



リニアコライダーの物理

メカワークショップ 4 / 17 / 2003

山本 均

東北大学

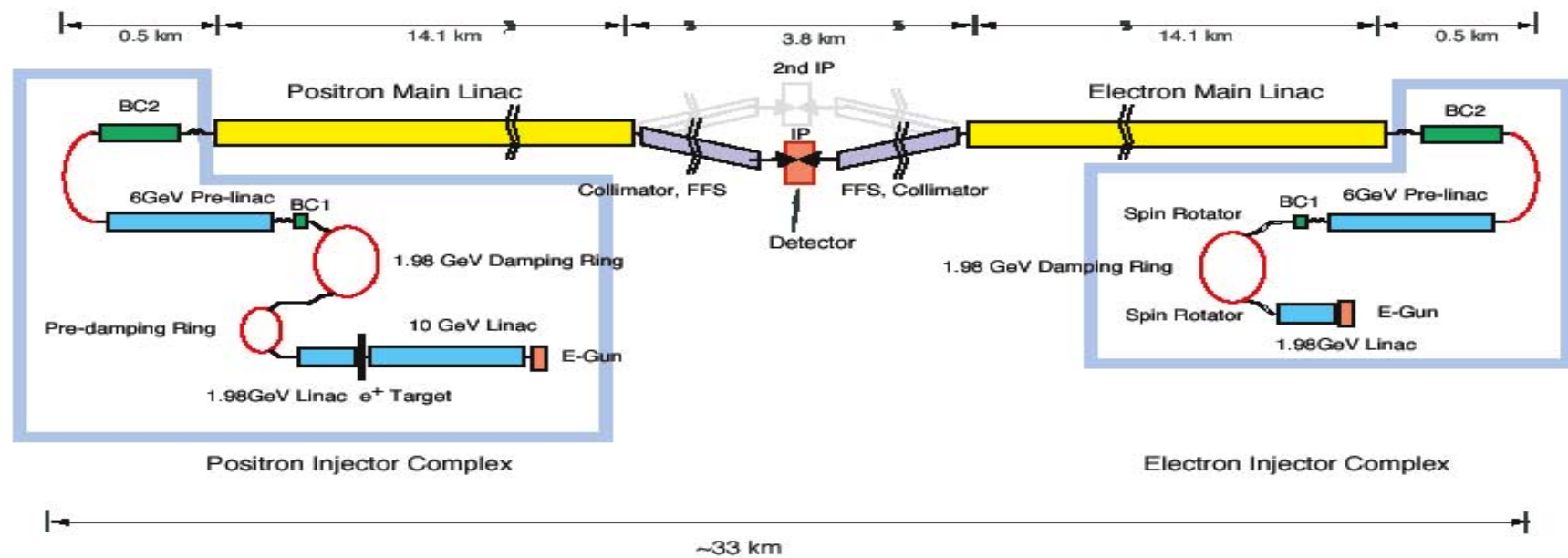
結論から言うとうー

リニアコライダーの物理は

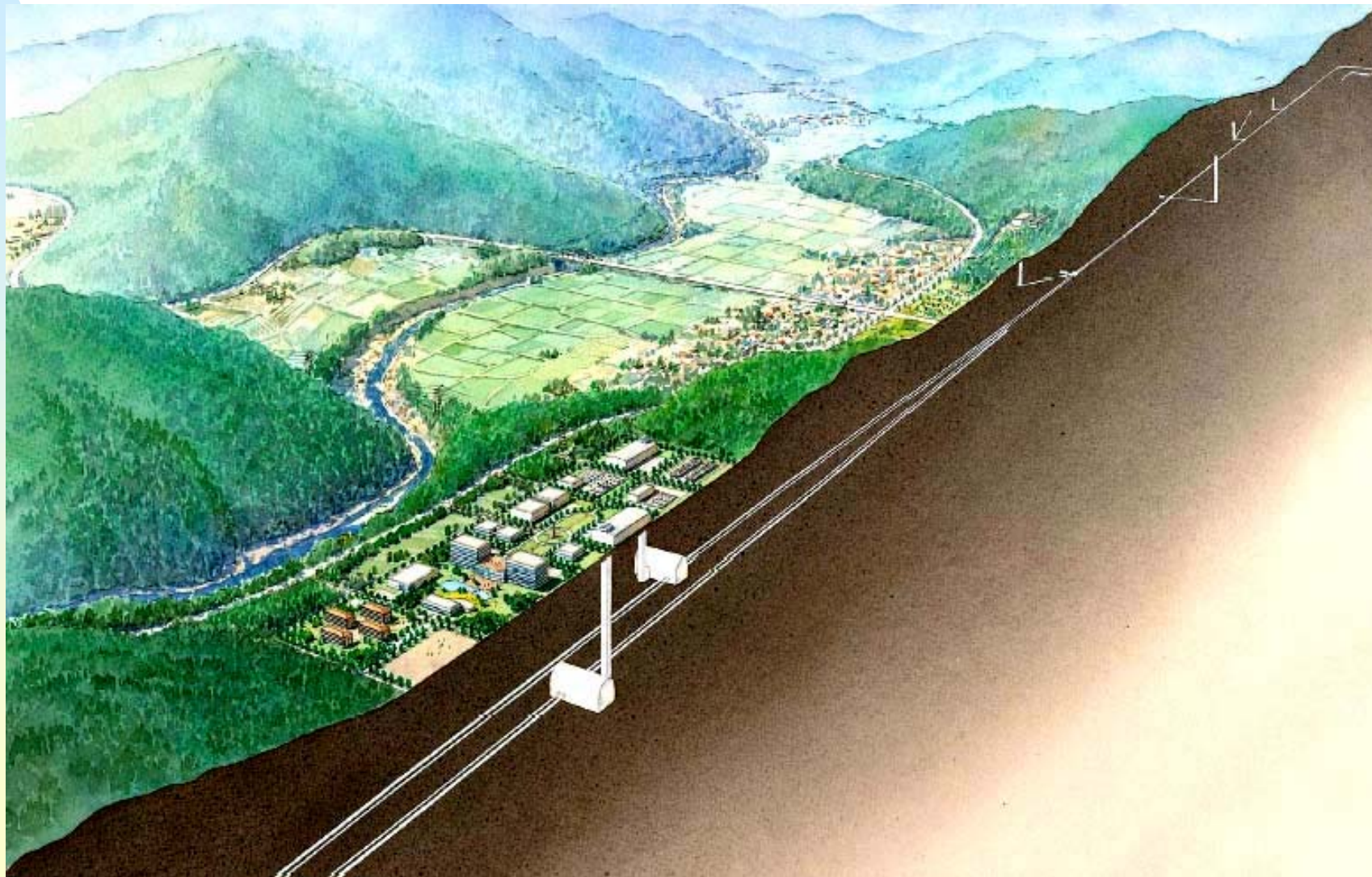
- 現在の素粒子物理の最重要課題
- 天文学、宇宙論に影響大
- 国際的に認められた重要性
- リニアコライダーの研究施設は地球規模の科学研究の中枢

リニアコライダーとは？

- 電子を光速近くまで加速 → 重くなる ($E=mc^2$)。
- 電子が陽子の重さの 2 5 0 倍になるまで加速。
(陽子の重さ＝電子の重さの 2 千倍＝約1 GeV)
- 同様に陽電子 (電子の反粒子)も加速。
- 2 5 0 GeVの電子と 2 5 0 GeVの陽電子の正面衝突。
- 後にエネルギーを 2 倍に。

