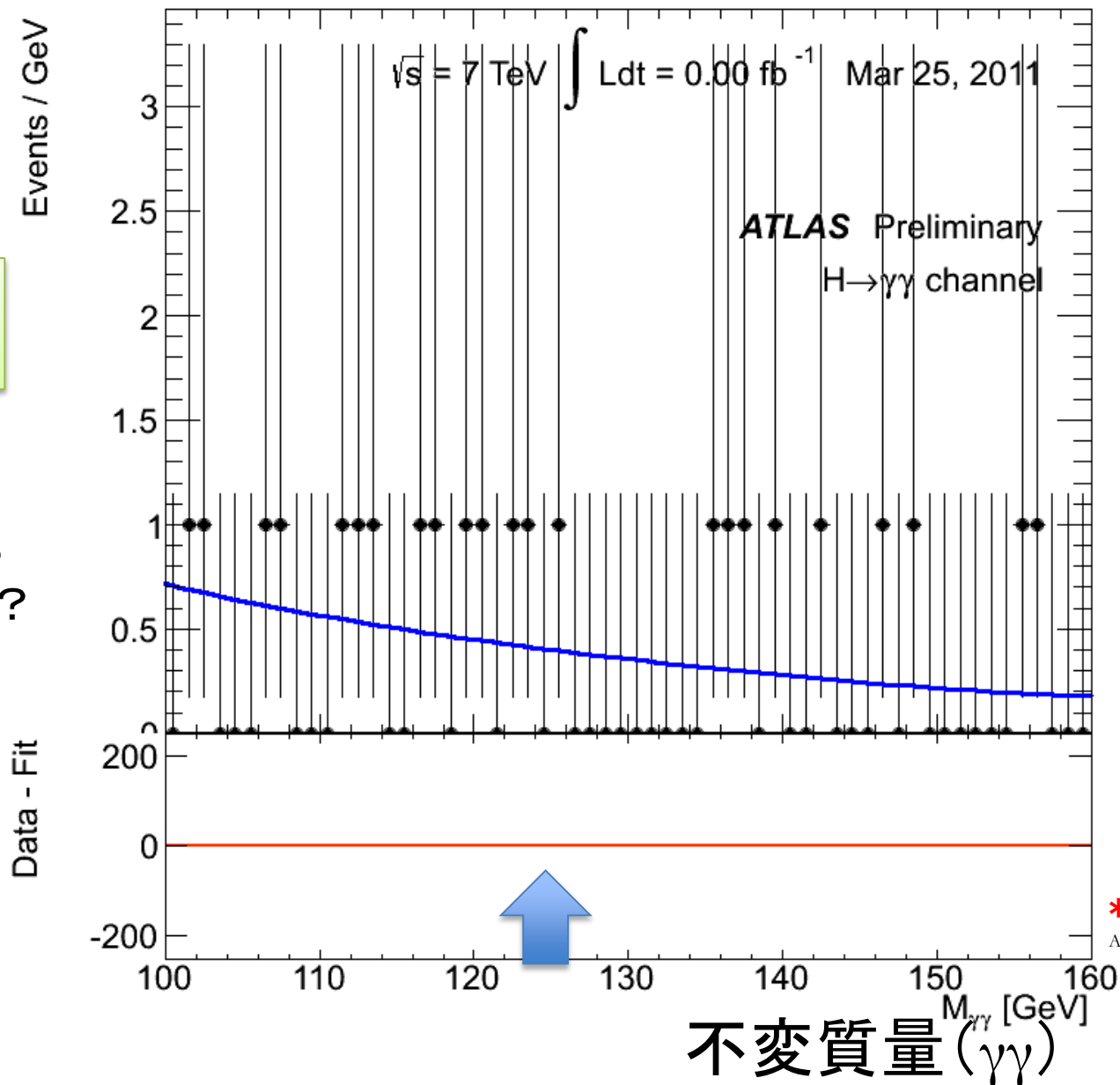
神様はさいころ遊び大好き



Photo by Gaz, from Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dice.jpg>
CC BY-SA 3.0

本当の
実験データ

どこら辺から
確信持つか？



ヒッグス粒子発見の意義

新聞やTVが言うように
「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

物質を形作る素粒子
クォーク・レプトン

力を伝える素粒子
ゲージ粒子

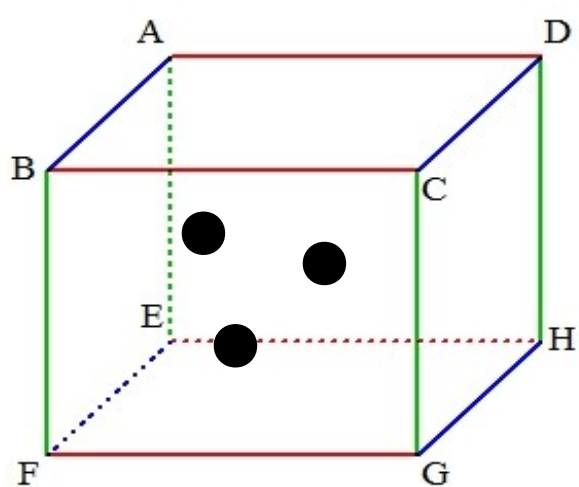
質量を生み出す
真空:ヒッグス場

容れ物なので
宇宙全体にひろがっている

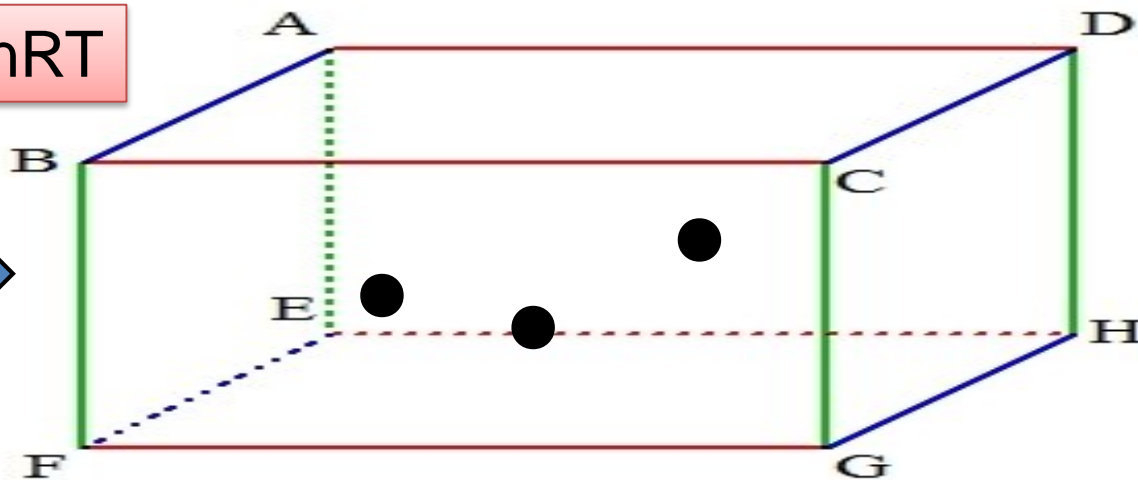
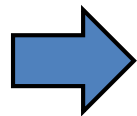
「真空」の意味

真空が「真の空」でなく、何か詰まった不思議な状態

(何か? **ニュートリノの電荷(弱い力)をもった**
のっぺりしたもの:宇宙全体に一様に、方向もなく)
その**エネルギー**が宇宙を生み、**進化**させていった。
宇宙の誕生に密接に関係



$$PV=nRT$$



* まいづれ小城市
https://ogi.mypl.net/mp/sakuraoka_ogi/?sid=53978
 #totop
 「切り羊羹」写真: 八頭司伝吉本舗

