

$$[H, T] = -i\hbar$$

( $H$ ; ハミルトニアン) を満たす演算子  $T$  を必要とするが, この  $T$  が一般に (運動量表示でいえば) 特異点を持つ為, これを反映して観測量としての時間演算子から, 状態の方に何の制限もない, どのような場合にも成立する不確定性関係を導くことは出来ない。ただ系に束縛状態が存在しなければ, 漸近的領域において, 粒子の通過時間とエネルギーの間に不確定性関係(\*) が導かれる。束縛状態を含む系についてはよく分かっていない。

#### 参考文献

- T. Goto, S. Naka and K. Yamaguchi  
Prog. Theo. Phys. **64** No. 1, pp. 1, (1980)
- T. Goto, K. Yamaguchi and N. Sudo  
Prog. Theo. Phys. **66** No. 5, pp. 1525, (1981)
- T. Goto, S. Naka and K. Yamaguchi  
Prog. Theo. Phys. **66** No. 6, pp. 1915, (1981)

### 新統一体系物理学の成立と量子物理学と 古典物理学の新らしい接続関係について

東大・理 飯 田 修 一

物性物理学の分野で重要になると考えられる物理学の新らしい枠組みが, 略々確立されたと考えられる状態に到達したので, その紹介を行った。物理学の全体に亘る常識の変更を内蔵しているので, 十分な説明は出来なかったと考えるが, 全体に就いては, 近く刊行される“物性研究” 8月号“New Frame in Physics, New Thermodynamic Principles, and Classical Derivation of the Meissner-Ochsenfeld Effect” を読んで戴きたい。要点的なところだけ述べると, 古典物理学と量子物理学はいずれも精密物理学であるから, その間に厳密な接続関係がなければならぬ。筆者は電子の永久電流モデルを 1974 年発見したが,  $10^{-2}\text{\AA}$ 位のコンプトン波長の大きさを持つこの電子モデルは, 電子の最善の古典モデルである。一般に  $10^{-16}\text{ m}$ 以下の大きさであるという誤解があるが, その大きさで古典的に解釈される実験はない。こ

のモデルを古典電磁気学の基礎に取り、更に電子自身の電磁場に伴う運動量に自己因子  $1/2$  を導入し、これらの永久電流に、電磁誘導によって出入する電磁エネルギーを厳密に考慮することにより、矛盾のない統体系としての古典電磁気学が完成する。なおランダウーリフシッツは此の問題を解決して居らず、“場の古典論”中の電磁運動量の関係した荷電粒子の運動の解析は同語反覆を行ったに過ぎない。さて、このマクスウェル・ローレンツの統一電磁気学から、電磁シグナルの遅延効果が無視できる場合、パウリ近似のディラック・ハミルトニアンが導出される。この場合古典物理学のラグランジアン方程式とハミルトニアン方程式は、いづれも  $c$ -数を  $q$ -数と読み直し、ポアソン括弧の量子条件を課することにより、量子物理学の方程式に厳密に移行して等価である。この事は表示によらないが、その際物理量  $A$  の時間微分演算子  $dA/dt$  は  $d\langle A \rangle/dt = \langle dA/dt \rangle$  と定義することが必要である。新統体系物理学では無限遠で零になる最も自然なローレンツ・ゲージの 4 元ポテンシャルを実在と見做し、又シュレディンガー表示を基本に取って、他の表示はその数学変換と理解する立場を取る。もし電磁シグナルの伝播速度の有限性を考慮しなければならない場合、既存の近似方法によるハミルトニアン量子物理学は正しくなくなり、ラグランジアン量子物理学が重要となってくる。その典型的な例題として、マイスナー効果、すなわち完全導体の示す磁性がある。この場合、たとえばリング状の超電導体  $C_1$  が、内部に磁束  $\Phi_1$  を維持していて、その中に完全導体  $C_2$  が置かれているものとする、 $C_2$  の中に電流が、反磁性的に発生した場合、体系の磁気エネルギーは、その瞬間、確かに下る。しかしその電流発生シグナルが、 $C_1$  に到達し  $C_1$  が超電導体の物性として  $\Phi_1$  を不変に維持するようにその表面電流を増大させると、結果として、体系の磁気エネルギーは増大するという機微な事情がある。新体系物理学は、この際“遷移エネルギーの原理”という新しい熱力学法則を導入し、ラグランジアン量子物理学に従う上記の過程が、実際に発生し、それがマイスナー効果の原理的機構を構成すると結論する。量子物理学体系は、 $c$ -数と見做せば古典物理学として通用する  $q$ -数方程式と、状態を示す状態関数という、二種類の、いづれも系の特徴を具備した構成要素から成立しているが、 $q$ -数方程式の中だけで、状態関数を操作することなく、従ってプランク定数  $\hbar$  が介入しないで出せる結論を、古典的というならば、マイスナー効果は、完全導体の古典的性質であるといえる。なほ古典電磁気学は上記の二重構造の中で、状態関数の古典電磁気学的側面を抽出したものである。一般に状態関数は重畳原理を満足するから、従って電磁気学も重畳原理を許すことになる。荷電粒子の古典力学のような  $c$ -数方程式は、重畳原理を許容しないが、それを  $q$ -数方程式と見た量子物理学の状態関数は重畳原理を許す筈である。従って、この種の  $c$ -数方程式は、その表現する運動状態の一つ一つを構成単位とするアンサンブル ( Ensemble ) を考えて、その古典的アンサン

