宇宙の4つの謎と素粒子物理

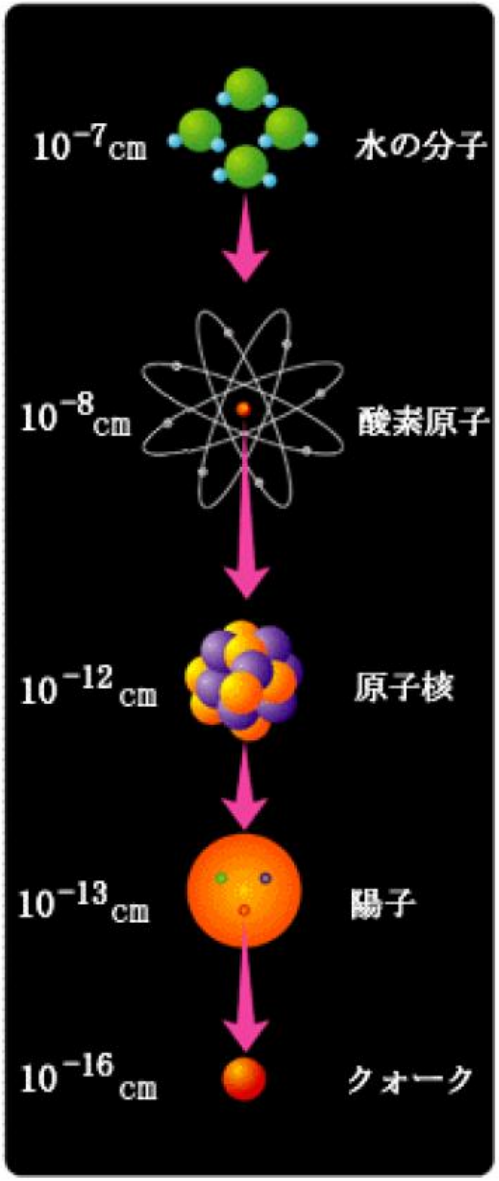
2010年11月13日

高エネルギー加速器研究機構
山内正則

はじめに

- ここで言う「宇宙」＝この世のすべて
  - “ロケットに乗って行くところ”のことではありません。
  - 私たちの目の前、スペースシャトルの軌道、惑星が浮かぶ空間、太陽系が浮かぶ空間、銀河が浮かぶ空間. . . 全部が宇宙です。
  - ですから「宇宙に行く」という言い方はここでは意味を持ちませんし、「宇宙には反物質がない」と言っても「地球軌道上に反物質が漂っていない」という意味ではありません。
  - 英語で言うとuniverseです。

素粒子:宇宙の構成要素


10^{-7}cm
水の分子
10^{-8}cm
酸素原子
10^{-12}cm
原子核
10^{-13}cm
陽子
10^{-16}cm
クォーク

u c t
d s b
e μ τ
ν_e ν_μ ν_τ
γ
g
W
Z
Standard Model

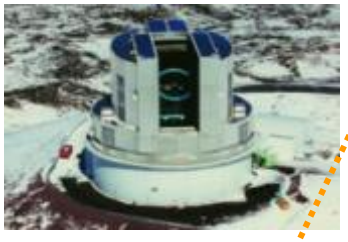
宇宙と素粒子物理

①宇宙に「行く」

- 宇宙ステーション、惑星探査等で探査を行う

②宇宙を「観る」

- すばる望遠鏡など大型望遠鏡により宇宙を観測する



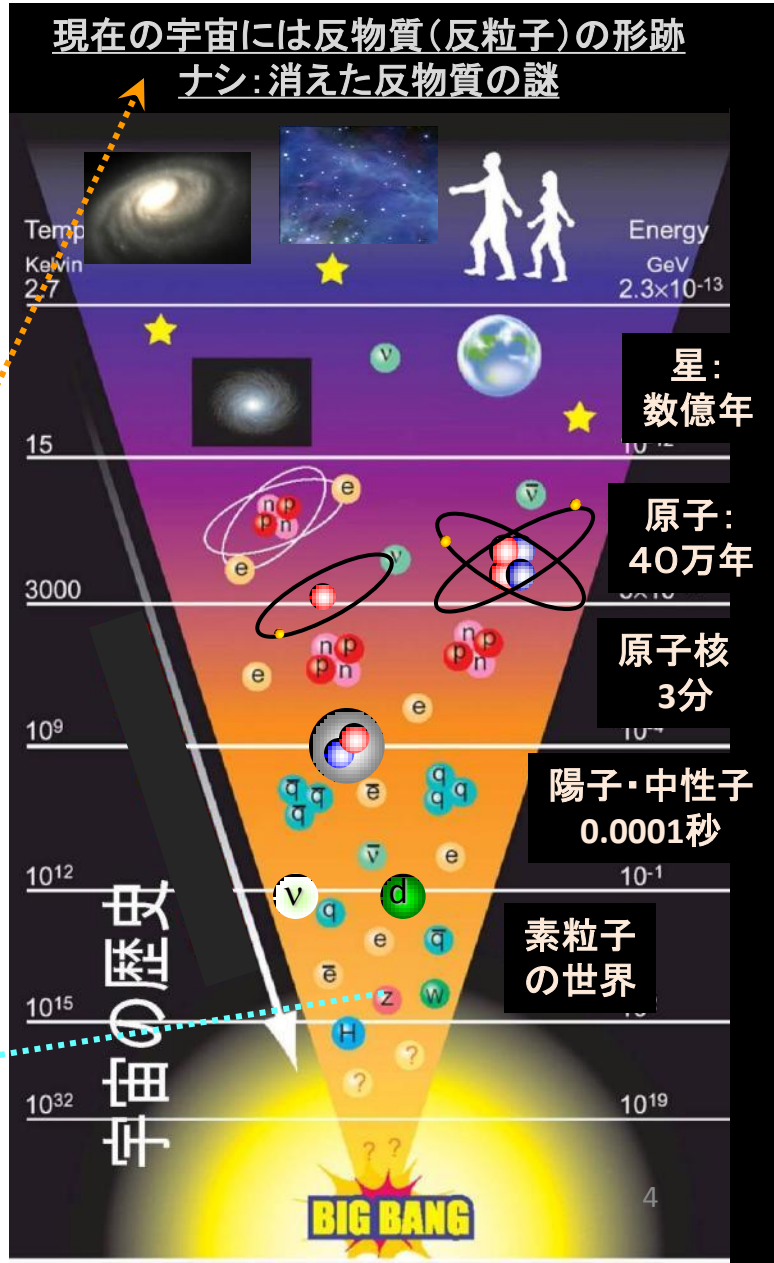
③宇宙の始まりを「創る」

- 加速器により宇宙誕生直後を再現する

宇宙の始まりは素粒子の世界。
素粒子の性質が、宇宙創成・進化
の謎を解明する

粒子と反粒子は
同数生成された
：
CP非対称性の存在
（小林・益川理論の予言）

現在の宇宙には反物質（反粒子）の形跡
ナシ：消えた反物質の謎



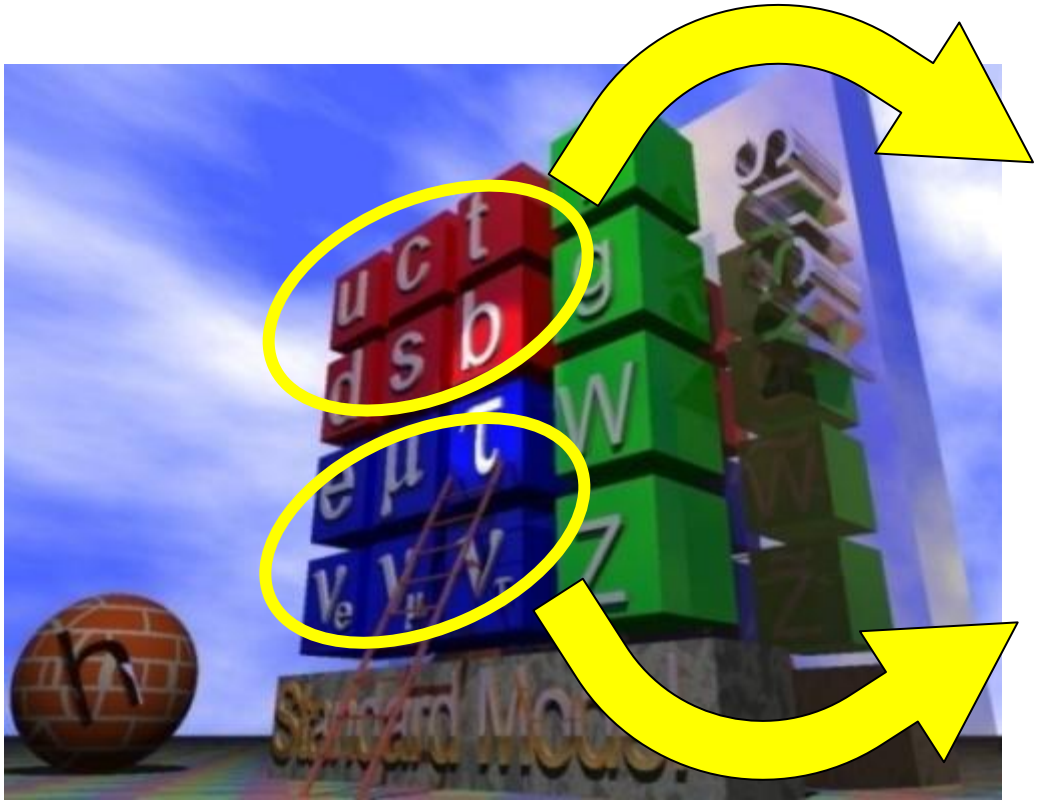
宇宙の4つの謎

Particle Adventure より “Unsolved Mysteries”

謎1：質量の起源

質量　＝　動かすときにどれくらい頑張らなければならないか。

素粒子の質量は中途半端 !?

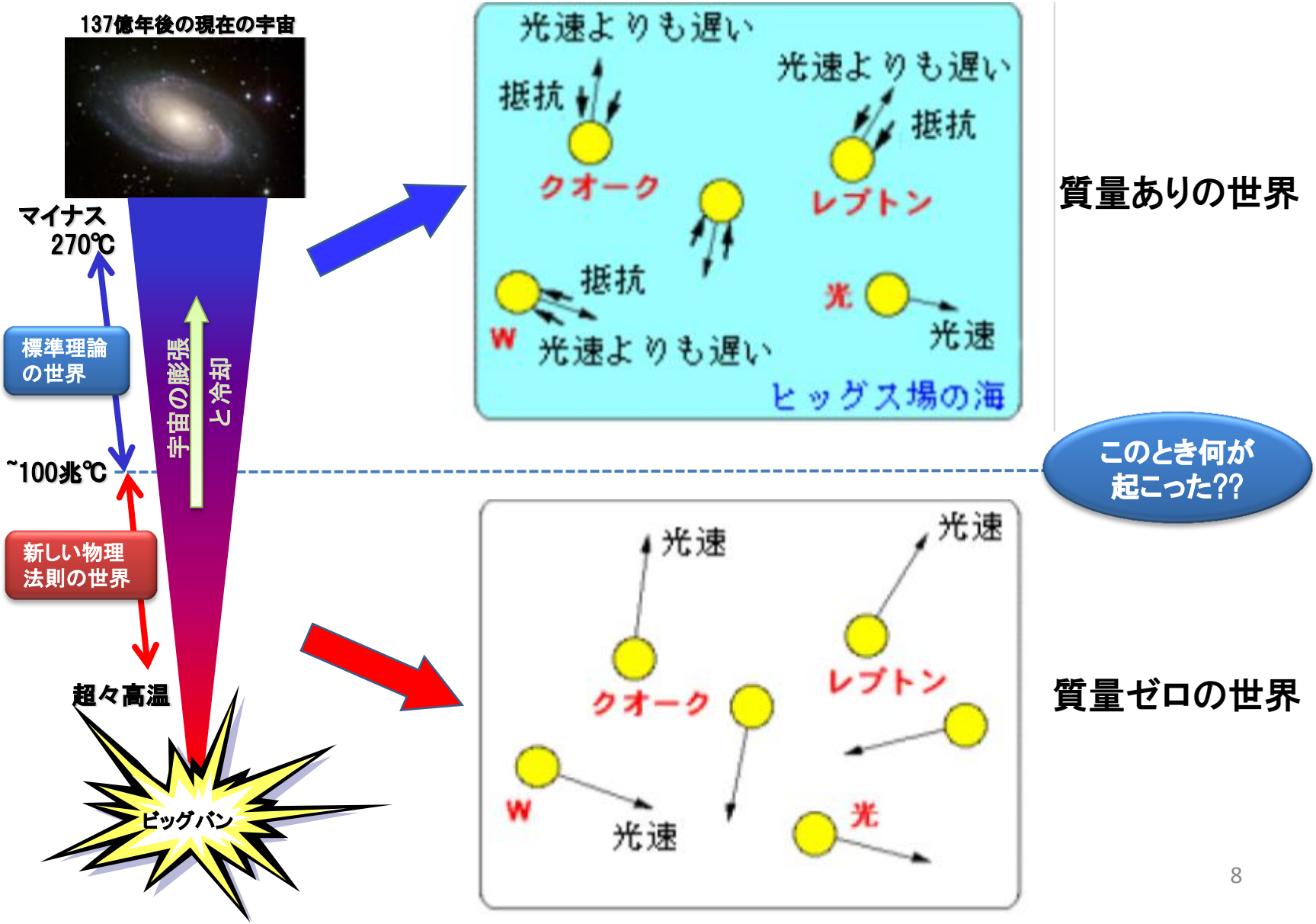


	粒子のなまえ	質量
クォーク	アップ	3
	ダウン	6
	ストレンジ	120
	チャーム	1200
	ボトム	4200
	トップ	174000
レプトン	電子ニュートリノ	～0
	ミューニュートリノ	～0
	タウニュートリノ	～0
	電子	0.5
	ミュー	106
	タウ	1777

