

素粒子物理学の発展とILC



- 2013年10月3日
- 高エネルギー加速器科学研究奨励会
特別講演会
- 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
- 東京大学素粒子物理国際研究センター
- 駒宮幸男

素粒子物理学の野望

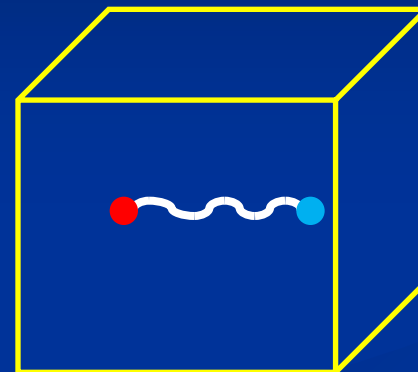
宇宙の森羅万象の基礎となってる法則の解明

物質の根源の発見

時空 ・ 物質 ・ 力

超還元主義

(単純な原理を見つけない)



⇒ 宗教的に悟るのではなく客観的に宇宙を説明したい。
哲学的な疑問を科学で解明したい。

勿論それがわかったからといって生命現象、生物の進化、
株価や政治の動向がわかるわけではないのですか...



これまで20年以上に渡って、「素粒子物理学は革命前夜だ」とアジってきたが、新粒子の発見はいくつかあったが、革命といわれる発見はなかった。

⇒ 遂に「ヒッグス粒子」が発見され、7月革命が始まった。ヒッグス粒子は標準理論＝アンシャンレジームを超える窓。

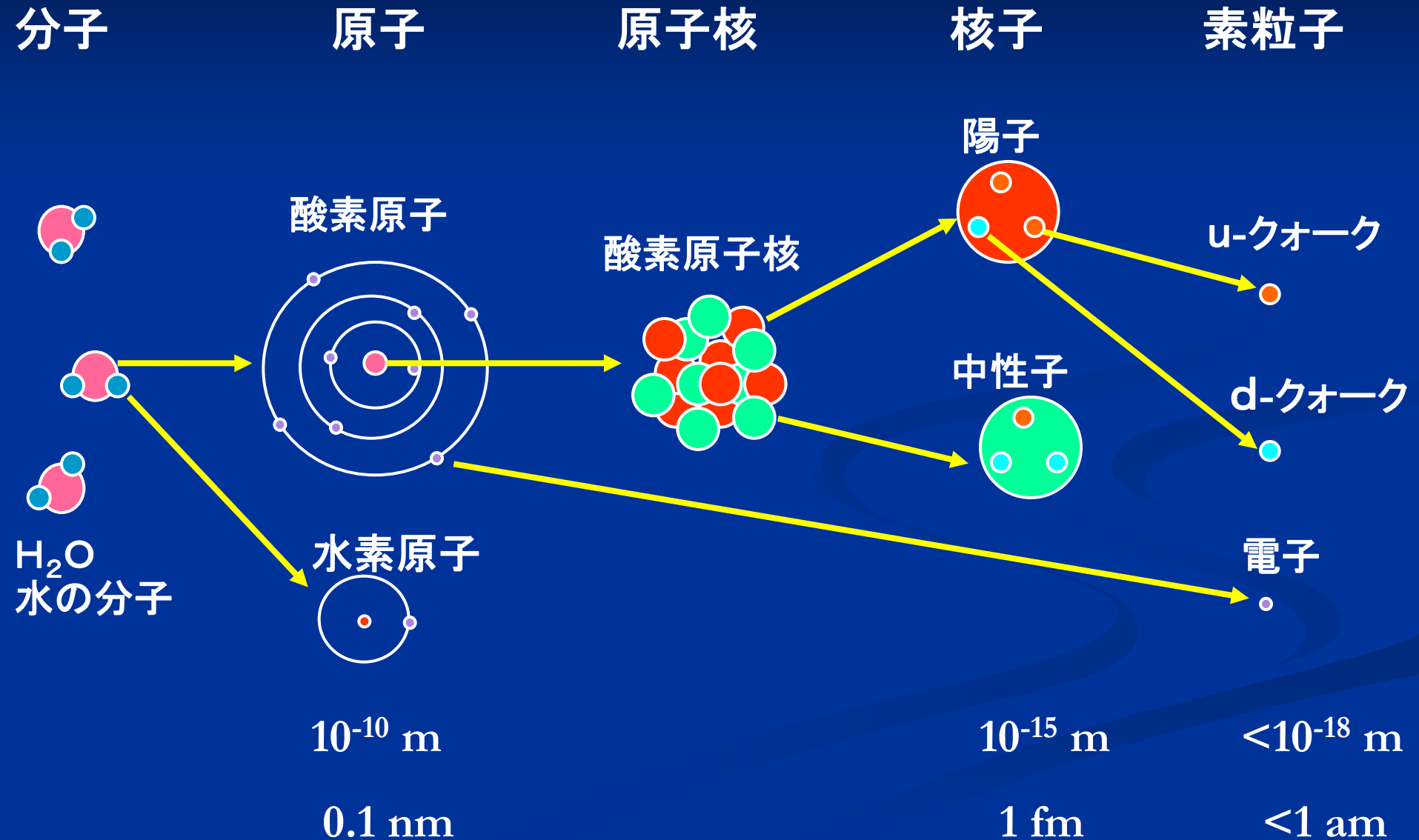
⇒ これは更なる大革命の前哨戦に過ぎない。

話の流れ

- 素粒子の「標準理論」の成立まで
- 加速器の発展とヒッグス粒子の発見
- リニアコライダーと
大型基礎科学計画の役割

素粒子の標準理論の 成立まで

物質の階層構造とそのスケール



大きさの比較

陽子

1 mm



蚤

原子

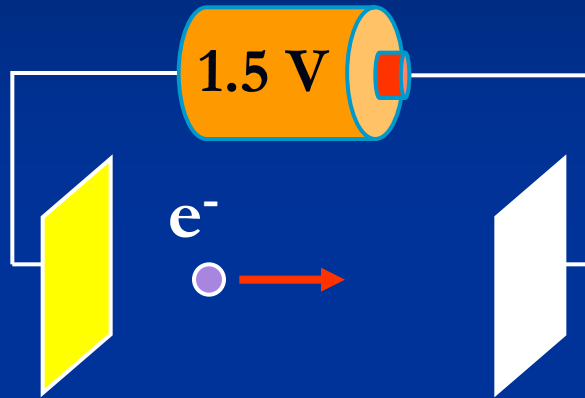
100m



<http://ameblo.jp/webstyleking/>

エネルギーの単位

電子ボルト $1 [\text{eV}] = 1.6 \times 10^{-19} [\text{J}]$



化学反応のエネルギー

錬金術：化学反応のエネルギーで原子核変換をしようとした。（鉛を金に変える）

$1 [\text{MeV}] = 10^6 [\text{eV}]$ (メガ)

原子核反応のエネルギー

$1 [\text{GeV}] = 10^9 [\text{eV}]$ (ギガ)

$1 [\text{TeV}] = 10^{12} [\text{eV}]$ (テラ)

素粒子反応のエネルギー

$E=Mc^2$ 質量の単位もエネルギーの単位で測る。

例： 電子の質量 $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0.511 \text{ MeV}$

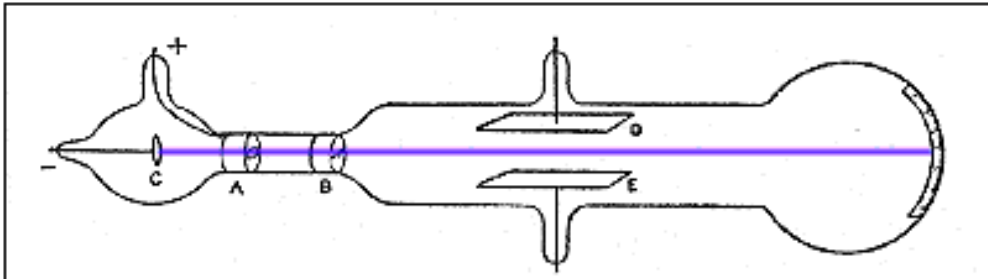
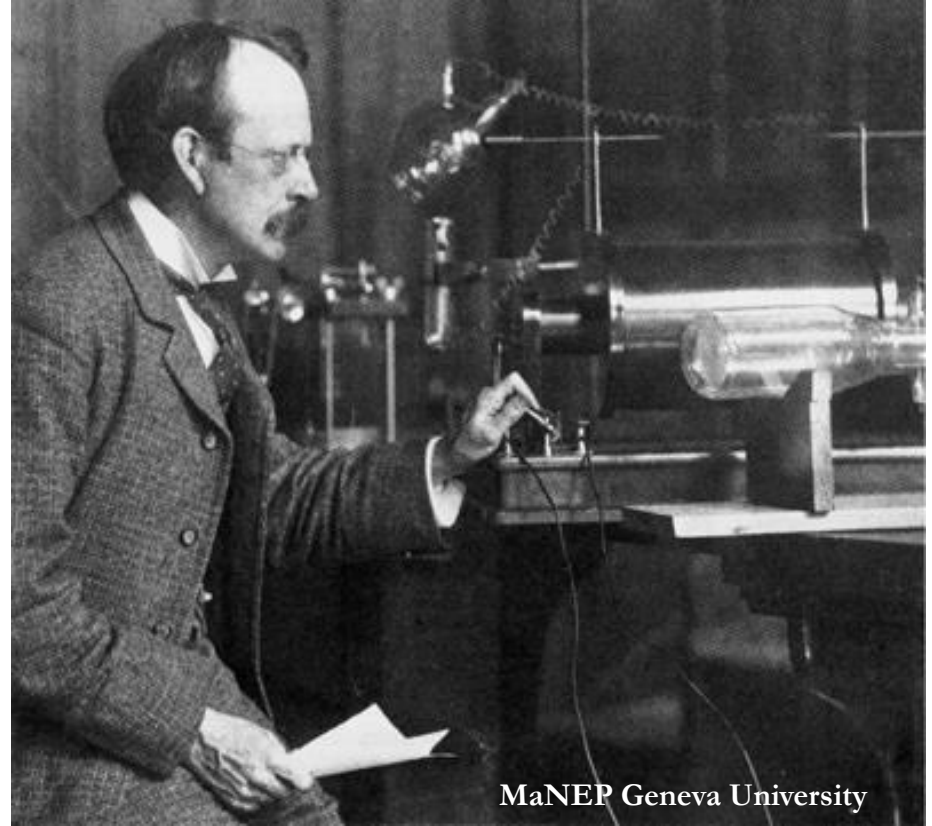
最初の素粒子「電子」の発見

1897年 J.J. Thomson

下の装置で電子の比電荷 (Q/m) を測定した。

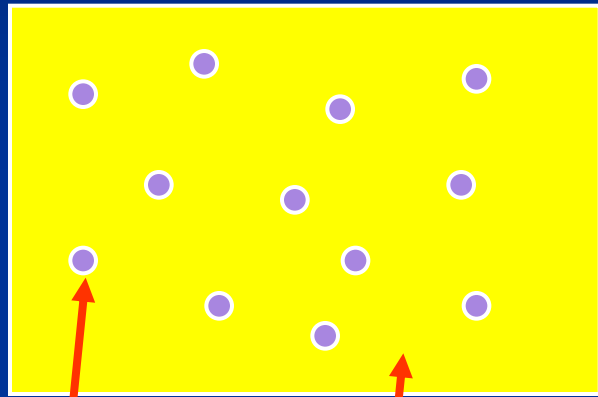
⇒ Q/m が、電気分解で求められた元素の Q/m よりも非常に大きい
電子は極めて軽い。

⇒ 原子構造の探求へ



ラザフォードの原子核の発見

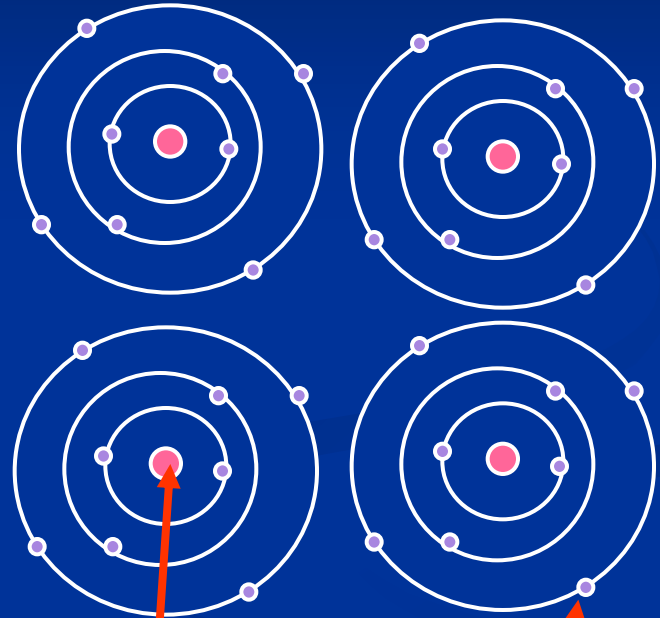
モデル 1



電子

均質な+電荷

モデル 2



硬く重い核 +電荷

電子

ぶどうパンモデル

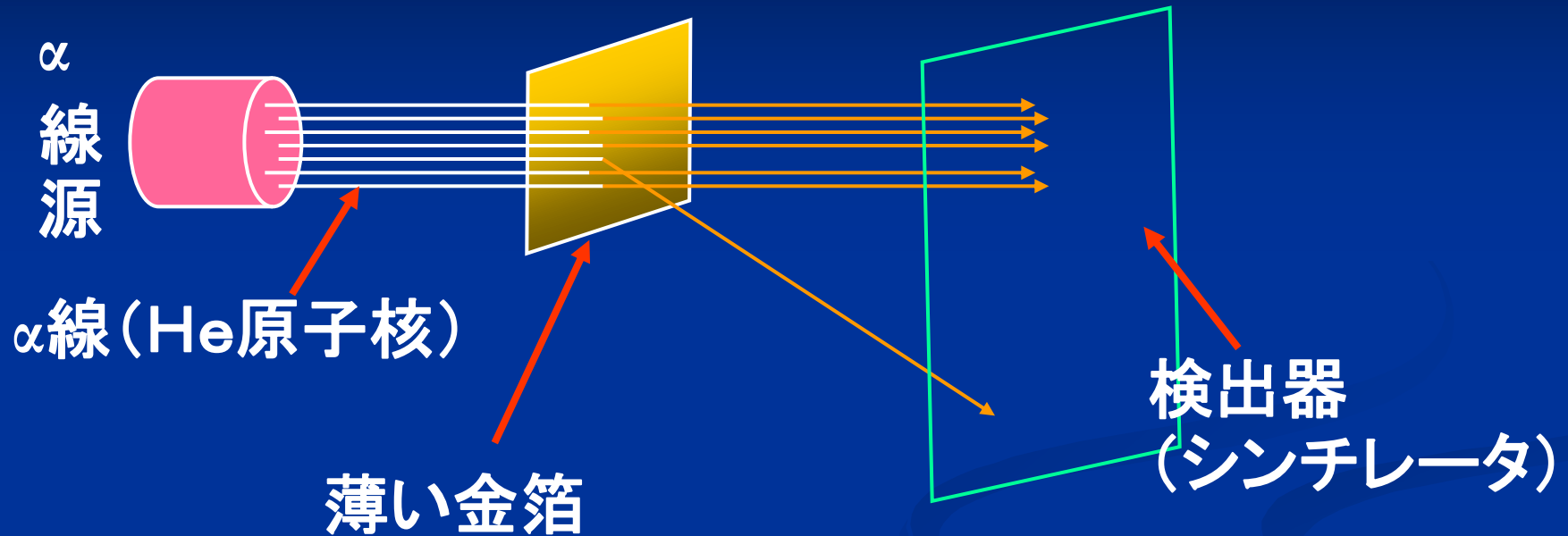
J. J. トムソン

太陽惑星モデル

ラザフォード 長岡半太郎

ラザフォードの原子核の発見

1911年 弟子のガイガーとマースデンの実験で決着



ほとんどすり抜ける。たまに大角度に散乱される。

⇒



このモデルが正しい。

素粒子実験の原型

1930年代初頭の「素粒子」

電子	e^{-}	1897年
----	---------	-------

陽子	p^{+}	1911年
----	---------	-------

中性子	n^0	1932年
-----	-------	-------

光子	γ^0	1905年
----	------------	-------

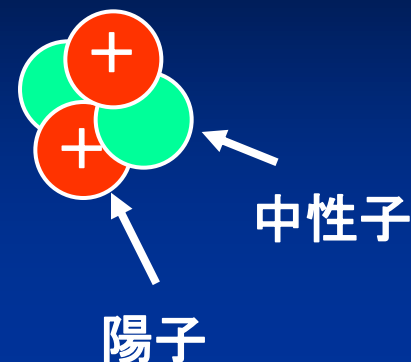
非常に単純、美しい体系

しかし、これでは終わらなかった

湯川博士の π 中間子の予言(1935年)

- 新しい相互作用

電磁力よりも強い引力

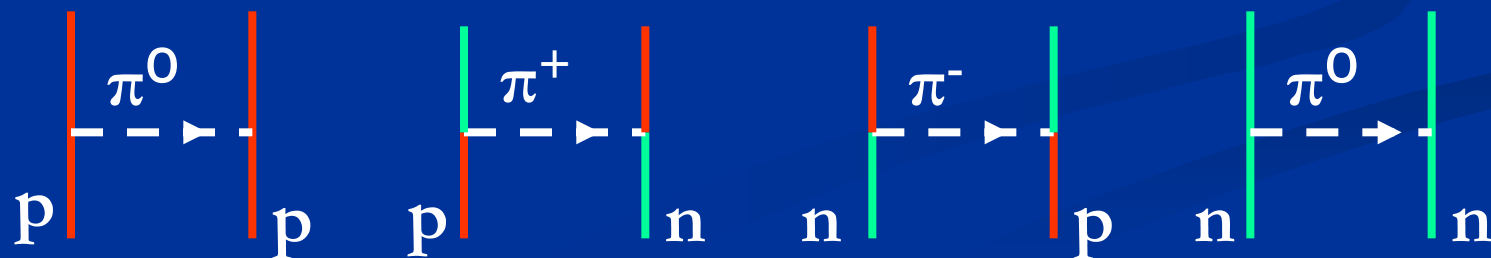


- 相互作用の本質

力を媒介する粒子の存在

- 新粒子の性質の予言

力の到達距離 $\Rightarrow$ π 中間子の質量の予言



加速器による新粒子群の発見

1950～60年代には加速器によって多くの強い相互作用する粒子群(ハドロン)が発見され、收拾がつかなくなった。

「もしこんな多くの粒子の名前を全て覚えることができたなら、私は植物学者になっていたであろう」 E.Fermi

$\pi^+, \pi^0, \pi^-, K^+, K^-, K^0, \bar{K}^0, \rho^+, \rho^0, \rho^-, \omega^0, \dots$

$p, n, \Lambda, \Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Xi^0, \Xi^-, \dots, \bar{p}$

複合粒子モデル(坂田昌一) 1959

$p, n, \Lambda, \bar{p}, \bar{n}, \bar{\Lambda}$ が基本粒子、全てのハドロンは、
この組み合わせ 例 $\pi^+ = p\bar{n}$

