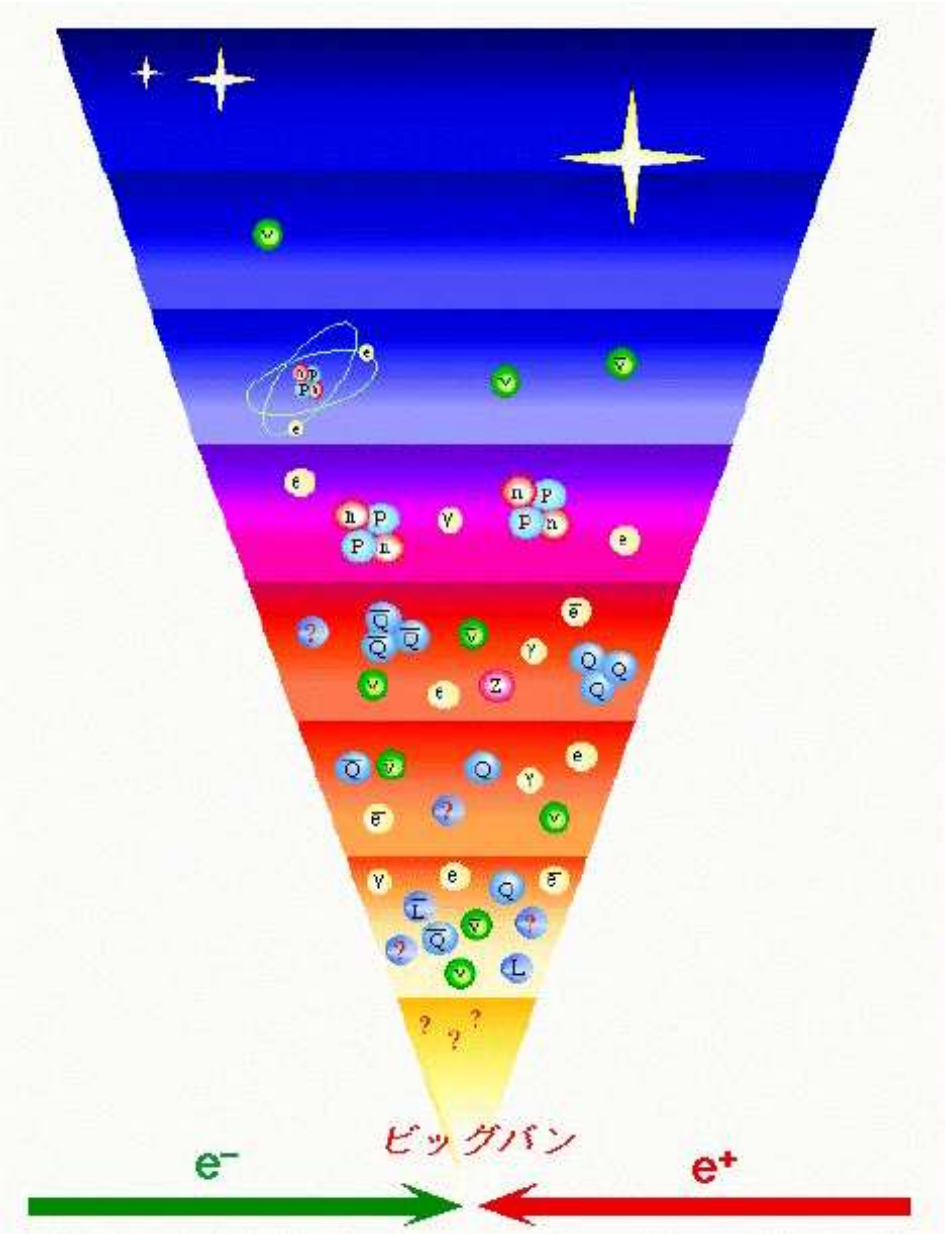
JLC での物理

神前 純一

May 18, 1999

総研大・夏期実習

KEK

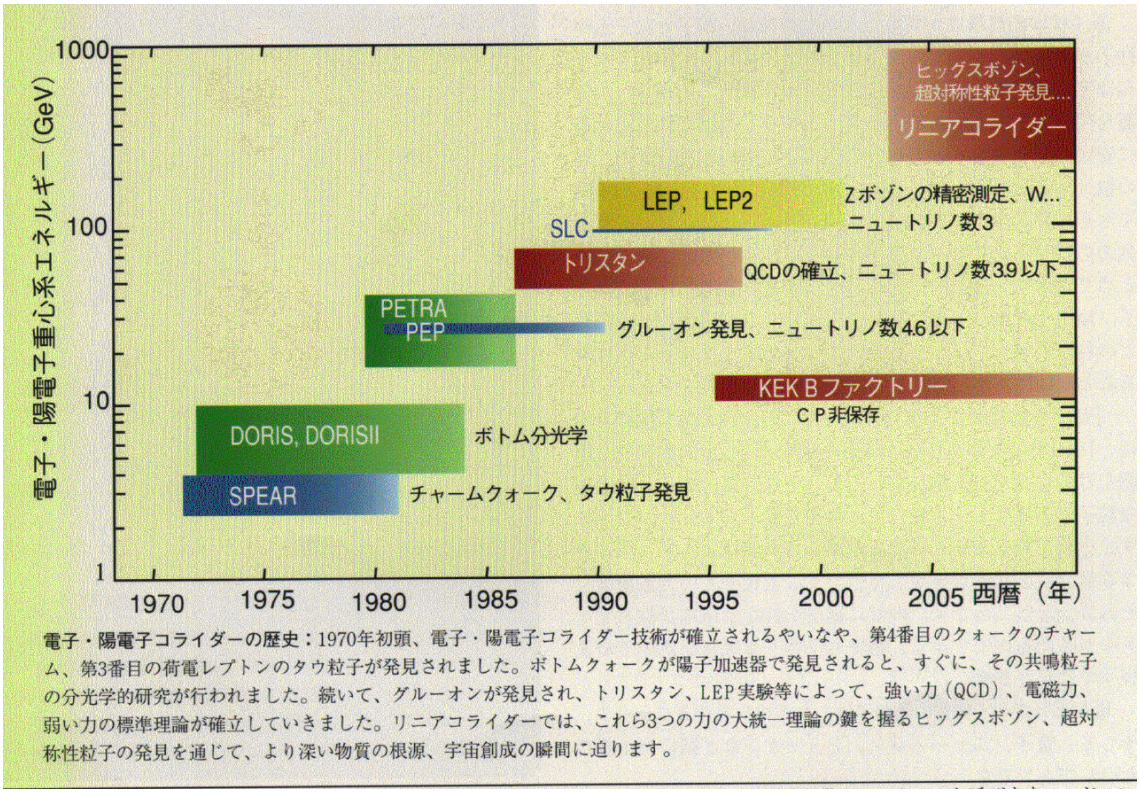


宇宙創成の謎に挑む高エネルギー物理学

http://www-jlc.kek.jp/index-j.html

KEK

加速器物理の流れ



電子・陽電子コライダーの歴史：1970年初頭、電子・陽電子コライダー技術が確立されるやいなや、第4番目のクォークのチャーム、第3番目の荷電レプトンのタウ粒子が発見されました。ボトムクォークが陽子加速器で発見されると、すぐに、その共鳴粒子の分光学的研究が行われました。続いて、グルーオンが発見され、トリスタン、LEP実験等によって、強い力（QCD）、電磁力、弱い力の標準理論が確立していきました。リニアコライダーでは、これら3つの力の大統一理論の鍵を握るヒッグスボゾン、超対称性粒子の発見を通じて、より深い物質の根源、宇宙創成の瞬間に迫ります。