単位は百万電子ボルト(MeV)

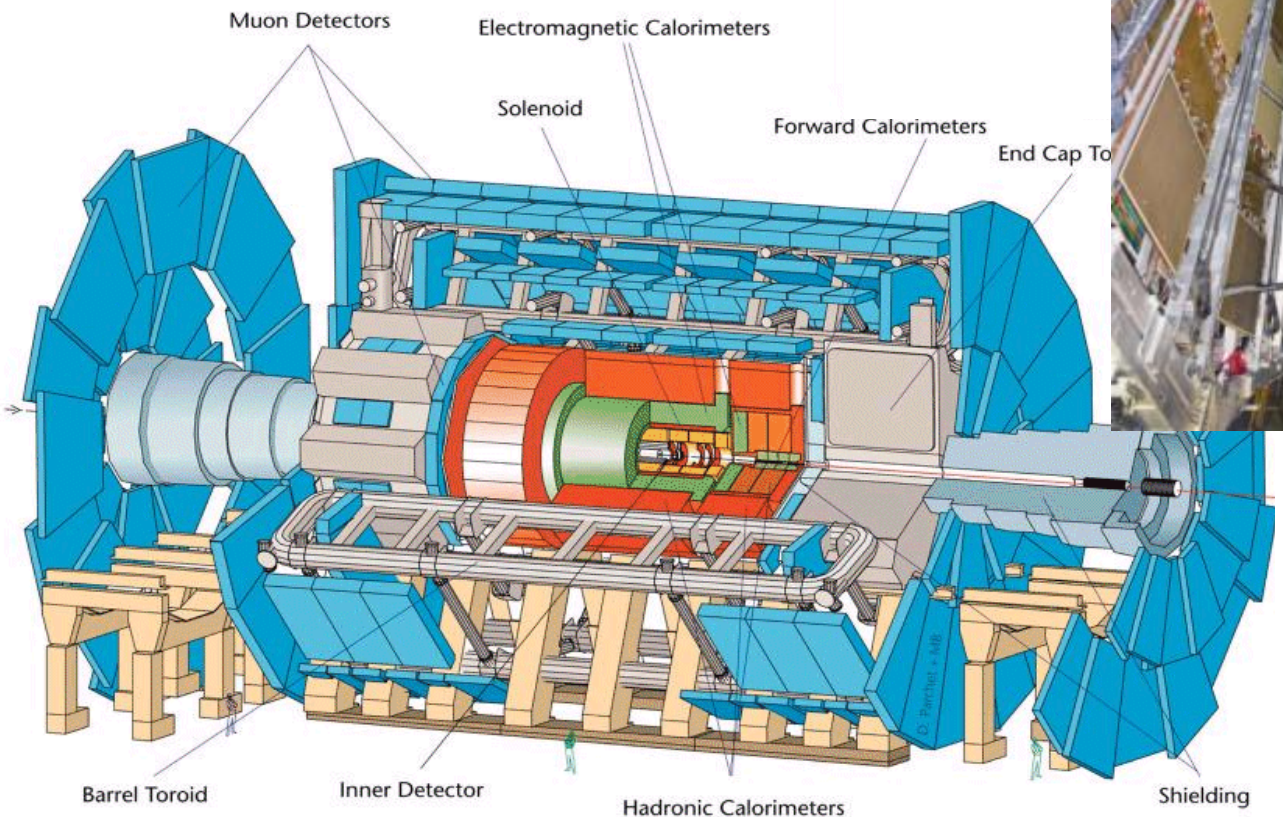
わかりやすい質量は100,000,000,000,000,000 MeVかゼロのどちらか

あるとき質量が生まれた

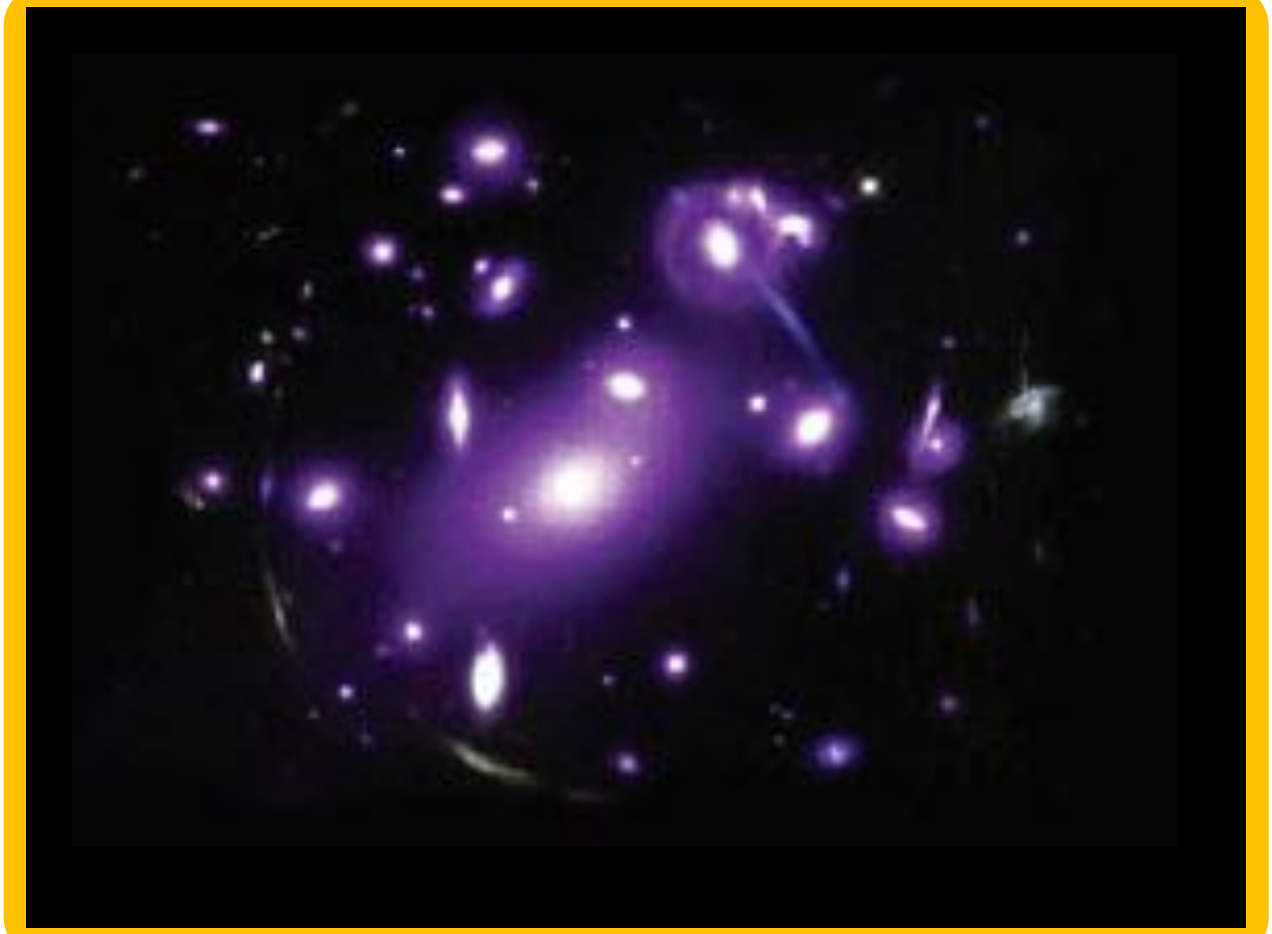


ヒッグスの謎を解き明かすLHC

日本も参加するALTAS実験

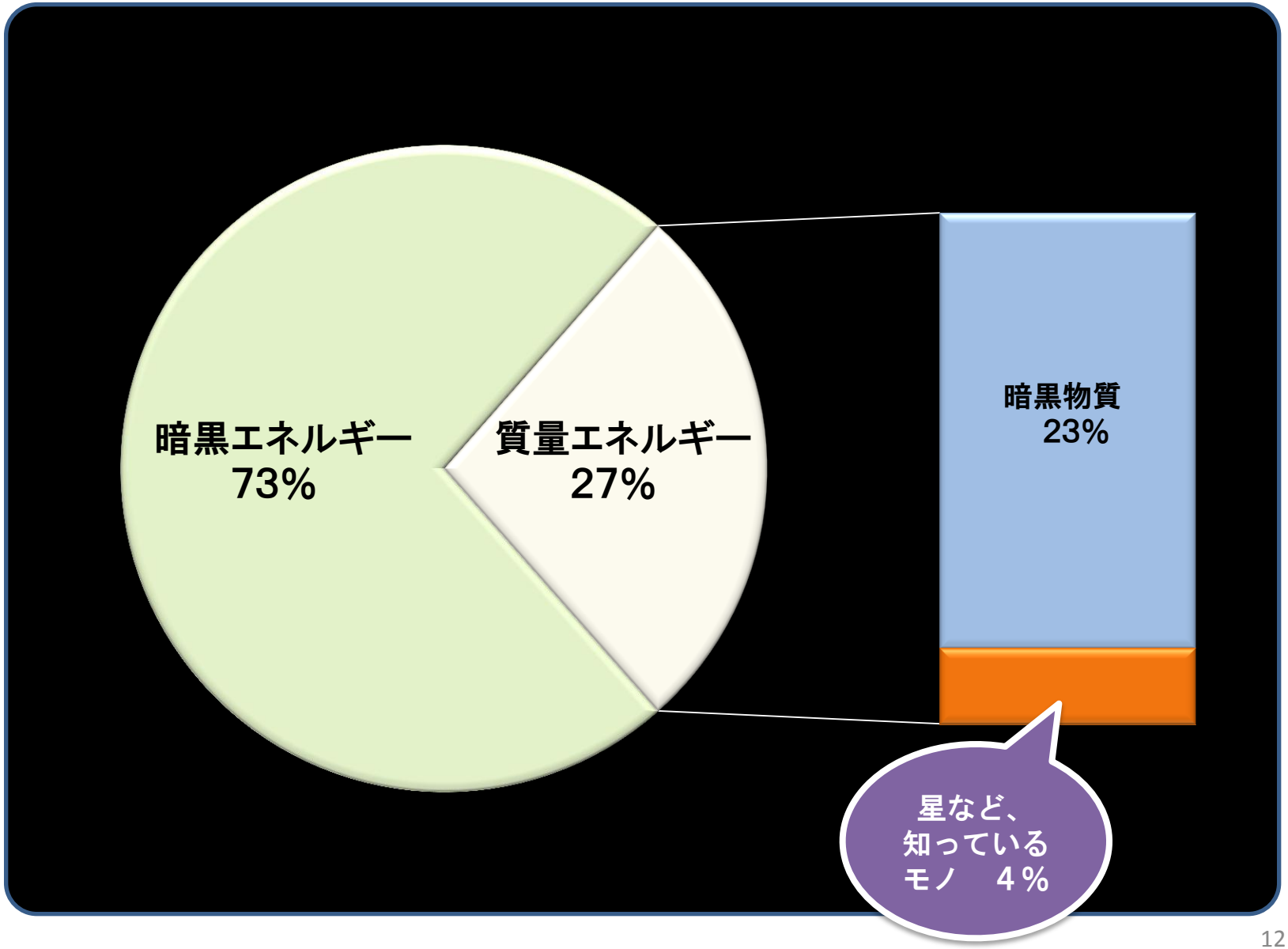


謎2:暗黒物質の正体

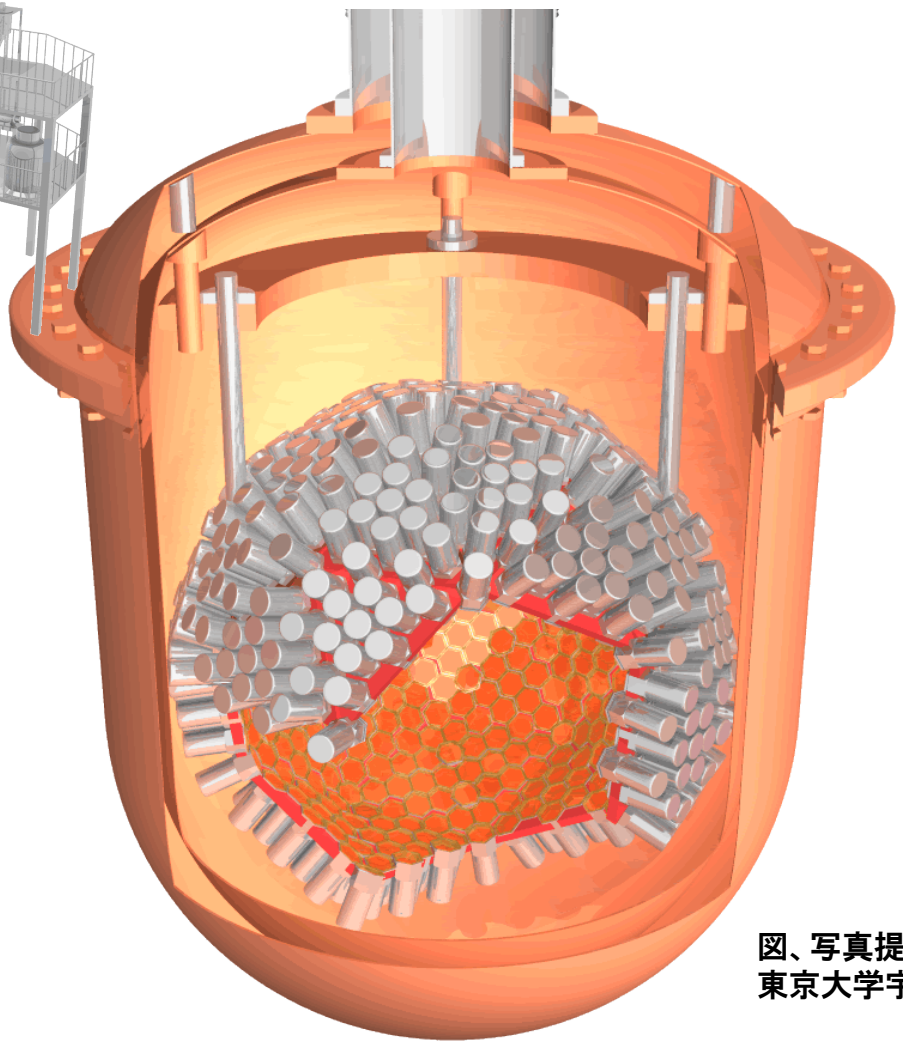


Particle Adventure より “Unsolved Mysteries”

