

巨大加速器LHCで探る宇宙の始まり

愛知県立明和高校 出前授業

2012年7月4日

戸本 誠

名古屋大学大学院理学研究科

素粒子・宇宙物理学専攻

高エネルギー物理学研究室 (N研)

自己紹介

戸本 誠

名古屋大学大学院 理学研究科 准教授

e-mail : makoto@hepl.phys.nagoya-u.ac.jp

経歴

1990年：愛知県立松蔭高等学校 卒業

1994年：名古屋大学 理学部物理学科 卒業

1996年：名古屋大学大学院 理学研究科 博士前期課程 修了

2001年：名古屋大学大学院 理学研究科 博士(理学)

2001年：国立フェルミ研究所

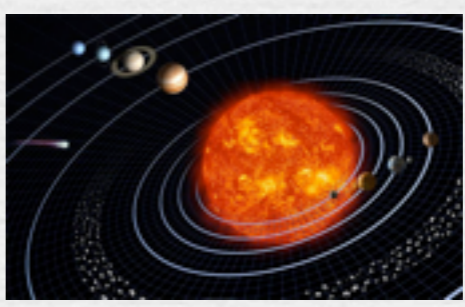
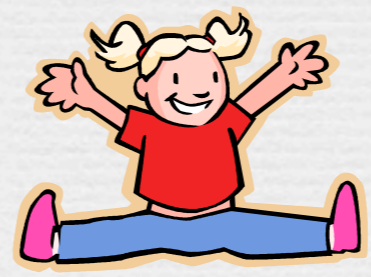
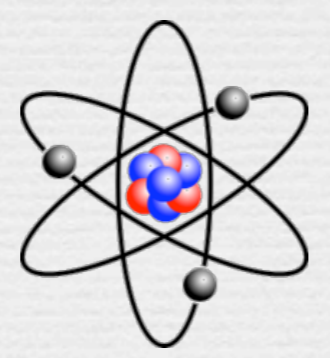
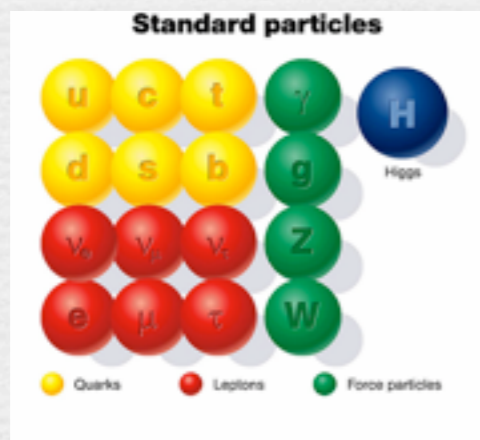
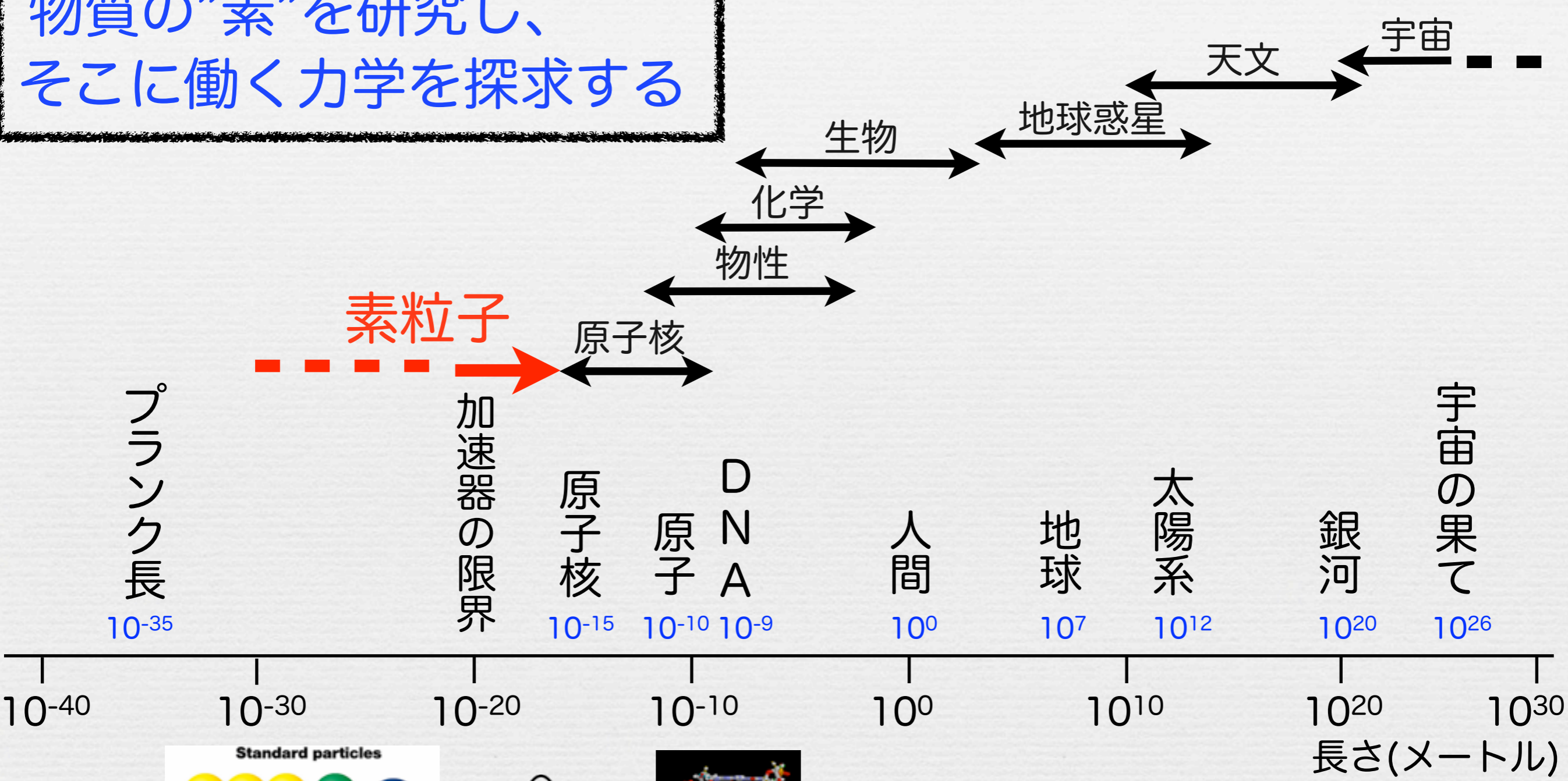
2006年：名古屋大学 大学院 理学研究科 准教授

専門分野

世界最高エネルギー加速器を使った素粒子実験

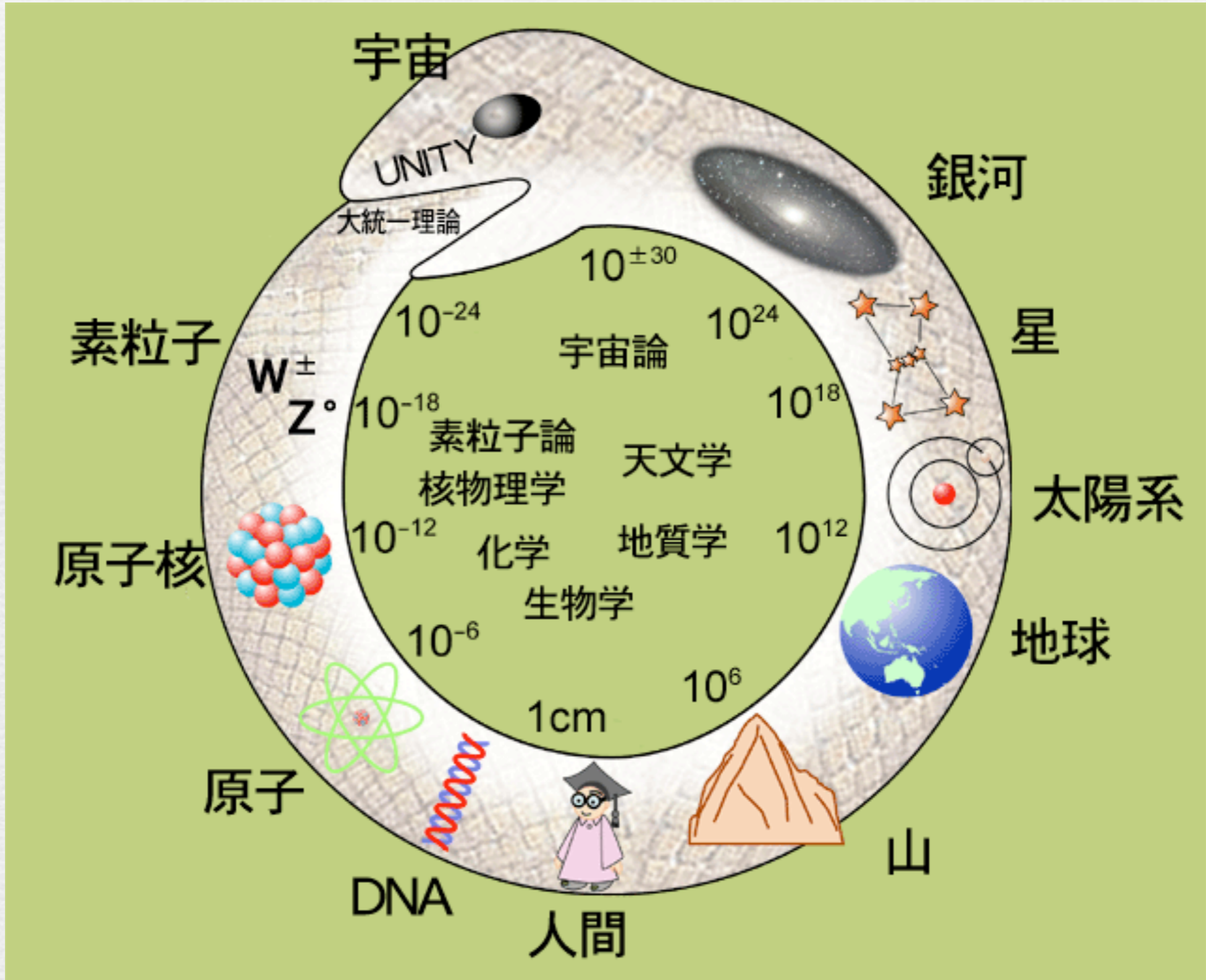
素粒子物理学で扱うスケール

物質の”素”を研究し、
そこに働く力学を探求する



素粒子物理とは、

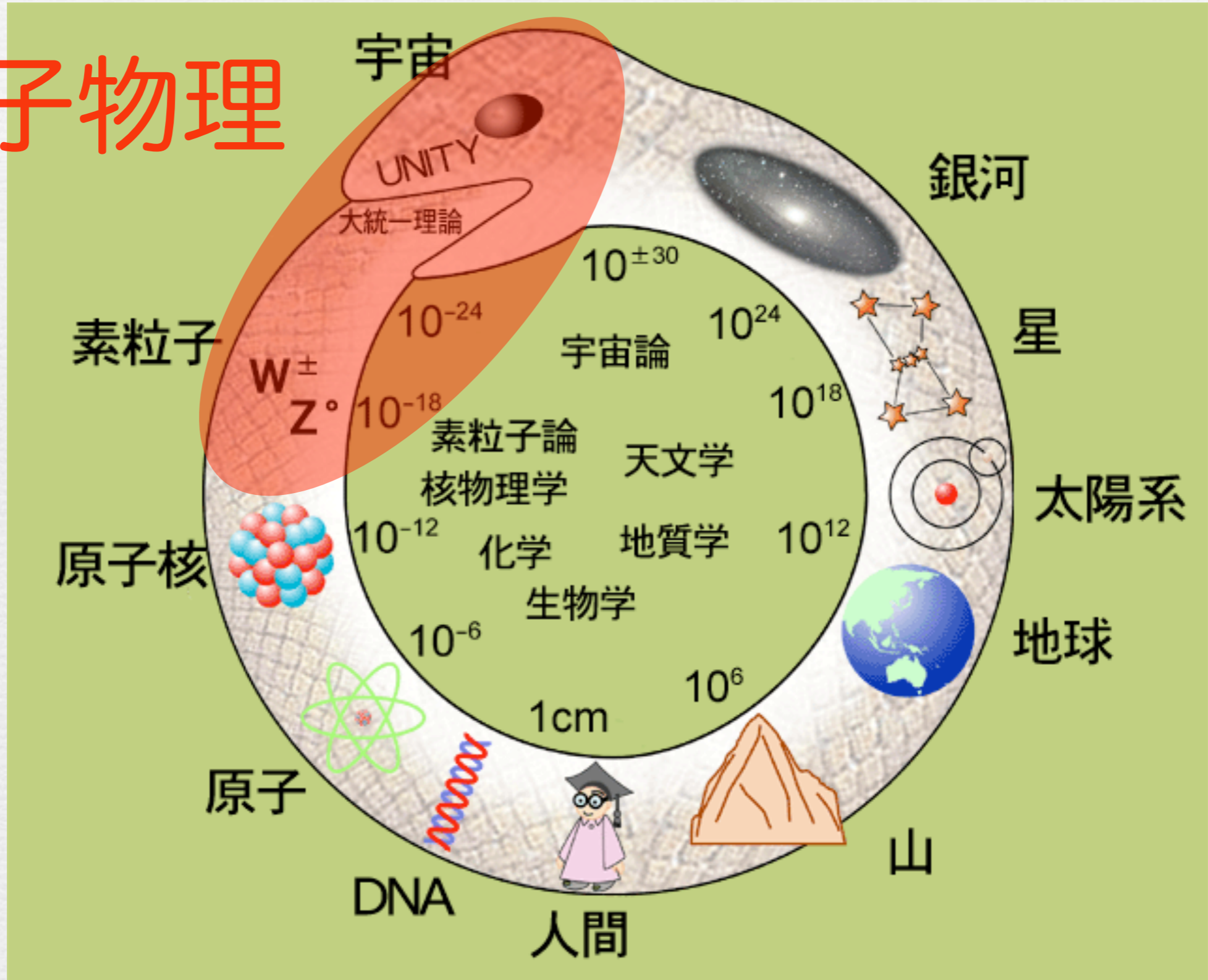
ウロボロスの蛇



素粒子物理とは、

ウロボロスの蛇

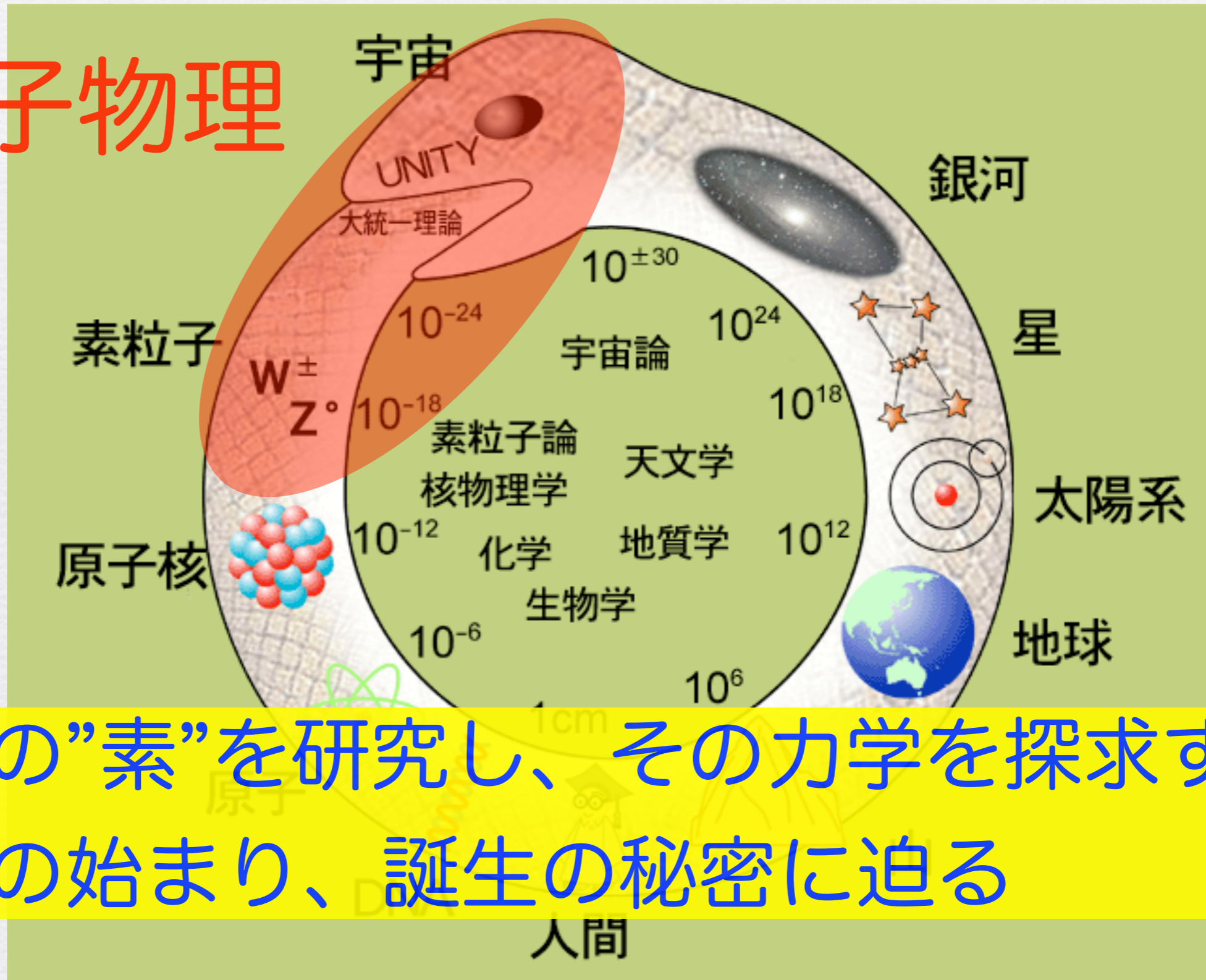
素粒子物理



素粒子物理とは、

ウロボロスの蛇

素粒子物理



物質の”素”を研究し、その力学を探求する
宇宙の始まり、誕生の秘密に迫る

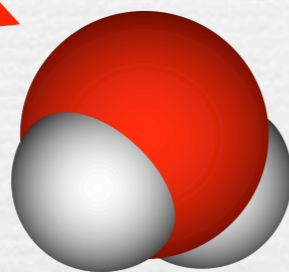
物を構成している素粒子



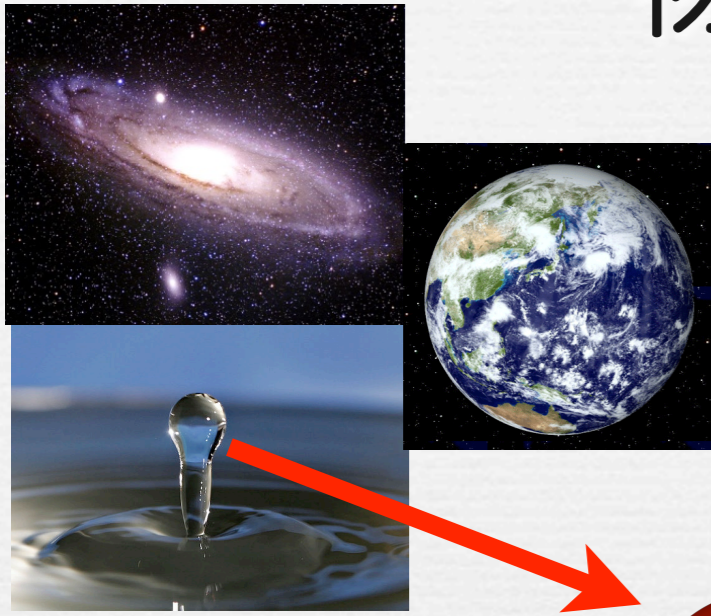
物を構成している素粒子



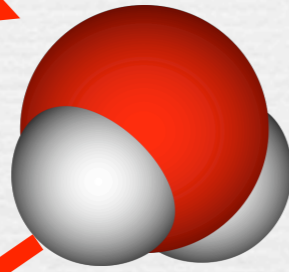
分子
 10^{-9}m



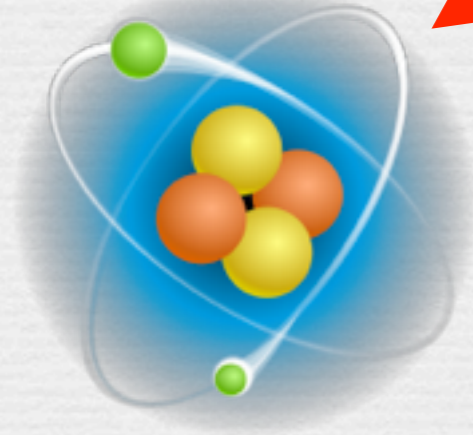
物を構成している素粒子



分子
 10^{-9}m



電子



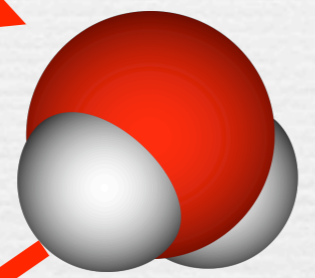
原子
 10^{-10}m

原子核
 10^{-14}m

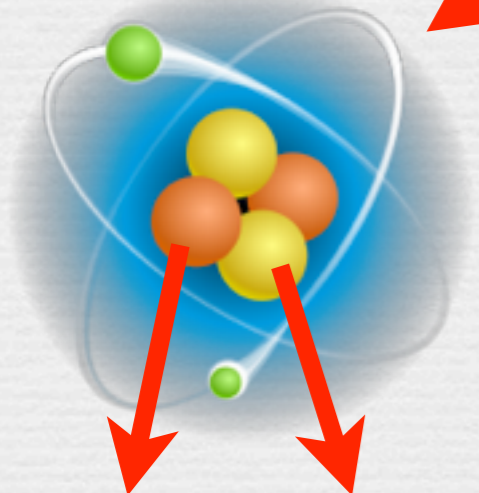
物を構成している素粒子



分子
 $10^{-9}m$

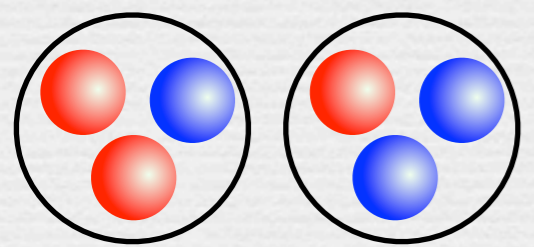


電子



原子
 $10^{-10}m$

原子核
 $10^{-14}m$

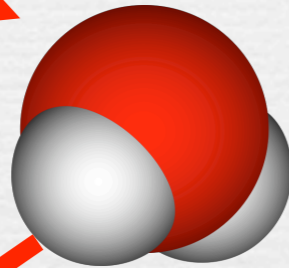


陽子 中性子 $10^{-15}m$

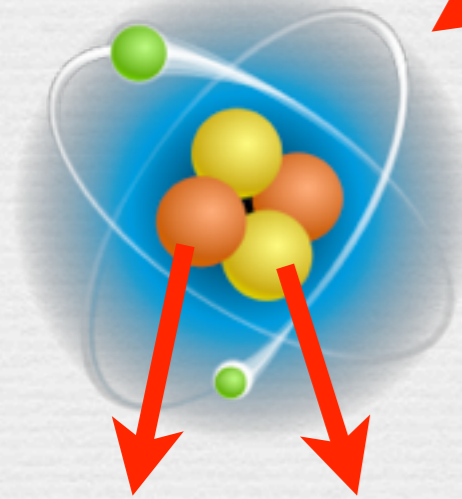
物を構成している素粒子



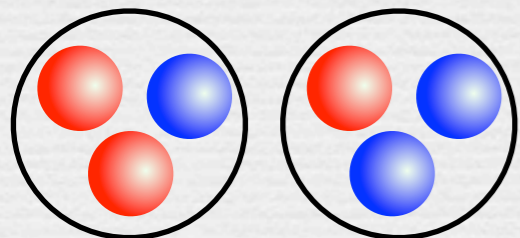
分子
10⁻⁹m



電子



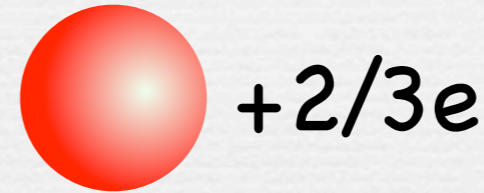
原子
10⁻¹⁰m
原子核
10⁻¹⁴m



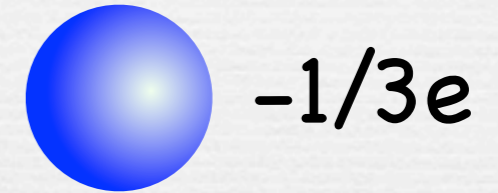
陽子 中性子 10⁻¹⁵m

クォーク

アップ(u)

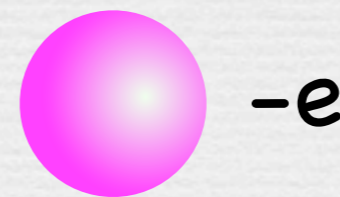


ダウン(d)

