

物質の根本を探る

素粒子物理学最前線

宗久知男

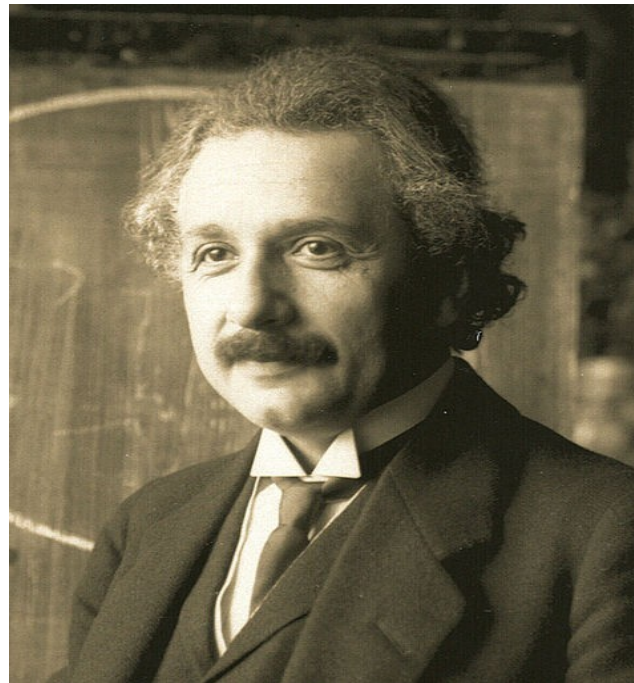
1) 理解することの喜び

2) 理解への欲求

3) 合理的理解: 万人が納得できる理解

数学 $1 + 1 = 2 \quad \rightarrow \quad (N) + 1 = (N + 1)$

$\exp(i\pi) = -1$: オイラーの式



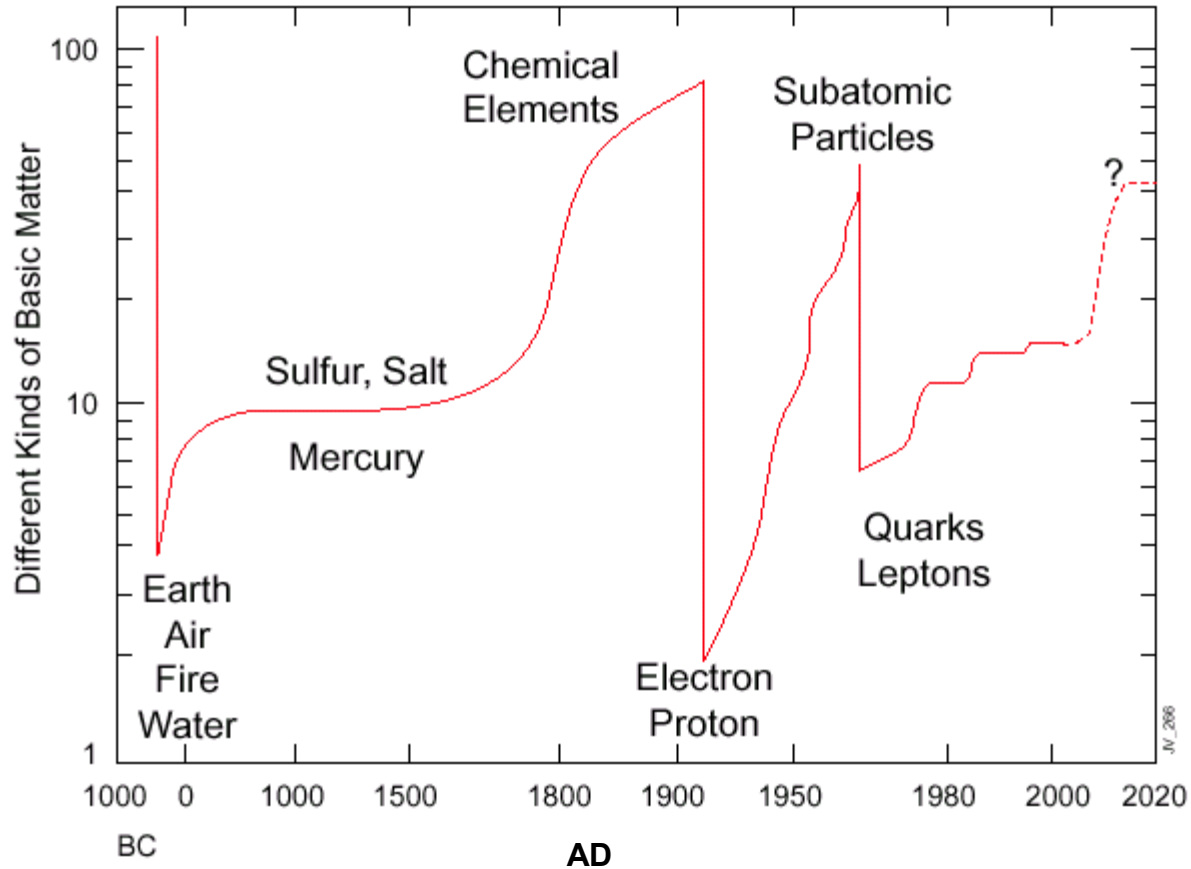
昔から考えていた

1) 人間をとりまく世界の理解 < = 不安
「神」の創造

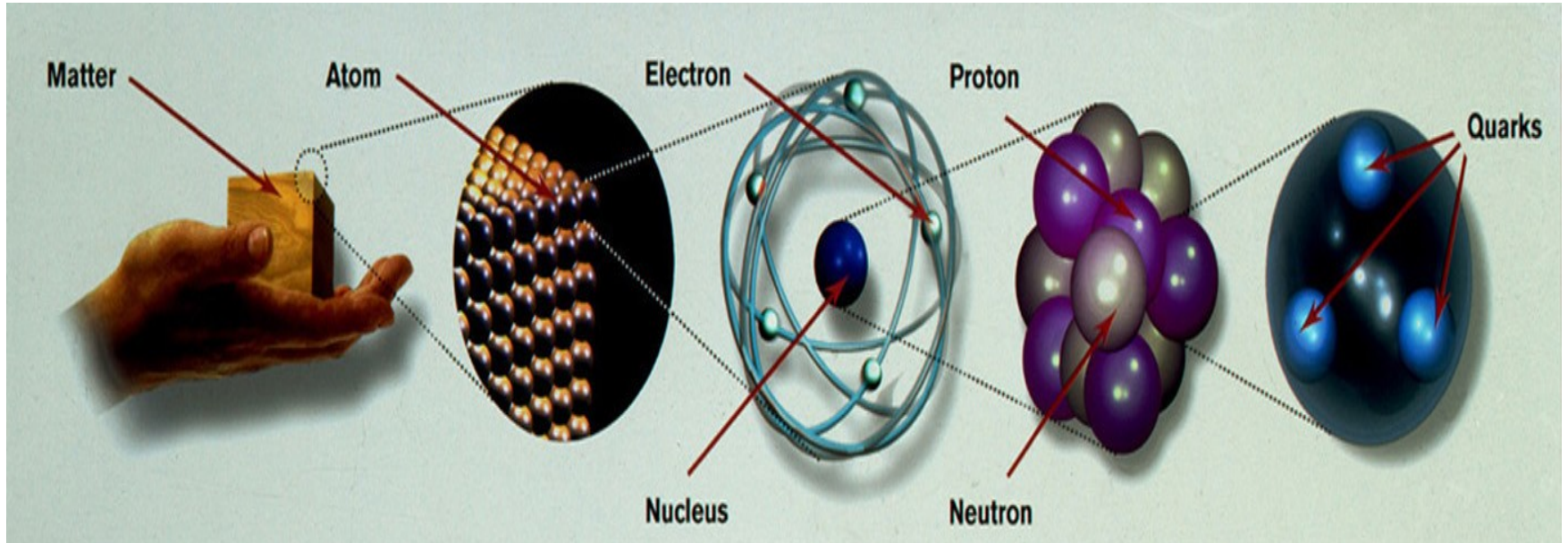
2) 古代から「物質の根源」への理解の欲求
「統一理論」

考える方法: 「知っている中で最も
単純な形」

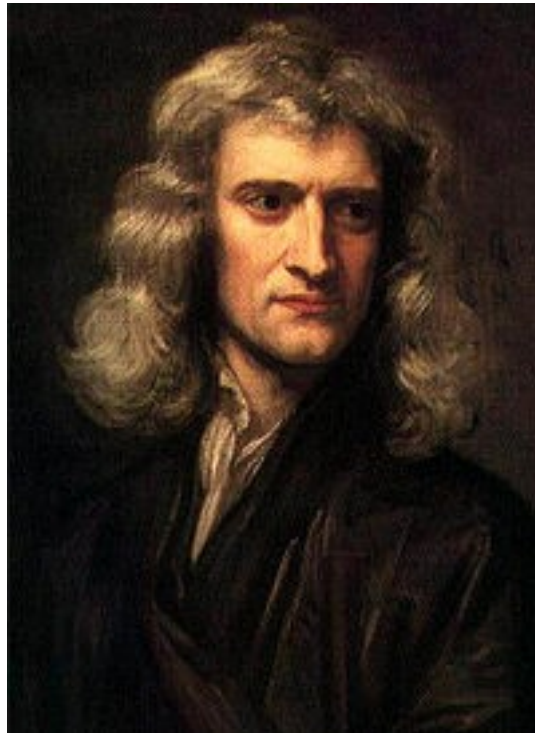
History of Constituents of Matter