宇宙の組成

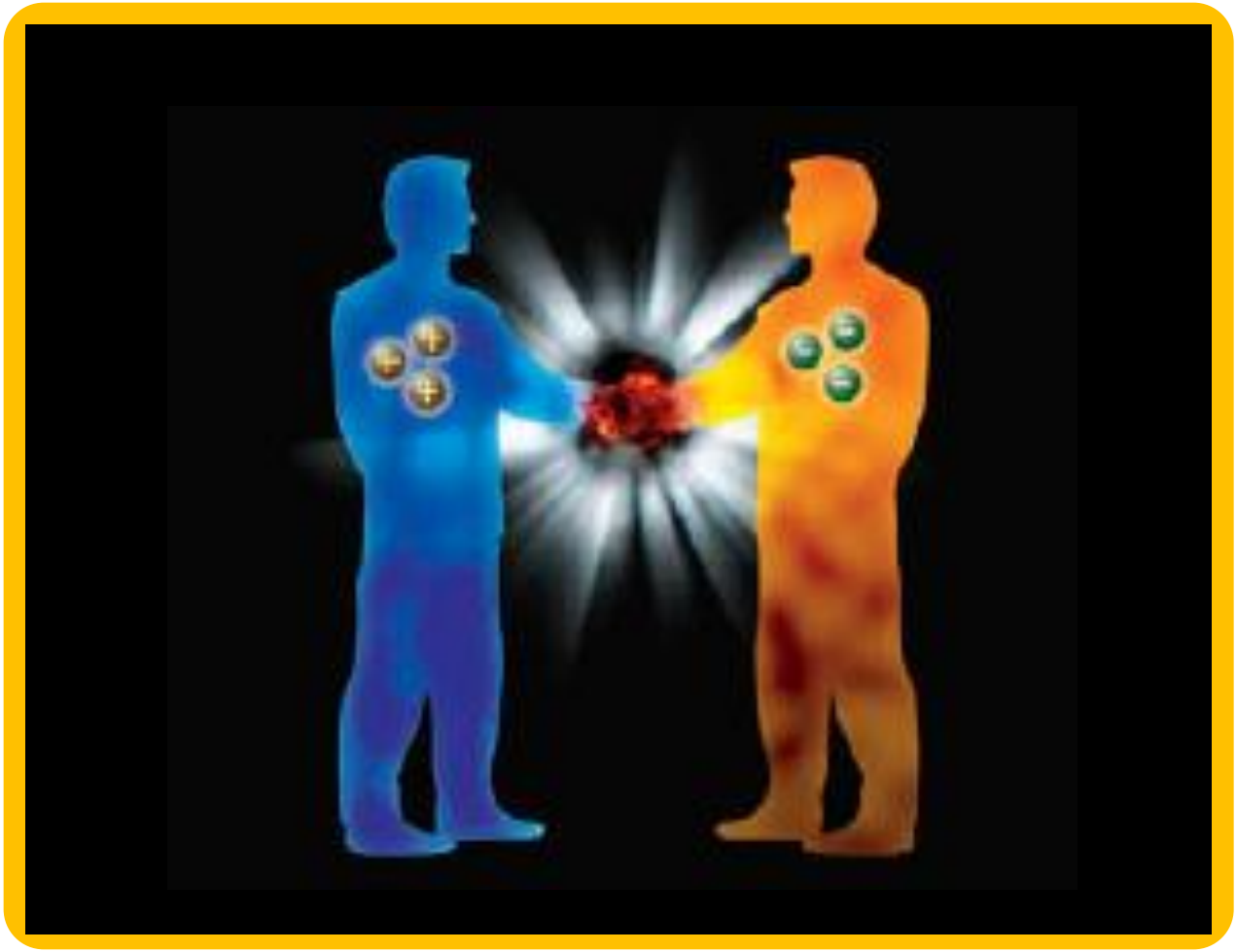


XMASS暗黒物質探索実験



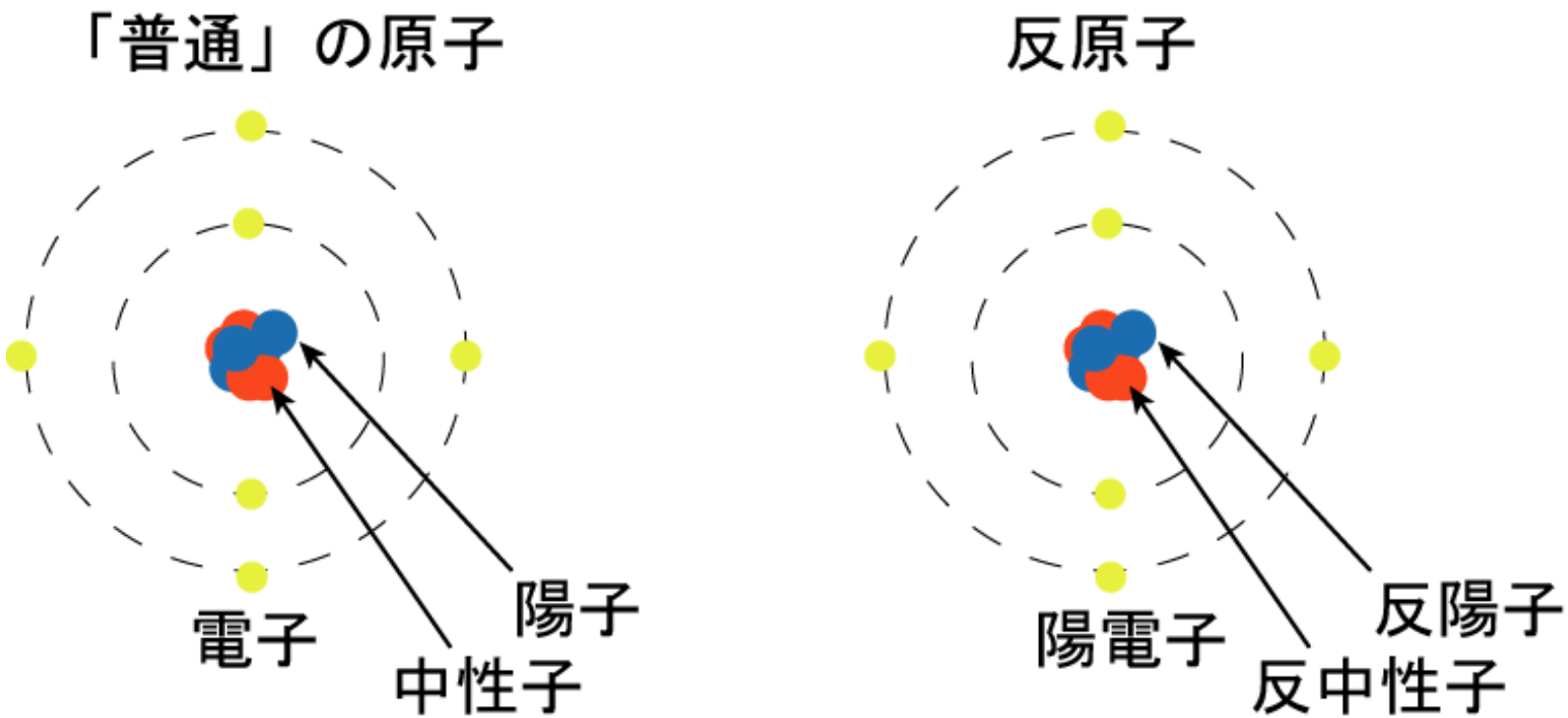
図、写真提供
東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

謎3：宇宙から消えた反物質



Particle Adventure より “Unsolved Mysteries”

反物質の世界



同様に反分子や、これからなる反世界も想像可能。

反粒子とCP非対称性

物理学の世界

粒子

反粒子

対消滅

CP非対称性
＝粒子・反粒子の
物理法則の違い

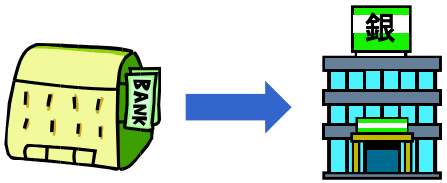
アナロジー

お金の世界

貯金

借金

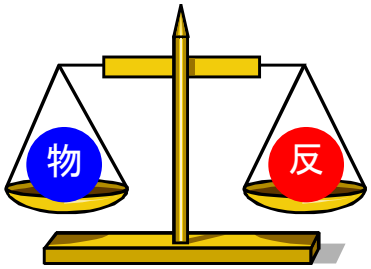
貯金をおろして
借金を返済

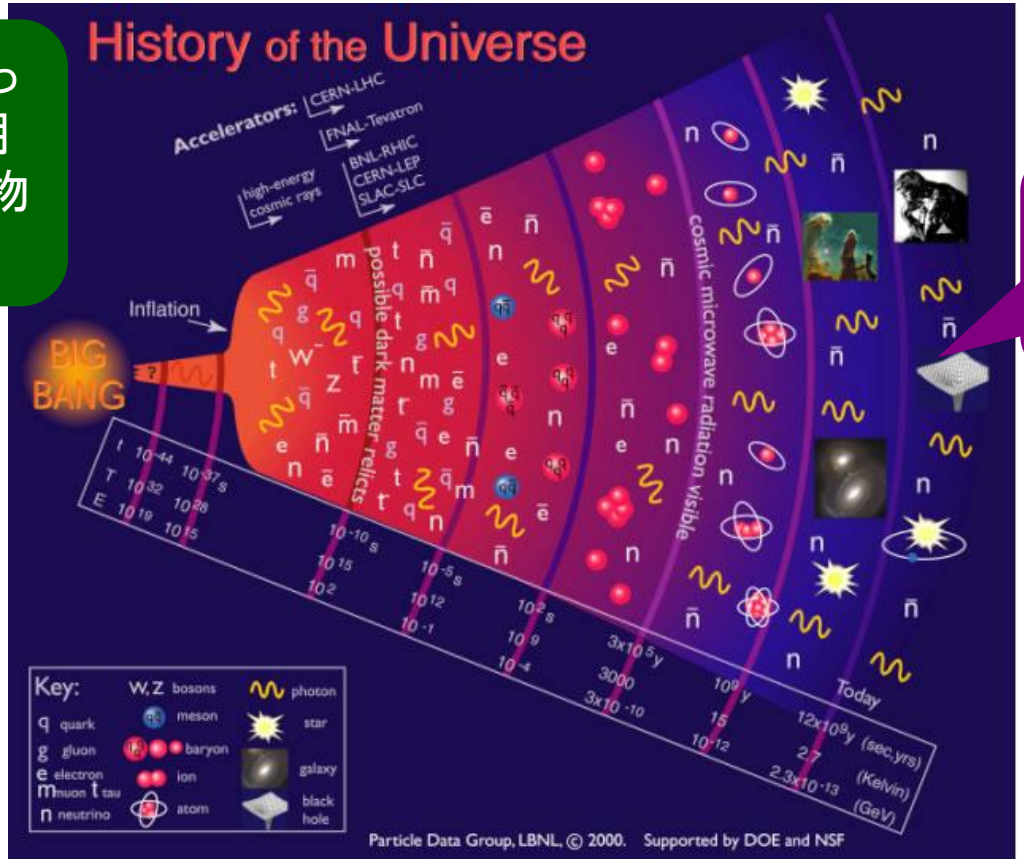


貯金と借金の違い。
たとえば利率が
違うこと!?

宇宙から消滅した反物質

宇宙は“無”から始まったとすれば、宇宙初期には物質と等量の反物質があったはず。





現在の宇宙には反物質は見つからない。

137億年

宇宙の進化の途中で反物質が消え去った!？

消え去っていなければ星も生物も存在できなかったはず。

『無』から『有』を作る方法

ある時全くの無一文

宇宙は『無』
から始まった。

あるとき思い立って
銀行から借金して、
別の銀行に預けた。

粒子、反粒子が
同数生まれた。

長い時間がたって
利息が増えた. . .

