

1 素粒子の歴史

2015年4月7日

S35 物理

一戸 英輔

2 素粒子物理学のできるまで

1687 ニュートン力学

1861 マクスウェルの(電磁)方程式

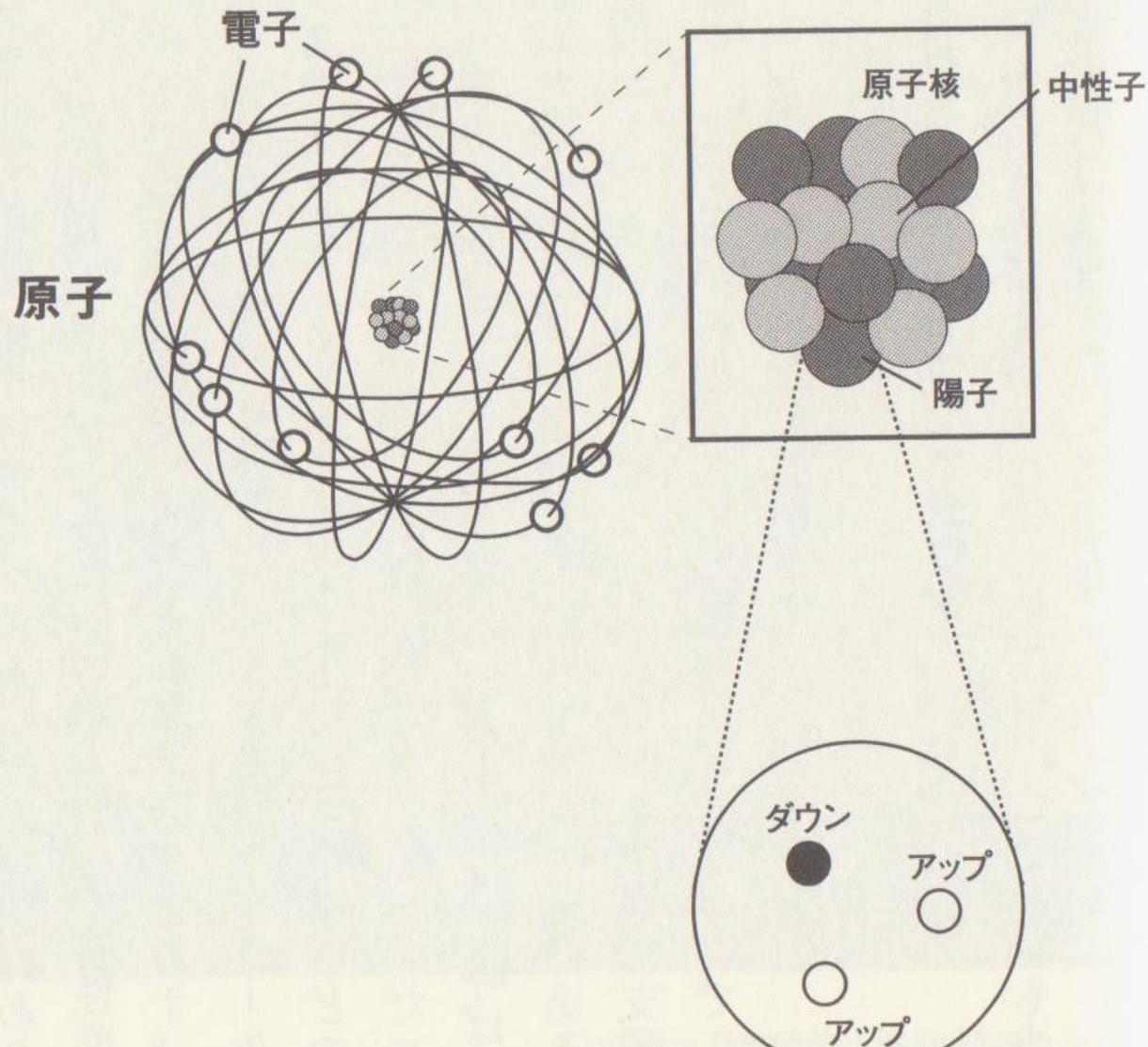
1905 相対性理論 アインシュタイン

～1925 量子力学 ハイゼンベルク(1932)、
シュレーディンガー(1933)、ディラック(1933)

