

「磁場の関係する物理学に新しい常識を
樹立することに就いて」の正誤訂正および
補足と、近藤氏の批判解説に対する回答

東大理 飯 田 修 一

(1979年3月17日受理)

§ 1. はしがき

物性研究 31(1978) No. 2 に表題の筆者の解説¹⁾が掲載されたが、同時に「飯田理論に就いて」²⁾と題する近藤淳氏のメモ風の解説が初めに紹介された。筆者の解説(以下I-解説と略記)は既存の常識のいくつかに大きい変革を行なおうと意図して居り、その意味で既存の常識を信奉して来られた多くの人達から、色々な形で批判の出ることは至極く当然である。筆者の主張の一側面は、丁度ガリレイ以前に慣性の法則が確立されて居らず、「運動する物体は力を加え続けていないと必ず静止する。」と信じられていたが、ケプラー、ガリレイ等によってその誤謬が訂正されたように、「電流の永続にはエネルギーの消耗がある。」という現在の暗黙の常識を訂正し、巨視的電磁気学や、微視的ではあるが、非量子論的なマクスウェル-ローレンツの電磁気学の世界にも永久電流の概念を導入し、自由に駆使することを一つの柱として展開されて居る。又その考察の関係する範囲は、古典物理学から量子物理学、更に電子と光子に関する場の理論と言った物質物理学の最尖端にまで及ぶものであって、近藤メモは単にその中の一つの特殊点、「超電導体の示すマイスナー効果に伴う永久電流の発生は、電気抵抗が厳密に零になった完全導体の示すべき古典物理学的(古典電磁熱力学的)属性である。」という点にのみ関するものである。近藤氏の論説は§ 3に詳細説明されるように、熱力学の対象となる体系の限定方法の曖昧さと、エントロピーの増減の存否に関する明瞭な誤解が、その論旨の本質的な部分に存在して居り、過まりと断定出来る。順序として、§ 2に正誤訂正と補足を、§ 3に近藤メモ(今後Kメモと略称)の誤謬点を説明する。なお古典物理学と量子物理学の定義に関してはI-解説¹⁾ § 7とp105の脚註を参照されたい

§ 2. 正誤訂正と補足

筆者の解説¹⁾は物性研究編集部の御好意により、著者校正をも行つて万全を期したが、

「磁場の関係する物理学に新らしい常識を樹立することに就いて」の正誤訂正および補足と、近藤氏の批判解説に対する回答

郵便事情の極度に悪化した年末年始の時期に発行されたといった事情も手伝って、乱丁のある冊子が見られる。又若干の植字ミス等があり、ここに正誤訂正および補足をさせて載く。

		誤	正
p 93	上 12	唯一の事	唯一つの事
	下 9	リングの構成素片に	リングの構成線素片内に
p 94	上 3	$\alpha/2\pi = e^2/4\pi\hbar c$	$\alpha/2\pi = e^2/4\pi\hbar c$
p 96	下 4	式(20)のように置く、 ²⁷⁾ の次に [Gordon の分解参照。文献 30) と J.J. Sakurai, "Advanced Quantum Mechanics", Addison-Wesley Pub. Co., (1967) p. 107 を挿入	
p 97	下 4	$+(-\mathbf{m}_j) \cdot \frac{\partial \mathbf{h}_i}{\partial t}$	$+ \sum_{i \neq j} (-\mathbf{m}_j) \cdot \frac{\partial \mathbf{h}_i}{\partial t}$
p 99	下 7	(31)	この(31)は不要
p 102	式(42)	$\frac{dA}{dt} = \frac{d}{dt} \langle A \rangle$	$\langle \frac{dA}{dt} \rangle = \frac{d}{dt} \langle A \rangle$
p 103	下 1	遅延効果が入れられその時間微分 dA/dt	遅延効果が入れられそ [後は切る]
p 103	下 4	手続をも経ないで	手続きを経ないで
p 108	下 4	運動方程式(46)で	運動方程式が式(46)で
p 110	上 10	$\mathbf{H}_{21}(\mathbf{r}) = 0$	$\mathbf{H}_{21}(\mathbf{r}) \neq 0$
	下 4	$\{\mathbf{e}_i, \mathbf{h}_i\}$	$\{\mathbf{e}, \mathbf{h}\}$
p 114	式(64)	$\cdot \mathbf{j}(\mathbf{r}, t)$	$\nabla \cdot \mathbf{j}(\mathbf{r}, t)$
p 122	上 12	式(75)と式(70), (73)	式(75)と式(70), (74)
p 123	図 4	[面 S_p は点 P を中心とする異心円]	
p 127	上 2	1000° にでも	1000° K でも
p 128	下 4	χ 成分	$\times$ 成分
p 129	式(102)	[I. I.]	[I. T.]
p 131	上 8	全科玉条	金科玉条
p 133	上 7	$+ \sum_{i>j} \frac{q_i^i q_j (\mathbf{v}_i \times}{8\pi r_{ij} c^2}$	$+ \sum_{i>j} \frac{q_i g_j (\mathbf{v}_i \times}{8\pi r_{ij} c^2}$

p 134 上 6	Darwin の静電接触相互作用項, 他粒子とのスピン……	Darwin の静電接触相互作用項, スピン間磁気相互作用項, 他粒 子とのスピン……
下 5	Fe ⁵⁷ イオン	Fe ³⁺ , Fe ²⁺ イオン