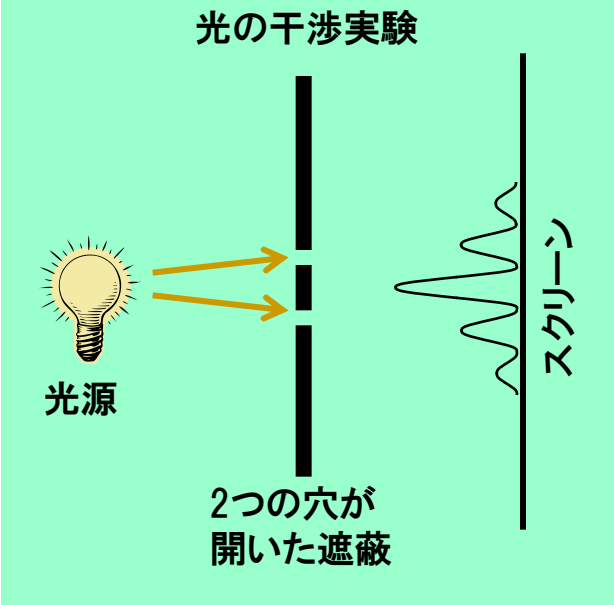
実際は10^{-10}秒

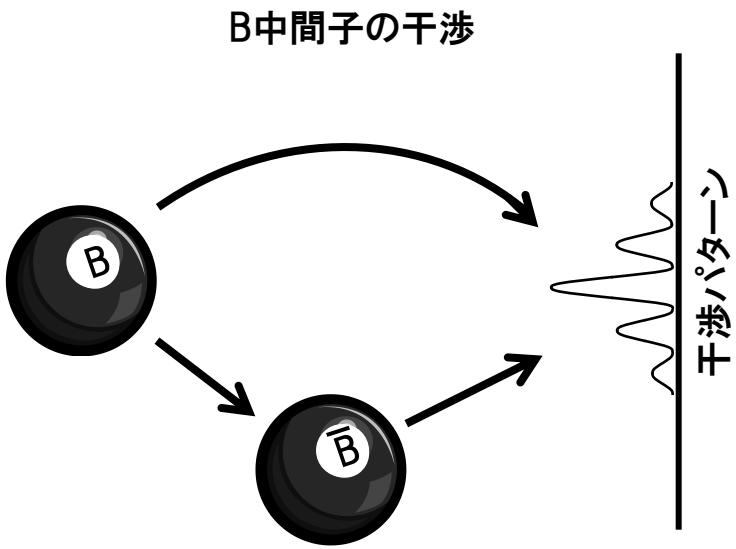
粒子・反粒子のアンバランスが生じた。

結局、労せずして1円を
手にすることに成功！

物質だけの宇宙ができた。

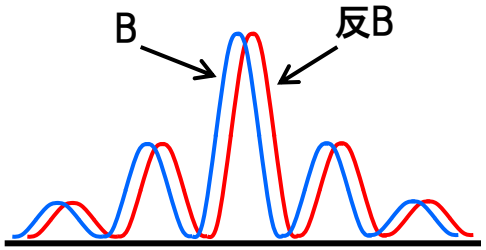
B中間子の干渉実験





B中間子は1兆分の1秒ほどで壊れるが、自分の寿命のうちに反B中間子に化けることもある。

小林・益川理論によれば、この干渉パターンはB中間子と反B中間子で異なるはず。

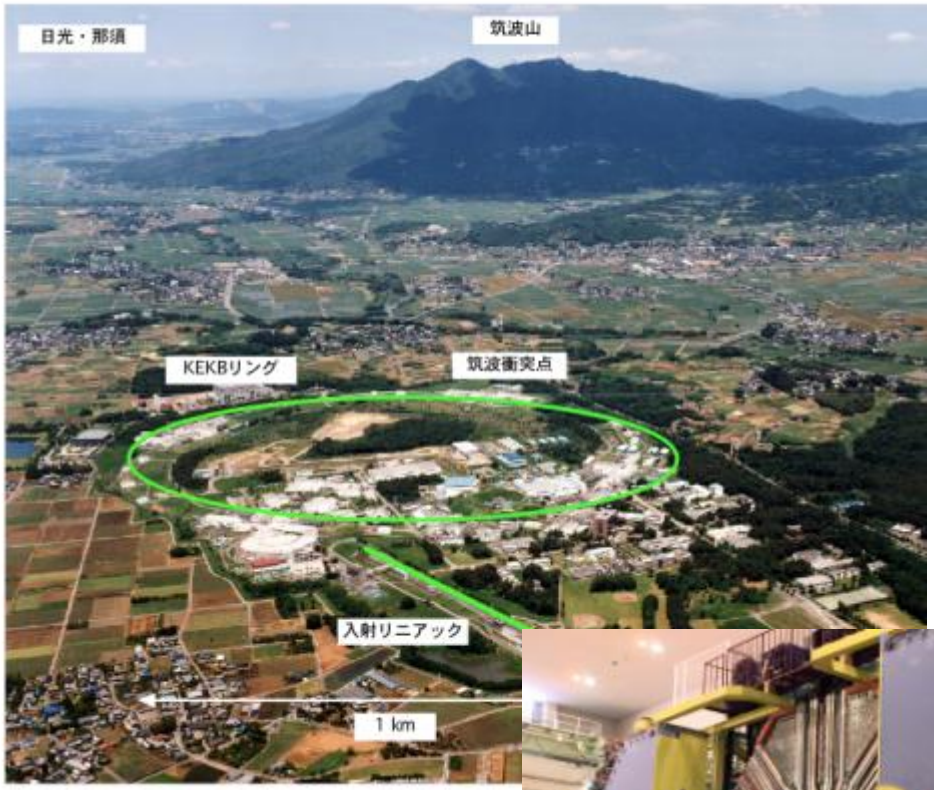


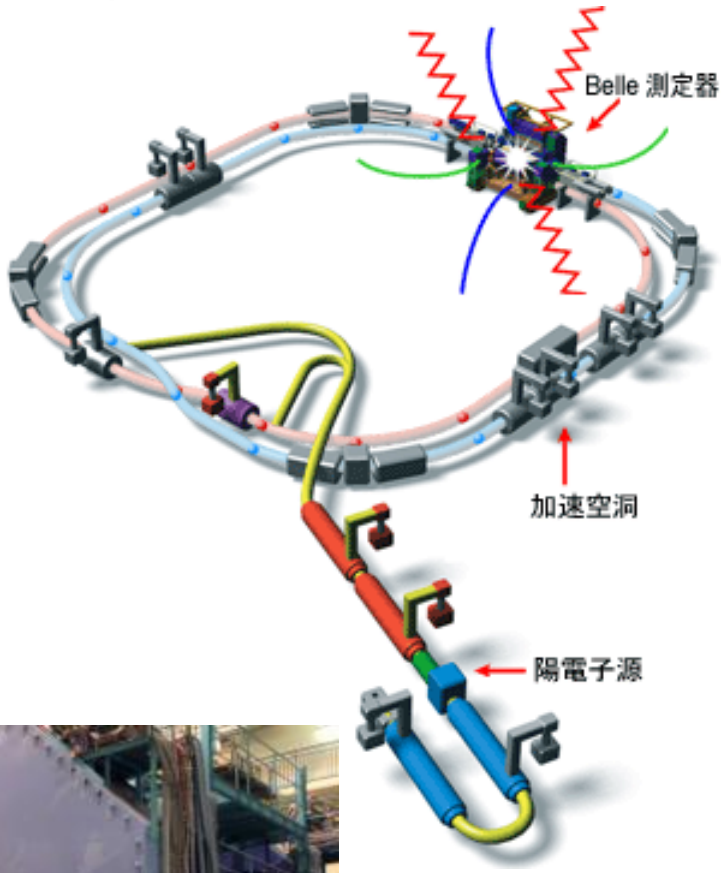
粒子と反粒子の違い

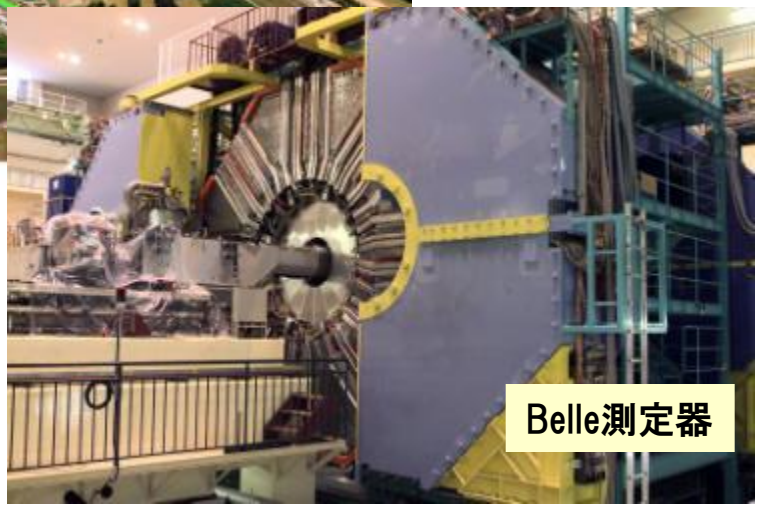
↓↑

CP非対称性

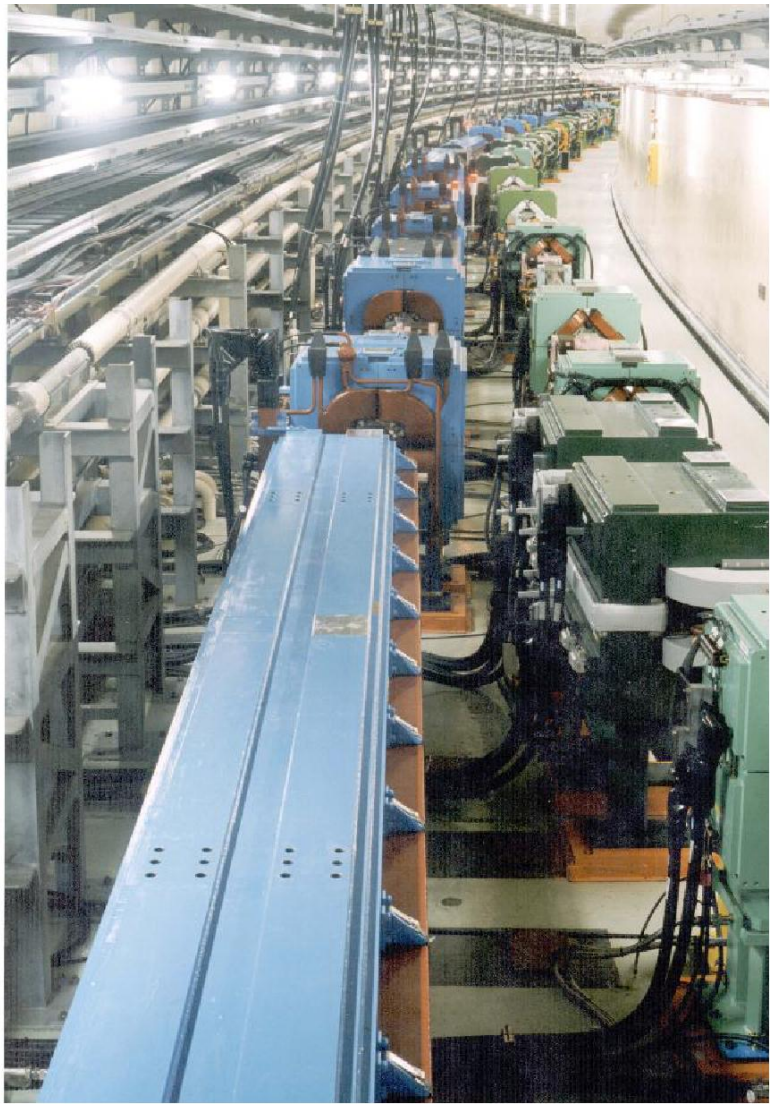
KEK　Bファクトリー


日光・那須
筑波山
KEKBリング
筑波衝突点
入射リニアック
1 km

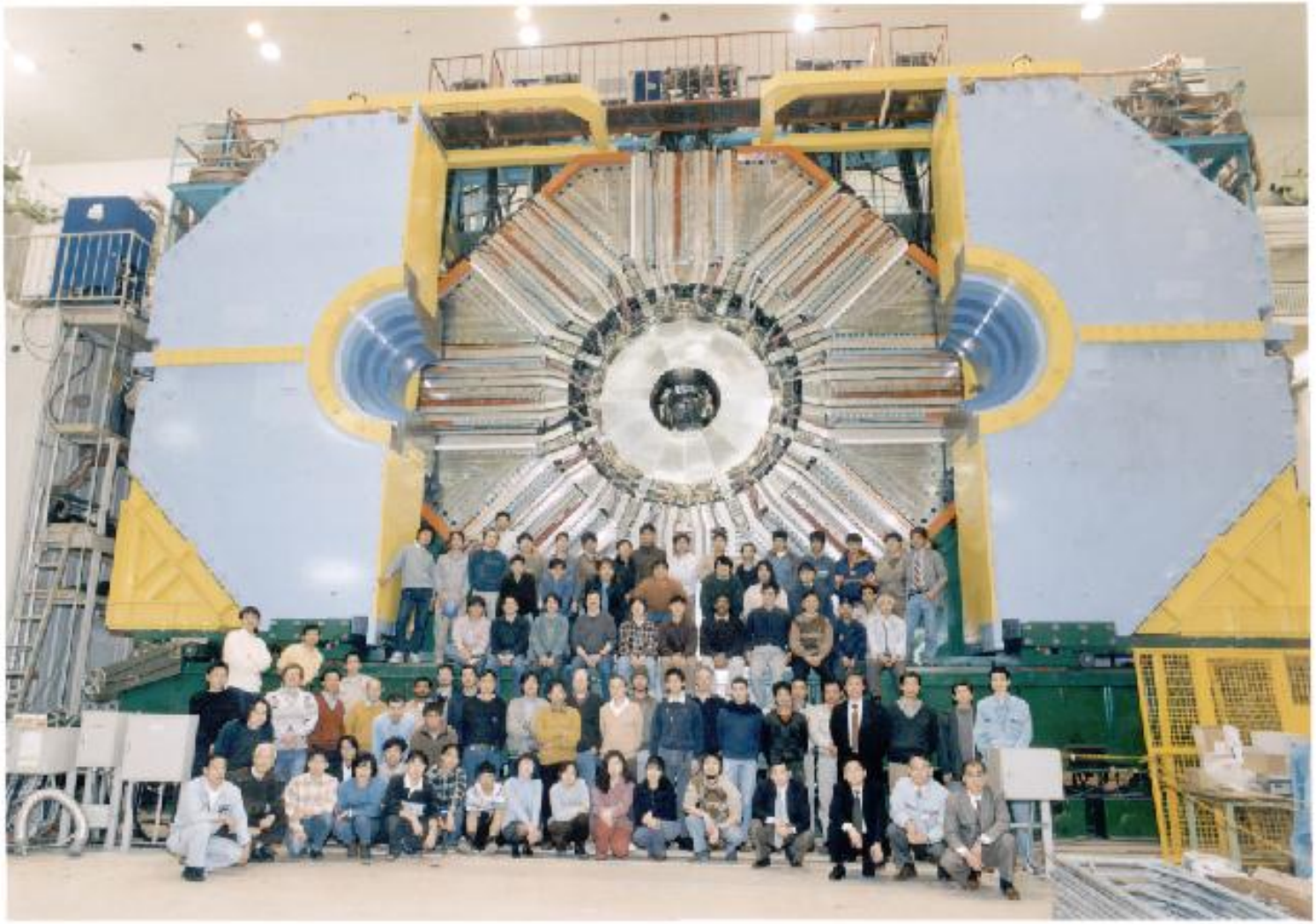

Belle 測定器
加速空洞
陽電子源


Belle測定器

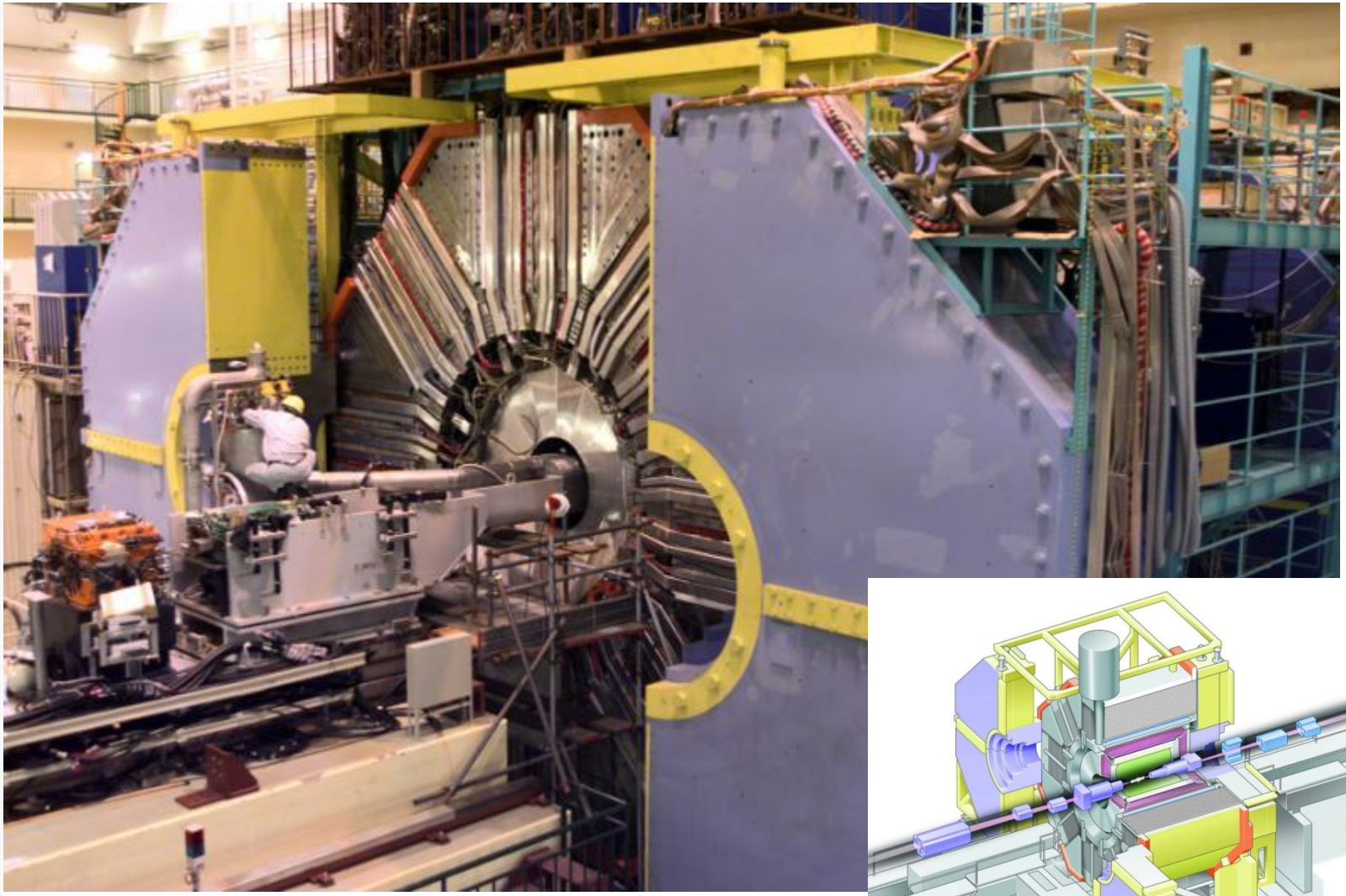
加速器の内部（1）