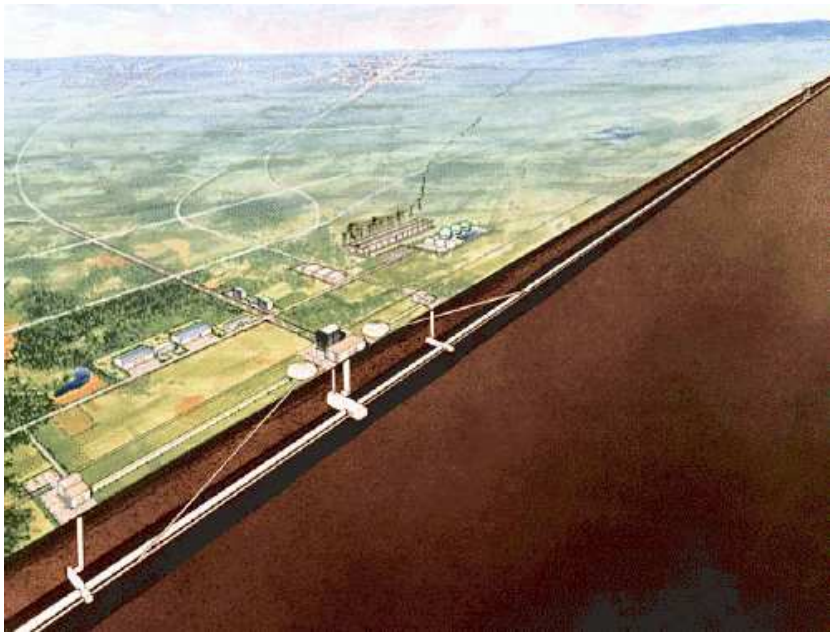
- レプトン・コライダー

  電子-陽電子衝突型、ミュー粒子コライダー
- ハドロン・コライダー

  陽子-陽子衝突型、陽子-反陽子、電子-陽子

KEK

JLC とはどんな加速器か



- 電子、陽電子を非常に高いエネルギーまで加速できる

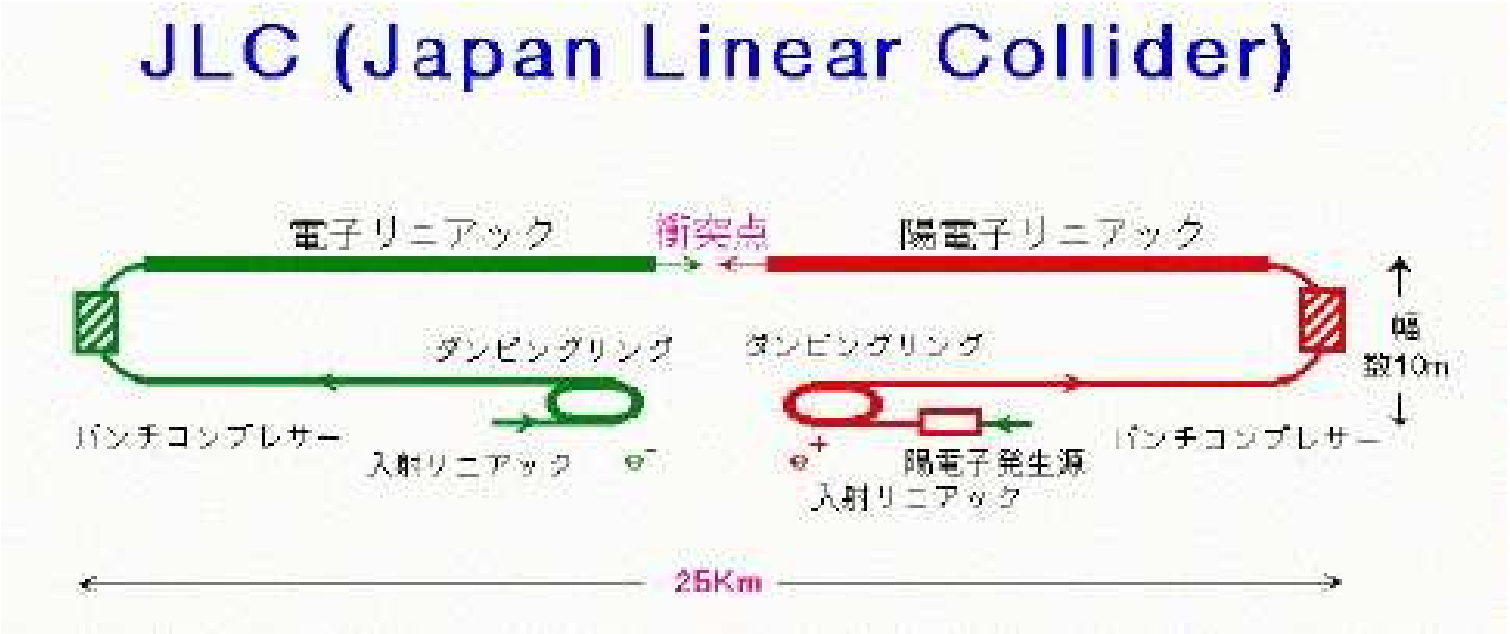
$$\leq 750 \text{ GeV/ beam}$$

- ビームを非常に細くできる

$$300 \times 3 \text{ nm}^2 \rightarrow \text{ high luminosity}$$

KEK

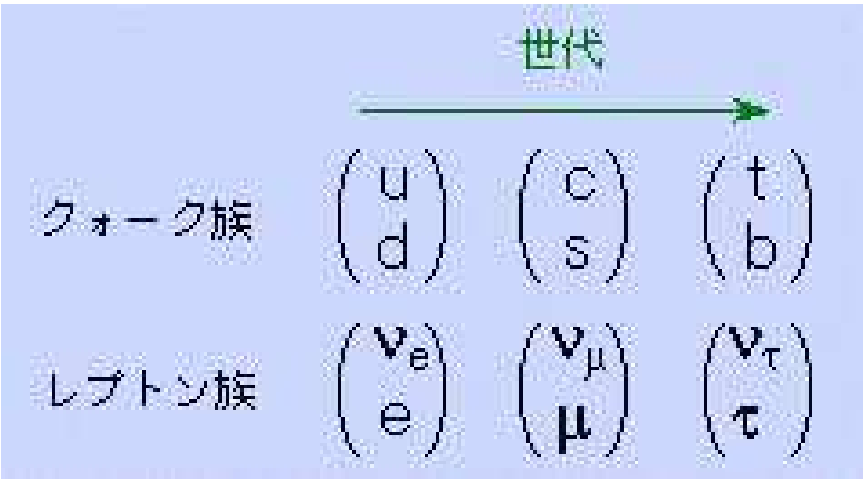
JLC (Japan Linear Collider)



KEK

標準理論の世界

- 物質



- 4 つの力 (相互作用)

重力、電磁気力
弱い相互作用、強い相互作用

電磁気力と弱い相互作用の統一
$\rightarrow$ 電磁弱相互作用
$\rightarrow$ 標準理論

非常に良く実験結果と合っている (表参照)

KEK

Quantity	Value	Standard Model
m_t [GeV]	175 ± 5	173 ± 4 $(+5)$
M_W [GeV]	80.405 ± 0.089	80.377 ± 0.023 (-0.036)
	80.427 ± 0.075	
M_Z [GeV]	91.1867 ± 0.0020	91.1867 ± 0.0020 $(+0.0001)$
Γ_Z [GeV]	2.4948 ± 0.0025	2.4968 ± 0.0017 (-0.0007)
Γ(had) [GeV]	1.7432 ± 0.0023	1.7433 ± 0.0016 (-0.0005)
Γ(inv) [MeV]	500.1 ± 1.8	501.7 ± 0.2 (-0.1)
$\Gamma(\ell^+\ell^-)$ [MeV]	83.91 ± 0.10	84.00 ± 0.03 (-0.04)
$\sigma_{\rm had}$ [nb]	41.486 ± 0.053	41.469 ± 0.016 (-0.005)