1927 量子電磁力学 ディラック

正と負の電子の解が得られる

3 原子の構造



4 素粒子とは

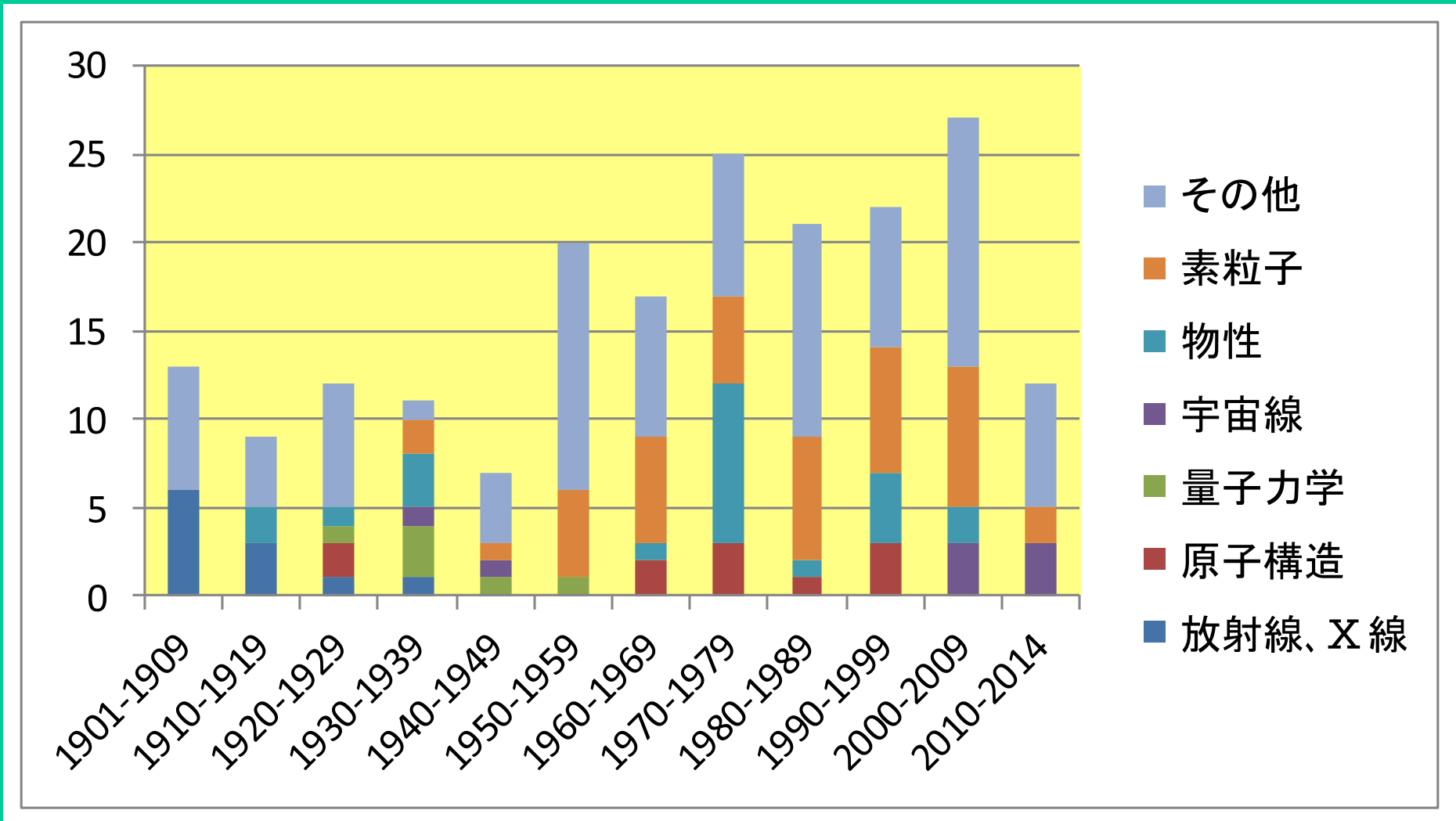
物質の「素」になる粒子

物質を構成する最小の単位

これより小さいものはない

内部構造を持たない

5 ノーベル物理学賞の受賞者



受賞者数:196名

6 素粒子の歴史(1)