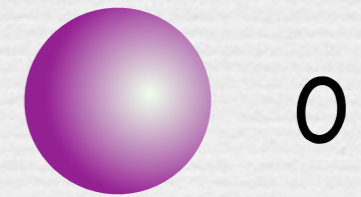


レプトン

電子

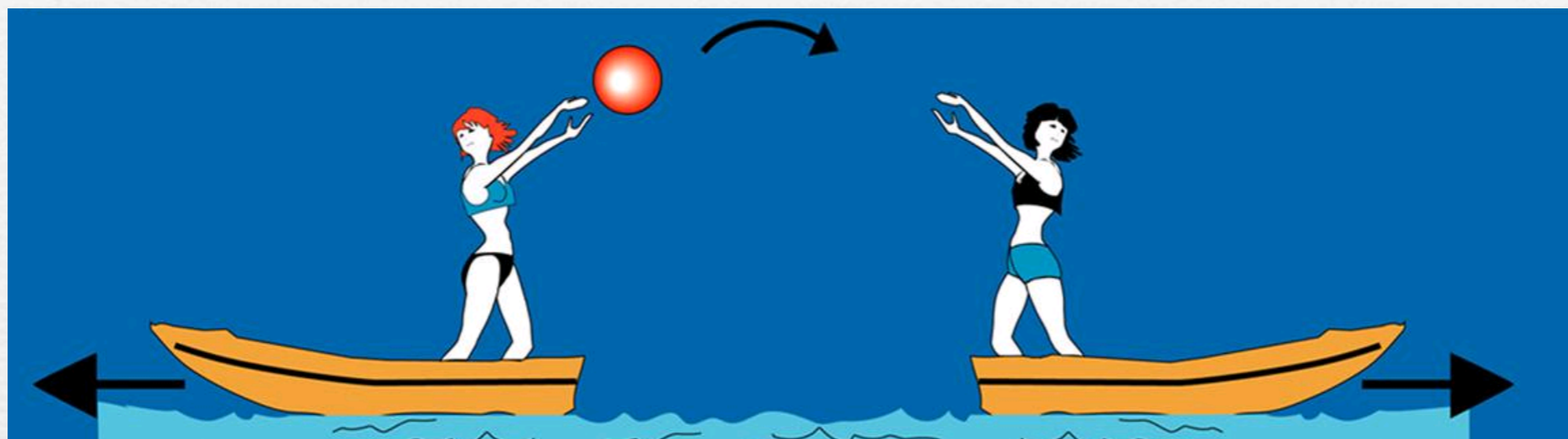


ニュートリノ



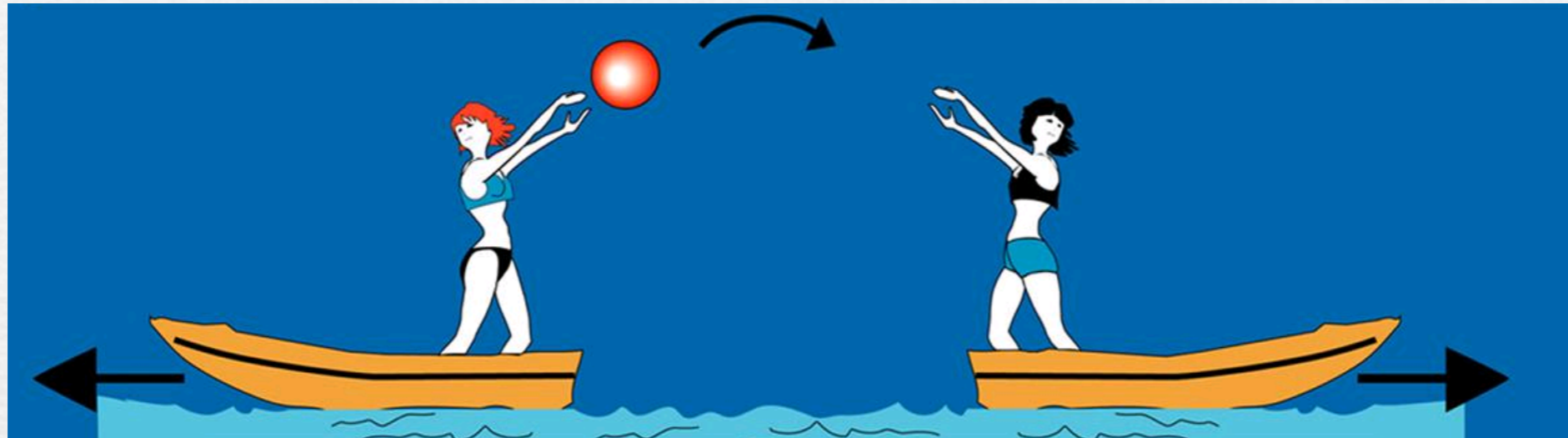
素粒子に働く力

力 = 力を伝える粒子の交換



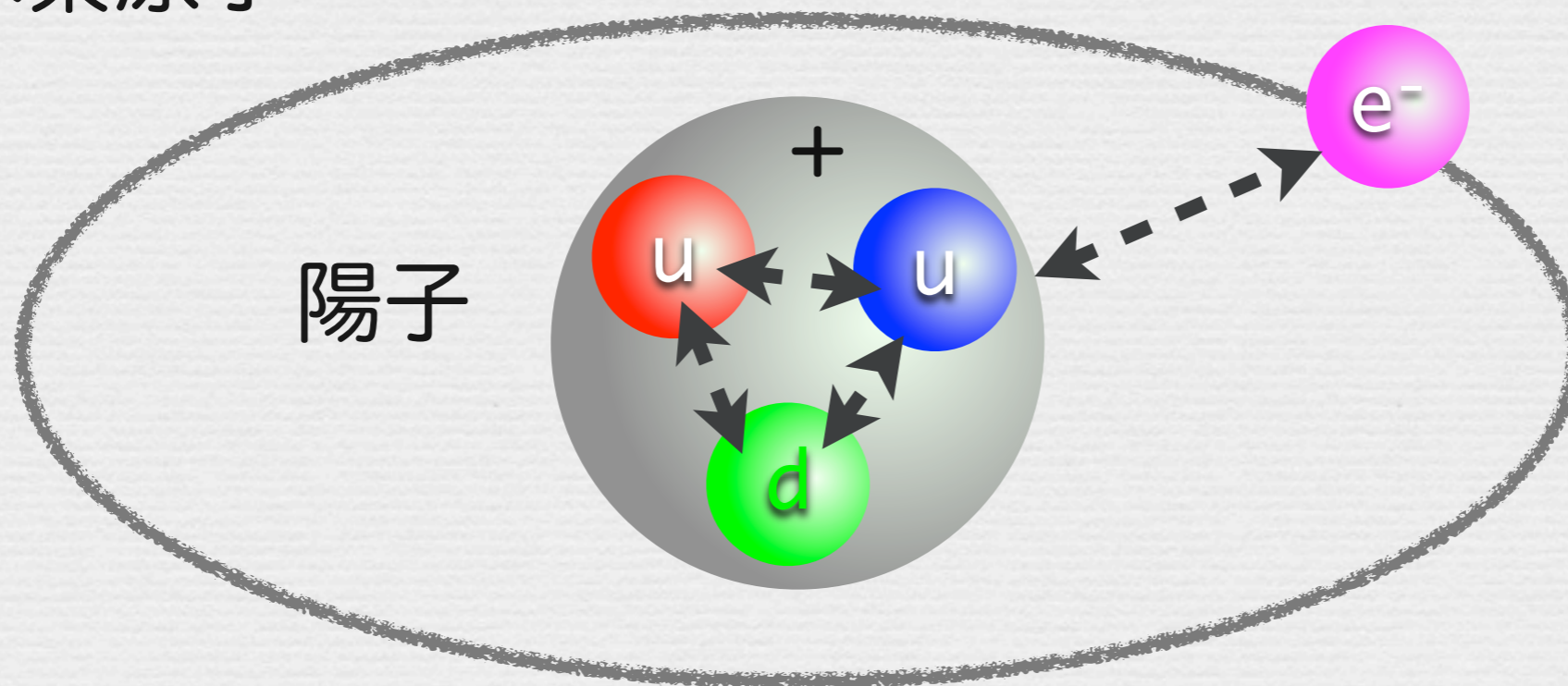
素粒子に働く力

力 = 力を伝える粒子の交換



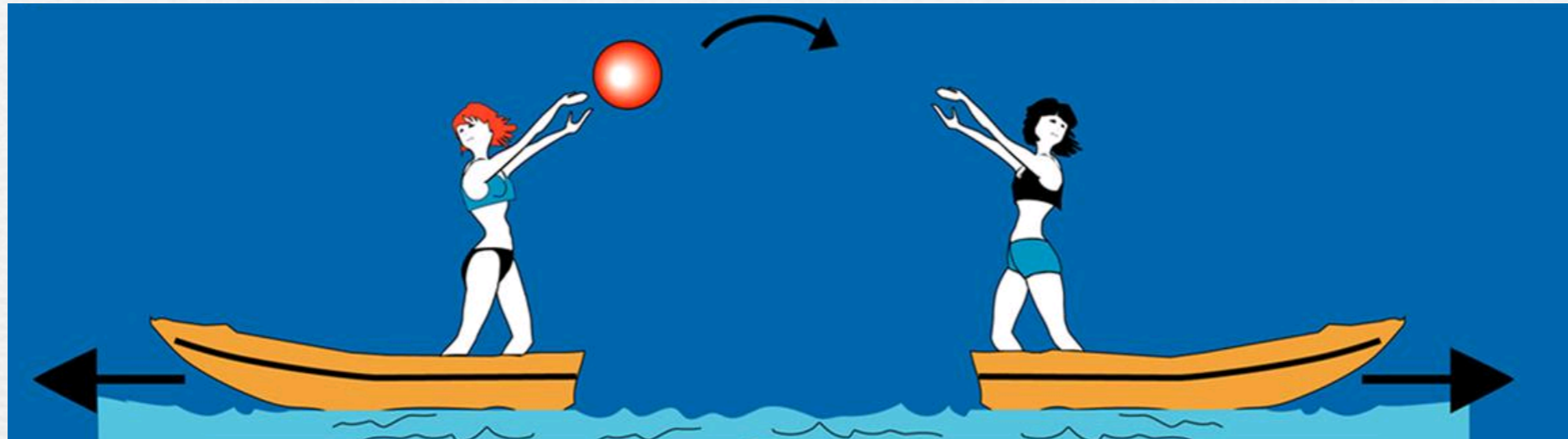
水素原子

電子



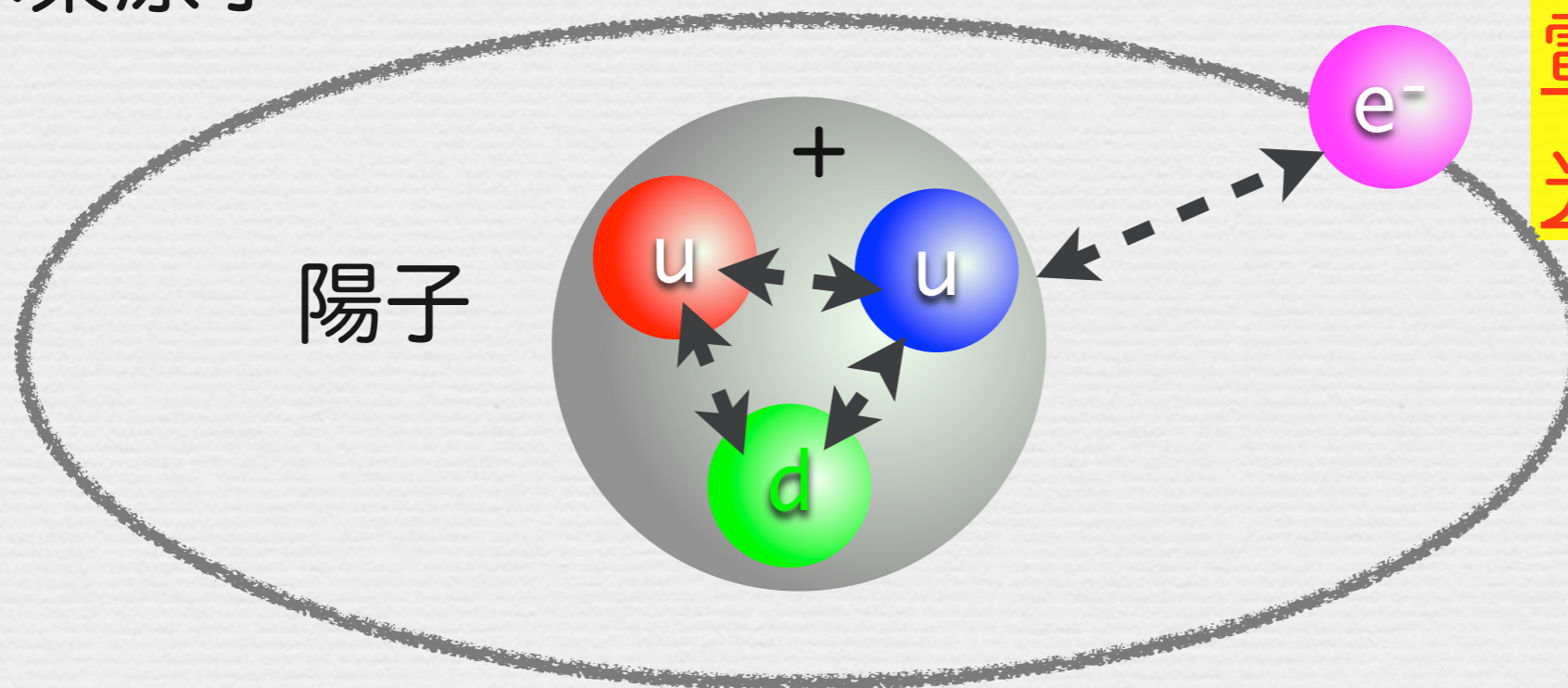
素粒子に働く力

力 = 力を伝える粒子の交換



水素原子

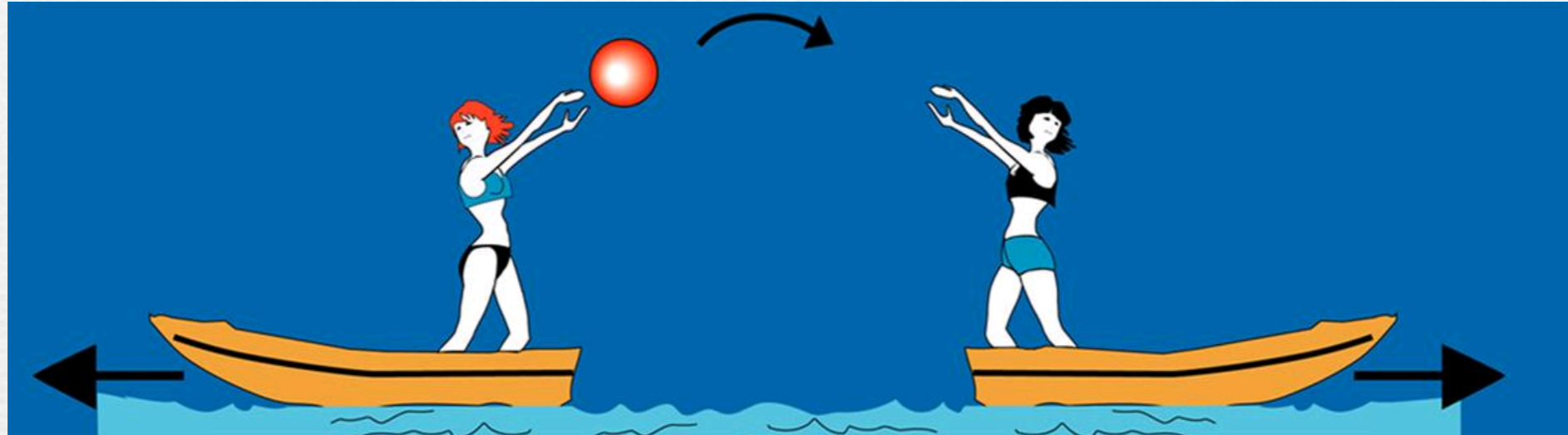
電子



電磁気力
電荷を感じて
光子を交換

素粒子に働く力

力=力を伝える粒子の交換

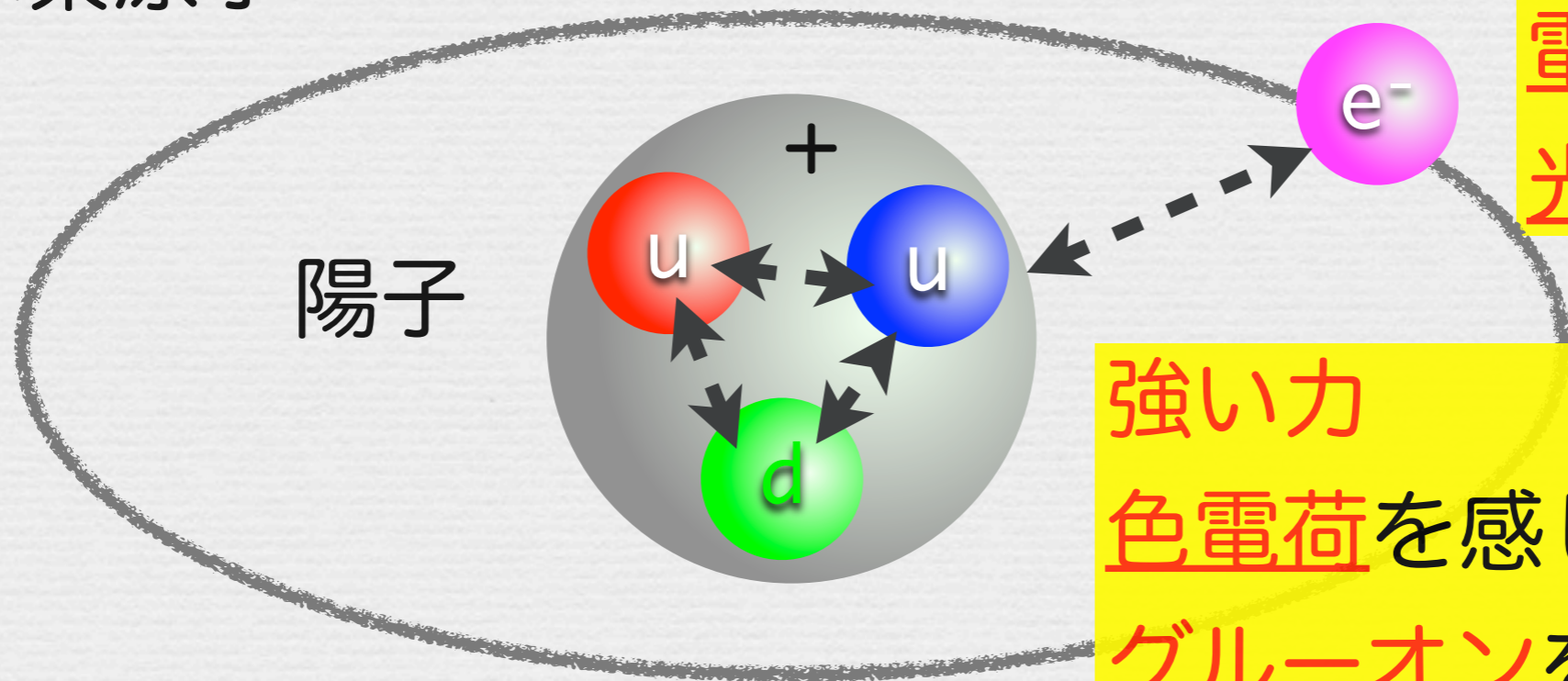


水素原子

電子

電磁気力
電荷を感じて
光子を交換

陽子

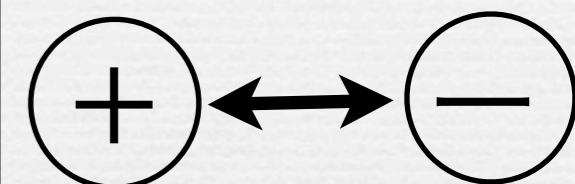


強い力
色電荷を感じて
グルーオンを交換

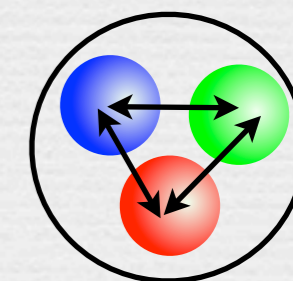
4種の力

種類	強さ	到達距離	電荷	伝える粒子
電磁気力	1/137	無限	電荷 (+/-)	光子 (フォトン)
強い力	~0.1	10^{-15}m	色電荷 (3種)	グルーオン
弱い力	10^{-5}	10^{-18}m	弱電荷	W^{\pm} 、Z粒子
重力	10^{-38}	無限	質量	グラビトン (未発見)

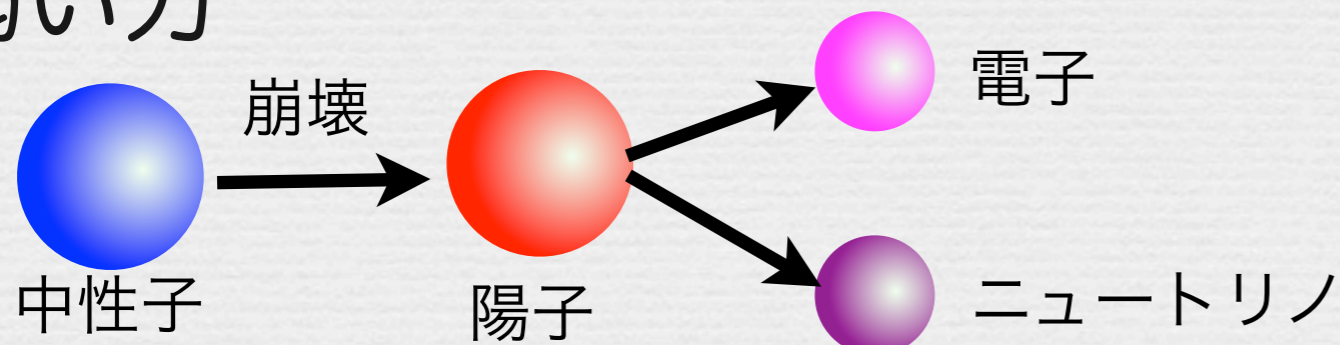
電磁気力



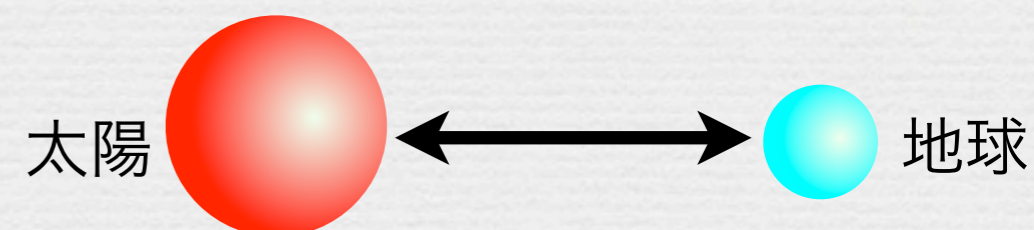
強い力



弱い力



重力



素粒子の標準模型

物質を構成する

力を伝える

クォーク

レプトン

電荷： $+2/3e$

電荷： $-1/3e$

電荷： 0

電荷： $-e$

アップ(u)

ダウン(d)

電子ニュートリノ

電子

電磁気力：光子



強い力：グルーオン



弱い力：Z、W粒子



第1世代



素粒子の標準模型

物質を構成する

力を伝える

クォーク

レプトン

電荷： $+2/3e$

電荷： $-1/3e$

電荷： 0

電荷： $-e$

電磁気力：光子

アップ(u)

ダウン(d)

電子ニュートリノ

電子

光

第1世代



チャーム(c)

ストレンジ(s)

ミューニュートリノ

ミュー粒子

強い力：グルーオン



第2世代



弱い力：Z、W粒子



素粒子の標準模型

物質を構成する

力を伝える

クォーク

レプトン

電荷： $+2/3e$

電荷： $-1/3e$

電荷： 0

電荷： $-e$

電磁気力：光子



強い力：グルーオン



弱い力：Z、W粒子



アップ(u)

ダウン(d)

電子ニュートリノ

電子

第1世代



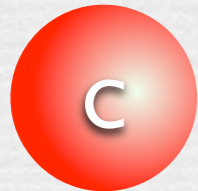
チャーム(c)

ストレンジ(s)

ミューニュートリノ

ミュー粒子

第2世代



トップ(t)

ボトム(b)

タウニュートリノ

タウ粒子

第3世代



素粒子の標準模型

物質を構成する

力を伝える

クォーク

レプトン

電荷 : $+2/3e$

電荷 : $-1/3e$

電荷 : 0

電荷 : $-e$

アップ(u)

ダウン(d)

電子ニュートリノ

電子

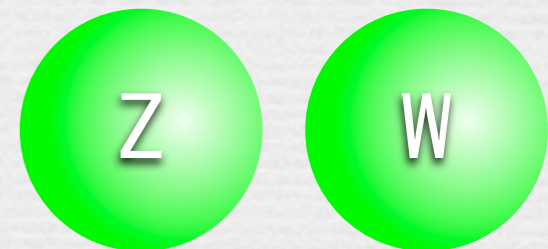
電磁気力 : 光子



強い力 : グルーオン



弱い力 : Z、W粒子



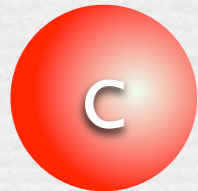
第1世代



電荷が逆の反粒子も存在する
電子(e^-) \longleftrightarrow 陽電子(e^+)

チャーム(c)

第2世代



トップ(t)

第3世代



ボトム(b)



タウニュートリノ



タウ粒子



素粒子の標準模型

物質を構成する

力を伝える

クォーク

レプトン

電荷 : $+2/3e$

電荷 : $-1/3e$

電荷 : 0

電荷 : $-e$

アップ(u)

ダウン(d)

電子ニュートリノ

電子

電磁気力 : 光子

第1世代

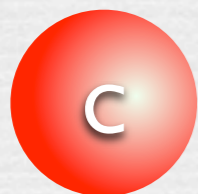


チャーム(c)

電荷が逆の反粒子も存在する
電子(e⁻) ← → 陽電子(e⁺)

強い力 : グルーオン

第2世代



トップ(t)

ボトム(b)

タウニュートリノ

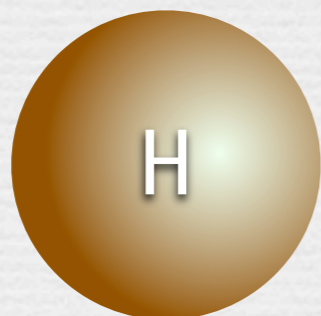
タウ粒子

弱い力 : Z、W粒子

第3世代



未発見！！



ヒッグス粒子 : 素粒子に質量を与える

ヒッグス粒子発見か??

日経新聞

日本経済新聞 2011年(平成23年)12月14日(水曜日)

中韓、事態收拾難しく

【中国】(中国)の経済とされる「ヒッグス粒子」を発見する可能性が高まり、大きく前進したと見られる。来年いっぱいまで、ヒッグス粒子の存在を証明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

【韓国】(韓国)の経済とされる「ヒッグス粒子」を発見する可能性が高まり、大きく前進したと見られる。来年いっぱいまで、ヒッグス粒子の存在を証明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

国際チーム 宇宙成り立ち

【ヒッグス粒子】1960年代に英国人物理学者のピーター・ヒッグス博士によって、その存在が理論的に提唱された。物質や宇宙の成り立ちを説明する重要な理論を構成する重要な粒子の中で、唯一、発見されれば、標準理論が完成する。ヒッグス粒子は宇宙の成り立ちを説明する重要な粒子で、その発見は、ヒッグス粒子の存在を証明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

「最後の粒子」世界が探求



世界の主な加速器

欧州合同原子核研究機関(CERN) [LHC-CERN]	円周27km
高エネルギー加速器研究機構(KEK) [Super KEKB]	(改造中、15年に本格稼働)
フェルミ国立加速器研究所(FNAL) [テバトロン]	円周6.3km
スラック国立加速器研究所(SLAC) [スタンフォード・リニア・アクセラレーター]	直線状

40年以上前に存在提唱 質量の謎解明期待

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

巨大加速器の成果 膨らむ費用、国際協力進む

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

「子」痕跡見えた

ヒッグス 現

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

工業新聞

「ヒッグス粒子」存在の可能性

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

ヒッグス粒子 「存在の兆候」

【ヒッグス粒子】質量の謎を解明する期待が膨らんでいく(関連記事3面)。

朝日新聞

ヒッグス粒子発見か？

NHK NEWSWEB

2012年6月23日のニュース

トップページ > 科学・医療ニュース一覧 > ヒッグス粒子 最新研究成果発表へ

ニュース詳細

ヒッグス粒子 最新研究成果発表へ

6月23日 14時4分



宇宙の成り立ちに欠かせないものとして、その存在が40年以上前から予言されながら、まだ見つかっていない、未知の素粒子「ヒッグス粒子」を探してきた国際的な研究グループが、来月4日、スイスで最新の研究成果を発表することになり、発見の手がかりがどこまで得られたのか注目が集まっています。

研究成果について発表するのは、スイスにあるCERN＝「ヨーロッパ合同原子核研究機関」で実験を続けてきた2つの国際的な研究グループで、日本の研究者も参加しています。実験は、1周が27キロもある巨大な円形の実験施設の中で、光とほぼ同じ速度まで加速した陽子どうしを衝突させ、その際に飛び散る粒子の中から「ヒッグス粒子」を見つけ出そうというものです。

研究グループは、去年12月に「ヒッグス粒子の存在の可能性を示すデータが得られた」と発表しており、その後、さらにデータを蓄積し、解析を進めているということです。

「ヒッグス粒子」は、宇宙を構成するあらゆる物質に質量を与えるものとして、その存在が予言されながら、まだ見つかっていない未知の素粒子で、発見できれば、宇宙の成り立ちの解明につながり、ノーベル賞級の研究成果といわれています。

発表はスイスで来月4日、日本時間の午後4時から行われ、「ヒッグス粒子」の手がかりがどこまで得られたのか、世界中から注目が集まっています。

2012年7月4日(今日！！)に最新結果

<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20120623/k10013056721000.html>

質量の起源



質量とは？

1. 重力のもと (重力質量)

2. 動きにくさ (慣性質量)

← ヒッグス粒子はこれを説明
重力質量 = 慣性質量 (等価原理)

光



軽い素粒子



重い素粒子



質量の起源

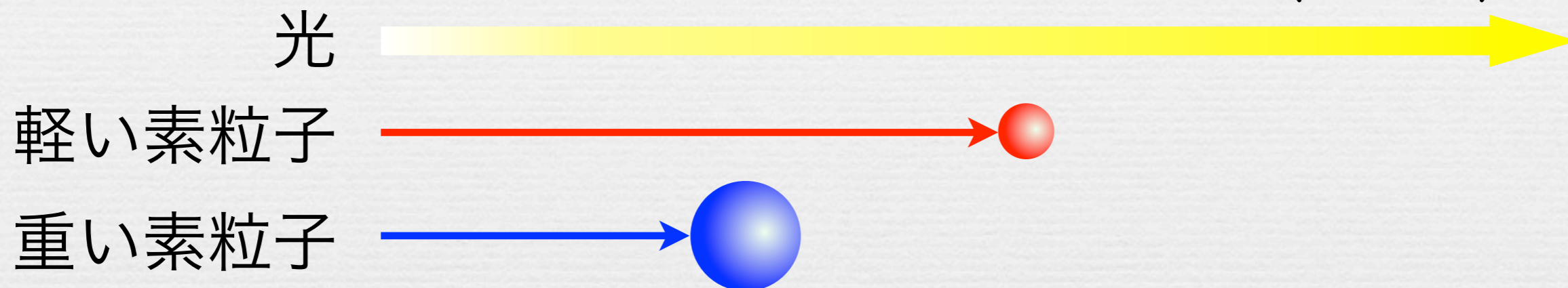


質量とは？

1. 重力のもと (重力質量)

2. 動きにくさ (慣性質量)

← ヒッグス粒子はこれを説明
重力質量 = 慣性質量 (等価原理)



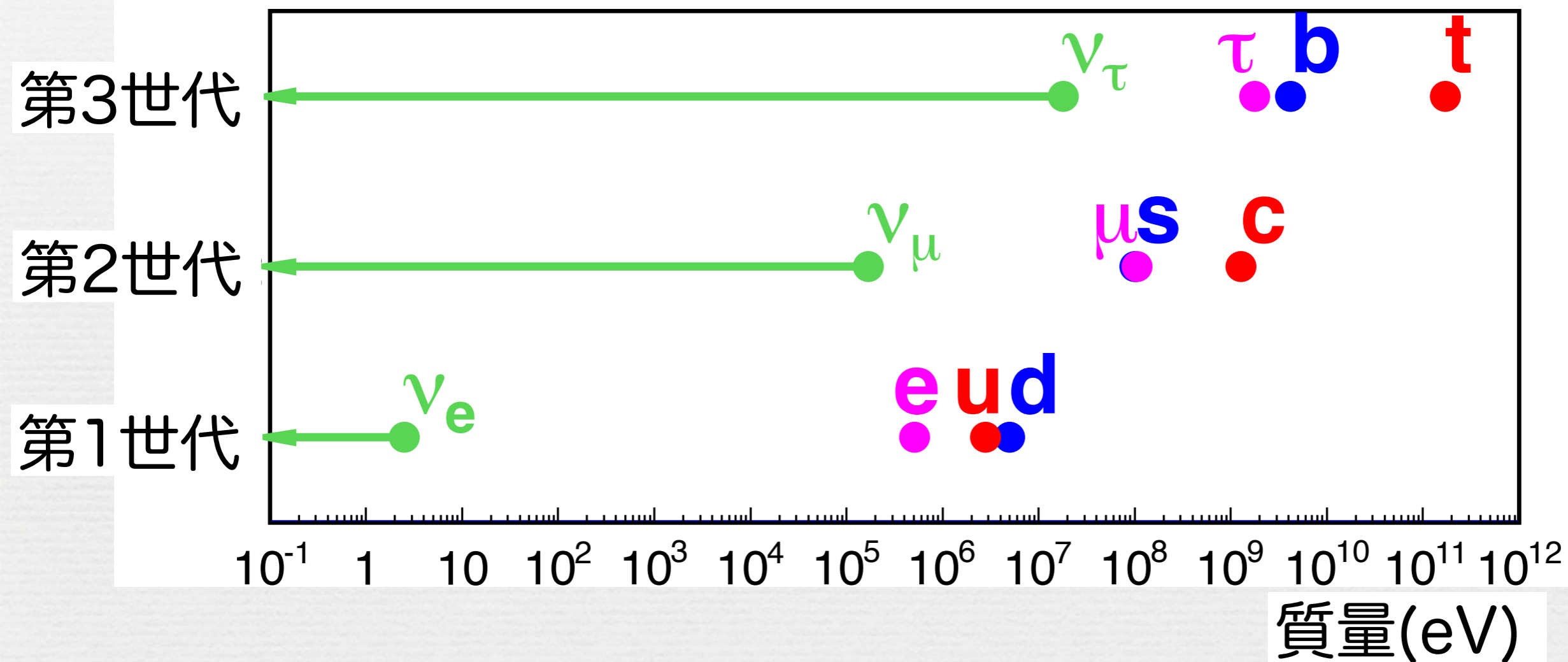
現在の素粒子の「標準模型」

質量 = 0 であるべき

ビッグバン直後は、全ての素粒子は光速で走っていた

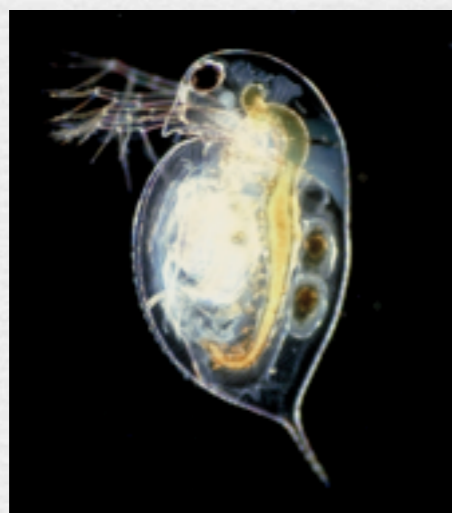
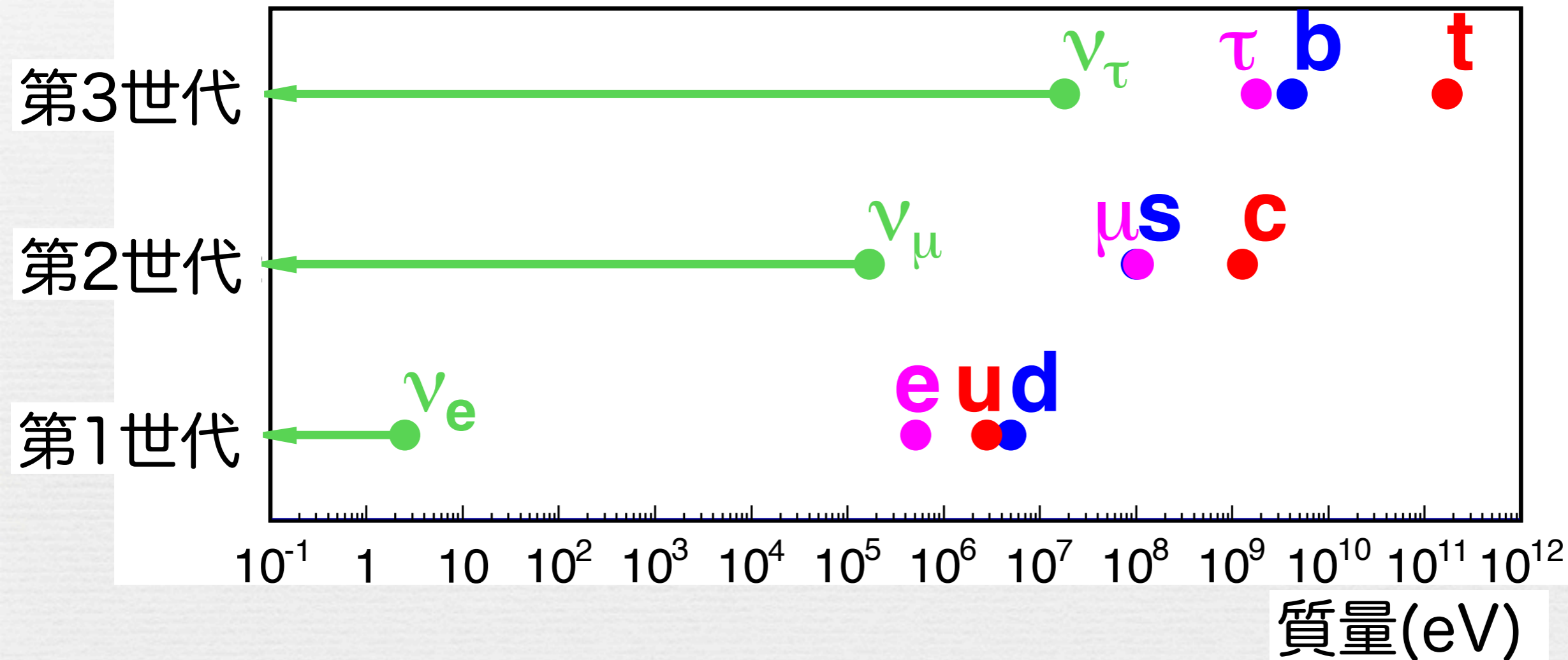
素粒子の質量の違い

実際には素粒子には質量がある。いつ？どうやって？



素粒子の質量の違い

実際には素粒子には質量がある。いつ？どうやって？



1/1000mg



1000kg

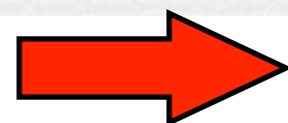


ヒッグス機構

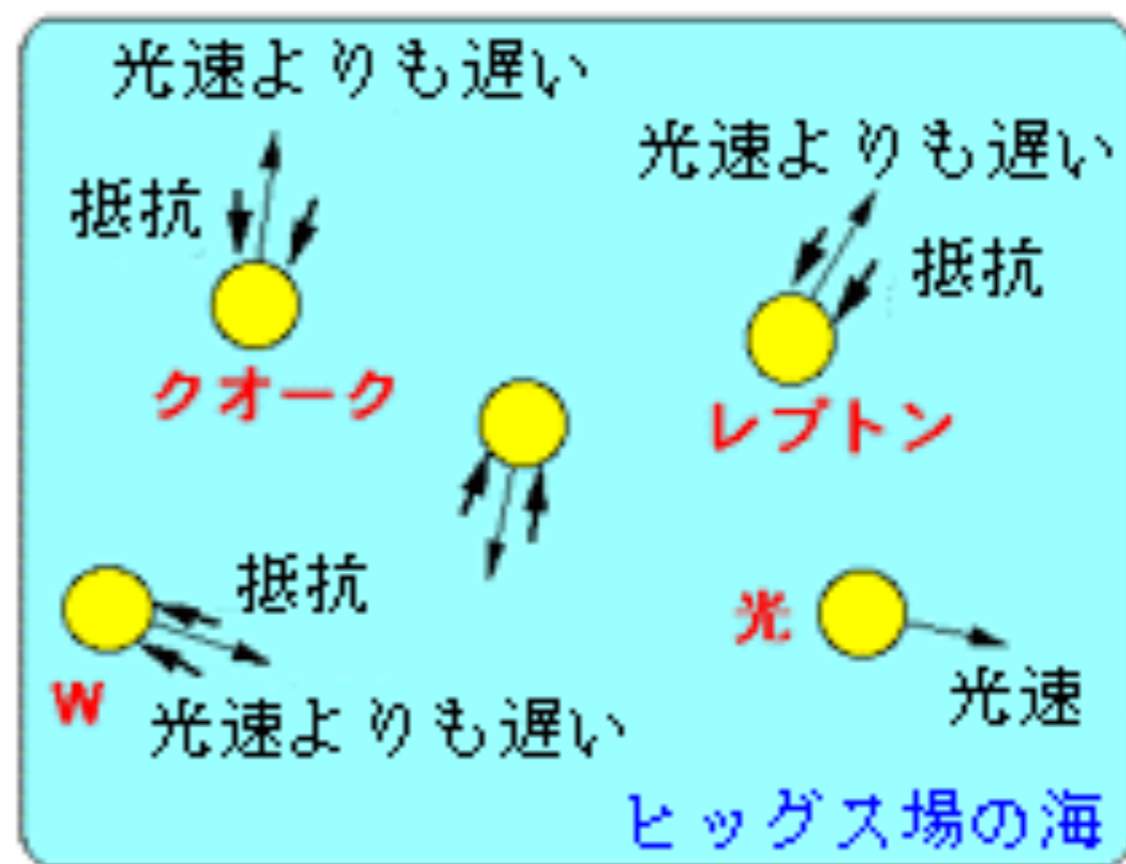
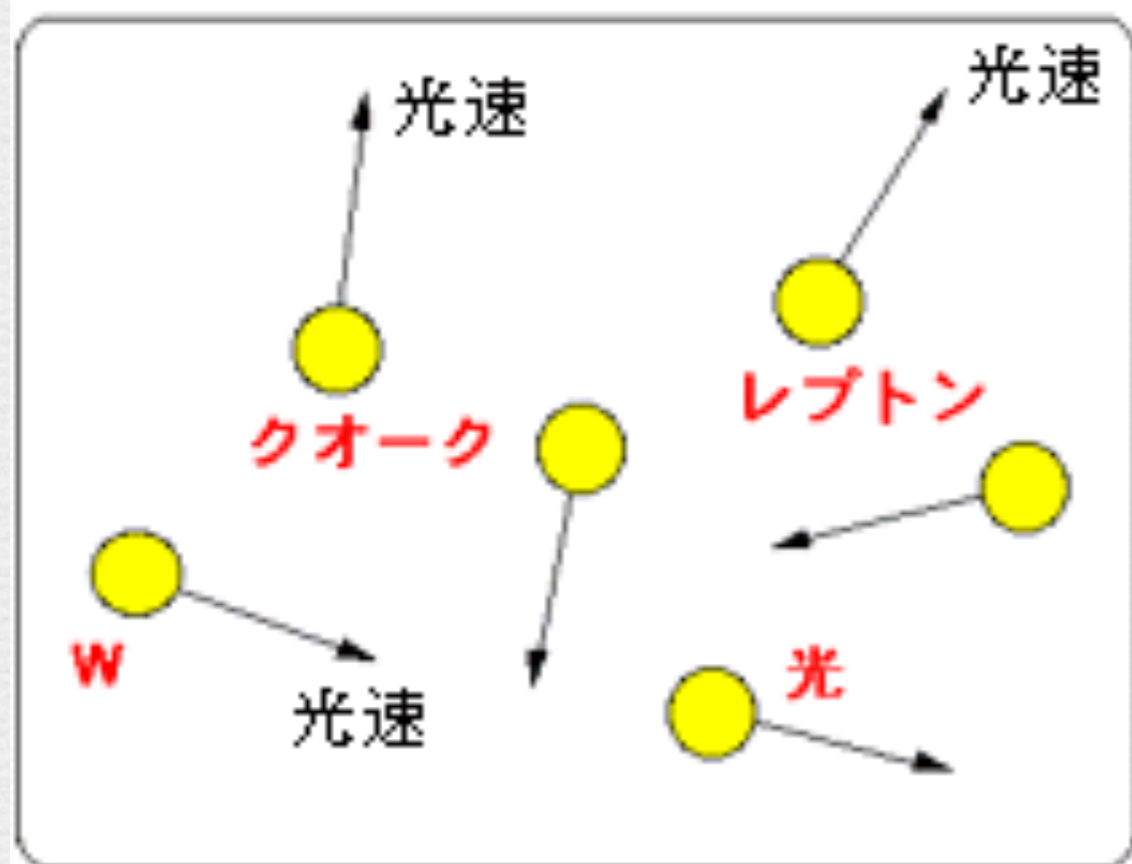
「真空」の新しい概念を導入する
 もともと無であった真空が、宇宙が冷えるにつれ、水のようなヒッグス場に満ちた状態になる

