

# 素粒子物理学



物質の根源を追求する



宇宙の誕生直後の状況

1

元素の周期表

	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0		
1	H															He		
2	Li	Be								B	C	N	O	F		Ne		
3	Na	Mg								Al	Si	P	S	Cl		Ar		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	L	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	A															
			L	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			A	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



1869年、ロシアの化学者メンデレーエフは、63種類うまく並べて周期表を提唱し、当時まだ発見されていないいくつかの元素の存在を予言した。

「素」の数=63

2

## 周期律表 横の覚え方

水兵リーベ 僕の船、名前あるシブス。クラークか、  
H He Li Be BCNOFNe NaMgAl Si P S ClAr K Ca

ランラン♪セーラー服、ぷるぷる胸を。午後は澄まして、  
La Ce Pr Nd Pm Sm

## 周期律表 縦の覚え方

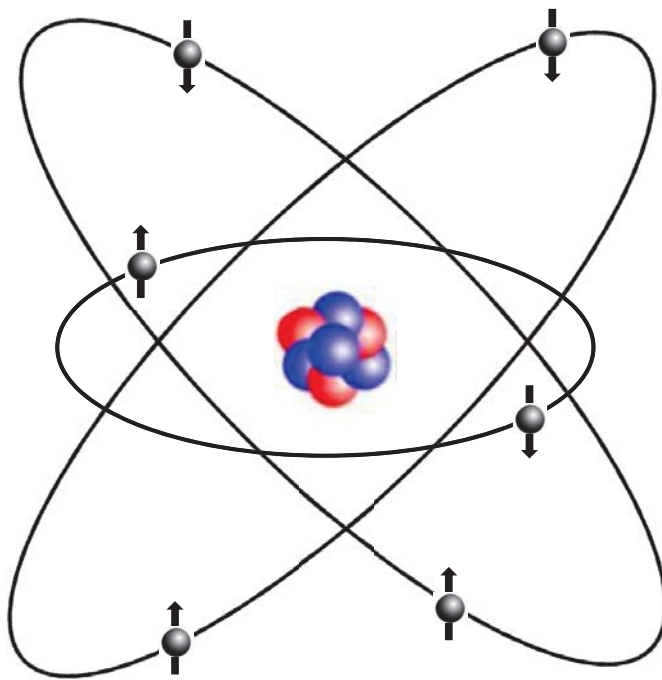
Hでリッチなけい子、ルビーせしめフランスへ。  
H Li NaK Rb Cs Fr

ベッドにもぐって、彼女とするのはバラ色さ。  
Be Mg Ca Sr BaRa

<http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/vyhledav/varian20/jap3.html> より

3

## 20世紀前半の革命その1



1897: J.J. トムソン  
電子の発見



1906



1911: E. ラザフォード  
原子核の発見



1908

1913: N. ボーア 原子模型



1922



「素」の数 = 3 (陽子 + 中性子 + 電子)

量子力学の成立

4

## 20世紀前半の革命その2

1887: マイケルソン・モーリーの実験

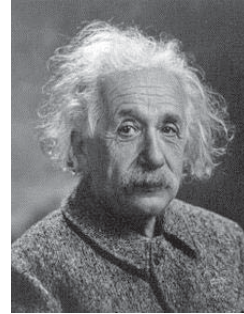
光の速度は誰が見ても同じ



1905: **特殊相対性理論**



質量とエネルギーは同じもの



1921

(光電効果)