R_ℓ	20.775 ± 0.027	20.754 ± 0.020 $(+0.003)$
R_b	0.2170 ± 0.0009	0.2158 ± 0.0001 (-0.0002)
R_c	0.1734 ± 0.0048	0.1723 ± 0.0001 $(+0.0001)$
$A_{FB}^{(0,\ell)}$	0.0171 ± 0.0010	0.0162 ± 0.0003 (-0.0004)
$A_{FB}^{(0,b)}$	0.0984 ± 0.0024	0.1030 ± 0.0009 (-0.0013)
$A_{FB}^{(0,c)}$	0.0741 ± 0.0048	0.0736 ± 0.0007 (-0.0010)
$A_{FB}^{(0,s)}$	0.118 ± 0.018	0.1031 ± 0.0009 (-0.0013)
$\bar{s}_\ell^2(A_{FB}^{(0,q)})$	0.2322 ± 0.0010	0.2315 ± 0.0002 $(+0.0002)$
A_ℓ	0.1550 ± 0.0034	0.1469 ± 0.0013 (-0.0018)
	0.1547 ± 0.0032	
	0.1411 ± 0.0064	
	0.1399 ± 0.0073	
A_b	0.900 ± 0.050	0.9347 ± 0.0001 (-0.0002)
A_c	0.650 ± 0.058	0.6678 ± 0.0006 (-0.0008)
$s_W^2(\nu{\rm N})$	0.2236 ± 0.0041	0.2230 ± 0.0004 $(+0.0007)$
	0.2260 ± 0.0039	
$g_V^{\nu e}$	-0.035 ± 0.017	-0.0395 ± 0.0005 $(+0.0002)$
	-0.041 ± 0.015	
$g_A^{\nu e}$	-0.503 ± 0.017	-0.5064 ± 0.0002 $(+0.0002)$
	-0.507 ± 0.014	
Q_W(Cs)	$-72.41 \pm 0.25 \pm 0.80$	-73.12 ± 0.06 $(+0.01)$
Q_W(Tl)	$-114.8 \pm 1.2 \pm 3.4$	-116.7 ± 0.1

http://ccwww.kek.jp/pdg/

KEK

標準理論で充分か?