宇宙が冷えて

ビッグバン直後



現在の真空



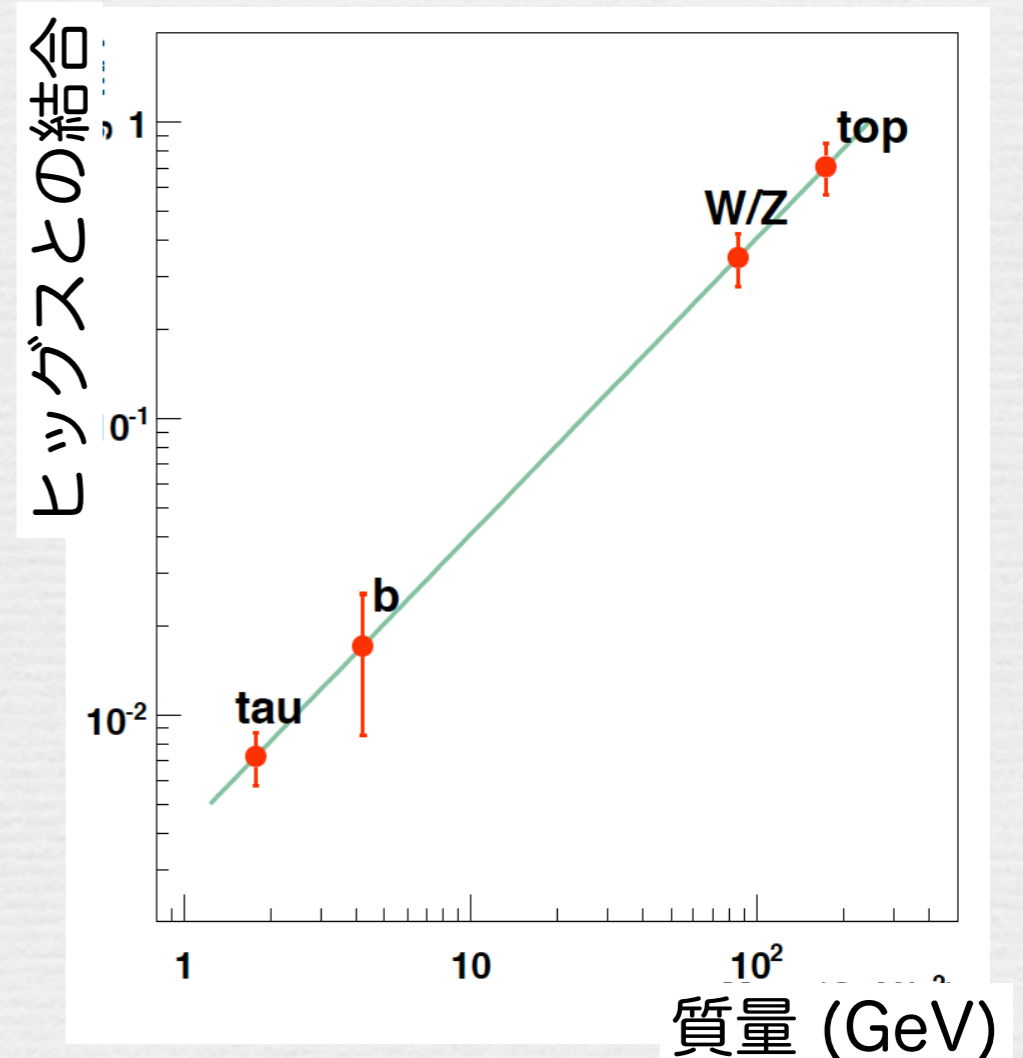
ヒッグス場の性質



質量の違い：人気度

ヒッグス粒子との結合の強さが質量に比例する

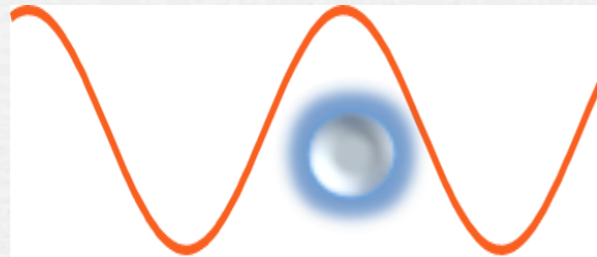
ヒッグス粒子は、素粒子の重い素粒子が大好き



ヒッグス粒子を探せ！

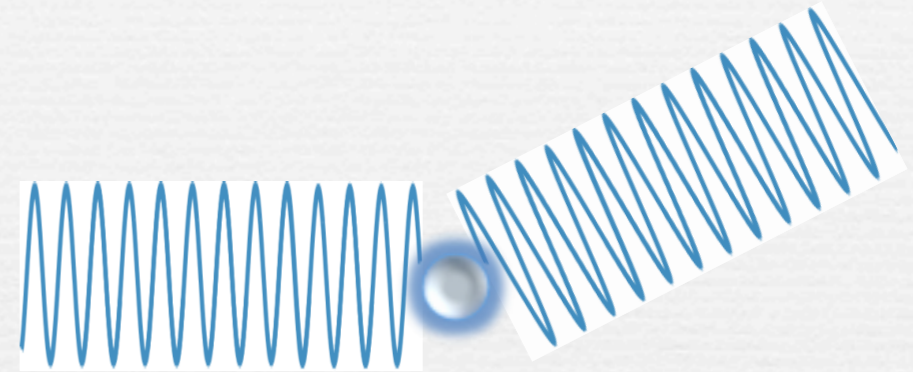
素粒子実験の考え方

(1) 極微な粒子の構造を探る



波長の長い光は細かい物をすり抜ける

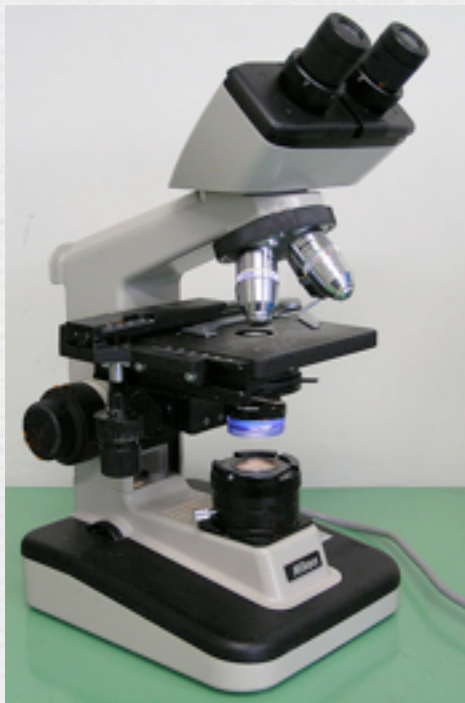
CD:780nm(赤外線)



波長の短い光は物により屈折・反射

DVD: 650nm(赤色)

Blu-ray:405nm (青紫)



光学顕微鏡：可視光の透過、反射
100ナノメートル
= 千万分の1メートルの世界

素粒子の世界は
十億分の1メートルの十億分の1

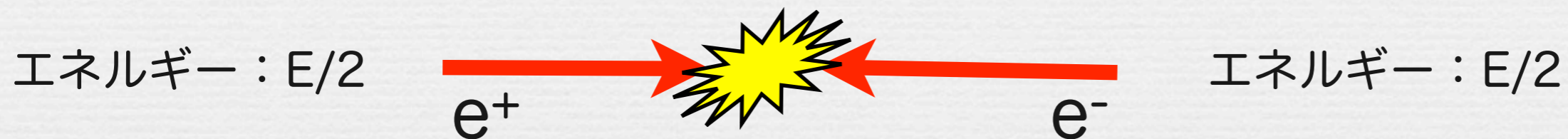
$$(\text{エネルギー}) = (\text{定数}) \div (\text{波長})$$

高エネルギー！

素粒子実験の考え方

(2) 未知粒子を作り出し、それを測定する

未知粒子 = 既知の実験では作り出せない

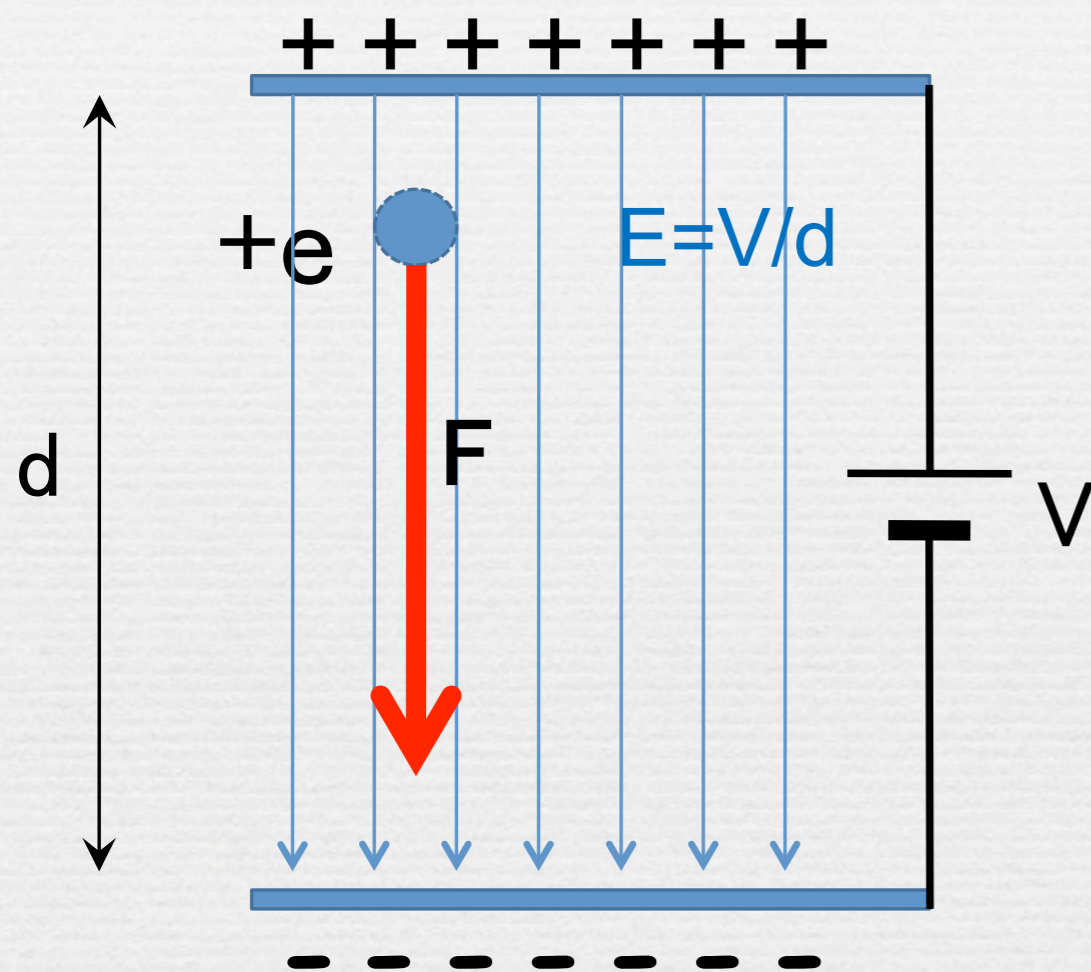


$$E = Mc^2$$

質量 M の未知なる素粒子を生成する能力 **高エネルギー!**

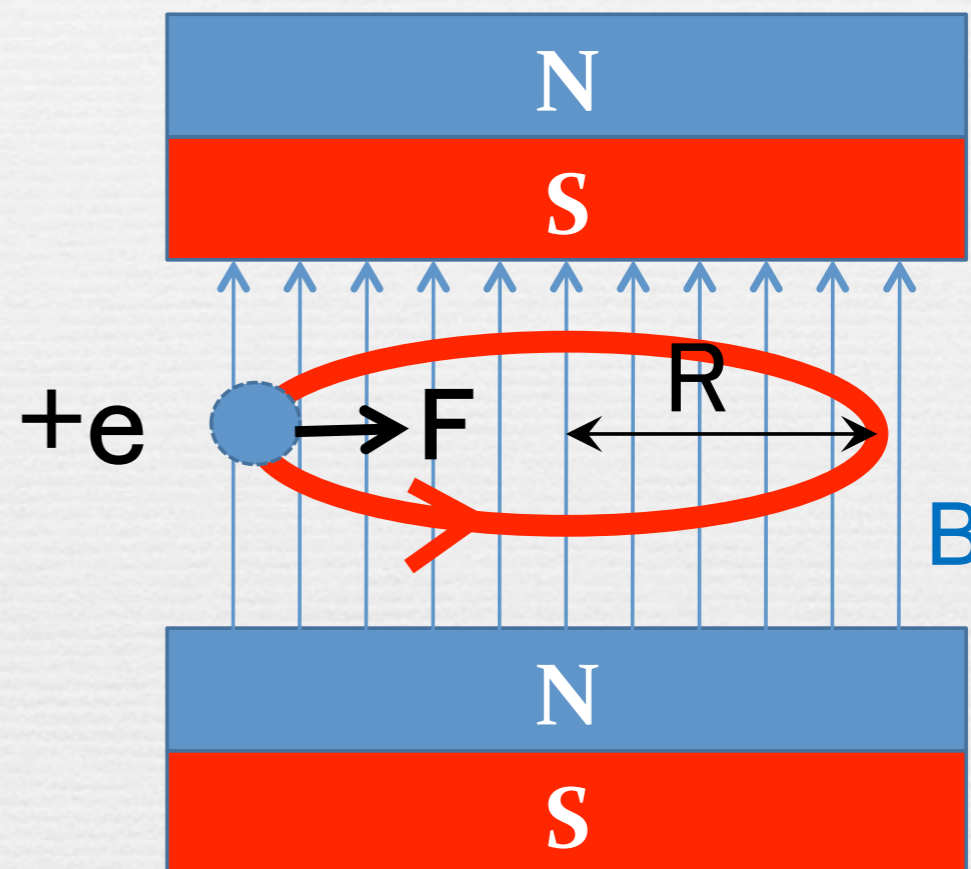
粒子を加速する

電荷を持った粒子を電場や磁場の中で運動させる



電場が大きいと加速大

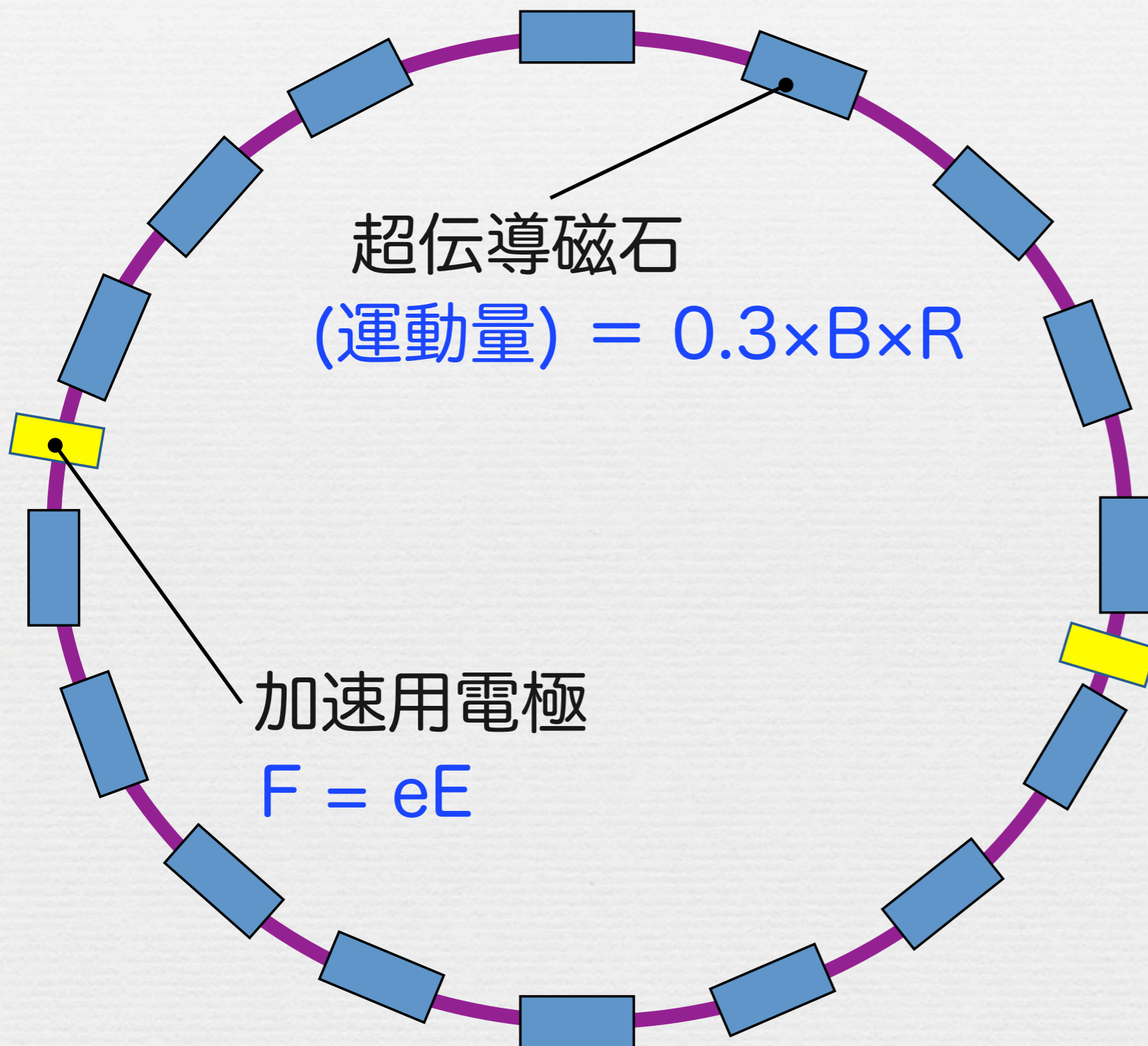
$$F = eE$$



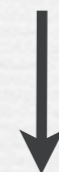
磁場
回転半径 を大きくすると加速大

$$p(\text{GeV}/c) = 0.3 \times B(\text{T}) \times R(\text{m})$$

加速器の原理



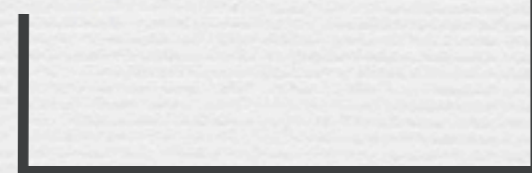
荷電粒子を磁場で回す



電極で加速

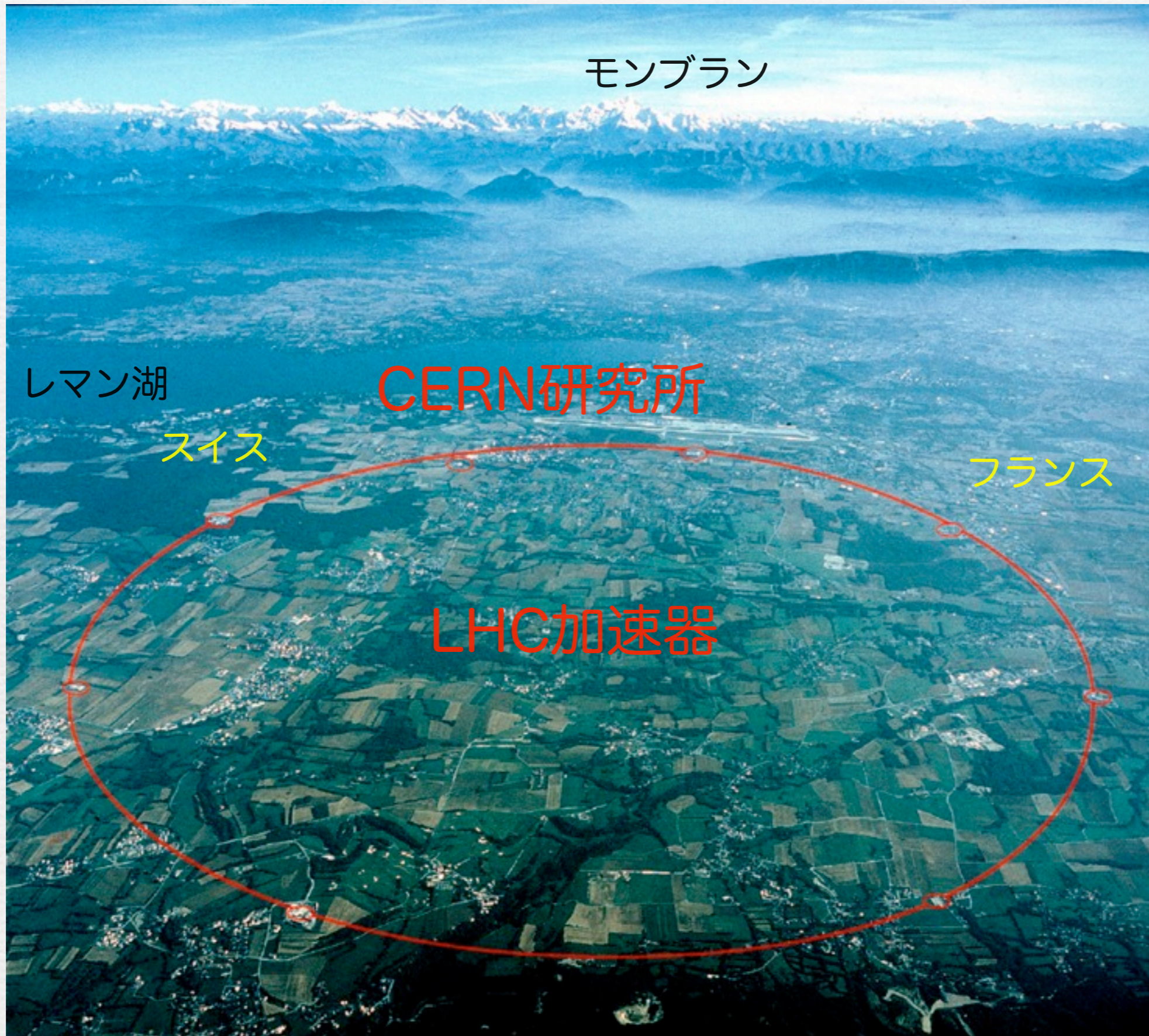


より強い磁場で回す



目標のエネルギーに到達するまで

最先端加速器 Large Hadron Collider



LHC加速器の大きさ



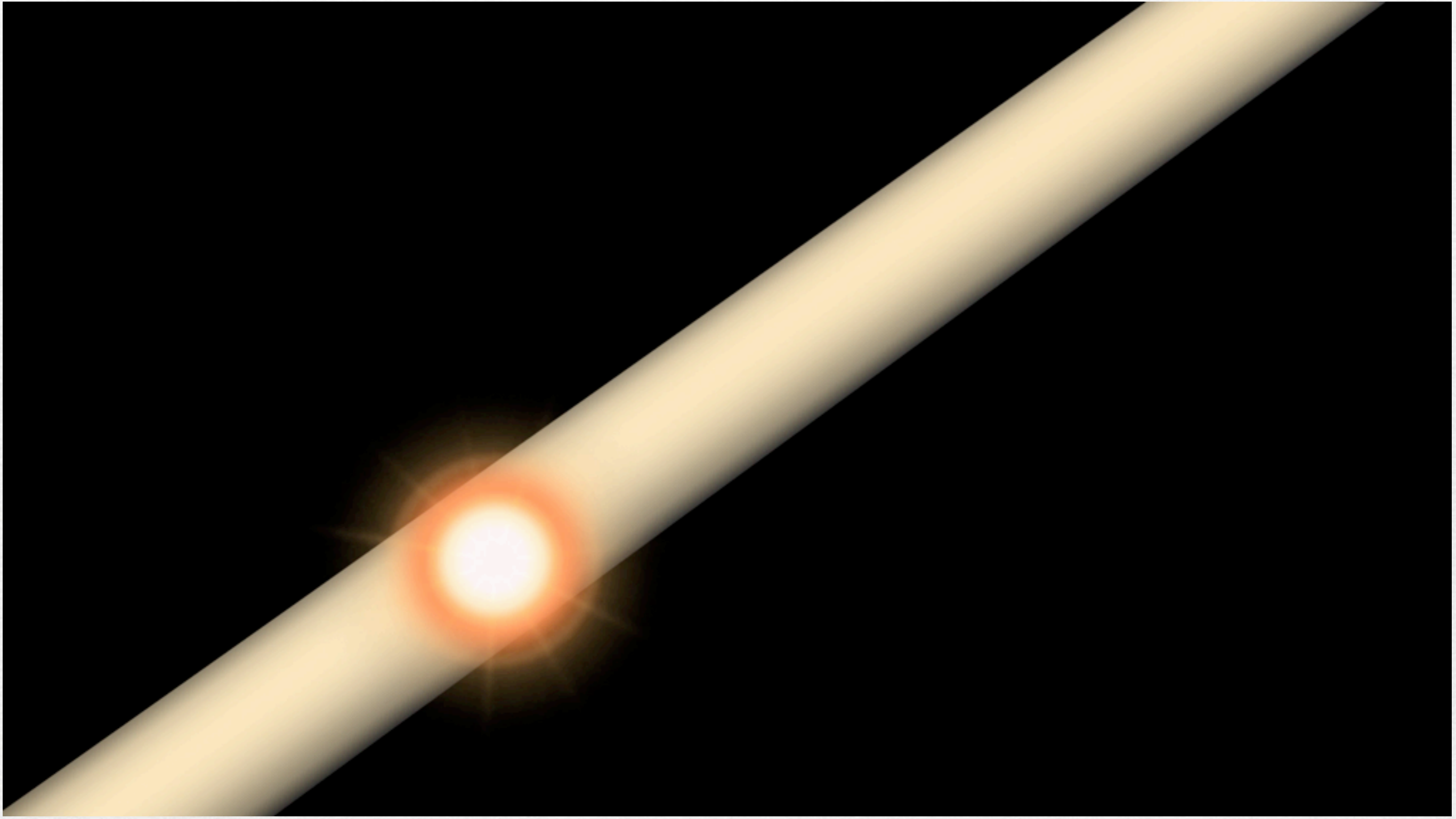
LHC加速器の大きさ



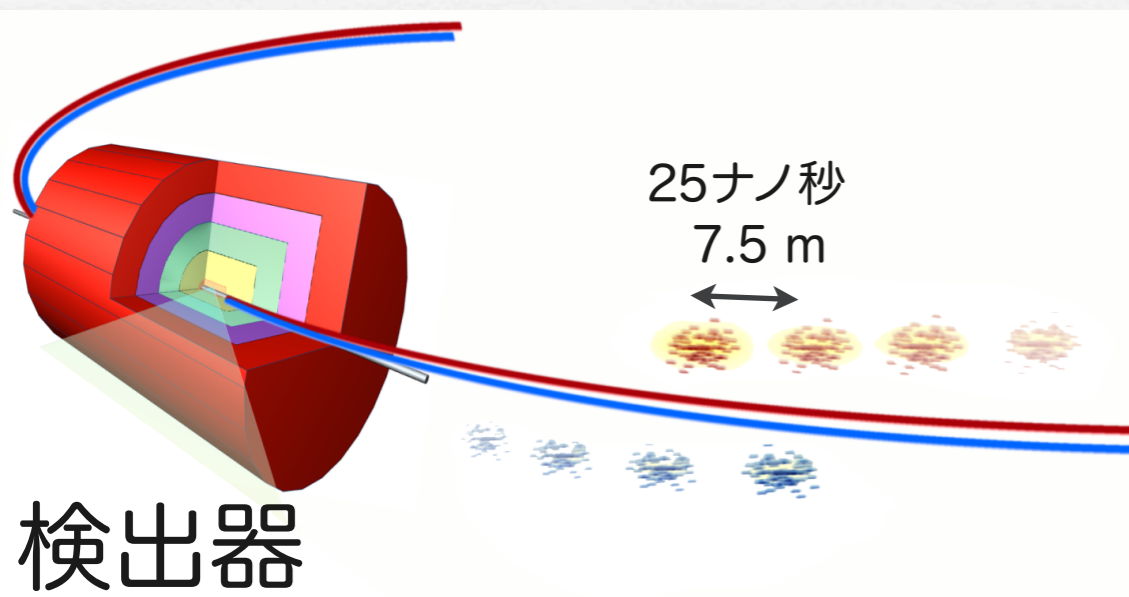
LHC加速器の大きさ



周長27km！！
地下鉄名城線と同じ



LHC加速器の性能



	スペック
加速粒子	陽子×陽子
ビーム塊あたりの陽子数	千億 個
陽子ビーム塊の数	2808
ビーム塊の間隔	25ナノ秒
衝突点でのビーム半径	0.016 mm
エネルギー	7TeV×7TeV

加速器内の陽子

○ 速度

光の速度の99.99999991%の速度

光速 - 10km/時

○ エネルギー

陽子1個 ... 子バエ(数mg, 5km/時)の運動エネルギー

加速器内の全陽子 ...



100トン
300km/時

陽子・陽子衝突

陽子・陽子衝突

陽子・陽子衝突

ボール同士の衝突：次の反応が予測可能

陽子・陽子衝突

ボール同士の衝突：次の反応が予測可能



陽子同士の衝突：次の反応は予測不可能
反応の起こる確率は解る

陽子・陽子衝突

反応	反応頻度	これまでに生成した回数
強い相互作用の反応	毎秒 7千万 回	350兆 回
bクォーク生成	毎秒 30万 回	1兆5千億 回
W粒子生成	毎秒 100 回	5億 回
Z粒子生成	毎秒 30 回	1億5千万 回
トップクォーク生成	10秒間に2回	83万 回
ヒッグス粒子生成	100秒間に1回	5万 回



陽子同士の衝突：次の反応は予測不可能
 反応の起こる確率は解る

陽子・陽子衝突

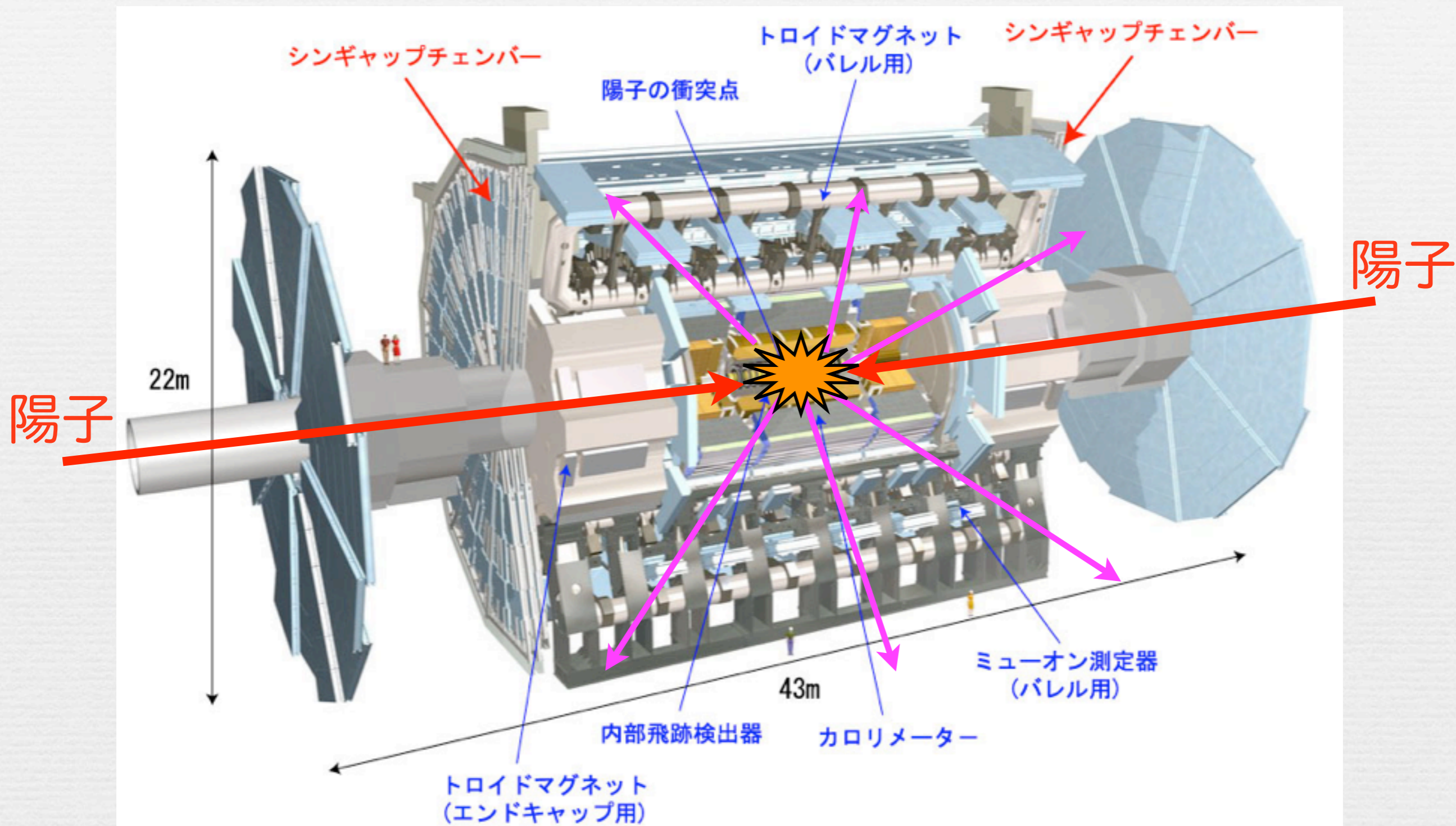
反応	反応頻度	これまでに生成した回数
強い相互作用の反応	毎秒 7千万 回	350兆 回
bクォーク生成	毎秒 30万 回	1兆5千億 回
W粒子生成	毎秒 100 回	5億 回
Z粒子生成	毎秒 30 回	1億5千万 回
トップクォーク生成	10秒間に2回	83万 回
ヒッグス粒子生成	100秒間に1回	5万 回

