

標準理論 (電弱統一理論 + 量子色力学) における素粒子

ゲージ場：相互作用を伝達するスピン 1 のベクトル場 (ボゾン場)

光子 (フォトン) 場：電荷を持った粒子 (電子族、クォーク、 W^\pm) と電磁相互作用する 質量 0 の粒子。電磁相互作用を媒介する。

グルーオン場：カラー電荷を持った粒子 (クォーク、グルーオン) と QCD の強い相互作用する 質量 0 の粒子。QCD 相互作用は極めて強く、真空の構造さえも変質させてしまい、その結果、クォークやグルーオンなどのカラー電荷を持った粒子は、単独では存在できなくなり、核子や中間子などハドロンの内部に閉じ込められてしまう。この現象を「カラーの閉じ込め」という。従って、グルーオンは、単独の粒子としては観測できない。

ウィーク・ボゾン場：弱アイソスピンを持った粒子 (左巻のレプトン、左巻のクォーク、ヒッグス 2 重項、ウィーク・ボゾン) と弱い相互作用するベクトル粒子。荷電 ± 1 の粒子 W^\pm と中性粒子 Z とが存在する。ゲージ対称性の自発的破れに伴うヒッグス機構の為に、 $m_Z=91.2$ GeV, $m_W=80.2$ GeV と 100 GeV 程度の大質量を有する。

物質場：物質を構成するスピン 1/2 のフェルミオン場であり、2 種類のレプトンと 2 種類のクォークが「世代」と呼ばれるある種 完結したセットを構成し、それが 3 世代存在する。この世代の構造は、アノマリー (量子異常) を、レプトンとクォークとで相殺する為に生じる 必然的なものである。

レプトン：電氣的に中性のニュートリノと、電荷 - 1 の電子族とに大別される。

ニュートリノ：電子ニュートリノ、ミュー・ニュートリノ、タウ・ニュートリノの 3 種類があり、いずれも電氣的に中性で、質量はゼロ乃至極めて小さい。左巻ニュートリノは、弱アイソスピンの上成分として、ウィーク・ボゾンと弱い相互作用をする。

電子族：電子、ミューオン、タウの 3 種類があり、いずれも 電荷 - 1。左巻電子族は、弱アイソスピンの下成分として、ウィーク・ボゾンと弱い相互作用をする。 $m_e=0.511034(14)$ MeV, $m_\mu=105.65916(30)$ MeV, $m_\tau=1784.2(3.2)$ MeV

クォーク：2/3 の分数電荷を持つ u (up), c (charm), t (top) と -1/3 の分数電荷を持つ d (down), s (strange), b (bottom) とに大別される。u, c, t の左巻成分は、弱アイソスピンの上成分として、ウィーク・ボゾンと弱い相互作用をする。d, s, b の左巻成分は、弱アイソスピンの下成分として、ウィーク・ボゾンと弱い相互作用をする。いずれのクォークも、 $SU(3)_c$ の基本表現 (3 表現) に属しており、red, blue, green いずれかのカラー荷を有し、グルーオンと QCD の強い相互作用をする。クォークは、グルーオンと同様単独では存在できず、核子や中間子などハドロンの内部に閉じ込められている。クォークは、単独の粒子としては観測できない。クォークの カレント質量 (QCD の強い相互作用により質量増加する前のクォーク質量) は、 $m_u \simeq 3$ MeV, $m_d \simeq 7$ MeV, $m_s \simeq 150$ MeV, $m_c = 1.2 \sim 1.5$ GeV, $m_b = 4.7 \sim 5.3$ GeV, $m_t \simeq 174(10)(13)$ GeV

ヒッグス場：スピン0のスカラー場（ボゾン場）。もともと弱アイソスピンの2重項を構成していたが、電気的に中性なヒッグス・スカラーの下成分が有限の真空期待値を有し、その結果、 $SU(2)_L \times U(1)_Y$ の電弱ゲージ対称性が $U(1)_Q$ ($Q = I_3 + \frac{Y}{2}$)まで自発的に破れ、ヒッグス機構によりウィーク・ゲージボゾンに100 GeV程度の質量が生じる。また、ヒッグス粒子自身も、自己相互作用の結果、質量を獲得する。更に、ヒッグス場は物質場とも湯川型の相互作用をしている為、ヒッグス場が有限の真空期待値を有することで、湯川相互作用の大きさに比例して物質場の質量も生成される。この様に、ヒッグス場は、素粒子の質量の起源と深く関わっている。

標準理論（電弱統一理論 + 量子色力学）の2つの原理

ゲージ対称性（局所対称性）： $SU(2)_L \times U(1)_Y \times SU(3)_c$
くりこみ可能性 ~ 隠れた対称性とヒッグス機構