Particles



力：物と物との関係（ニュートン） 太陽明日も昇るか



当時の力：重力

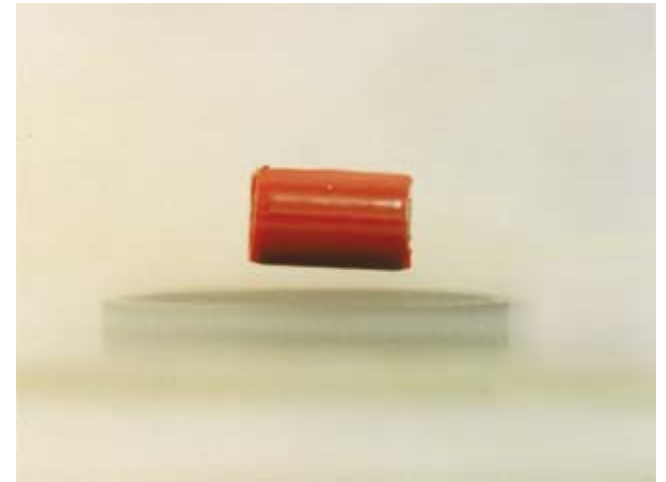
星の運行の理解 ⇒ 機械一元論



日食

電気と磁気

電磁気学(統一理論) → 「光」「電磁波」は同一



周期律表

「物質の根源」「統一理論」の最初の勝利

「原子」の確立

水兵さんリーベは僕の船。名前もあるよ。シップスクラーク

																1																	2
																H																	He
3	4																	5	6	7	8	9	10										
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne										
11	12																	13	14	15	16	17	18										
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar										
19	20	21																	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc																	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39																	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y																	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109											
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Du	Jo	Rf	Bh	Ha	Mt											

原子の力学：量子力学

周期律の説明

力：電磁気学(光)