ノーベル賞

1897	電子の発見(陰極線) トムソン	1906
1900	光の最小単位である光子を提唱 プランク	1918
1905	光子による光電効果を説明 アインシュタイン	1921
1909	原子核を発見 ラザフォードら	1908化
1924	電子の排他原理を提唱 パウリ	1945
1928	陽電子を予言 デイラック	1933
1930	サイクロトロンの発明 ローレンス	1939
1930	ニュートリノの予言 パウリ	
1932	中性子の発見 チャドウィック	1935
1932	陽電子の発見 アンダーソン	1936

7 ニュウトリノの予言

1930 パウリが提案

ベータ崩壊

(中性子→陽子に変化するとき)ベータ線
(電子)を放 出する

この時エネルギーが保存されない

→電氣的に中性のフェルミオンの存在を予言

中性子→陽子+電子+反ニュウトリノ

8 素粒子の歴史(2)

ノーベル賞

1935	中間子の存在の予想	湯川	1949
1937	ミューオンの発見	アンダーソン、ネダーマイヤー	
1946	繰り込み理論	朝永、シュウィンガー、ファインマン	1965
1947	パイ中間子の発見	パウエル	1950
1955	反陽子を発見(ベバトロン)	セグレ、チェンバレン	1959
1956	弱い力によるパリティの破れを预言	リー、ヤン	1957
1956	ニュートリノの検出	ライネス、カワン	1995
1960	自発的対称性の破れ	南部	2008
1961	弱い相互作用の理論	グラシヨウ	1979
1962	ミューニュートリノの発見	レーダーマン、シュワーツ、 シュタインバーガー	1988
1964	クォーク模型の提案	ゲルマン、ツワイク	1969

9 ミューオン (ミュー粒子)

1937 アンダーソンとネダーマイヤー

宇宙線の中から発見

電子の質量の200倍

電子の性質にそっくり

パイ中間子が崩壊→ミューオン

10 対称性の自発的破れ

1960 南部

強い相互作用をする素粒子: ハドロン

対称性の自発的破れ → 「南部-ゴールドストーン・ボゾン」

真空が対称性を自発的に破る

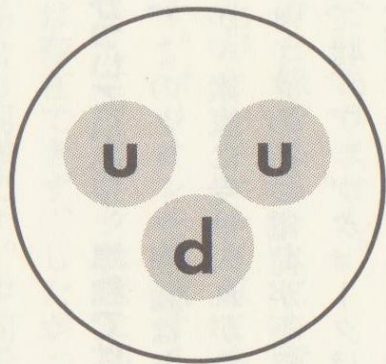
→ 光子、フェルミオンが質量をもつ

11 素粒子の分類(1) ~1962~

				バリオン(重粒子)
		ハドロン	{	
				メソン(中間子)
素粒子	{			1963:26種
		レプトン		
				電子、ミューオンなど

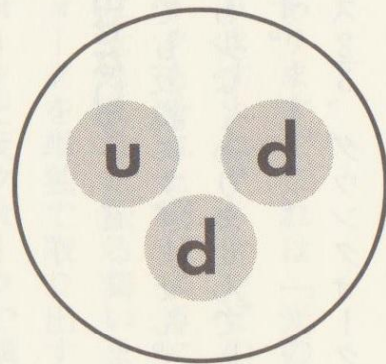
12 ゲルマンのクォーク理論

陽子



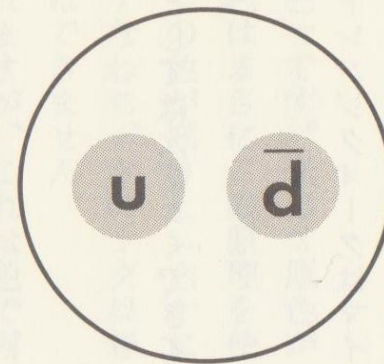
$$\begin{array}{l} u \left(+\frac{2}{3} \right) \\ u \left(+\frac{2}{3} \right) \\ d \left(-\frac{1}{3} \right) \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} u \\ u \\ d \end{array}} \right\} \rightarrow +1$$

