

第2回サイエンスバトル 「猫に捧げるサイエンス」

谷村省吾の部

「猫と電子はゲージ場を知っている」

質疑応答編

(2017年5月11日、若干修正)

2017.05.08

東京都港区西麻布 SuperDeluxe

質疑応答 1

質問：円錐の何が、電子の何と対応し、猫の何と対応しているのか、いまひとつははっきりわかりませんでした。

回答：本当は数式を使って、一つのものごとの概念が、別のものごとの概念と対応するのか、示すべきなのですが、それを図解きでごまかしてしまいました。

円錐上の矢印は、電子の波動関数の複素数と対応します。円錐の側面は、電子が動く場所と思ってもらってよいです。円錐をかぶせた球面の曲面が、磁場に対応します。

猫と円錐との対応は、外見ではわかりにくいですが、猫の形を表す変数の空間を配位空間と言います。例えば、猫が腰を曲げる角度と、上半身をねじる角度は2つの変数ですので、猫の配位空間は2次元になります。実際の猫の配位空間は、もっと変数があって、イメージしにくいのですが、そういう空間を考えて、角運動量保存則を数学的に表すと平行移動のしかたと曲がり方が決まります。じつは猫の配位空間は、平坦な場所はなく、あらゆる場所が曲がっています。それで、どういうふうに変形しても、宙返りに近いことはできます。

質疑応答 2

質問：空間の曲がり、猫のコリオリ力と対応していると言われたけども、コリオリ力は地球規模の現象なので、24時間くらいかけないと効果が現れないのではないですか？

回答：すごく注意深く私のスライドを読んでいただきありがとうございます。コリオリ力というのは、遠心力とよく似た力で、回転する観測者に見られる力です。遠心力は中心から逃げる方向に働きますが、コリオリ力は物体の進行方向を曲げる向きに働きます。磁場のローレンツ力に似ています。地球の自転に限らず、回転する人から見るとコリオリ力が発生します。例えばフィギュアスケートの選手がスピンしているとき手足を伸ばしたり縮めたりすると回転が遅くなったり速くなったりしますが、あれもコリオリ力の効果です。地球の自転とは関係なく、そういうことが起こり得るのです。

質疑応答 3

質問：電子のダブルスリット実験で、1個の電子が右の窓と左の窓を通過して干渉しているようなことを言われたけれども、本当に1個なのですか？

回答：外村さんの実験では、わざと電子源を暗くして、極端に言えば、1秒間に1個しか電子を発射していないような感じで、ぽつりぽつりと電子を発射しています。何万個もの電子がぼわーっと雲や霧のように広がって飛んで来るわけではないのです。しかもスクリーンに到着する電子はぽつりぽつりとスポットを作ります。だから電子が1個ずつ出て1個ずつ到着しているのは間違いないです。にもかかわらず、2つの窓を波動が通り抜けたかのごとく強め合ったり弱め合ったりして電子が現れる確率が決まる、と考えざるを得ないのです。

質疑応答 4

質問：電子のダブルスリット実験で左右の窓のところで電子が通るのを見張っていれば、やっぱり1個の電子が見つかるのですか？

回答：量子力学の答えを言いますと、2つの窓のところに見張りのような装置を置いて、電子がどちらかの窓を通ったら見つけるとすると、電子が右の窓で見つかったときには左の窓には見つかりません。電子が左で見つければ右にはいません。そういう意味で、電子は見つかるときは1個の不可分の粒子として見つかります。そしてこの場合は、スクリーンには干渉縞はできません。見張っていると、2つの窓を同時に波が通過して干渉することはやめてしまうかのようです。

この実験を電子に対して文字通りにやるのは難しいのですが、光子や原子を使った実験ではできています。

質疑応答 5

質問：電子は必ず2つの窓のどちらかを通るのですか？磁場のあるところを絶対に通らないと言えるのですか？

回答：現実の実験というのは100%の出来ではないので、ダブルスリットの窓以外の場所に当たってしまう電子もあります。壁に当たった電子はその場で止められてしまうくらいに壁を頑丈に作っておきます。また、磁石を磁場を通さない超伝導物質で包んだり、他の物質で覆ったりして、電子が磁場にはたどり着けないような作りになっています。厳密に言えば「物理学的に考えられるようなやり方では電子は磁場のあるところにたどり着けないはずだ」ということなので、絶対とは言えないのですが、いろいろ考えられることは対処してあります。

質疑応答 6

質問：電子の状態が波動関数で表されるというのはどういうことなのですか？

回答：波動関数は「電子がリアルにいまここにある」ことを指し示すものではなく、「もしも観測したら電子がここに見つかる確率はいくらである」ということを予測するものなのです。波動関数は、仮定法的な予測概念、「もしも、電子に何々という働きかけをすれば、何々がいくらの確率で起こるであろう」的な概念なのです。「もしも」付きの奥ゆかしい概念であり、しかも確率のみを予測します。観測しなかった場合は、本当にそこに電子があったかどうかはわかりません。波動関数が「リアルな、ありありとそこにあるもの」だとは考えない方がよいです。不思議ですが、そういうもののようです。

質疑応答 7

質問：参考文献を挙げてもらえますか？

回答：外村彰さんが書かれた、ブルーバックスの『[ゲージ場を見る](#)』は、易しく丁寧に書かれていると思います。

『[量子力学を見る](#)』、『[目で見える美しい量子力学](#)』という本もあります。

手前味噌ですが、私の書きものであれば、[私のウェブページ](#)からたどっていただける記事がありますので、一度お訪ねください。猫の宙返りの数理的な話は「[ホロノミーと力学系](#)」にあります。どういう意味において円錐は曲がっているのかという話は「[幾何学におけるゼロ](#)」にあります。内容は専門的・数学的ですが「[トムとベリー](#)」という論文もダウンロード可能です。別冊日経サイエンス『[量子の逆説](#)』（[ウェブ付録あり](#)）もおすすりめです。