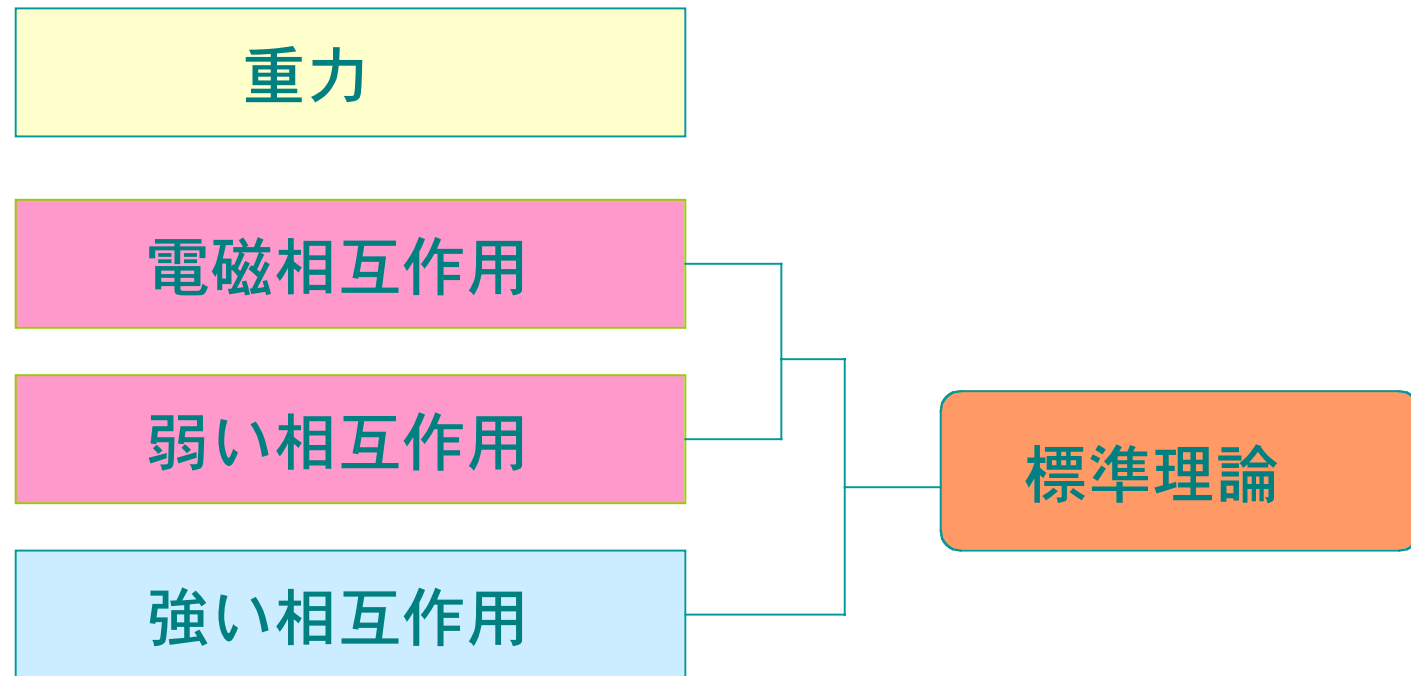


リニアコライダー施設の鳥瞰図

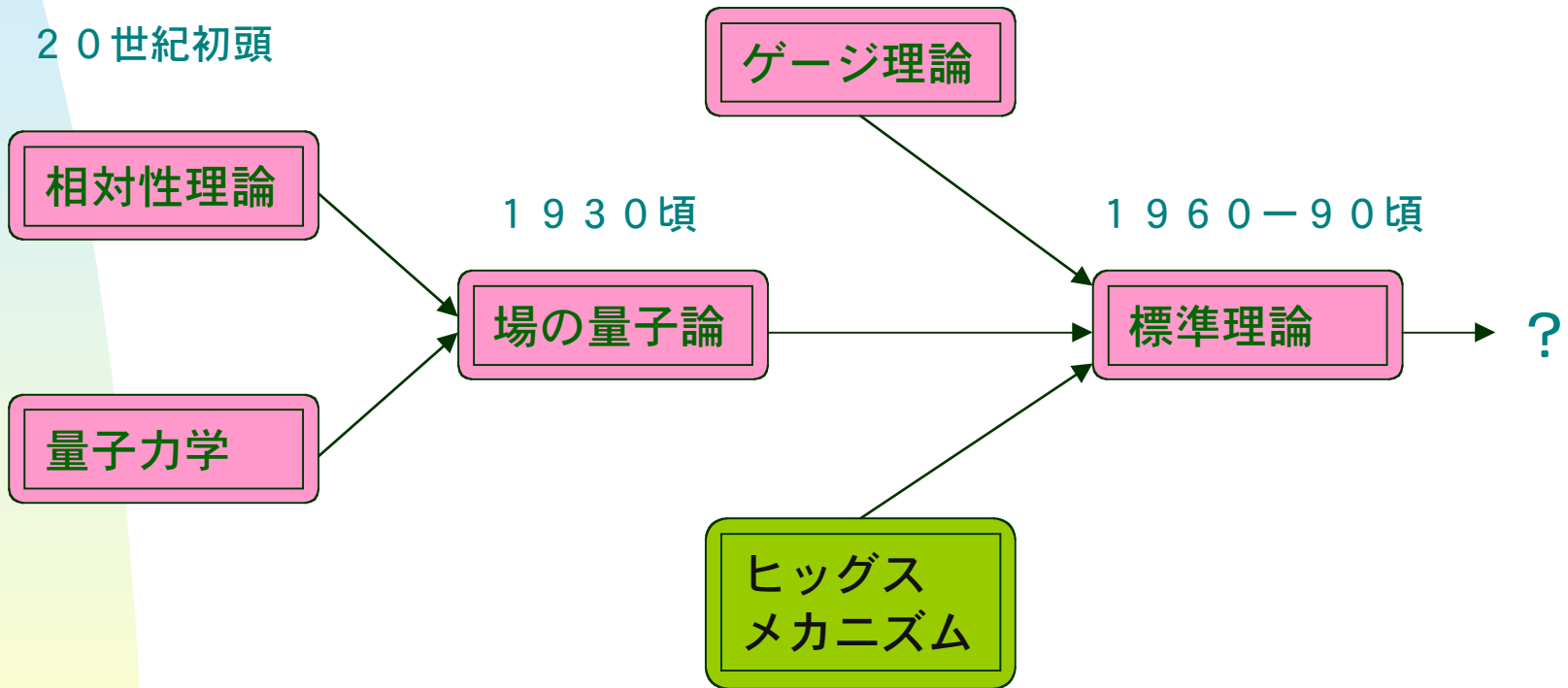


4 / 17 / 2003

4つの力と標準理論



素粒子理論発展の流れ



- 特殊相対性理論 (アインシュタイン)
 - ◆ 時間と空間の統合
 - ◆ 質量＝エネルギー ($E = mc^2$)
- 量子力学 (ド・ブROI、シュレーディンガー、ハイゼンベルグ等)
 - ◆ 粒子と波の統合
 - ◆ 不確定性原理

- 場の量子論（パウリ、ディラック等）
 - ◆ 相対性理論と量子力学の統合
 - ◆ 反粒子の存在

- 量子電気力学（ファインマン、朝永、シュウィンガー等）
 - ◆ 電子と陽電子と光子の場の量子論
 - ◆ 驚くべき正確さ
 - ✧ 1 例：電子の磁気能率 (単位=ボア磁気子)
 - 1.001159652140 (28) (理論)
 - 1.001159652193 (10) (実験)

ゲージ理論

- 量子電気力学はゲージ理論第一号
 - ◆ 電子の場の位相を時間と場所によって任意に変えても観測は不変にできるか？
 - ◆ 光子と電子がある特定の相互作用をするなら可能 → 量子電気力学
- 一般のゲージ理論：その拡張
 - ◆ 粒子間の相互作用のタイプを指定／限定
 - ◆ 光子に対応する粒子：ゲージ粒子

ゲージ粒子（力の粒子）

- 電磁相互作用
 - ◆ 光子 (γ) （質量＝ゼロ）
- 弱い相互作用
 - ◆ W^- 、 W^+ 、 Z^0 （質量：約 1 0 0 GeV）
- 強い相互作用
 - ◆ グルーオン (g) （質量＝ゼロ）

