

飯 田 氏 へ VII

電総研 近 藤 淳

§ 1.

編集部のご要望もあって、まず往復書簡を何回かくり返し、収斂した所で発表することにした。まず第一回である。問題をドーナツ容器中の電子ガスが熱平衡において永久電流を保持するという点に絞る。電子が壁で完全弾性反射するという仮定のもとに電流は減少しないというのが飯田氏の主張であり、壁で反射する時（ほかにも多々あるが）に Bremsstrahlung（BSと略記する）を放出したり、熱輻射との相互作用を通じて減衰するというのが私の主張である。BSと熱輻射について夫々のべる。

§ 2. Bremsstrahlung

速さ v の電子が壁で反射されるとき、半径 a の弧を描いて θ だけ向きをかえるとすると、BSによって $\sim (e^2/a)(v/c)^3 \theta$ のエネルギーを失う。もとのエネルギーとの比は $\sim (v/c)(e^2/mc^2)(\theta/a)$ となる。300Kにおいて $v \sim 10^7$ cm/sec とし、 $a \sim 0.1$ A, $\theta \sim 1$ とすればこの量は 10^{-7} となります。つまり一回壁に衝突すると、その速さは 10^{-7} だけ減少します。

さて容器の壁 1 cm^2 には 1 sec に約 nv コの電子が衝突します。壁の面積を S 、体積を V とすれば一コの電子は平均 1 sec に vS/V 回壁と衝突します。 $S = 6 \text{ cm}^2$, $V = 1 \text{ cm}^3$ とするとこれは 6×10^7 となります。従って例えば $1 \mu\text{sec}$ の間には 60 回衝突し、その速さは 6×10^{-6} だけへります。

すべての電子が平均して 6×10^{-6} だけ遅くなるのですから、電流もそれだけ減少しないわけにはいきません。1 sec 経ったら大部分減衰してしまいます。勿論熱輻射によって個々の電子の速さは回復しますが、一旦減った電流が熱輻射によって再び増大するとは考えられません。

ところが飯田氏によると、BSによって運動エネルギーがなくなるには 10^{10} 年もかゝるといわれる（物性研究 37 巻 p. 192）。どのようにしてそういう値が出るのか、その計算を少くともこゝに示した位の詳しさでお示し下さることを希望します。

「BSは速度の接線成分を変えない」

そんなことはありません。電子が円弧の一部を描くとすれば変わります。しかし速度の接線成分は電流と直接結びついていないのでこれを問題にしてもあまり意味がありません（ドーナ

ツという形状に起因します)。電流とは、ドーナツの断面を単位時間に右に過る数と左に過る数の差です。電子の速さはこの量に関係しており、すべての電子が一様に遅くなればこの量も減少することは明らかです。

「右に走る電子もおそくなり、左に走る電子もおそくなれば変化は打消して0になってしまう」
 そんなことはありません。右に走る電子の数と左に走る電子の数がちがいますから打消して0にはなりません。

「沢山の電子が BS を出すときは干渉によって打消しあって非常に小さくなってしまう」
 そんなことはありません。各電子は独立に壁と衝突しますから干渉項は消えてしまい、各電子が独立に BS を放出したのと同じになります。遠方での電場を E とすると

$$E^2 = \sum_i E_i^2 + \sum_{i \neq j} E_i E_j$$

です。ここで E_i は i 番目の電子の dipole-moment (壁で反射される時の加速度) によって生じた電場です。今考えている時と場所から時計を逆転させて光を出し、そのコーンが壁を通る時に丁度そこで壁に衝突している電子が上の項に寄与します。電子は無秩序に衝突していますから、上式の第二項は消えてしまい、第一項のみが残ります。つまり干渉項は打消しあって0になります。飯田氏の干渉によって打消しあい非常に小さくなってしまうという主張は、上式の第二項が負で第一項を殆んど打消してしまう(つまり一秒が 10^{10} 年になる位うまく打消してしまう)ということであり、そのようなことは起らないのです。