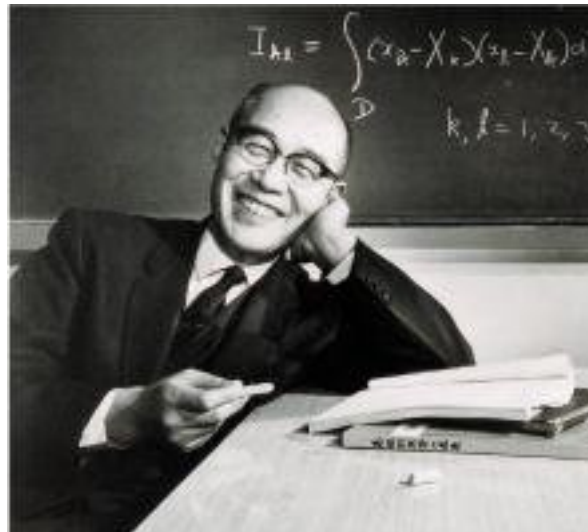
「電子」と「陽子」: 根本物質か？

束の間の幸せ

「電子」と「原子核」

原子核は「陽子」「中性子」

力: 新たな粒子 中間子: 湯川秀樹博士



陽子の仲間が沢山

Table of Baryons

Particle	Symbol	Makeup	Rest mass MeV/c ²	Spin	B	S	Lifetime (seconds)	Decay Modes
<u>Proton</u>	p	uud	938.3	1/2	+1	0	Stable	...
<u>Neutron</u>	n	ddu	939.6	1/2	+1	0	920	$p e^- \bar{\nu}_e$
<u>Lambda</u>	Λ^0	uds	1115.6	1/2	+1	-1	2.6×10^{-10}	$p \pi^-, n \pi^0$
<u>Sigma</u>	Σ^+	uus	1189.4	1/2	+1	-1	0.8×10^{-10}	$p \pi^0, n \pi^+$
<u>Sigma</u>	Σ^0	uds	1192.5	1/2	+1	-1	6×10^{-20}	$\Lambda^0 \gamma$
<u>Sigma</u>	Σ^-	dds	1197.3	1/2	+1	-1	1.5×10^{-10}	$n \pi^-$
<u>Delta</u>	Δ^{++}	uuu	1232	3/2	+1	0	0.6×10^{-23}	p, π^+
<u>Delta</u>	Δ^+	uud	1232	3/2	+1	0	0.6×10^{-23}	p, π^0
<u>Delta</u>	Δ^0	udd	1232	3/2	+1	0	0.6×10^{-23}	n, π^0
<u>Delta</u>	Δ^-	ddd	1232	3/2	+1	0	0.6×10^{-23}	n, π^-
<u>Xi Cascade</u>	Ξ^0	uss	1315	1/2	+1	-2	2.9×10^{-10}	$\Lambda^0 \pi^0$
<u>Xi Cascade</u>	Ξ^-	dss	1321	1/2	+1	-2	1.64×10^{-10}	$\Lambda^0 \pi^-$
<u>Omega</u>	Ω^-	sss	1672	3/2	+1	-3	0.82×10^{-10}	$\Xi^0 \pi^-, \Lambda^0 K^-$
<u>Lambda</u>	Λ_c^+	udc	2281	1/2	+1	0	2×10^{-13}	...

考える方法:「対称性」

円: 対称性が高い図形

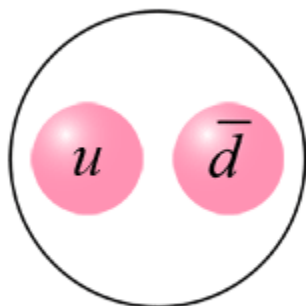
「時間に始まりはない」→ エネルギー保存則



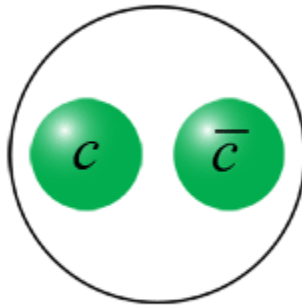
左右対称

クォーク:陽子中間子を形成

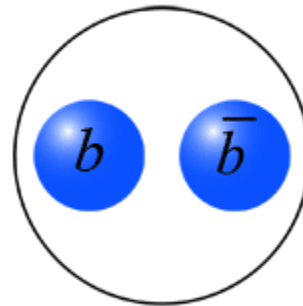
従来の中間子



パイ中間子

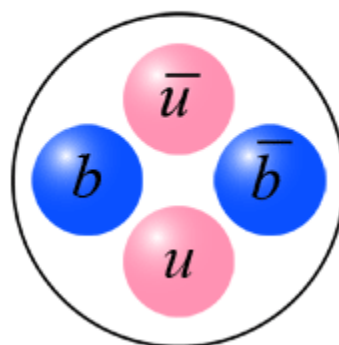
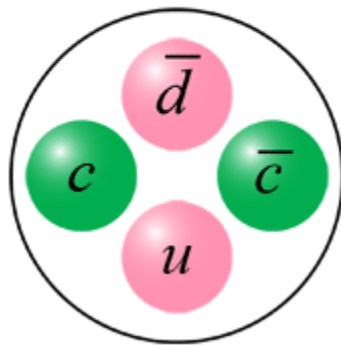


チャーモニウム中間子



ボトモニウム中間子

エキゾチック中間子



クォークとレプトン

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2

Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2

Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
C charm	1.3	2/3
S strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3