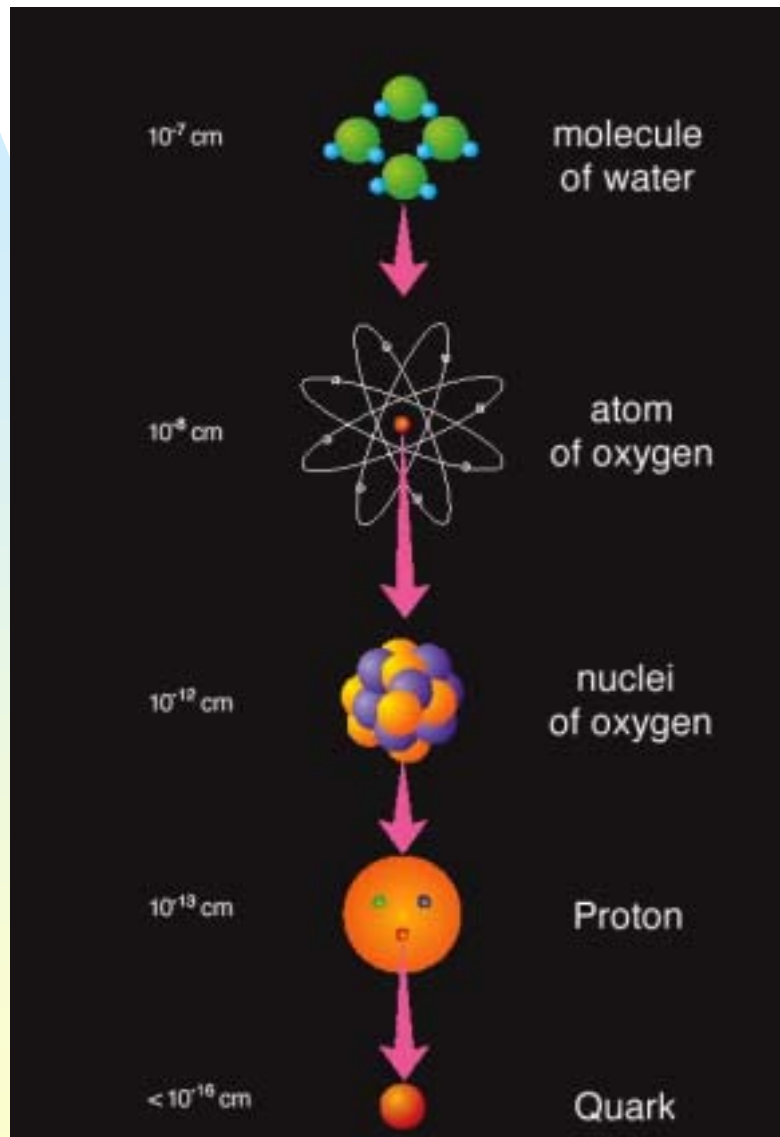
物質の粒子

■ クォーク

- ◆ (up, down)
- ◆ (charm, strange)
- ◆ (top, bottom)

■ レプトン

- ◆ (ν_e , e)
- ◆ (ν_μ , μ)
- ◆ (ν_τ , τ)