アインシュタイン

5

アインシュタインの質量エネルギー等価式

$$E = MC^2$$

エネルギー

質量

光の速さ

エネルギー



質量

: 原子力・原水爆  
核融合・太陽/星

エネルギー



質量

: **加速器**・ビッグバン

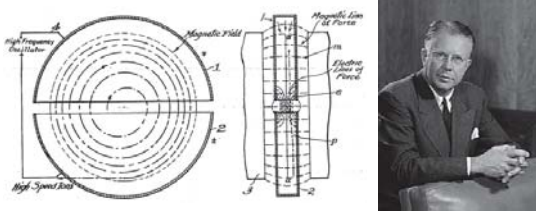
6

# 加速器の発明

これまで数多くの加速器が建設され

エネルギー → 新粒子生成

新しい粒子探しが始まった。



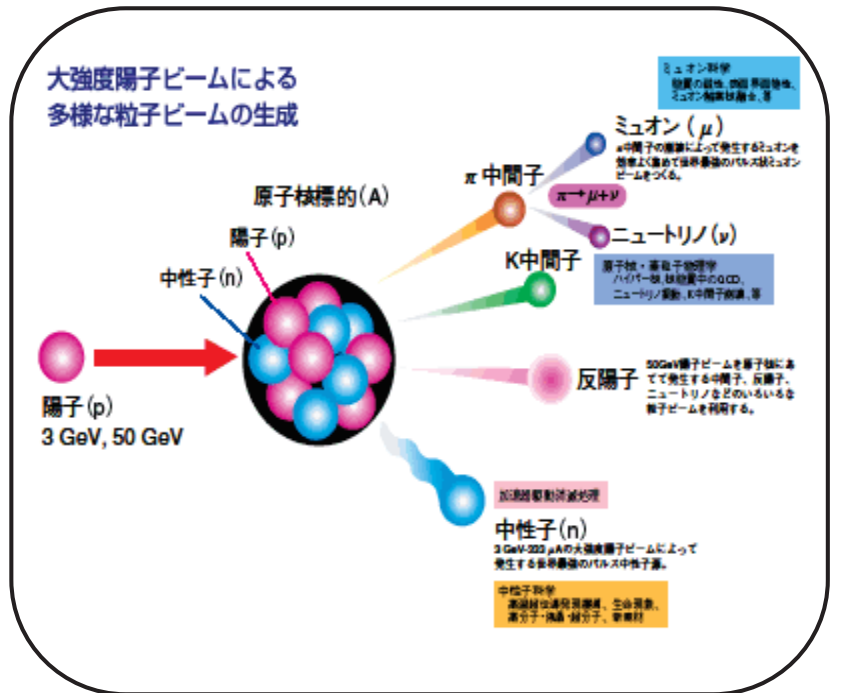
1929: E. ローレンス  
サイクロトロン発明



1939

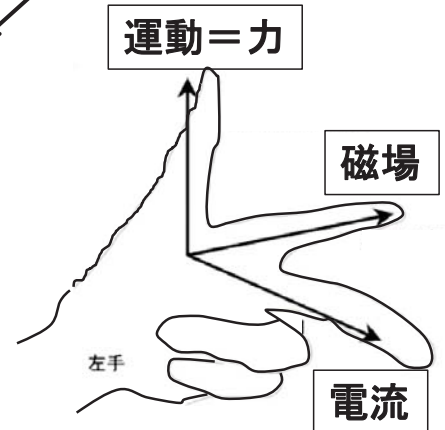
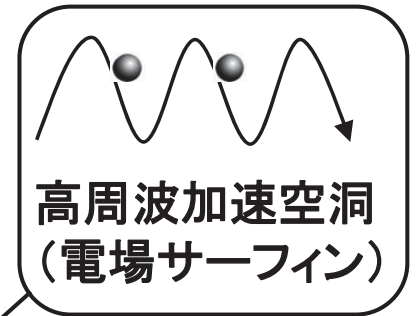
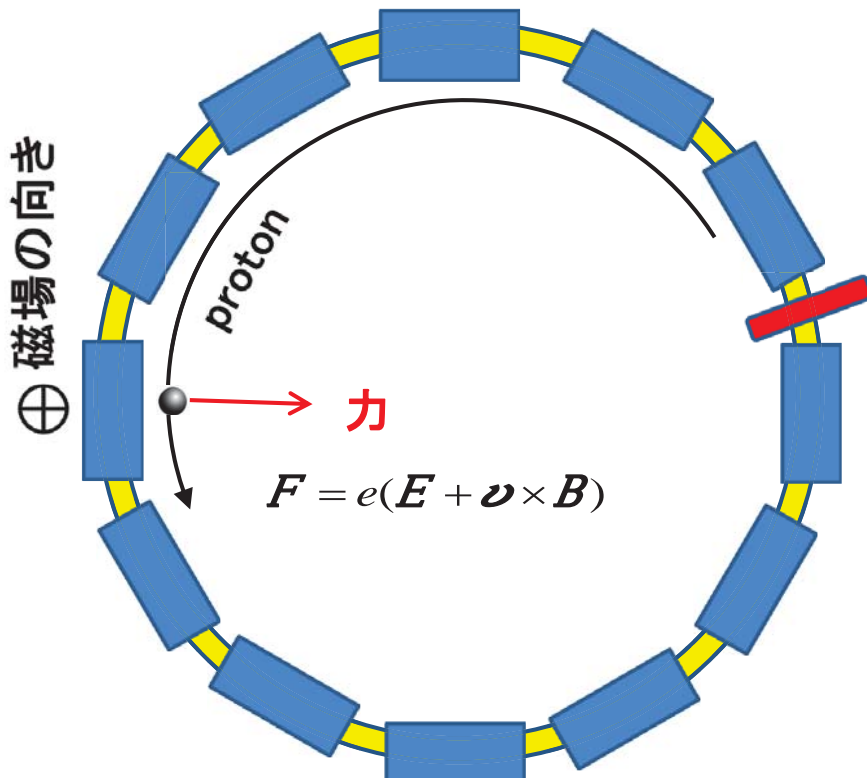