クォークモデル Gell-Mann Zweig 1964

坂田モデル $\Rightarrow$ クォークモデル

$$\left. \begin{array}{l} p \text{ 電荷} = 1 \\ n \text{ 電荷} = 0 \\ \Lambda \text{ 電荷} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} u\text{-クォーク} \text{ 電荷} = 2/3 \\ d\text{-クォーク} \text{ 電荷} = -1/3 \\ s\text{-クォーク} \text{ 電荷} = -1/3 \end{array} \right\}$$

$$p = uud \quad \text{電荷} = 2/3 + 2/3 - 1/3 = 1 \quad \bar{p} = \bar{u}\bar{u}\bar{d}$$

$$n = udd \quad \text{電荷} = 2/3 - 1/3 - 1/3 = 0 \quad \bar{n} = \bar{u}\bar{d}\bar{d}$$

$$\pi^+ = \bar{u}d \quad \text{電荷} = 2/3 + 1/3 = 1 \quad \pi^- = \bar{u}\bar{d}$$

クォークは実在するか $\Rightarrow$ ラザフォードの実験の進化形

高エネルギー電子を陽子に衝突させて陽子に硬い芯のあることを発見。
1960年台終わりころ (Stanford Linear Accelerator Center)

チャームクォークの予言

電子と μ は似ている（レプトン 軽粒子）。ニュートリノもレプトンの仲間。クォークは強い相互作用をするので別の仲間

第1世代 第2世代 レプトンとクォークの対応関係がある

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$$

$$Q=0$$

ニュートリノ

$$Q=-1$$

荷電レプトン

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} ? \\ s \end{pmatrix}$$

$$Q=2/3$$

クォーク

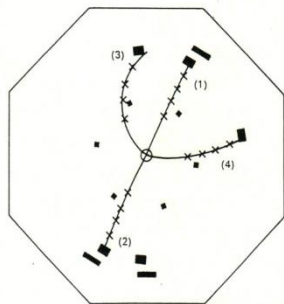
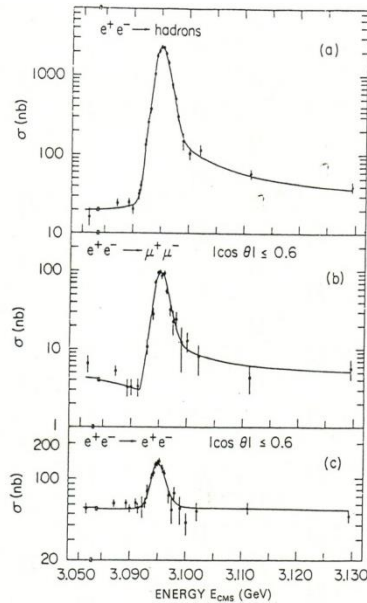
$$Q=-1/3$$

クォーク

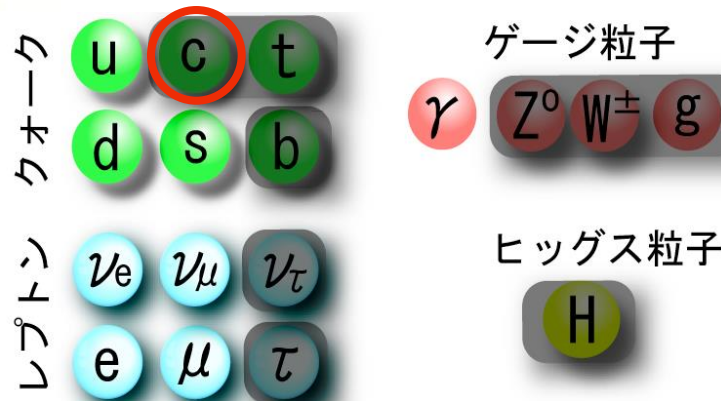
？に対応する $Q=2/3$ のクォークが存在するはず

The November Revolution

1974年11月 J/ψの発見

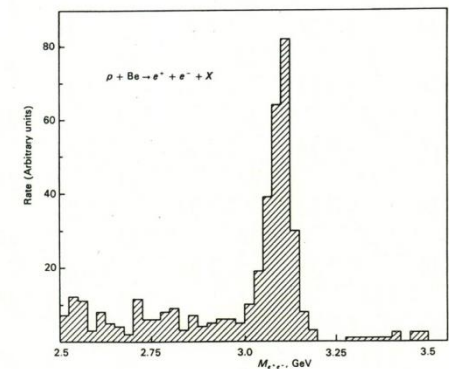
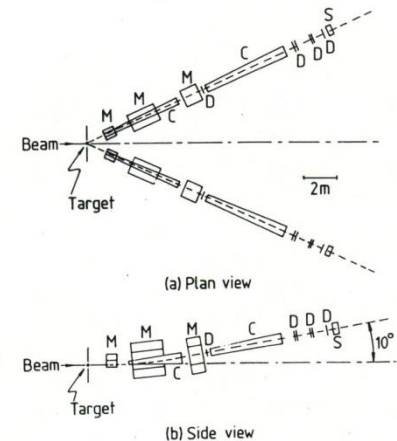


$e^+e^- \rightarrow \psi$ SLAC
Richter et al.



$J/\psi = c\bar{c}$ 結合状態

クォークとレプトンが
物質を形成する基本粒
子であることが実験家
にも明確に分かった



$J \rightarrow e^+e^-$ BNL
Ting et al.

2008年ノーベル物理学賞

小林誠 先生

益川敏英 先生

クォークが3種類しかない時代
(1972年)に、
すなわち「1974年11月革命」
以前に、6種類(3世代)あるこ
とを理論的に予言

(K^0 中間子のCP非保存)

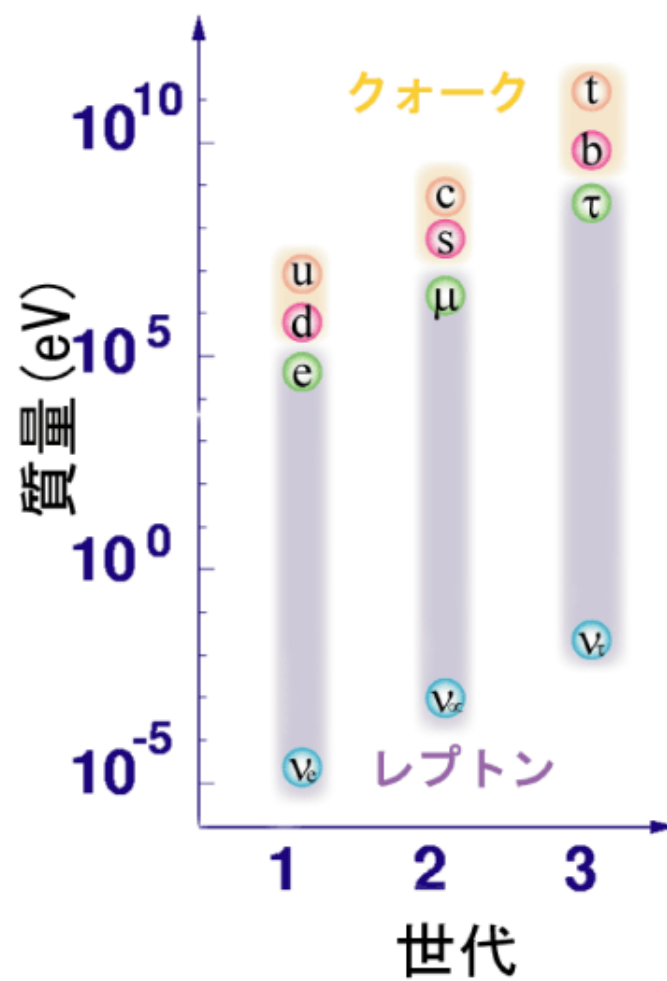
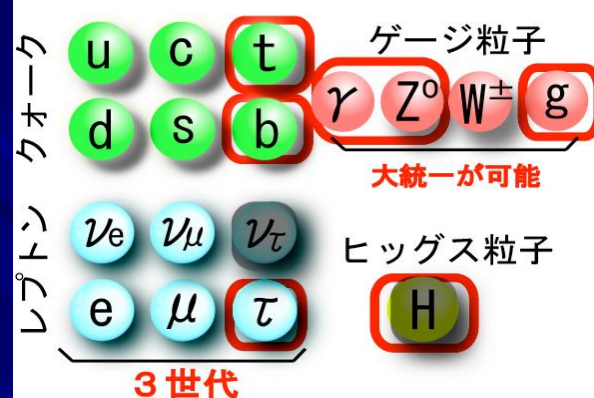
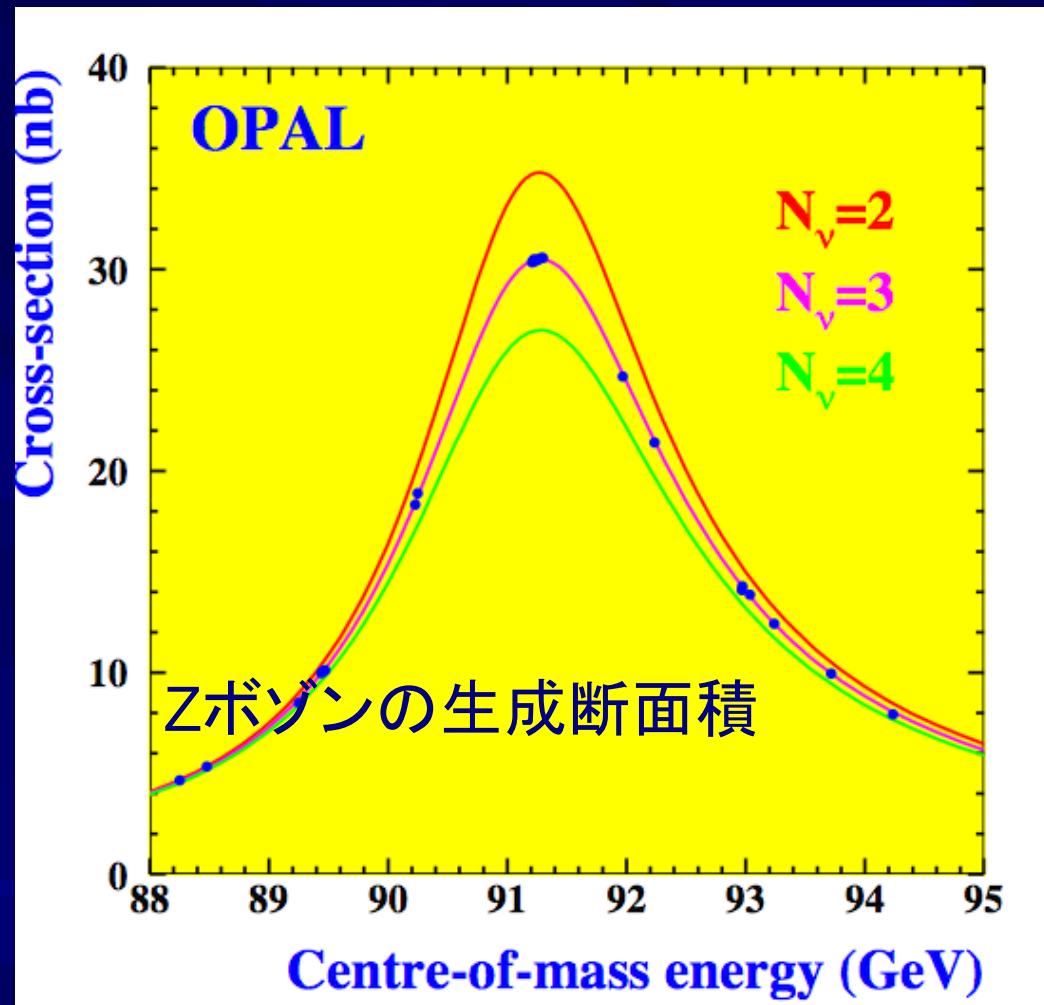
$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$$

クォーク

レプトン



素粒子の世代構造



■ 素粒子の世代数は3で打ち止め

$N=2.9841 \pm 0.0083$ (LEP)

素粒子の標準理論

(1) 物質を形成する粒子 ($J=1/2$)

クォーク

レプトン

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$$

+ 反粒子

+ 反粒子

(2) 相互作用を担う粒子 ($J=1$)

電磁相互作用

γ

(光子)

弱い相互作用

$W^+ W^- Z^0$

(ウィークボゾン)

強い相互作用

g (8種類)

(グルーオン)

(3) 質量の起源 ($J=0$) H^0 (ヒッグス粒子)

ヒッグス粒子

質量とは

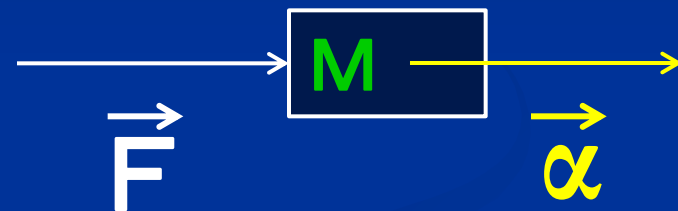
ニュートン力学の第2法則

$$\vec{F} = M\vec{\alpha}$$

M : 質量 (慣性質量)

$\vec{\alpha}$: 加速度

$\vec{F}$: 力



物体に力を加えると、物体はその方向に加速される。

加速の大きさは質量 (慣性質量) に反比例する。

重い物体は動かしづらい。軽い物体はすぐに動く。

質量は物の動き難さの指標

真空とは

スペースシャトルが飛んでいる地上約400kmの上空の
真空度は 10^{-9} 気圧程度

真空ポンプを使って空気を抜いていく
加速器の中の真空度は 10^{-12} 気圧にもなる

これでもまだまだ真空ではない

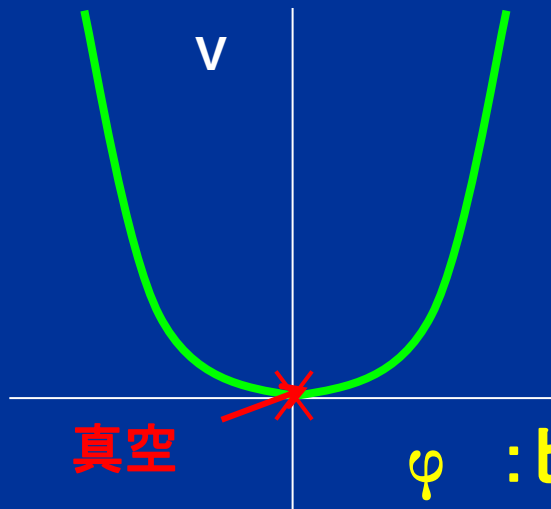
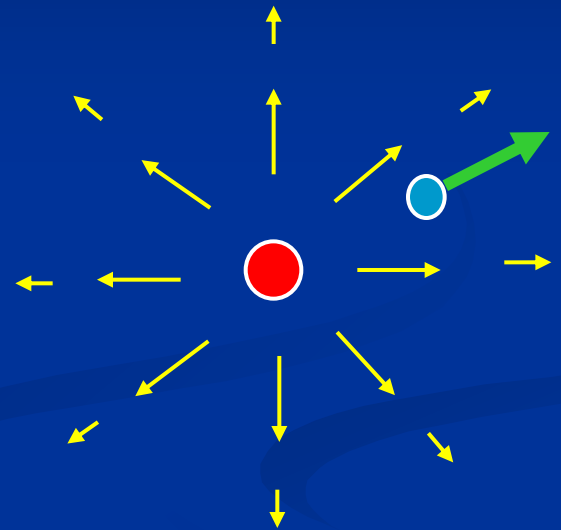
本当に何もない「全くの空」の真空など議論しても無駄ではないか？

素粒子物理ではこの何もない真空の物理的な性質を問題にする

場の概念と真空

電荷があるとその周りに電場のポテンシャルが生じ、そこに別の電荷を持っていくと力が働く。このように直接接触しなくても、電磁力が働く可能性を空間が持っているのは、電荷のまわりに「光子の場」、即ち「電磁場」が満ちているからだ考える。

素粒子物理の「真空」とは最もエネルギーの低い状態。
ヒッグス場のポテンシャル(ヒッグス場によって力が働く可能性を真空がもつ)



ポテンシャルエネルギー V が最も低いところが真空

ϕ : ヒッグス粒子の「場」

ヒッグス粒子と真空

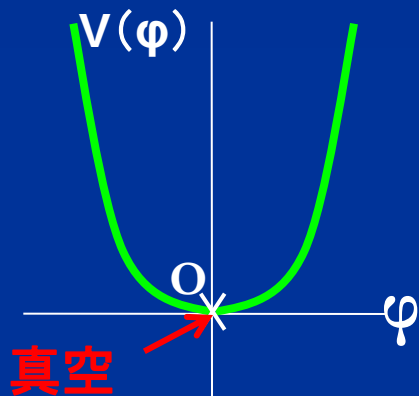


南部陽一郎 Peter Higgs

ヒッグス粒子は「真空」と同じ量子数を持つ

⇒ 真空でのヒッグス場が $\varphi=0$ から $\varphi=\varphi_0$ に転移する。

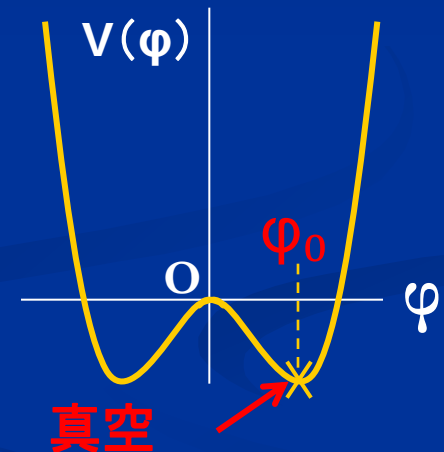
水が氷になるような相転移が生ずる。



初期宇宙



膨張による冷却



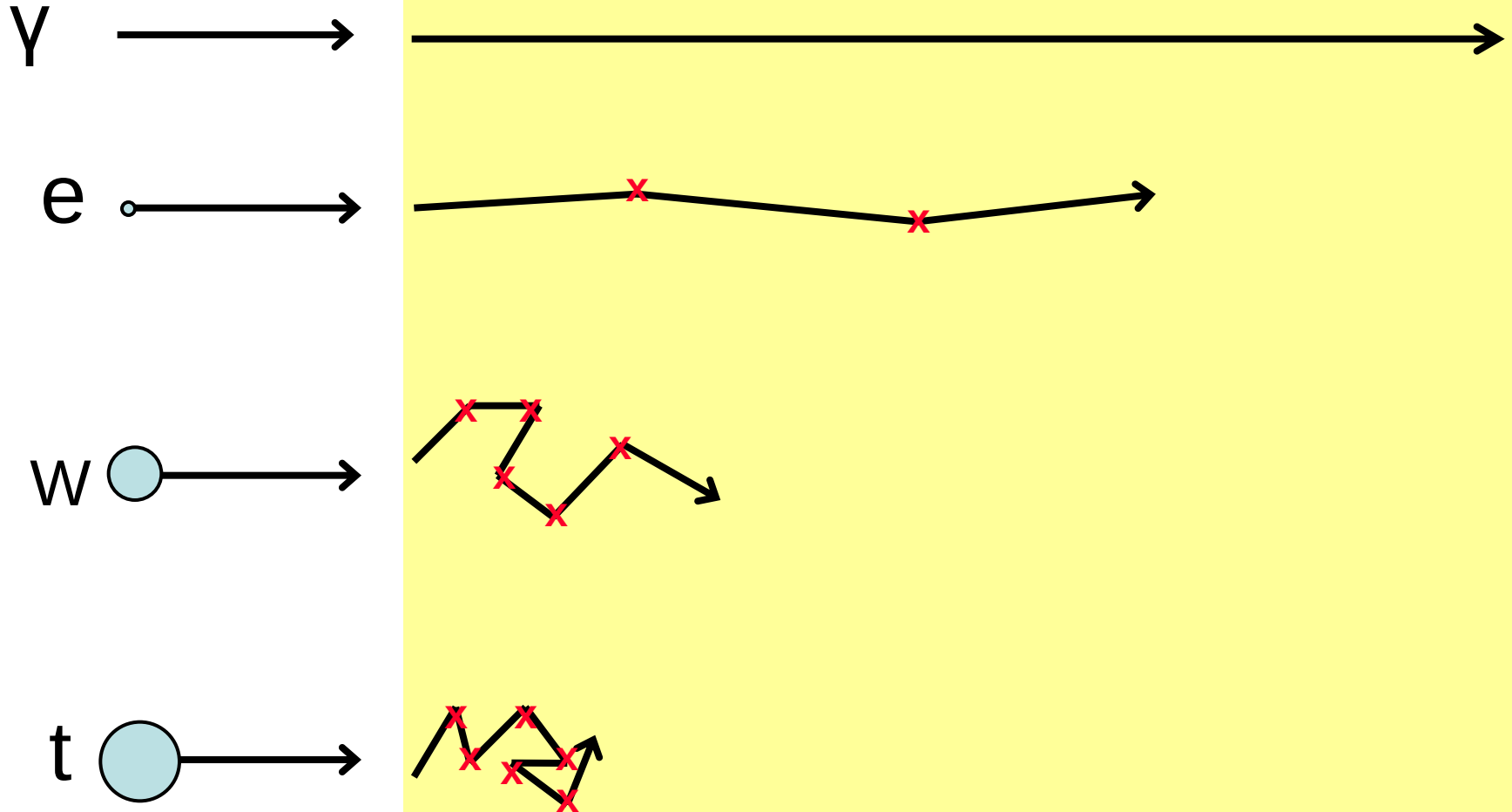
ヒッグス場 φ_0 が真空を満たす

即ち、真空（エネルギーが最も低い状態）では $\varphi \neq 0$.