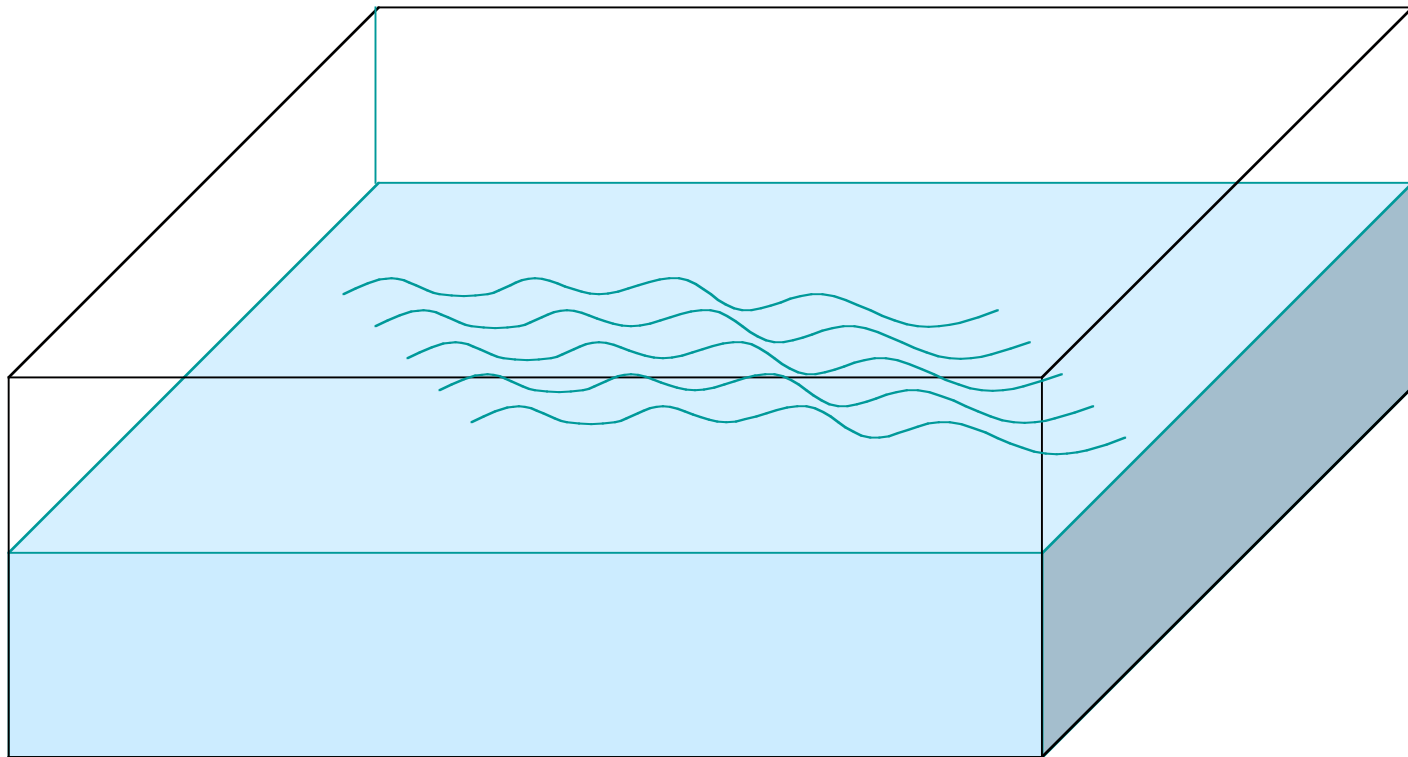


ヒッグス・メカニズム

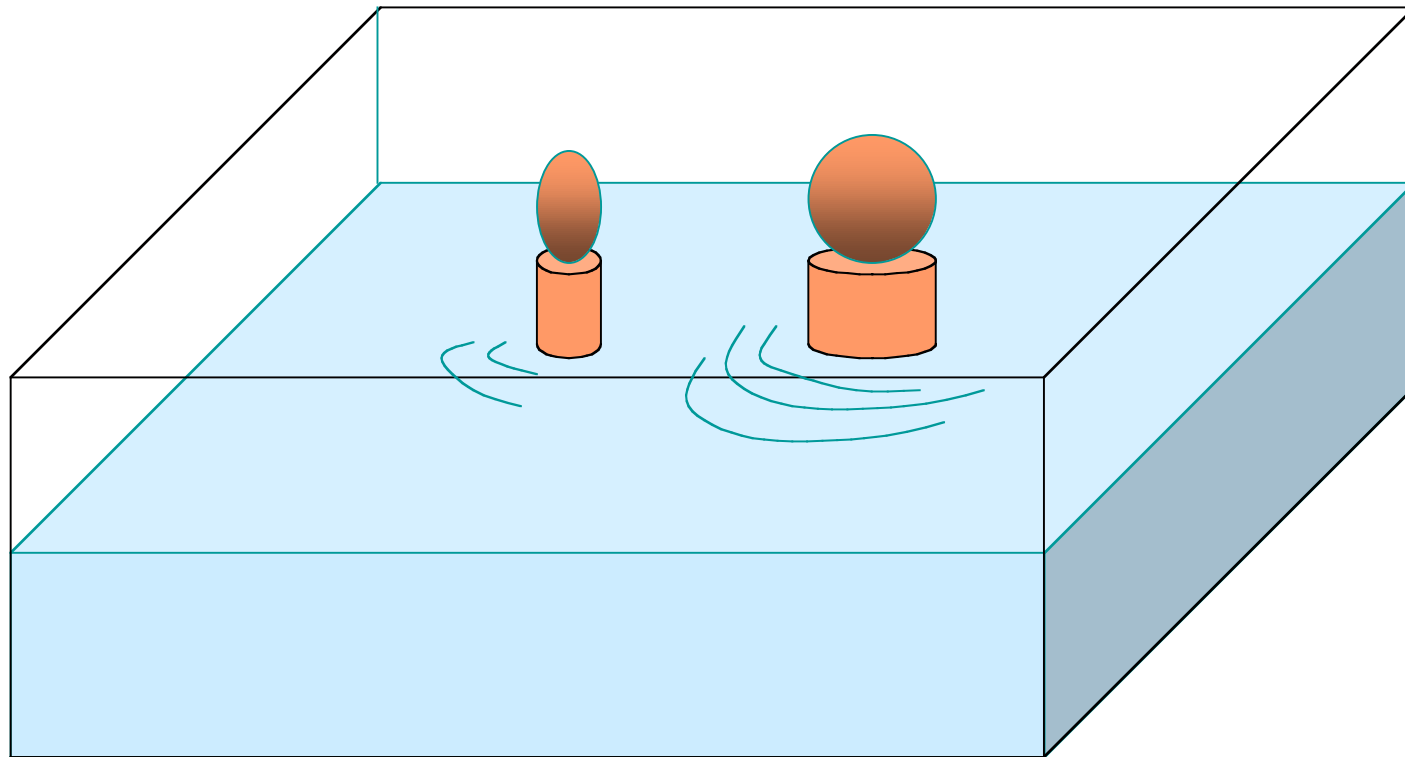
- ゲージ理論の問題：一般に粒子の質量はゼロ。
- ヒッグス粒子が存在するとする。
 - ◆ 真空はヒッグス場がいつでもどこでもある値を持っている状態と仮定。
 - ◆ 粒子は真空のヒッグス場との反応によって質量を得る。
 - ◆ すると、真空のヒッグス場からの小さなずれの波として、ヒッグス粒子が観測可能なはず。

