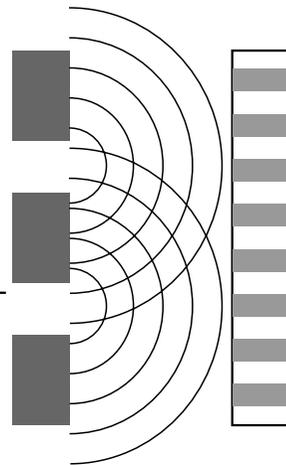


目で見て学ぶ 量子力学

第8回

実験でひもとく量子の不思議



アハラノフ・ボーム効果

触れてもいない磁場を感じる電子

外村 彰



8.1 はじめに

前回、電子が二重スリットのどちらを通過したのかを検出すると、干渉縞が消えてしまうことを紹介した。W.H. ファリーと N.F. ラムゼー¹⁾や Y. アハラノフと D. ローリッヒ²⁾は、全く電子に力が働かないという条件下に電子がどちらのスリットを通ったかを観測できたとしても、やはり干渉縞が消えてしまうことを指摘した。理由は、アハラノフ・ボーム (AB) 効果にあった。そこで今回は、AB 効果をきちんと考えてみる。



8.2 ベクトル・ポテンシャル

電子が磁場を透過すると、波動関数はどのように変化するのか？ シュレディンガー方程式を解けば良い訳だが、均一な磁場の場合以外は、そう簡単ではない。

そこで電子の振舞いを古典論からスタートして考えてみよう。まず簡単な場合 (図 8.1) から始めよう。無限に長くて、磁場が外に漏れていない薄膜棒磁石に電子を当てる。磁石の中を通った電子はローレンツ力^{傍注1}を受けて軌道が右に傾く (図 8.1 (a))。しかし磁石の両側には磁場はないので、外側を通る電子は、そのまま真っすぐに進む。ここで、電子の波面を電子の進行方向に垂直な面として描いてみる。入射電子は平面波になる。磁石を通過した波面は、右上がりの平面波になる (図 8.1 (b))。図をよく見ると、不思議である。磁石を通った波面と、磁石の外側を通った波面を連続的につなげることができない。波動関数は観測することはできないので、波面が連続でなくても構わないと思うかもしれないが、そうはいかない。平面波を重ねれば、干渉縞の形で波面の形を観測することができるので、波面つまり位相が不連続になるのは不自然である。

電子軌道を描いて、軌道に垂直な波面を描くやり方に誤りがあるのだろうか？

[傍注 1] 磁場 (磁束密度) \mathbf{B} の中を、 $-e$ の電荷をもつ電子が速度 \mathbf{v} で走ると、 $-e(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ の力を受ける。これをローレンツ力と呼ぶ。