KEK(つくば市)のシンクロトロン(1975~2006)



## シンクロトロン加速器の原理

エネルギーに比例して磁場の強さを上げる。

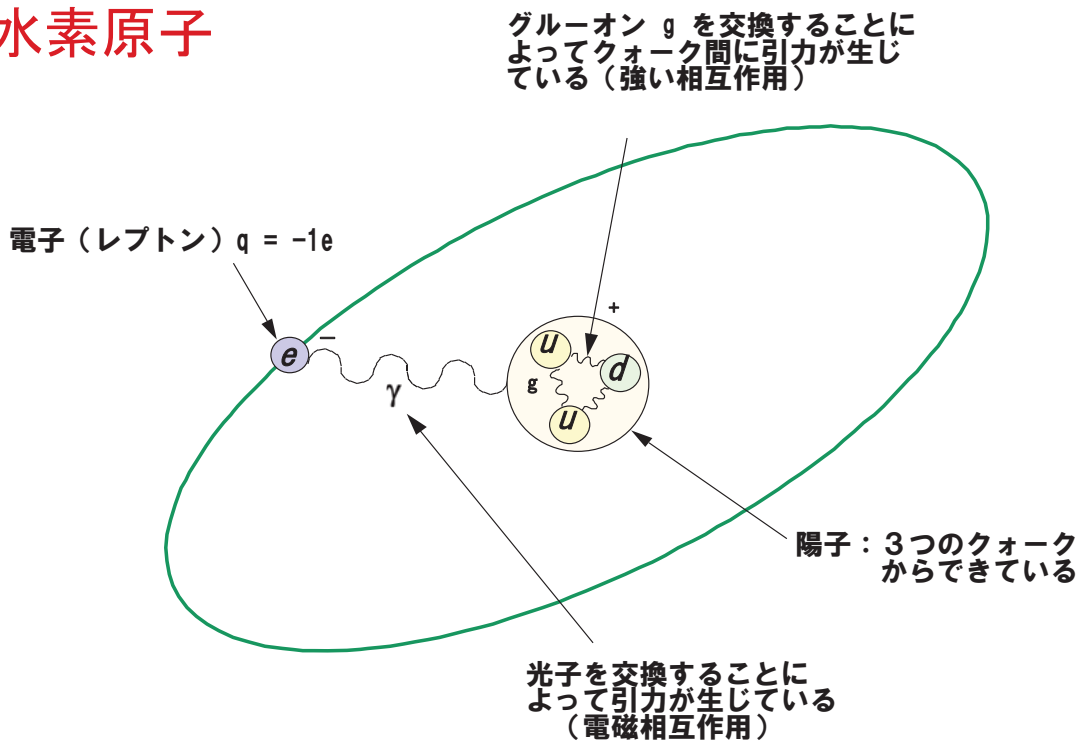


フレミングの左手の法則  
(私は「宇治電」と憶えた。右手は発電、左手はモーター)

