

特集/現代物理における超対称性

## 超対称性とは何か

現代における展望と特集の紹介

坂井 典佑

### 1. フェルミ粒子とボース粒子

自然界には様々な粒子がある。もっとも古くから知られている粒子は電子であろう。もう一つ昔から知られている粒子は陽子である。電子の電荷は負だが、陽子の電荷は正なので、両者の間に電気的な引力が働く。1個の陽子に引き付けられて、その周りを1個の電子が回るのが水素原子である。これらの他に中性子という粒子があって、電荷を持たない以外は陽子と大変よく似ている。中性子と陽子の間には核力と呼ばれる強い力が働き、陽子と中性子の組合せによって様々な原子核ができる。この強い力を媒介する粒子として湯川博士が予言したのがパイ( $\pi$ )粒子と呼ばれる粒子である。一方、水素原子の場合の陽子を、これらの様々な原子核で置き換え、その原子核の電荷(陽子の数)に応じて、それと同じ数の電子が原子核の周りを回ると、電気的に中性な通常の原子になる。こうして自然界に存在する、すべての種類の原子が得られる。

量子力学では角運動量  $J^x, J^y, J^z$  は演算子で表され、その交換関係はプランク定数  $\hbar$  を用いて

$$[J^x, J^y] = i\hbar J^z \quad (1)$$

となる。この代数を解くと、よく知られている

通り、角運動量の量子化が得られる。すなわち、プランク定数  $\hbar$  を単位としてその半整数倍  $0, 1/2, 1, 3/2, 2, \dots$  でなければならない。一般に粒子は運動によって生じる角運動量以外に、自分自身で固有の角運動量を持つ。これをスピンと呼ぶ。電子や陽子・中性子のスピンの大きさは  $1/2$  である。

量子論と(特殊)相対性理論とを両立させると、場の量子論ができる。この場の量子論を用いると、粒子のスピンの統計性を決めてしまうことが証明できる。統計性とは、2つの同種粒子を入れ替えたときに、どのような性質を持つ状態が実現するかということである。この定理によると、スピンの半分の粒子は、2つの同種粒子の入れ替えに対して反対称な状態だけが実現する。これをフェルミ粒子、またはフェルミオンと呼ぶ。逆に、スピンの整数の場合は、2つの同種粒子の入れ替えに対して対称な状態だけが実現する。これをボース粒子、またはボソンと呼ぶ。上で原子を構成する際に登場した粒子の中では、電子や陽子・中性子がスピン  $1/2$  なので、フェルミ粒子である。一方、パイ粒子はスピン零なので、ボース粒子である。また、電気力を媒介するのは光の粒子、光子であり、これはスピン  $1$  なので、やはりボース粒子である。

まとめると、自然界には様々なスピンを持つ粒