中性子



$$\begin{array}{l} u \left(+\frac{2}{3} \right) \\ d \left(-\frac{1}{3} \right) \\ d \left(-\frac{1}{3} \right) \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} u \\ d \\ d \end{array}} \right\} \rightarrow 0$$

パイ中間子



$$\begin{array}{l} u \left(+\frac{2}{3} \right) \\ \bar{d} \left(+\frac{1}{3} \right) \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} u \\ \bar{d} \end{array}} \right\} \rightarrow +1$$

13 素粒子の歴史 (3)

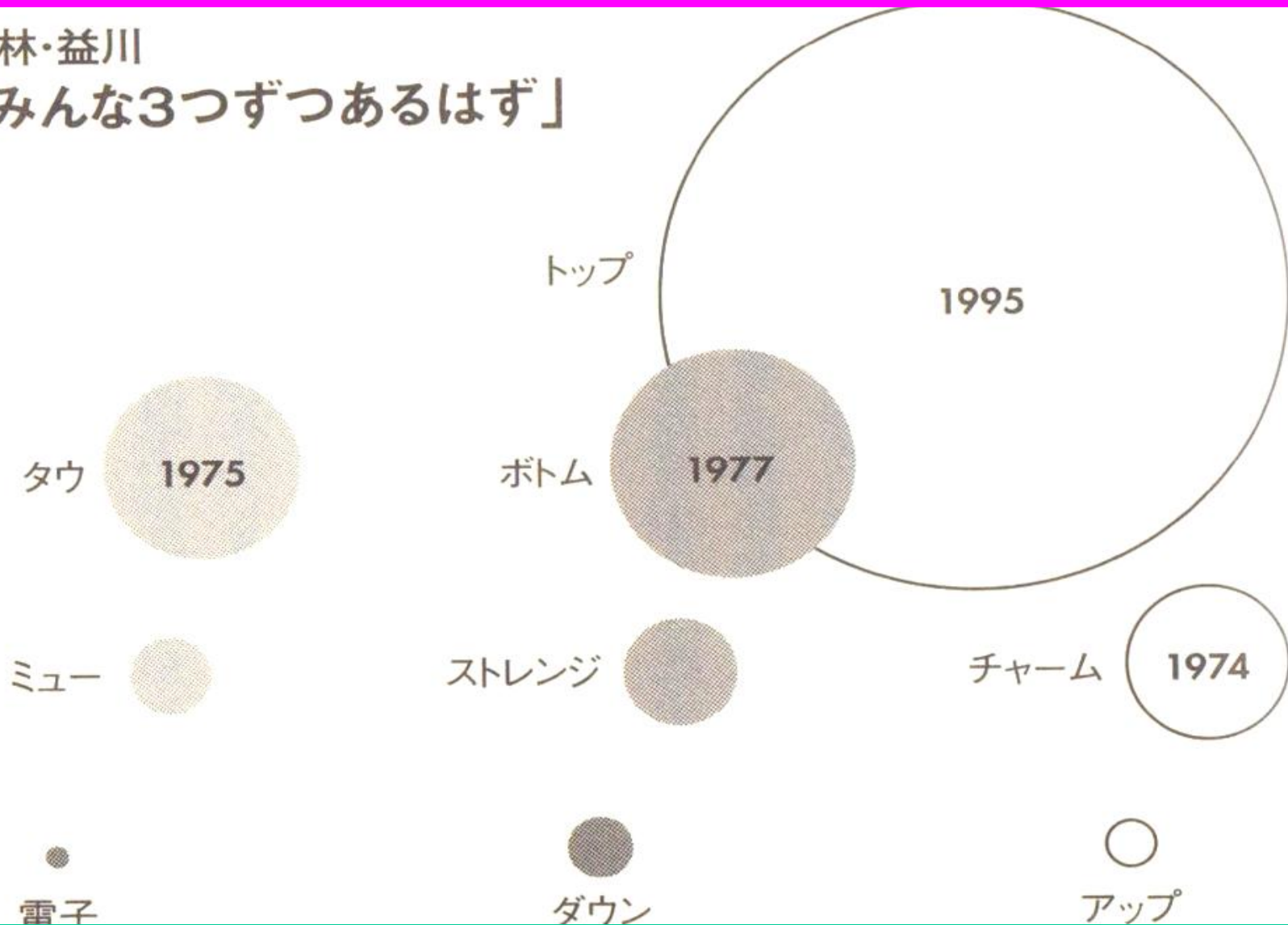
ノーベル賞

1964	ヒッグス粒子の予言	アンゲール、ヒッグス	2013
1969	陽子と電子の深非弾性散乱(クオーク模型 に対応)	フリートマン、ケントール、テイラー	1990
1973	クオークの3世代を予言	小林、益川	2008
1974	ジェイプサイ中間子の発見(Cクオーク) リヒター、テイン		1976
1975	タウ粒子の発見	パール	1995
1983	Wボソン、Zボソンの発見	ルビア、ファンデルメール	1984
1995	トップクオークの発見(テバトロン)		
2001	小林・益川理論を検証	KEKとSLAC(ス大)	
2012	ヒッグス粒子の発見	CERN	

14 クォークの3世代

小林・益川

「みんな3つずつあるはず」



15 素粒子の分類(2)

ハドロン クォーク(粒子)から構成

クォーク uクォークとdクォーク

バリオン

陽子 uud と グルーオン

中性子 udd と グルーオン

メソン(中間子) 一対のクォークと反クォーク

レプトン 電子、ミューオン、電子ニュートリノなど

16 標準理論における基本粒子

		フェルミオン			ボソン	
	電荷	第1世代	第2世代	第3世代		
クォーク	$2/3e$	u アップ	c チャーム	t トップ	γ 光子	