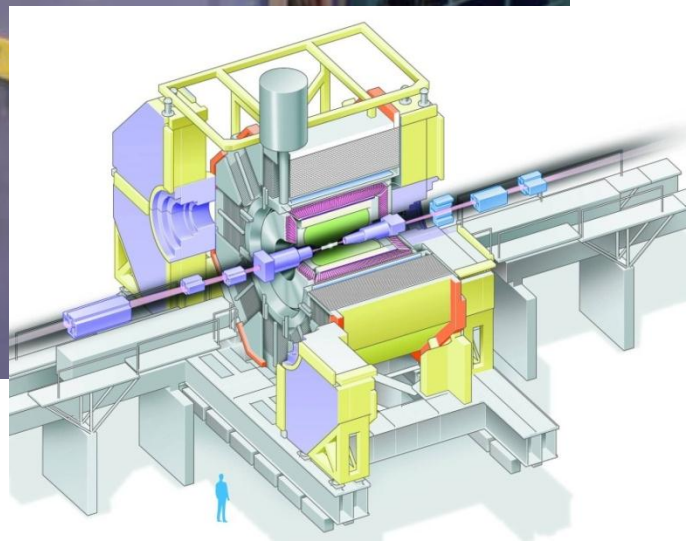


衝突点の測定器



衝突点の測定器



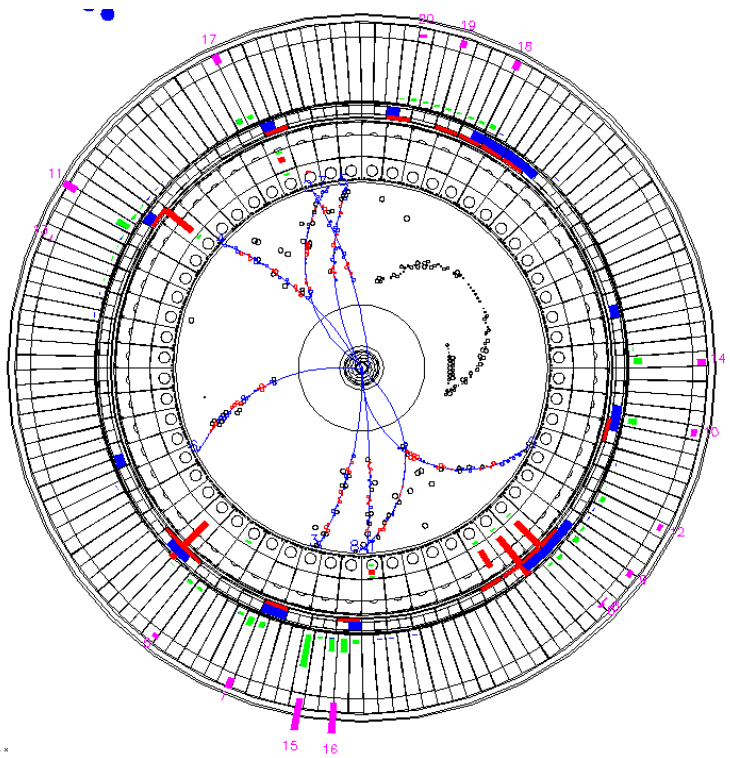


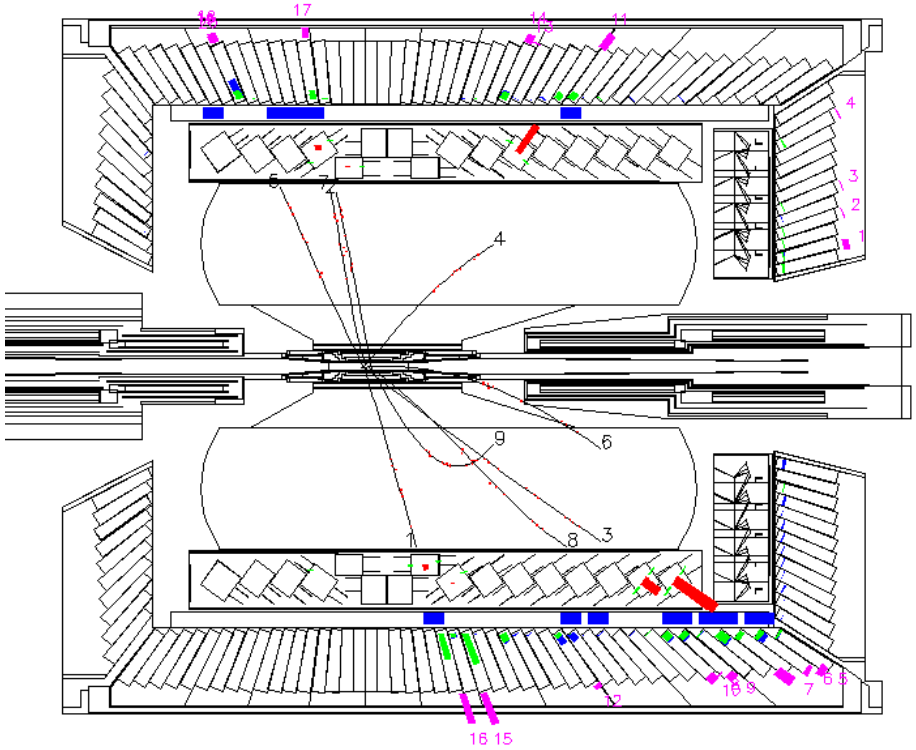
Belle 国際研究チーム

世界15カ国の60の
研究機関・大学から
約400名が参加

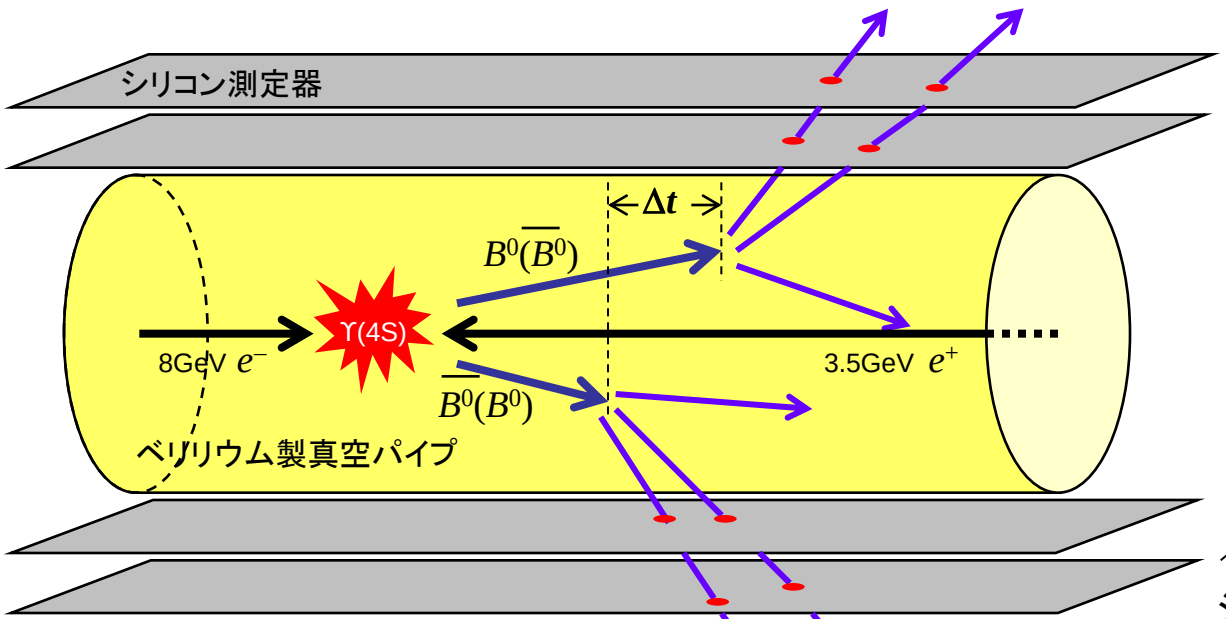
ブドカー研究所
チェンナイ数理科学研究所
千葉大学
チョンナム国立大学
シンシナチ大学
イーファ女子大学
ギーセン大学
ギョンサン国立大学
ハワイ大学
広島工業大学
北京・高能研
モスクワ·IHEP
モスクワ・ITEP
カールスルーエ大学
神奈川大学
KEK
コリア大学
クラコウ原子核研
京都大学
キュンポック国立大学
ローザンヌ大学
マックスプランク研究所
ヨセフステファン研究所
メルボルン大学
名古屋大学
奈良女子大学
国立中央大学
国立連合大学
国立台湾大学
日本歯科大学
新潟大学
ノバ·ゴリカ 科学技術学校
大阪大学
大阪市立大学
パンジャブ大学
ペキン大学
ピッツバーグ大学
プリンストン大学
理化学研究所
佐賀大学
中国科学技術大学
ソウル大学
信州大学
サンキュンカン大学
シドニー大学
タタ研究所
東邦大学
東北大学
東北学院大学
東京大学
東京工業大学
東京都立大学
東京農工大学
トリノ・INFN
富山商船高等専門学校
ウェイン州立大学
ウィーン高エネルギー研
バージニア工科大学
延世大学

