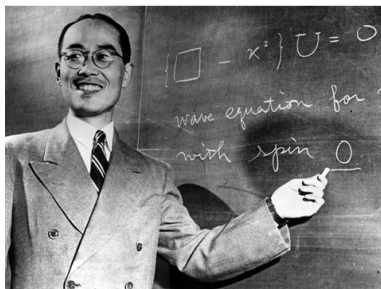


標準理論の成功 (量子色力学)

強い相互作用解明の歴史:
核力を記述する場の量子論 (1935 年、湯川)



予言された湯川中間子 (π^\pm) が発見 (1947 年、C.F. Powell) される。
ハドロンの新発見が続く： K^+ (1949)、 π^0 (1950)、 Λ (1951)、 Δ (1952)
粒子の爆発的発見 (1953～、**Particle Zoo**) \Rightarrow 湯川理論の背後の物理 (量子数、複合粒子描像、対称性) の探索：中野・西島・Gell-Mann、坂田模型、クォーク模型、 $U(3)$ 対称性

標準理論の成功 (量子色力学)

量子色力学 (QCD) の登場 (1972)

- * くりこみ可能な $SU(3)$ ゲージ理論であり予言能力が高い
- * 色荷をもつフェルミオン (クォーク)
- * 色荷に結合するゲージ場 (グルーオン)
- * さまざまなハドロンは複数のクォークの束縛状態

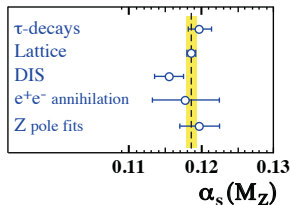
QCD は、その漸近自由性のため、高エネルギーでは摂動計算ができるが、実験と比較するための理論計算を行うには、クォーク閉じ込めやカイラル対称性の力学的破れなどの低エネルギーでの非摂動論的效果が重要になる。

理論的進展：

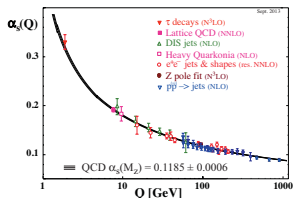
- * パarton理論や QCD 和則などの開発 (非摂動論的效果を摂動論的計算から分離)
- * 格子ゲージ理論の発明 (QCD の非摂動論的效果が直接計算可能に)

標準理論の成功 (量子色力学)

さまざまな方法で求められた QCD 結合定数 $\alpha_s(M_Z)$ が高い精度で一致



有効結合定数のエネルギースケール依存性が、QCD の予言と一致

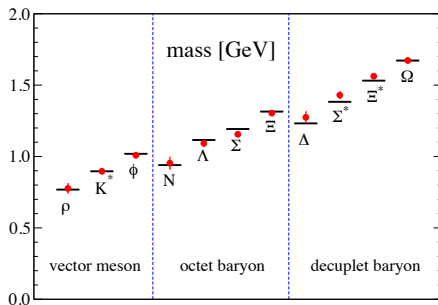


Review of Particle Physics

標準理論の成功 (量子色力学)

Particle Zoo の解消:

格子 QCD の予言するハドロン質量と実験値の比較



Fodor and Hoelbling, RMP84, 449 (2012)

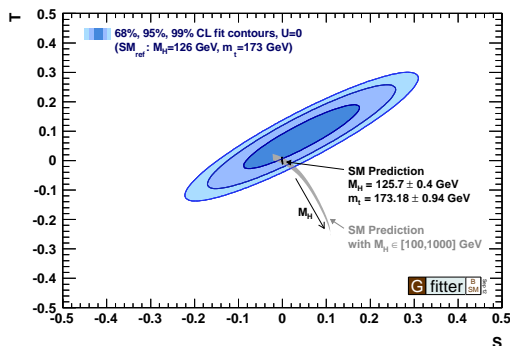
Data of Aoki et al (PACS-CS Collaboration) PRD79, 034503 were used in this plot.

標準理論の成功 (電弱相互作用)

$SU(2) \times U(1)$ ゲージ理論：ゲージ対称性の自発的破れ

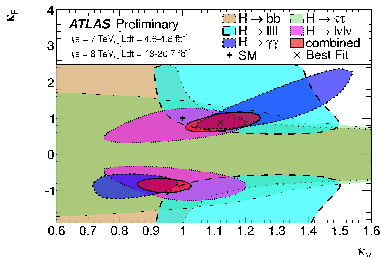
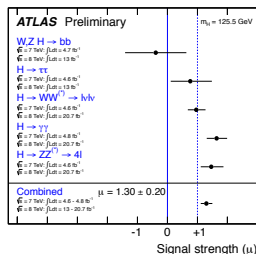
$$SU(2) \times U(1) \rightarrow U(1)_{em}$$

により W^\pm, Z^0 が質量を獲得。
電弱精密測定での輻射補正パラメータ (Peskin-竹内パラメータ)：



Gfitter

標準理論の成功 (電弱相互作用)



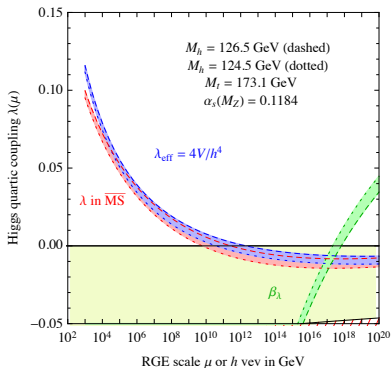
ATLAS-CONF-2013-034

- * 電弱精密測定の結果と矛盾しない質量をもつヒッグス粒子の発見

$$m_H = 125.9 \pm 0.4 \text{ GeV (PDG value)}$$

- * 標準模型の予言するヒッグス相互作用とよい一致

標準理論の成功 ($M_H \simeq 126$ GeV のインパクト)

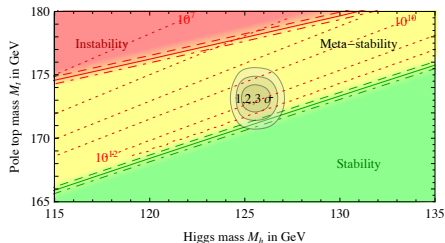
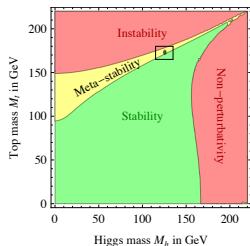


Degrassi et al., JHEP 08(2012)098

$$V \simeq \frac{\lambda_\mu}{4} h^4$$

軽い質量のヒッグス粒子は、もしプランクスケールまで標準理論が正しいとすると、真空の不安定性を意味する。

標準理論の成功 ($M_H \simeq 126$ GeV のインパクト)



Degrassi et al., JHEP 08(2012)098

我々の住んでいる真空は準安定

M_H , m_t , α_s を精度よく測定することが重要

標準理論の成功(まとめ)

- * 標準理論のパラダイム(くりこみ可能なゲージ理論)は、さまざまな実験事実を定量的に説明することに成功している。
- * 標準理論のくりこみ可能性によって、低エネルギーでの現象は高エネルギーの物理に insensitive になっている。
- * ヒッグス粒子の発見によって、標準理論の予言する素粒子はすべて発見されたことになる。
- * ヒッグス粒子の質量の測定によって、標準理論の真空は(もしプランクスケールまで標準理論が正しいとすると)準安定になっていると考えられている。
- * M_H, m_t, α_s が高精度に決定されることが望まれる。