アナロジー

- 水の深さ＝ヒッグス場の値
- 波のない状態＝真空
- 表面の波＝観測可能なヒッグス粒子



- 痩せた人と太った人が水の中を歩いている。
- 太った人のほうが水の抵抗が大きく足が重い
= 質量が大きい



このアナロジーを進めると. . .

- 太った人のほうが表面波を多く作る。
 - ◆ 質量の大きい粒子ほど実際のヒッグス粒子と強く相互作用する。
- Bottomクォーク (4.5GeV) は、charmクォーク (1.5GeV)より重いから、
 - ◆ ヒッグス粒子は、charm よりも bottom により多く崩壊するはず。
 - ◆ 標準理論では実際そう予測されている。

- 標準理論の粒子でヒッグスだけが未発見。
- 標準理論の構造の根底が未確認。

- もし真空が本当にヒッグス場が凍結しているものなら、
 - ◆ 宇宙のエネルギー密度が実際より遥かに大きくなりすぎる。真空の概念がおかしい？

- ヒッグスは存在しない？
 - ◆ ヒッグスにかわるものが必要。

標準理論の成功

- 電子の電荷と μ 中間子の崩壊速度から、Z粒子の質量を予測。
 - Z粒子の他の粒子との相互作用を全て予測。
 - B中間子のC Pの破れの予測。
 - 等、等. . . .
-
- ことごとく実験で検証された。