現在のところ大きく予想から外れた実験結果はないが、

- まだ完結していない

  Higgs 粒子

  $\rightarrow$ 対称性を破り、粒子に質量を与える

- 理論自身からは説明できないパラメターがある

  質量の値、世代の数、Weinberg 角の値

  電荷の量子化

- 理論自身不安定な理論である
- 標準理論を越えた枠組み

  3 つの力の統一

KEK

我々が JLC で目指すもの

- 標準理論の更なる検証

  特に最も重い top quark の性質を詳しく調べる

- 標準理論の最後の、しかし最も重要なメンバーを見つける

  Higgs 粒子が見つかるのか、見つからないのか

- 標準理論を越える枠組みの形跡を見つける

KEK

Top quark と Higgs 粒子

- Top quark
  - TEVATRON (ハドロン・コライダー) で発見された
  - $m_{\mathrm{t}} = 173.8 \pm 5.2\ \mathrm{GeV}/c^2$
    TEVATRON での実験による直接測定
  - $2 \times m_{\mathrm{t}} \approx 350\ \mathrm{GeV}/c^2$
    JLC に最適！

  何を調べるか、、
  - 強い相互作用の精密な研究
  - Higgs 粒子との相互作用
    すでに見つかっていても、あるいは見つかっていなくても重要
- Higgs 粒子
  - $m_{\mathrm{H}} > 77.5\ \mathrm{GeV}/c^2 (95\%\mathrm{C.L.})$
  - 質量は？
    超対称性の理論では軽い Higgs 粒子が予想される

KEK

標準模型を越えて

現在、考えられている二つの可能性

- テクニカラーのシナリオ

  Higgs 粒子を素粒子ではなく複合粒子と考えることにより標準模型の困難さを避ける

  → 物質粒子へ質量を与えることが難しい (特に top quark)