粒子の描像

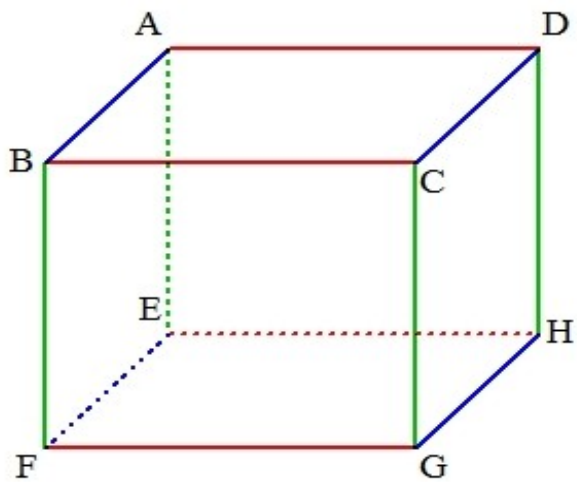
ヒッグス場(真空)の描像

ようかんを切ることを想像してください



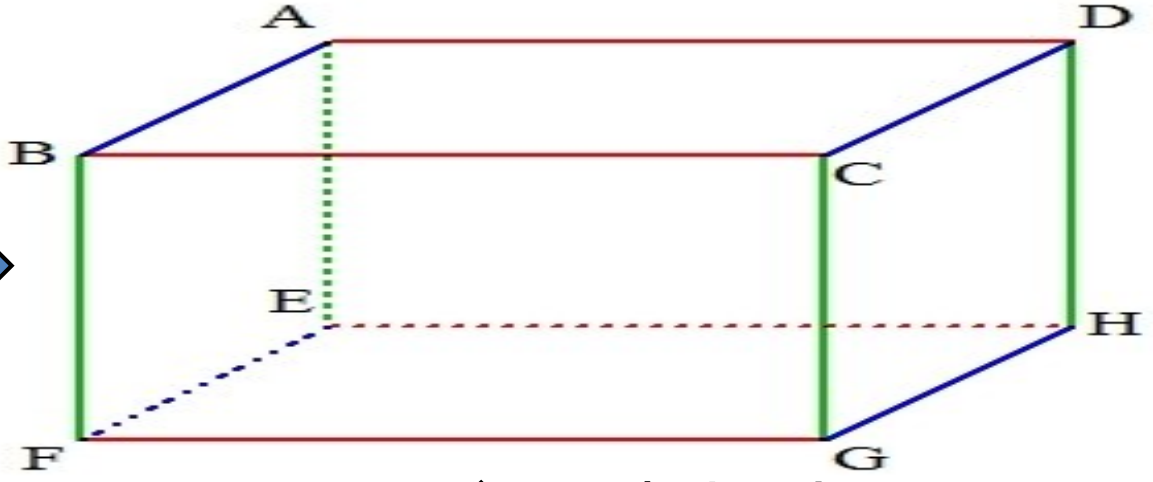
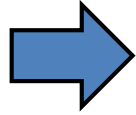
なんかだまされた感じが
 するのが、
 真空のエネルギーの
へんさ

不思議な真空のエネルギー



真空のエネルギーの密度

体積が2倍



エネルギーの密度 変わらない
体積 * 密度 = エネルギーが2倍

???

宇宙のインフレーション膨張にしたがって、体積が大きく

エネルギーがどんどん増加 → **ビッグバンがすごい** ことになった！！！！

何もなかった状態から エネルギーとモノにみちた
宇宙が誕生した！！！！

宇宙の誕生の謎に迫る成果

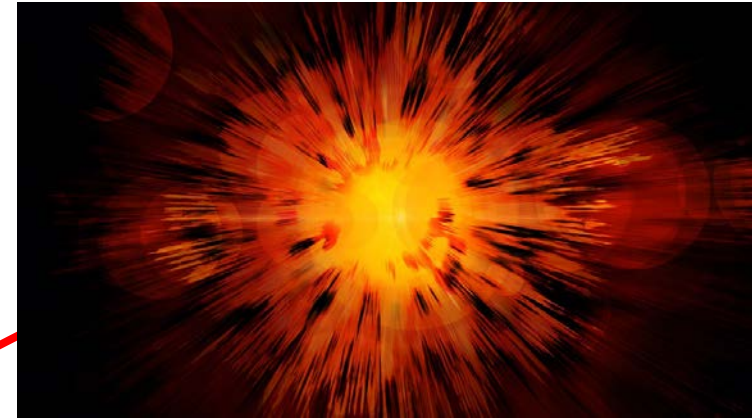
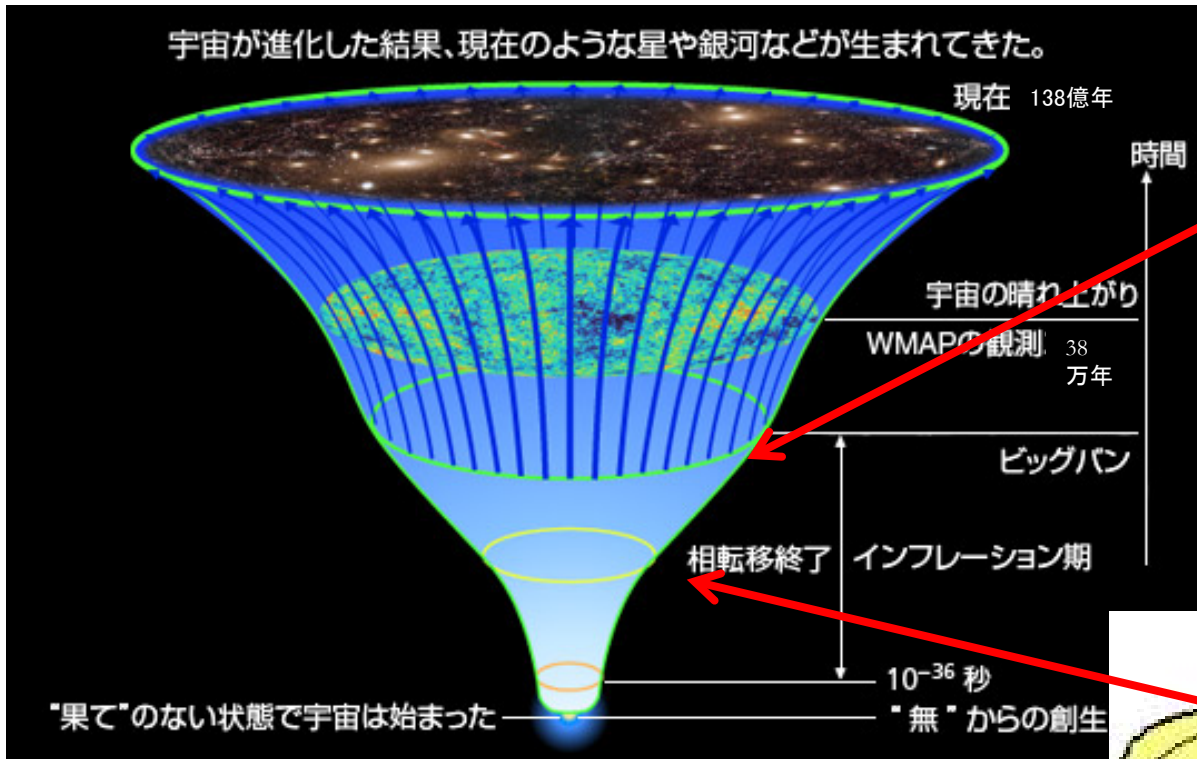
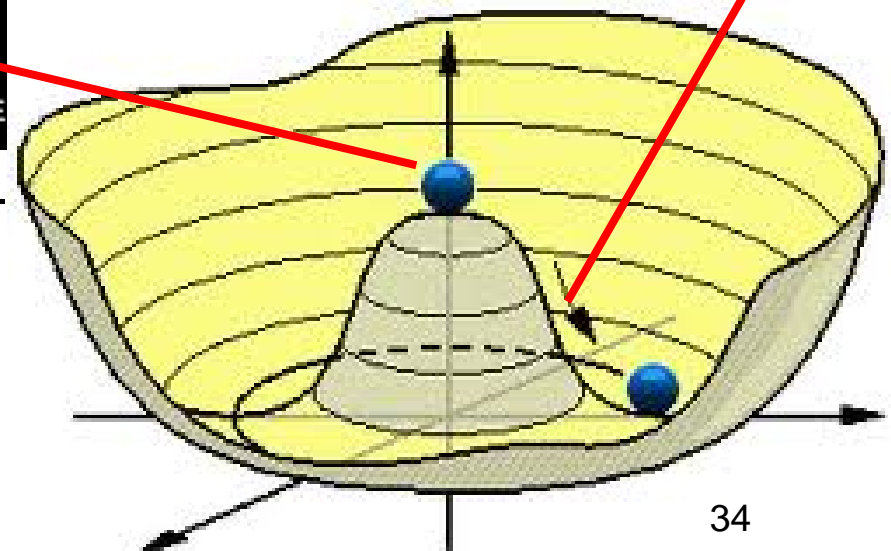