ヒッグス粒子の生成確率は、非常に小さい！



陽子同士の衝突：次の反応は予測不可能
反応の起こる確率は解る

粒子検出器 アトラス検出器

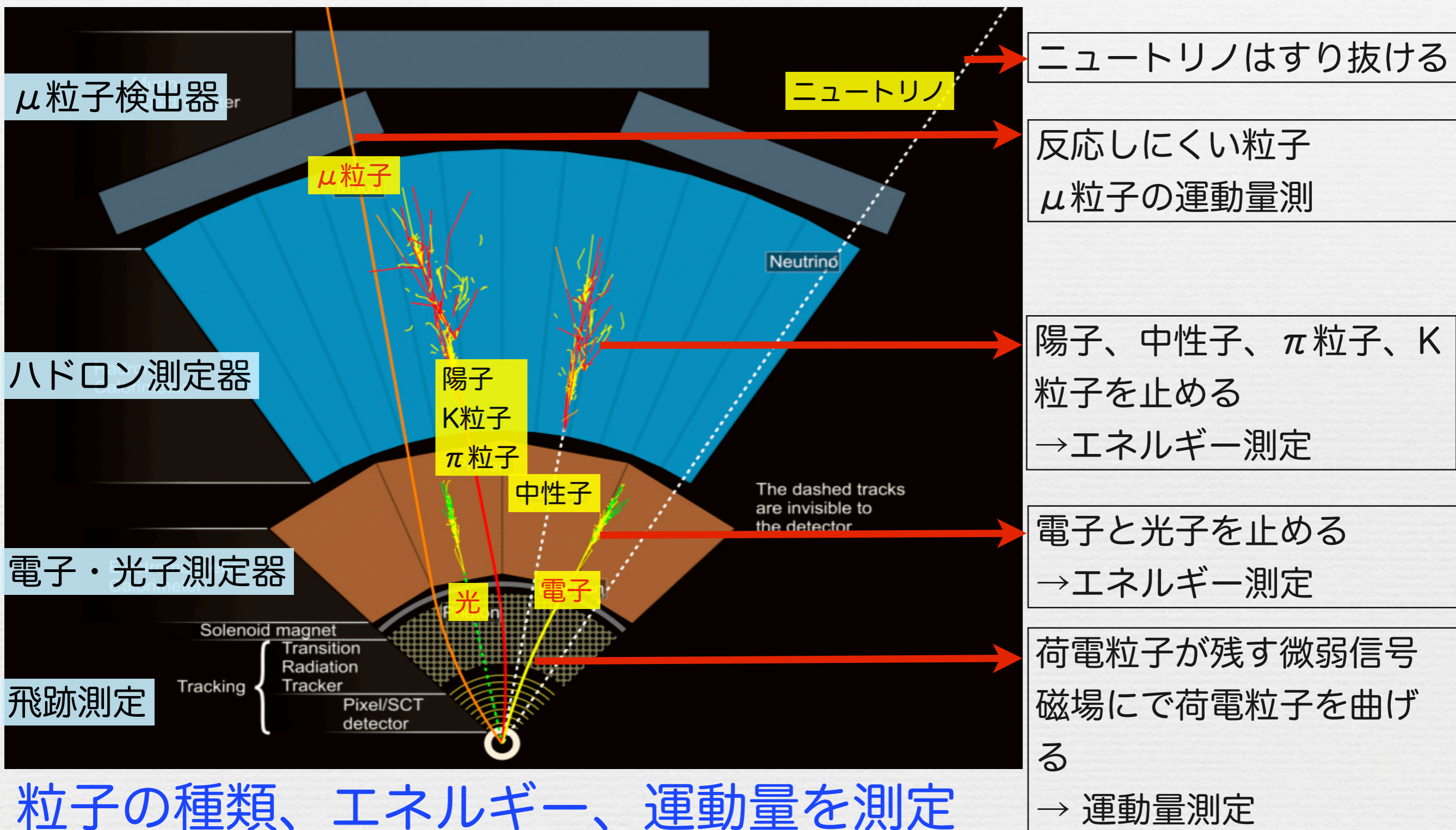


ヒッグス粒子は不安定 → 安定粒子へと崩壊

電子、光子、 μ 粒子、 π^0 粒子、 π^\pm 粒子、 K^\pm 粒子、陽子、中性子

検出器の原理

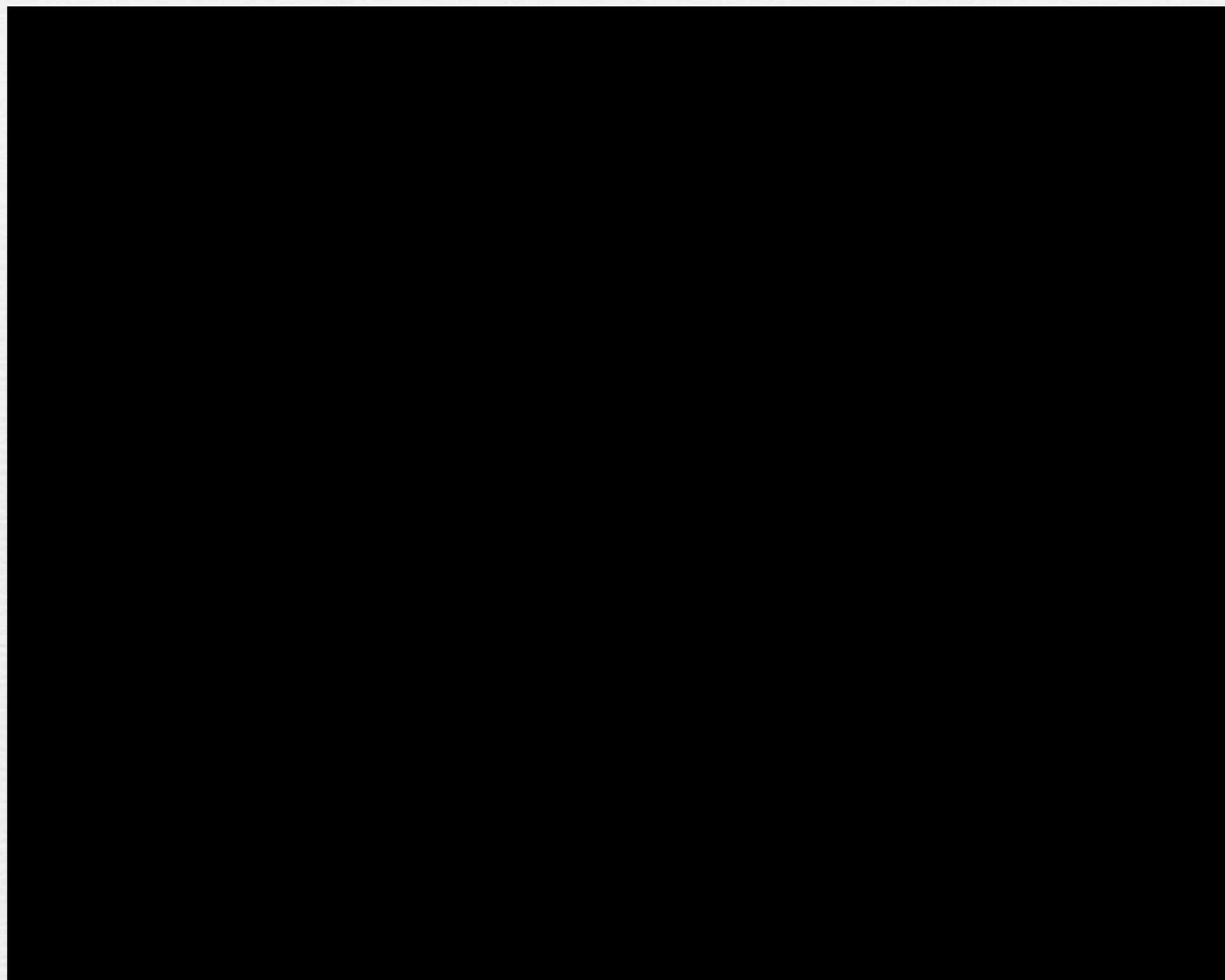
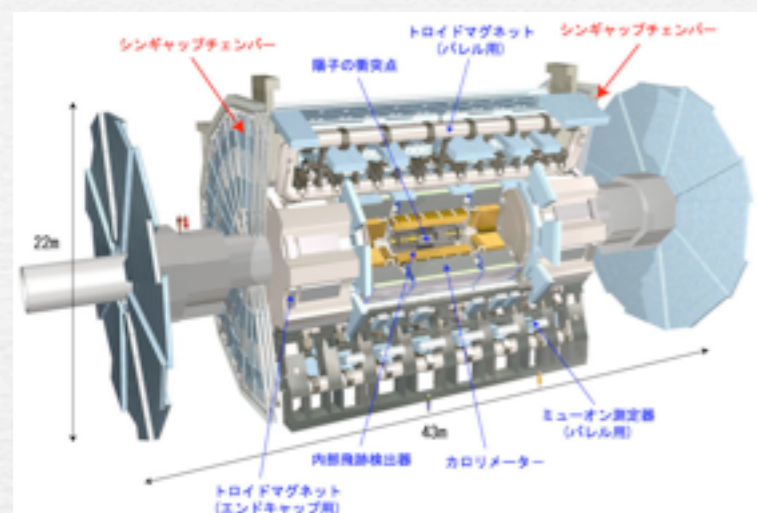
検出器の物質と粒子との相互作用を利用する



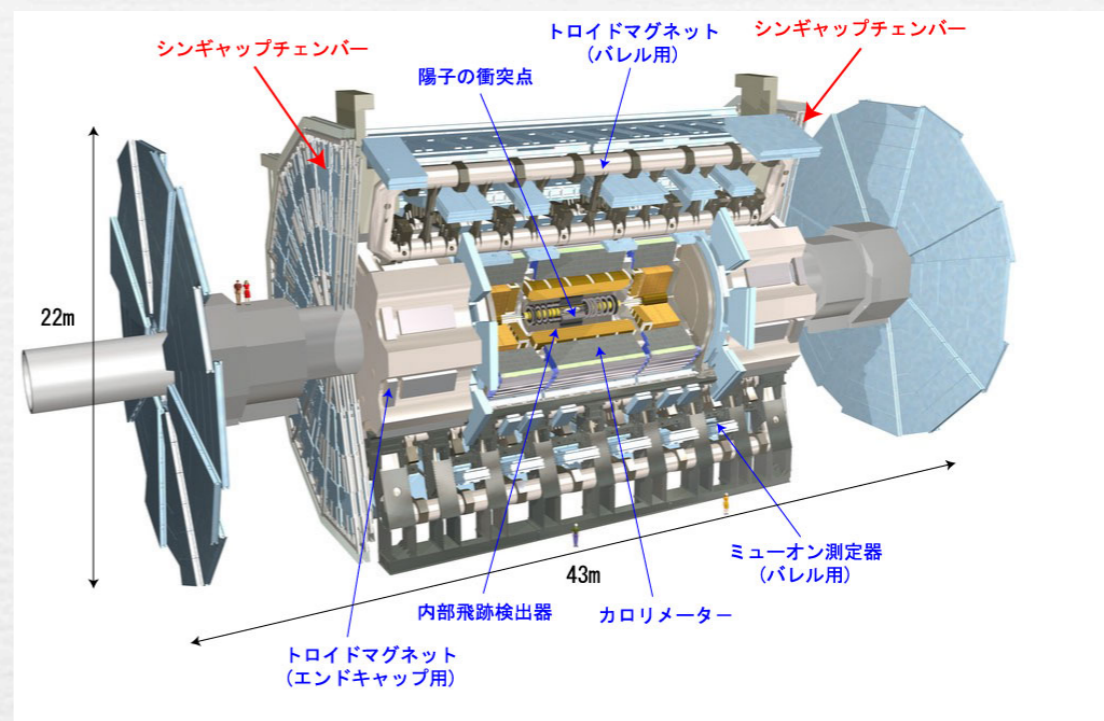
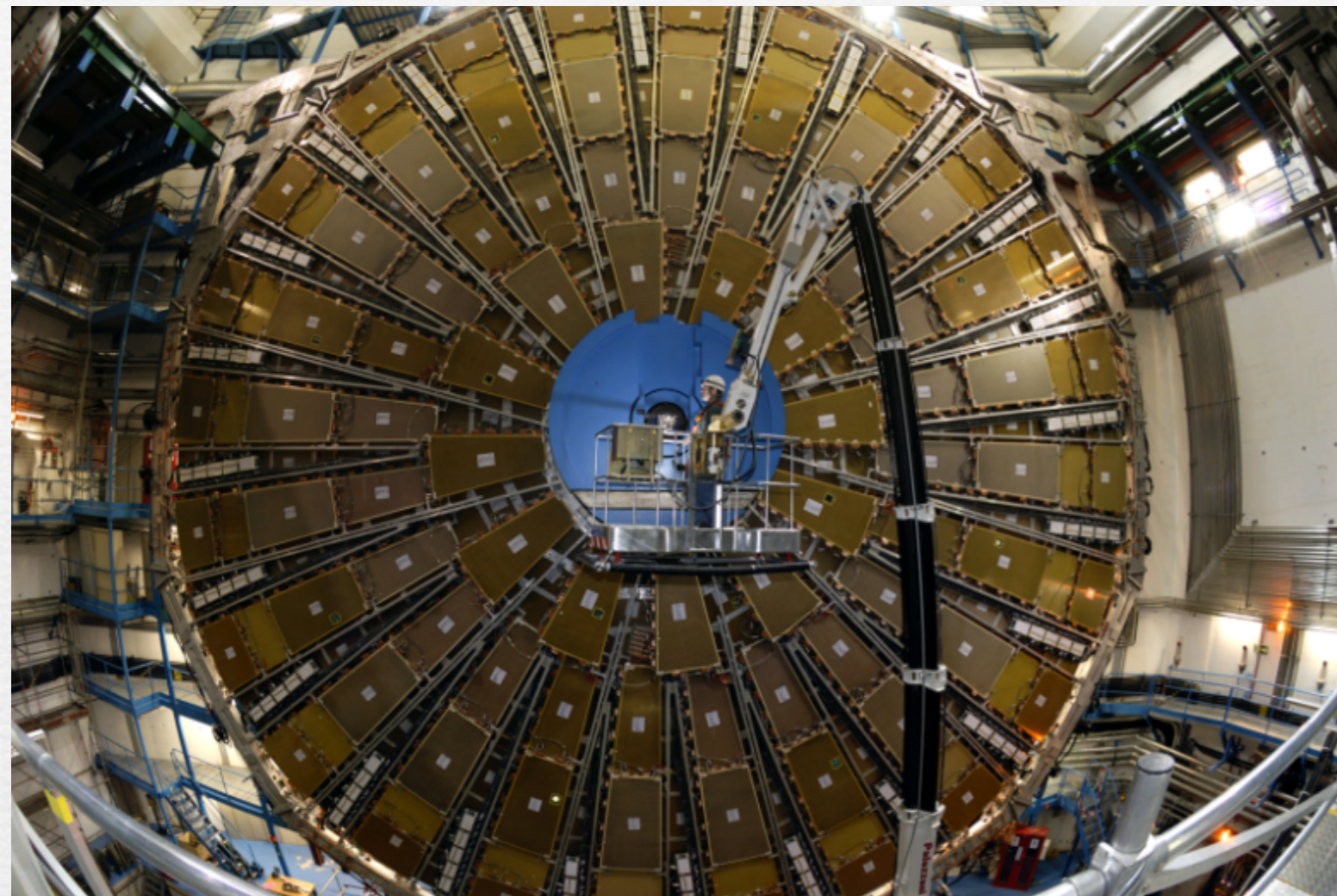
粒子の種類、エネルギー、運動量を測定

特に、電子、光、 μ 粒子が測定しやすく重要。

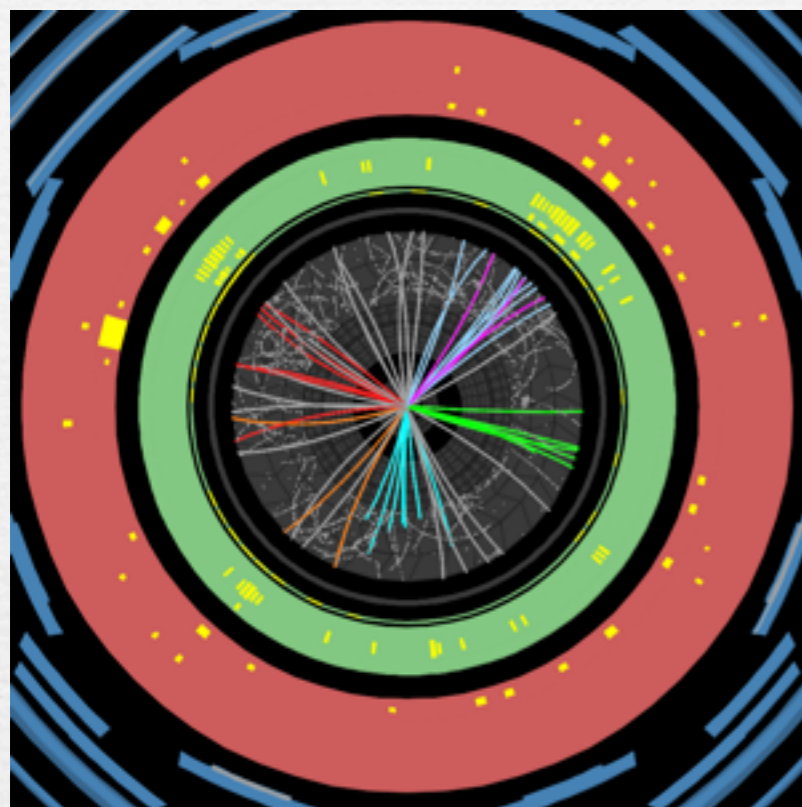
検出器建設の歴史を1分で、



検出器建設で活躍する学生達

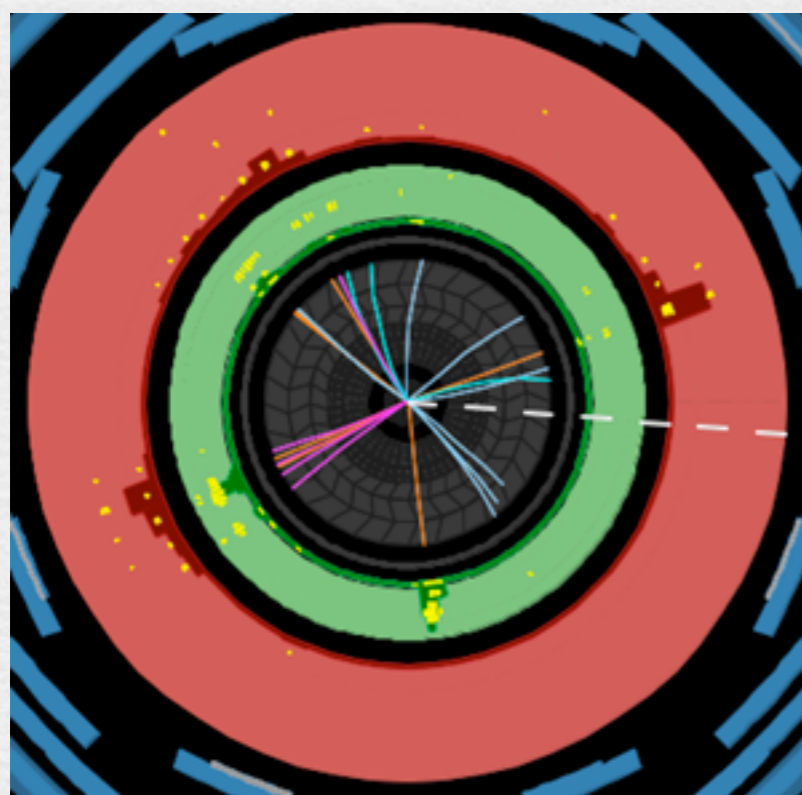
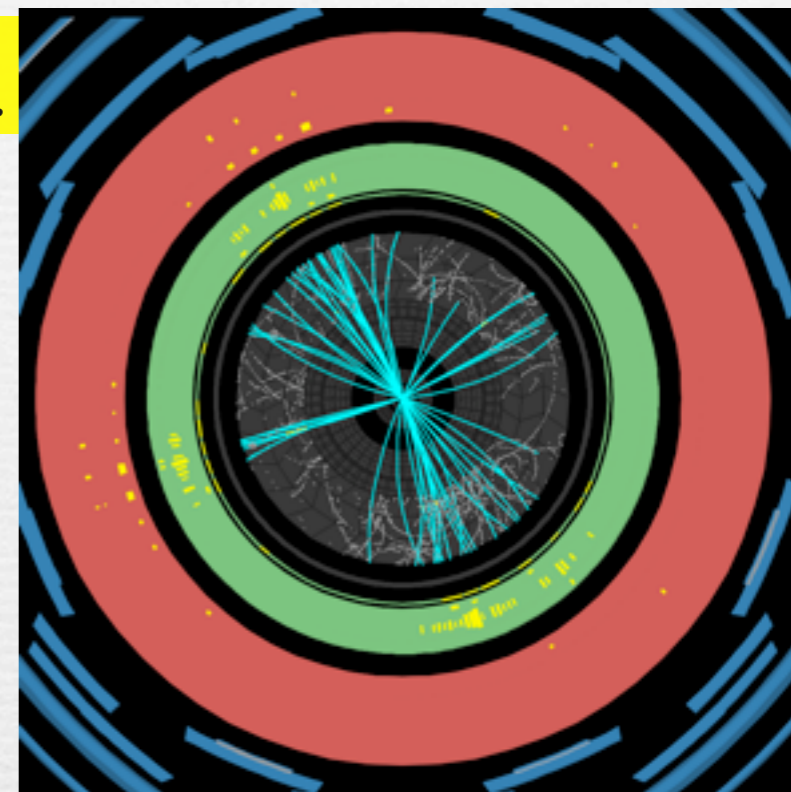


実際の陽子陽子衝突事象



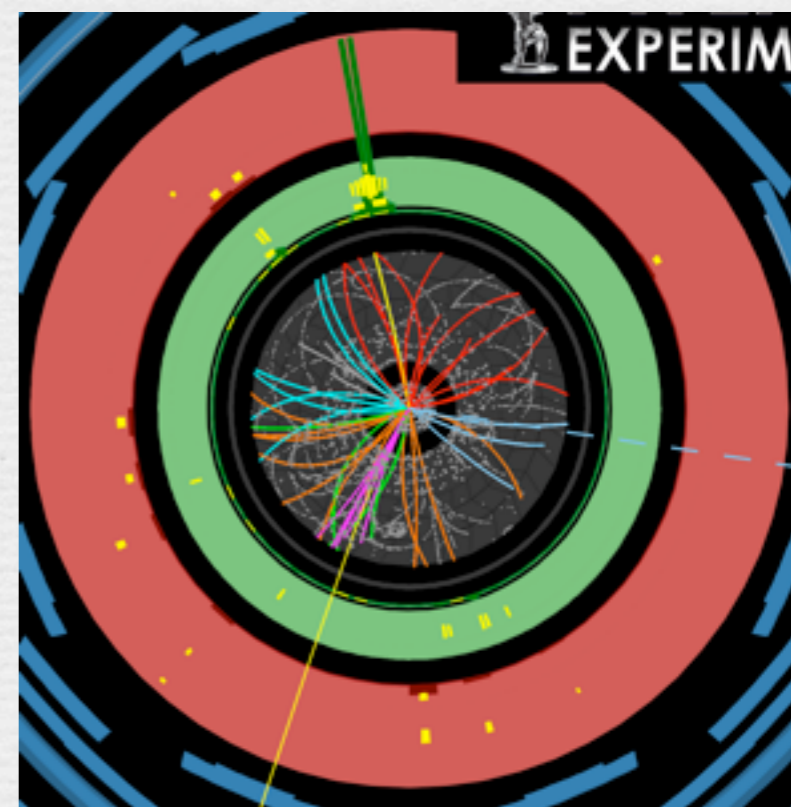
u,d,s,gなどの生成事象

毎秒 7千万回



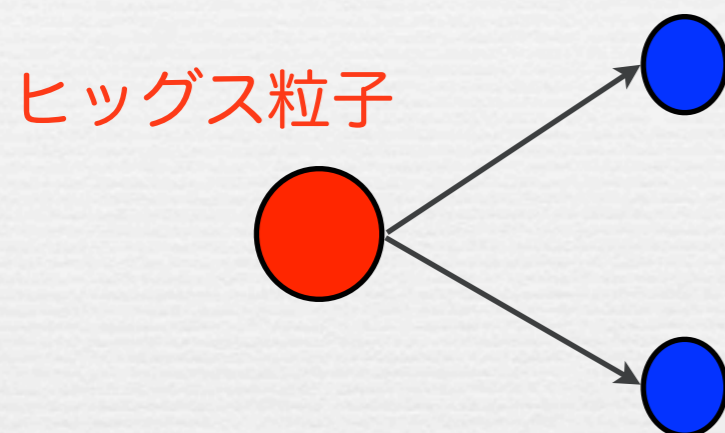
トップクォーク事象

10秒間に2回



ヒッグス粒子の測定方法

① ヒッグス粒子の崩壊を知る



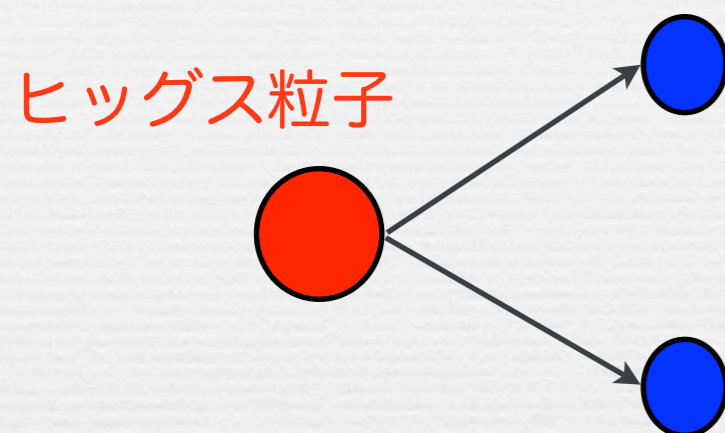
研究者がどうやってヒッグス粒子を探しているか？

陽子・陽子衝突 → ヒッグス粒子 → **光子 光子**

を例にして詳しく説明します。

ヒッグス粒子の測定方法

① ヒッグス粒子の崩壊を知る



ヒッグスは、質量の大きな素粒子が好き

W^+W^-

ZZ

$t\bar{t}$, $b\bar{b}$, $\tau^+\tau^-$, ... 光子 光子

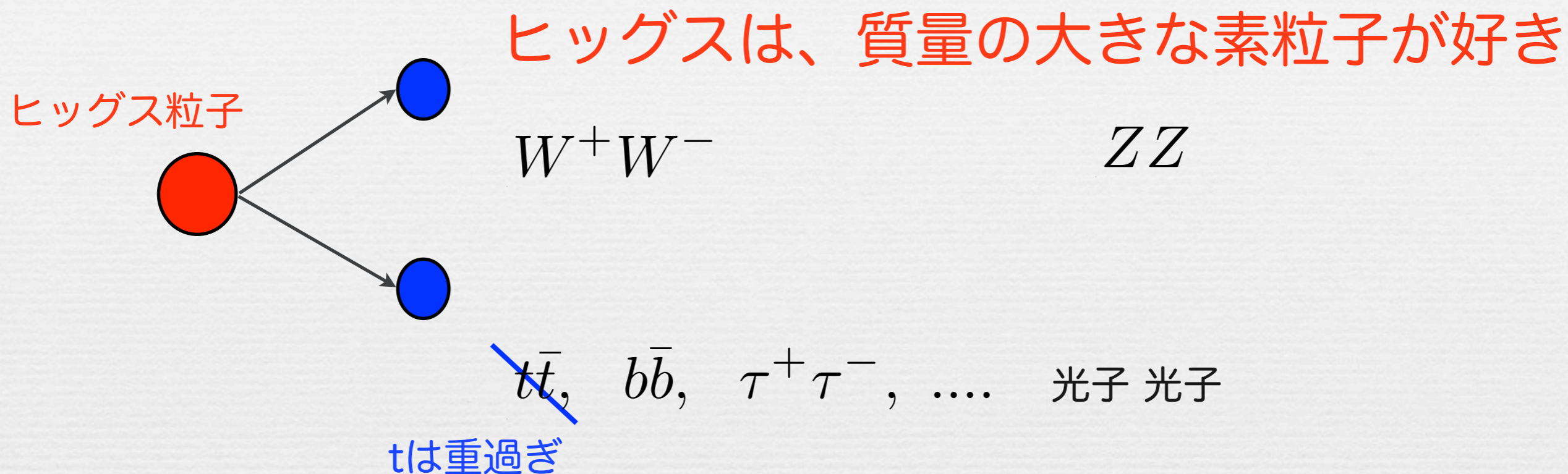
研究者がどうやってヒッグス粒子を探しているか？

陽子・陽子衝突 → ヒッグス粒子 → 光子 光子

を例にして詳しく説明します。

ヒッグス粒子の測定方法

① ヒッグス粒子の崩壊を知る



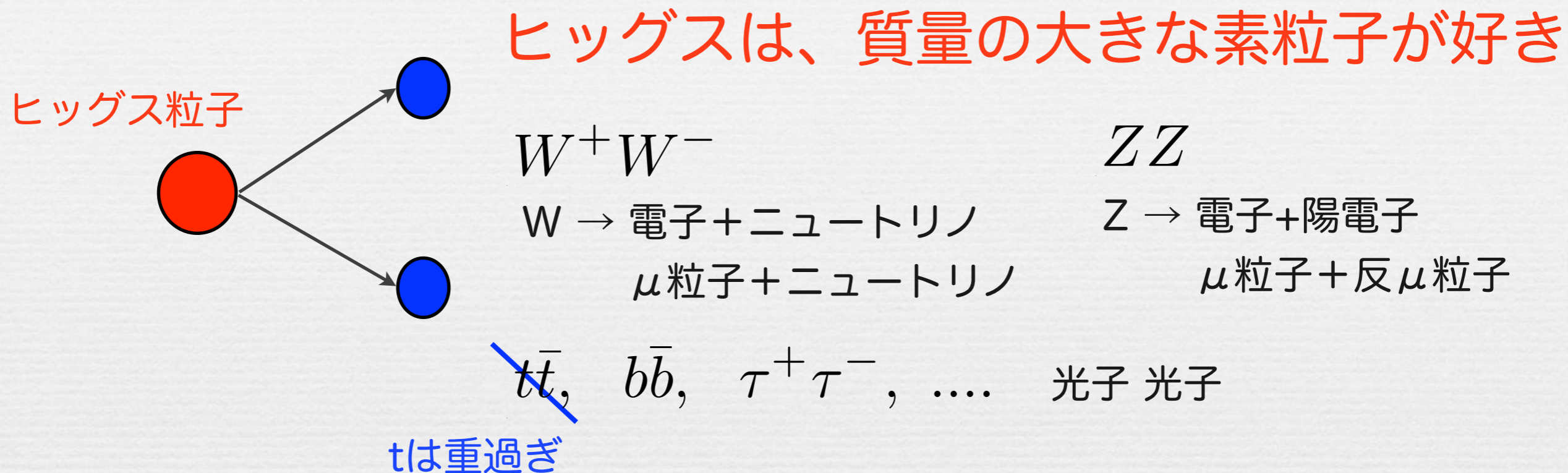
研究者がどうやってヒッグス粒子を探しているか？

陽子・陽子衝突 → ヒッグス粒子 → 光子 光子

を例にして詳しく説明します。

ヒッグス粒子の測定方法

① ヒッグス粒子の崩壊を知る



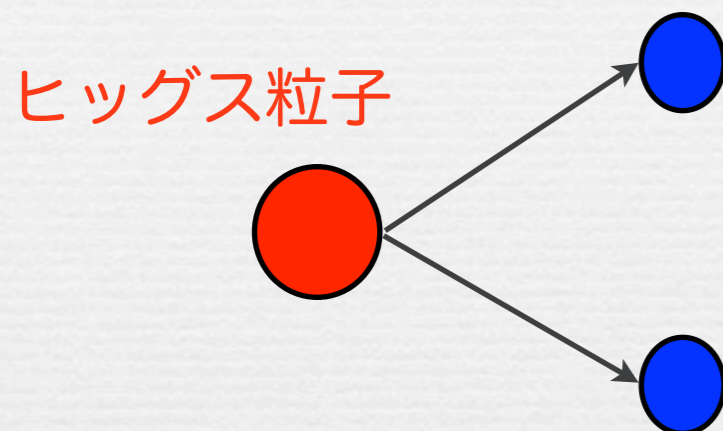
研究者がどうやってヒッグス粒子を探しているか？

陽子・陽子衝突 \rightarrow ヒッグス粒子 \rightarrow 光子 光子

を例にして詳しく説明します。

ヒッグス粒子の測定方法

① ヒッグス粒子の崩壊を知る



ヒッグスは、質量の大きな素粒子が好き

W^+W^-

$W \rightarrow$ 電子+ニュートリノ
 μ 粒子+ニュートリノ

ZZ

$Z \rightarrow$ 電子+陽電子
 μ 粒子+反 μ 粒子

~~$t\bar{t}$~~

$b\bar{b}, \tau^+\tau^-, \dots$

光子 光子

tは重過ぎ 色々な崩壊を研究しています

研究者がどうやってヒッグス粒子を探しているか？

陽子・陽子衝突 \rightarrow ヒッグス粒子 \rightarrow 光子 光子

を例にして詳しく説明します。

ヒッグス粒子の再構成

② 検出器が2本の光子を捕らえた事象を選ぶ

ヒッグス粒子 → 光子 光子 を例に

信号 (本物)

陽子・陽子衝突 → ヒッグス粒子 → 光子 光子

バックグラウンド (偽物)

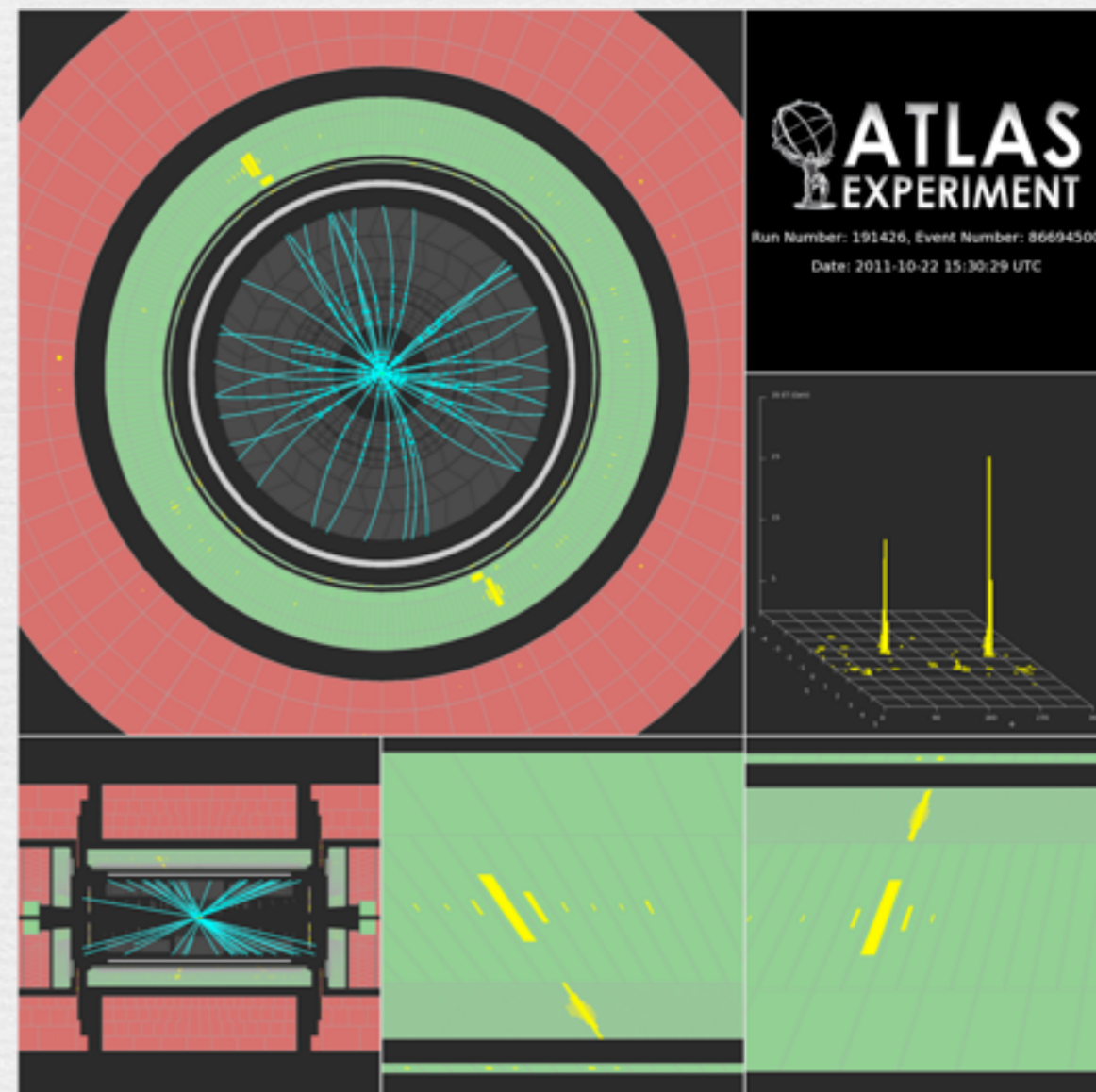
陽子・陽子衝突 → 光子 光子

ヒッグス粒子からではない

陽子・陽子衝突 → クォーク + 光子

ヒッグス粒子からではない

クォークを γ と間違える



親粒子の復元

出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



親粒子の復元

出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



親粒子の復元

出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



親粒子の復元

出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



親粒子の復元

出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



親粒子の復元

出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



親粒子の復元

出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



親粒子の復元

出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>

重さを測れば



いつも同じ！



親粒子の復元

出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



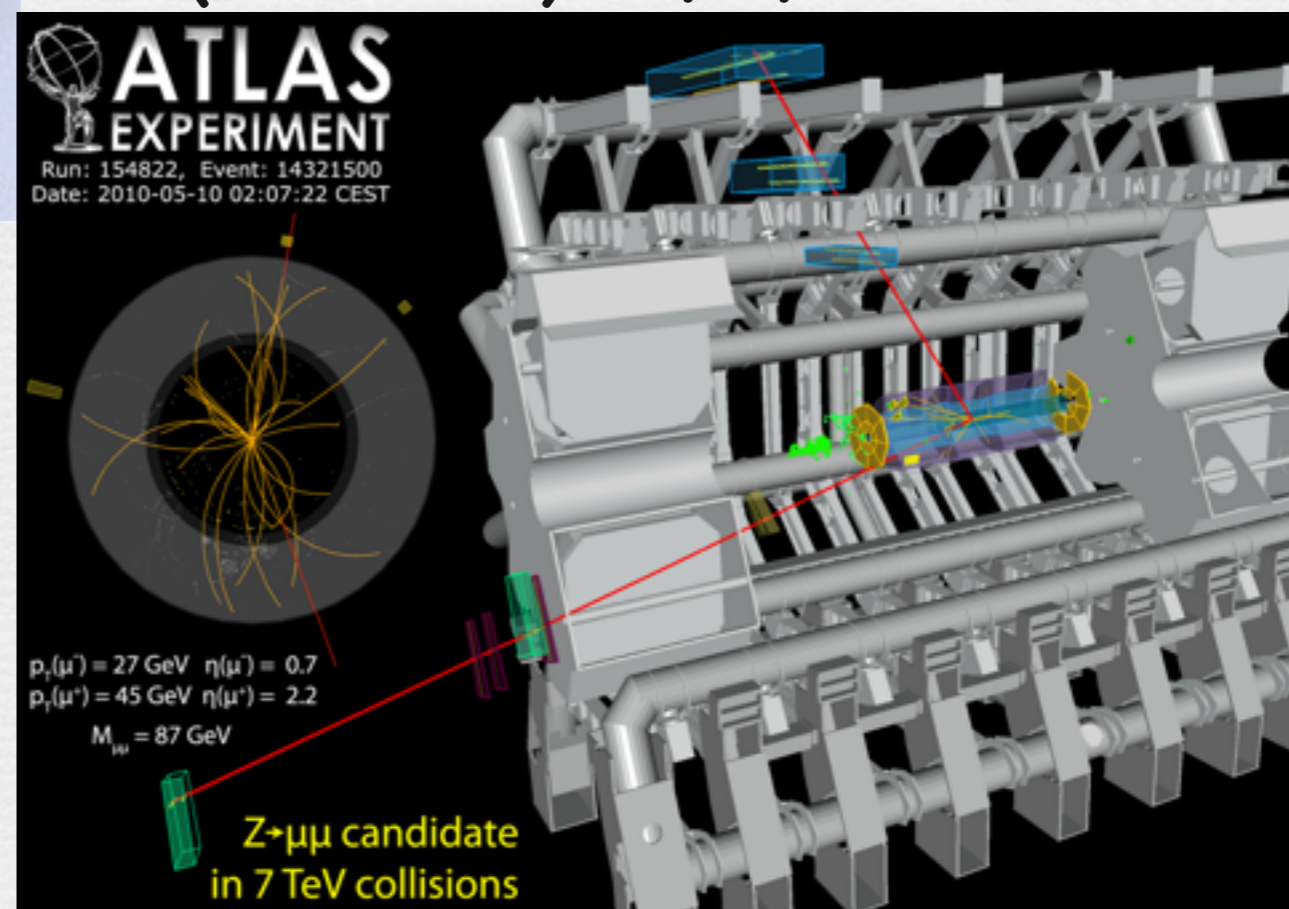
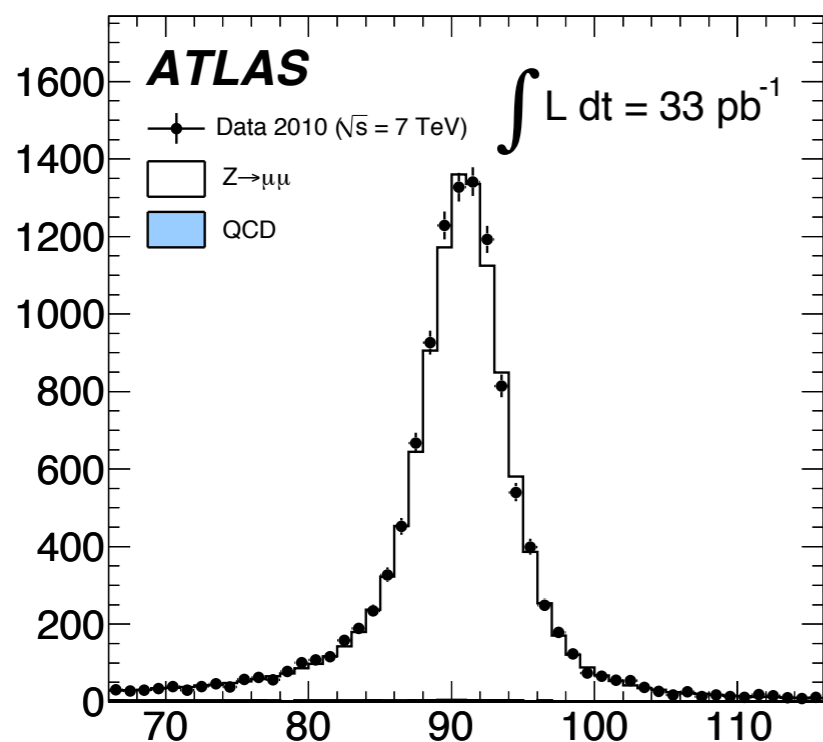
重さを測れば



いつも同じ!