対称性が破れる。(南部陽一郎、アンブレール、ブロウト、ヒッグス)

「超対称性」があると、この状態を実現：井上研三たち（九州大学）

空間(真空)に充満している**ヒッグス場**と衝突することによって素粒子はブレーキをかけられる
動き難さ = 質量



加速器の発展と ヒッグス粒子の発見

このような御都合主義的な人工的な素粒子が
本当に存在するのだろうか？

初めての本格的 加速器

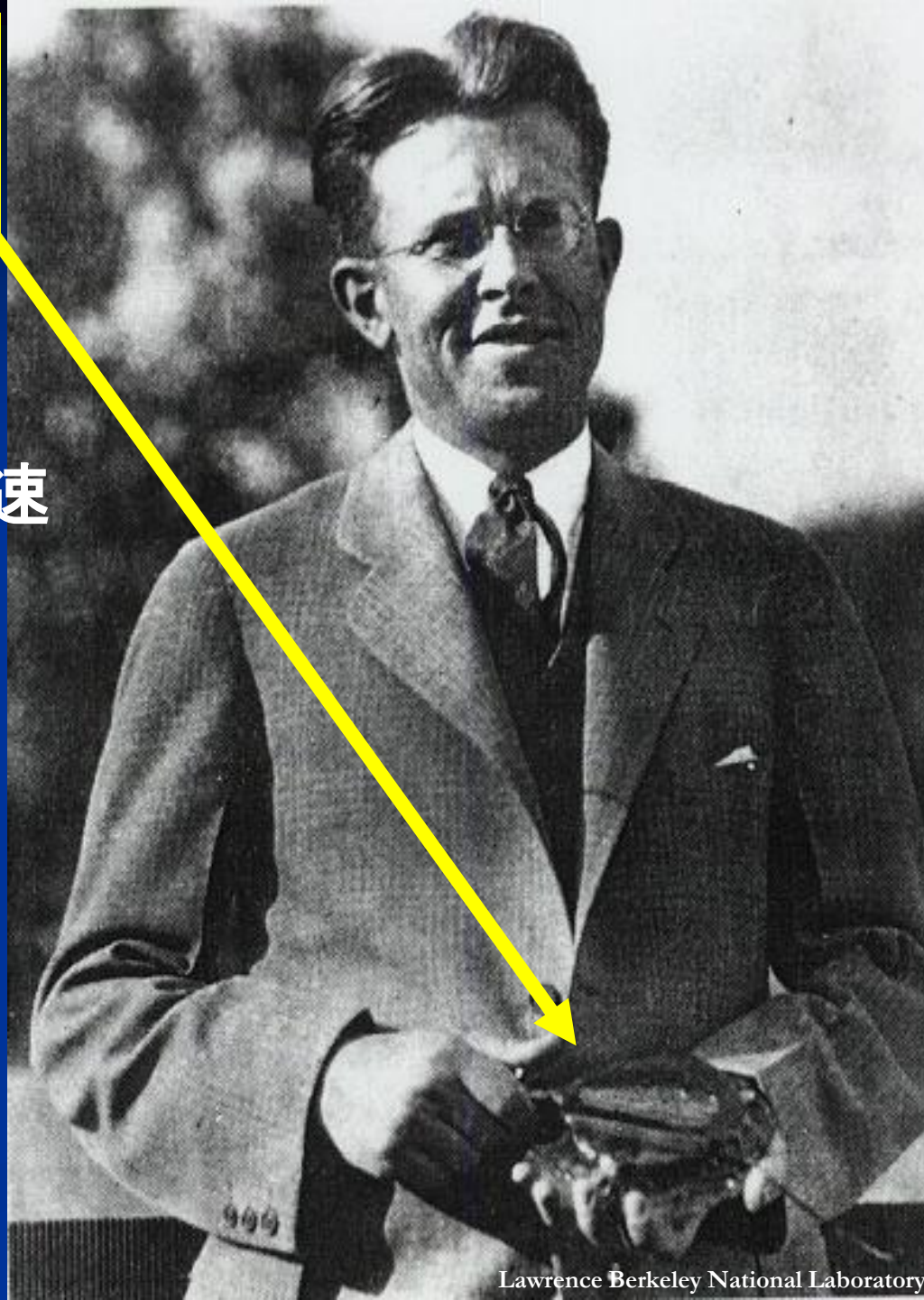
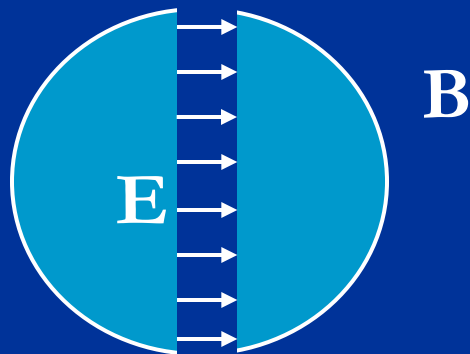
ローレンス(アメリカ)
サイクロトロンを発明

交流電場Eで荷電粒子を加速

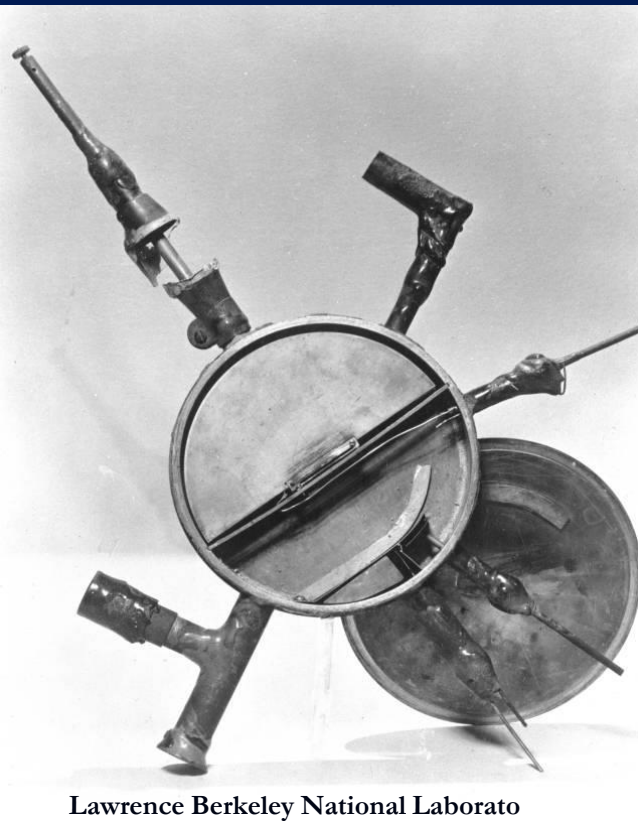
$$F = q E$$

一定磁場Bで軌道を曲げる

$$F = q v \times B$$



加速器の技術革新（約75年の歴史）



Lawrence Berkeley National Laboratory



LHC 2008年完成 2009年稼動
直径9km, エネルギー 14TeV

$$9\text{km}/13\text{cm} = 69,231$$

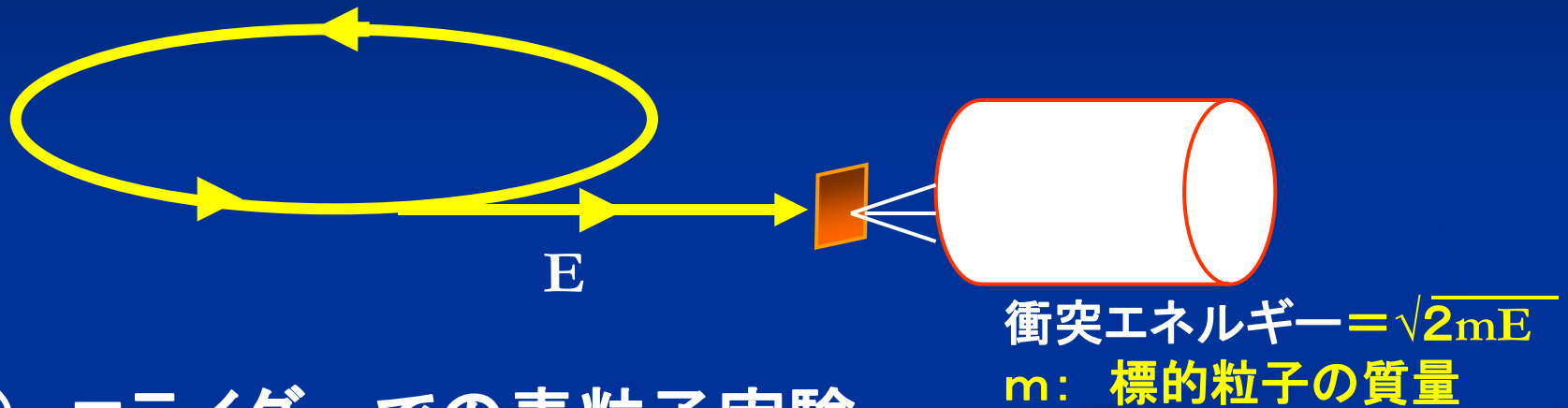
$$14\text{TeV}/80\text{keV} = 175,000,000$$

$$175,000,000/69,231 = (1.11)^{75}$$

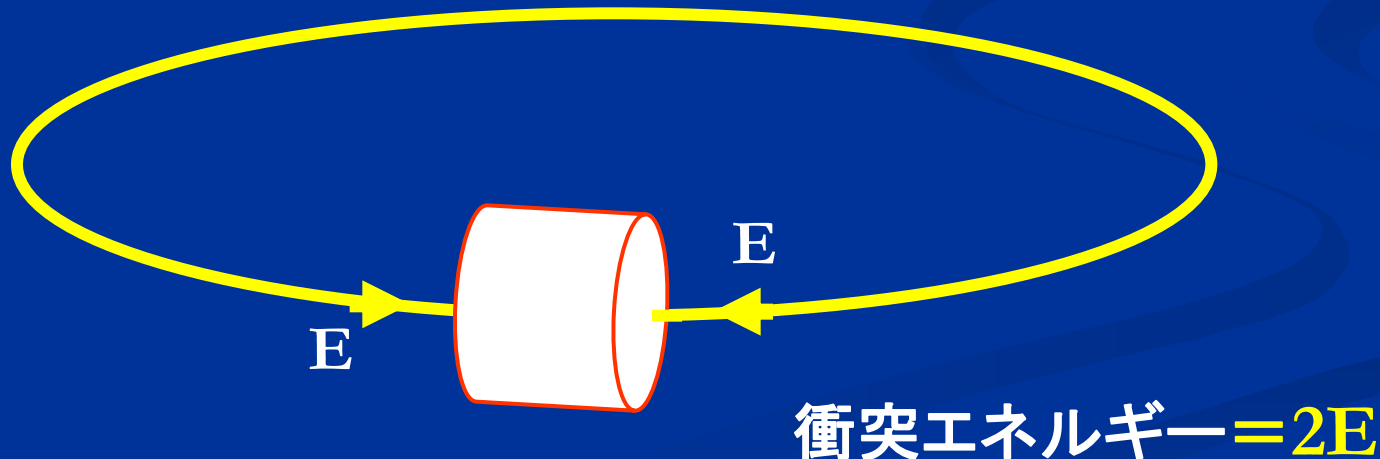
1932年 ローレンス世界初のサイクロトロン
直径13 cm, エネルギー80keV

粒子衝突型加速器(コライダー)の威力

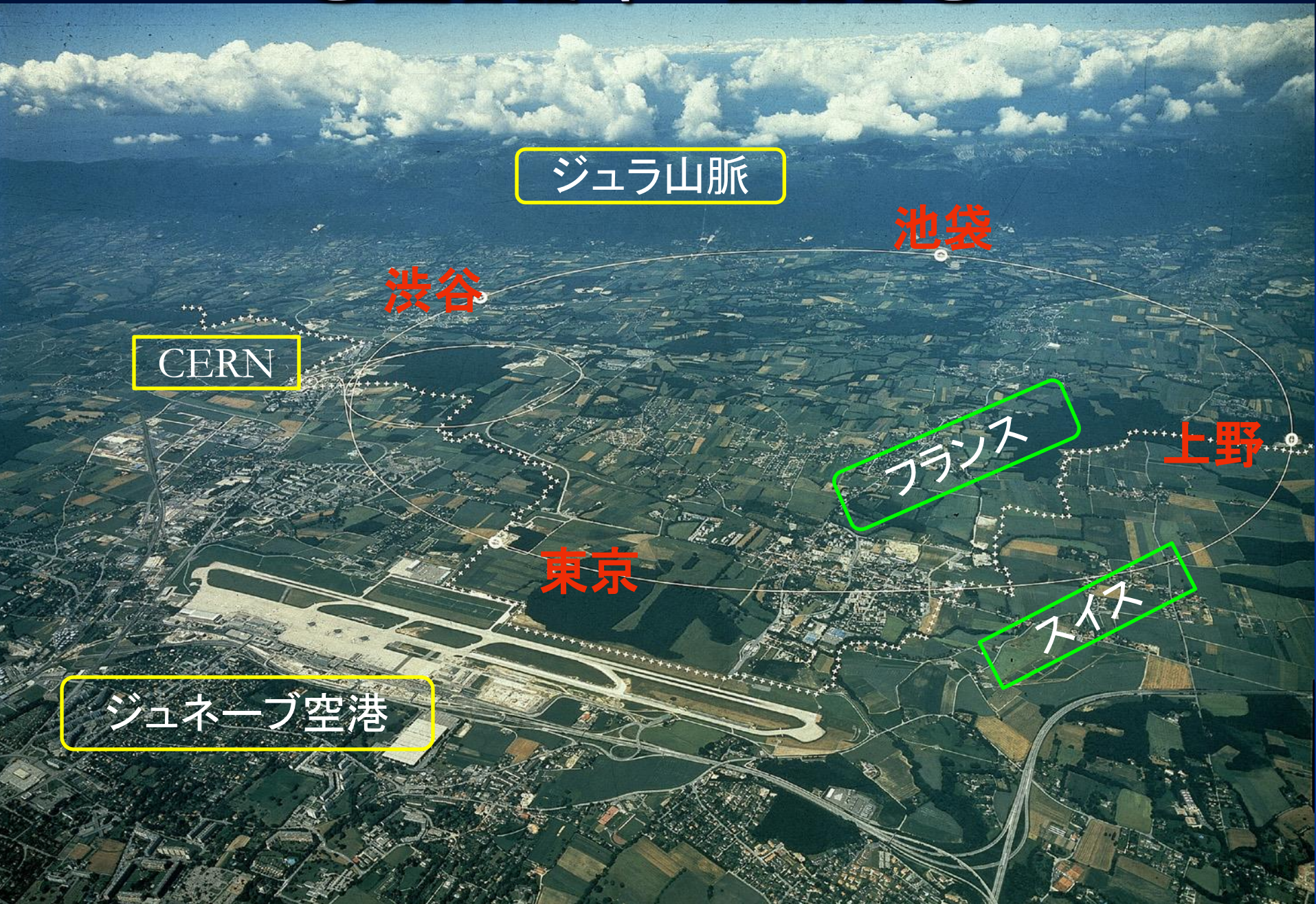
(1) 従来の加速器を用いた素粒子実験 (標的実験)



(2) コライダーでの素粒子実験



CERN LHC



ジュラ山脈

池袋

渋谷

CERN

フランス

上野

東京

スイス

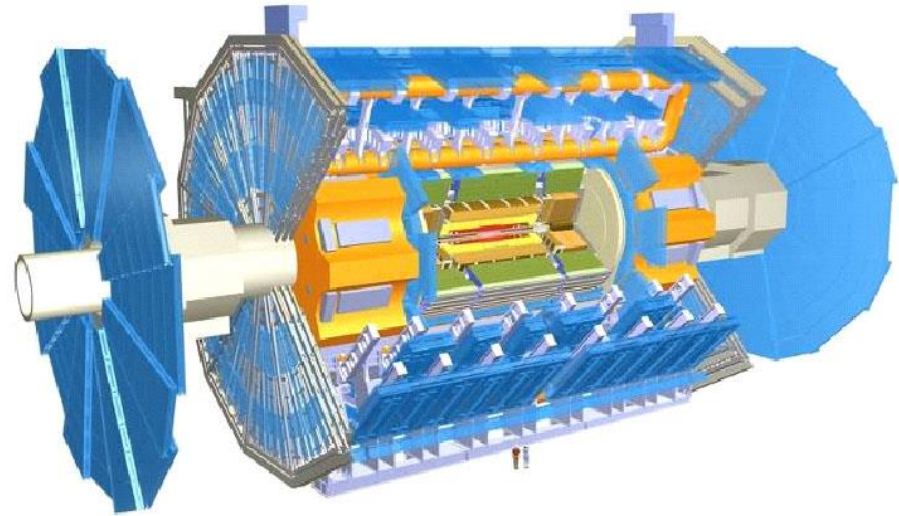
ジュネーブ空港

ATLAS実験測定器



- 直径 22m、長さ 44m、重さ 7000t
- 世界最大の超伝導トロイド磁石
- センサー数 1億チャンネル
- 37カ国、173の参加機関、 3000 ± 1000 の研究者による国際共同実験
- 日本グループ (15の大学・研究所、110名)