# 加速器でわかったこと

## 陽子は「素」でなかった！

### 水素原子



9



1869年

「素」の数=63



### 物質粒子

	第1世代	第2世代	第3世代
クォーク	<b>u</b> アップ	<b>c</b> チャーム	<b>t</b> トップ
	<b>d</b> ダウン	<b>s</b> ストレンジ	<b>b</b> ボトム
レプトン	<b><math>\nu_e</math></b> 電子ニュートリノ	<b><math>\nu_\mu</math></b> $\mu$ ニュートリノ	<b><math>\nu_\tau</math></b> $\tau$ ニュートリノ
	<b>e</b> 電子	<b><math>\mu</math></b> ミューオン	<b><math>\tau</math></b> タウ

相当簡単になった。

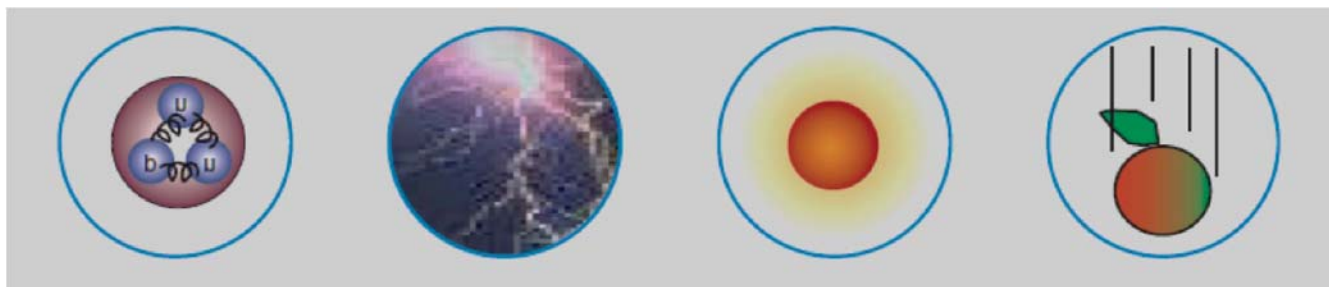
しかし  
まだ完成してない。

1995年 「素」の数=12+..

10

# 自然界には4種類の力が存在する

強い力 > 電磁気力 > 弱い力 >>> 重力



原子核  
を作る

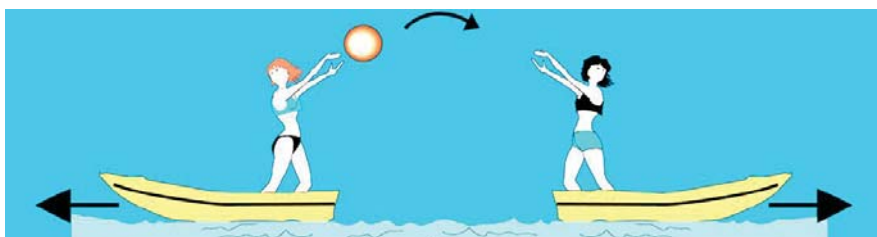
光・原子・分子・  
結晶・タンパク  
質・半導体・電  
波・雷……

原子力・原爆・  
水爆・太陽……  
放射能

落下りんご  
月・太陽・  
星……体重

11

## 粒子の間に力(ちから)が必要



粒子を交換することによって力が伝わる。

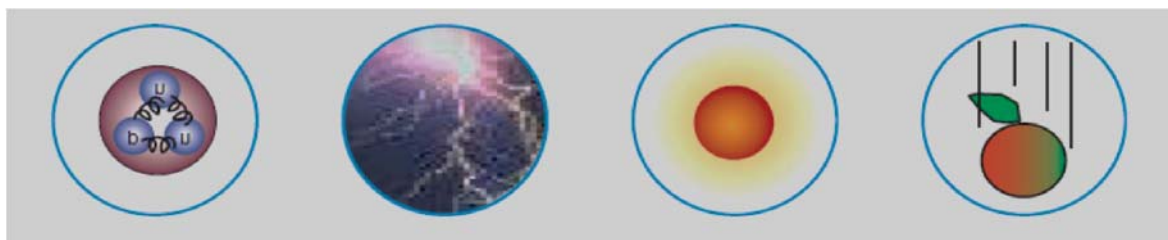


1949

湯川秀樹

1935 パイ中間子を交換  
することで陽子が引き  
合い原子核をつくる。

強い力 > 電磁気力 > 弱い力 >>> 重力



交換するもの: グルーオン

光

W、Z粒子

グラビトン

質量: 0

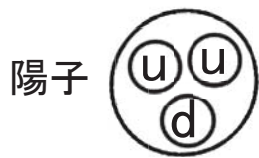
0

あり

0

なぜ?