$Z (90\text{GeV}) \rightarrow \mu\mu$

観測数



2つの粒子から組み上げた質量

親粒子の復元

出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



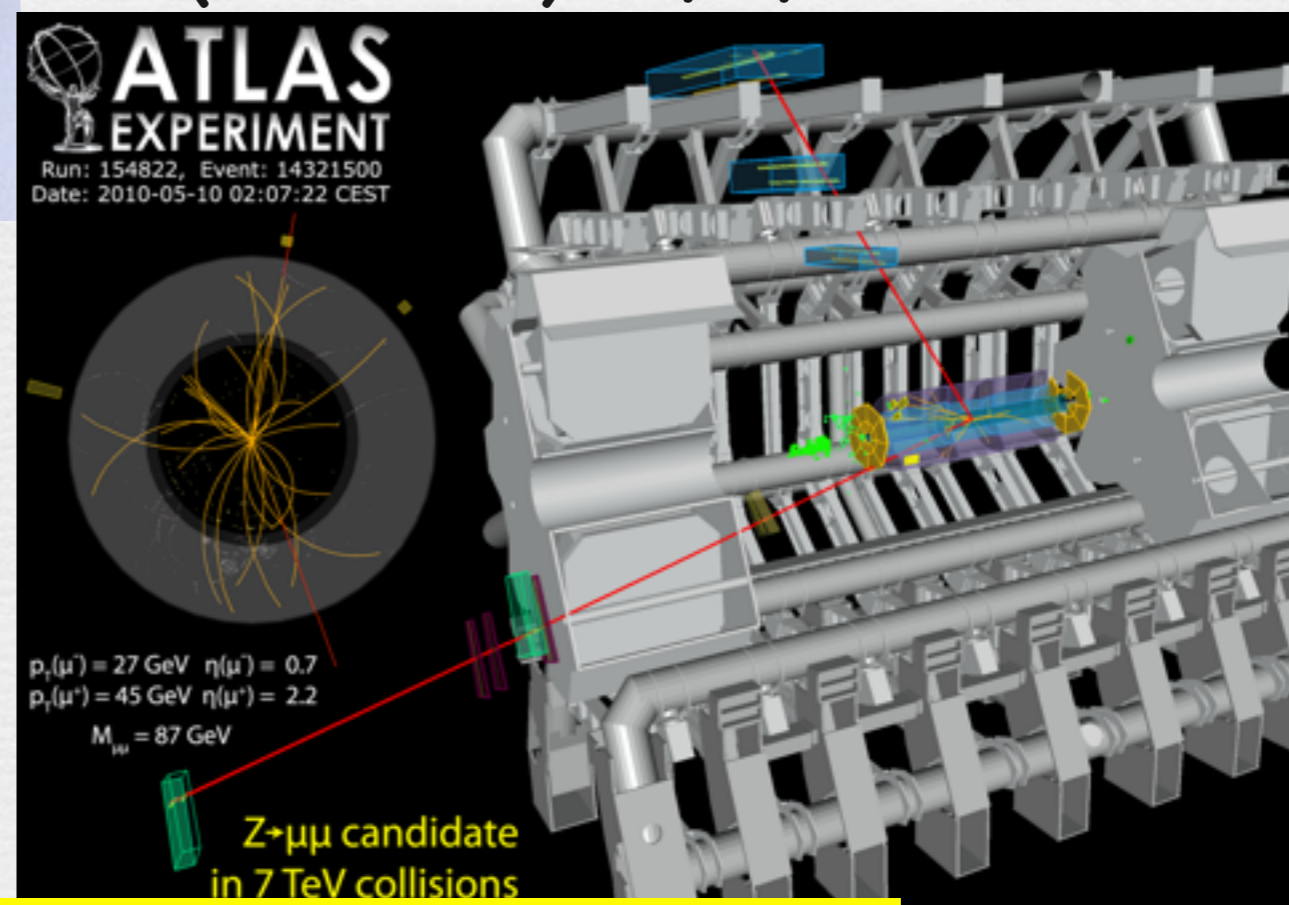
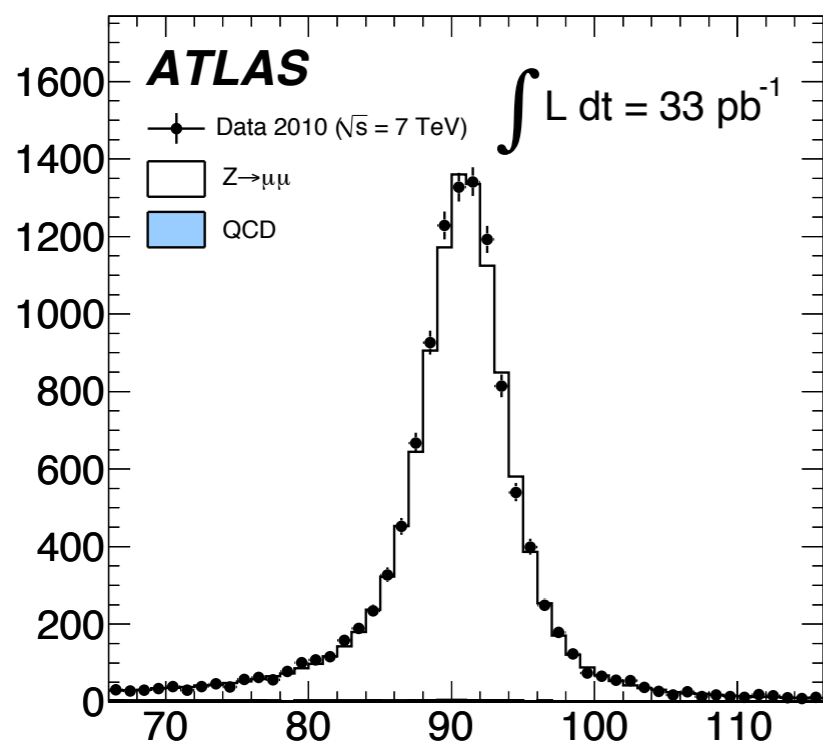
重さを測れば



いつも同じ!

$Z (90\text{GeV}) \rightarrow \mu \mu$

観測数

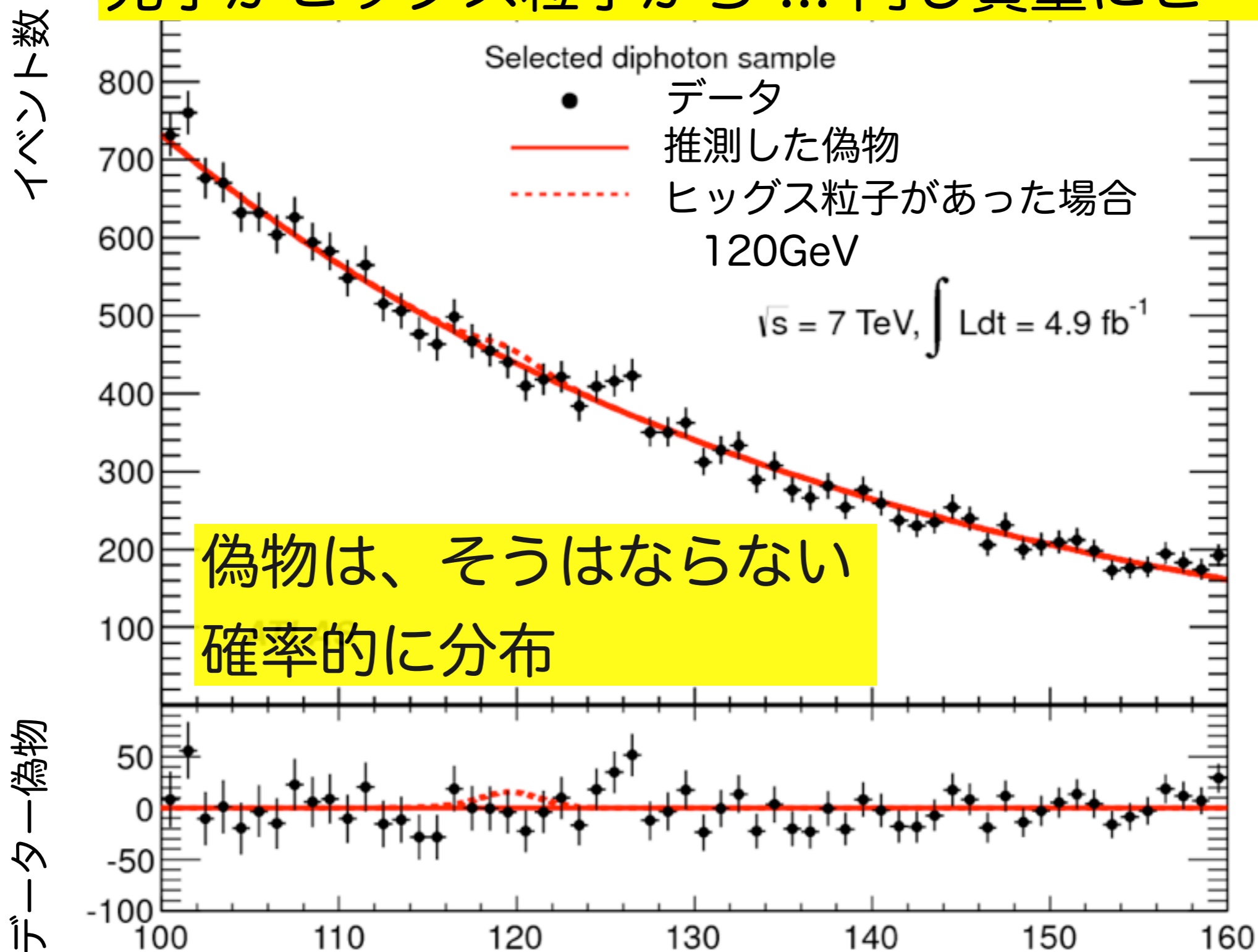


2つの粒子から組み上げた質量

⇒親粒子の質量にピーク

実際のデータ

光子がヒッグス粒子から ... 同じ質量にピーク



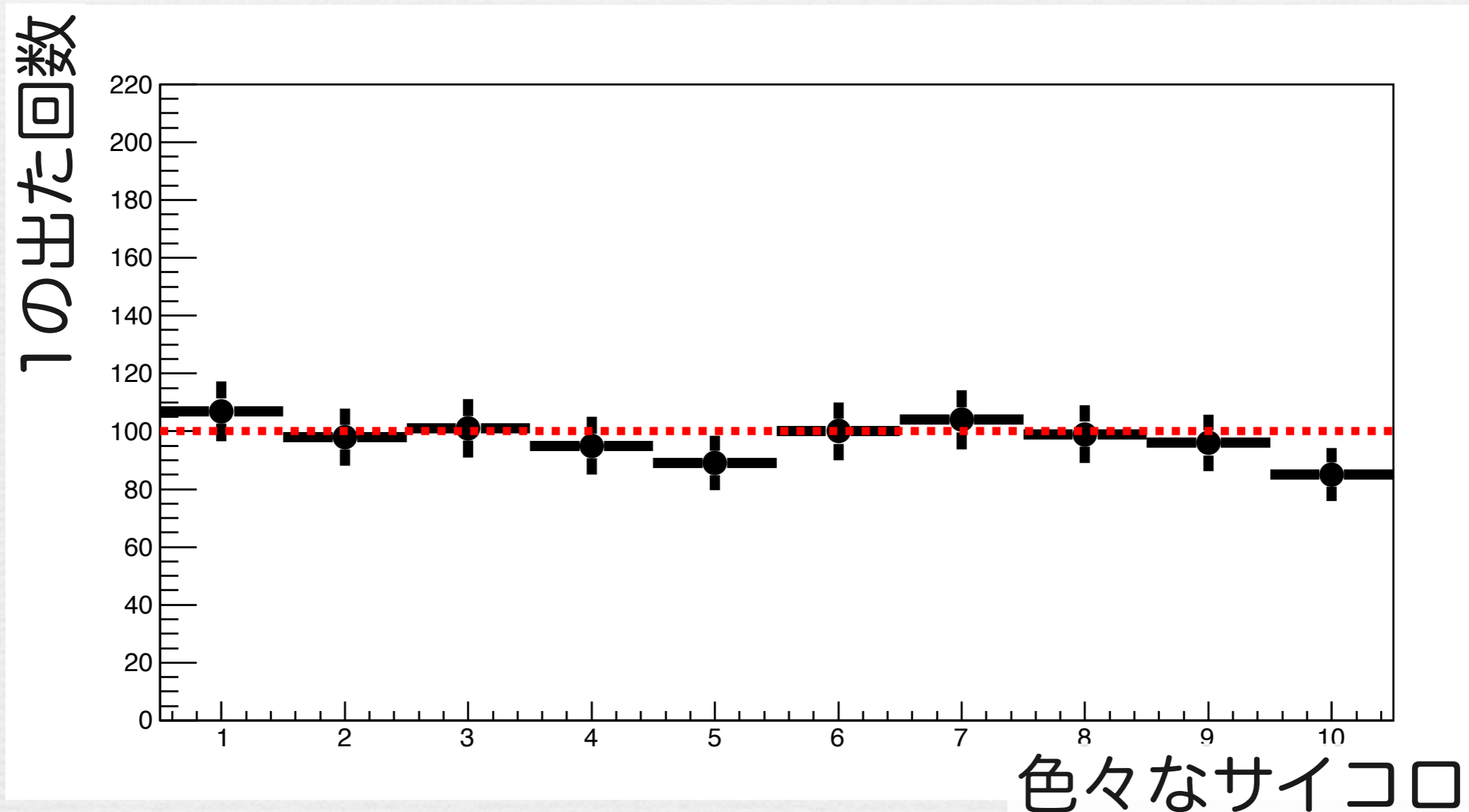
光子2のエネルギーから算出した質量 (GeV)

いかさまサイコロを探せ！

1の目が出る確率 $1/6$

10個のサイコロをそれぞれ600回ずつ振ってみる

10個とも普通のサイコロ（いかさまはない）

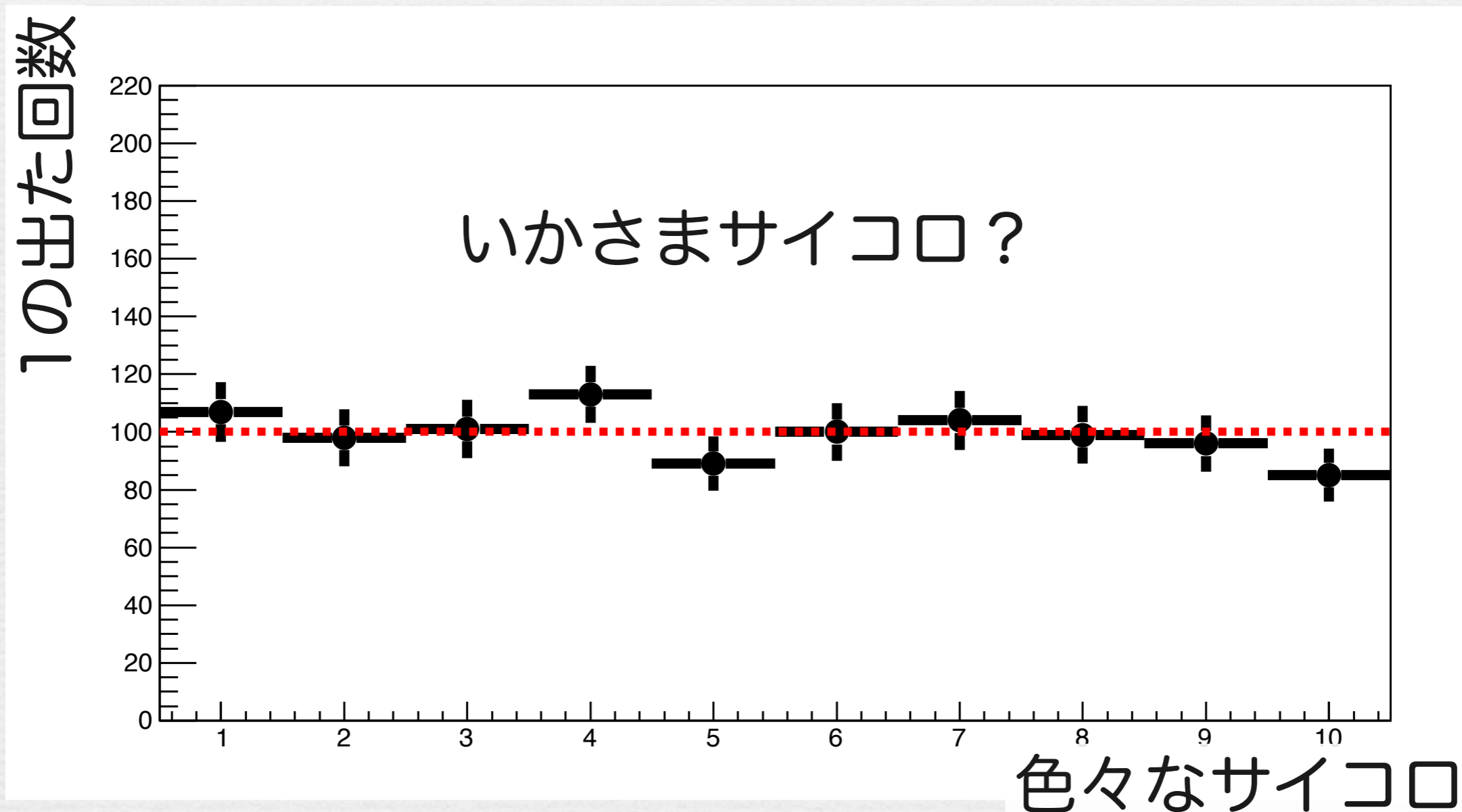


いかさまサイコロを探せ！

1の目が出る確率 $1/6$

10個のサイコロをそれぞれ600回ずつ振ってみる

9個は普通 1個は $1/5$ で1の目が出るいかさまサイコロ

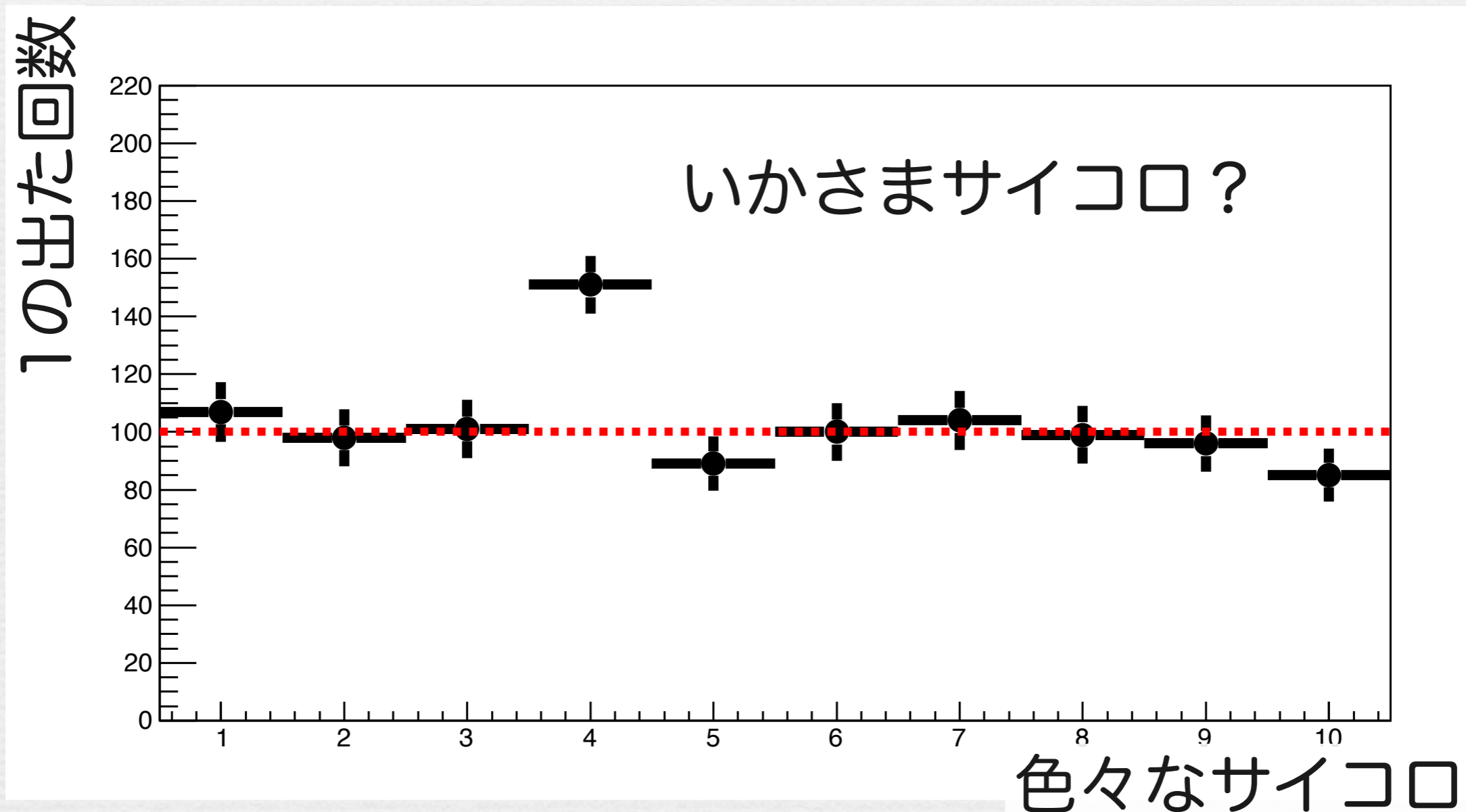


いかさまサイコロを探せ！

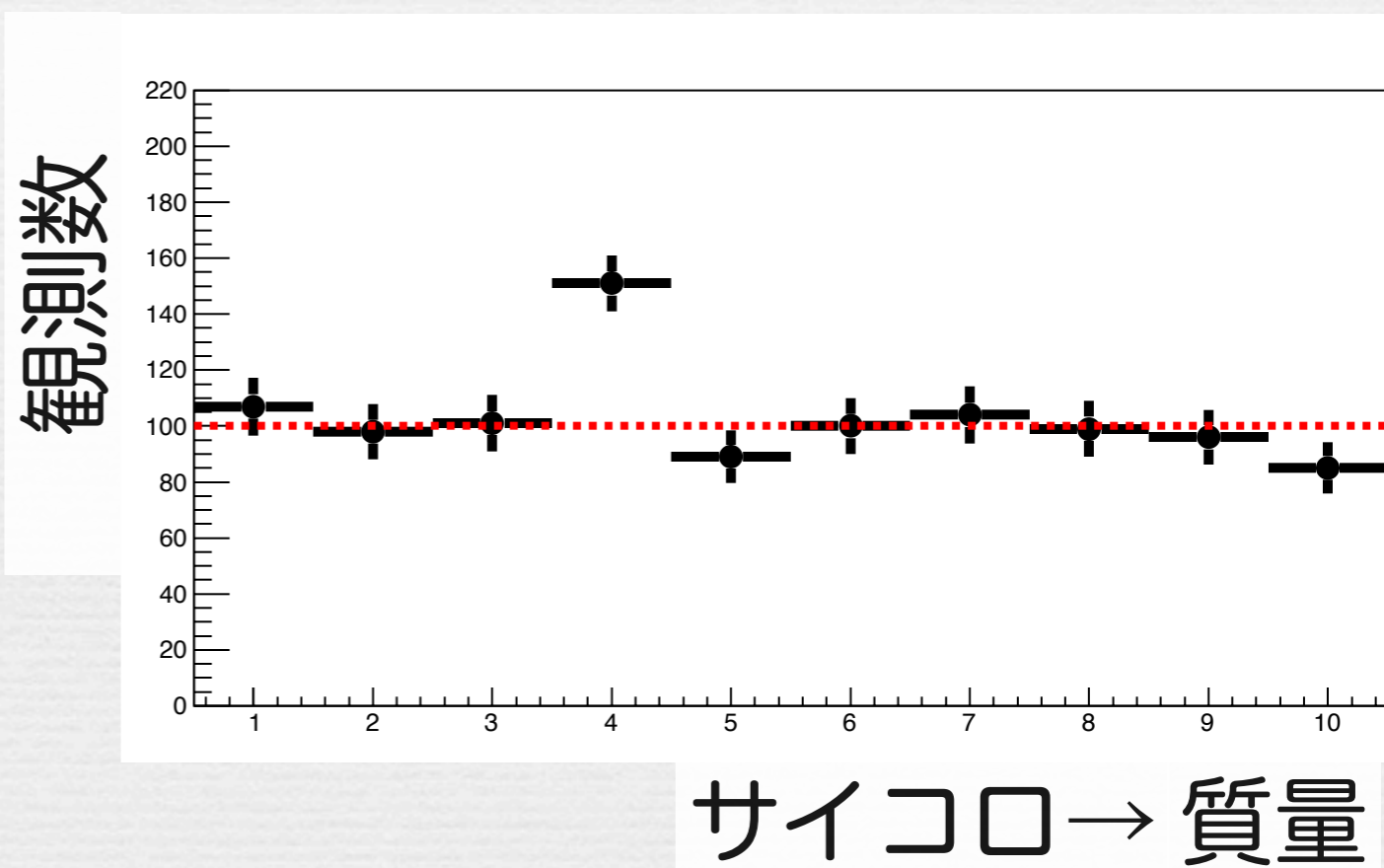
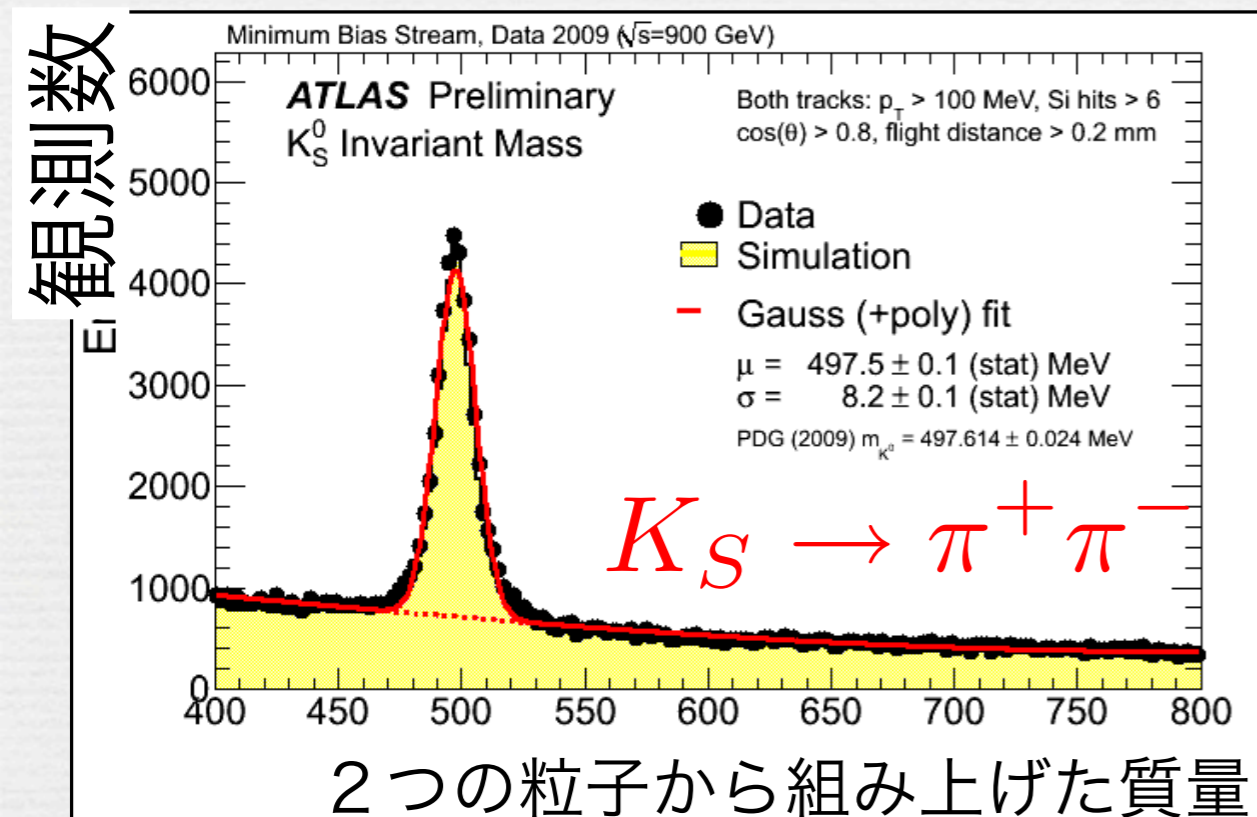
1の目が出る確率 $1/6$