Image by geralt, from pixabay
<https://pixabay.com/en/big-bang-explosion-pop-fireball-1709219/>
CC0

落ちた分のエネルギー
「ビッグバン」

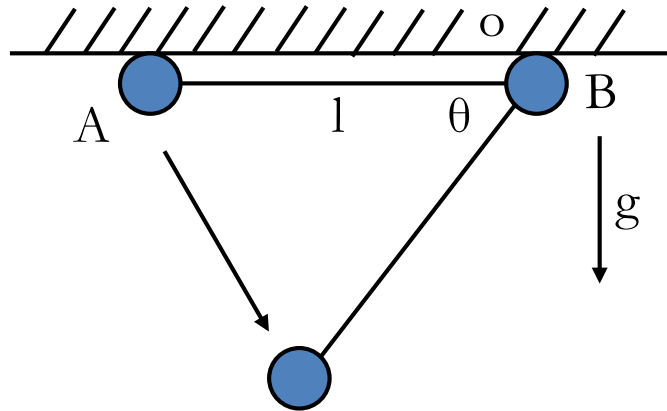


* 提供: 学術振興会学術システム研究センター長佐藤勝彦先生

インフレーションを起こすエネルギー

今回見つかったヒッグスではないですが、
インフラトン(「色付きヒッグス?」)
が、同じように、インフレーション、ビッグバンを
起こした考えられています。

物理の時間にならった エネルギー・運動量 保存則は？



始まりや端があったら
エネルギーや運動量は
保存しない。

時間 t や座標 x の原点を動かしても
物理法則は変わらない
→ 保存

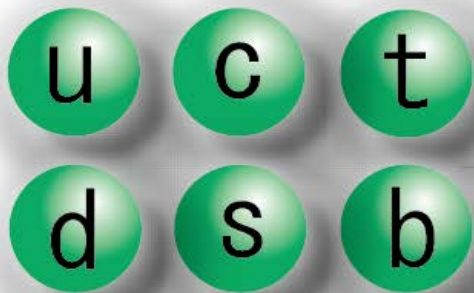
休憩 質問の時間

ヒッグス粒子が発見で、
 標準理論が完成
 めでたし、めでたし??

問題点がいっぱい

標準理論

クォーク

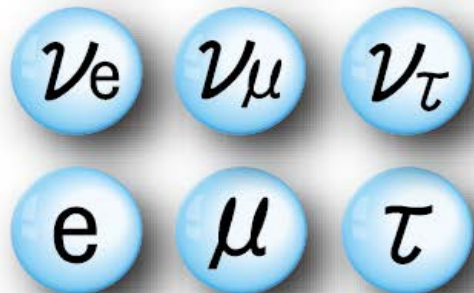


ゲージ粒子



力を伝える(3つの力)

レプトン



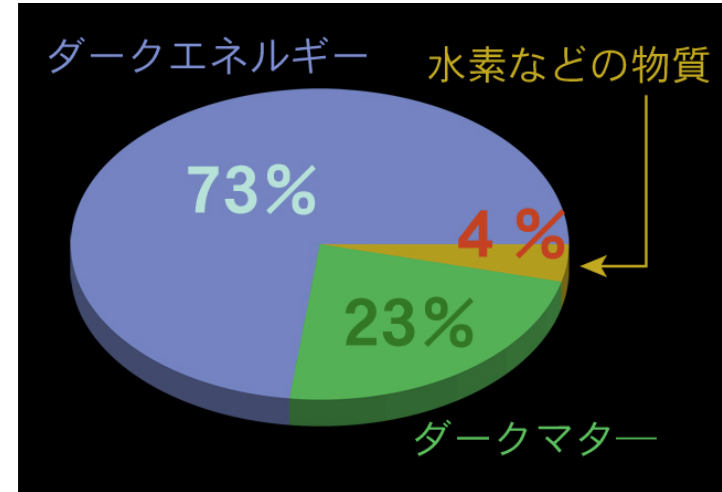
ヒッグス粒子



質量の
 起源

2012年発見

物質を形成



力の統一

宇宙誕生の
 起源

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

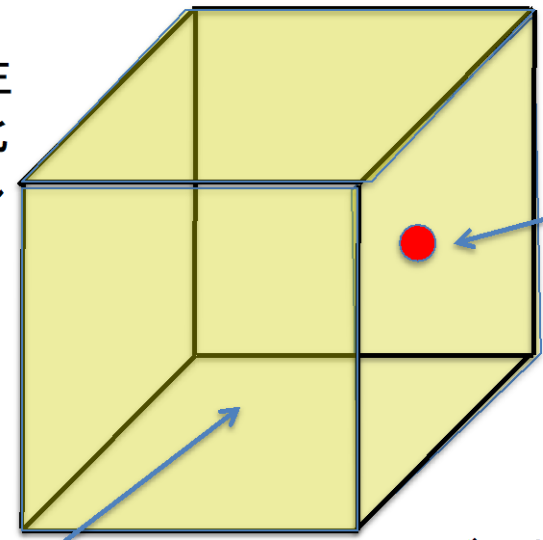
時間や空間

重力って？
暗黒物質ってなにか？
素粒子が見ている時空って？

- ・超対称性
- ・マクロな重力と
ミクロな素粒子の融合
- ・余剰次元

- ・宇宙の誕生
と進化
- ・暗黒エネルギー

宇宙の主演
暗黒エネルギー
宇宙誕生



素粒子

素粒子を使って
「時空、真空」を研究

真空

- ・ヒッグス粒子(質量の起源)
- ・自発的に対称性の破れ
→多様な宇宙

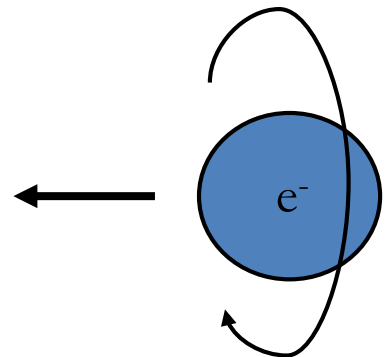
真空にヒッグス場
その変化で宇宙を変化
それ以外の真空の場もあるだろう

時空・真空は、ただの容れ物
ではなく、Dynamicなもの
宇宙誕生の謎
時空・真空自体の解明³⁸

空間と素粒子って関係あるの???