なお以下の解説で、Ⅰ－解説¹⁾の文献名をここで再録することは重複と考えられるので、例えば6^{*})のように*を附して文献1)記載の文献名を引用させて載くことにする。

さて若干の補足を行う。Ⅰ－解説の中で、電子の古典像をリング状の永久電流^{1*)}が量子揺動して球対称の電荷分布になっているものと考えたが、今迄大きさのない点であると多くの人に信じられていた電子に関して、全く新しい描像の提案であり、素粒子論関係者などから強い批判が出ている。このモデルに就いては電子の古典モデルとしては best であると筆者は主張し、Dirac の与えた電子の方程式による理解^{26*)}と広い意味で両立できるものであると結論しているが、その接続に関する数式関係は稿を改めて行きたい。幸いマイスナー効果の問題は電子のスピン構造に無関係で、又筆者の展開した全体系は、Ⅰ－解説¹⁾ p 94 脚註に述べているように、電子のスピン磁気能率の造る磁場は、それが永久電流に帰因すると考える以外に在り得ないことだけを認めればよいのであつて、モデルの詳細には関係しない。

電子スピンの示す永久電流性に関しては、場の理論 (Field Theory) の立場では疑問の余地がないと考えられるが、フェルミオン素粒子としての電子の造る電流 $j_\mu = \{j_1, j_2, j_3, j_4\}$, $j_4 = ic\rho$ ^{5*)}に関する Gordon の分解定理^{30*), 3)}は案外物性物理学関係者に知られていないので、ここで簡単に紹介させて載く。

現在電子に関しては、Field Theory に準拠した Quantum Electrodynamics によって略々完全に理解できたと信じられている。その相対論的摂動理論 (Covariant Perturbation Theory) は発散の問題を内蔵し、Renormalization⁴⁾と言った極めて複雑な数学処理を導入し、発散の困難を巧妙に避けることによって多くの観測量に関し、略完璧に近い理論と実験の一致が得られている。しかしながらその数学形式の中に飽迄発散が内蔵され、従ってその意味で不完全であることは注意されねばならない。⁵⁾さて電子の基礎方程式は

$$-c\hbar\gamma_\nu \left(\frac{\partial}{\partial x_\nu} - \frac{ieA_\nu}{c\hbar} \right) \psi - mc^2\psi = 0 \quad (e < 0) \quad (1)$$

「磁場に係る物理学に新しい常識を樹立することに就いて」の正誤訂正および補足と、近藤氏の批判解説に対する回答

であつて、ここに r_μ はディラックの γ -マトリックス (4行4列) であつて、

$$r_k = \frac{\beta \alpha_k}{i} \quad (k = 1, 2, 3), \quad r_4 = \beta \quad (2)$$

であり、 $\psi(x, y, z, i c t)$ は四行一列のベクトルであるが、場の理論に堪能でない人達は、いわゆるディラックの一電子に関する波動関数^{37*), 3)}と思われればよく、又場の理論の立場^{26*)}では第二量子化されていて、それ自身4行一列で、四次元空間の位置の関数としての演算子であり、演算されるのは全体系の状態関数 $\Psi(t)$ であつて、電磁場 $A_\nu(x, y, z, i c t)$ のもとにおける任意箇数の多電子系が、すべてその対象になっていると考えることの出来るものである。上式に共役な方程式は

$$-c\hbar \left(-\frac{\partial}{\partial x_\nu} - \frac{i e A_\nu}{c\hbar} \right) \bar{\psi} r_\nu - m c^2 \bar{\psi} = 0 \quad (3)$$

であつて、

$$\bar{\psi} = \psi^\dagger r_4 \quad (4)$$

であり、ある程度複雑な過程^{37*)}によって導出される。 $\psi^\dagger$ は ψ のエルミート共役な関数又は関数としてのオペレーターである。

電流 j_μ は $\psi, \bar{\psi}$ によって

$$j_\mu = \frac{i e c}{2} [\psi r_\mu \bar{\psi} - \bar{\psi} (\widetilde{r}_\mu) \widetilde{\psi}] \quad (5)$$