10個のサイコロをそれぞれ600回ずつ振ってみる

9個は普通 1個は $1/4$ で1の目が出るいかさまサイコロ



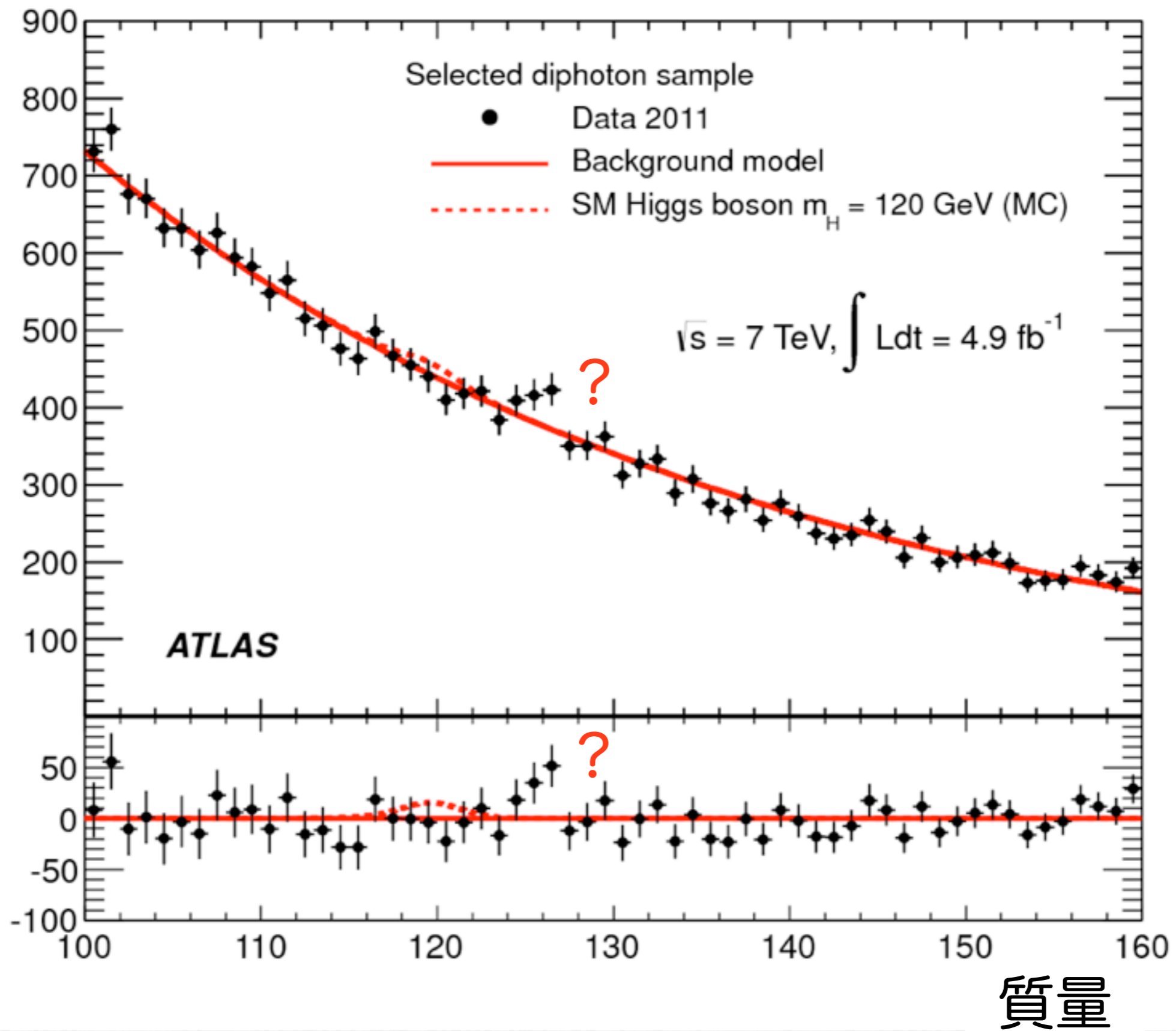
わかり安い事象でみると



もう一度、実際のデータ

イベント数

データ - 偽物



12月に発表した結果

「発見」とは言えない

偽物をヒッグス粒子と間違える確率 $\equiv p$

○ ATLAS実験

126GeV付近のピークらしきもの

$p=1.4\%$

○ CMS実験

119GeV付と124GeV付近にピークらしきもの

$p=2.9\%$

「 $p=○\%$ だから発見」というものではありません

数字は科学的に導出、判断は人間

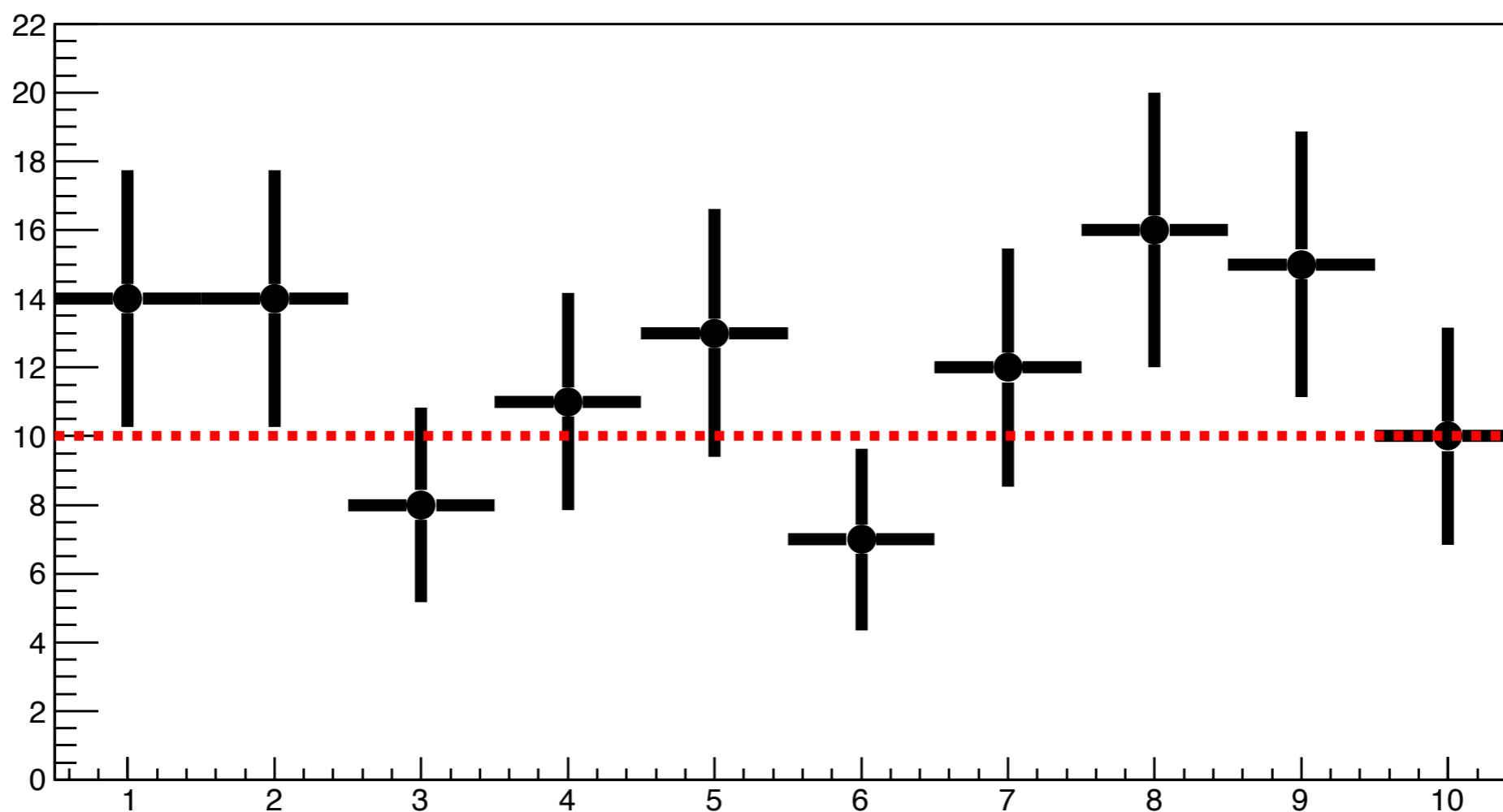
いかさまサイコロを探せ！

1の目が出る確率 $1/6$

10個のサイコロをそれぞれ60回ずつ振ってみる

9個は普通 1個は1/5で1の目が出るいかさまサイコロ

1の出た回数



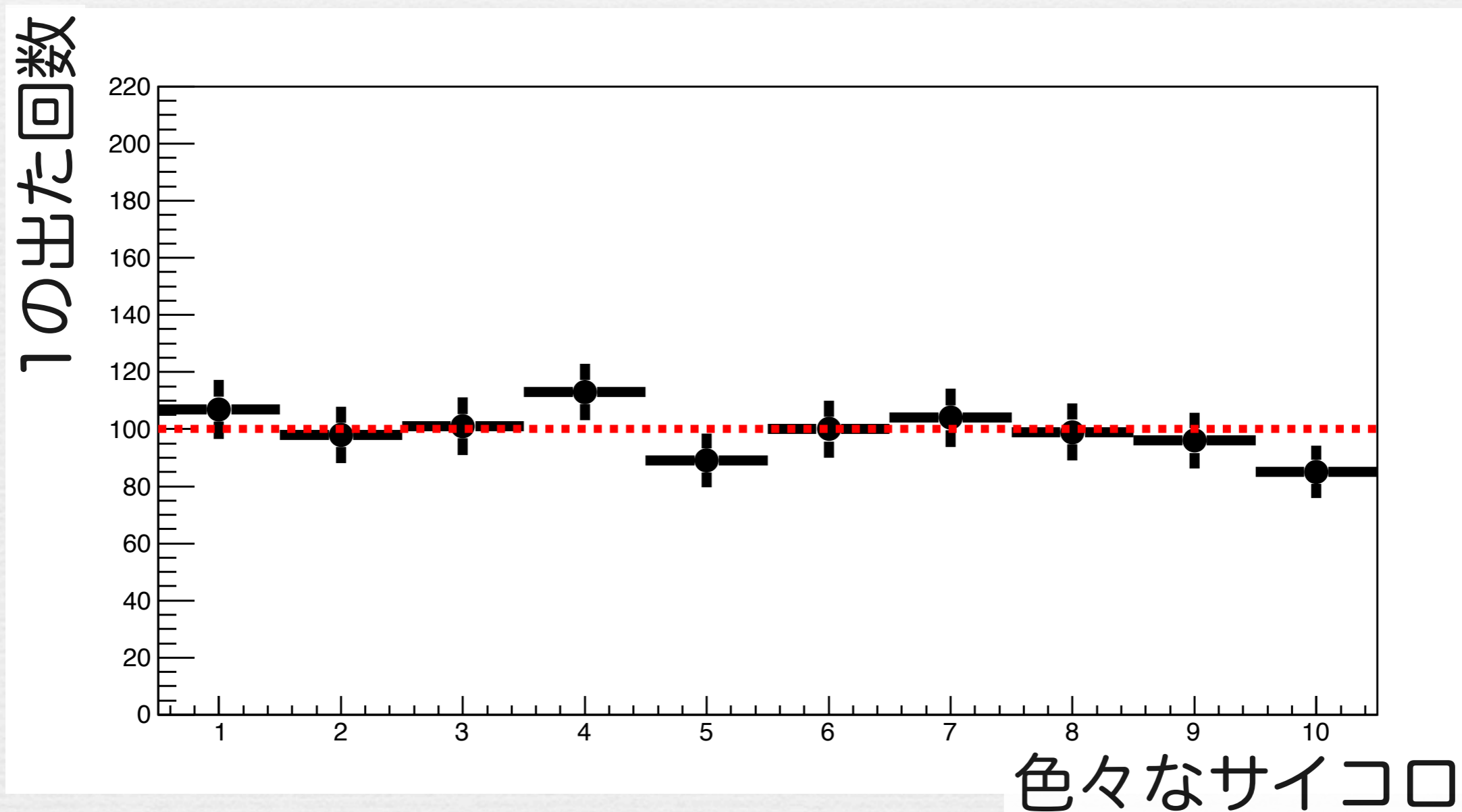
色々なサイコロ

いかさまサイコロを探せ！

1の目が出る確率 $1/6$

10個のサイコロをそれぞれ600回ずつ振ってみる

9個は普通 1個は1/5で1の目が出るいかさまサイコロ

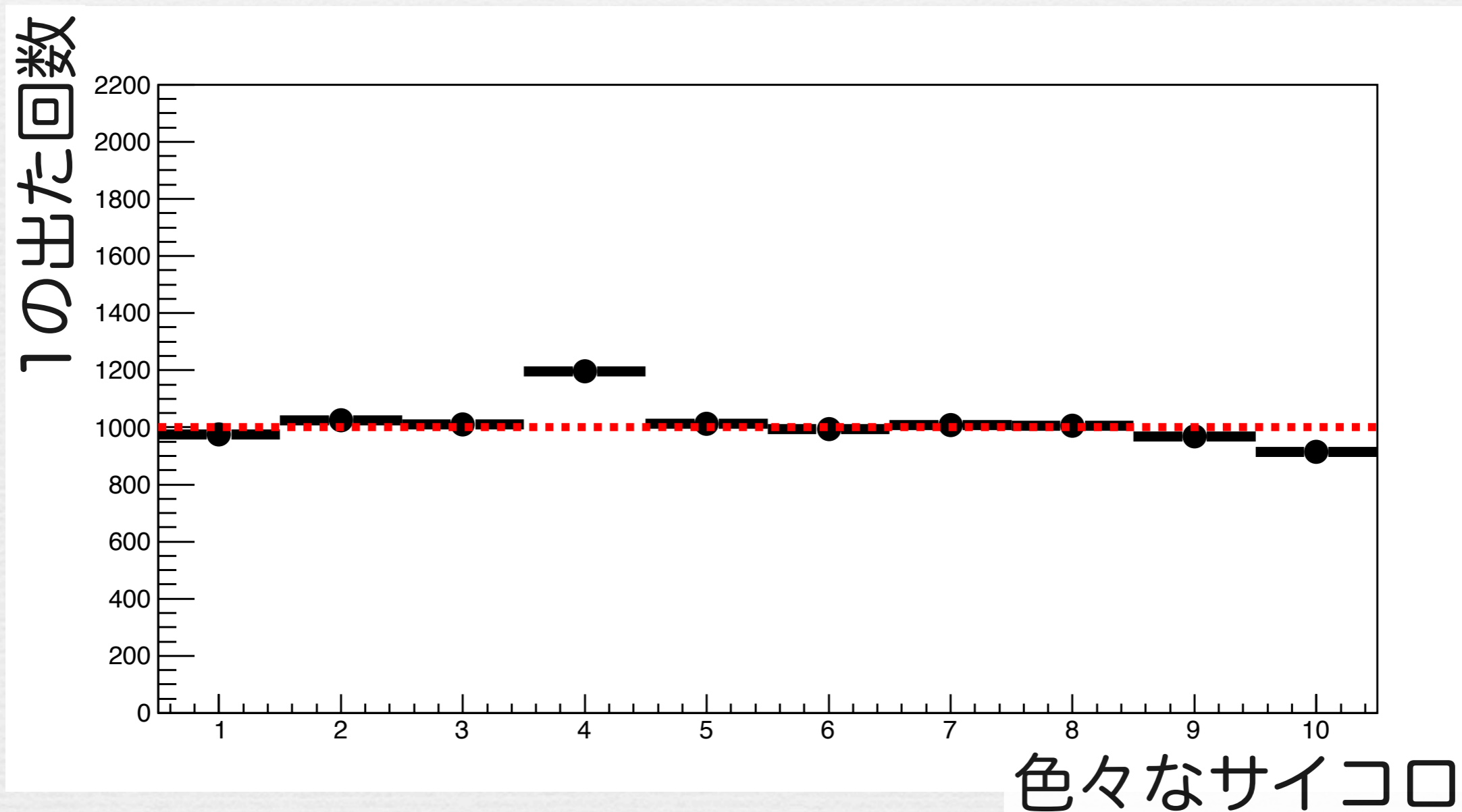


いかさまサイコロを探せ！

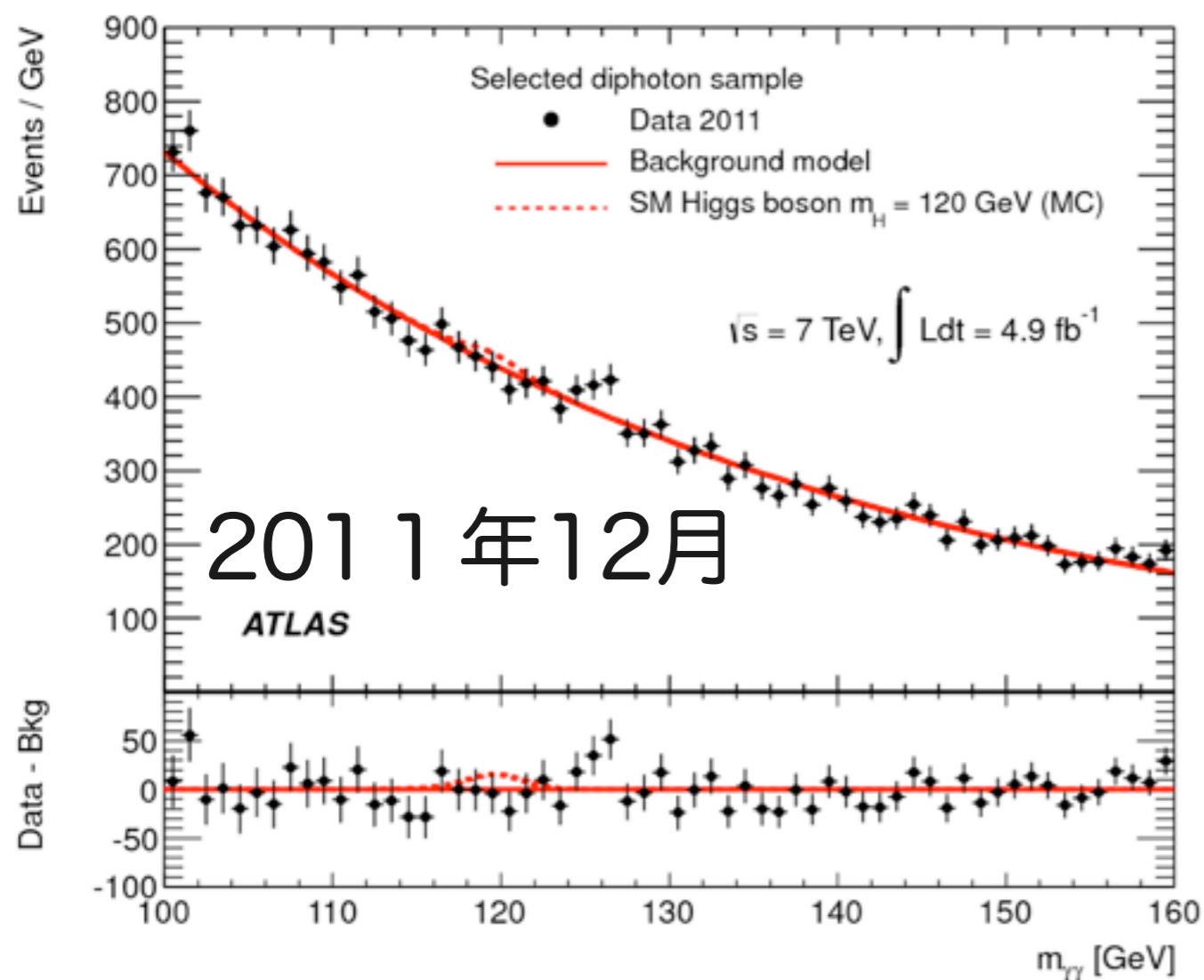
1の目が出る確率 $1/6$

10個のサイコロをそれぞれ6000回ずつ振ってみる

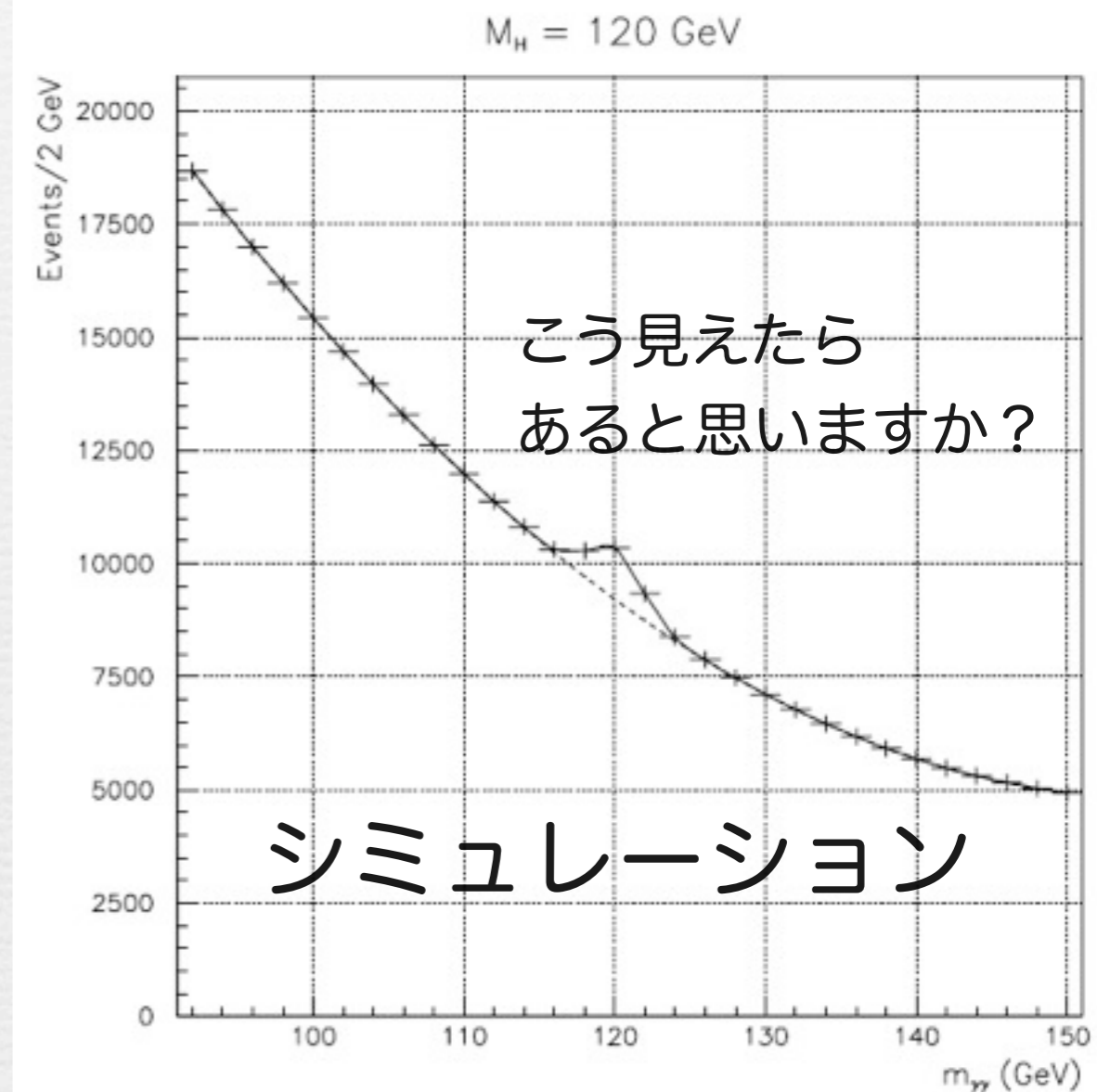
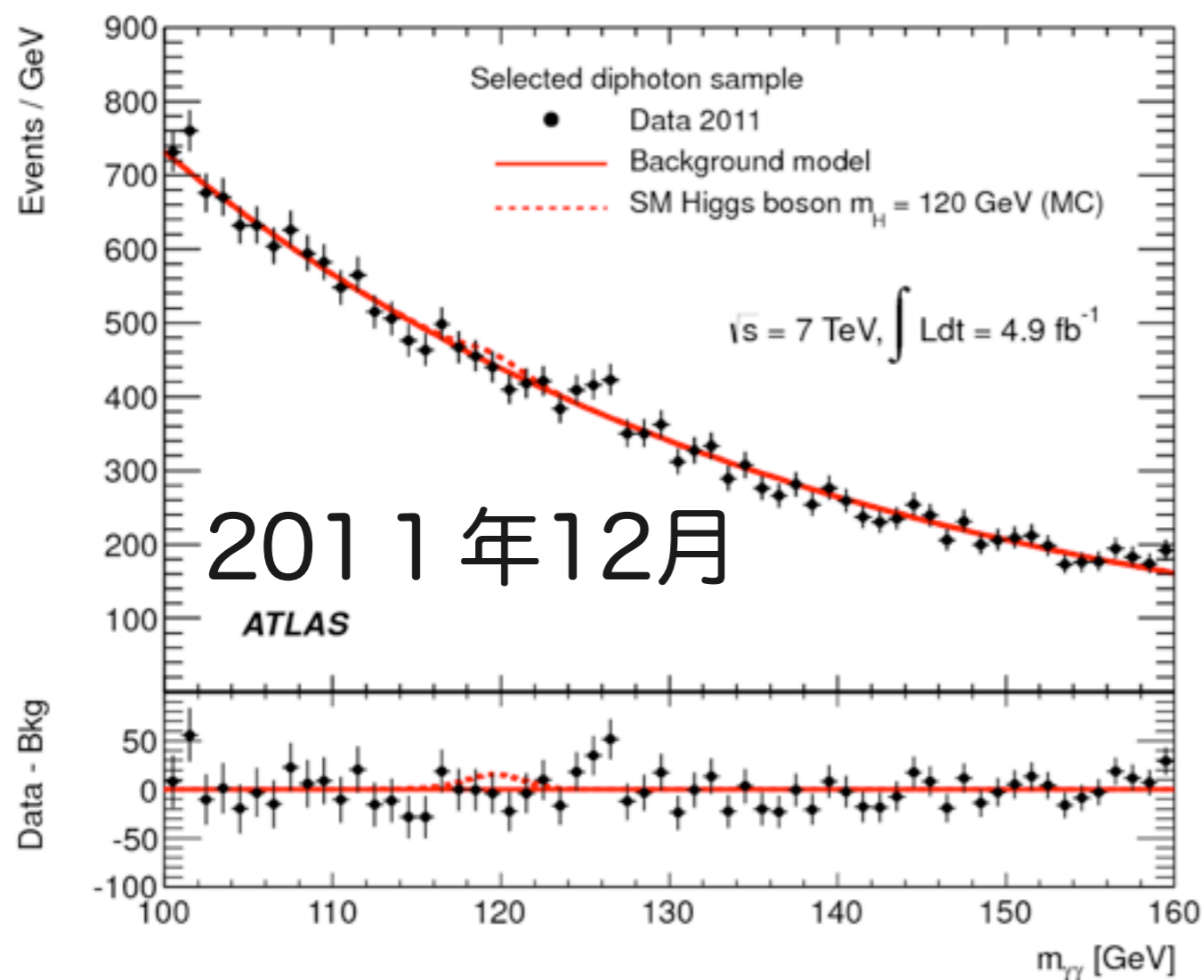
9個は普通 1個は1/5で1の目が出るいかさまサイコロ



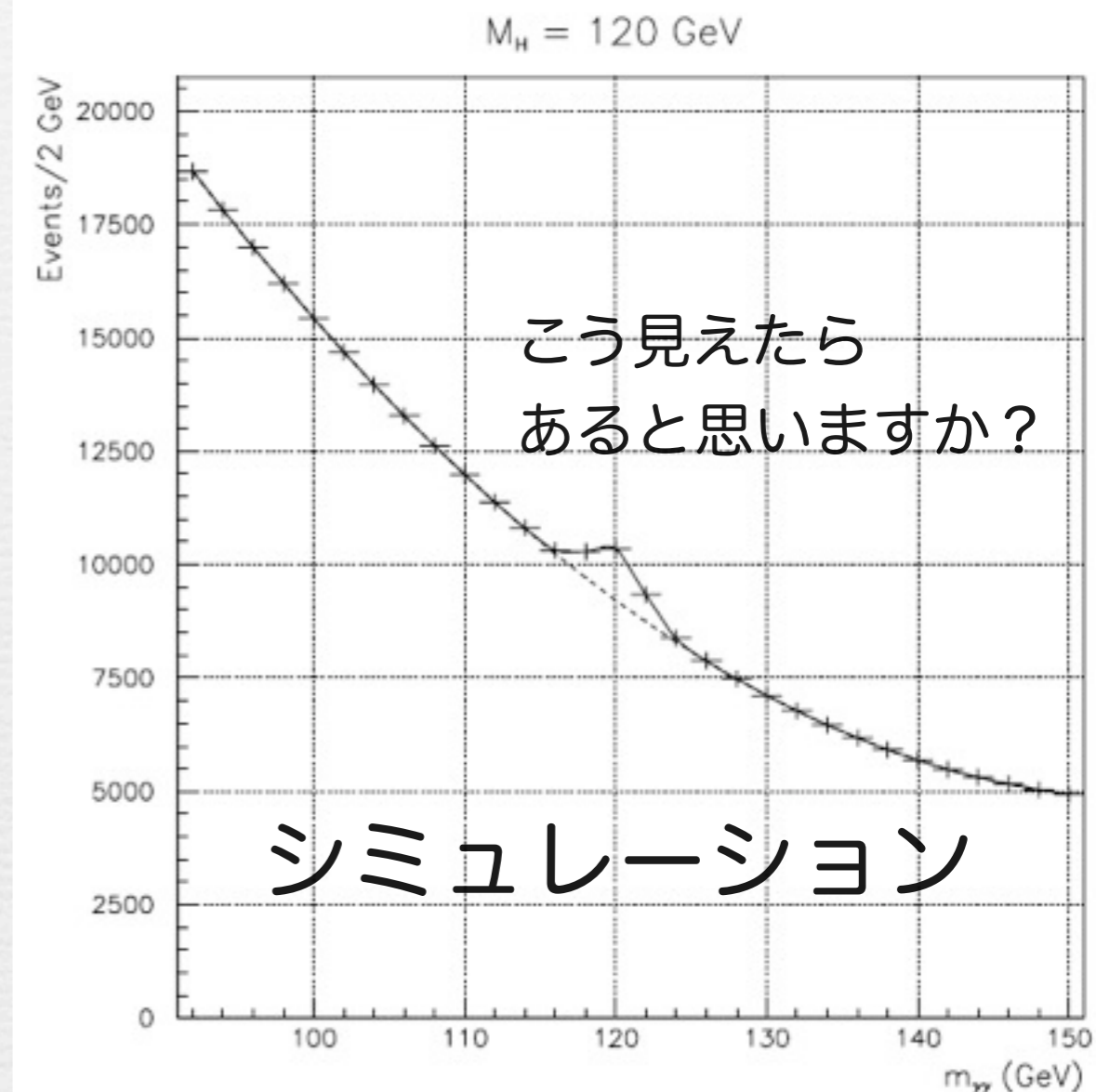
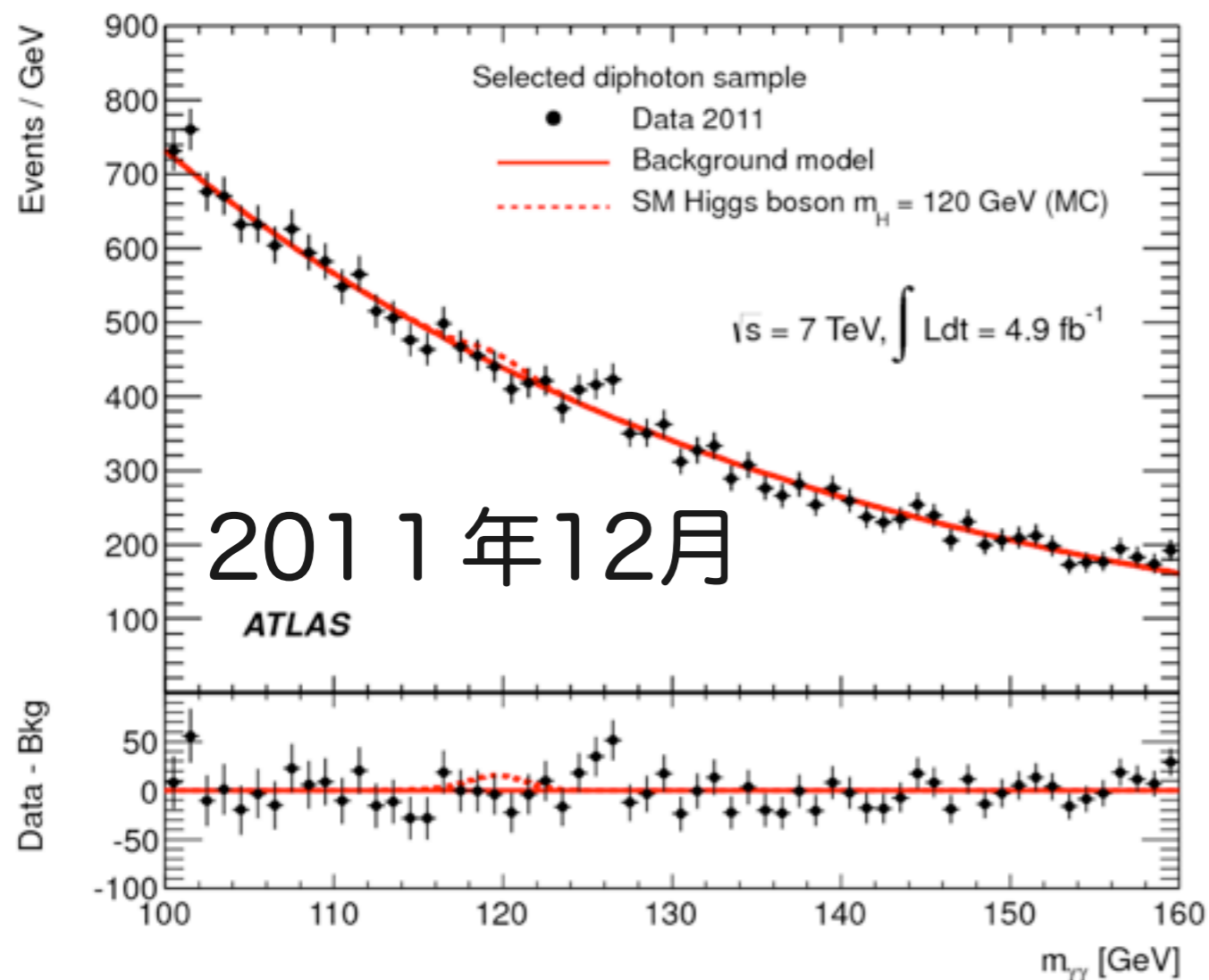
ヒッグス粒子発見に向けて