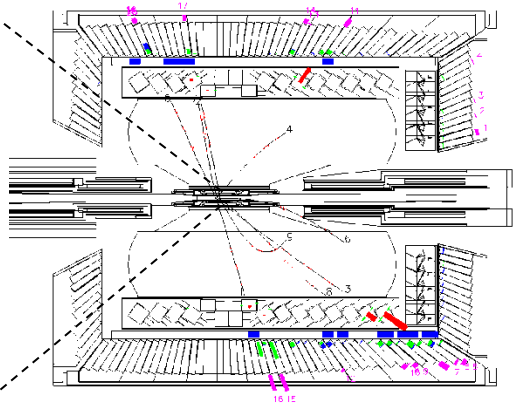
電子･陽電子衝突反応



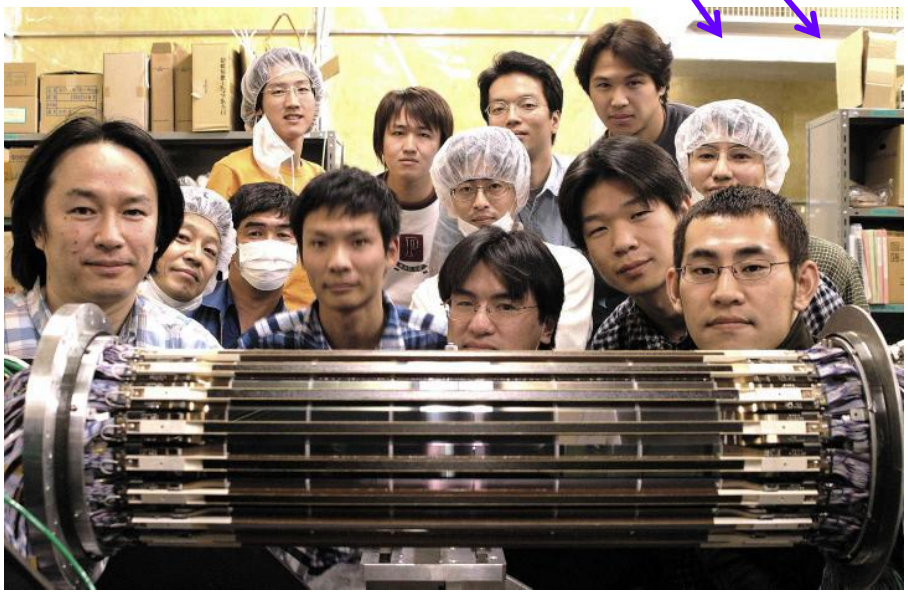


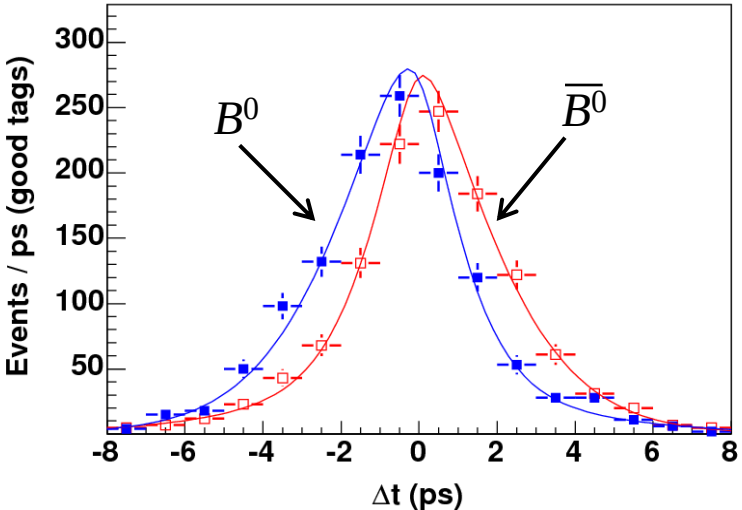
実際の測定





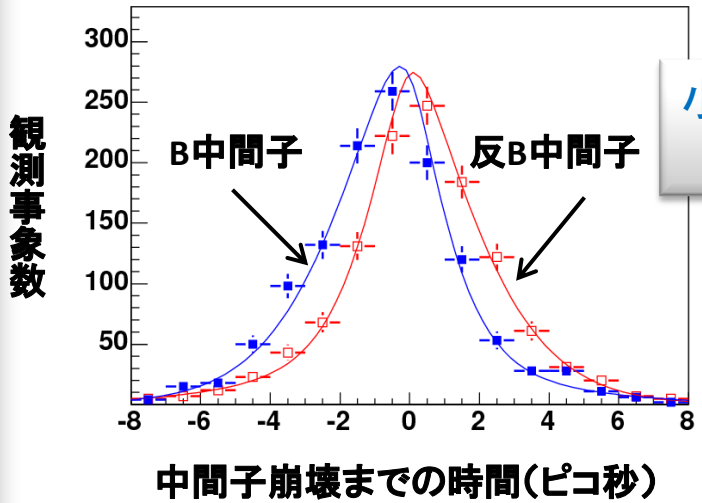
シリコン測定器上の粒子通過点
の測定によってBの崩壊点を測定、
Δtの分布をB^0、$\overline{B}^0$についてプロット





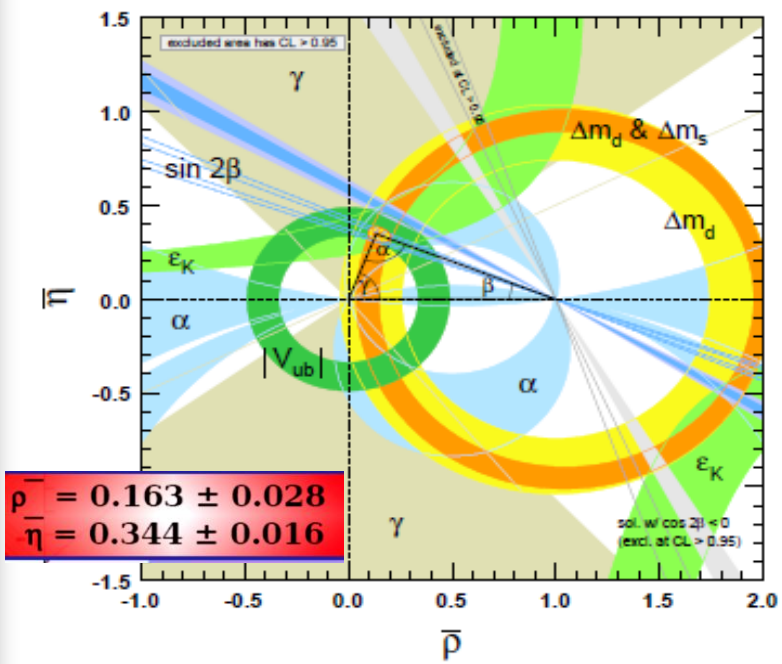
Bファクトリーの研究成果

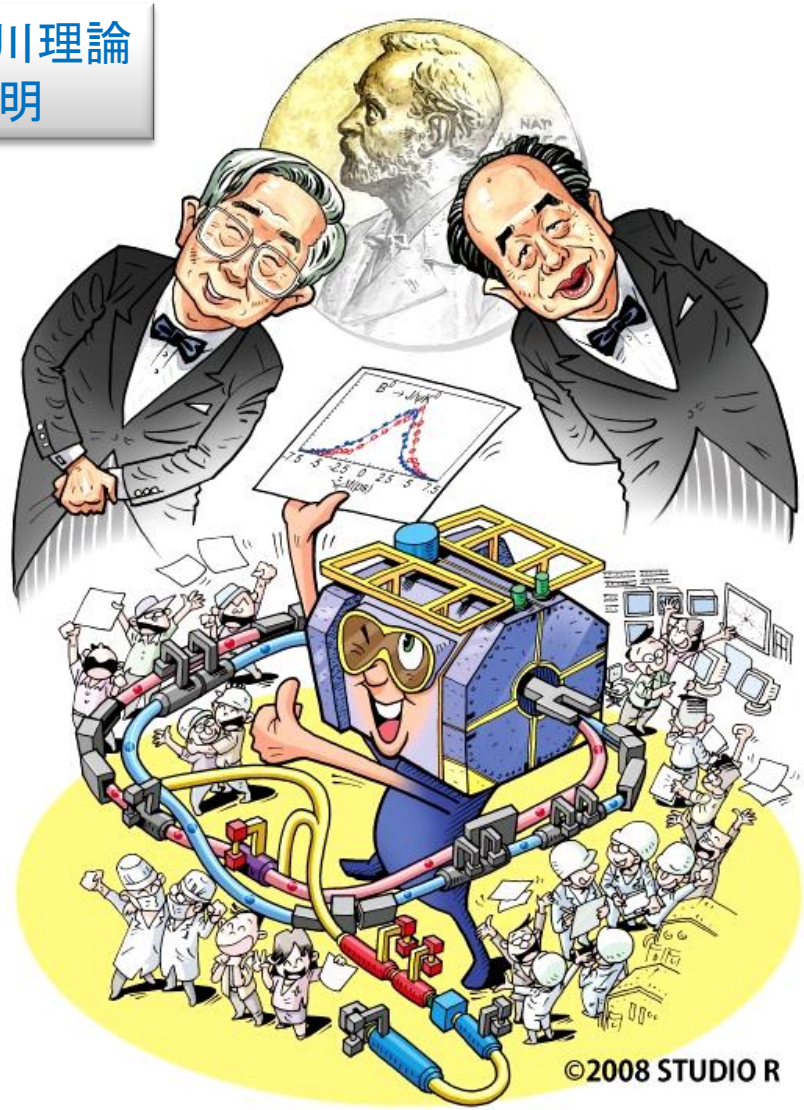
B中間子におけるCP非対称性の発見



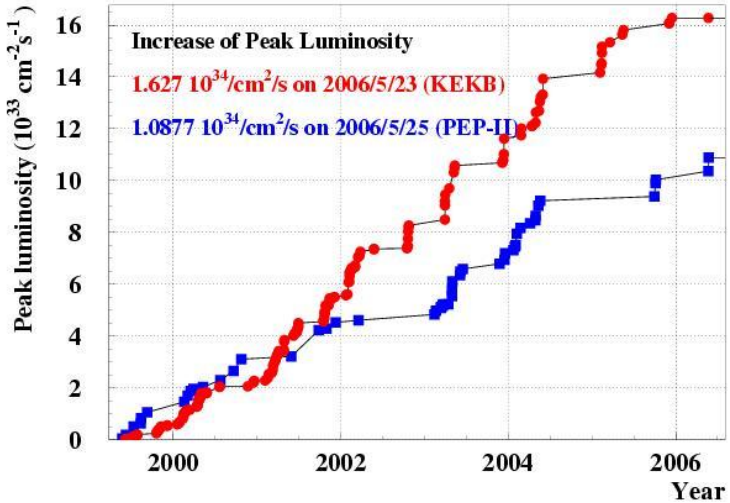
理論と実験の連携の成果

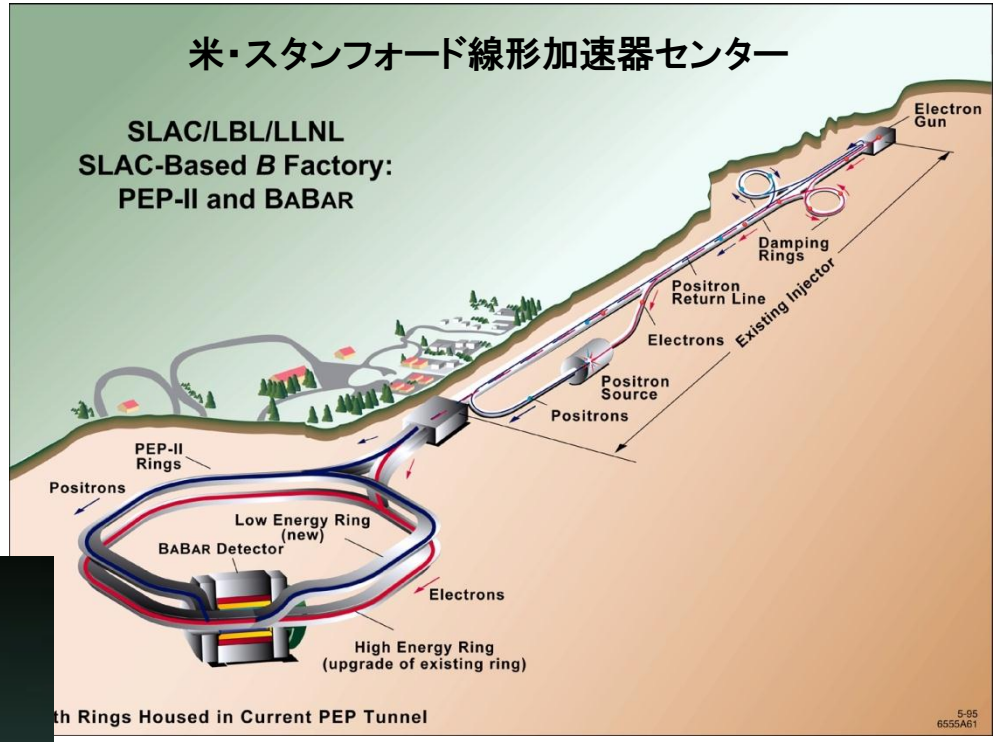
小林・益川理論を証明



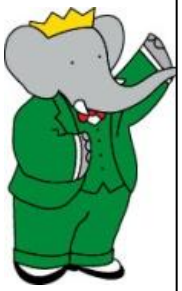


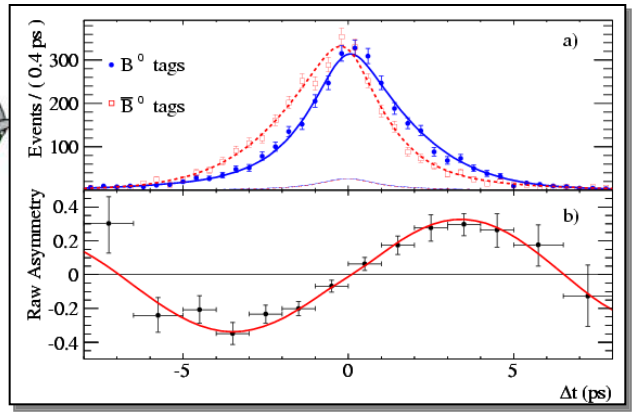
ライバルとの競争


Increase of Peak Luminosity
1.627 10^34/cm^2/s on 2006/5/23 (KEKB)
1.0877 10^34/cm^2/s on 2006/5/25 (PEP-II)
Peak luminosity (10^33 cm^-2s^-1)
Year
0
2
4
6
8
10
12
14
16
2000
2002
2004
2006