12



物質粒子

	第1世代	第2世代	第3世代
クォーク	 アップ	 チャーム	 トップ
	 ダウン	 ストレンジ	 ボトム
レプトン	 電子ニュートリノ	 μニュートリノ	 τニュートリノ
	 電子	 ミューオン	 タウ

力を伝える粒子

強い相互作用  グルーオン	$m_{gluon} = 0$
電磁相互作用  光子	$m_\gamma = 0$
弱い相互作用  Wボゾン Zボゾン	$m_W = 80 \text{ GeV}$ $m_Z = 91 \text{ GeV}$

ヒッグス場に伴う粒子 (未発見)

...  
ヒッグス粒子

ヒッグス粒子のみ未発見。この発見がLHC計画の主目的。



南部陽一郎



2008

自発的対称性の破れの提唱



ヒッグスメカニズムの提唱



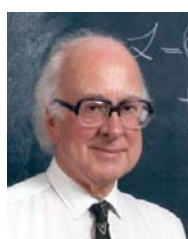
ヒッグス場がW、Z粒子やクォーク・レプトンの質量を作る。



R.ブラウト



F. エングラー



, P.ヒッグス



S.ワインバーグ,



A.サラム,



S.グラシヨー



1979

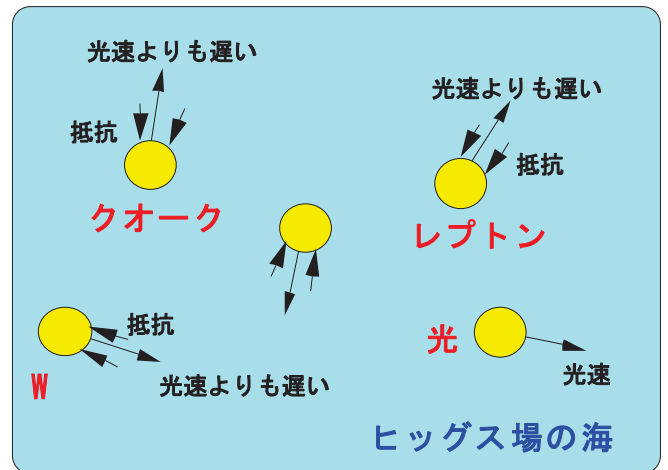
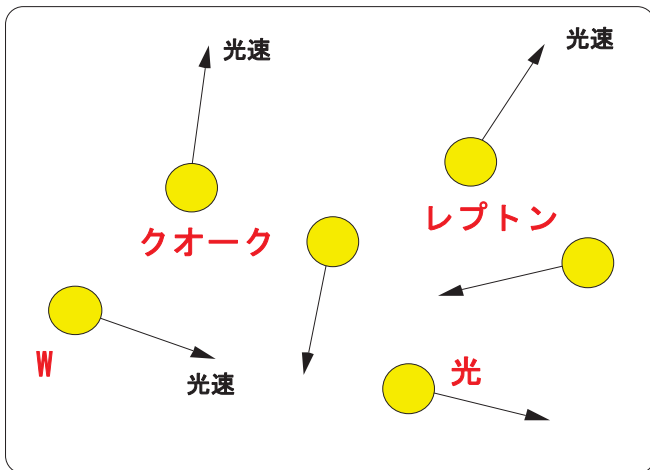
# ヒッグス場による質量の創生

- 本来、粒子の質量はあつてはならない。 ←理論(対称性)の要請
- 現在の真空は**ヒッグス場**で満ちている。 ←南部のアイデアが素になっている。
- W/Zやクォークはヒッグス場に引かれ質量をもつ。光はヒッグス場を感じない。
- ヒッグス場があると**ヒッグス粒子**が存在するはず。