素粒子のスピンの

素粒子の回転に関係している
(角運動量=回転)



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 $1/2$

スピン 1

フェルミ粒子:物質を形成

ボーズ粒子:力を伝える

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

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

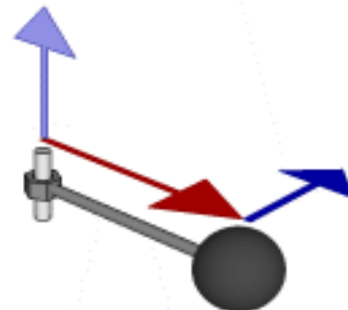


Image from Wikipedia Commons

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)

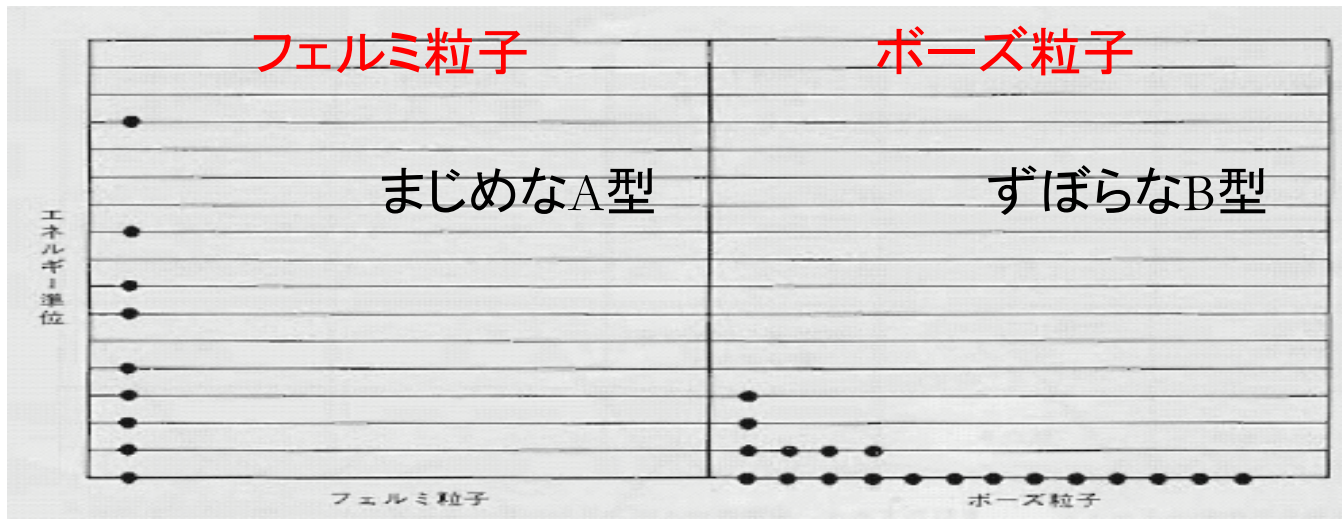
フェルミ粒子 (半整数スピン)

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回転対称のような世界

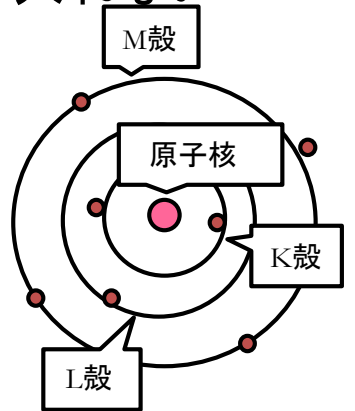
スピン:素粒子固有の性質であると同時に、空間の見え方を表している



血液型で言えば
A型とB型だと
思って下さい

藤井昭彦編『統一理論への歩み』
(別冊サイエンス; 55. 特集素粒子)
東京: 日経サイエンス社
1982.11
p. 96 フェルミ粒子とボーズ粒子の
エネルギー準位
『別冊サイエンス; 85 標準理論を超えて』
(日経サイエンス, 1988)

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

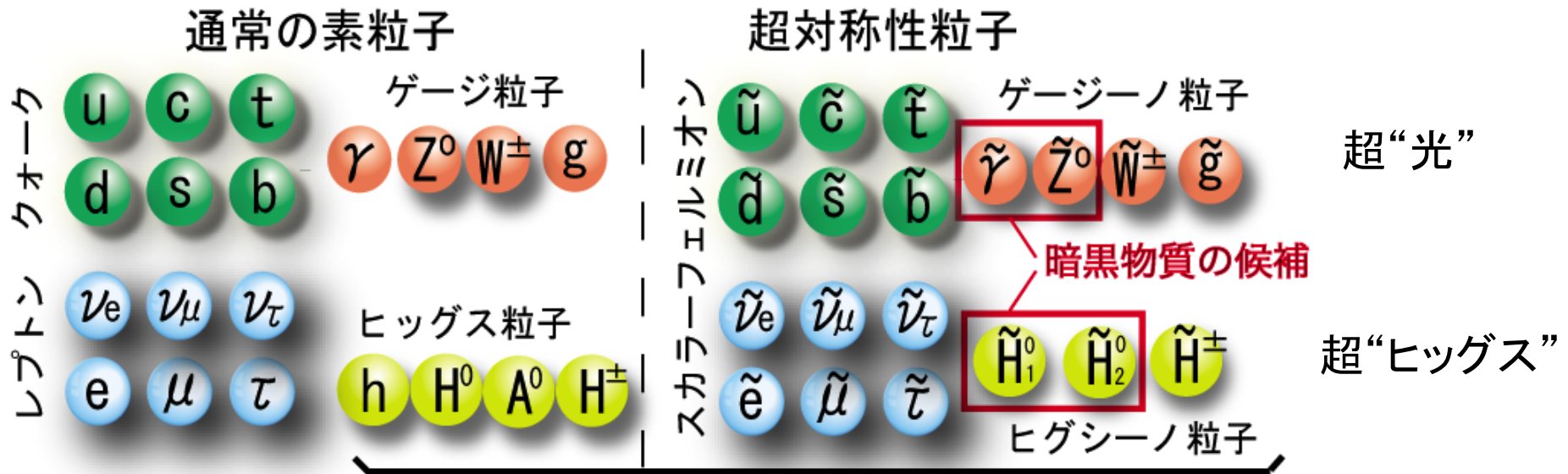
力を伝える粒子
ボーズ粒子とよばれ スピン 1
同じ状態にいくつでも入れる
一個ぐらい消えてもいい
自由に生成あたり、消滅したり出来る
力を伝える性質

フェルミ粒子・ボーズ粒子の区別が様々な問題を引き起こす

ボーズ粒子とフェルミ粒子は必ず対になっている

ちよ〜 “超” 対称性

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



ヒッグス、超対称性粒子は未発見

超対称性の利点 → 宇宙の暗黒物質の解明:
 → 力の大統一

ボーズ粒子とフェルミ粒子は必ず対になっている

ちよ〜 “超” 対称性

スピン: 素
“時空”と“素





超”対称性

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

超“光”

テレビドラマ『半沢直樹』の画面

超“ヒッグス”

