



窮理の部屋 193

2022年ノーベル物理学賞(その1)

2022年ノーベル物理学賞は、A.アスペ教授らが量子もつれに関する研究で受賞しました。量子(=ミクロ)の世界では日常からかけ離れた不思議なことが起こりますが、量子もつれもそのひとつです。量子もつれは、量子コンピュータや量子通信が成立するための基本的な要素です。昨年行われた与党の総裁選で、量子技術を重点課題にあげる候補がいてびっくりしました。まだ先の話だと思っていましたが、この分野の発展は目覚ましく、20年もすれば量子技術が我々の生活をガラリと変えてしまうかもしれません。

アスペは前々からノーベル賞候補の一人に挙げられていましたが、同じ分野の東大の古澤教授が受賞を逃したのは残念でした。



A.アスペ(Royal Society uploader)

量子の世界のふしぎ

量子(=ミクロ)の世界は真に不思議です。シュレーディンガーの猫の話を知ってる読者も多いと思います。猫の話は知らなくとも、原子の中の電子の位置は、確率でしか表せない、なんてことを聞いたことがある人なら多いかもしれません。

原子の構造を表す図として、図1のように太陽の周りを回る惑星のように原子核の周りを電子が回っているというものがあります。中学校や高校の教科書にもこのような絵を見つけることができるかもしれませんが、事実はそうではありません。ミクロの世界はとても奇妙なので、方便として惑星のように電子を表しているだけなのです。

量子力学の教えるところでは、電子の位置は測定するまでどこにいるか分かりません。測定して初めて、ここに存在した、あるいはあそこに存在した、ということが分かるのです。

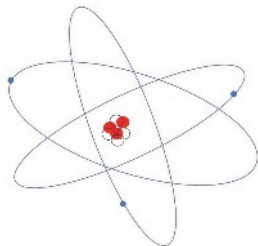


図1:原子の構造

例えば、お月見をしたとします。あいにく曇り空でした。しかし、我々は雲の向こうのあの方角に月があることを確信しています。見えなくとも、我々が見ようが見まいが月はそこに存在するのです。これを「素朴实在論」といいます。

ところが電子は測定するまでは、どこにでもあって、どこにもないのです。これは实在性の否定です。なんととも気味が悪い！そして、観測すると必ずどこかある場所に

見つかり、他の場所には存在しなくなるのです。観測した瞬間、ある場所での存在確率が1になり、他の場所は0になるのです。そして、量子力学はその場所に存在する確率を計算する処方箋を与えるというのです。そんな馬鹿なことがあるでしょうか？

また、量子の世界では、エネルギーは連続な値をとれず、飛び飛びに不連続になります。それぞれ異なる状態なのですが、観測するまではその飛び飛びのエネルギーを持つ状態が重ねあわされた状態だと考えられます。そのたくさんの状態が観測した瞬間ある一つの状態にすっと「収束」するのです。波束の収縮と呼ばれます。

さらに気持ちの悪いことに、位置と運動量(運動の大きさを表す量)を同時に測定し確定させることができません。またスピンというまことに不思議な量があります。

アインシュタインの不満

アインシュタインは、若い同僚のポドルスキー、ローゼンと共に量子力学への不満を一編の論文にまとめました。彼らのバージョンは位置と運動量に関することだったのですが、ボームという人がスピンを使って分かりやすく改良したバージョンが有名です。

スピン1重項状態にある2つの電子が分裂して、それぞれ反対方向に飛び出したとします。離れた場所でスピンを測ると(測定器をIとIIと呼ぼう)、Iが上向きなら、必ずIIは下向き、Iが下向きならIIは上向きと常に反対を向きます。2つの電子には「相関」があるのです。

測定するまで、Iが上向きなのか下向きなのか量子力学では分かりません。でも、IIは必ずその反対なのです。これはおかしいではないかとアインシュタインは言います。Iの結果を知るとIIの状態も確定する。ではIで測定した結果がIIに影響を与えるのか？IとIIは光の速度より速く情報が伝わるのか、いや、そんなはずはない。実は、IもIIも最初から決まっていたのだ。それを確率でしか予言できない(今の場合、Iで上向きになる確率が1/2、下になる確率も1/2としか言えない)量子論は不完全な理論である。

本当に、アインシュタインが言うように量子力学は不完全なのでしょう？面白いことにIとIIの装置を90度回すと左右の測定になります。Iが右ならIIは必ず左、Iが左ならIIは必ず右になります。では、Iの角度はそのまま、IIの装置だけ90度回したら…。あるいは30度だけ回したら…。

当時は、そんな実験は思考実験と言って、実際に行うことがとても難しい実験でした。ところが、そのようなことをすれば、我々が知らないパラメーターがあるだけで、確率ではなく、完全に結果を予言できる理論があるか、それとも量子力学を受け入れなければならないのか、どちらなのか実験的に検証できる方法があると、J.ベルという人が言います。そして、実際に実験的に検証したのがA.アスペでした。

大倉 宏(科学館学芸員)