(A Toroidal LHC Apparatus)



アトラス測定器 (日本担当部分)



内部飛跡検出器(半導体検出器)



ミュオントリガー検出器の設置



石野京都大学准教授

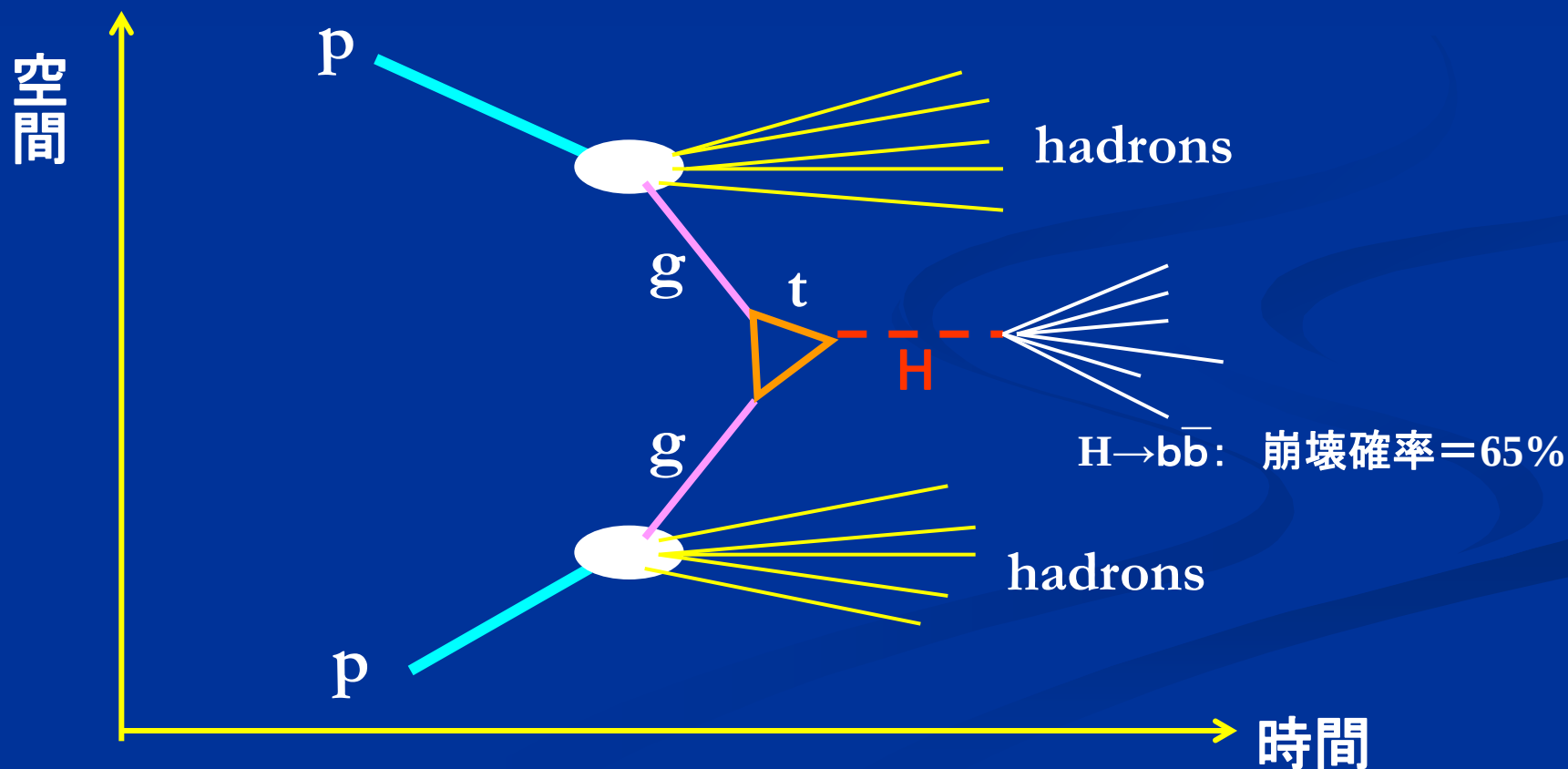
パキスタンの
テクニシャン

イスラエルの
エンジニア

ミュオントリガー検出器



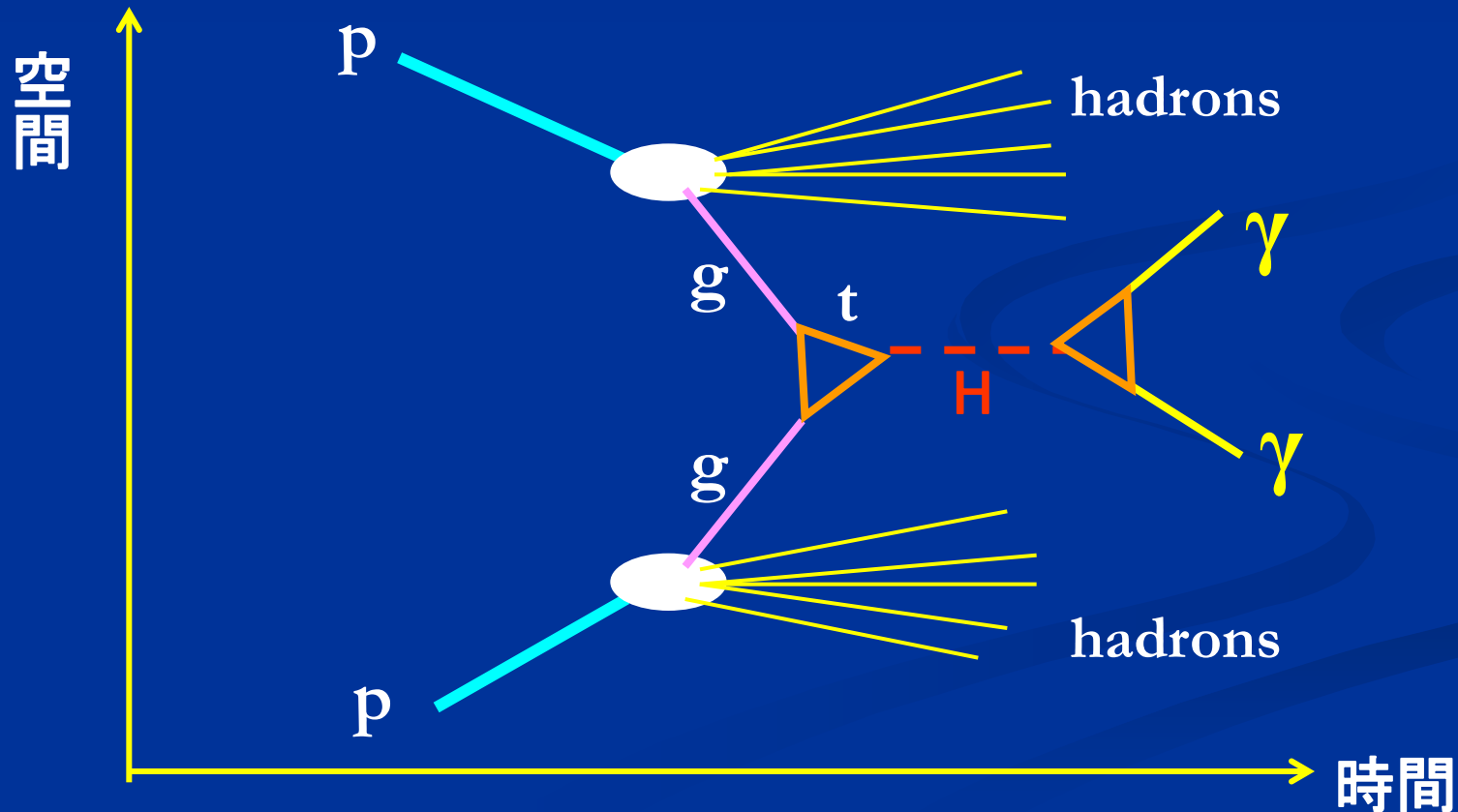
LHCでのヒッグス粒子の生成と崩壊



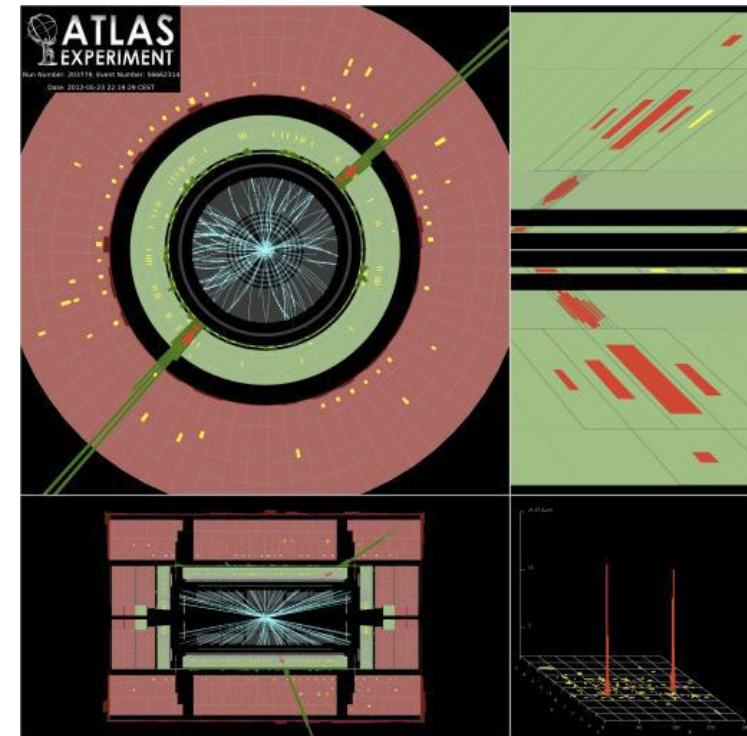
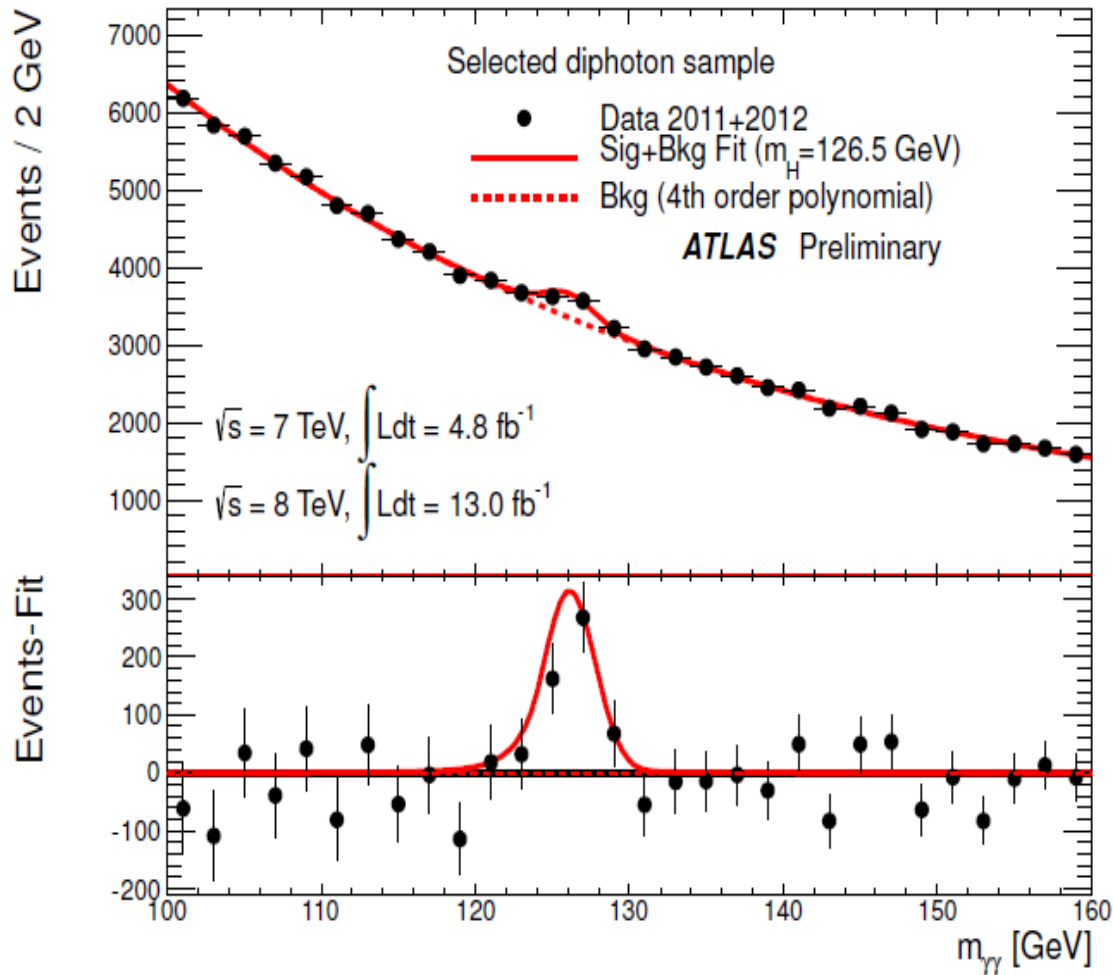
ヒッグス粒子が2つの光子への崩壊



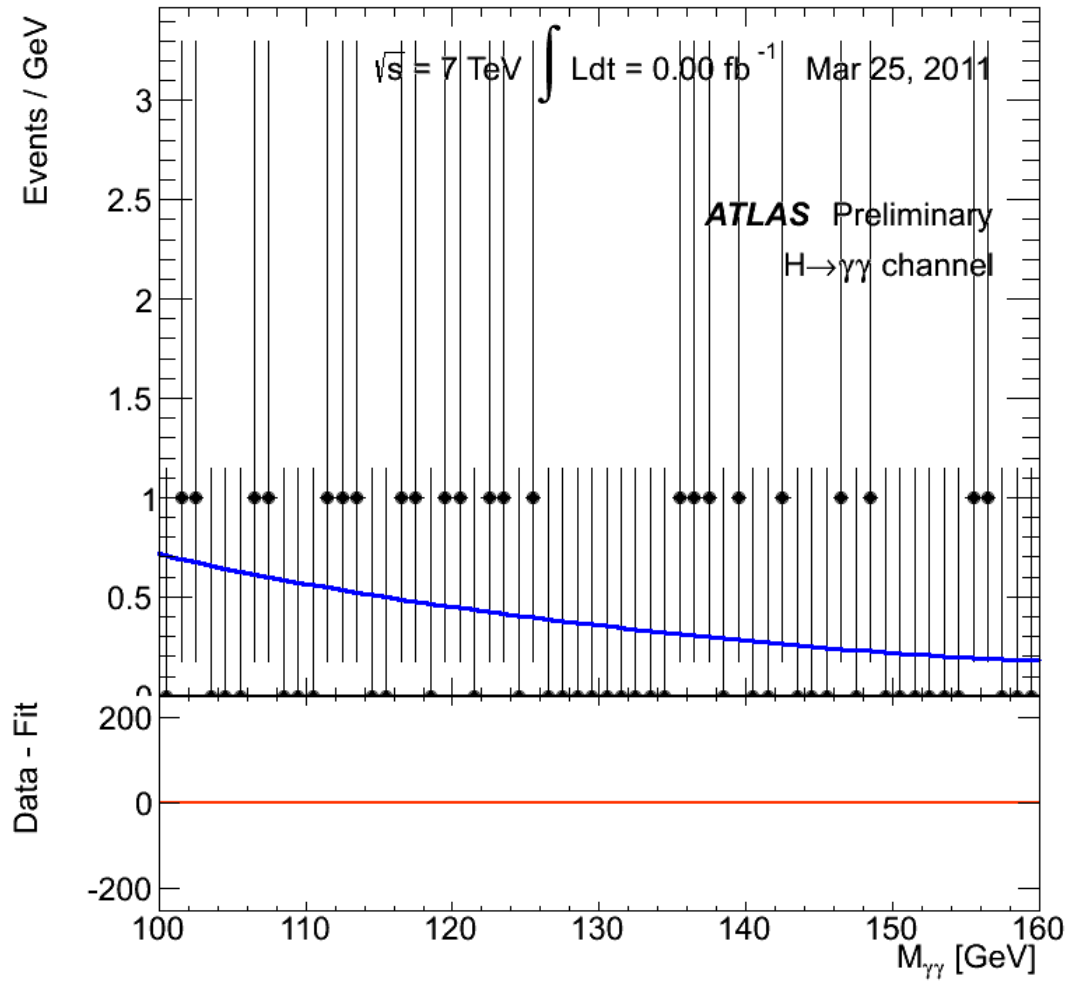
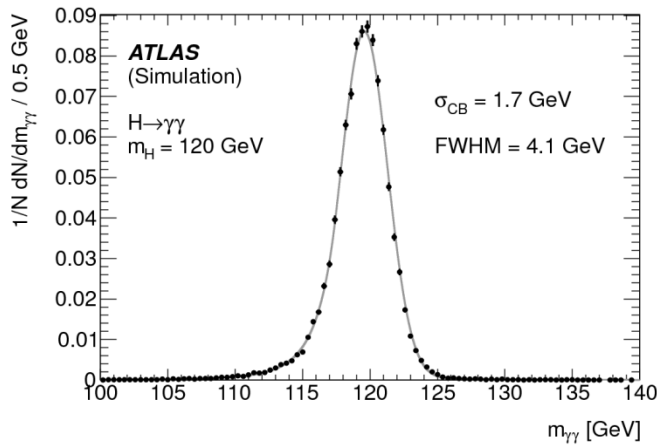
崩壊確率 2/1000