まさか飯田さんは連続体モデルでおやりになったのではないでしょうね。問題は平均化をどこで行うかということです。正しいやり方は上のように強度に対して平均化を行うのです。すると乱雑さからクロスタームは消えてしまいます。もし電場 $E = \sum E_i$ に対して平均化を行うと、それは連続体モデルであり、全くナンセンスな答になります。このような学部程度のレベルで誤りを犯してはおられないと思いますが、その疑いも残りますからどのような計算で BS による運動エネルギーの緩和時間が 10^{10} 年にもなるのか、その詳細をお示し下さるよう希望します。

§ 3. 熱輻射

3.1 飯田氏によると熱平衡における電流分布は I という積分の極小によってきまる。 I は電流に伴う運動エネルギーと電流の作る磁場のエネルギーの和であり、電流分布の汎関数である。これは定正值の二次形式であって、極小はすべての電流が0という状態によって与えられる。

3.2 飯田氏によると I の変分 δI が0になる必要十分条件は、電流分布(とその作る磁場)

がロンドン方程式を満たすことである（物性研究 31 巻 p. 126）。しかしこれは誤りである。 δI が 0 になるためにはロンドン方程式を満たすだけでなく、電流の変分を局所的なものに限る必要がある。例えばドーナツを一まわりするような電流の変分を考えればロンドン方程式をみたして $\delta I = 0$ とはならない。このことは既に指摘した（37 巻 p. 185）。

3.3 従って電流変化を局所的なものに限るという仮定は飯田理論にとって極めて重要なものである。膨大な飯田理論のフォーマリズムのほかにこの仮定があるのであって、これなしにはマイスナー効果も永久電流も導出することが出来ない。

3.4 そのように重要なものであるにも拘らず、これは単なる仮説である。つまり飯田氏はその derivation を与えておられない。だから飯田氏にとってそういう気がするということだけのことであり、そういう気のしないものにとってはマイスナー効果も永久電流も存在しない。今までに何べんもこれに似たようなことがあった。

3.5 derivation が与えられていないから討議のしょうがない。二三の理屈は並べてあるけれども茶のみ話程度であって本当かどうか判らない。私がレフェリーなら当然拒否である。しかしこれだけでは読者は物足りないと思うので、この仮定がいかに勝手なものであるかを説明しよう。

3.6 「電流の変分として局所的なものに限るといわれますが、熱輻射と電子の相互作用を考えると、電子は熱輻射から運動量をもらうから全電流は保存せず、ドーナツをとりまくような電流の変分が生じるのではないですか」

「熱輻射によってドーナツをとりまき、マクロとみなされるような大きさをもつ電流変化が誘起されることはない。」

「なぜですか」

「そのような電流変化が生じればそれに伴ってコヒレントな電磁波が放出される。熱輻射によってコヒレントな電磁波が放出されるのはおかしい」

「世の中に熱輻射によってコヒレントな電磁波が誘起されるものはいくらもあります。どうしておかしいのですか」

「例えば黒体壁を考えてごらん下さい。あれからコヒレントな電磁波が出ますか」

「おっしゃる通りですが、それは黒体壁が熱平衡にあるからです。熱平衡にないものからコヒレントな電磁波が出てきてもちっともおかしくありません。今我々はドーナツに流れる永久電流が熱平衡かどうかを議論しているのです。だから、コヒレントな電磁波が出ることがおかしいからドーナツをとりまく電流変化が生じないという主張はナンセンスです。もう一度伺いますが、熱輻射によってドーナツをとりまく電流変化が生じないのは何故ですか」

事実前節で1秒程度でドーナツの電流が減衰することをみた。これは輻射が電子の運動量を持去るからである。そのような状況のときに、どうしてドーナツを一まわりする電流変化が熱輻射によってひきおこされないのか、その証明を要求します。