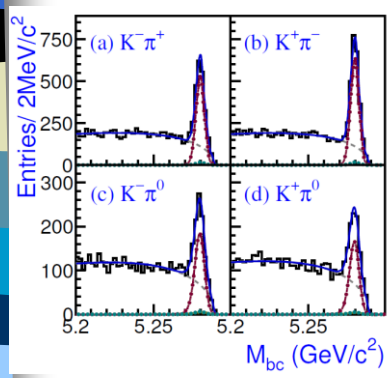

米・スタンフォード線形加速器センター
SLAC/LBL/LLNL
SLAC-Based B Factory:
PEP-II and BABAR
Electron Gun
Damping Rings
Positron Return Line
Existing Injector
Electrons
Positron Source
Positrons
PEP-II Rings
Positrons
Low Energy Ring (new)
BABAR Detector
Electrons
High Energy Ring (upgrade of existing ring)
th Rings Housed in Current PEP Tunnel
5-95
6555A61

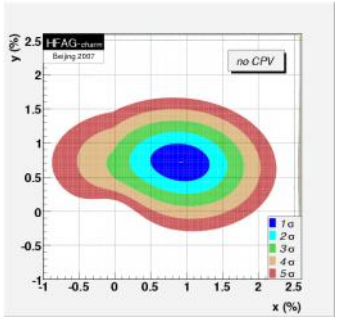
BABAR DETECTOR FOR THE PEP-II B FACTORY

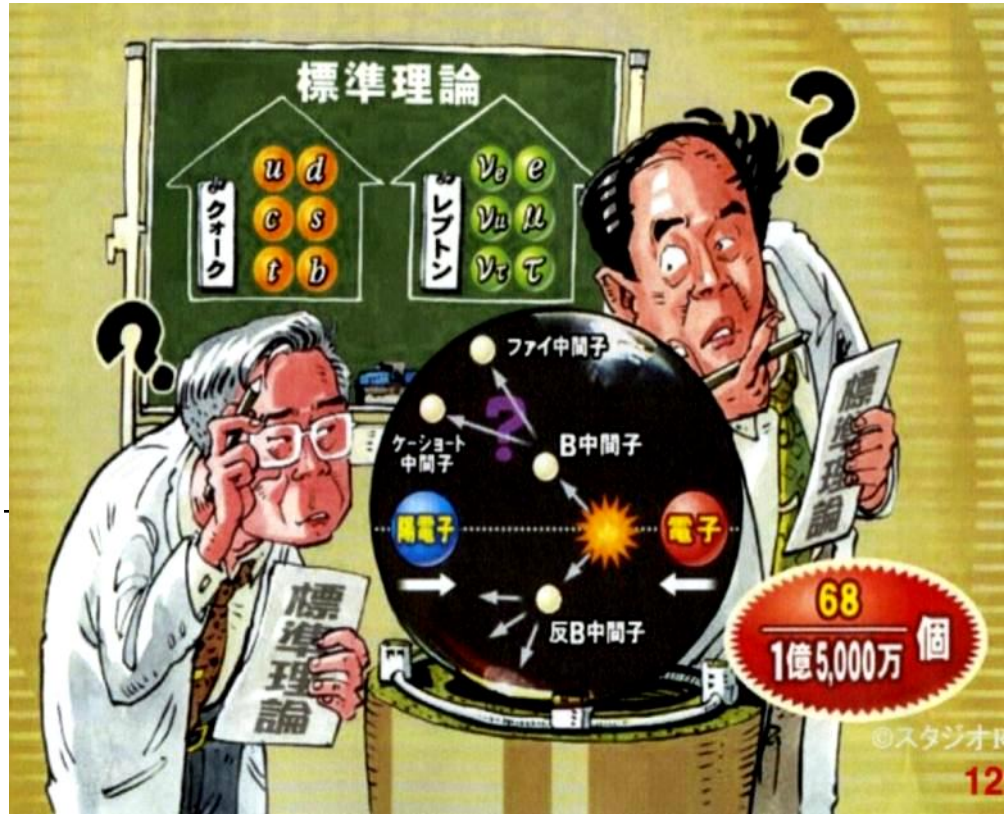


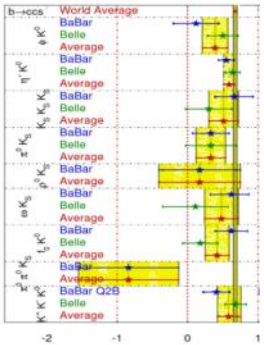

a)
Events / (0.4 ps)
B 0 tags
B̄ 0 tags
300
200
100
b)
Raw Asymmetry
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-5
0
5
Δt (ps)