宇宙初期

相転移

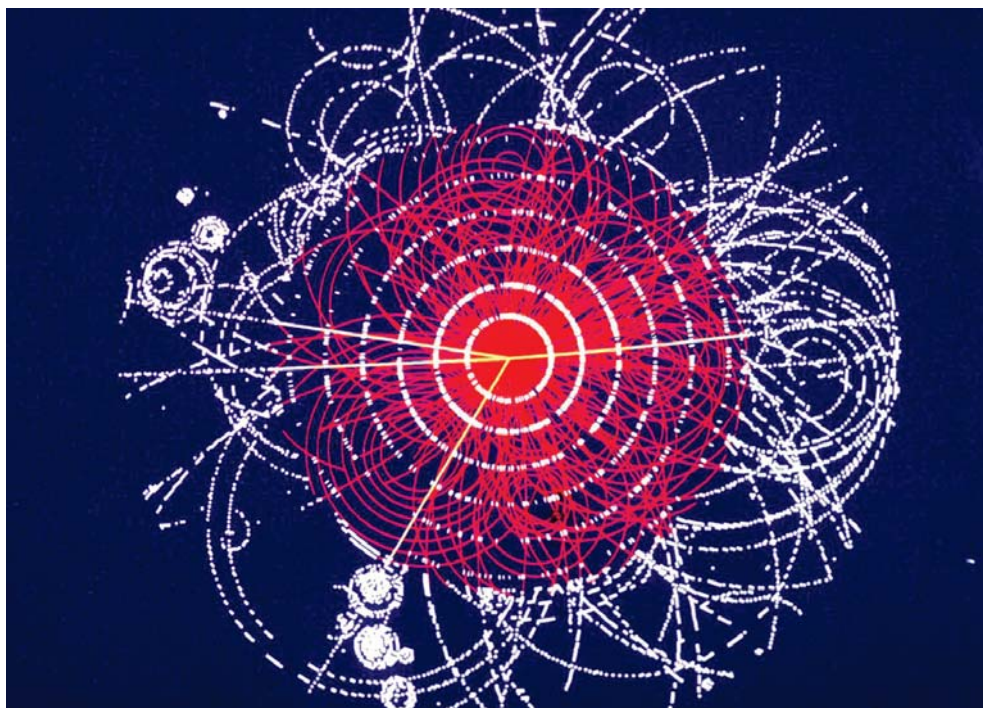
現在



註: 実は 陽子の質量 = クォークの質量(2%) + 強い力(98%)

15

## ヒッグス粒子発生のシミュレーション

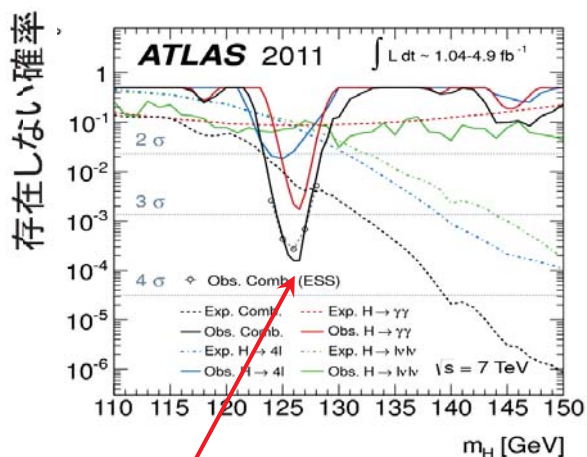
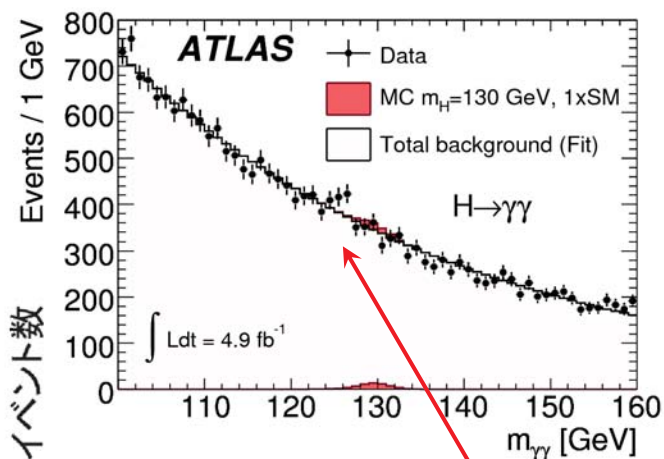


$p p \rightarrow H \rightarrow Z Z \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$  (yellow tracks).