  → JLC で発見可能な粒子が予想される

  → ゲージ粒子の自己相互作用の精密測定

- 超対称性のシナリオ

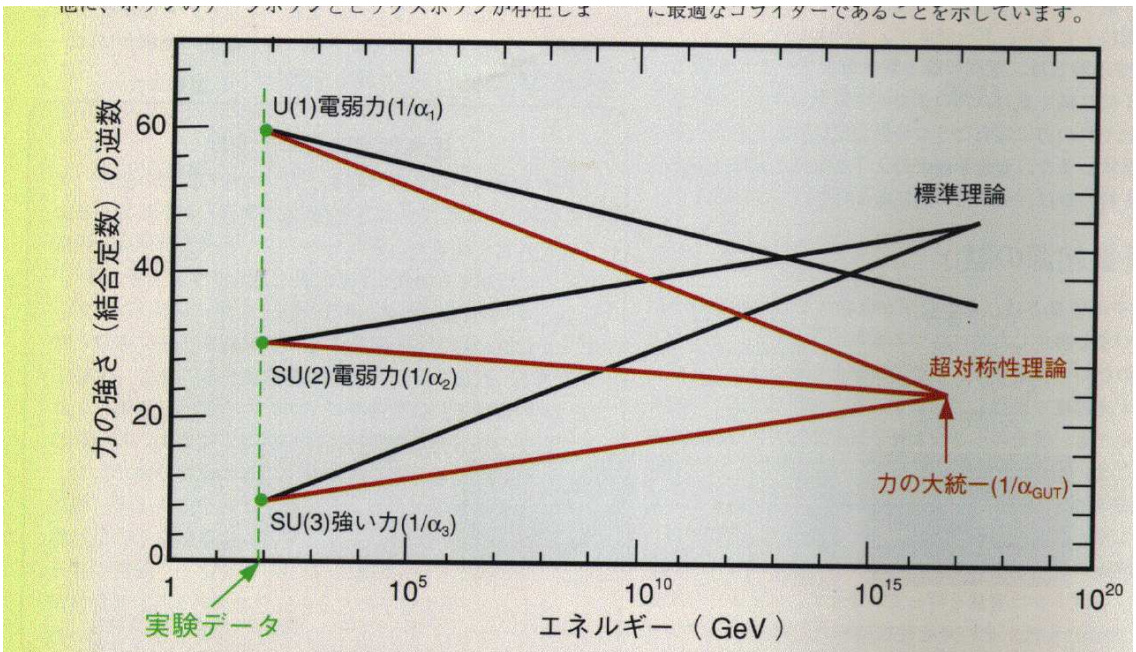
  物質粒子と力の粒子の間の対称性

  → 力が統一される超高エネルギーの物理により我々の世界のパラメターが決定される

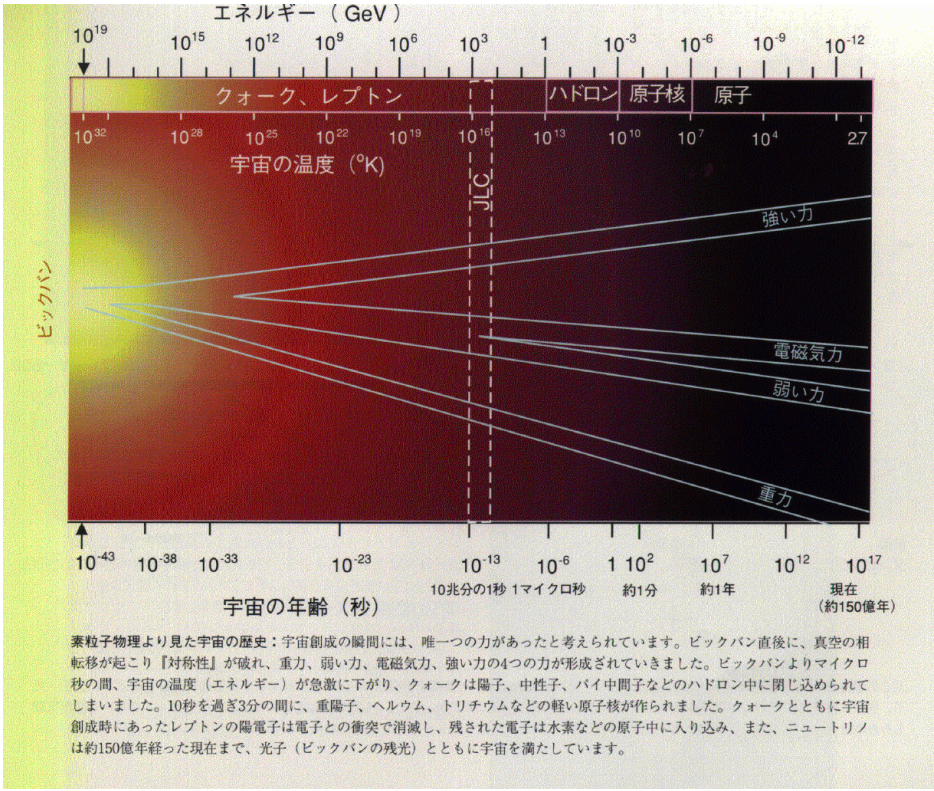
  → 3 つの力の大統一 + 超対称性

  → 軽い (< 150 GeV) Higgs 粒子の存在

KEK



3つの力のエネルギー依存性：縦軸が力の強さ（結合定数）の逆数、すなわち、力が弱いほど大きな値を取ることに注意。最新の実験データに基づいて計算すると、標準理論ではいくら高エネルギーになっても3つの力が等しくならないことが判明しました。W,Zボゾン程度の軽い超対称性粒子を予言する超対称性理論では3つの力が等しくなり、力の大統一が期待されます。



素粒子物理より見た宇宙の歴史：宇宙創成の瞬間には、唯一つの力があったと考えられています。ビックバン直後に、真空の相転移が起こり『対称性』が破れ、重力、弱い力、電磁気力、強い力の4つの力が形成されていきました。ビックバンよりマイクロ秒の間、宇宙の温度（エネルギー）が急激に下がり、クォークは陽子、中性子、パイ中間子などのハドロン中に閉じ込められてしまいました。10秒を過ぎ3分の間に、重陽子、ヘルウム、トリチウムなどの軽い原子核が作られました。クォークとともに宇宙創成時にあったレプトンの陽電子は電子との衝突で消滅し、残された電子は水素などの原子中に入り込み、また、ニュートリノは約150億年経った現在まで、光子（ビックバンの残光）とともに宇宙を満たしています。

KEK

最後に

JLC により

- これまでの加速器物理で残された課題である電磁弱相互作用の対称性の破れの謎を解く物理を探求することができる。
  - Top quark の精密な研究
  - Higgs 粒子の探索
- 標準模型を越える物理の枠組みについての手がかりを得ることができる。
- さらには我々の世界が超高エネルギーの世界に通じているのかどうか知ることができる。

KEK