ヒッグス粒子探索(1) $H \rightarrow \gamma \gamma$



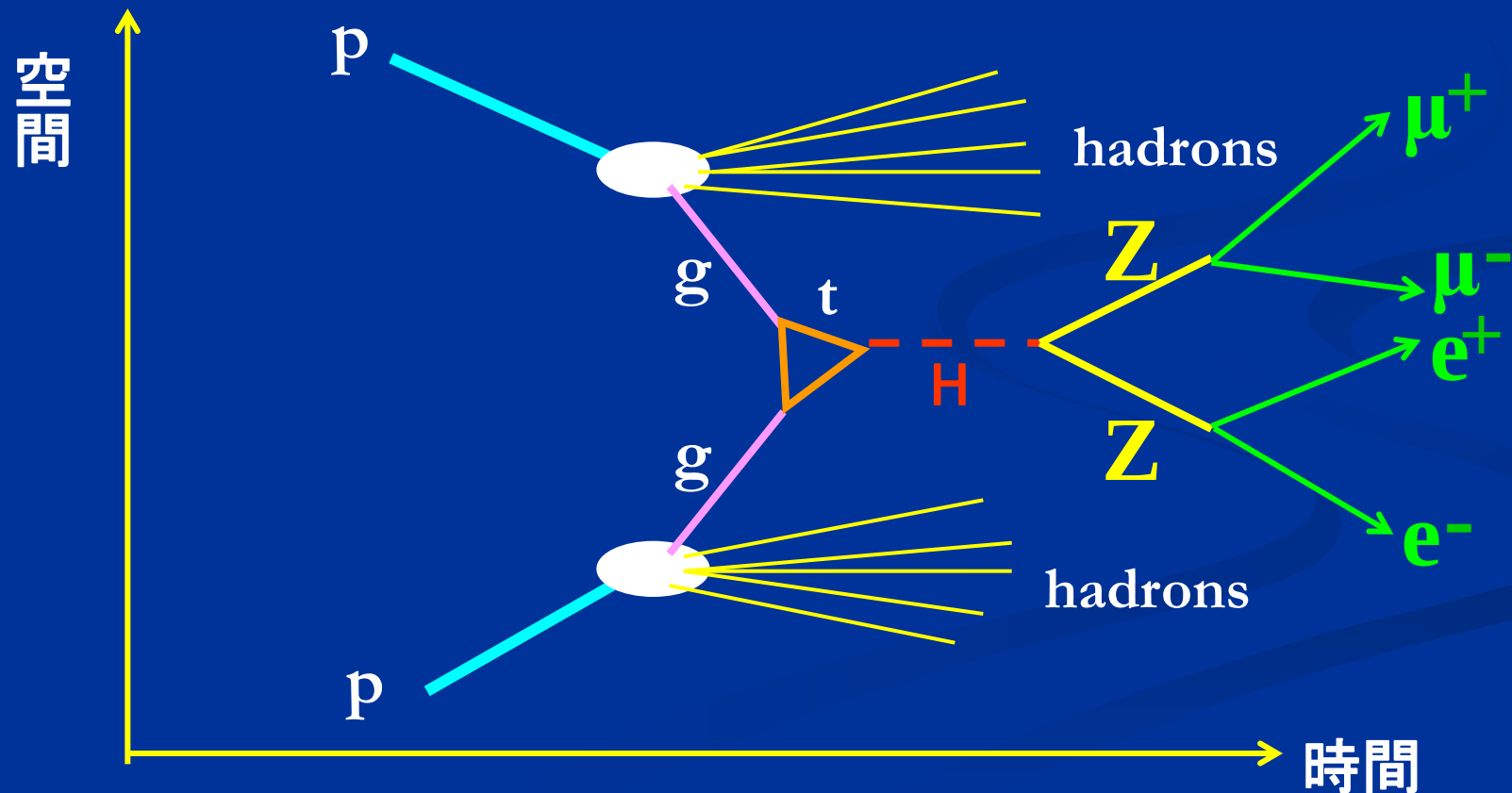
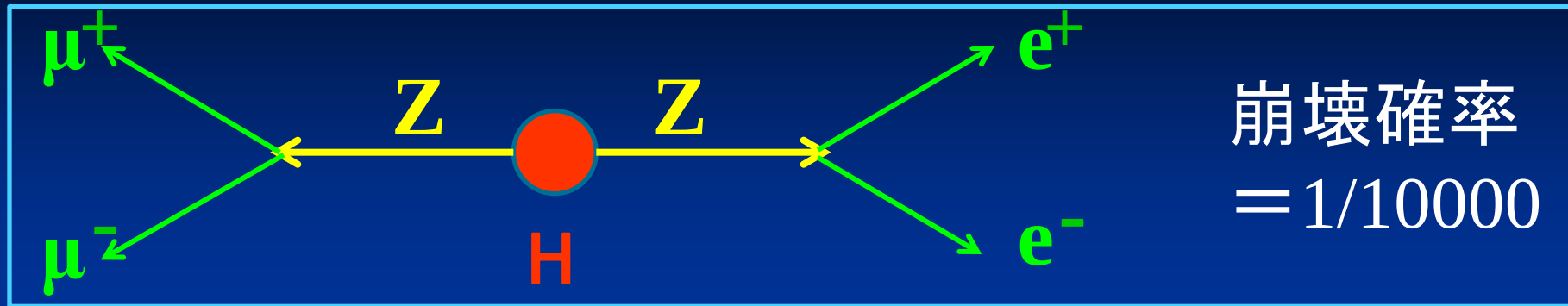
H $\rightarrow\gamma\gamma$ のシグナルの成長



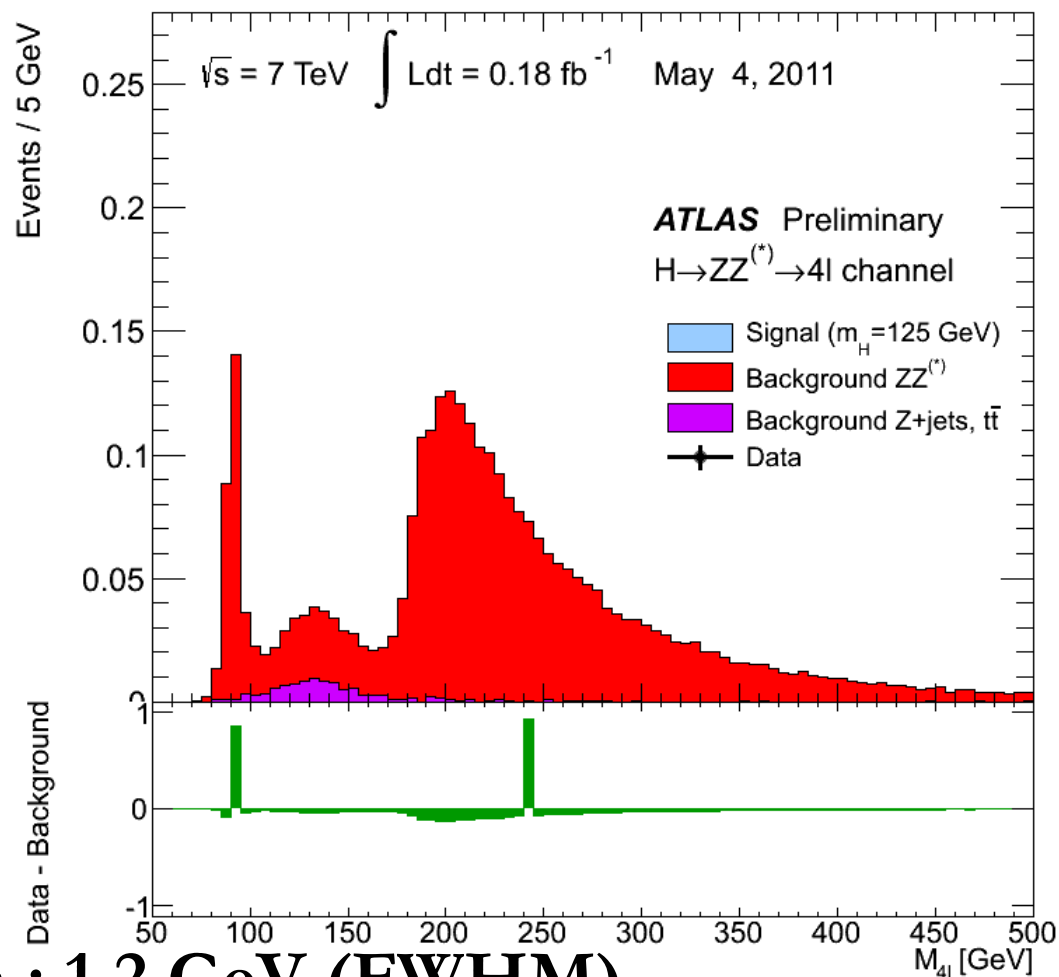
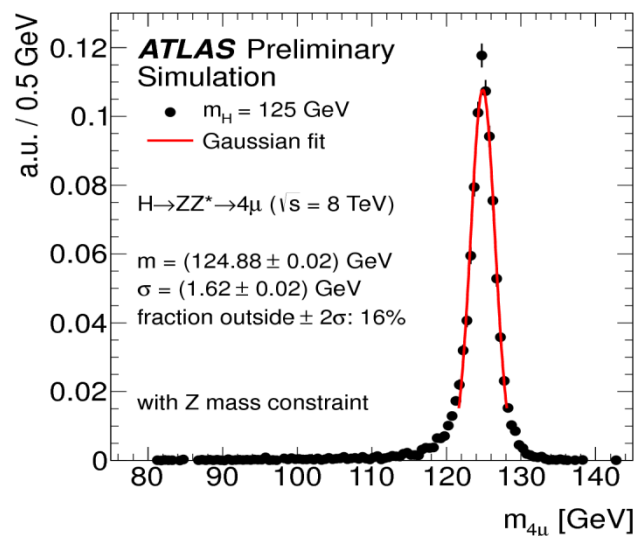
ATLAS mass resolution : 4.1 GeV (FWHM)

CMS mass resolution : 3.86 GeV

ヒッグス粒子が2つのZ粒子へ崩壊



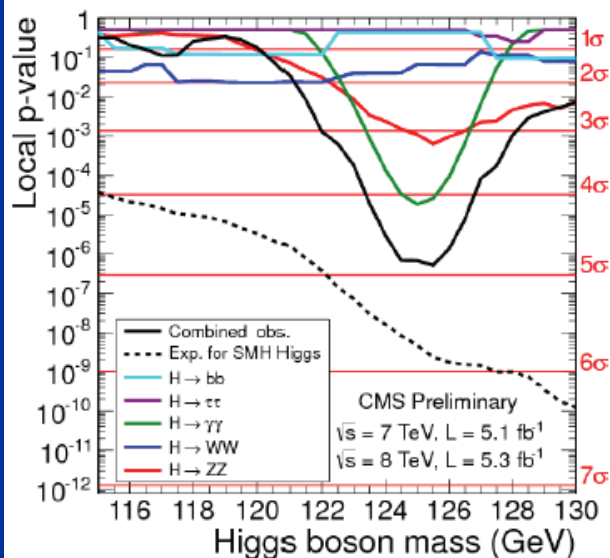
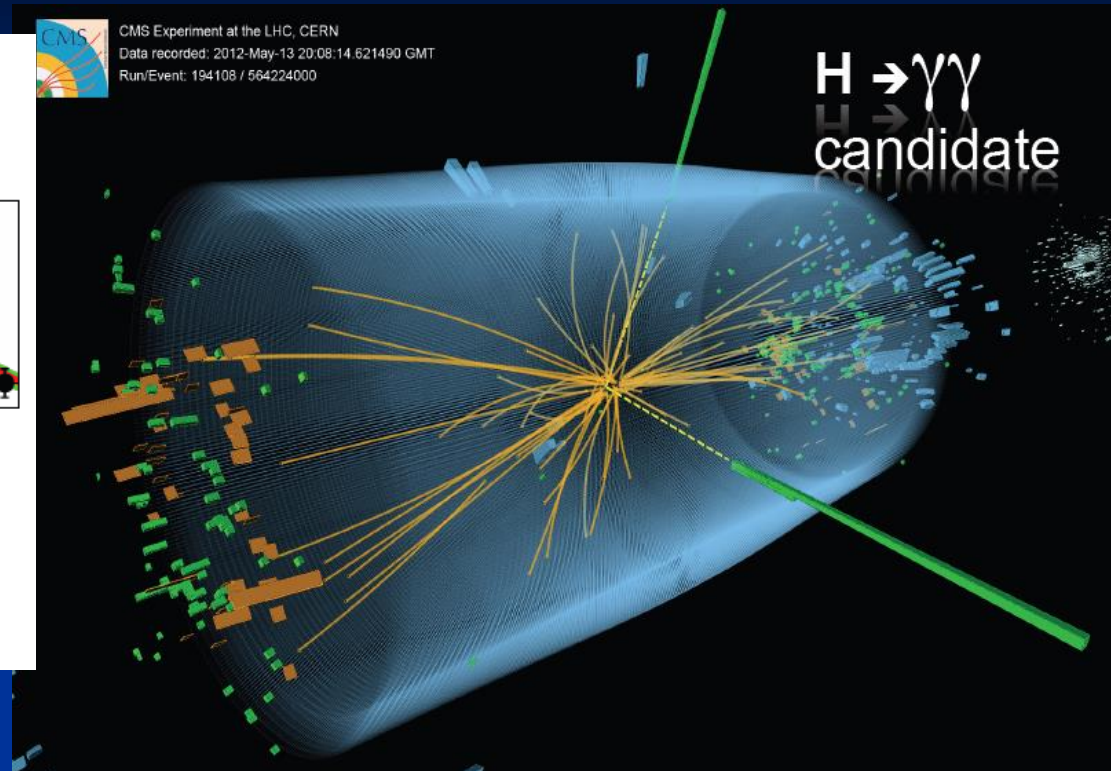
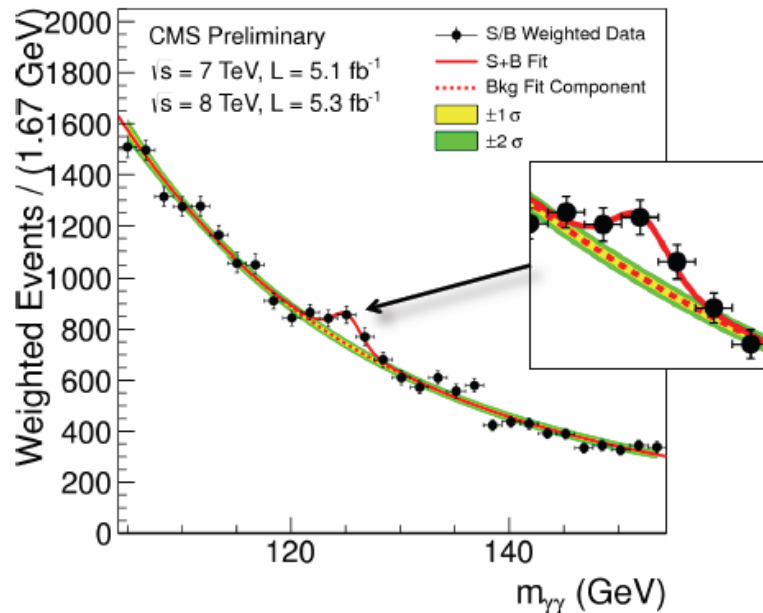
H $\rightarrow$ ZZ $\rightarrow$ 4 leptonsの信号の成長



ATLAS mass resolution : 1.2 GeV (FWHM)

CMS mass resolution : 1.62 GeV

CMS 実験によるヒッグス粒子の探索結果



all channels together:
comb. significance: **4.9 σ**

expected significance
for SM Higgs: **5.9 σ**

2つの実験で同じ質量に新粒子を発見

7月革命 ヒッグス粒子の発見



ヒッグスボゾン発見の意義

- クォークでもレプトンでもなく、ゲージ粒子でもない、**全く新しい種類**の粒子の発見
- 全ての素粒子はもともと質量はゼロ。**質量の起源が、真空(空間)の構造と関係がある**

特に電子が質量を獲得⇒原子構造⇒我々の存在

- ヒッグス粒子の質量自身を安定に保つ
⇒標準理論を超える超対称性などが必至
⇒ヒッグスの詳細研究は**重力も含めた新たな理論の窓**

このように人工的でご都合主義的な新粒子が本当に存在した ⇒ 人類の叡智の勝利

標準理論を超える

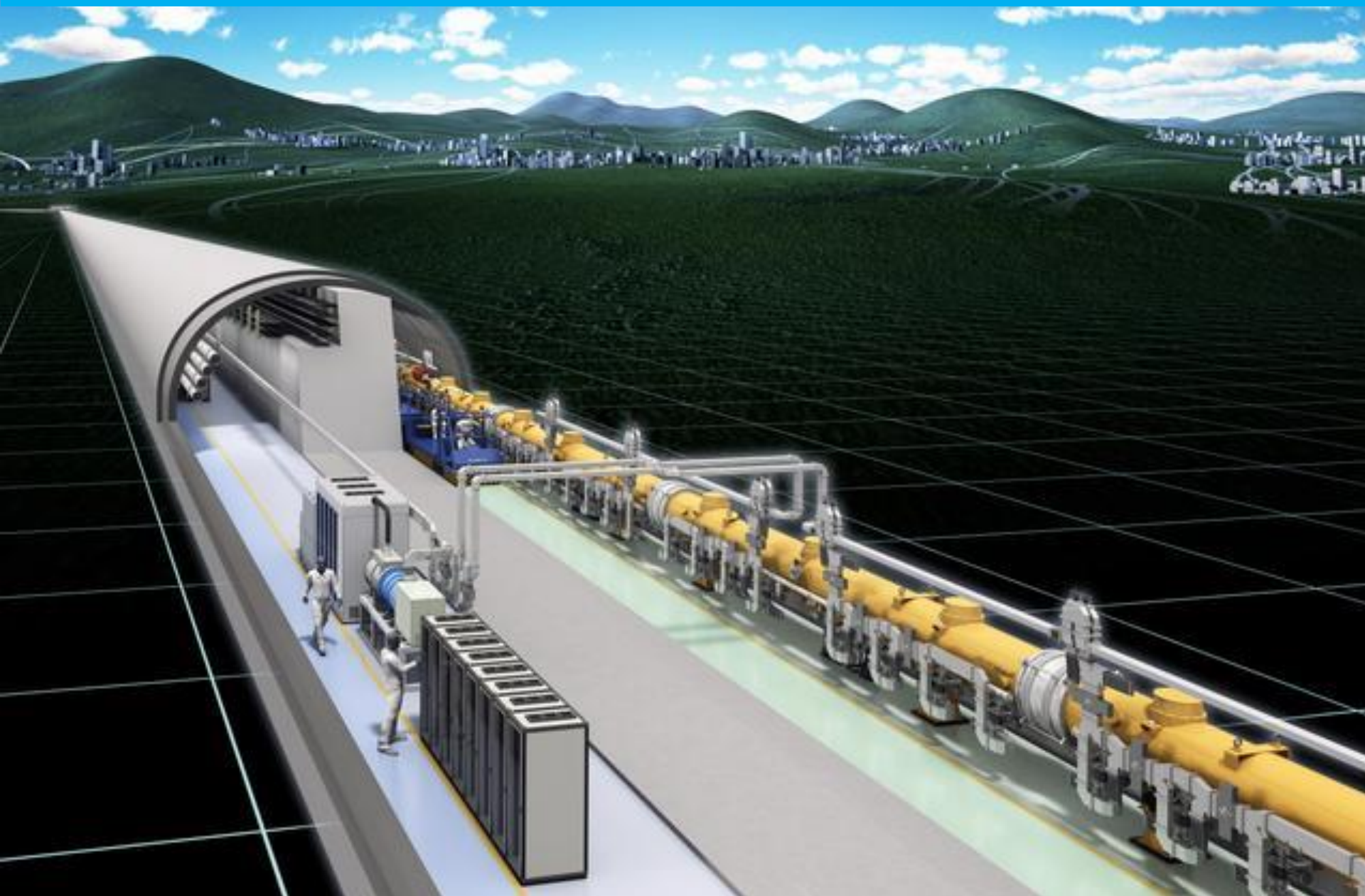
国際リニアコライダーILC

まだ解明されていないこと

- 素粒子の**質量の起源**はヒッグス粒子(真空の構造)か？
- 何故**3世代**のクォーク・レプトンがいてそれぞれの質量が異なるのか？(ニュートリノの質量は何故軽い？ トップクォークは何故重い？)
- 何故**4種類**の**力**があるのか？
いかにして**重力**を理論の枠組にいれられるか？
- なぜ**時空**は空間3次元、時間1次元か？
隠れた次元はあるのか？
- **暗黒物質**は？
- **暗黒エネルギー**は？
- **宇宙**はどのようにして生じたか？

エネルギーフロンティア加速器(LHC、ILC)
によって多くの謎が解明

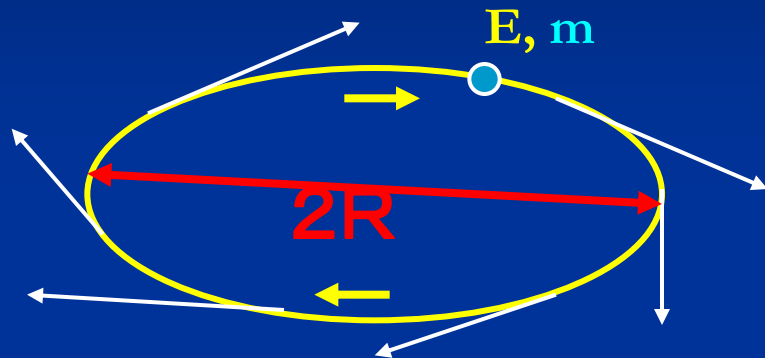
国際リニアコライダーILC



円形電子・陽電子コライダーの限界

反応は単純、実験は容易

しかし...