と一般的に示される。 $\widetilde{\psi}, \widetilde{r}_\mu$ などは転置行列を示すものとする。通常の量子力学の立場では

$$j_\mu = i e c \bar{\psi} r_\mu \psi \quad (6)$$

としておけば十分であるが、場の理論の立場では式(6)には発散性の定数項が附随するので、^{26*)} 式(5)のように対称化してそれを取り除いて置かねばならないのである。

式(5)は式(1), (3)と r -マトリックスの性質を効果的に使用することにより、

$$j_\mu = c \frac{e \hbar}{2 m c} \frac{\partial}{\partial x_\nu} \left\{ \bar{\psi} \frac{r_\mu r_\nu - r_\nu r_\mu}{4 i} \psi - \bar{\psi} \frac{\widetilde{r}_\mu \widetilde{r}_\nu - \widetilde{r}_\nu \widetilde{r}_\mu}{4 i} \widetilde{\psi} \right\} + \frac{e}{4 m} \left\{ -\frac{\hbar}{i} \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial x_\mu} \psi + \bar{\psi} \frac{\hbar}{i} \frac{\partial \psi}{\partial x_\mu} - \frac{\hbar}{i} \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial x_\mu} \widetilde{\psi} + \widetilde{\psi} \frac{\hbar}{i} \frac{\partial \widetilde{\psi}}{\partial x_\mu} - \frac{2 e A_\mu}{c} (\bar{\psi} \psi - \widetilde{\psi} \widetilde{\psi}) \right\} \quad (7)$$

飯田修一

と一義的に分解される。^{30*)}, ³⁾ 式(7)の第二項は初等量子力学の常識に従うと

$$\frac{e}{m} \cdot \left\{ \left(-\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x_\mu} - \frac{e A_\mu}{c} \right) \psi^* \right\} \psi = e v_\mu \psi^* \psi \quad (8)$$

であつて、明らかに電子の軌道運動に伴う電流であり、第一項は、これまた明らかにスピン磁気能率の存在に伴う電流効果であつて、

$$S_{\mu\nu} = \frac{1}{2} \left\{ \bar{\psi} \frac{r_\mu r_\nu - r_\nu r_\mu}{4i} \psi - \bar{\psi} \frac{r_\nu r_\mu - r_\mu r_\nu}{4i} \psi \right\} \quad (9)$$

は $\hbar$ を単位として示されたスピン角運動量の意味を持つマトリックスであつて、 $-(e\hbar/2mc) = \mu_B$ はボーア磁子である。従つて第一項は

$$(j_\mu)_1 = c \frac{\partial}{\partial x_\nu} M_{\mu\nu} \quad (10)$$

$$M_{\mu\nu} = -2\mu_B S_{\mu\nu} \quad (11)$$

であつて、^{5*)} 計算するとすぐ判るように、その空間成分は

$$(j_k)_1 = (c \nabla \times \mathbf{M} + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t})_k \quad (k = 1, 2, 3) \quad (12)$$

であつて、スピン磁気能率 μ を持つ電子の存在は、あたかも磁化 $\mathbf{M}(\mathbf{r}, t)$ ($M_x = M_{23}$, $M_y = M_{31}$, $M_z = M_{12}$) の空間分布と同一の状況になり、その結果として存在を結論できる磁化電流^{5*)}

$$c \nabla \times \mathbf{M} \quad (13)$$

と、磁気能率 μ が運動状態にあるとき、相対論的に発生する電気二重極能率 $\mathbf{p} = (\mathbf{v}/c) \times \mu$ の分布 $\mathbf{P}(\mathbf{r}, t)$ の時間変化に伴う電気分極電流、 $\partial \mathbf{P} / \partial t$ の二つの成分の和になっていることが示される。式(13)の電流は必ず閉回路を形成し、これをその期待値で考えて実在とすると、筆者のいう(I - 解説 p 96) マクスウェル-ローレンツのスピン電流 $\mathbf{I}^\mu$ を構成することになる。^{3*)} (勿論軌道電流も $\mathbf{I}^\mu$ を構成できる)

以上が Gordon の分解であつて、renormalizeしない立場での説明である。renormalizeすると補正項が加わることになるが、これには非常に複雑な過程の理解が必要であり、⁴⁾ ここではその説明は省略させて載く。

§ 3. K-メモの誤謬に就いて

筆者の解説¹⁾の一つの目的は通常論文と同様、我が国の読者諸子に、筆者の物理学的な考え方を理解して載くことにあるが、その冒頭にお断りした通り、今一つの大きい目的は、日本物理学会ジャーナル編集委員会に提出され、掲載拒否回答を受けている筆者の英文論文 Part III-R,^{9*)} IV,^{10*)} V^{11*)} の公表に関して国内の御理解ある支持を得る点にある。又そういった事情のために III-R, IV, V はジャーナルのレフェリー他特定の少数の人達以外は読むことが出来ない状況にある。K氏には筆者からその理解を御願いしたという事情があつて、その少数の一人になられた訳であるが、筆者として“討議に値し、従つて公表の価値がある”と考えている重要な文献が、三つまで未公表の儘、その文献の内容に関係する討議を本紙上で始めねばならないことは誠に不本意なことであり、物理学発展の正道でありえないことをここに強く訴えさせて載く。

