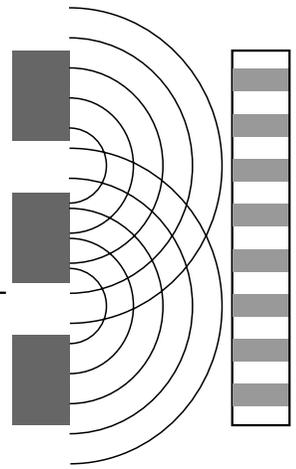


目で見て学ぶ 量子力学

第9回

実験でひもとく量子の不思議



アハラノフ・ボーム効果の検証実験

外村 彰



9.1 はじめに

「電子は触れてもいない磁場から、物理的な影響を受けることがある」。これが、アハラノフ・ボーム (AB) 効果である。

AB 効果の歴史は 100 年も前の M. ファラデーに遡る。ファラデーは、電場 E や磁場 B よりも、さらに基本的な物理量として、そこから E や B を導き出すことのできる Electrotonic Intensity (電氣的緊張度) の存在を予測している。やがて J.C. マックスウェルは、それがベクトル・ポテンシャル A であることを見抜き、マックスウェル方程式の中に A を組み入れた。 A は、れっきとした物理量として扱われ、“電磁氣的運動量”と呼ばれた。ゲージ場の理論の登場と共に、 A はゲージ場に拡張され、あらゆる力の統一理論の最も基本的な物理量とみなされるようになる。

ただ、ゲージ変換によって全く異なった分布を取り得るという点で、 A は我々の馴染みの物理量とは異なっている。しかし、物理量であるという証拠もある。実はそれが AB 効果である。 E や B がゼロであっても A が存在すれば、その領域を通る電子に物理的な影響が及ぶことがある。

【傍注 1】 電子のスピンは、3次元空間のベクトルとは異なる性質をもっている。1回転すればすべて元通りになると思うかもしれないが、スピンの波動関数は同じ値にならず、マイナスがつく。2回回転して初めて元通りになる。“スピノール”という数学で表現できる。

【傍注 2】 同じ場所に戻ってきたとき、いつも同じ値になるとは限らず、1点にいくつもの値があり得る関数を多価関数と呼ぶ。



9.2 AB 効果は存在するのか？

AB 効果は、古典力学の範疇では考えられない量子力学的効果であり、我々に「量子の世界における電磁気とは何か？」という問題を再考させてくれる。それだけに止まらない。量子力学の基本的問題や電子と場の相互作用のあり方などにも関連する¹⁾。

例えば、波動関数の一価性。電子のスピンを表現するスピノール^{傍注 1} は二価であることを思い起こすと^{傍注 2}、波動関数が一価でなければならないと初めか