ヒッグス粒子発見に向けて



ヒッグス粒子発見に向けて



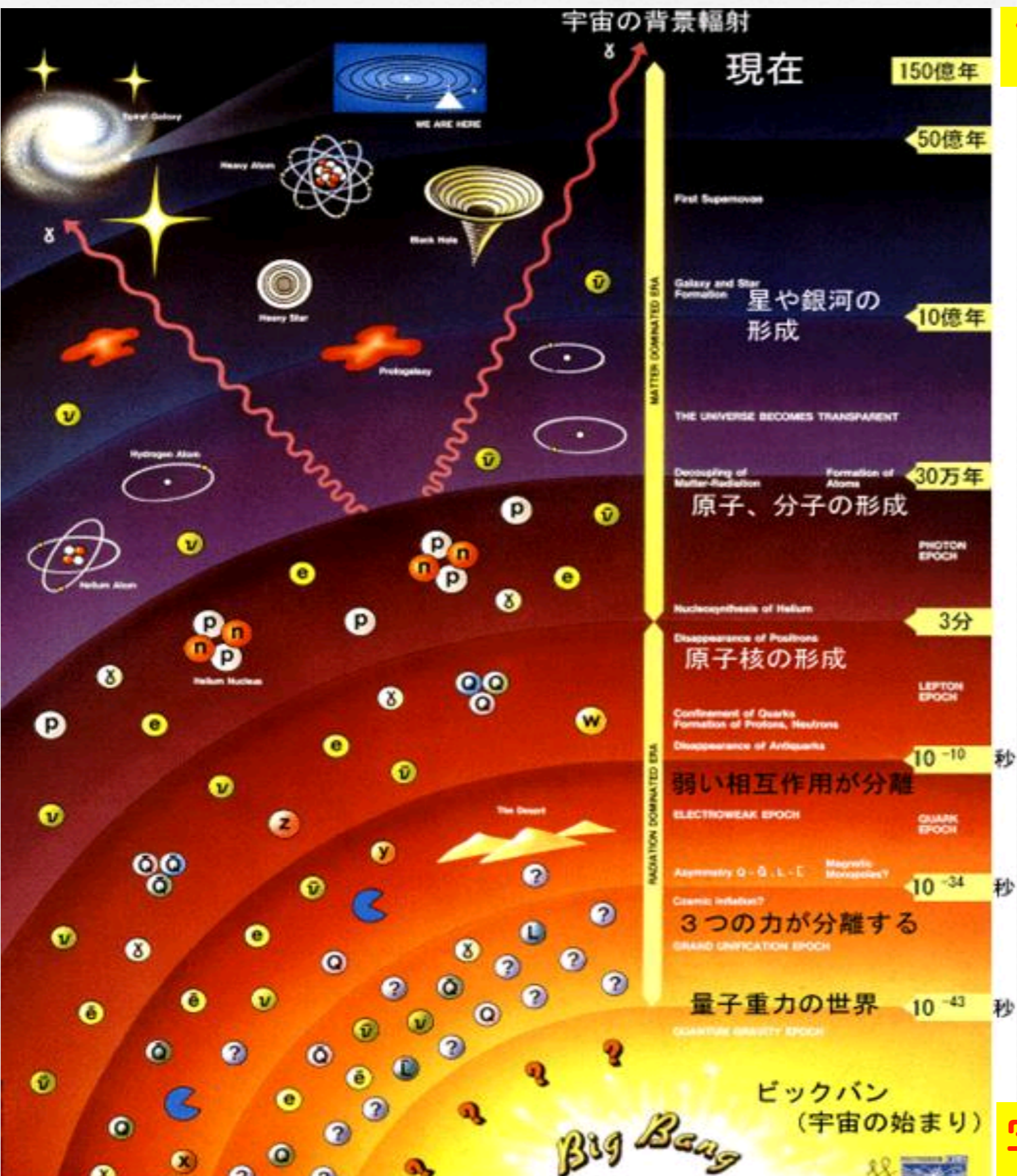
2012年に倍以上のデータを蓄積しました。

→それを使った研究を今日に発表します。

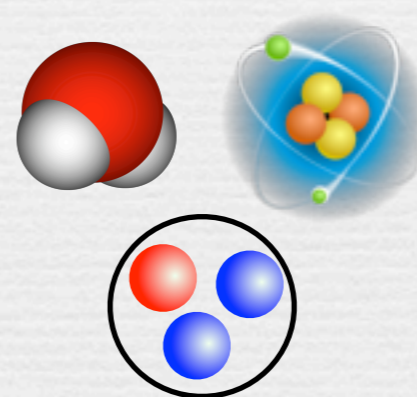
明日のニュース、新聞等に注目

ヒッグス粒子の発見のあと

LHCで宇宙創成を探る

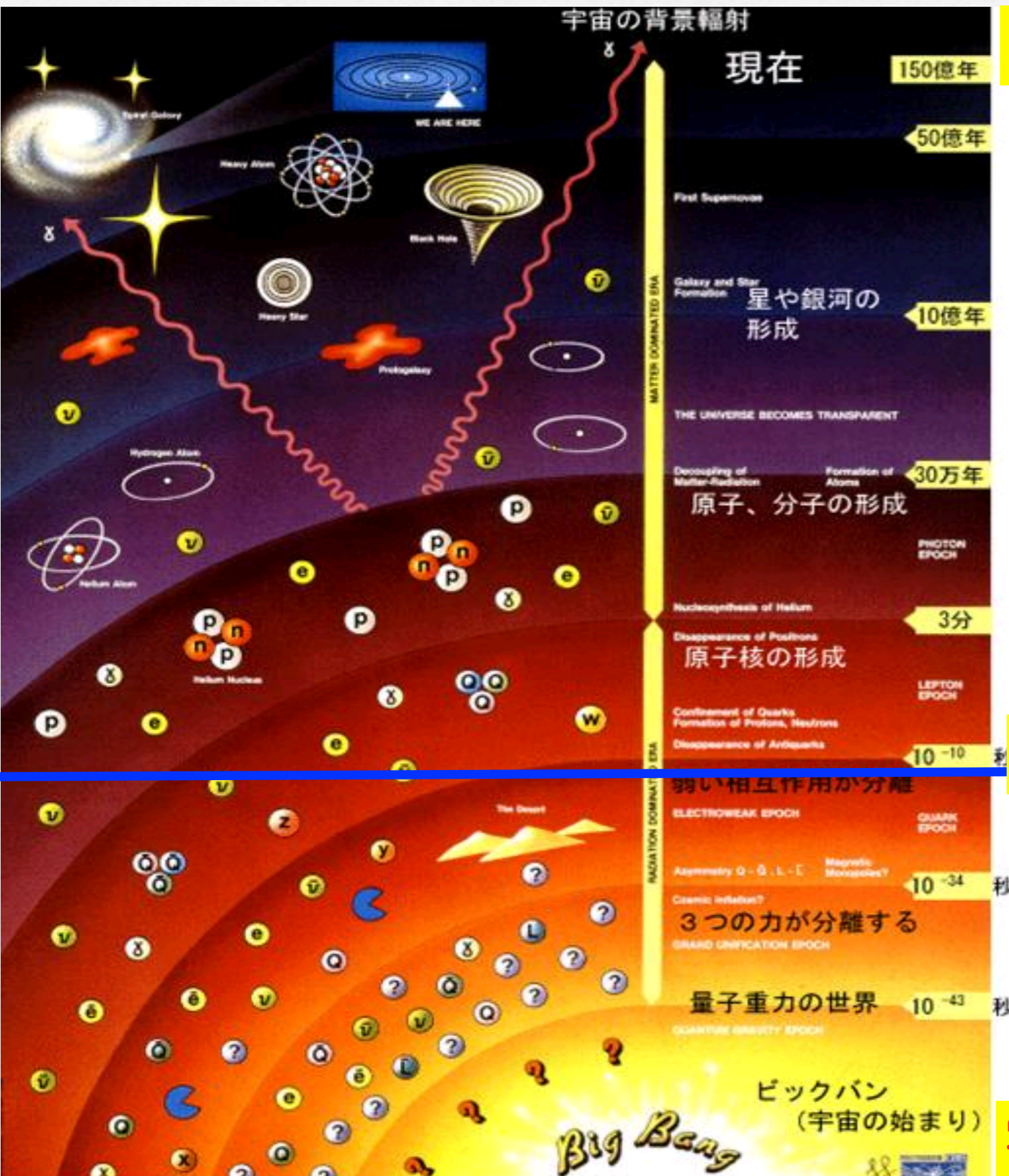


137億年



宇宙誕生

LHCで宇宙創成を探る



137億年



これまでの加速器

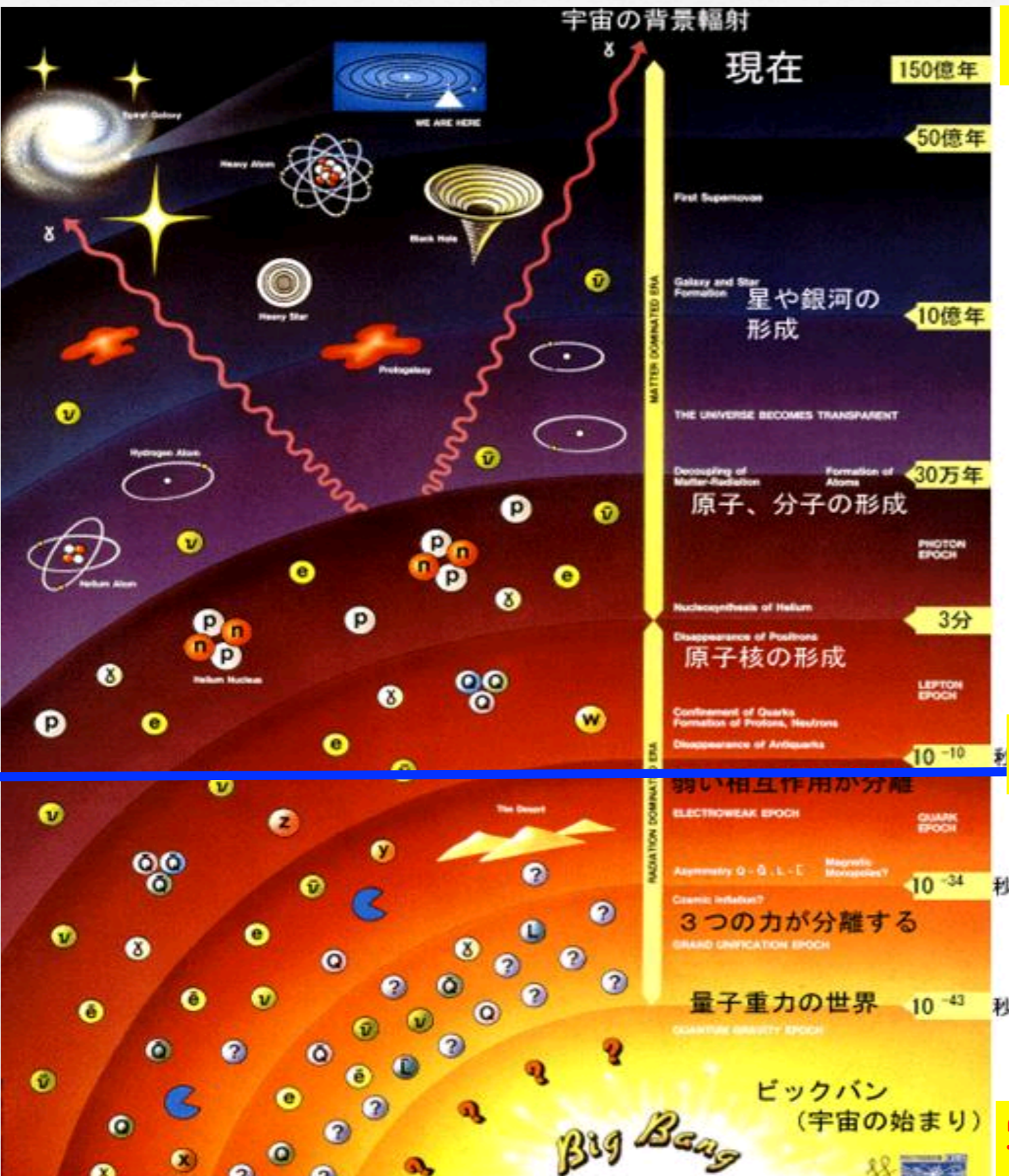


10⁻¹²秒後

標準模型

宇宙誕生

LHCで宇宙創成を探る



137億年



これまでの加速器



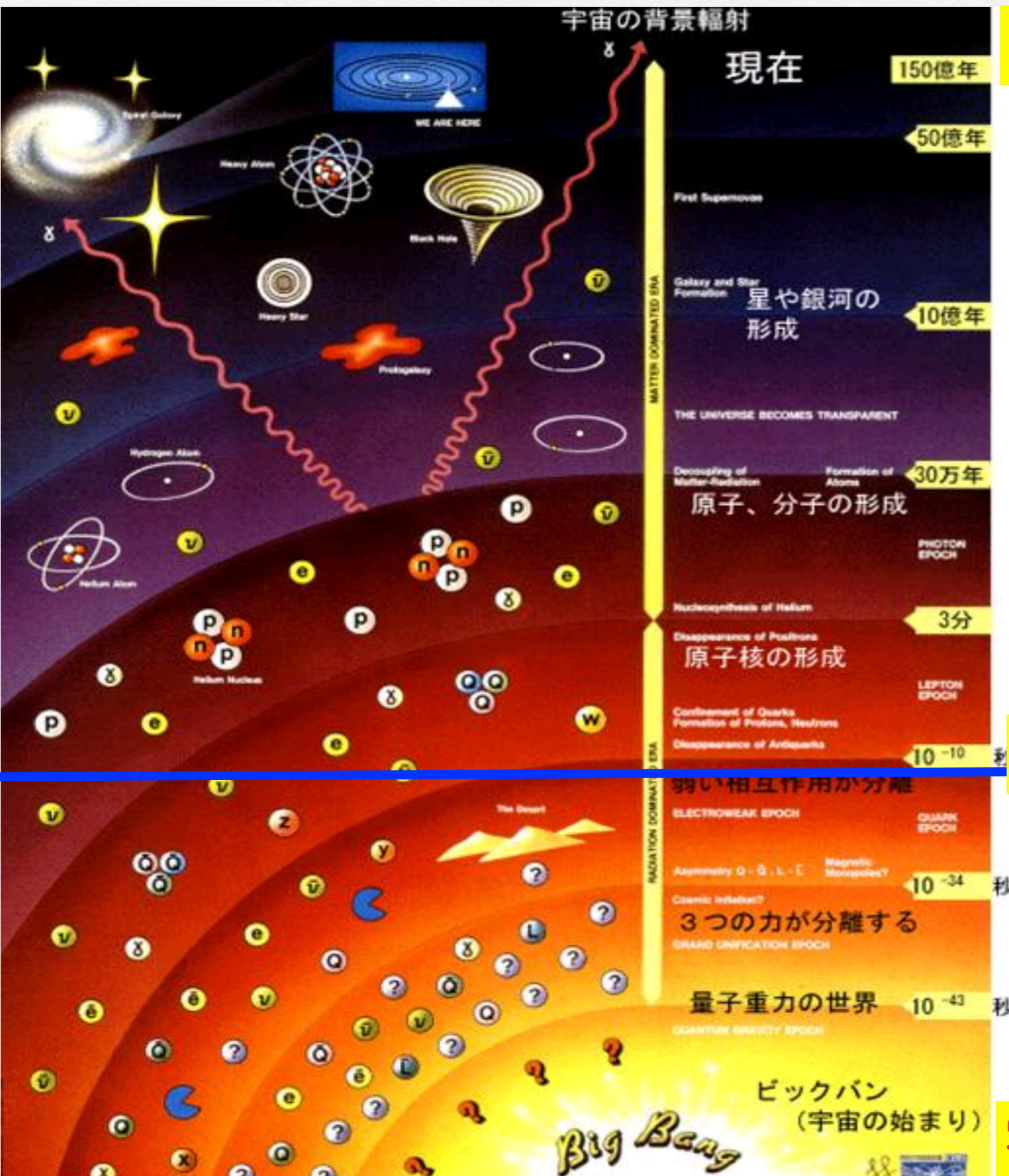
10⁻¹²秒後

標準模型

4つの力の統一的理解

宇宙誕生 宇宙誕生の秘密

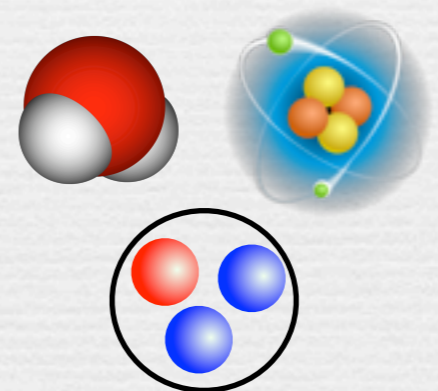
LHCで宇宙創成を探る



137億年



これまでの加速器



10⁻¹²秒後

LHC

未来の加速器

標準模型

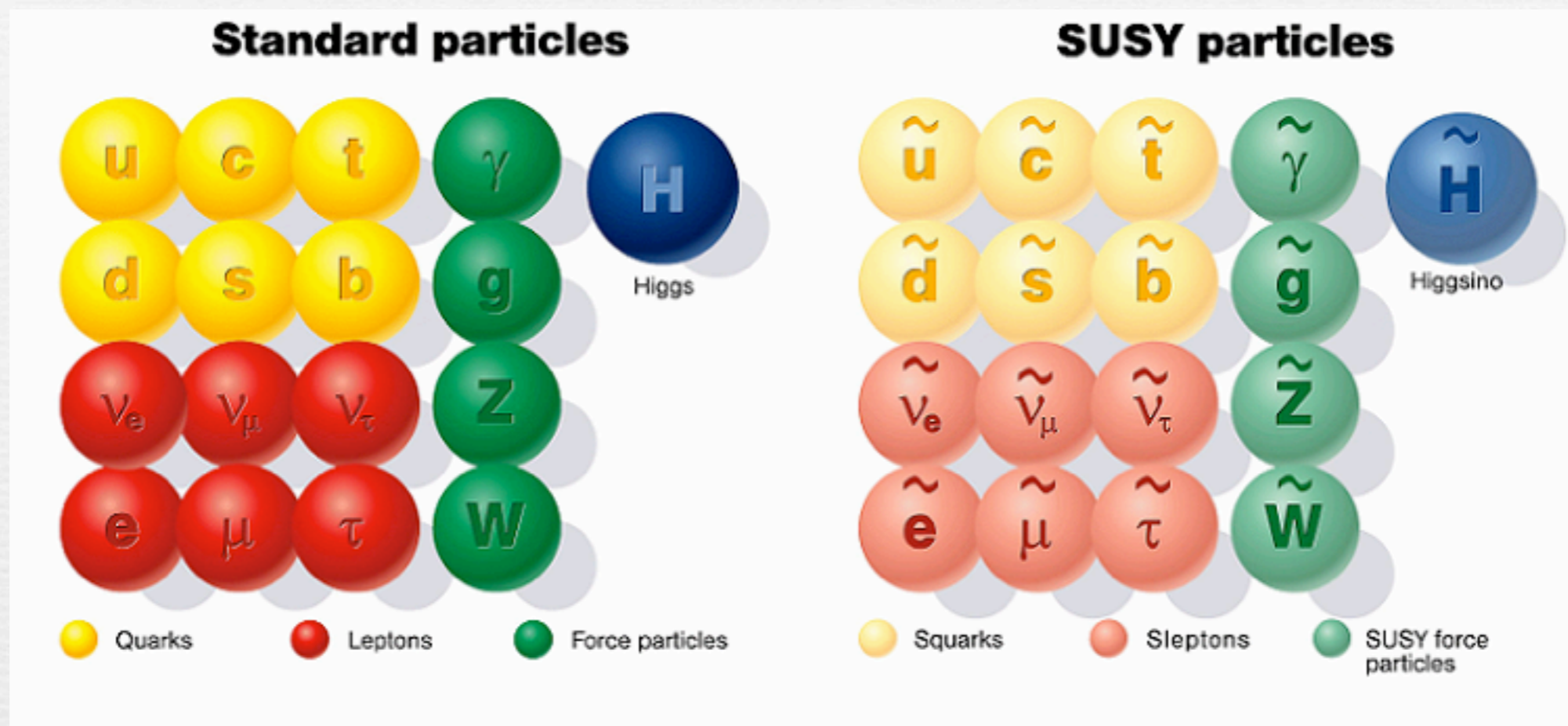
ヒッグス
質量の起源
新しい物理

4つの力の統一的理解

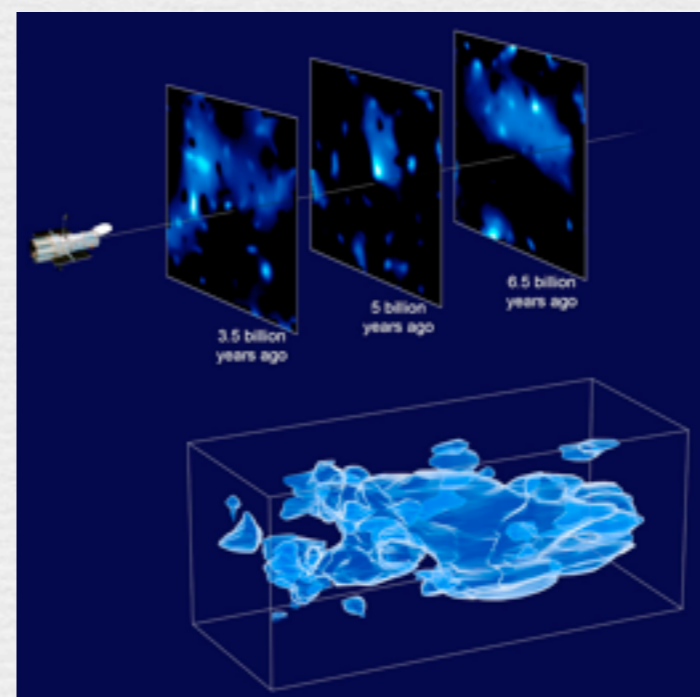
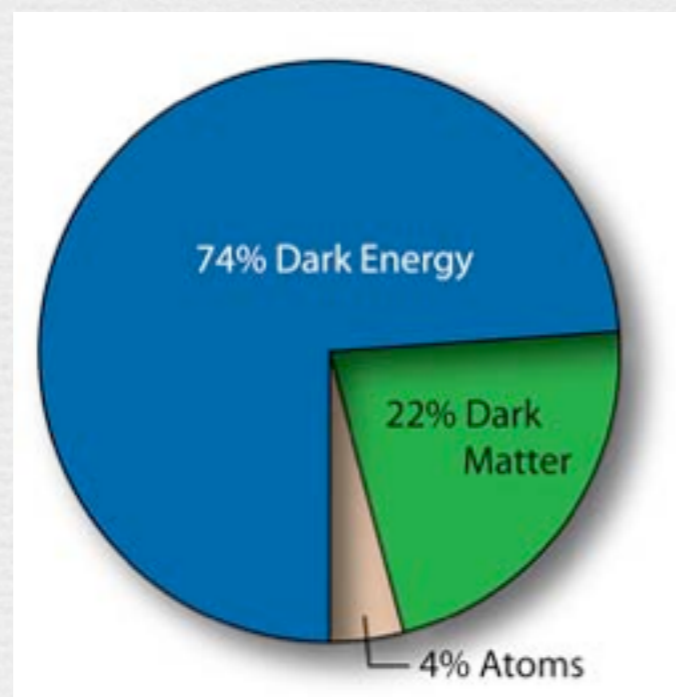
宇宙誕生

宇宙誕生の秘密

新粒子の可能性 (超対称性)

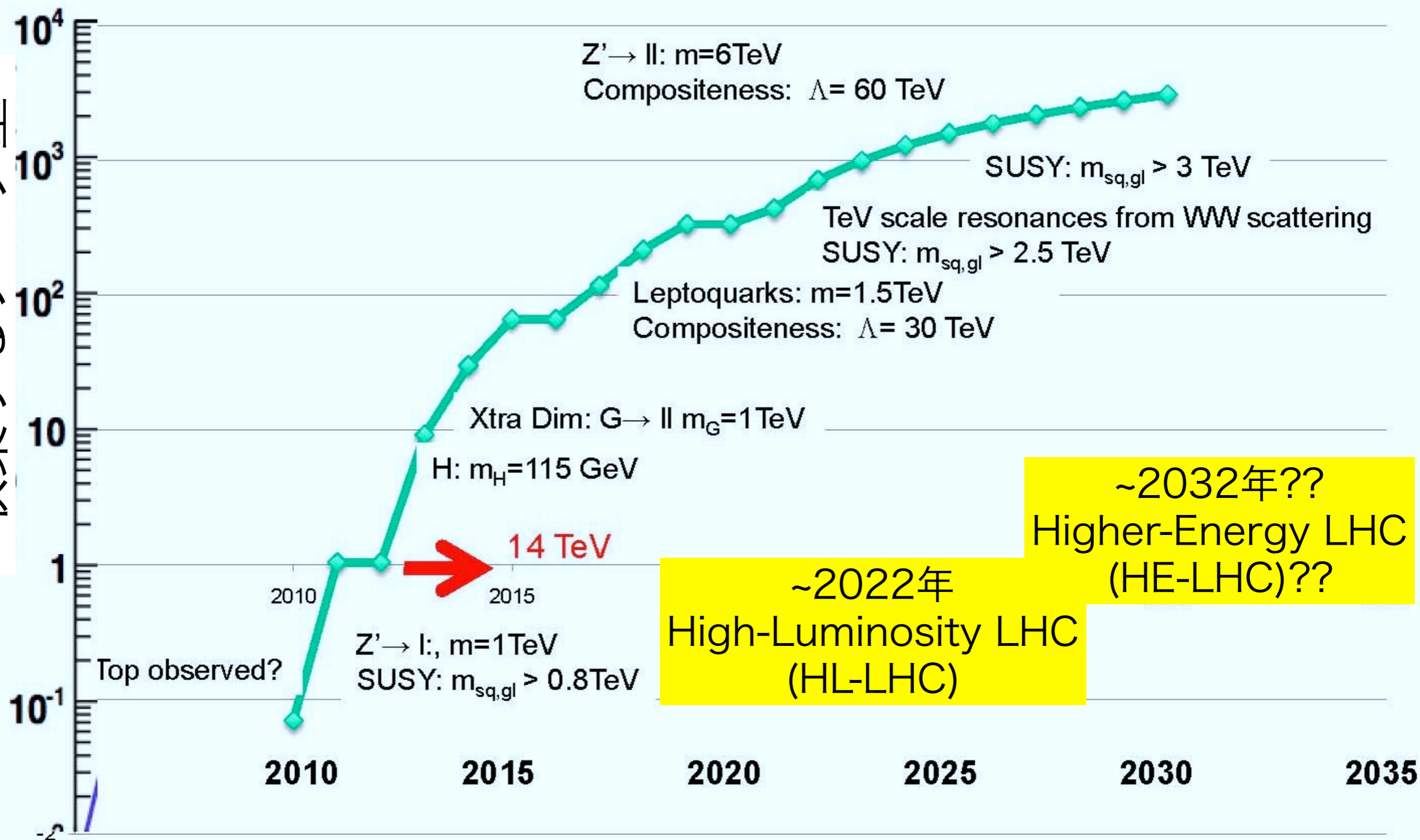


暗黒物質の有力候補

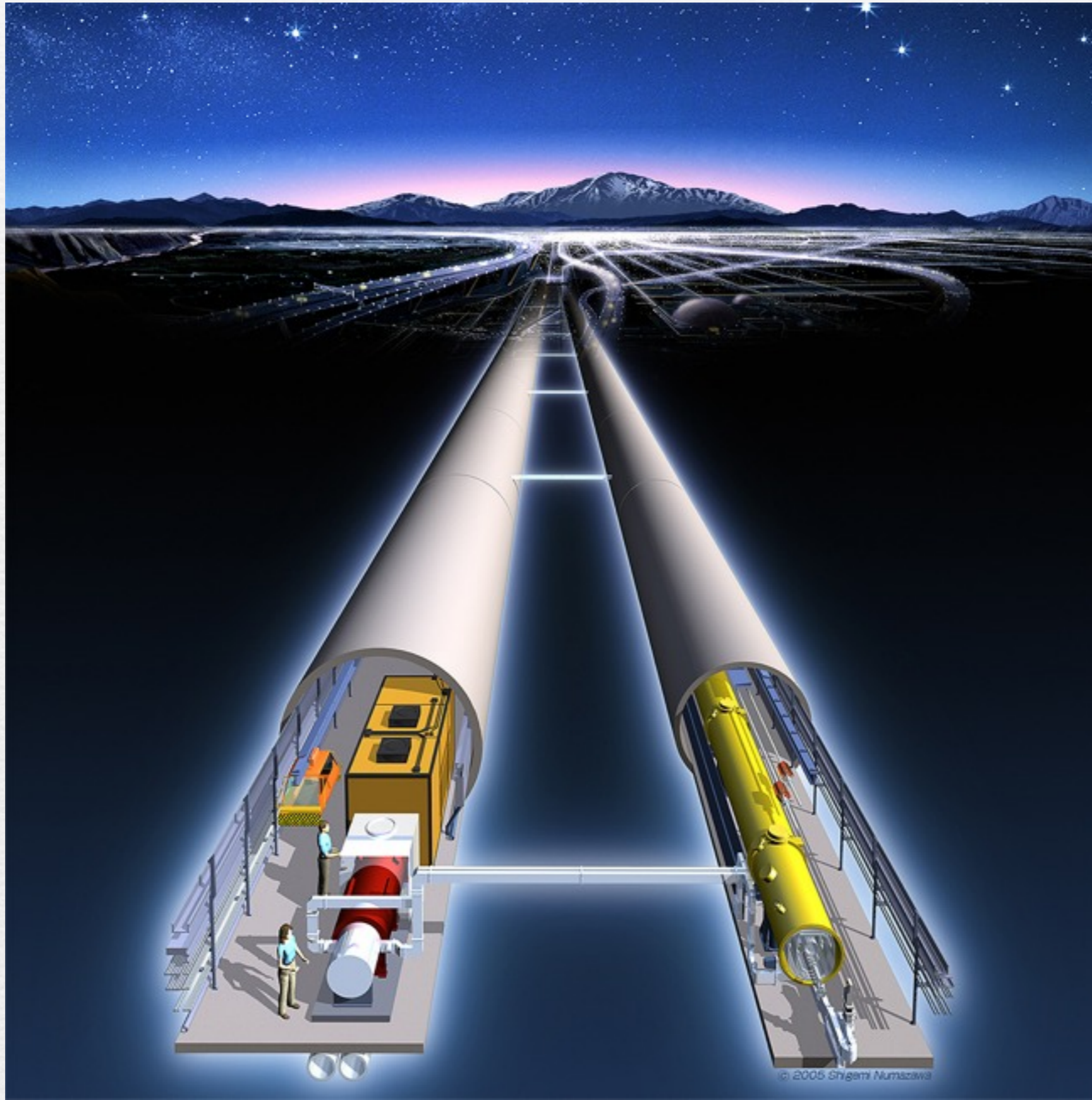


まだまだ続くLHC実験

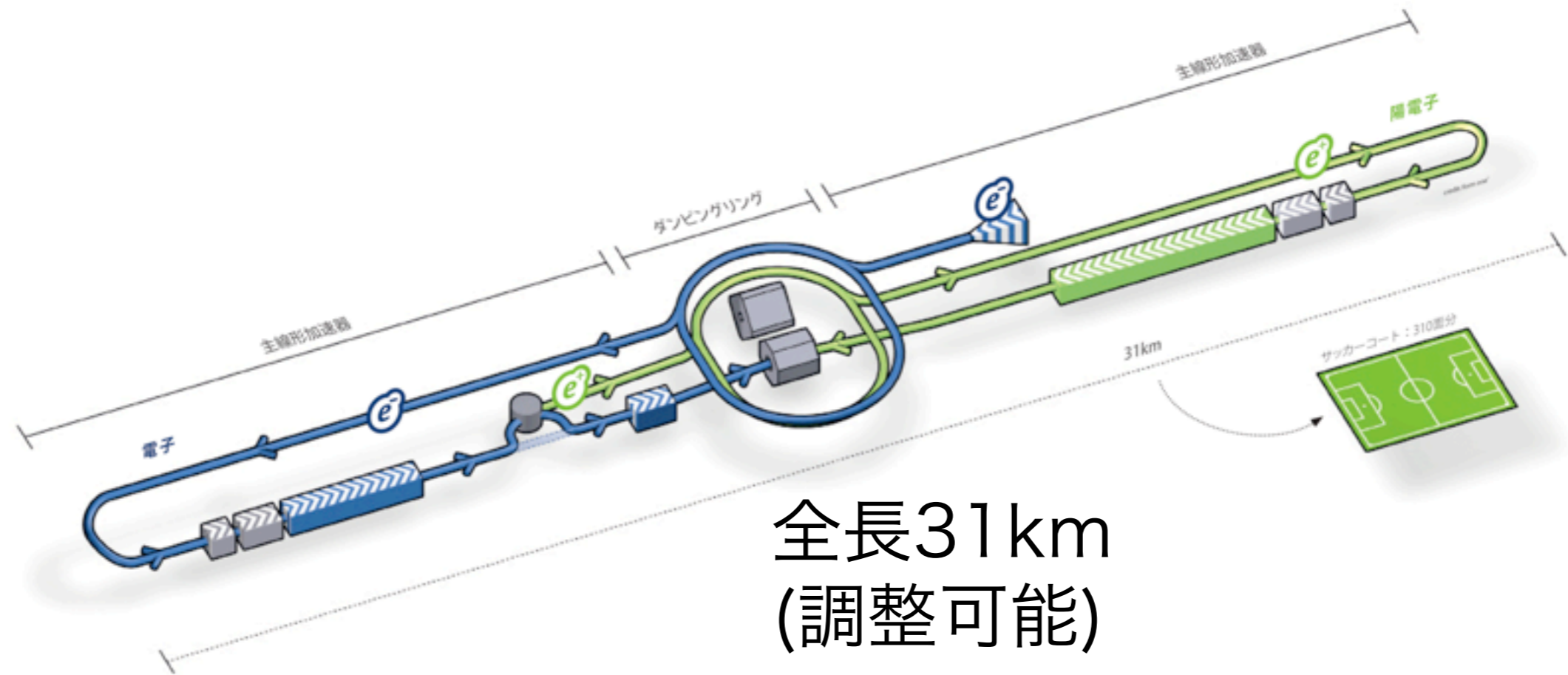
収集するデータ量



国際リニアコライダー計画



国際リニアコライダー計画



全長31km
(調整可能)



結論

素粒子実験の今

標準模型の唯一の未発見粒子 **ヒッグス粒子** が見つかりそう

今年のデータでますます期待が高まる

とりあえず、今日の発表に期待

もし、ヒッグス粒子の発見がなされたら？

ヒッグス粒子の性質を測定し「質量起源の謎」にせまる

新しい素粒子物理の方向が定まる

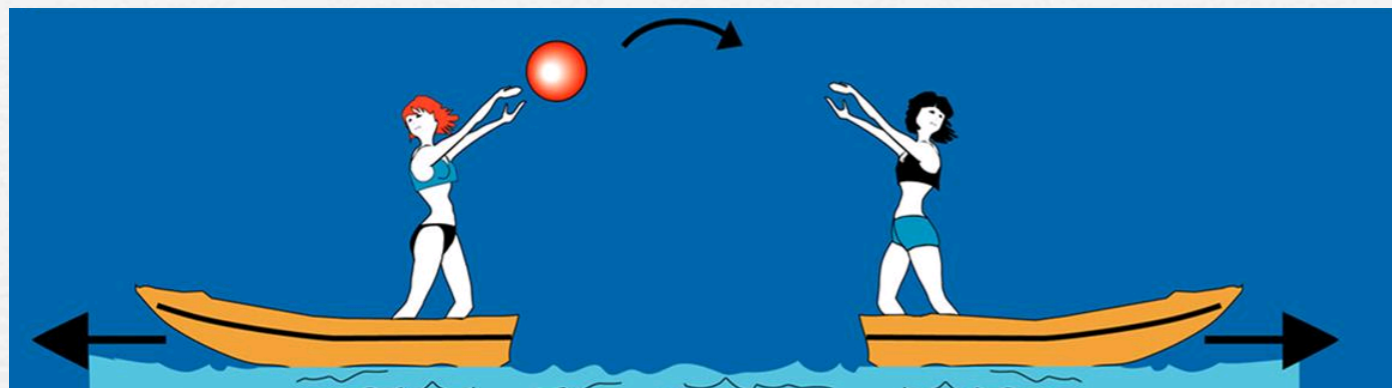
20年先のLHCが着々と計画されている

ILCなどの新しい実験計画へ

これからの素粒子実験は面白い！

Backup

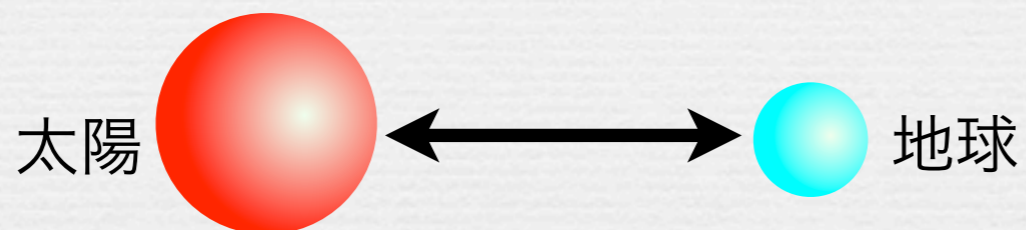
素粒子に働く力



電荷を感じて

力を媒介する粒子の交換

重力



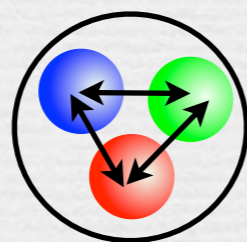
質量を感じて グラビトン を交換

電磁気力



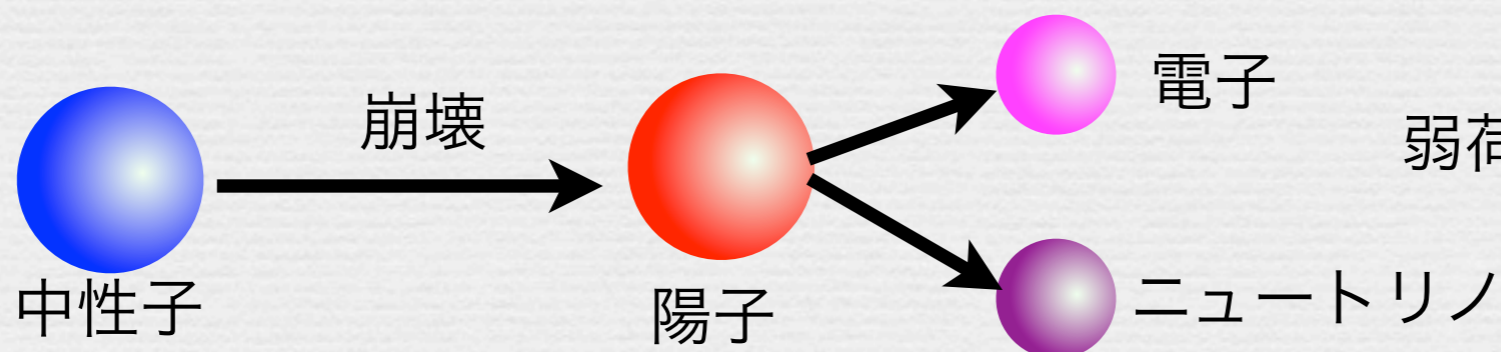
電荷を感じて フォトン (光子) を交換

強い力



色荷を感じて グルーオン を交換

弱い力



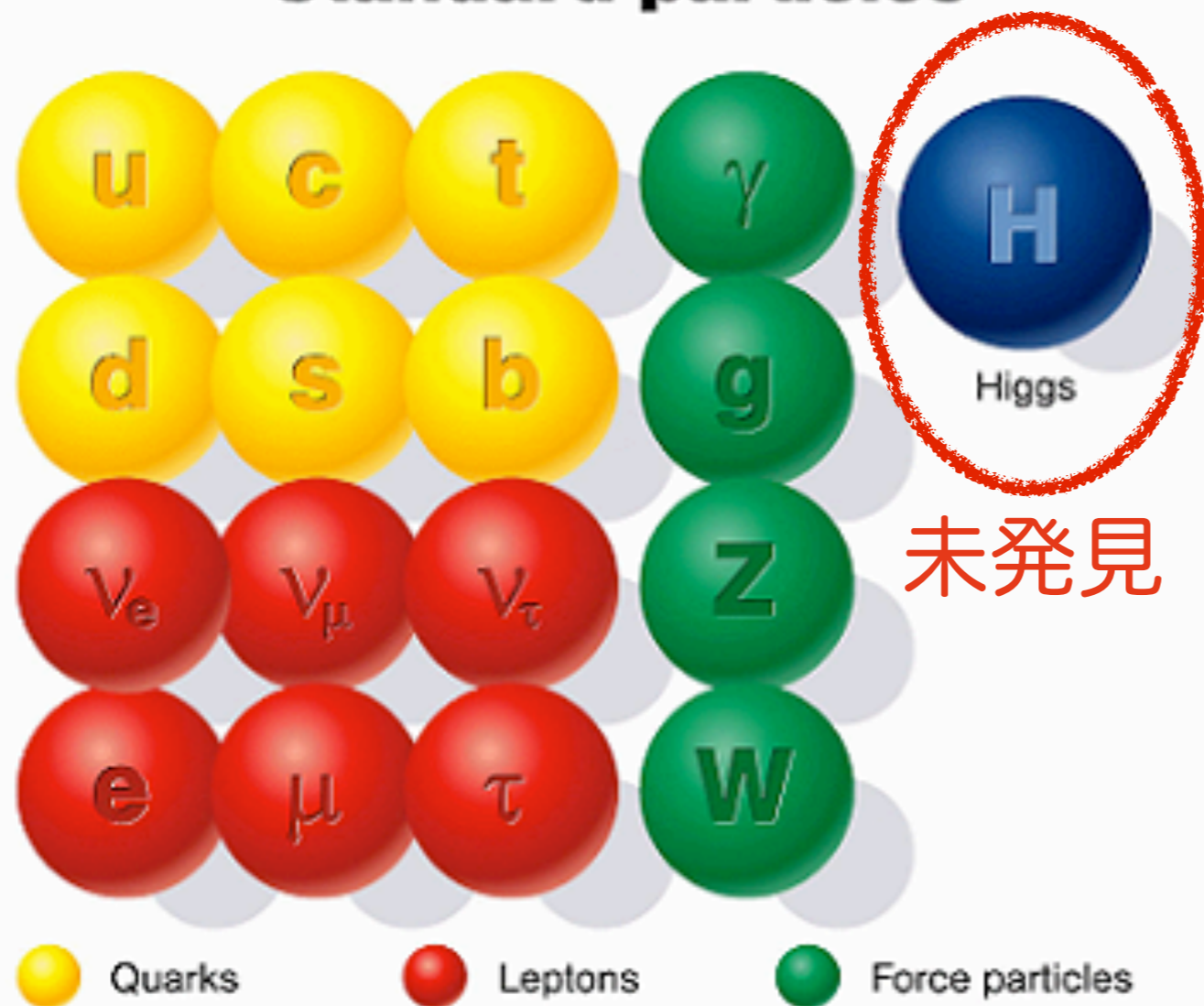
弱荷を感じて W、Z粒子 を交換

宇宙カレンダー

137億年前	1月 1日	ビッグバン
100億年前	4月 7日	銀河系誕生
46億年前	8月30日	太陽系誕生
45億年前	9月 2日	月誕生
39億年前	9月18日	原始生命誕生
2億5千万年前	12月23日	恐竜出現
2億年前	12月26日	哺乳類出現
6500万年前	12月29日	恐竜絶滅
	12月31日	
400万年前	21時24分	猿人出現
50万年前	23時40分	原人出現 (ジャワ原人・北京原人)
20万年前	23時52分	旧人出現 (ネアンデルタール人)
4万年前	23時58分	新人出現 (クロマニヨン人)
2500年前	23時59分54秒	釈迦誕生
200年前	23時59分59.5秒	近代科学の開幕
	24時00分00秒	現在