- クォーク 
- クォーク 
- レプトン 
- レプトン 

ヒッグス、超対称性粒子は不発見

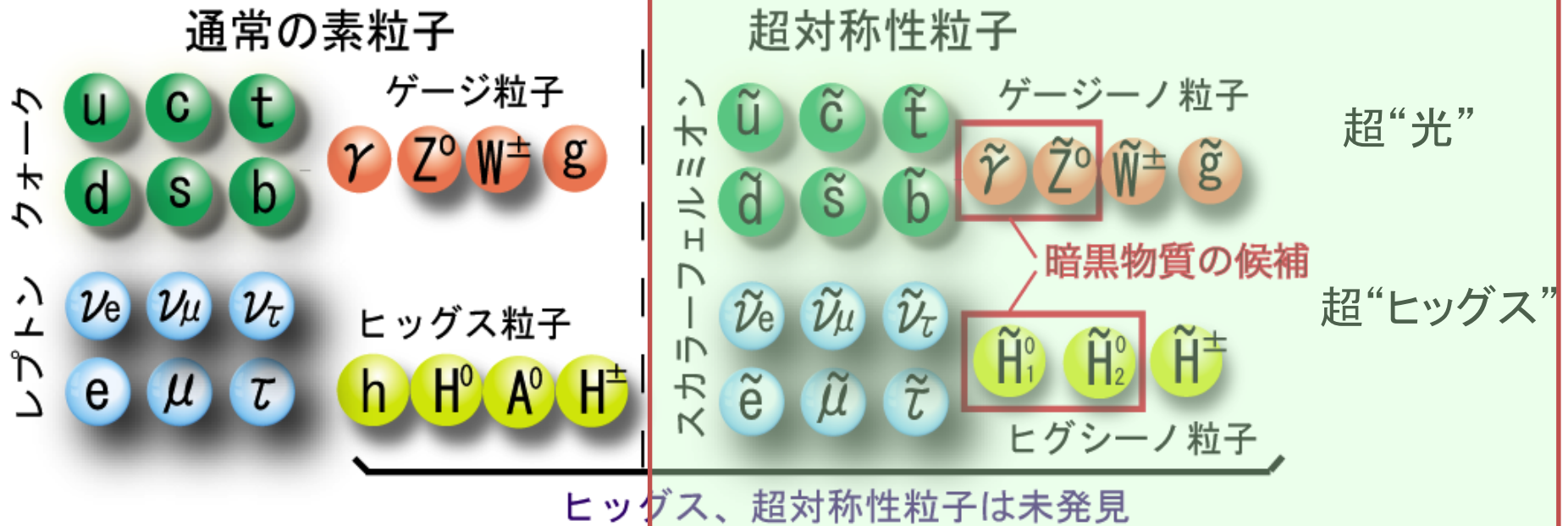
少し難しいですが「対称性と関係している」

時間の両方向性 → 反物質 素粒子が見る空間は3次元でない⁴²

*

ICEPP
<http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/tokutei/overview/significance.html>

でも、ボーズ粒子電子やフェルミ粒子光を見たことないぞ



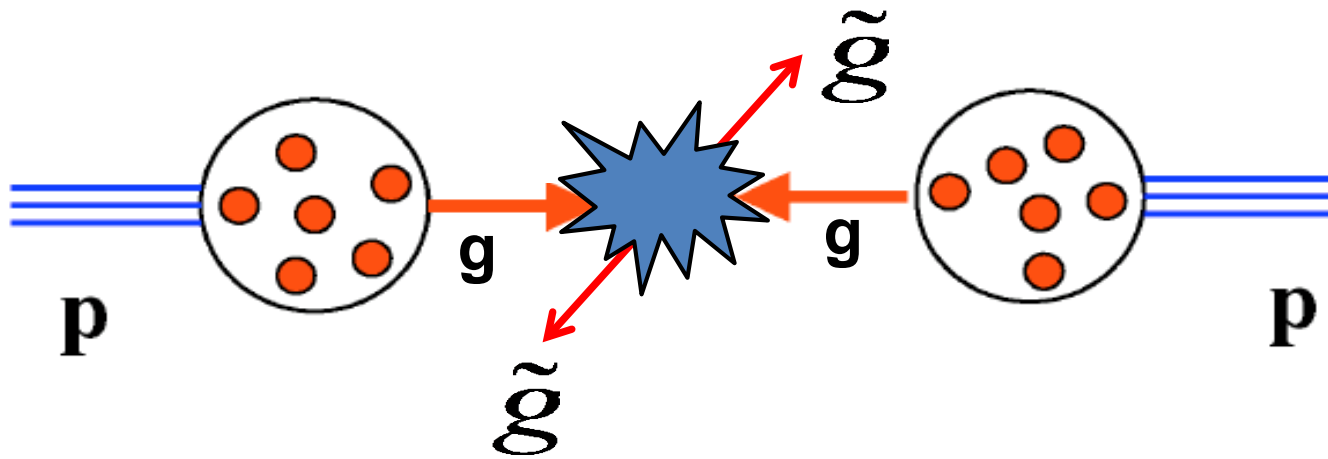
こっち側が～100倍程度重くなっている?!?

$E=mc^2$ 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!!!

*
 ICEPP
<http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/tokutei/overview/significance.html>

LHCの衝突エネルギーを約2倍に増強

もう2週間ほどで
はじまります



超対称性粒子

スケラールフェルミオン

\tilde{u} \tilde{c} \tilde{t}

\tilde{d} \tilde{s} \tilde{b}

$\tilde{\nu}_e$ $\tilde{\nu}_\mu$ $\tilde{\nu}_\tau$

\tilde{e} $\tilde{\mu}$ $\tilde{\tau}$

スピン 0

ゲージノ粒子

$\tilde{\gamma}$ \tilde{Z}^0 \tilde{W}^\pm \tilde{g}

スピン 1/2

ヒグシーノ粒子

\tilde{H}_1^0 \tilde{H}_2^0 \tilde{H}^\pm

スピン 1/2

村山先生曰く 陽子は豆大福。

小豆のような

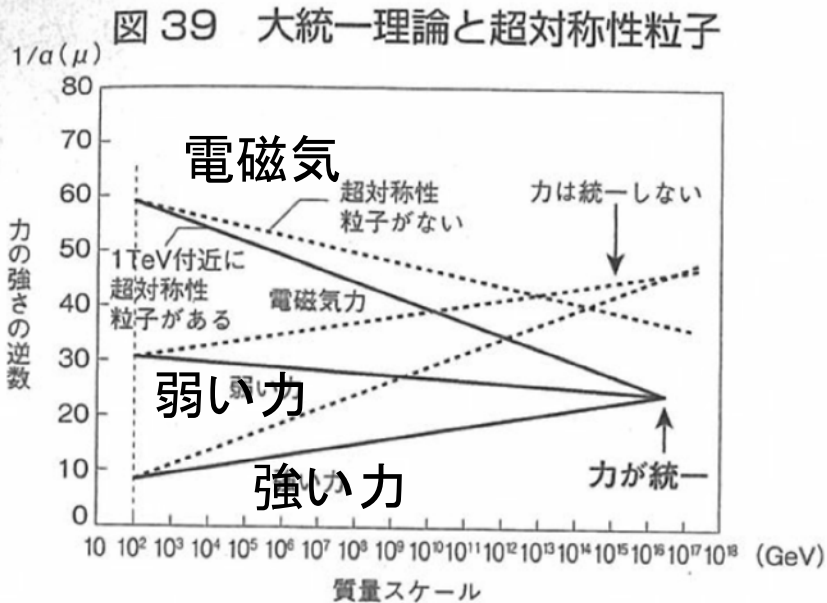
グルーオンやクォーク同士が衝突して、
スカラー・クォークやグルーノを作る。



*
提供: 高由貴子氏

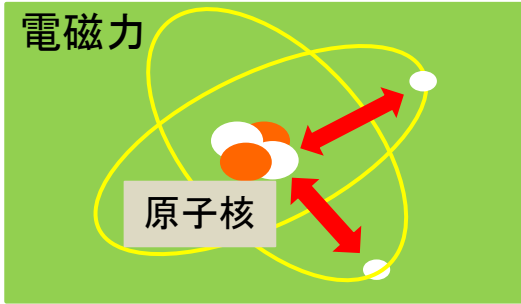
超対称性すごい 大統一・超統一

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、

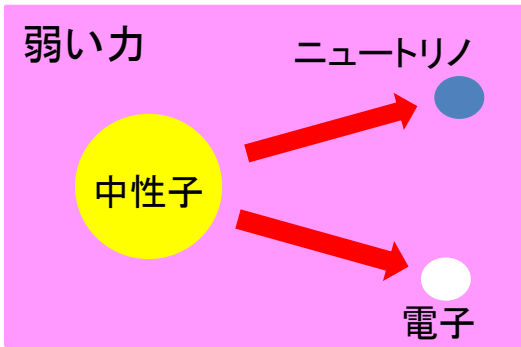


実験から超対称性粒子が存在すれば、電磁気力・強い力・弱い力が統一し、大統一理論が成り立つことが分かっている。

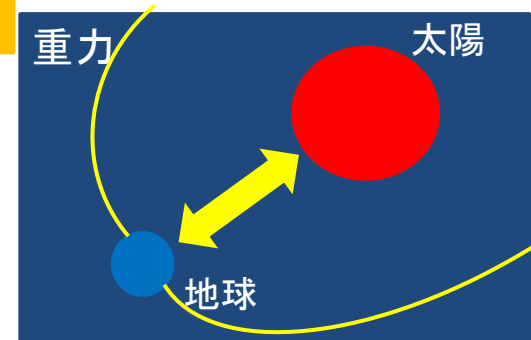
* 浅井祥仁『ヒッグス粒子の謎』(祥伝社、2012年)
http://www.s-book.net/plsql/slib_detail?isbn=9784396112905
 P179 図39 大統一理論と超対称性粒子



