

■バーンズ ティム / BYRNES Tim 情報学プリンシプル研究系 助教

「ボース＝アインシュタイン凝縮」を量子情報に活かす

●固体物理から量子的世界へ

私は大学時代、物性に興味を持って「固体物理」を勉強していました。「固体」ですから、たとえばたくさん原子が並んでいる間を、電子が相互作用しながらとても複雑に振る舞うといった場合を、考えるとしみましょう。この物性を知るためには、電子の振る舞いを説明できる量子力学的な考え方が必要です。また多数の電子の動きをどう見るのか、統計的な考え方もポイントと言えます。

一方、最近私の関心を引いているのが「ボース＝アインシュタイン凝縮 (BEC)」という現象です。1924年、インド人物理学者ボースが、粒子の数え方についてある発見をします——A・B2つの粒子を2つの箱に入れるとしたら、ふつうに数えると組み合わせは4通りになります。ところが2つの粒子がまったく同じで区別できないとしたら3通りとなり、可能性が1つ減少する——ということです。これは量子的世界にふさわしい統計方法であり、「ボース＝アインシュタイン統計」と呼ばれています。またこのような粒子をボース粒子といいます。

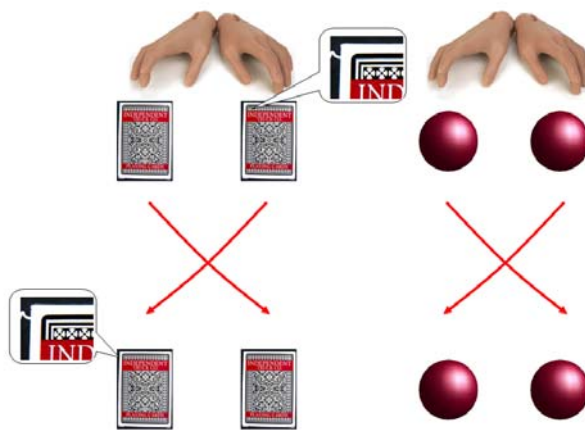


図1 古典物理によると、物を入れ替えると違う状態ができるが、ボース粒子のような量子力学によって振る舞う粒子は入れ替えても同じ状態になる。

●ボース＝アインシュタイン凝縮という不思議な状態

アインシュタインはこのアイデアを発展させて、1925年、箱の中へある数のボース粒子（気体）を入れると、ある温度以下で突然、粒子がすべて一番低いエネルギー状態に入る——粒子の動きが止まる——不思議な現象が起こると预言しました。粒子は一般にばらばらに動き回っており、そのエネルギー状態は平均としてみると高温時は高く、低温になるにつれて下がっていき、絶対零度まで下げると停止します。ところがBECが起こると、絶対零度まで下げずともエネルギー最低状態に入り、しかも「粒子は同時に波である」という量子力学に従って、すべての粒子が大きなひとつの波の状態が存在するようになるのです。

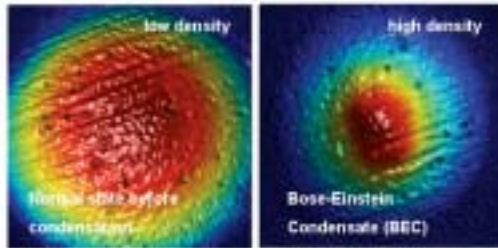


図2 ボース=アインシュタイン凝縮が実際におこっている実験の写真 (Lai et al. Nature 450, 529 (2007)より)。

●量子コンピュータに活かす

アインシュタインが予言したBECは、1995年米国で初めて実験に成功し、以来この不思議な現象の解明と応用が進んでいます。私自身も2009年、最低エネルギー状態へ急激に落ち込むという物理的な性質を利用して、最適化問題を解く方法を提案しました。また最近着目しているのは、現在、山本喜久教授の実験チームと一緒に取り組んでいる量子コンピュータへの利用です。量子コンピュータについては、現在さまざまな方法が提案され、競い合って発展していますが、まだ決め手となるものは現れていません。BECは、多数の粒子を同時に扱えるところに、他の方法にはない特徴を備えています。実験に役立つ理論を提案することでうまく量子の効果が引きだせれば、量子的なデバイスなどの広い応用分野へ大きな期待がかかります。

かつて親しんだ固体物理に比べ、量子コンピュータをはじめとする量子情報は、活気ある若い分野です。また社会へのインパクトも大きいことから、今、とてもやりがいを感じています。

(取材・構成 池谷瑠絵)