16



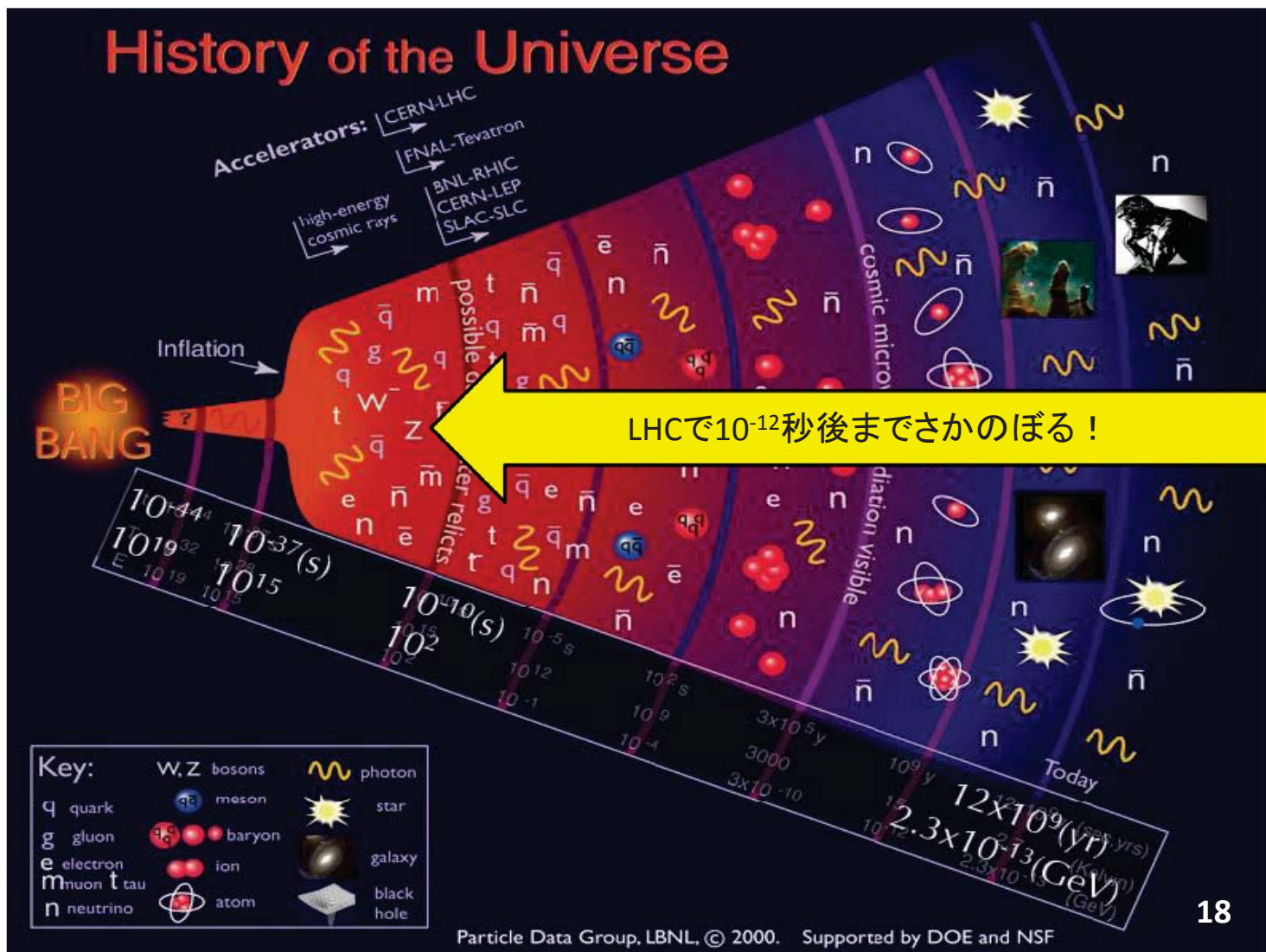
# LHCでのヒッグス粒子さがし



126 GeV付近に存在しそうだ。

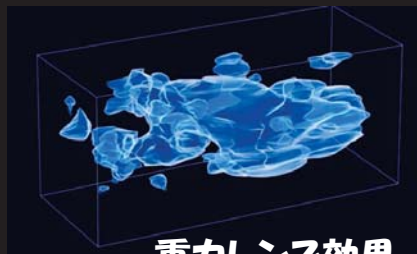
**予想：今年中に発見（か否定）できる。**  
世界の物理学者がここ40年探してきたので大発見となる。トップニュース・一面記事は確実。