力:ゲージ粒子

光子:電磁気

グルーオン:クォークに働く力

Z, Wボソン:弱い力

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

標準理論

クォーク(quark): u, d, c, s, t, b

レプトン(lepton): $e, \nu\text{-}e, \mu, \nu\text{-}\mu, \tau, \nu\text{-}\tau$

ゲージ粒子: $\text{photon}, W^+, W^-, Z$
加えてヒッグス粒子(未発見)

ヒッグス粒子:「対称性」と「量子力学」

「真空は一つ」: 唯の一点

「真空は一つではない」: 円周の一点

対称性の破れ

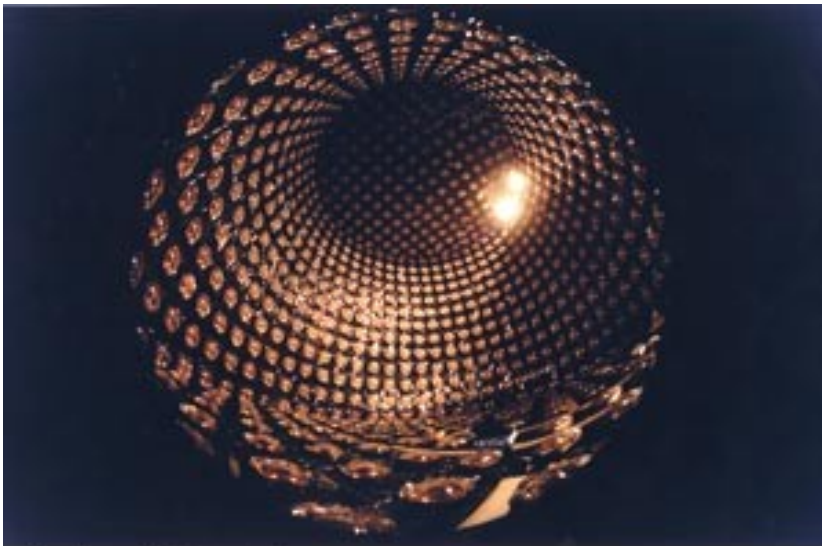
南部陽一郎博士



まだまだ謎が

「質量」は勝手に決まる？

「ニュートリノ質量」: KAMIOKANDE
(日本の実験グループ) 小柴昌俊博士



カミオカンデ



宇宙から謎

「反物質世界がない」バリオジェネシス

「宇宙の膨張」インフレーション

「宇宙の謎物質」ダークマター

「宇宙の謎エネルギー」ダークエネルギー

反物質世界がない