素粒子の標準模型

Standard particles



1897年：電子

1900年： γ 線

1932年：陽電子

1937年： μ 粒子

1956年：ニュートリノ

1962年： ν_e と ν_μ 別物

1969年：u,d,sクォーク (パートン模型)

1974年：cクォーク

1975年： τ 粒子

1977年：bクォーク

1979年：グルーオン

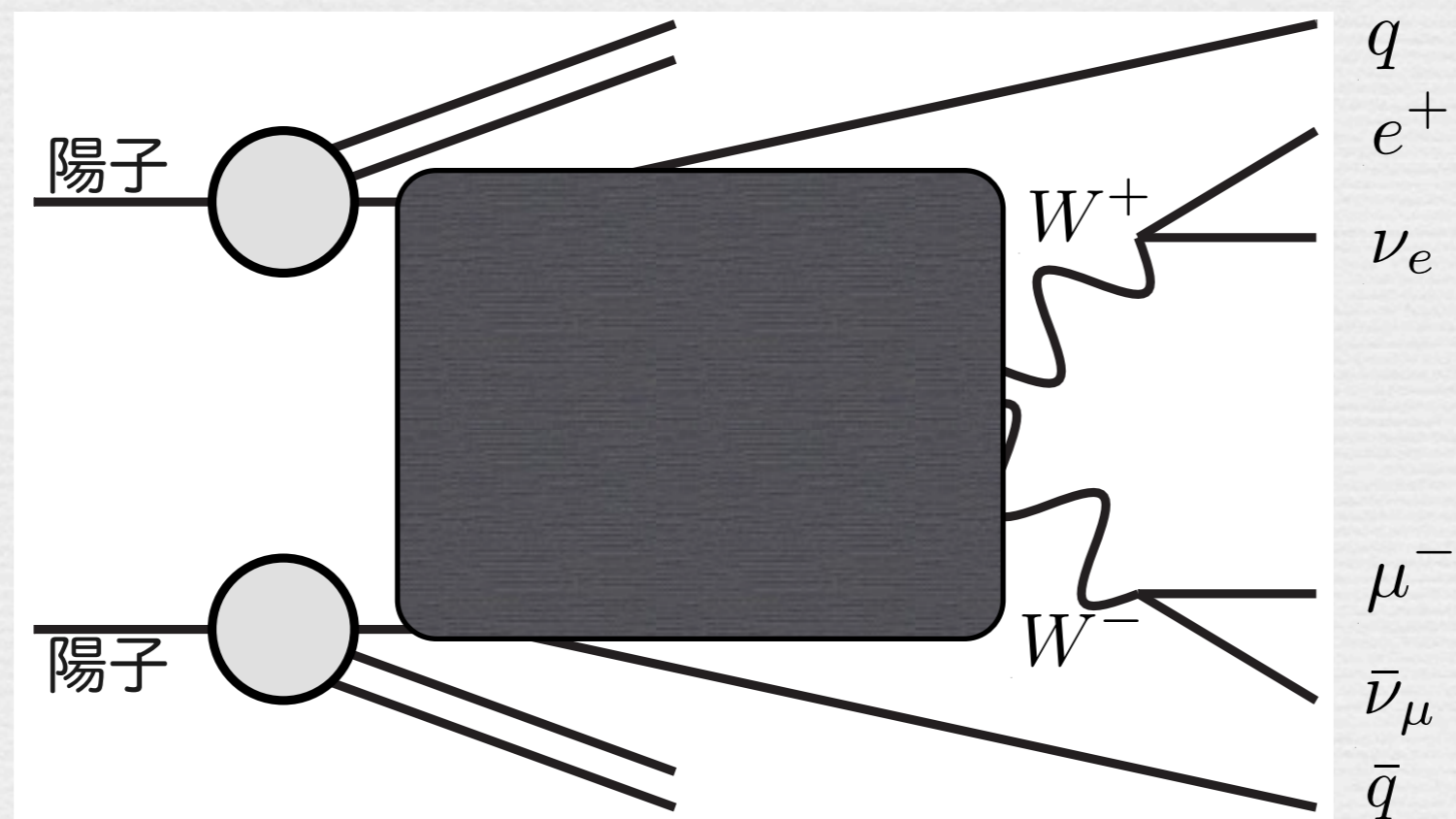
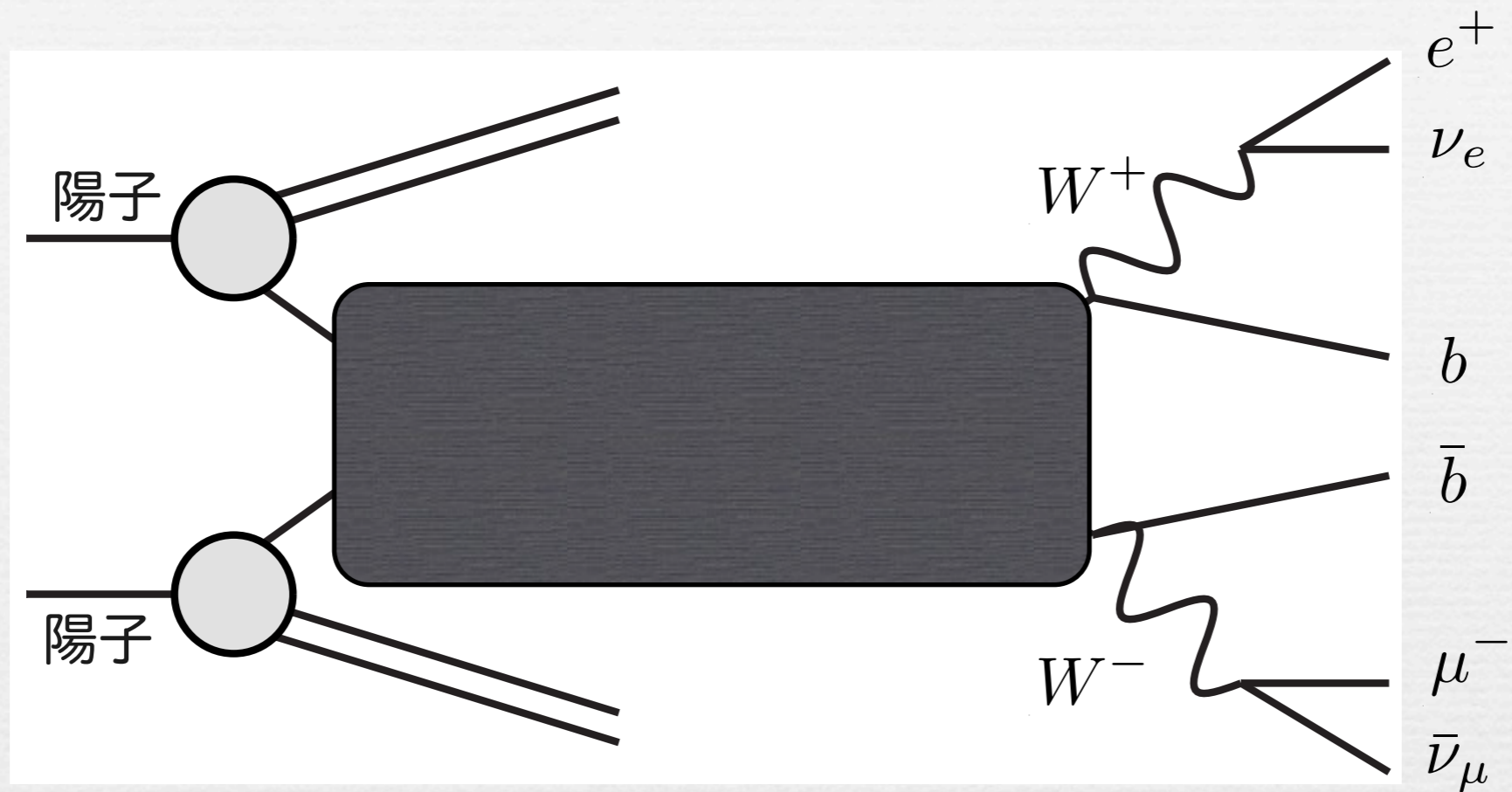
1983年：W/Zボゾン

1995年：tクォーク

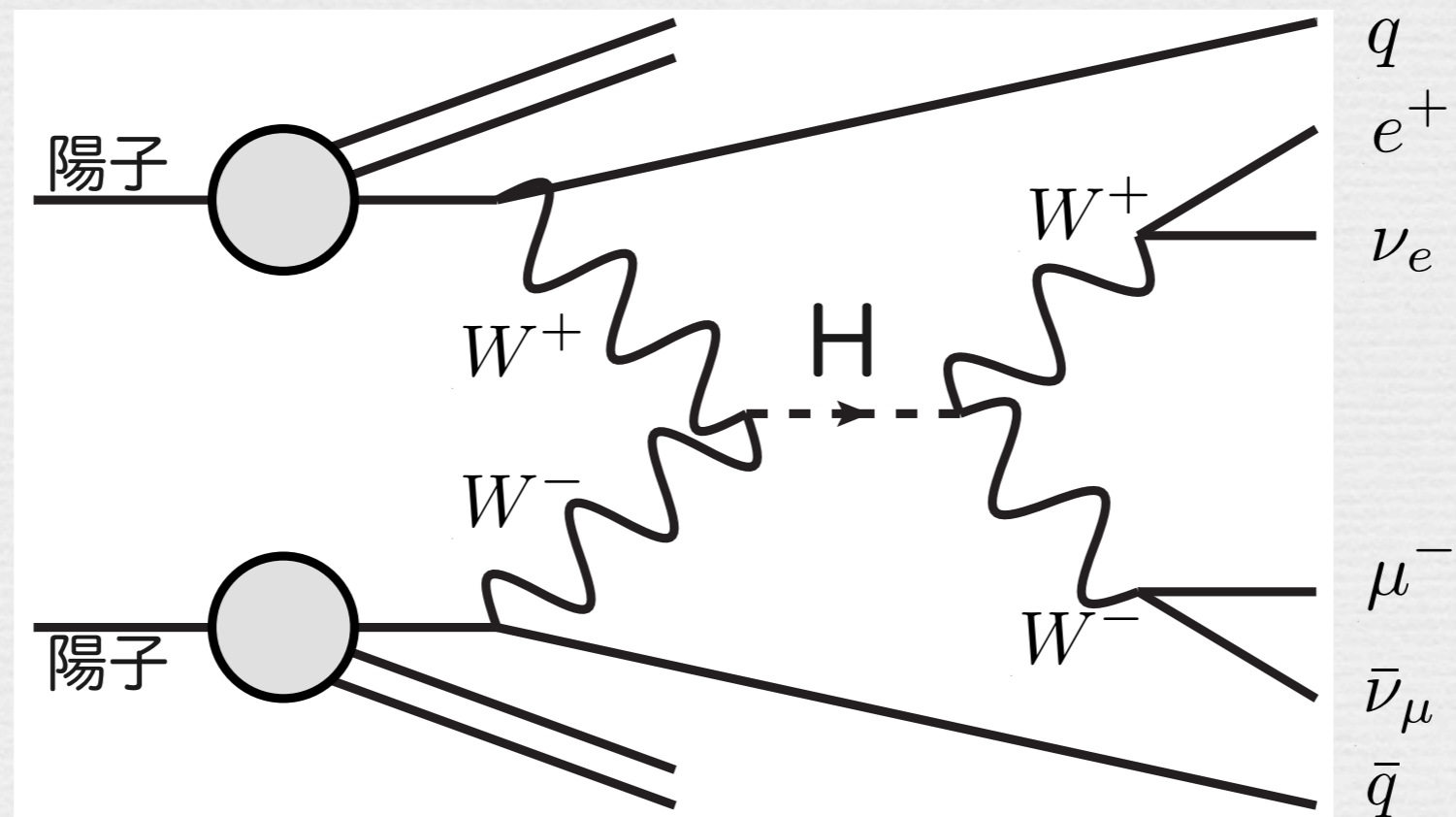
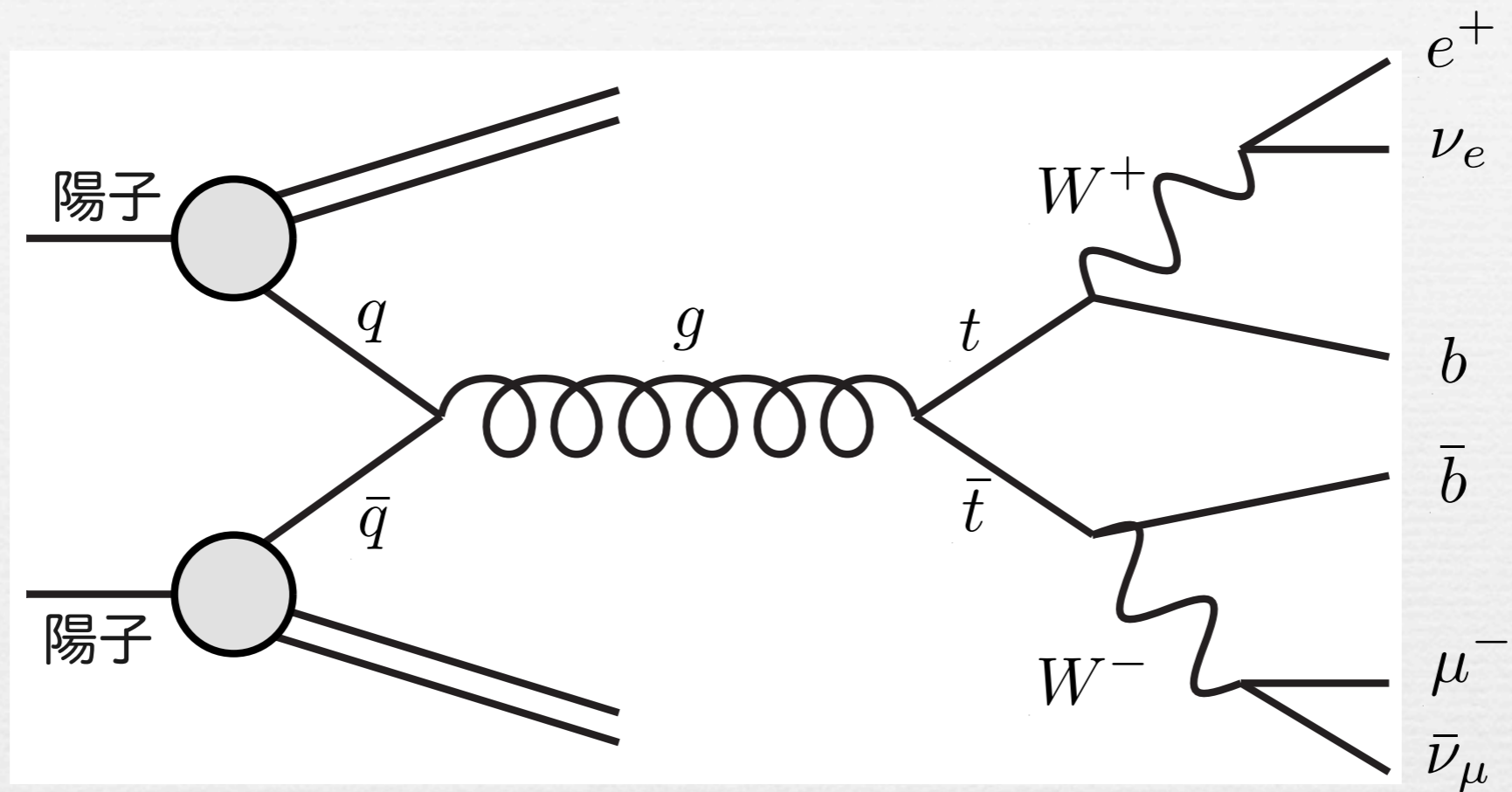
2000年： τ ニュートリノ

2012年(?)：ヒッグス粒子!!

人間が観測しているもの



人間が観測しているもの

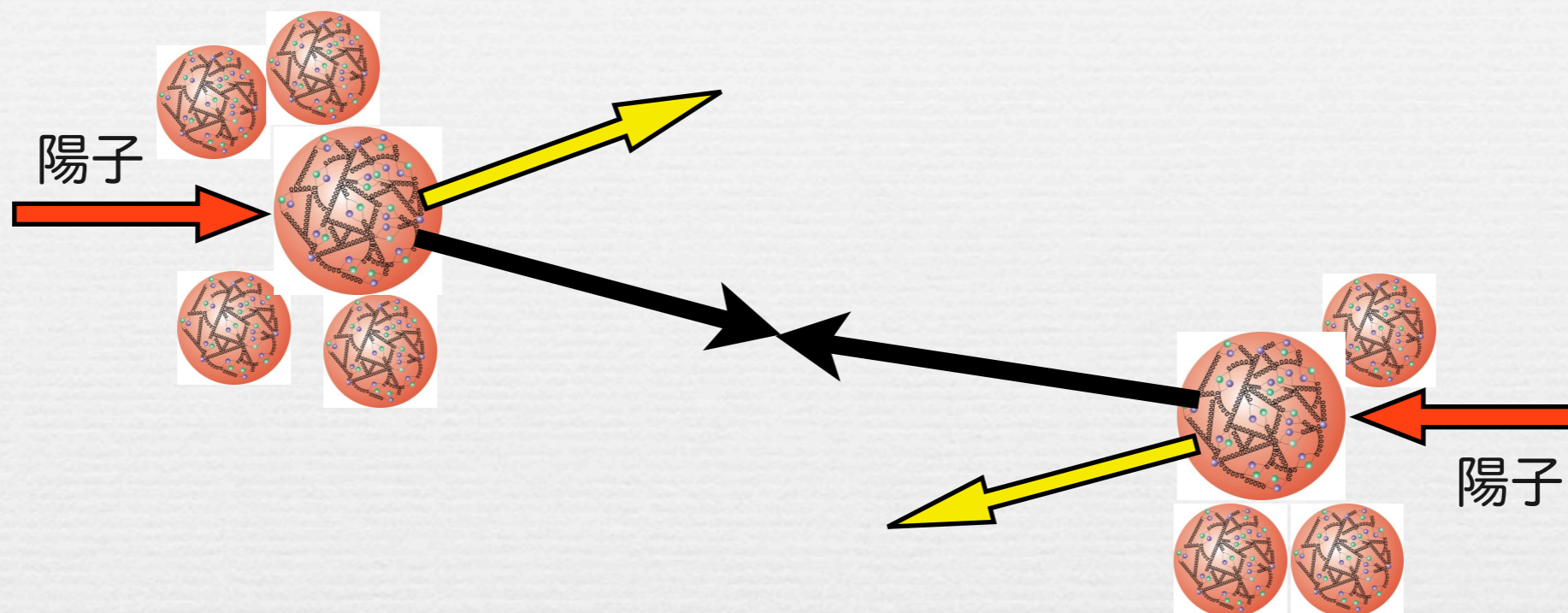


陽子・陽子衝突

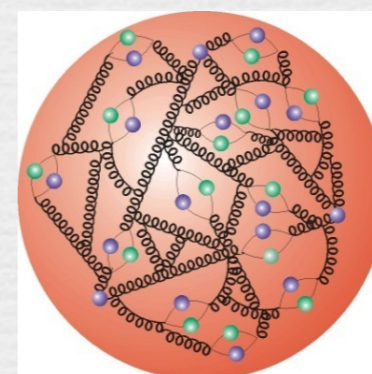
陽子・陽子衝突



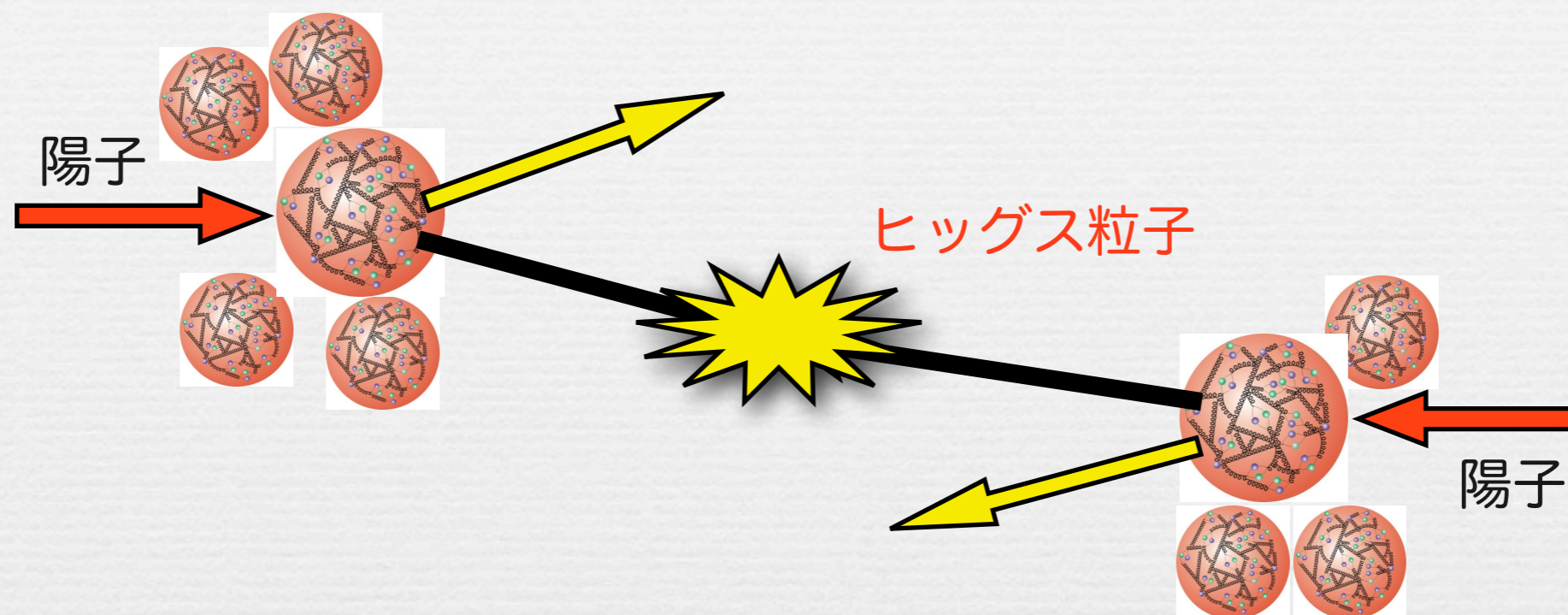
陽子・陽子衝突



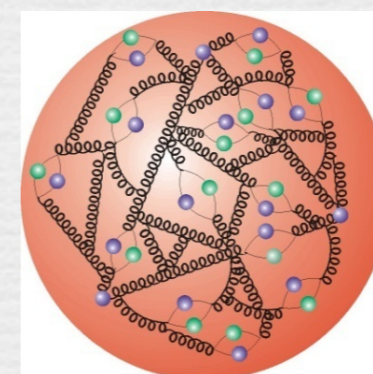
陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン
一部だけが衝突による反応に関与



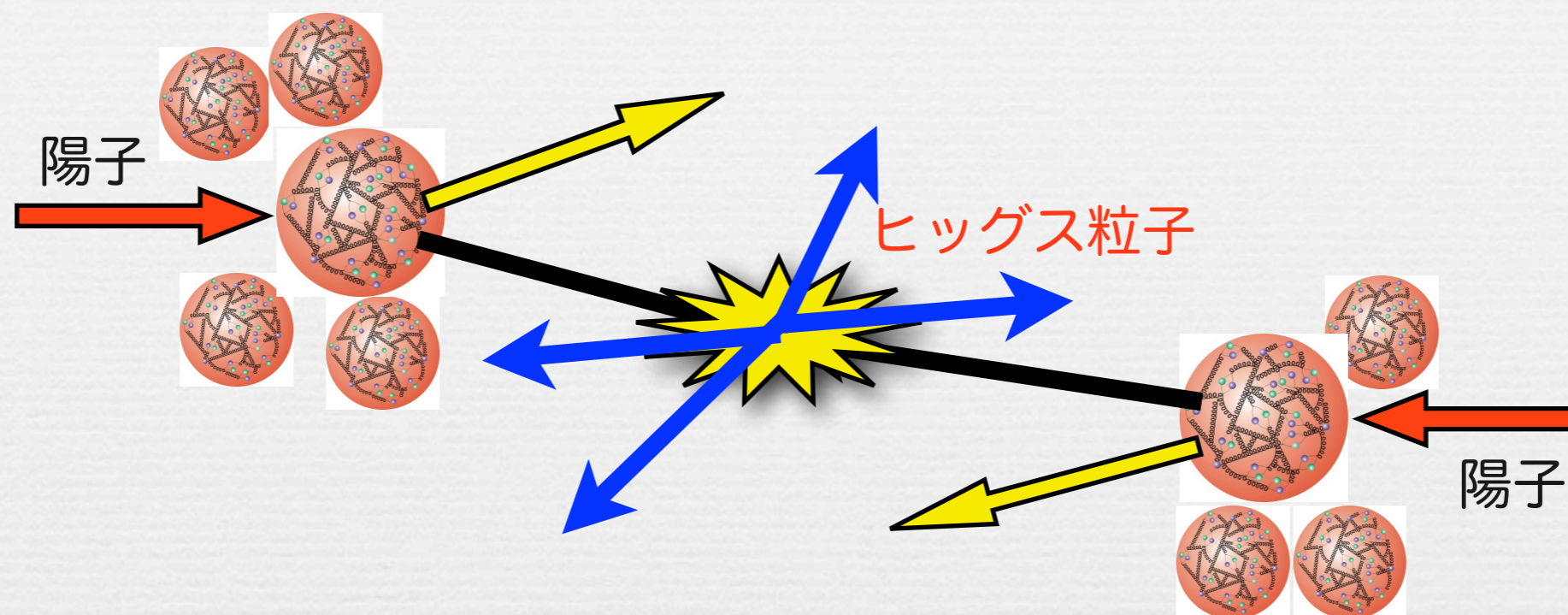
陽子・陽子衝突



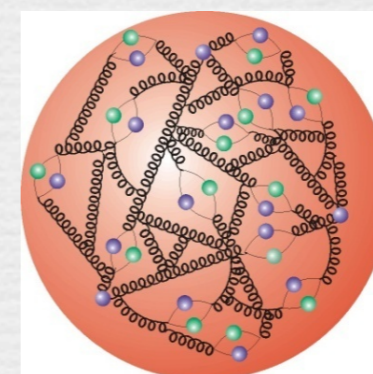
陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン
一部だけが衝突による反応に関与



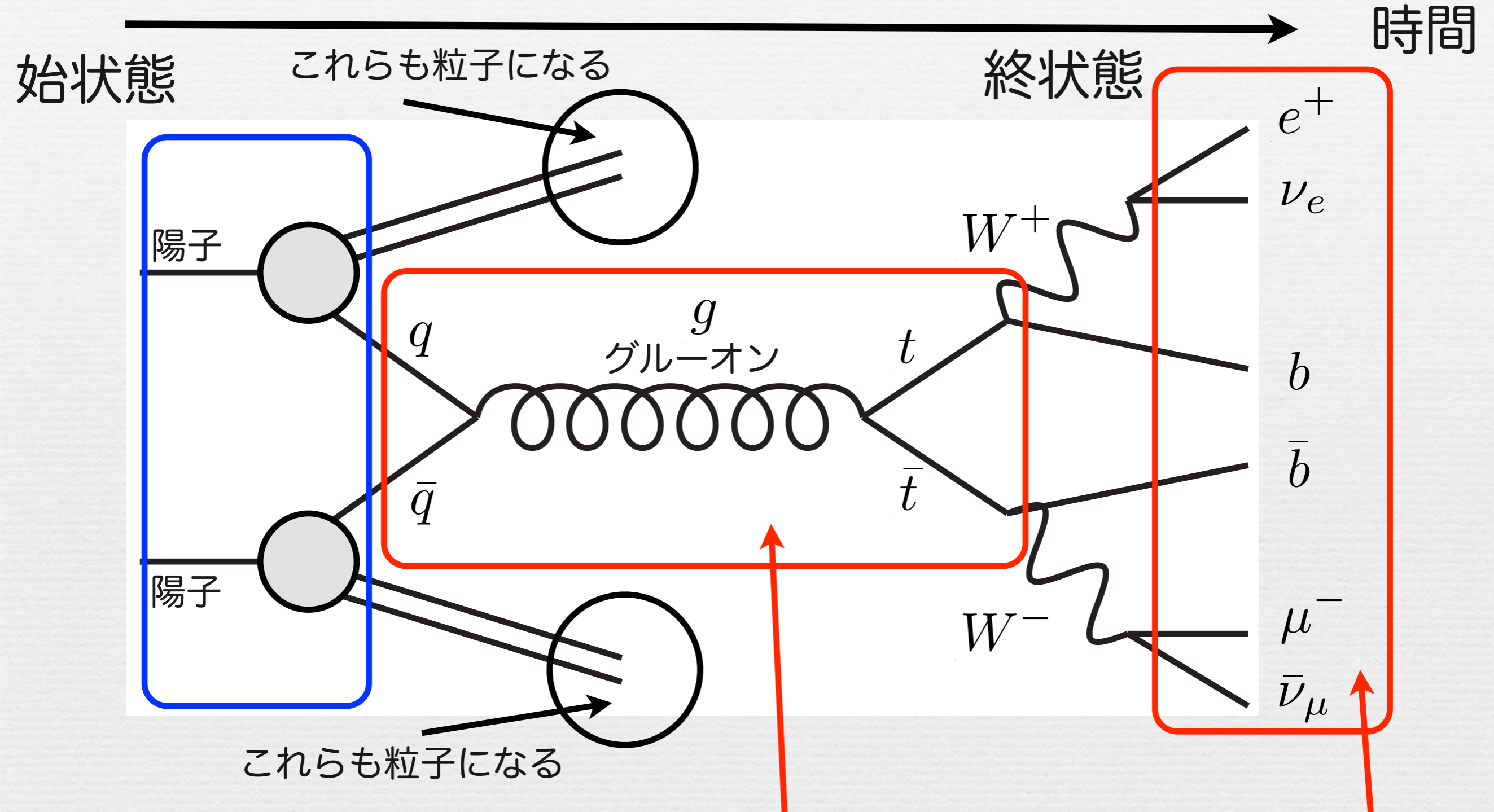
陽子・陽子衝突



陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン
一部だけが衝突による反応に関与



陽子・陽子衝突



何ができるか、”誰にも”わからない、見えない

人間が観測するのは「安定粒子」たち

ヒッグス粒子をどうやって測定しているか？

- ① ヒッグス粒子の特徴（崩壊過程）を知る
- ② ヒッグス粒子の崩壊っぽいイベントを集める
本物といっしょに偽物は混じっていることに注意
- ③ 安定粒子からヒッグス粒子を再構成する

課外活動

モンブラン



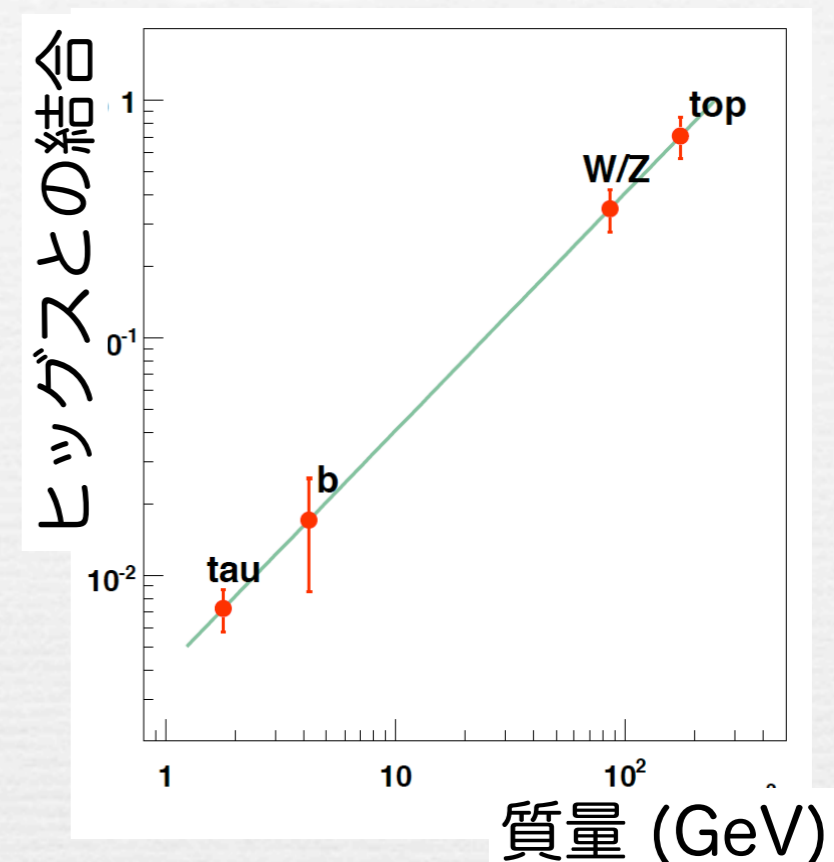
モンブラン



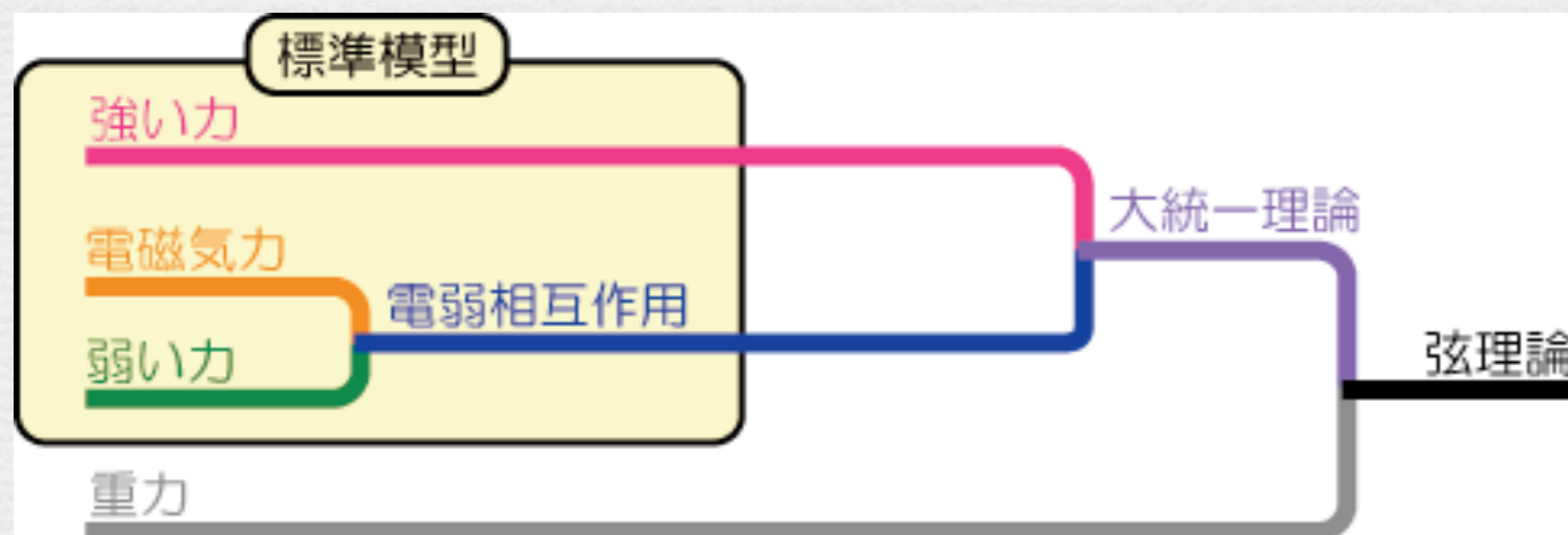
夏はハイキング、冬はスキー
良い所です。

ヒッグス粒子が発見されると

- 標準模型の登場人物が出そろおう
- 「質量起源の謎」 解明の挑戦権



- もっと高エネルギーの世界
よりビッグバン直後の世界
- の記述が標準模型では困難



超対称性
余剰次元
驚きの何か？

ヒッグス粒子を作るマシン

Overall view of the LHC experiments.