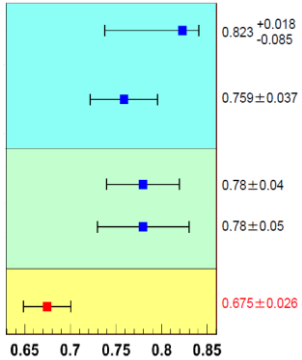
Bファクトリーの高度化









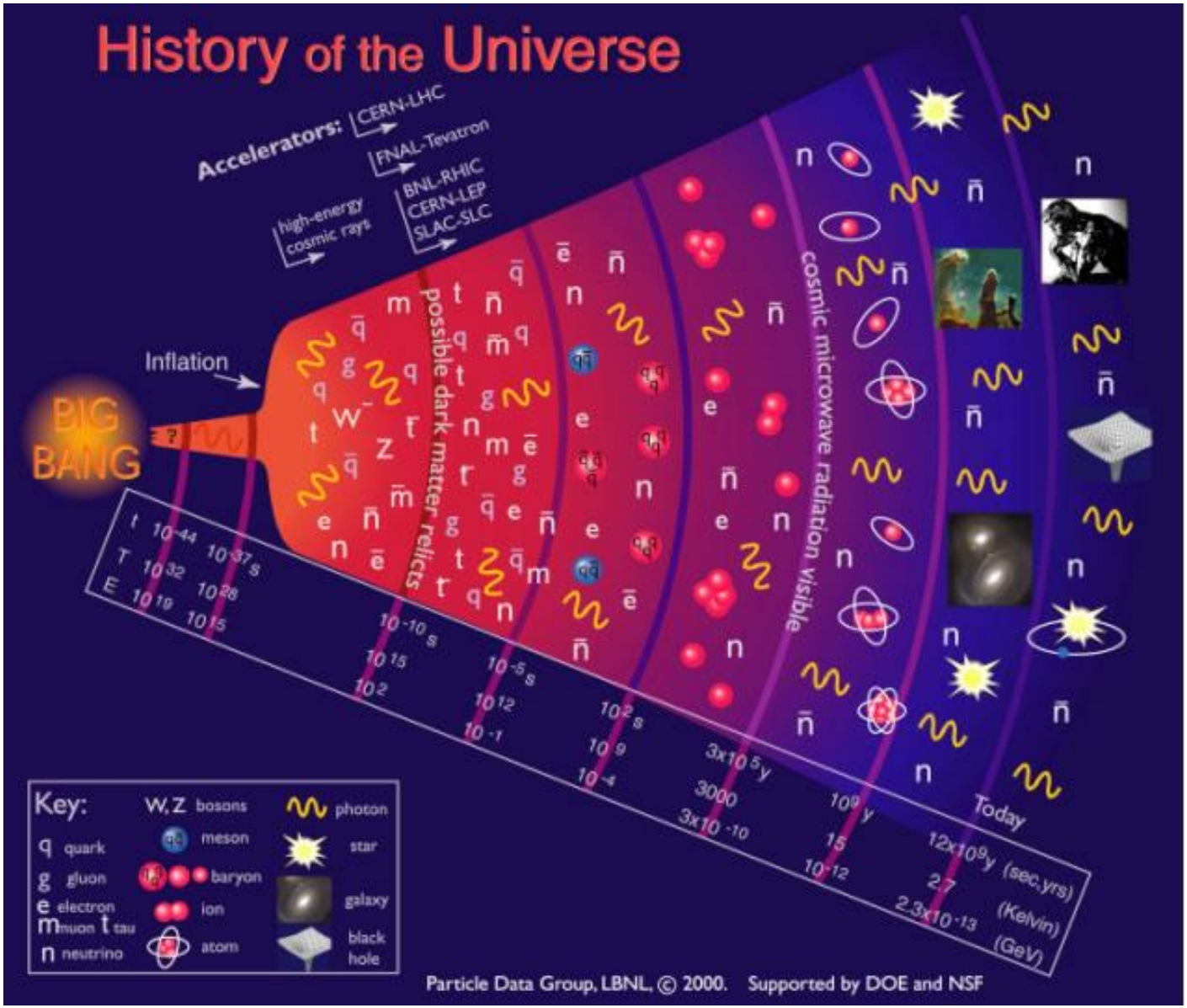


新しい物理学を示唆する実験データが蓄積

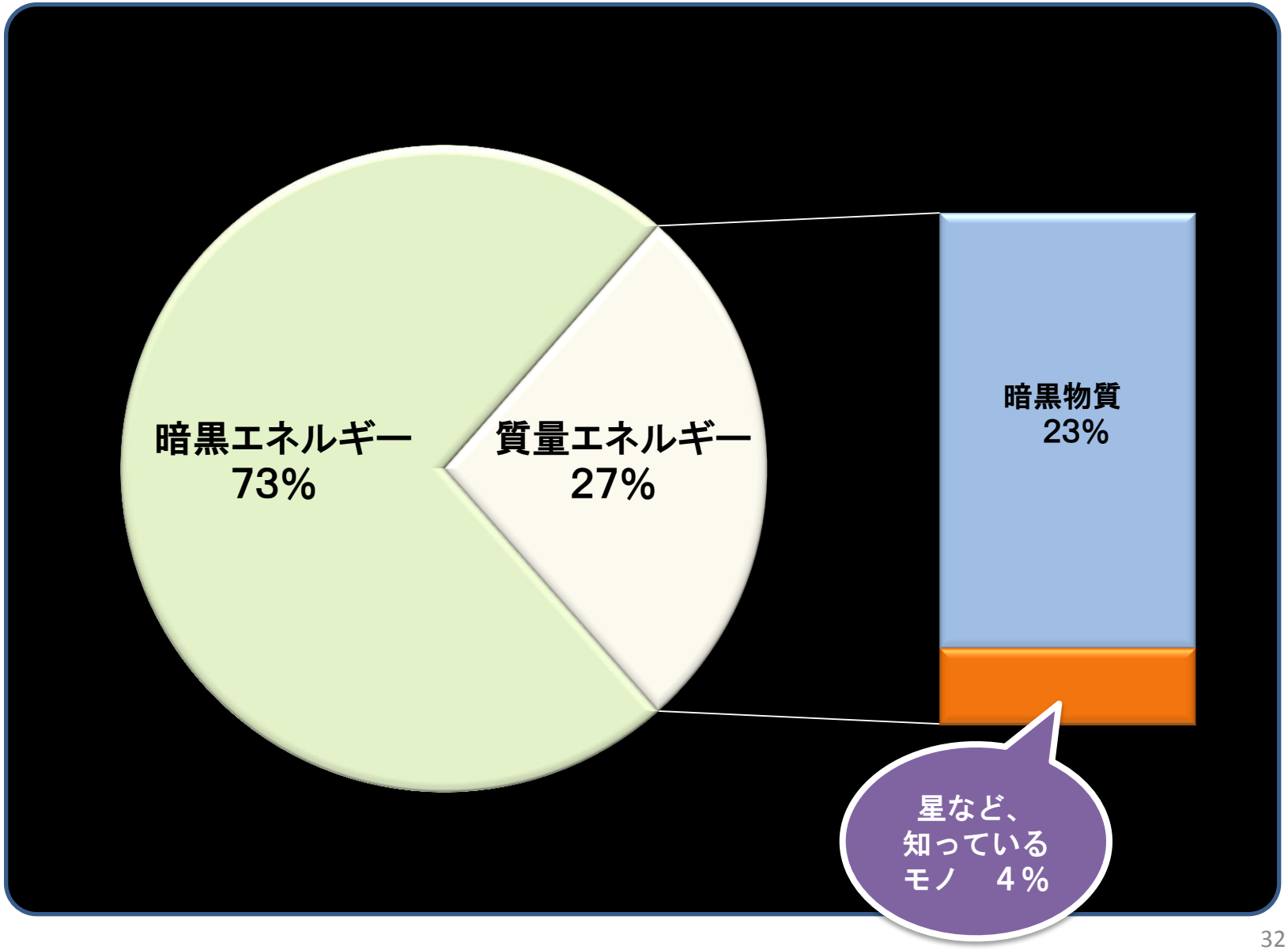
KEKBを50倍の
ビーム強度に増強して解明

謎4：加速する宇宙膨張

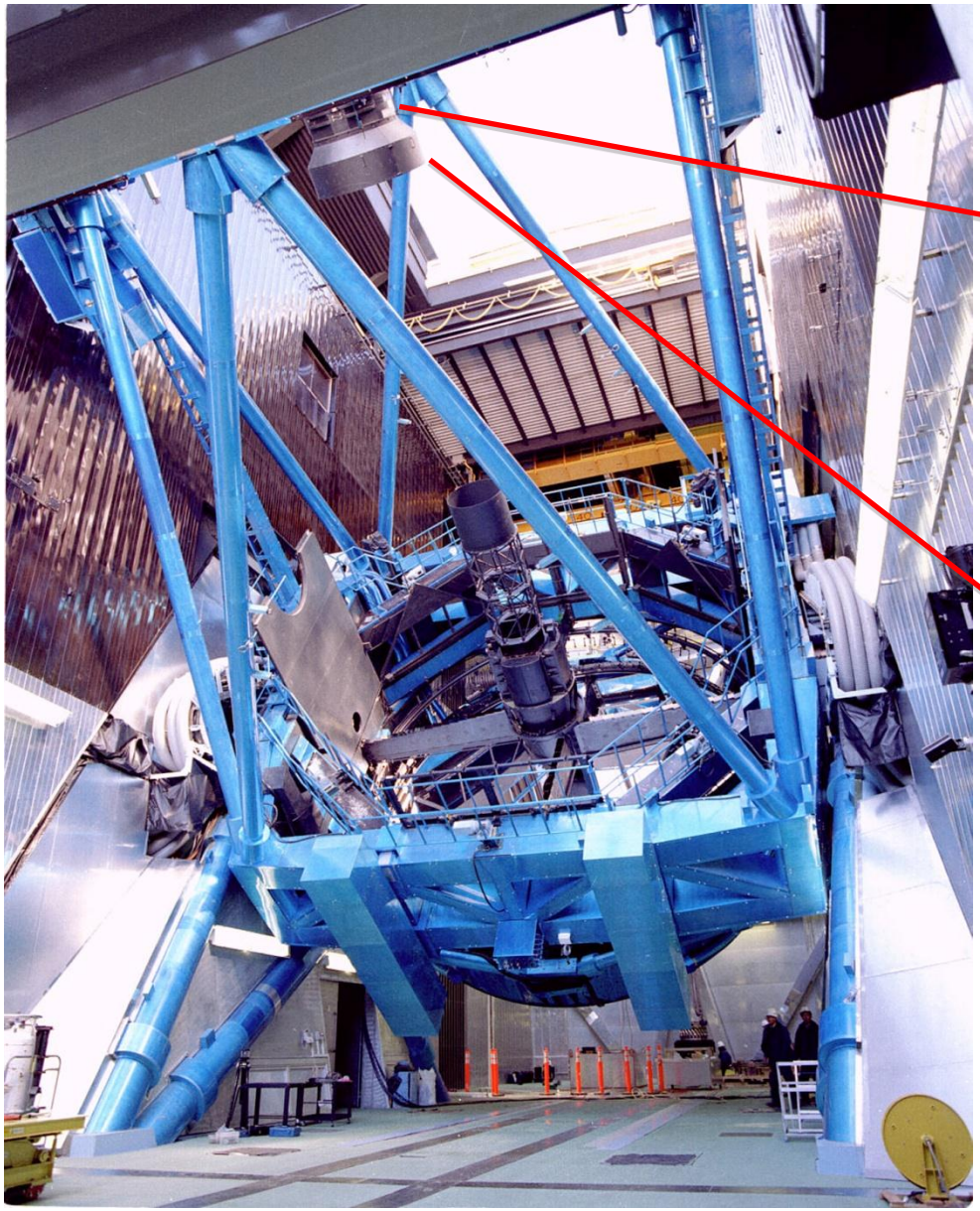
Particle Adventure より “Unsolved Mysteries”

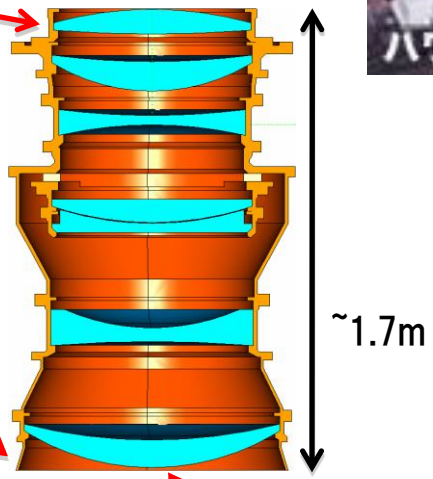

History of the Universe
Accelerators:
CERN-LHC
FNAL-Tevatron
BNL-RHIC
CERN-LEP
SLAC-SLC
high-energy cosmic rays
Inflation
BIG BANG
possible dark matter relicts
cosmic microwave radiation visible
Today
Key:
q quark
g gluon
e electron
m muon t tau
n neutrino
W, Z bosons
meson
baryon
ion
atom
photon
star
galaxy
black hole
Particle Data Group, LBNL, © 2000. Supported by DOE and NSF

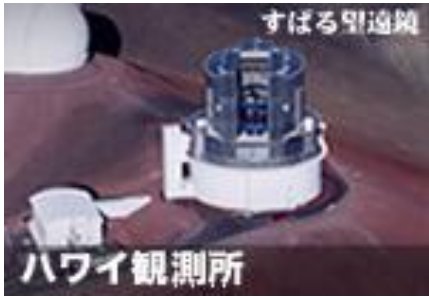
宇宙の組成

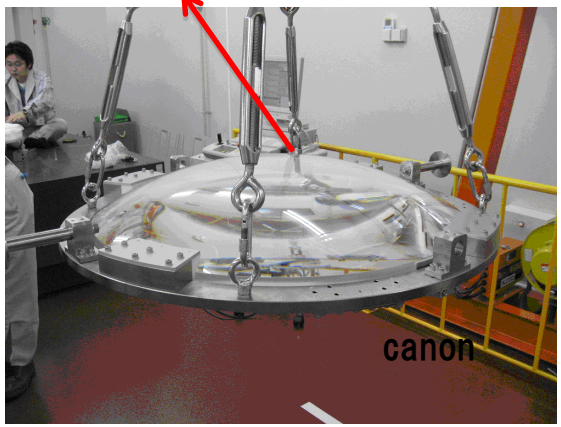


ハイパー・スープリーム・カメラ(HSC)プロジェクト
(東大、国立天文台、KEK、プリンストン大などの共同計画)



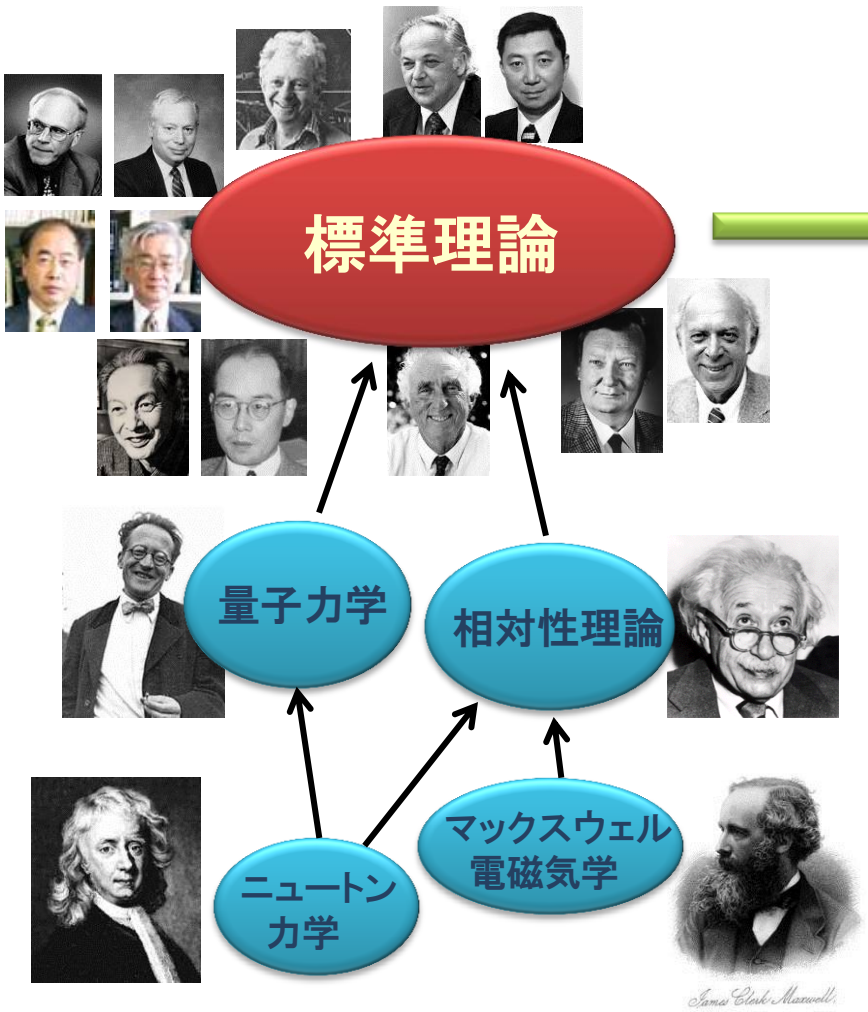


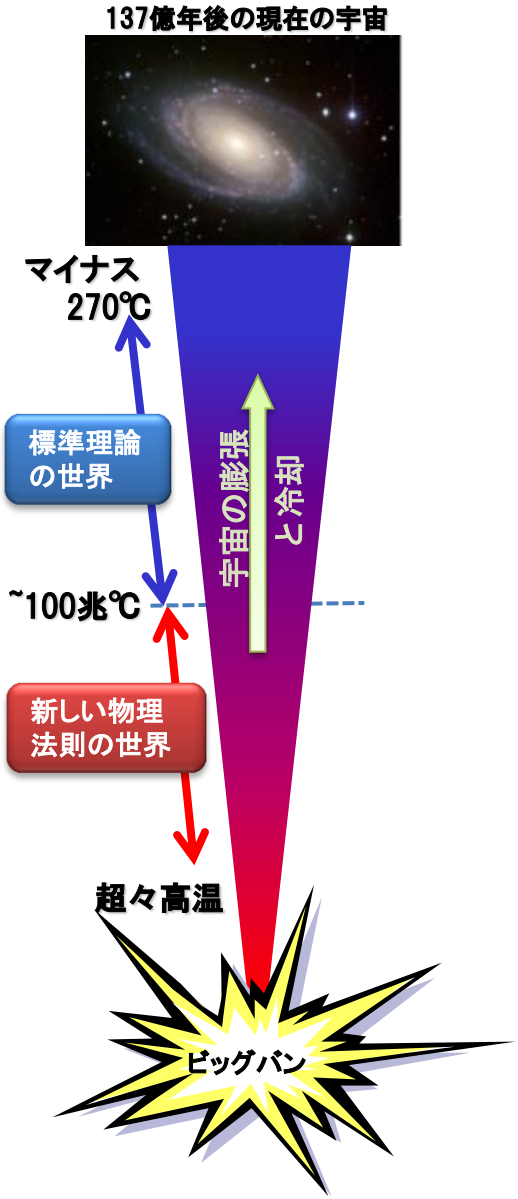




素粒子物理の挑戦

新しい物理法則を求めて

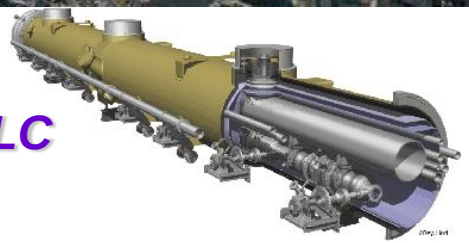


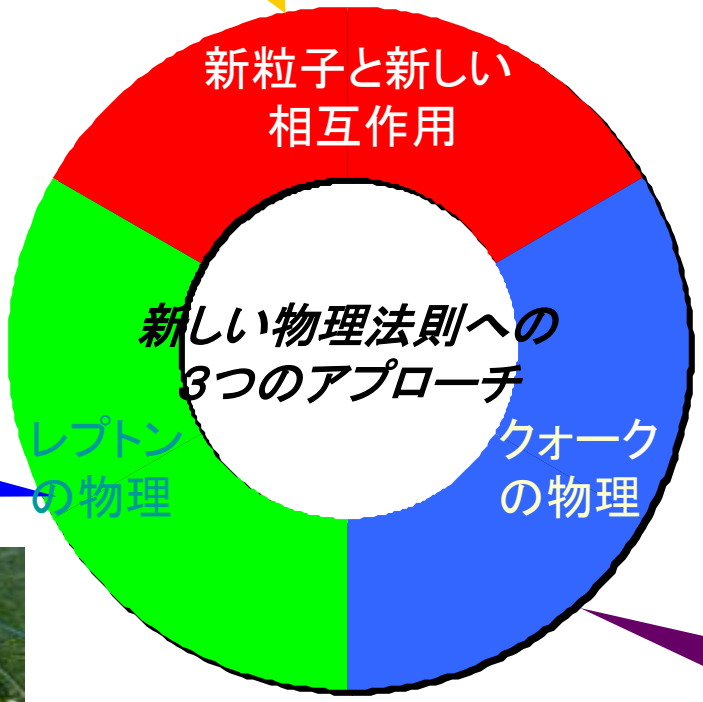


素粒子物理学 - 次の10年間の展望

エネルギーフロンティア実験
LHC, ILC, …

ヒッグス粒子, 超対称性, ダークマター,
時空の新しい理解…





長基線ν 実験, LFV,
g_μ-2, 0νββ …

B ファクトリー, LHCb,
K 崩壊実験, . . .

ニュートリノの質量と混合,
レプトン数の非保存…

CP対称性の破れ, 物質優位性の
理解,左右の対称性の回復, 新しい
クォーク混合の起源…