17





銀河の回転速度



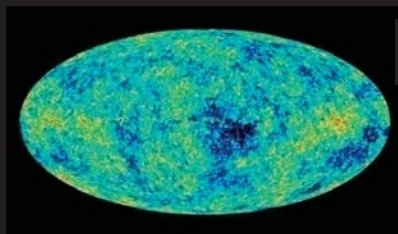
重力レンズ効果



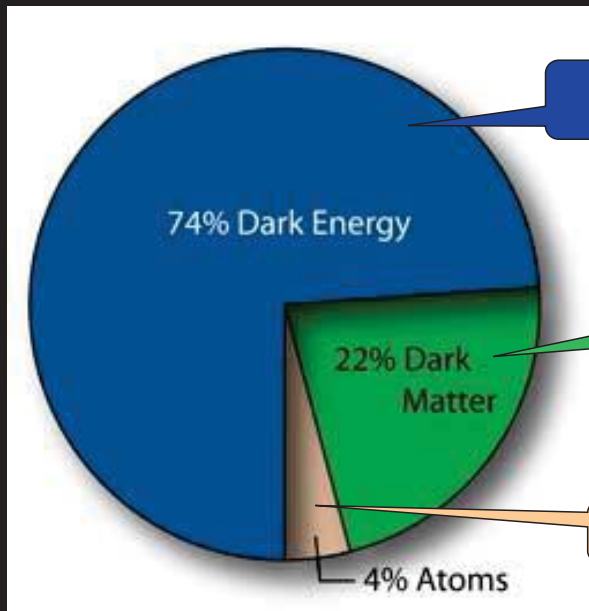
銀河クラスターの衝突



銀河クラスターの運動



3° K宇宙背景輻射



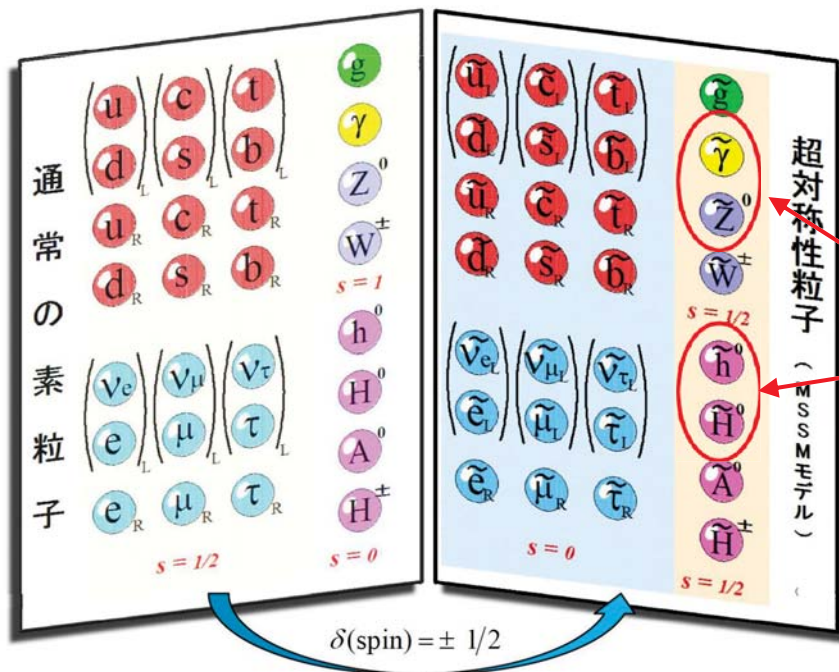
暗黒エネルギー

暗黒物質

光を出す通常物質

我々の宇宙の4%しか理解していない!

理論 → 超対称性粒子があると力の大統一が可能



強い力・電磁気力・弱い力は同じ起源

暗黒物質の有力候補 ニュートラリーノ

LHCで見つかるかも?

でも超対称性粒子はまだ1つも見つかってない