

素粒子って何種類あるの？

素粒子には、「物質を構成する粒子」、「力を媒介する粒子」、「質量の起源となる粒子」の3タイプがあります。

物質を構成する粒子はクォークとレプトンがあり、クォークはアップ(u)、ダウン(d)、チャーム(c)、ストレンジ(s)、トップ(t)、ボトム(b)の6種類あります。クォークは陽子や中性子などのバリオンとよばれる粒子や π 中間子、K中間子などのメソンを構成し、両者を総称してハドロンとよびます。ハドロンの中で通常的环境中で安定なのは、(u,u,dの3つからなる)陽子と原子核中の中性子(u,d,d)だけです。その他のクォークはより軽いクォークに崩壊してしまいます。レプトンは電子、ミューオン、タウ、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6種類ありますが、通常的环境中で安定なのは、電子と3つのニュートリノです。クォークは自然界の4つの力(強い力、弱い力、電磁力、重力)全てを感じますが、レプトンは強い力を感じません。また、ニュートリノは電荷を持っておらず電磁力も及ぼしません。そのため、ニュートリノは透過性が非常に高い素粒子です。物質を構成する粒子の特徴は、半整数のスピン(1/2)を持っていて同じ場所に同じ状態で存在できないというパウリの排他律がはたらくため、ある決まったサイズの空間を占有し全体として大きさを持つところにあります。

一方、力を媒介する粒子は、整数のスピン(+1)を持っており、強い力を媒介するグルーオンが8種類、弱い力を媒介する中性ボゾンと荷電ボゾンで3種類、電磁力を媒介する光子が1種類あります。理論的にはスピン2の重力を媒介するグラビトンも考えられています。これらの粒子は同じ状態にどんどん詰まることができるため、物質を構成することはできません。力がはたらくということは、力を及ぼし合う粒子同士で、これらの力を媒介する粒子を仮想的に交換していることに相当します。これらの粒子は実際に粒子として存在することもできますが、色の綴じ込めという特別な事情をもつグルーオンは単独で取り出すことができません。また、弱い力を媒介するボゾンも寿命が短くすぐに崩壊してしまいます。光子は、光として実感することができるのでご存じでしょう。

さて、質量の起源となる粒子はヒッグスボゾンといわれてスピン0で、今のところ1種類が知られています。最近実験的に発見され、理論的に予測した研

究者にノーベル賞が贈られました。このヒッグス粒子がどれだけまわりつくかで質量が変わると考えられています。ところが、質量の起源というのにはかなり無理があつて、例えば私たちの体重を例にとるとヒッグス粒子が作り出す質量はたかだか1%程度にしかなりません。陽子や中性子の元となる u クォークや d クォークは数 MeV の質量しかないのに、それが3つ集まった陽子は 938 MeV (1.67×10^{-27} kg)、中性子は 940 MeV もの質量があります。

標準的な素粒子は、グラビトンを除いて物質を構成する粒子 12 種類、力を媒介する粒子 12 種類、質量の起源となる粒子 1 種類ですが、物質を構成する粒子には反粒子が同数あります。これらは既に全て発見されています。ただし、物質を構成する粒子には注意が必要です。物質を構成する粒子は左巻き（進行方向に対して左に回転）と右巻き（進行方向に対して右に回転）があるのですが、ニュートリノに関しては左巻き（反ニュートリノは右巻き）だけが発見されています。質量があると観測する系によって右巻き・左巻きが変わるため、ニュートリノでも必ず右巻きというものを考えなければなりません。電荷を持たないニュートリノに限っては、「同じ粒子であっても左巻きならニュートリノ、右巻きなら反ニュートリノ」、つまりニュートリノと反ニュートリノは同一粒子（マヨラナニュートリノという）である可能性があります。

また、階層性問題という素粒子物理の問題を解決するために超対称性理論といわれる理論が盛んに議論されていて、この理論では、半整数スピンの粒子には整数スピンの、そして整数スピンの粒子には半整数スピンの対となる粒子があるとしており、素粒子の種類は 2 倍に増えることとなります。新たに導入した粒子は超対称性粒子とよばれ、その中でも最も軽い粒子が暗黒物質の候補と考えられています。