	$-1/3e$	d ダウン	s ストレンジ	b ボトム	g グルーオン	
レプトン	0	ν_e 電子ニュートリノ	ν_μ ミューニュートリノ	ν_τ タウニュートリノ	W Wボソン	
	$-e$	e 電子	μ ミューオン	τ タウ	Z Zボソン	H ヒッグス

17 フェルミオンとボソン

素粒子：物質の「素」になる粒子

フェルミオン

電子、クォークなど

2個の粒子が同じ量子状態を持つことが許されない
＝パウリの排他原理

ボソン

光子、グルーオン、メソン(中間子)など

複数の粒子が同じ量子状態を持つことができる

18 物質間で働く4つの力

力の種類		力の伝達粒子	力の大きさ(目安)
	強い力	グルーオン	1
			原子核
			核融合
			太陽エネルギー
電弱力	電磁気力	光子 (フォトン)	0.01
			原子、分子
			エレクトロニクス
	弱い力	W、Zボソン	雷、オーロラ
			10^{-5}
			中性子崩壊
			原子核崩壊
			ニュートリノ
			地熱
	重力	重力子	10^{-40}
			万有引力
			星、銀河
			ブラックホール

19 バリオンとメソン(中間子)

バリオン

バリオンの種類: 75種類

内未確認のバリオン: 34種類

メソン(中間子)

メソンの種類: 32種類

内未確認の中間子5種類:

20 参考文献

村山 斉 「宇宙は何でできているか」 幻冬舎新書

小林 誠 「消えた反物質」 講談社 BLUE BACKS

大栗 博司 「強い力と弱い力」 幻冬舎新書

R・P・クリース & C・C・マン 「素粒子物理学を作った人びと」 [上][下] ハヤカワ文庫NF

F・ウィルチェック「物質のすべては光」ハヤカワ文庫NF

Wikipedia より 「ノーベル物理学賞」「クォーク」「標準模型」「中性子」「バリオン」「バリオンの一覧」「中間子の一覧」など

21 粒子加速器

1930 サイクロトロン の発明 ローレンス(1939)

1930 ヴァンデグラフ 10MeV

1932 加速器で陽子による原子核の破壊

コッククロフト、ウォルトン(1951) 数100～数MeV

テバトロン フェルミ研究所 1TeVの陽子と反陽子を
衝突 全周6km

KEKB 8Gev(電子)と3.5GeV(陽子)を衝突 全周3km

CERN LEP 電子と陽子を衝突全周27km

LHC 8～10TeV 陽子と陽子を衝突全周27km