3.7 ドーナツにある円電流が流れ、電流分布がロンドン方程式をみたす状態をAと呼ぶ。その微小体積 ΔV を考え、その場所における電流を $j(r)$ とする。時間を δt 毎に区切り、ある瞬間より δt たったとき、 $j(r)$ が熱揺動によって δj だけ変化したとする。熱揺動の原因には熱輻射（BS もこれに含まれる）も含まれる。はじめに円電流のない状態を考える。飯田氏によるとこれも熱平衡状態の一つである。このとき $j(r) = 0$ である。このとき δj が正の方向に起きる確率も負の方向に起きる確率も等しい（簡単のため二方向のみとる）。次の δt 後また δj が生じるがこれも正負等確率でおこる（簡単のためいつも同じ大きさの δj が生じるとする。これは本質的な仮定ではない）。このように δj が積み重なってゆくとき、ランダムウォークと同じであって0を中心として揺動の範囲が広がってゆく。ここで重要なことは、あまり0から離れると、 δj の起る確率は既存の電流を減らす方向の方が大きくなることである。従ってその場合は0の方へ引きもどされ、0のまわりをうろついていて、決してマクロ的な電流変化は生じない。これが生じたらコヒレントな電磁波が放出されておかしいことになる。もし0からいくら離れても正の δj と負の δj が同じ確率でおこるなら、これは完全なランダムウォークであり、 δj が積み重なっていつかはマクロな電流変化となり、これが0を中心から一り、ふらりと揺れているという事態になる。そのようなことはない。

次に $j(r) \neq 0$ とする。このときは今のべたように、 $j(r)$ を減らす方向に δj が生じ易い。そういう δj が次々と重なるが時々逆方向にも生じる。その確率は ΔV を大きくする程小さくなる。結局負の δj が重なって遂にマクロな電流変化が発生する。同じことはすべての ΔV で生じており、その電流変化をつなげればドーナツをとりまく負の電流が生じる。この新しい電流分布は $\text{div } j = 0$ を満たしていないし、ロンドン方程式もみたしていないだろうが、それらはすぐに修正されてしまう。このようにして全電流の値がAより減少し、分布がロンドン方程式に従う新しい状態Bに到達する。Bのもつ I の値はAのもつ I の値より明らかに小さい。従ってAは I の極小点ではない。従って熱平衡状態ではない。

このとき遠く離れた ΔV の間に相関があるとしたのではない。また光速度を無限大としたのでもない。そして重要なことはすべての ΔV を同時に考えたことである。飯田氏の“常識”に従って一つの ΔV だけ考え、他の ΔV の電流変化はすべてお休みにしておくというやり方では決して出て来ないものである。さてこのときドーナツを取かこむ電流が誘起されたから、コヒレントな電磁波が発生するが、そのことはちっともおかしくない。なぜならAは熱平衡ではな

いから。熱平衡でないものが熱平衡に向って不可逆過程を行うとき、コヒレントな電磁波が発生してもちっともおかしくない。

さて飯田氏は熱輻射によってドーナツをとりまき、マクロとみなせる大きさをもつ電流変化は誘起されないと主張された。この主張が破れるとマイスナー効果も永久電流もだめになってしまうから極めて重要な主張です。この主張の証明を提示して下さい。私にはこの主張が成立つのは

1. 熱揺動 δj が生じない。
2. 熱揺動 δj が強い相関をもつ。例えば正の次には必ず負が起るとか。
3. 記憶の効果がある。はじめの $j(r)$ の値を憶えていて、それから正にずれても負にずれても、もとの値に近づくように δj の生起する確率が変化する。

の三つの場合しかないと思う。そしてそのどれもあり得ないと思われる。

そしてもう一度お願いしますが、BS による運動エネルギーの緩和時間が 10^{10} 年程度という計算を提示して下さい。私は1秒という計算をお示ししましたし、 10^{10} 年というのは飯田氏の発言ですから、その計算をご自身で提示して下さいのが研究者としての礼儀と心得ます。もしこれがして頂けない時は、飯田氏の負けを宣言させていただきます。

新体系物理学の発展と、近藤氏へ、VI －古典電子ガスの熱揺動と電磁輻射に関連する物性－

東大・理 飯 田 修 一

目 次

○ 前 文

- § 1. 新体系物理学と論文の公表自由の原則の確立。
- § 2. 近藤氏の提起された各項目に対する簡単な回答。
- § 3. 古典電子ガスが熱輻射電磁場を吸収もすることを無視し、単純に能動的に容器の壁に衝突したとして、数学的に期待される電磁輻射の総量計算。
- § 4. 熱揺動輻射および古典電子群の境界面衝突輻射の回数に関する概算評価と、その相異点を明確化する三つのモデル計算。
- § 5. 古典電子ガスの電磁輻射と熱揺動に関係する二、三の物性。