電子は磁場で曲げられると放射光を出してエネルギーを失う。

一周に失うエネルギー ΔE は

$$\Delta E \propto (E/m)^4 / R$$

E : 粒子のエネルギー

m : 粒子の質量 R : 半径

ローン破産の状態

エネルギー欠損を補ってより高いエネルギーを得たい

(1) 重い粒子を回す (陽子質量/電子質量=1800) $\Rightarrow$ LHC

(2) R を大きくする $\Rightarrow$ LEP(周囲27km)が限界

電子・陽電子リニアコライダー

放射光のエネルギー欠損を補ってより高いエネルギーを得たい

R を大きくする $\Rightarrow R=\infty$ にしてしまえ !

放射光の出ない線形加速器（リニアコライダー）



一方から電子、他方から陽電子を加速して正面衝突

高加速勾配 $\Rightarrow$ 短い加速器 $\Rightarrow$ 建設予算削減

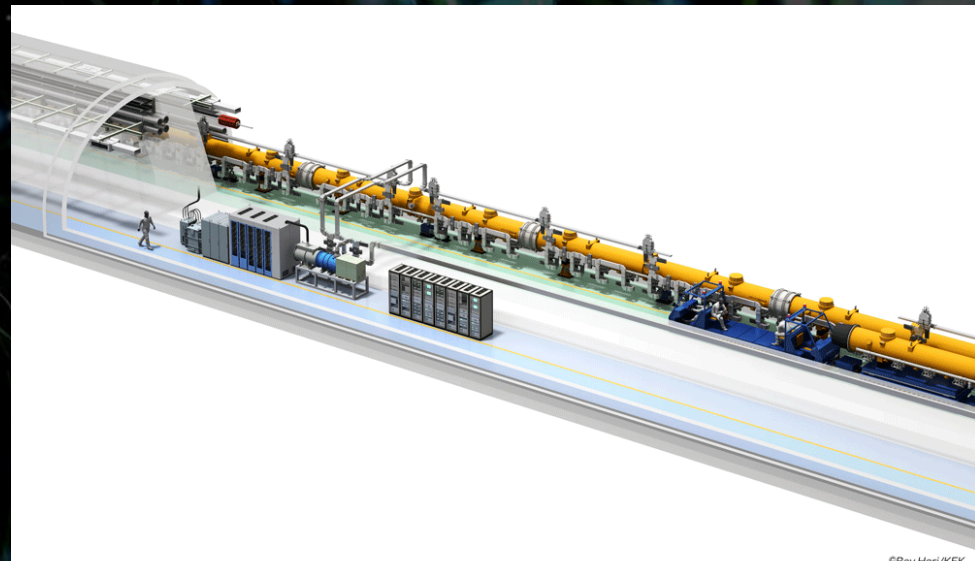
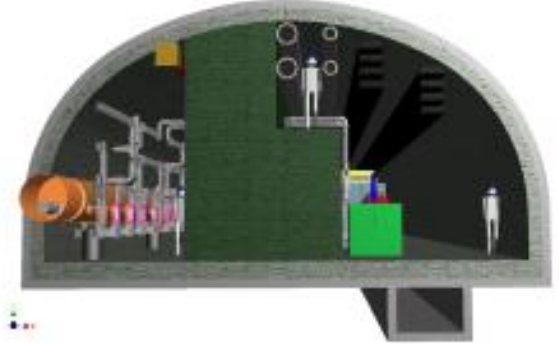
ビーム絞り込む $\Rightarrow$ 衝突頻度増大 $\Rightarrow$ 運転費削減

LEP/LHC加速器を伸ばしたくらいの長さ

International Linear Collider ILC

世界の次期加速器基幹計画。
合計約30km の長さの超伝導直線加速器を地下に設置し、電子と陽電子を正面衝突させ、宇宙開闢約1兆分の1秒の世界を一瞬作って研究する。
特に、ヒッグス粒子の性質の詳細研究、トップクォーク、宇宙の暗黒物質を作っている粒子、...などを研究する。

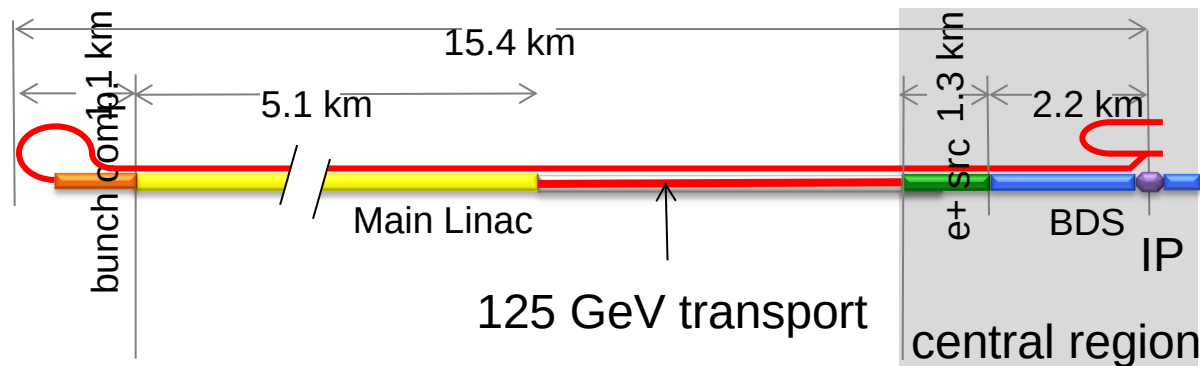
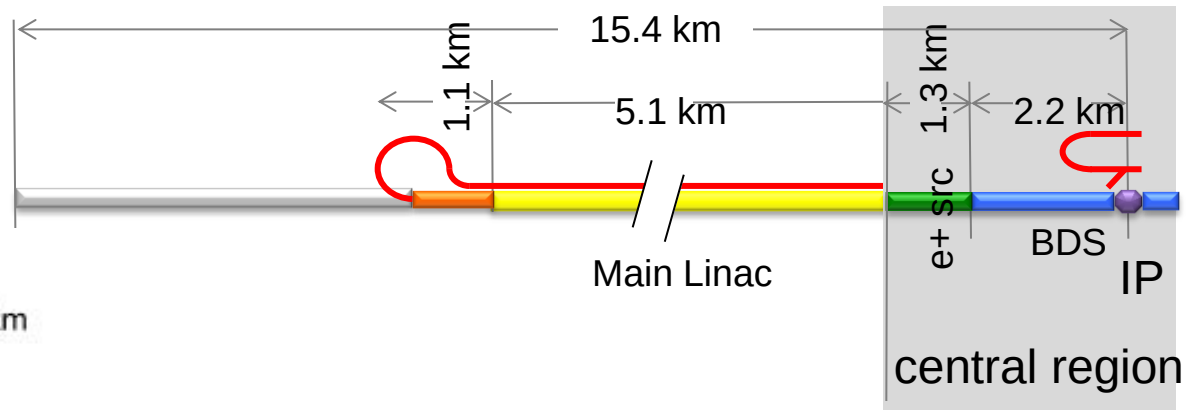
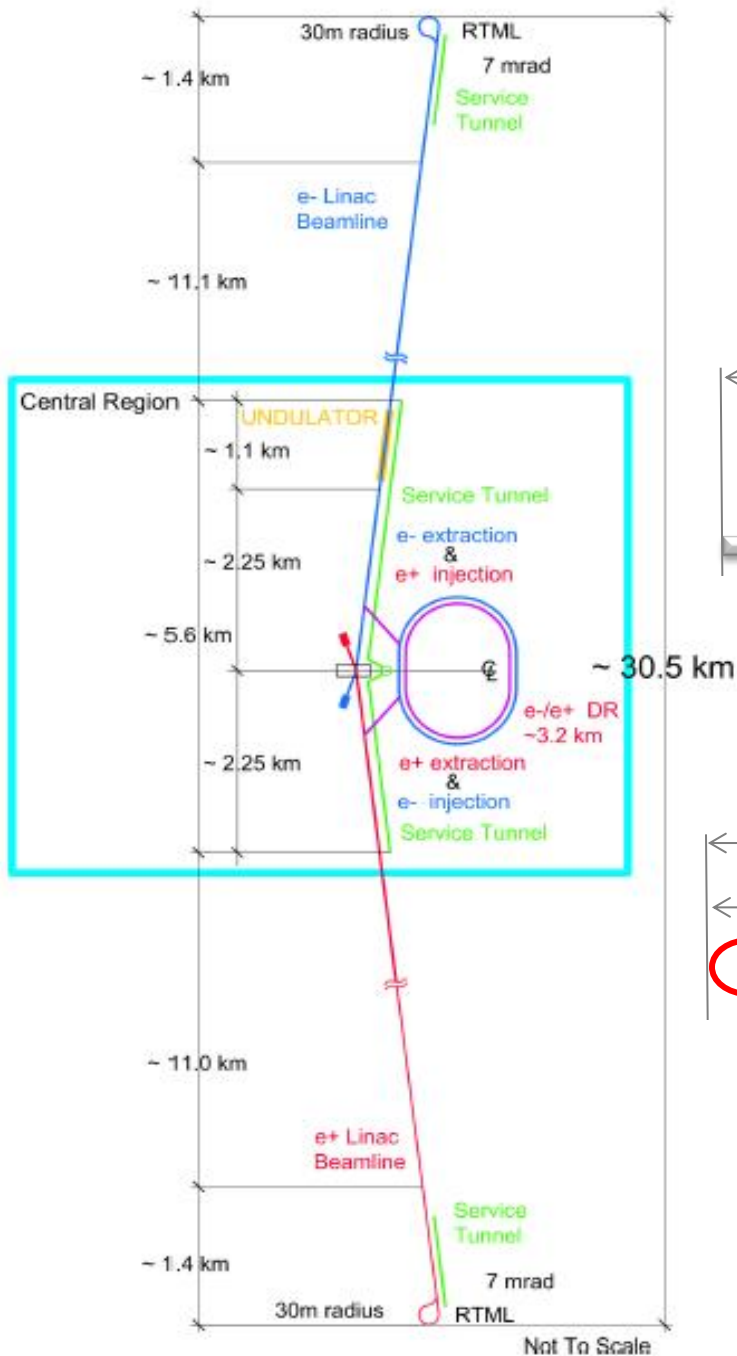
山岳サイトでのトンネルのデザイン



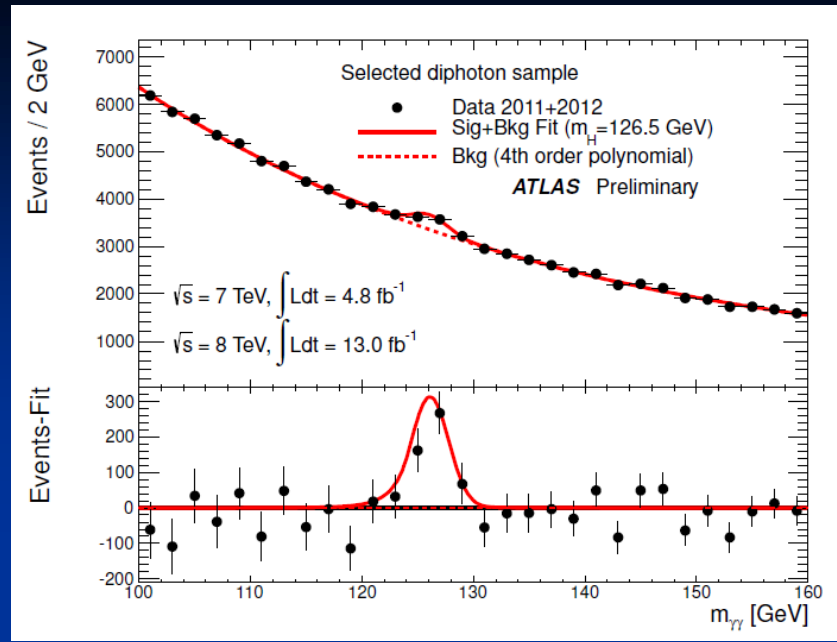
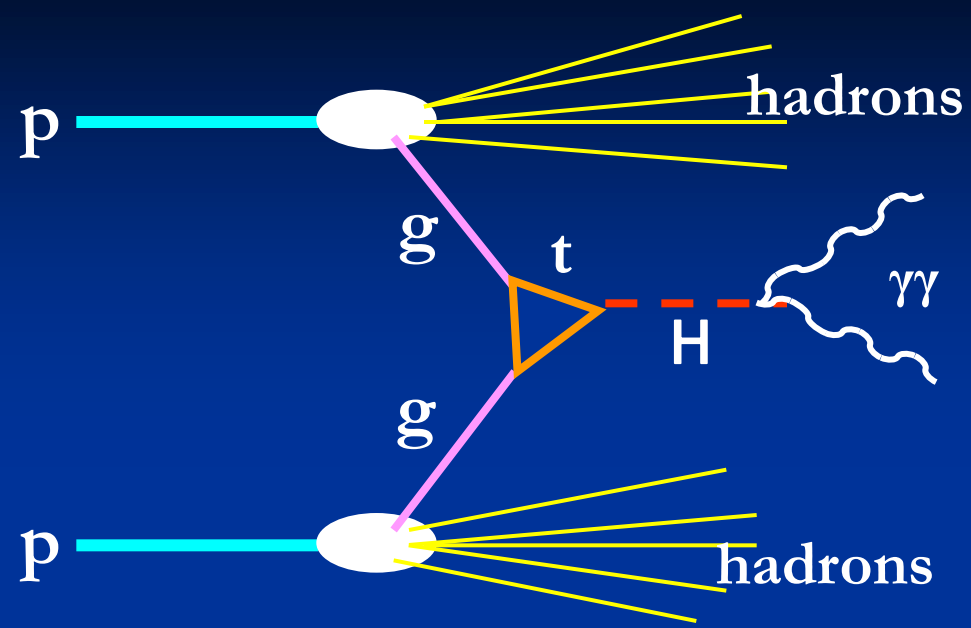
リニアコライダーの長所は

(1) 放射光(シンクロトン放射)によるエネルギー欠損がない

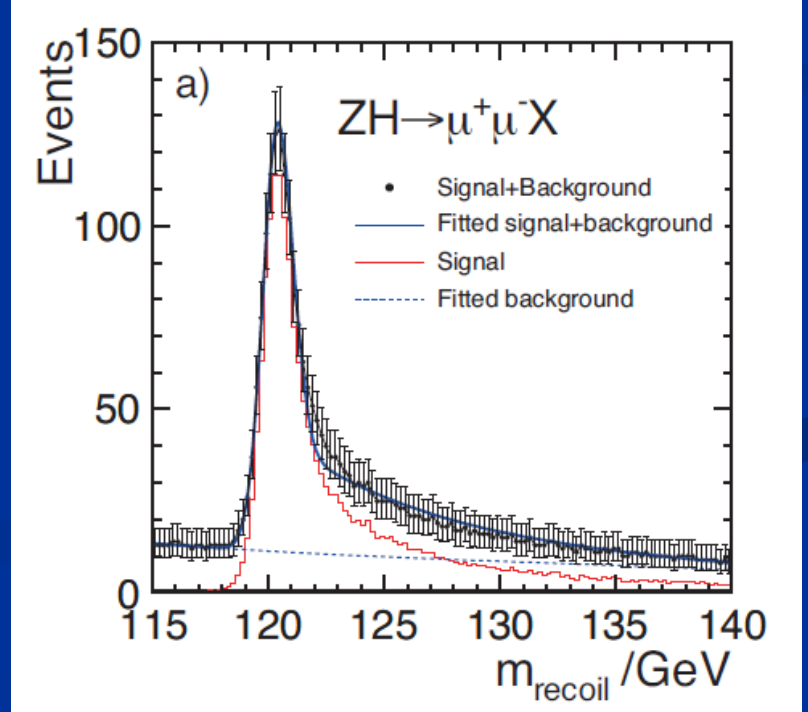
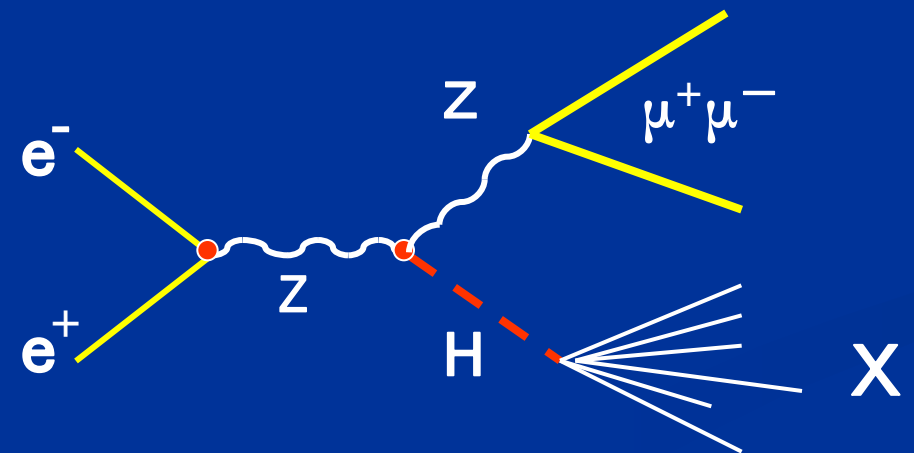
(2) 拡張可能性 (長さ ⇒ エネルギー)