「物質」「反物質」対称性の破れ ⇒
6種類のクォーク: 小林・益川博士



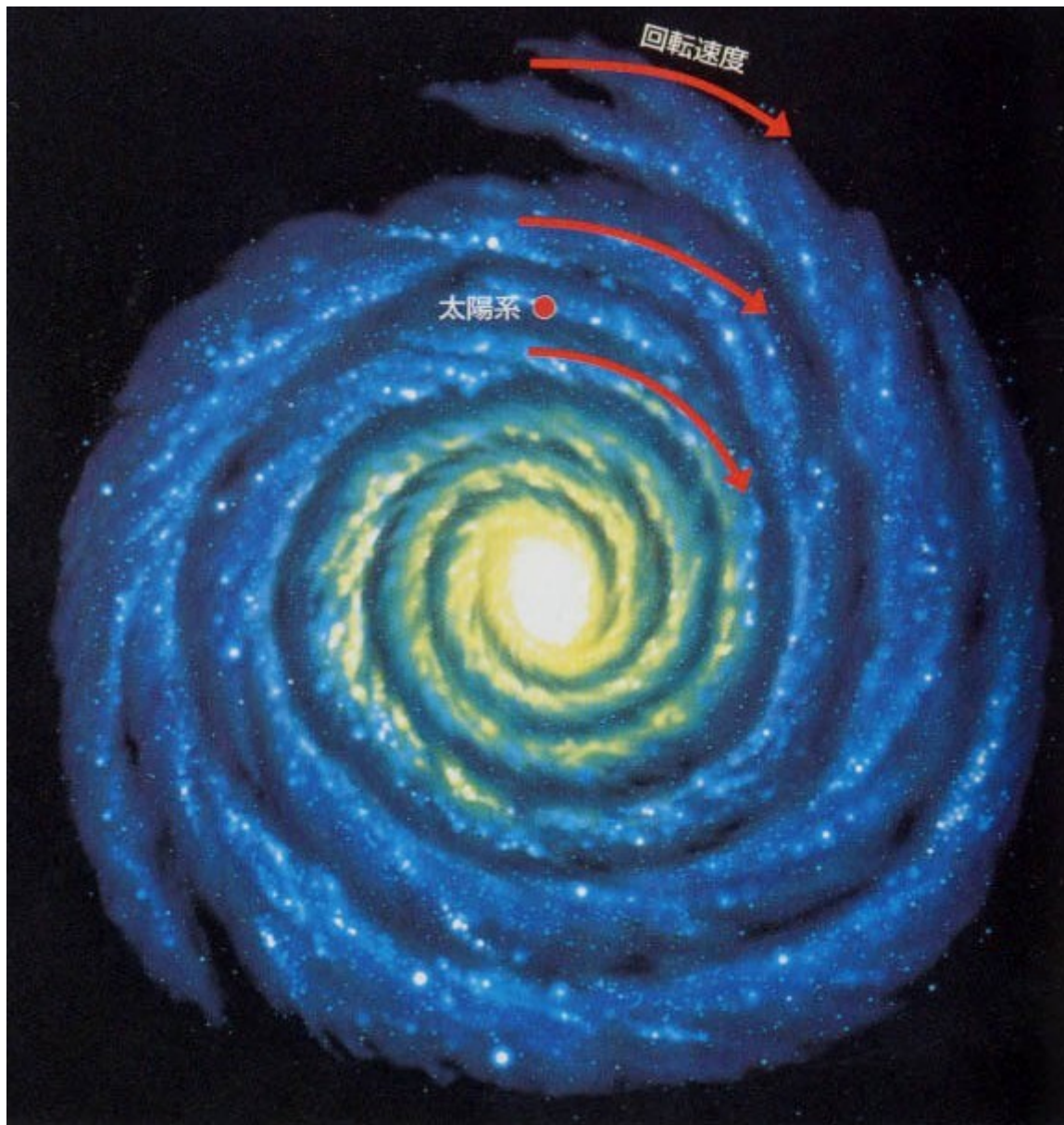
C: 電荷の対称性

P: 左右の対称性

C, P: 弱い力では破れ

CP: 少しの破れ

銀河には謎の暗黒物質が必要



暗黒物質の候補

1. 電荷なし
2. 通常の物質と殆ど衝突しない
3. 質量有

候補？ニュートラリーノ
世界中で探索中

CERN



The Large Hadron Collider in the LEP Tunnel

Proton-Proton Collider

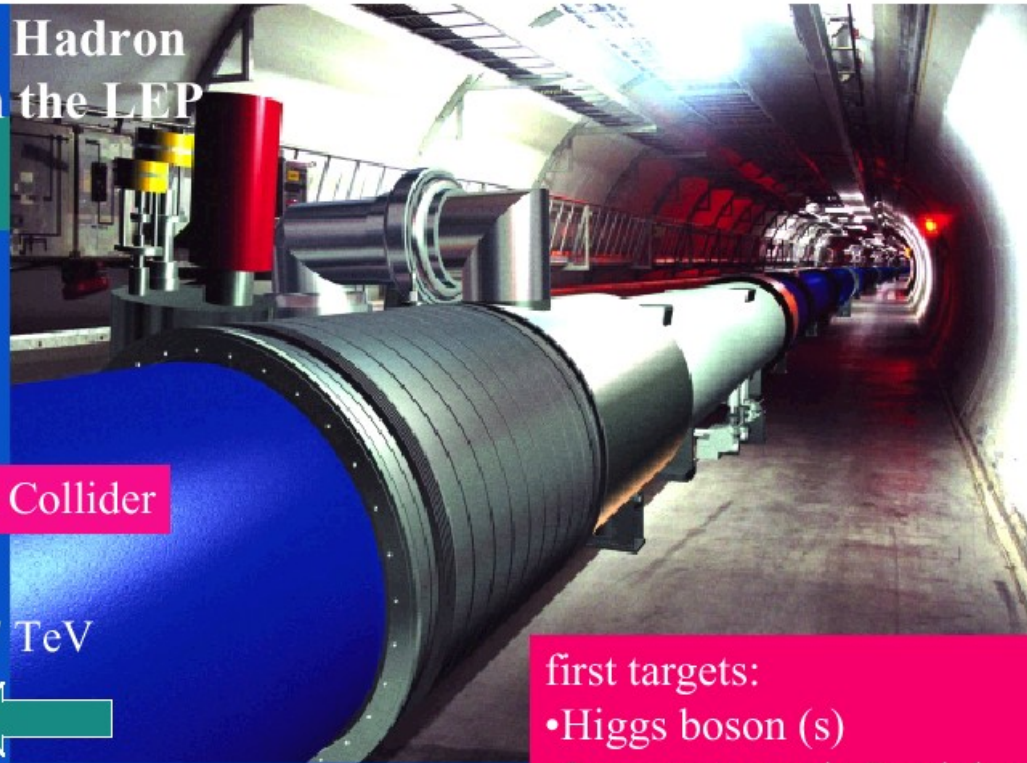
7 TeV + 7 TeV



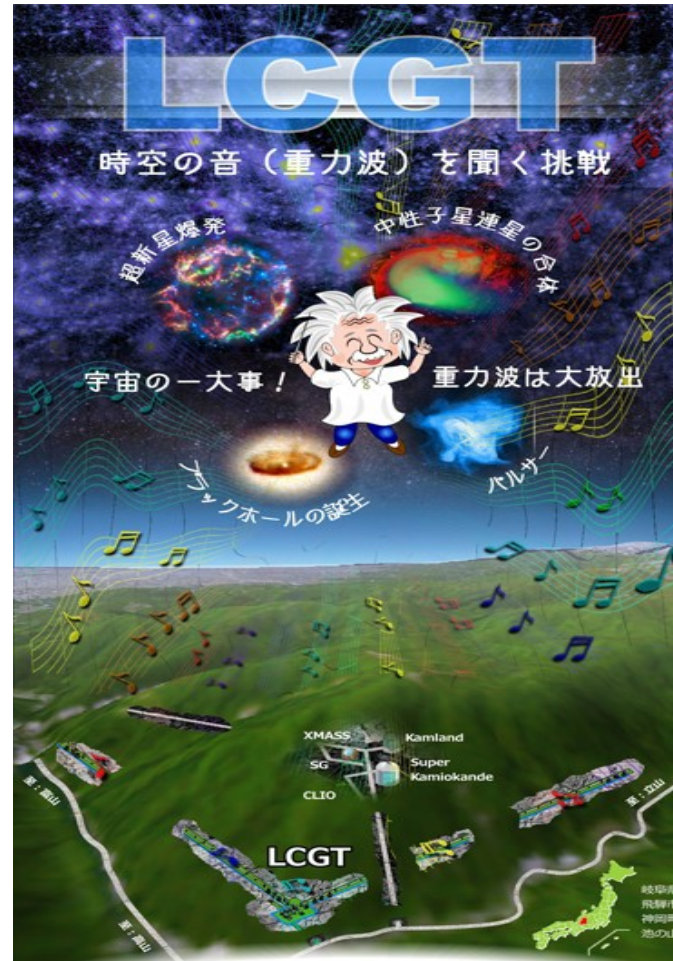
Luminosity = $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$

first targets:

- Higgs boson (s)
- Supersymmetric Particles
- Quark-Gluon Plasma
- CP violation in B



重力波検出 大型重力波望遠鏡LCGT



重力波による $10,000,000,000,000,000,000,000,000,000$ の振動変化を捕える超技術



「考える」

「疑問をだし、その疑問に自分で回答し(アイデアを出し)、これを検証(否定)する」

CERN: <http://public.web.cern.ch/public/>

<http://education.web.cern.ch/education/>

[http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Intro.](http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Intro.htm)

KEK: <http://www.kek.jp/ja/index.html>

<http://www.kek.jp/kids/index.html>

物理の大きな謎

- 1: 時間：過去へ行けないか？
物理法則として禁止できていない
因果律として認めている
- 2 : 離れた出来事は無関係？
量子力学では関係できる
重力理論と概念として矛盾