自然に存在する
4つの力のうち



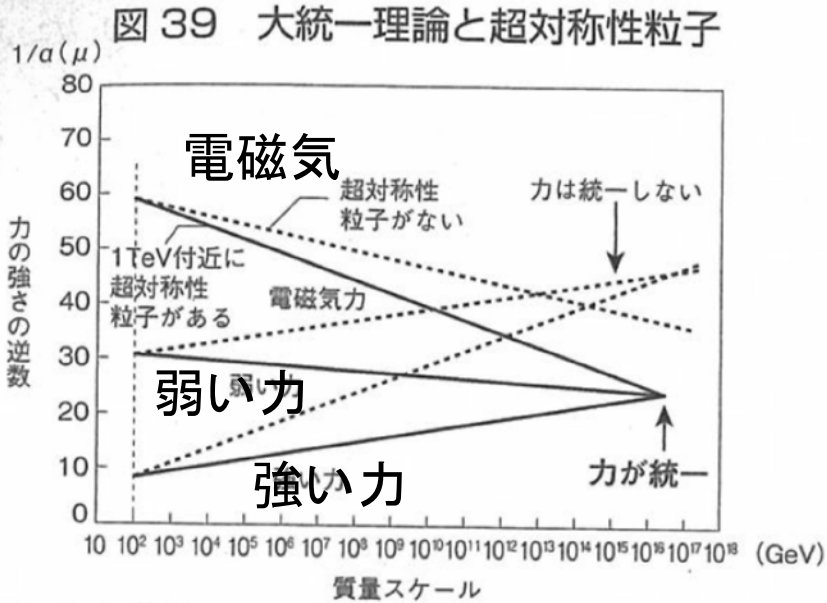
電磁気力
弱い力
強い力
の強さを測定する。
「強さ」は、宇宙の
温度を高くしていくと
変化する。



3つの力がひとつだった！

その感動してない君

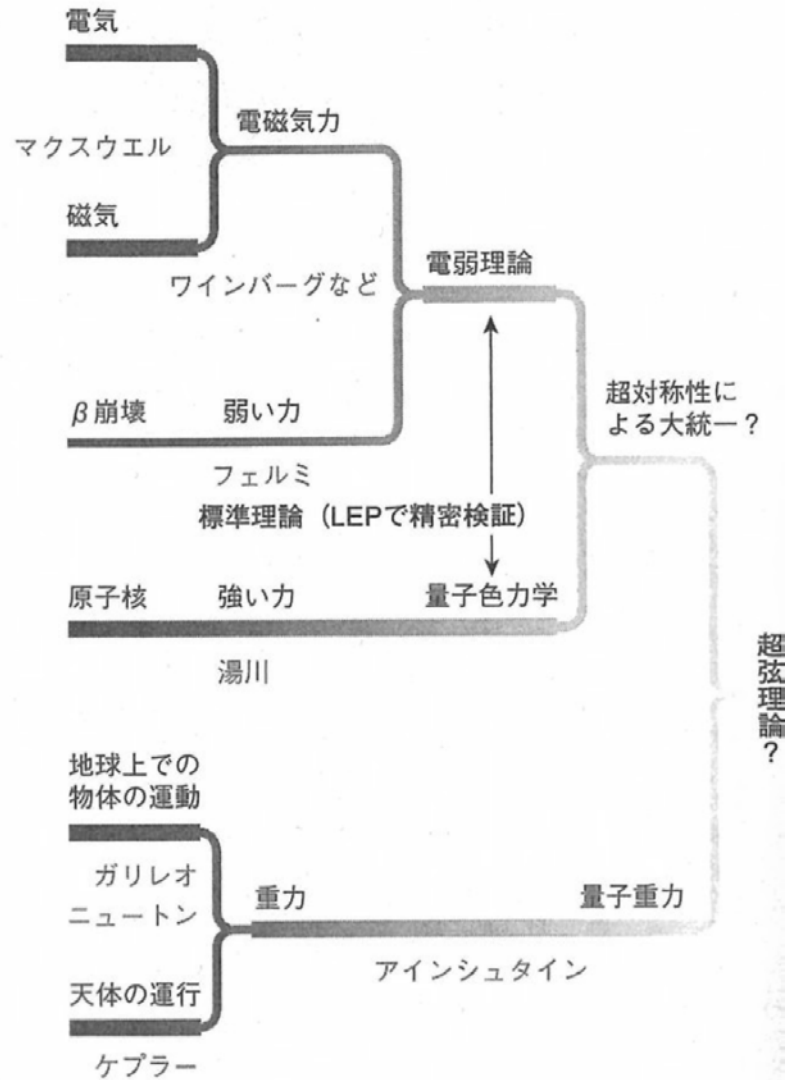
力の強さは、どんな種類の粒子がいるかで変化する。
“超”粒子がいると、



実験から超対称性粒子が存在すれば、電磁気力・強い力・弱い力が統一し、大統一理論が成り立つことが分かっている。

* 浅井祥仁『ヒッグス粒子の謎』(祥伝社、2012年)
http://www.s-book.net/plsql/slib_detail?isbn=9784396112905
 P179 図39 大統一理論と超対称性粒子