LHC $H \rightarrow \gamma\gamma$ 質量分布



ILC $\mu^+\mu^-$ の反跳質量分布



ILCでのヒッグス粒子の研究

ILC は 先ずはヒッグス・ファクトリー

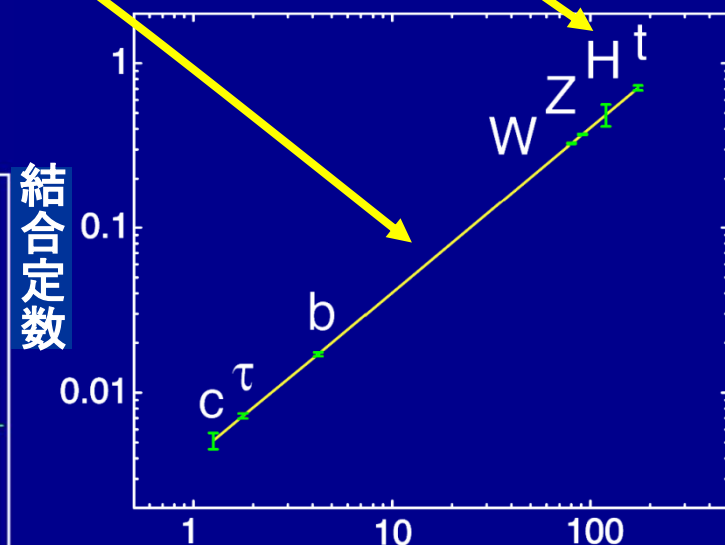
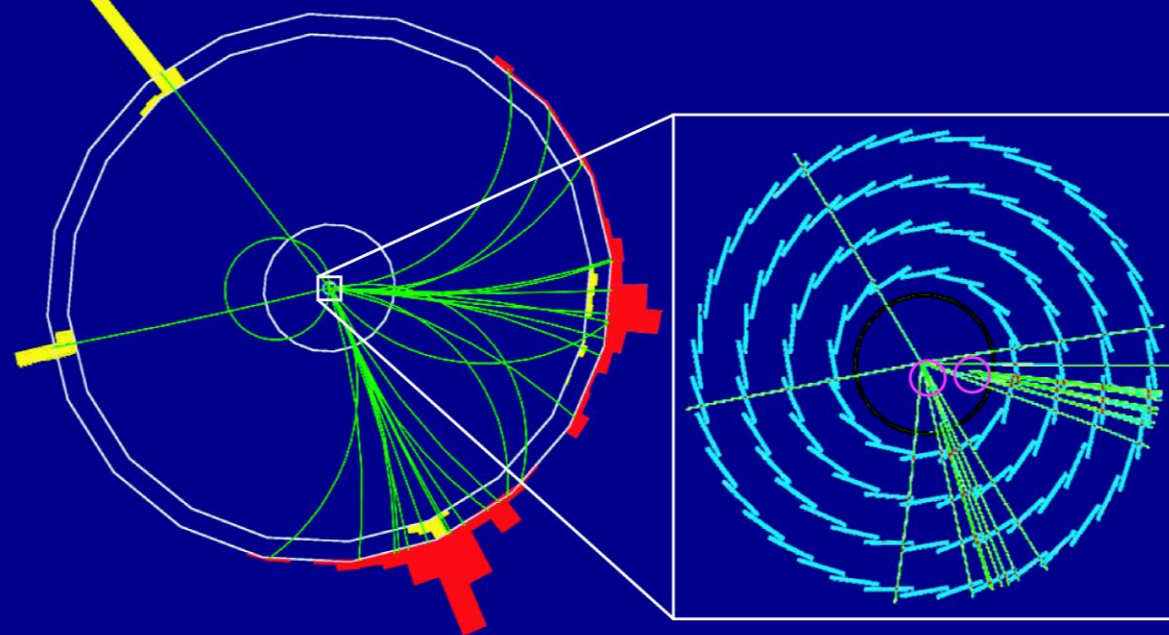
$O(10^5)$ 個の事象を 生成して徹底的に研究

質量の起源

「真空」の構造

$$M(\text{素粒子}) = g(\text{結合定数}) v(\text{真空期待値})$$

$$e^+e^- \rightarrow Z^0 H^0 \rightarrow e^+ e^- + b\bar{b}$$

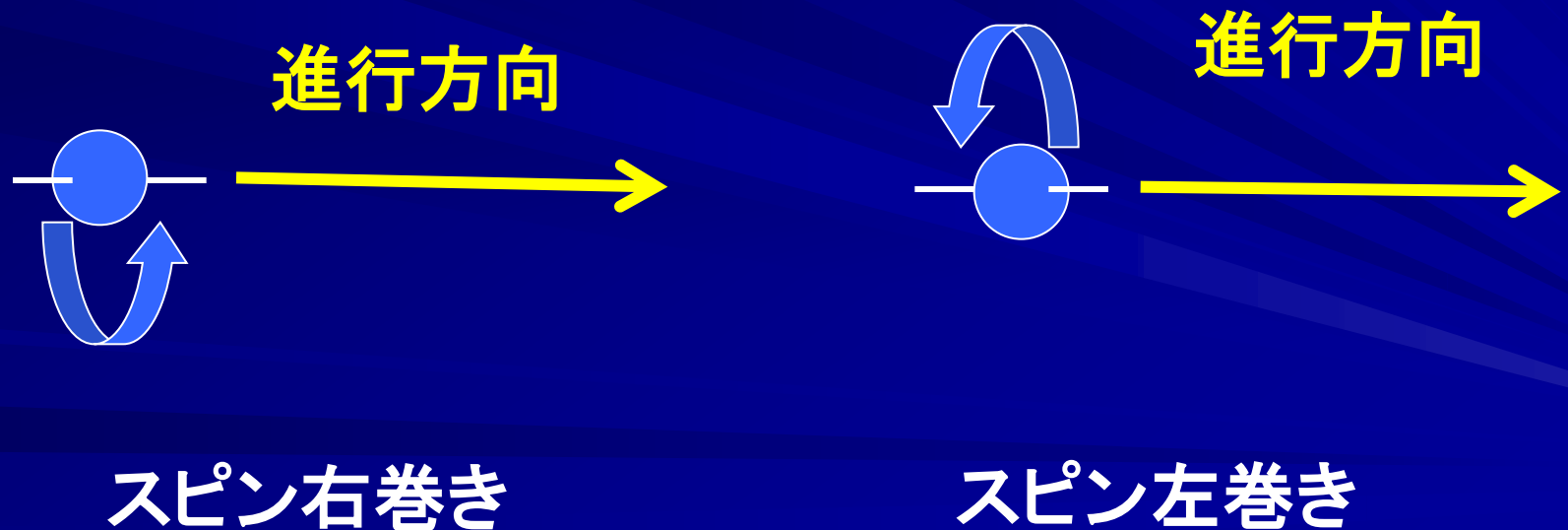


質量[GeV]

ILCの重要な要素

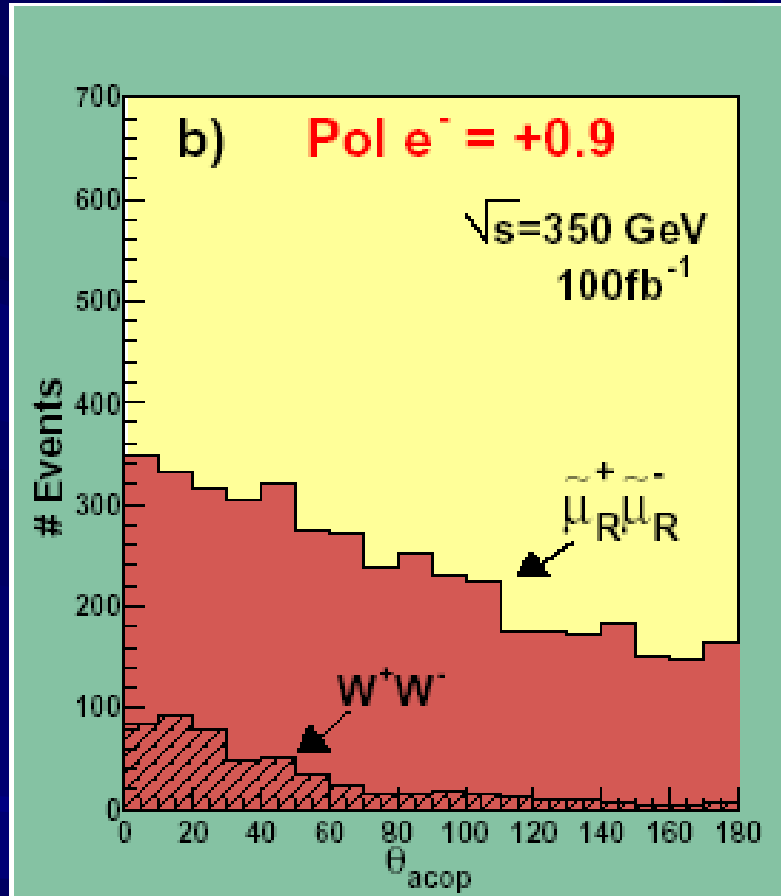
電子ビームのスピンの偏極

電子ビームの電子のスピンの方向をビームに平行(右巻き)、反平行(左巻き)にできる。

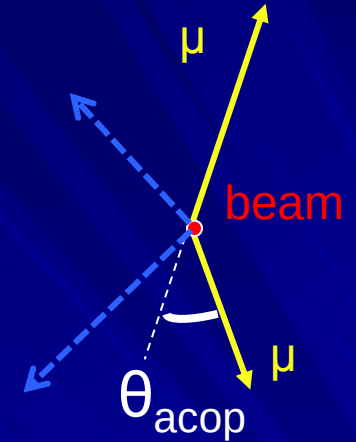
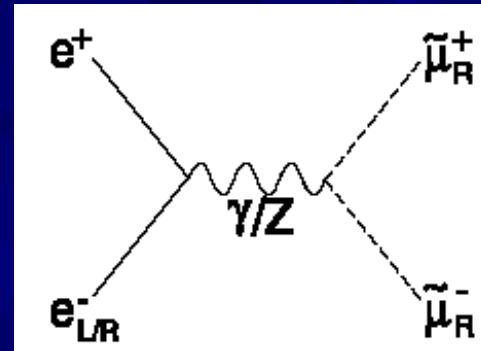


ILCでの電子スピン偏極の威力 暗黒物質の精査

例: 超対称性ミュー粒子

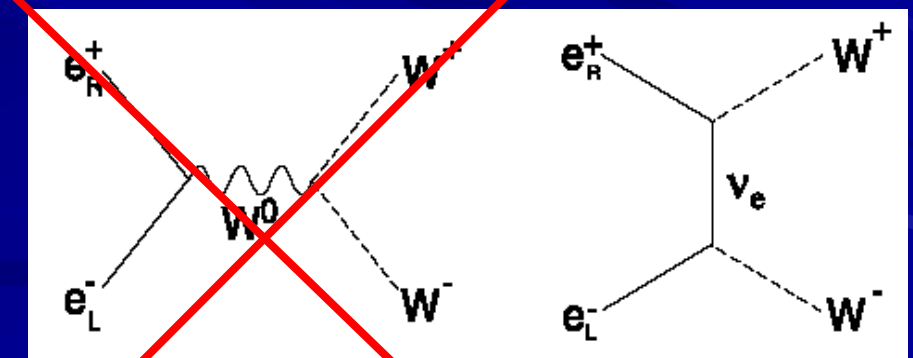


スピン偏極 (90% e^-_R)



$\tilde{\mu}_R$

暗黒物質



~~バックグラウンド~~

シグナル

近頃の動き

2012年 3月 将来計画検討小委員会答申 森委員長

6月 ILC戦略会議を結成 山下議長

7月 「Higgs粒子」がLHCで発見

10月 「ILCを日本がホストしHiggs factoryから
段階的推進する案」拡大高エネルギー委員会で承認

12月 Technical Design Report (TDR)が完成

2013年2月 ICFAの元でLinear Collider Board (LCB)が創られ、
Linear Collider Collaboration (LCC) が正式に
組織される (Director : Lyn Evans, Deputy : 村山 齊)



6月12日 Reviewを経てTDRを発表（東京、ジュネーブ、シカゴ）

2012年7月の「ヒッグス粒子」の発見やILCの技術設計書の2012年内完成を踏まえて、日本物理学会の研究者会議総会、高エネルギー委員会での議論を通して、「拡大高エネルギー委員会」(各研究機関から参加)を開催して広く議論した結果、提言を出すことを決定した。

「ILCを国際コミュニティの同意と各国の参画を得たグローバル・プロジェクトとして以下のシナリオで日本に建設する」
ことを提案する。

(1) 物理研究はヒッグス粒子の精密測定で開始し、加速器をアップグレードすることによって、トップクォーク、ダークマター粒子、ヒッグス自己結合の研究へと展開する。具体的なシナリオは以下のとおりである。

(A) 第一期として $E_{cm} \sim 250$ GeV のヒッグスファクトリーをまず建設する。

(B) $E_{cm} \sim 500$ GeV まで加速器を段階的に増強する。500 GeVまでを全体プロジェクトとする。

(C) 1 TeV 領域への技術的拡張可能性は確保する。

(2) 建設経費の分担に関しては、日本は500GeVまでの全体プロジェクトの経費(建設費分)のうち50%とする分担をガイドラインとするが、建設費分担は政府間交渉に委ねるべきことである。

アジアもヨーロッパもアメリカも日本にILCが
建設され参加することを強く希望している

Asia ACFA

Chair: Mitsuaki Nozaki (KEK)

AsiaHEP/ACFA welcomes the proposal by the Japanese HEP community for the ILC to be hosted in Japan. AsiaHEP/ACFA looks forward to a proposal from the Japanese Government to initiate the ILC project.

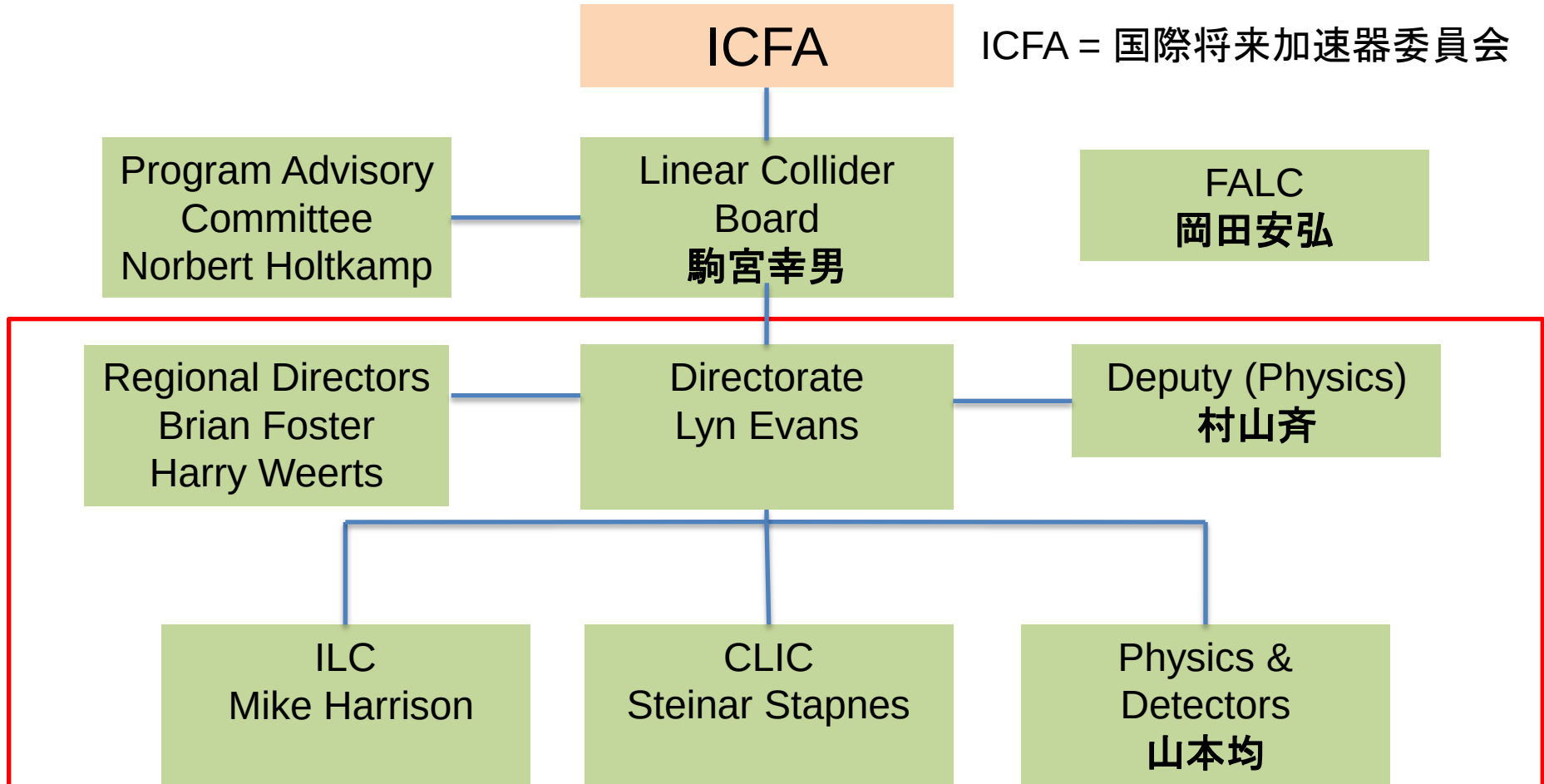
European Strategy (CERN council)

e) There is a strong scientific case for an electron-positron collider, complementary to the LHC, that can study the properties of the Higgs boson and other particles with unprecedented precision and whose energy can be upgraded. The Technical Design Report of the International Linear Collider (ILC) has been completed, with large European participation. The initiative from the Japanese particle physics community to host the ILC in Japan is most welcome, and European groups are eager to participate. *Europe looks forward to a proposal from Japan to discuss a possible participation.*

US Participation in Japanese Hosted ILC

- Science drives the need for e^+e^- collider
 - ILC addresses absolutely central physics questions and is complementary to the LHC
 - Japanese hosted ILC could be under construction before 2024
- Parameters of a potential US contribution are not known and depend on international agreements
 - The US has made substantial contributions to detector and accelerator development through the global effort
 - Should an agreement be reached, the US particle physics community would be eager to participate in both the accelerator and detector construction

リニアコライダー推進の国際的な新組織



LCC = Linear Collider Collaboration

The Next Step

- 技術設計フェーズから実際の建設を目指し、サイトを特定した**工学設計フェーズ**へ移行する

（加速器と測定器の双方に関して）

- 本国際プロジェクトの**広報活動**を強化する

各政府と共に

- **サイトとホスト国**を確立する
- **ILC研究所の運営組織**の形態を確立する
- **国際交渉**（コスト分担など）

産学官連携

2008年7月31日 リニアコライダー国際研究所
建設推進議員連盟(超党派議員連盟)の発足

発起人

大畠章宏、尾身幸次、亀井郁夫、河村建夫
斎藤鉄夫、高木義明、田村憲久、内藤正光
野田佳彦、鳩山由紀夫、日森文尋、保利耕輔
森 英介、与謝野馨、吉井英勝



設立時役員(2008年7月～)

会長 与謝野馨
会長代理 鳩山由紀夫
幹事長 河村建夫、野田佳彦
事務局長 田村憲久、内藤正光



新役員(2011年10月～)

最高顧問 与謝野馨
会長 鳩山由紀夫
会長代行 河村建夫
幹事長 川端達夫
幹事長代行 塩谷立
副会長 斎藤鉄夫、他
事務局総長 田村憲久
事務局長 津村啓介
事務局次長 階毅

2月1日議員連盟は新たな組織に

産学連携:先端加速器科学技術推進協議会(AAA) (2008年6月設立)

会員数 一般会員 85社(三菱重工業、東芝、日立製作所、三菱電機、京セラ 他)
特別会員 38機関(高エネルギー加速器研究機構、東京大学、京都大学、
理化学研究所、原子力研究開発機構、放医研、他) 平成23年12月時点

最高顧問 与謝野 馨
名誉会長 小柴 昌俊
会 長 西岡 喬(三菱重工業)
理 事 鈴木 厚人(高エネルギー加速器研究機構)
" 丸 彰(日立製作所)、中谷 義昭(三菱電機)
" 五十嵐 安治(東芝)、野田 章(京都大学)
" 南 慶二郎(京セラ)
監 事 駒宮 幸男(東京大学)