現在の素粒子物理学の最重要課題

- ヒッグス粒子の探索／研究。
- ヒッグス粒子がなければ、
 - ◆ それにかわるなんらかの効果をみつけること。
- リニアコライダーで研究できる。

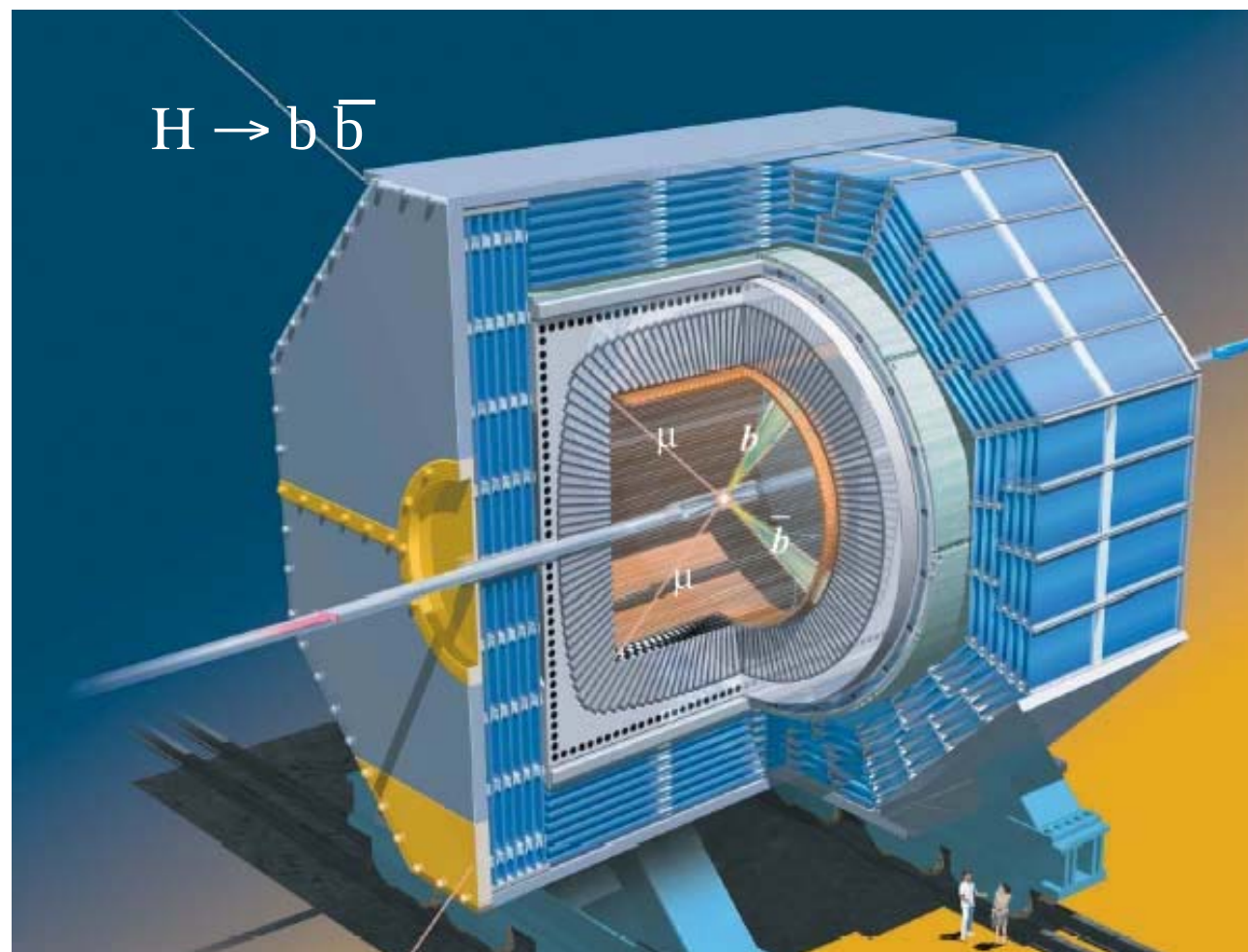
LHC（大ハドロン衝突器）

- ヒッグス粒子の研究が主目的
- 現在建設中、2007年完成予定。
- 陽子陽子の衝突
 - ◆ 陽子内には3つのクォークと多くのグルーオンが詰まっている。
 - ◆ 衝突エネルギーはリニアコライダーより高いが、目的の反応に関わるエネルギーはさほど大きくない。
 - ◆ 目的の反応以外の反応がノイズになる。

リニアコライダーの利点

- ノイズになる反応が少なく、クリーン。
- 分解能（粒子のエネルギーや運動量、崩壊場所、等）がLHCより遥かに良い。
 - ◆ ヒッグスのbottom/charm崩壊比はリニアコライダーでのみ可能。
 - ◆ リニアコライダーで多くの新発見を生む（ハブル宇宙望遠鏡のように）。
- ヒッグス粒子研究のノーベル賞は、LHCとリニアコライダー両方の可能性大。

リニアコライダーでのヒッグスの検出



4 / 17 / 2003

標準理論を超えて

- 超対称性理論
 - ◆ 現在知られている粒子すべてに対応する新粒子。暗黒物質の候補？
- 余次元理論
 - ◆ 時空の4次元以上の次元
 - ◆ 超弦理論
- 予想外の粒子／効果

リニアコライダーの重要性：世界的合意

■ 3 地域でリニアコライダー計画

◆ ヨーロッパ

- ✦ Tesla (ドイツ)

- ✦ (CERN: CLIC)

◆ 北アメリカ

- ✦ NLC

◆ アジア

- ✦ 「JLC」 (日本)

国際的な組織作り

- 国際リニアコライダー運営委員会(ILCSC)
 - ◆ 2002発足
- Pre-GLCC
 - ◆ GLCC (Global Linear Collider Center: 国際リニアコライダー・センター) に先立つ組織。
 - ◆ 日本の提案により、 ILCSCが承認。

- リニアコライダーは建設費用4-5 千億円
の巨大なプロジェクト。（約2/3を誘致国
が負担？）
- 世界から数千人の科学者／技術者の集ま
る、真に国際的な研究施設。
- 人類の文化への寄与、日本の国益から見
て、リニアコライダーを日本に誘致する
ことは費用を正当化する。

日本に於ける候補地