ブルによって、対応する量子状態を代表させてゆくと便利である。アンサンブルはもちろん重畳できる。新統一体系物理学は新しい物理学の鉱床の発見であって、今後の発展を期待する。とくに光通信や分子生物学等、光速度の有限性を考えねばならなかったり、巨視的な不均一系で、不可逆過程が関係したりする際に、その応用と展開が期待される。なお  $\gamma$  マトリックスを駆使した既存の量子電磁力学は、新統一体系物理学と矛盾するものではなく、原子、分子のような小さい体系や、粒子の生成消滅を伴う高エネルギー領域の物理学の記述等に適した近似の枠組みであって、新統一体系物理学は、電子を不生不滅と見做すような超低エネルギーで、巨視的体系を扱わねばならない、物性物理学の分野に適した近似手段である。例えば磁気エネルギーと磁気誘導によるエネルギーの出入は Q. E. D. では陽に現わされていないが、新体系物理学では明瞭に意識して箇別的に追跡される。Q. E. D. は 10 桁といった精度の計算も行っているのであって、陽には現れないが、陰には、新体系物理学の考え方と矛盾しないことが証明される。トランスによる電磁エネルギーの移動は電磁誘導によるものであり、新体系物理学では陽に考えない訳には行かないことも理解されよう。

## 電子線ホログラフィーを用いた Aharonov-Bohm 効果の検証実験

日立中研 外村 彰

### § 1. はじめに

Aharonov-Bohm 効果 (AB 効果) は、当初ごく限られた分野の人々にしか知られていなかったが、ゲージ理論にとって重要な意義をもつ様になってきたため、ごく最近になって広く知られる様になってきた<sup>1)</sup>。AB 効果は“電磁気がゲージ理論に従う”ことを直接的に示しているためである。古典的には、電磁気は場の強さ ( $\mathbf{E}$  や  $\mathbf{B}$ ) だけで完全に記述できたが、量子力学ではポテンシャル  $\{A_\mu\}$  (ゲージ場) が物理量として導入され、電磁気を必要十分に記述できる量は位相因子:  $\exp\{i\frac{e}{\hbar}\int A_\mu dx^\mu\}$  となる。AB 効果は、まさに、この位相因子を干渉縞として我々の目に見せてくれるのである (図 1)<sup>2)</sup>。ソレノイドの両側を通る電子線の間、ソレノイドの磁束に比例した位相差が生じ、ソレノイド電流を on, off した時の干渉縞のずれとして位相因子が観測できる。

ところが、この効果に疑問を投げかける人も多く、これまで論争が続いていた。これまでの