協議会ホームページ
<http://aaa-sentan.org>



2011年12月先端加速器シンポジウムに



2013/3/27 LCC Director Lyn Evans 安倍首相と会見

政治



これはイメージ図であり、
下の議論とは直接関係
ありません

国民の理解がなければ到底出来ない。基礎科学よりも、むしろ福祉、教育、赤字財政の再建...に予算を使うべきという意見が当然ある。

米国の巨大加速器を建設中のフェルミ研究所に米国の議員が来て質問した：

「このような装置は**国家の防衛**にどのように役に立つのか？」

当時の所長ウイルソン氏、答えて曰く：

「基礎科学に対する投資は、直接防衛には役立ちませんが、わが国を尊敬される**品格のある防衛**するに値する**国家**にすることが出来ると考えます」

短絡すると... 「**国家の品格は素粒子物理の研究から**」

Nash 均衡 (Nash Equilibrium)

「KEKサマーチャレンジ」
の「徳育教育」より

ミクロ経済学やゲームの理論で、ある均衡から脱しようとする
と、誰かが必ず損をするので、その均衡から脱することが
困難になる。悪い均衡(ドツボ)から脱せない場合がある。

例：労働者・企業家間の関係
(労働者の利得、企業家の利得)

労働者 企業家	まじめに働く	サボる
高賃金	(10、10)	(15、－1)
低賃金	(－1、15)	(1、1)

どちらかが裏切ると 労働者：サボる 企業家：低賃金と
いうドツボに落ちてしまう

Nash 均衡に陥らないためには

お互いに信頼して裏切らないことが重要(組織原理を守る)

例えば、研究者集団と政府の関係:

研究者が自分たちの既成学問や現行プロジェクトの予算確保だけに汲々として、政府の介入を嫌う。

政府はそのような「学者村」の偏狭さを非難、予算を削減

⇒ Nash均衡に陥る

研究者と政府が信頼関係を構築して、国の利益となるように振る舞うことが重要。

お互いに馴れ合うだけでは皮相的な信頼関係しか生まれない。信頼関係は厳しい議論を戦わせていく中で醸成されていくものである。 大きな国際共同実験も同様。

経済・産業

宇宙や素粒子研究のもたらした技術

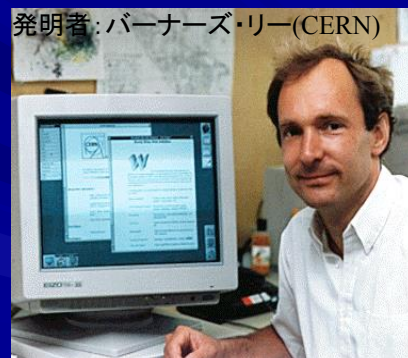
アインシュタインの「一般相対性原理」を証明する実験のために
正確な原子時計を作った

⇒ GPSが可能となった（カーナビ、スマホの地図）

CERNで研究者がコンピュータの介して情報やデータをやりとり

⇒ CERNでのWorld-Wide-Web(WWW)の発明

⇒ インターネット 情報化社会 携帯電話



CERN

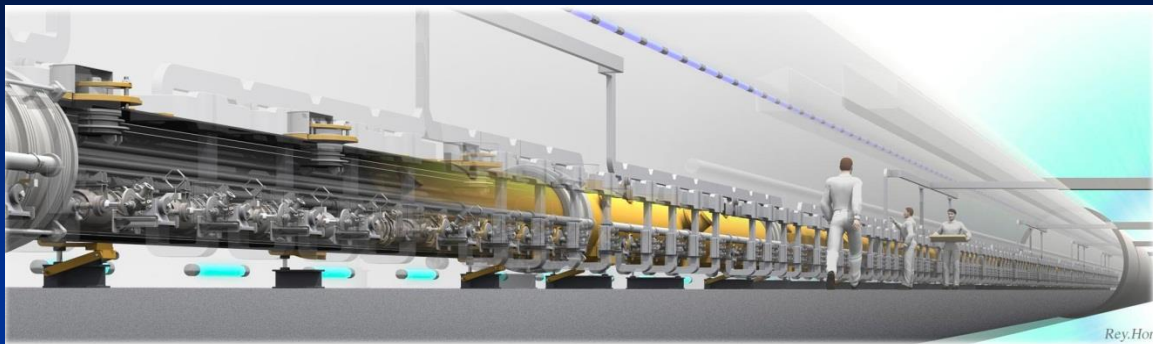
素粒子の実験に使う加速器技術

⇒ 医療用の加速器(癌の治療)、滅菌用の電子加速器、

超伝導技術(超伝導磁石、リニアモーターカー)、...

国際リニアコライダーILC

我が国にとってここ
2～3年はホストとなる
千載一遇のチャンスが
ある理由:



- 1) Higgs粒子の発見
 - 2) ILCの技術設計書完成⇒審査⇒公開
 - 3) CERNはLHC で多忙
国際コミュニティのサポート
 - 4) 国内の政界・産業界のサポート体制
 - 5) 二候補地の立地調査⇒北上山地
 - 6) 素粒子実験コミュニティの合意
普段は喧嘩しているがまとまるときは
大同団結する
- 日本に対して世界的な期待がある



Quest for Birth-Evolution of Universe

International Linear Collider (ILC)

Quest for Unifying Matter and Force

KEK機構長の鈴木厚人先生は外国でもこの汚らしいスライドを好んでお見せになっています

Lepton CP Asymmetry

2008年KEK
ロードマップより

Scientific Activities
Technology Innovation
Encouraging Human Resources

Beyond Standard Physics

Super-KEKB

KEK-B

Quark CP Asymmetry

LHC

Lepton

[Origin of Matter]

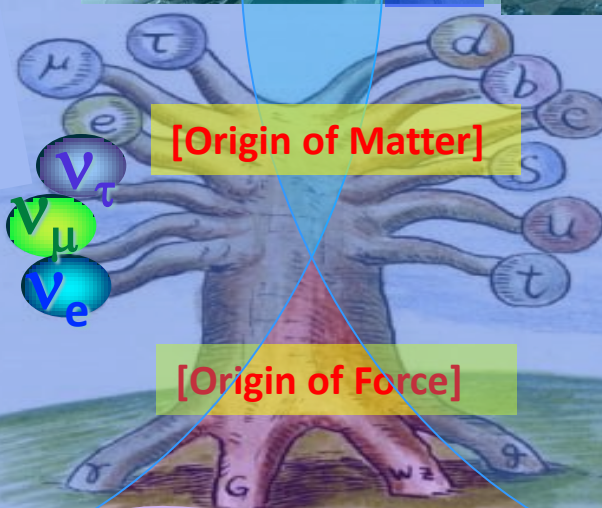
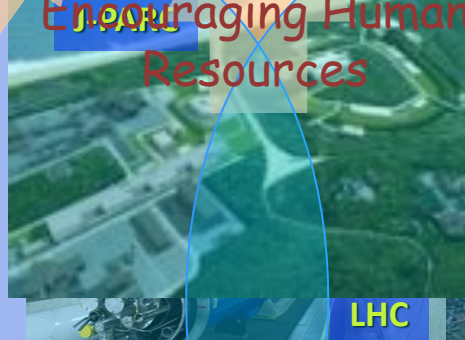
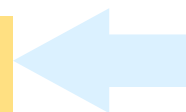
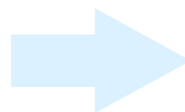
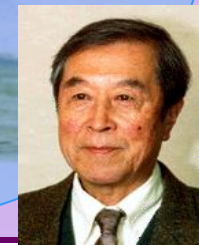
Quark

Quest for Neutrinos

Quest for 6 Quarks

[Origin of Force]

Higgs Particle [Origin of Mass]



Quest for Birth-Evolution of Universe

International Linear Collider (ILC)

Quest for Unifying Matter and Force

Lepton CP Asymmetry

Power-Upgrade

Scientific Activities
Technology Innovation
Encouraging Human

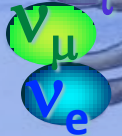
Beyond Standard Physics

Super-KEKB

All roads lead to ILC

Quest for Neutrinos

Lepton



[Origin of Matter]

Quark

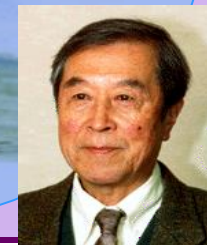


Quest for 6 Quarks

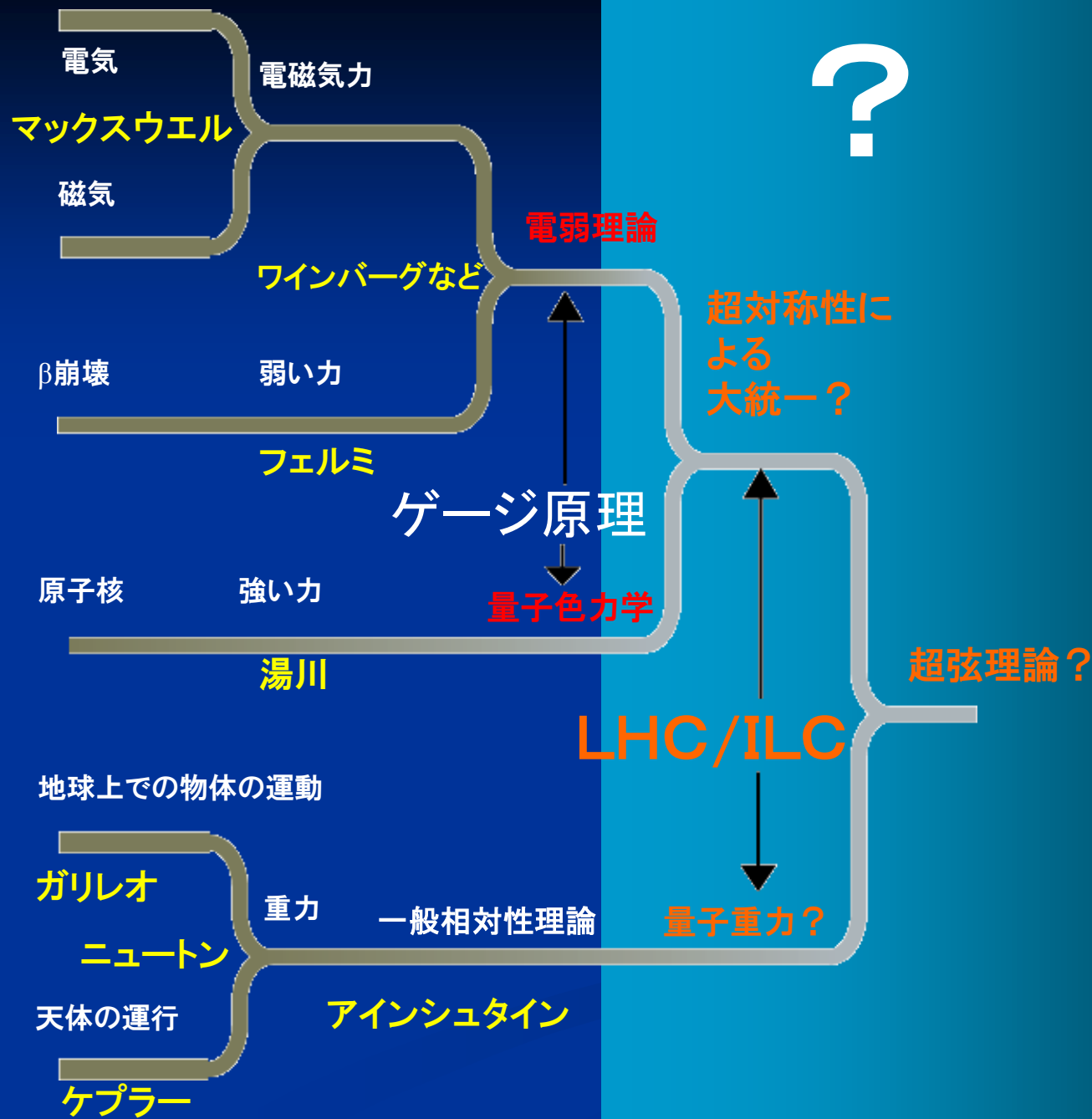
[Origin of Force]



Higgs Particle [Origin of Mass]

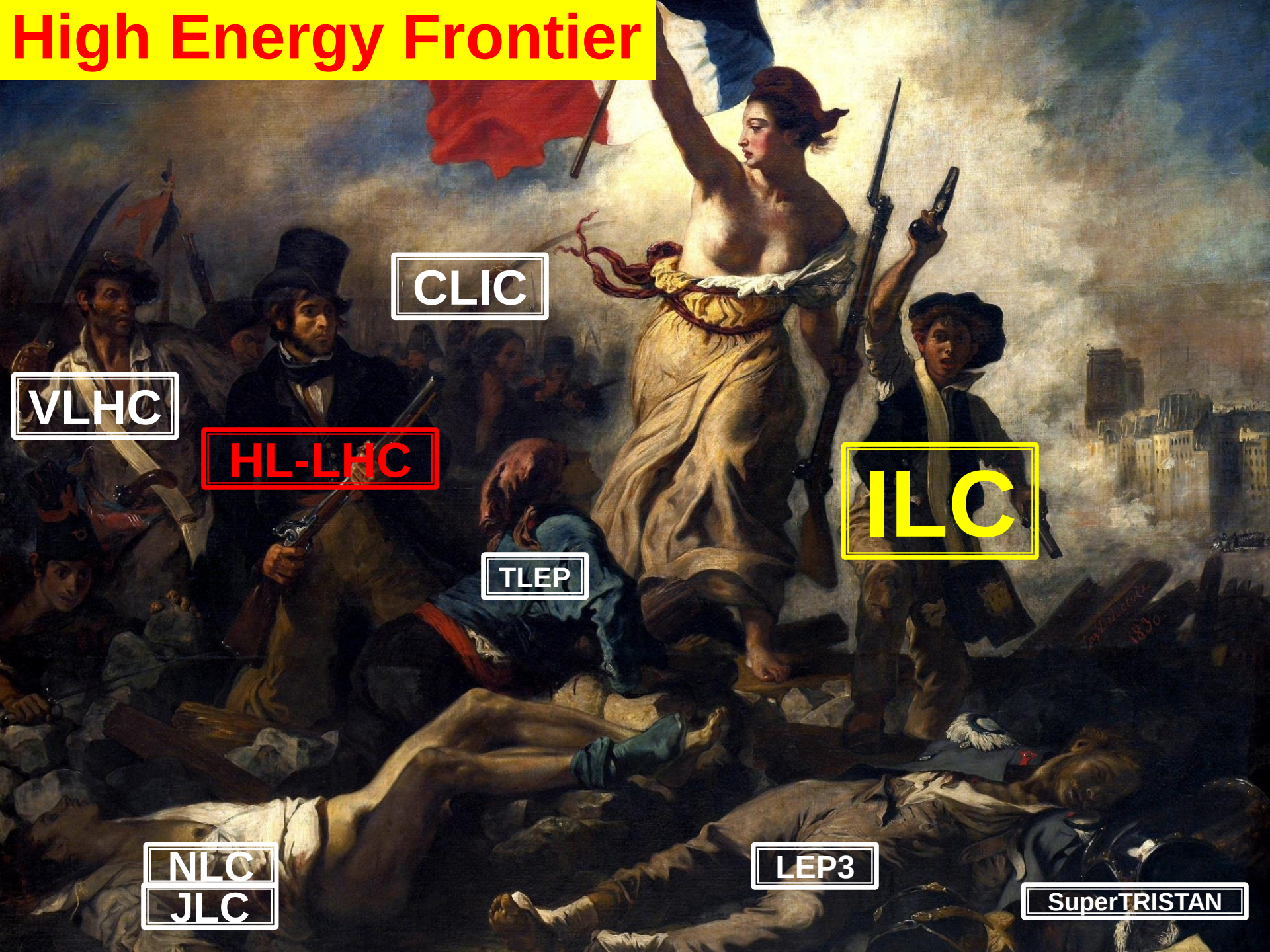


力(相互作用)の統一



アインシュタインの夢

High Energy Frontier



CLIC

VLHC

HL-LHC

ILC

TLEP

NLC

JLC

LEP3

SuperTRISTAN

本小委員会は日本の高エネルギー物理学の基幹となる大規模将来計画に関して、以下の提言をする。

- ・ LHCにおいて1TeV程度以下にヒッグスなどの新粒子の存在が確認された場合、日本が主導して電子・陽電子リニアコライダーの早期実現を目指す。特に新粒子が軽い場合、低い衝突エネルギーでの実験を早急に実現すべきである。一方でLHCおよびそのアップグレードによって間断なく新物理の探究を続けていく。新粒子・新現象のエネルギースケールがより高い場合には、必要とされる衝突エネルギーを実現するための加速器開発研究を重点強化する。
- ・ 大きなニュートリノ混合角 θ_{13} が確認された場合、ニュートリノ振動を通したCP対称性の研究に向けて、必要とされる加速器の増強と共に、国際協力で大規模ニュートリノ測定器の実現を目指す。大規模ニュートリノ測定器は、大統一理論の直接の証拠となる陽子崩壊探索に対しても十分な感度を持つようにすべきである。

これら基幹となる大規模計画については、高エネルギー委員を核とする将来計画委員会が、今後LHC等によって得られる新たな知見に応じて素早く機動的に対応していくことを期待する。

現在建設中のSuperKEKBについては、測定器も含め、予定通り完成させて遂行することが肝要である。また、現在計画中の中小規模計画の幾つかは、将来ニュートリノ物理のように重要な研究分野に発展するポテンシャルを持っており、並行して推進することにより多角的に新しい物理を探求していくことが必要である。J-PARCでのミューオン実験を始めとするフレーバー物理実験、暗黒物質やニュートリノを伴わない二重 β 崩壊の探索実験、宇宙マイクロ波背景放射偏光のBモード揺らぎ観測や暗黒エネルギー観測は、これに該当する研究と考えられる。

学術会議 ILCに関する所見 9/30

文部科学省からの審議依頼では、検討すべき事項として以下の4項目が示された。

- ILC 計画における研究の学術的意義、ILC 計画の素粒子物理学における位置づけについて
- ILC 計画の学術研究全体における位置づけについて
- ILC 計画を我が国で実施することの国民及び社会に対する意義について
- ILC 計画の実施に向けた準備状況と、建設及び運営に必要な予算及び人的資源の確保

ILC が担う高エネルギー素粒子物理学は基礎科学の中でも最も基礎的な分野であり、自然の根源的理解を目指した知のフロンティア開拓の営みである。高エネルギー素粒子物理学の最前線において、大型ハドロンコライダー (Large Hadron Collider : LHC) の将来戦略が明示されている状況を踏まえ、それと相補的な電子・陽電子衝突型加速器の必要性や学術的意義は十分に認められる。

検討すべき重要課題として、

- (1) 高度化される LHC での計画も見据えた ILC での素粒子物理学研究のより明確な方針
- (2) 国家的諸課題への取り組みや諸学術分野の進歩に停滞を招かない予算の枠組み
- (3) 国際的経費分担
- (4) 高エネルギー加速器研究機構 (KEK)、大学等の関連研究者を中心とする国内体制の在り方
- (5) 建設期及び運転期に必要な人員・人材、特にリーダー格の人材