図 40 物理学は「統一」の歴史

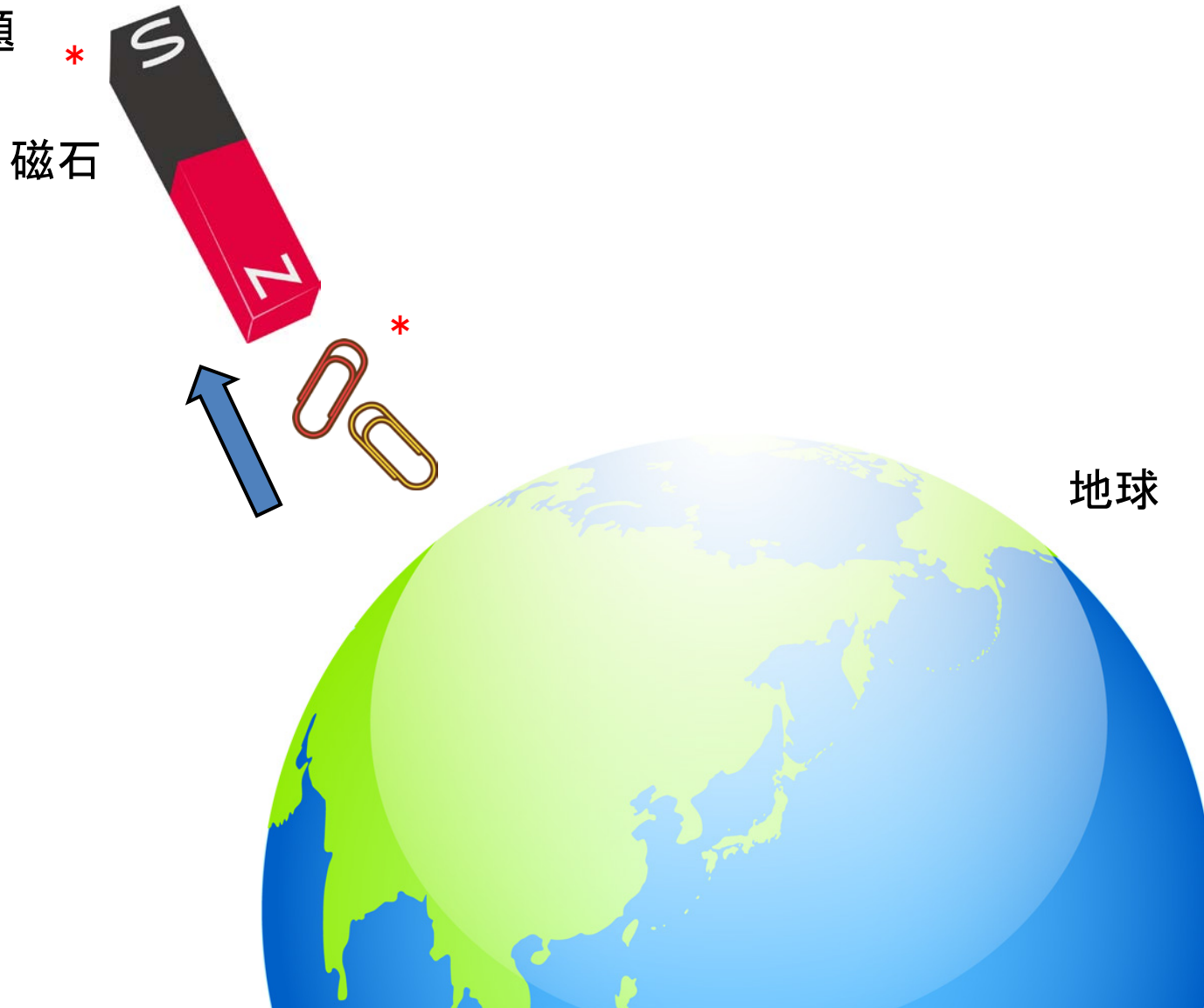


* 浅井祥仁『ヒッグス粒子の謎』祥伝社新書、2012年
http://www.s-book.net/plsql/slib_detail?isbn=9784396112905
 P181 図40物理学は「統一」の歴史」

最後に 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}

階層性問題

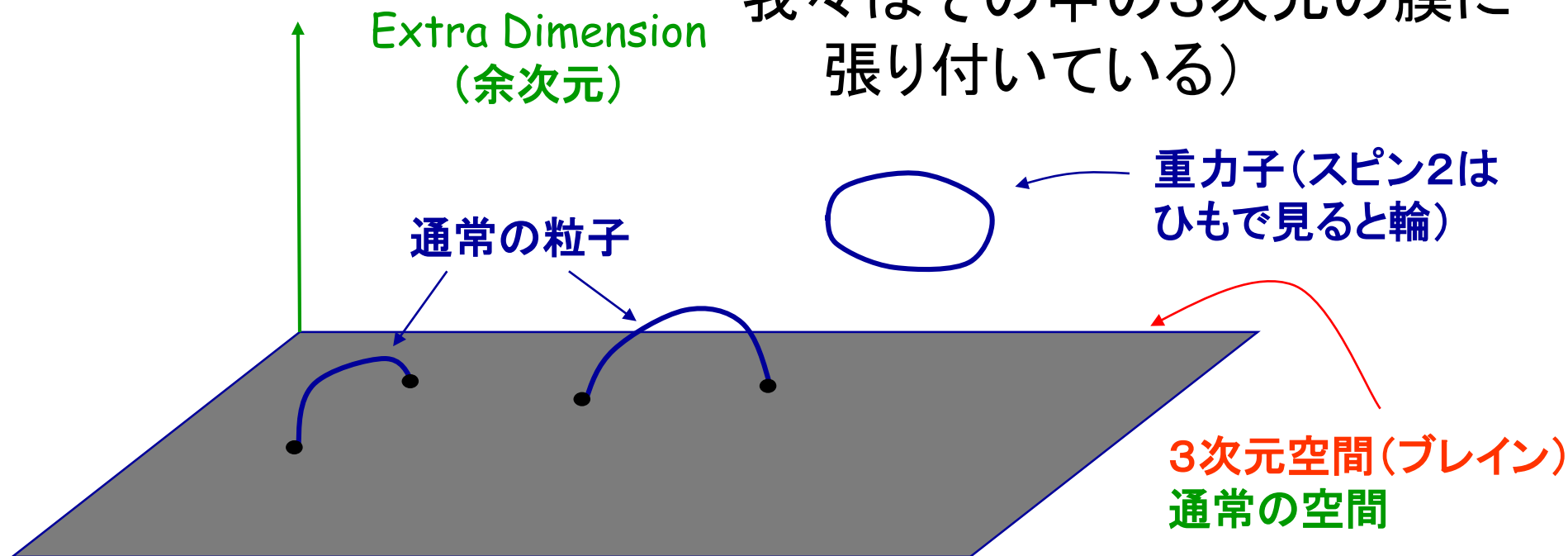


*
Image from GATAG

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))

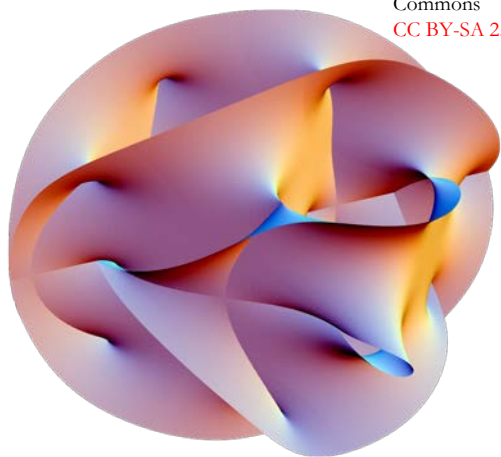
我々はその中の3次元の膜に張り付いている)



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 → 重力が弱くみえる。

余剰次元は
コンパクトに縮まっていて
みえない。

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Calabi-Yau.png>
Image by Lunch, from Wikimedia Commons
CC BY-SA 2.5



余剰次元が6次元の
場合はふしぎな形

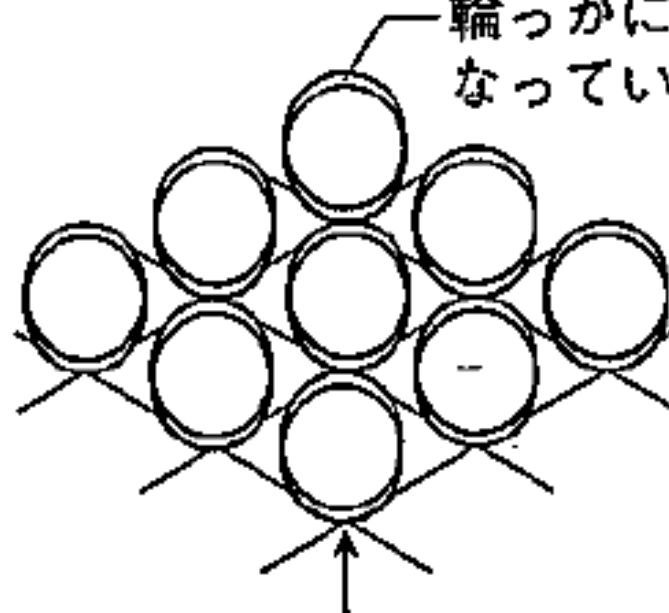
これの大きさが不明

10^{-35}m くらいかもしれないし 10^{-19}m と大きいかもしれない

余剰次元が1次元の場合は輪

● 5次元の形

5次元めは
輪っかにな
っている



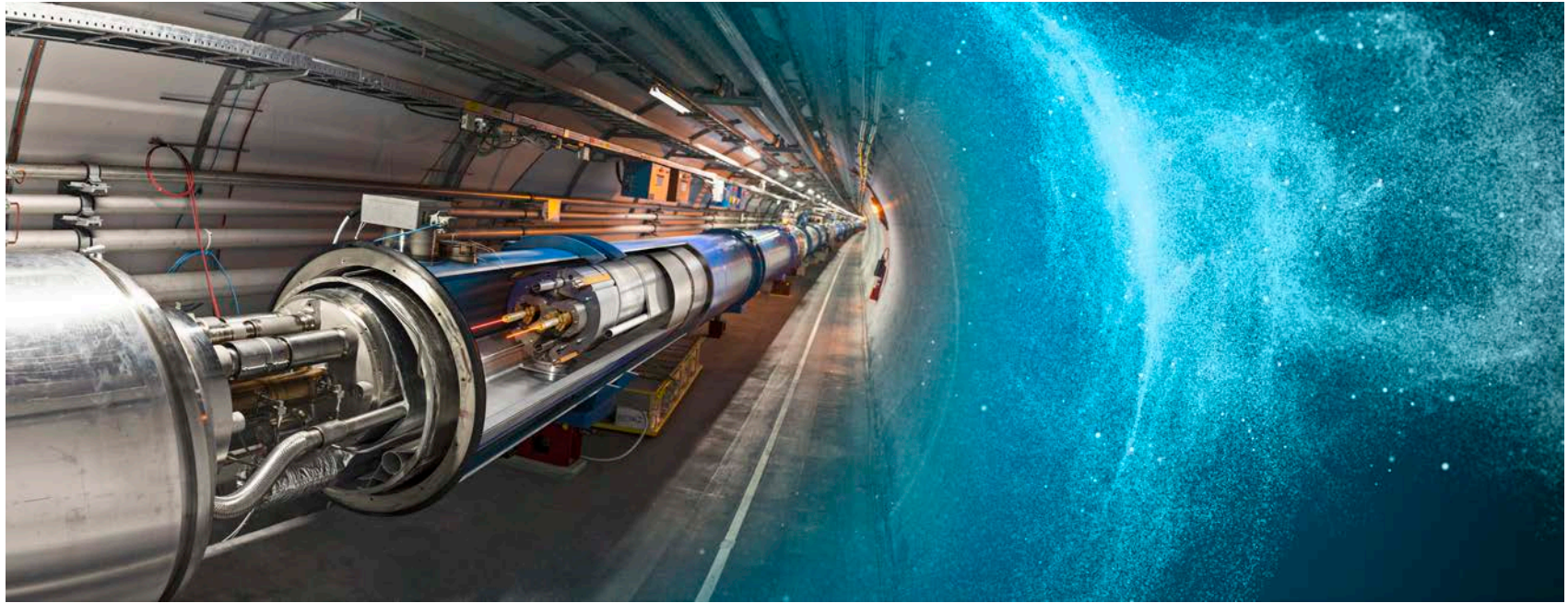
3次元空間における
ミクロの1点

*

浅井祥仁『ヒッグス粒子の謎』祥伝社新書、2012年
http://www.s-book.net/plsql/slib_detail?isbn=9784396112905
P189 図43余剰次元(エクストラ・ディメンション)

10^{-35}m だと ヒッグス粒子が不安定
 10^{-19}m 程度だと 安定

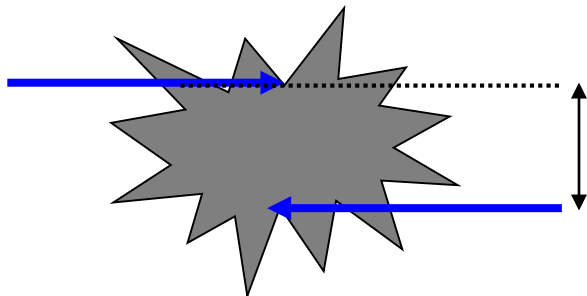
もし、**大きさが 10^{-19}m** だとLHCで効果が見える。LHCは 10^{-19}m まで見られる顕微鏡
この距離まで近づくと、残りの次元が見える。すると、重力が強くなる。



LHCの陽子加速リング・陽子同士を正面衝突させる

©CERN
<https://cds.cern.ch/record/1996997?ln=ja>

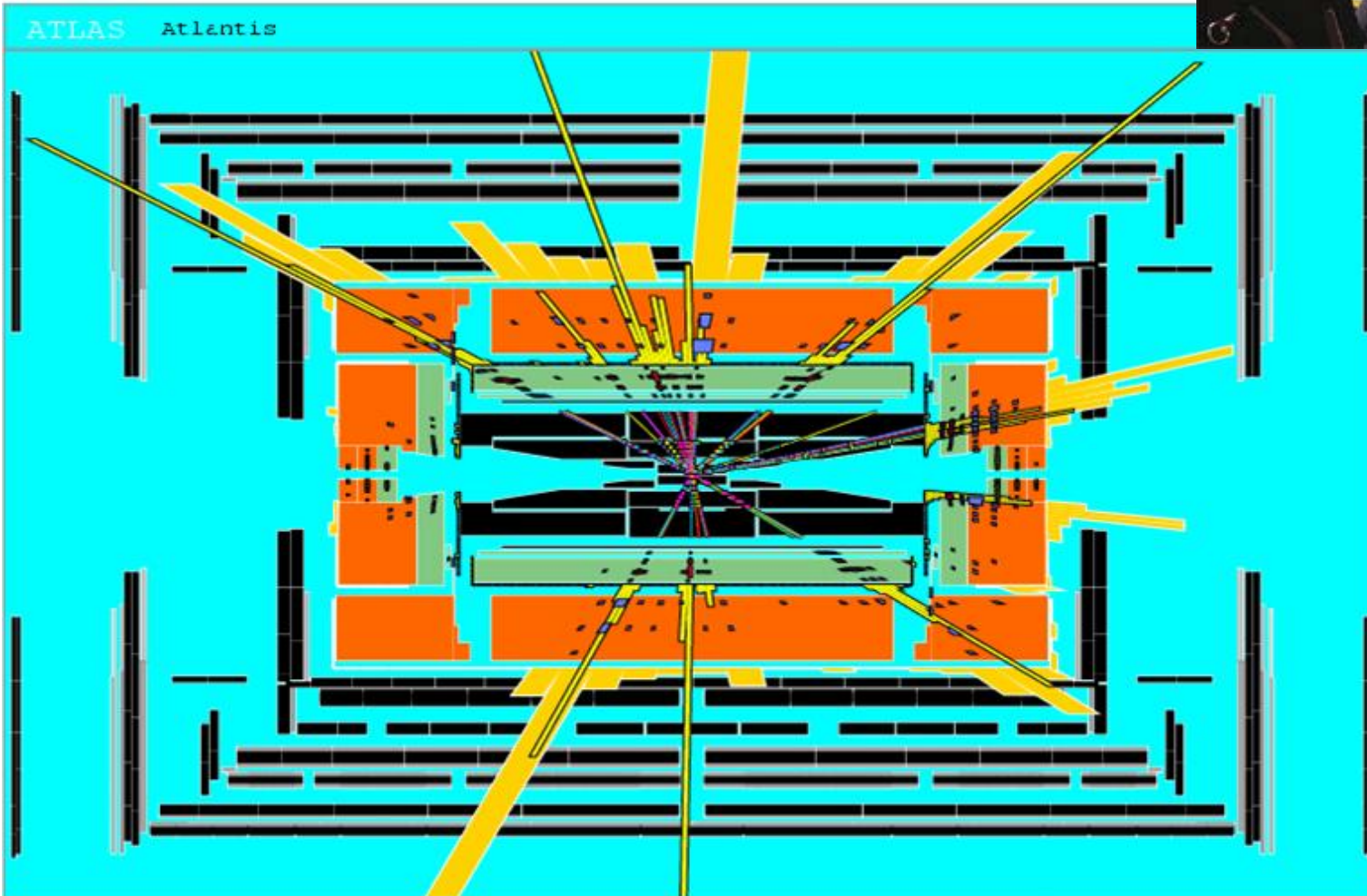
陽子の中のクォークが反対側の陽子のクォークとぶつかる距離が
ブラックホールの地平線の大きさ
(R_s シュバルツシルド半径)小さいと
 $d < R_s$ 吸い込まれてブラックホールになる。



ブラックホールはすぐにホーキング放射(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。



* <http://www.atlas.ch/news/2006/hawking-visits.html>



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)

*