さて、K-メモの最も本質的な誤謬は、I-解説の p 107, 127 に詳述したエントロピーの増減に関する初等的誤解である。他に何等の変化を残さなければ、熱的なエネルギーが仕事に変わることは出来ないが、他に何等かの変化を残せば熱的エネルギーはむしろ仕事に変わりたくてウズウズしているとも言えるのであつて、ピストン中の高圧ガスがその例である。磁場中にある古典電子ガス系がその熱的な運動エネルギーを消費して磁束を追い出し、マイスナー状態に入つたと仮定したとき、それだけの事実から系の全エントロピーが減少したと言うことは絶対に出来ない。p 73 下 11 (下から 11 行目という意) から 9 までの記述が過まりであり、又同様に p 80 上 2

$$\delta U_{2T} = T \delta S_2 \quad (14)$$

という式は過まりである。

以上で K-メモは問題にならないことが明確化されたことになるが、筆者の観点からみると同メモは熱力学や電磁気学の理解不足が目立つ水準の低い記述である。それで潜越であるとは考えるが、物性研究購読の初学者の方々を対象として懇切丁寧にその誤謬点を明確化することは我が国の物性関係研究の進歩に貢献するものと考えらる。

さて § 1 予備的考察ではマサツという言葉が気になる。摩擦現象は、巨視的な力学と原子、分子レベルの運動エネルギーとの相関によつて巨視的な力学にのみ発生する現象であつて、微視的世界、とくに電子ガスといった抽象化された素粒子の集団の世界には不適當な言葉である。同一の過まった認識に基づくと考えられるのは、p 72 で電流をバ

飯田修一

ケツの中の水の運動のように集団的な慣性運動としてしか理解されていないように見える点であって、拙著「新電磁気学」上^{5*)} 4・3 p 155 - 158, I-解説¹⁾ § 12. p 128 - 130 などを参照載きたい。磁場の及ぼすローレンツ力と熱運動の結合によって Meissner の状態は少くとも運動学的には安定であることが厳密に示される。

p 72 下 7 I_1 を 0 から I_1 まで増したとき, C_2 に流れる I_2 の逆作用が I_1 に及ぶことを注意する。しかし結果として I_1 が 0 から I_1 に変化したという立場は結構と考える。下 2 「エネルギー極小」, 「生理的」いずれも気になる言葉である。

p 73 上 6, 飯田理論の原始の姿は I-解説¹⁾ p 100 下 9, p 104 下 10 - 4, p 106 式(51) p 129 式(99) である。Van Vleck の図^{45*), 46*)} で, 境界面附近を境界との衝突を繰返し乍ら, 高速で常磁性的に回転運動し, 内部の電子のサイクロトロン運動による大きな反磁性を打ち消してしまい, いわゆる Miss van Leeuwen の定理を成立させる境界電子群の担う磁気エネルギーが, K-メモでの式(26)の第 3 項の表現 (筆者の Part I^{6*)} 式(72)) を用いた時,

$$\frac{-e \mathbf{v} \cdot \mathbf{A}(\mathbf{r})}{c} \sim + 10^{1 \sim 2} \text{ eV} \quad (15)$$

の巨大な値になったこと, そしてこの境界電子群が消滅すると系は必然的にマイスナー状態に移行することの認識は重大なヒントであった。

p 73 の上 10 以下は既に最初に説明し, I-解説¹⁾ で最も力を入れたところである。論文 III-R^{9*)} はそれを詳細に説明しているが, 論文 III^{8*)} でも十分理解されよう。熱的エネルギー U_{2T} (式(16)) が減っても, 磁場中でサイクロトロン運動をしている電子群よりも, 表面層を除いて, 磁場零の中を自由に動いている電子群のもつエントロピーの方が大きい, 少くとも小さくはないというのが結論になる。なお III-R は K-氏は読み得る立場にあるが, 一般読者は見ることが出来ないのである。p 73 の下 14 は「 I_1 に対して負の仕事を行う」, 下 12, 下 11 は「 I_1 に対してなされた負の仕事は I_1 の運動エネルギー ((4)の第一項) の減少とならねばならぬ」と書かないと混乱する。

p 74 上 3 以下に関して言うと I-解説¹⁾ p 127 上 9 以下に述べているように retardation が essential であるとは考えていない。しかし物理過程がその形で起ることは確かと考える。但し若干の保留は I-解説¹⁾ p 126 下 7 以下に述べられる。Transient なことが起った瞬間をとらえて方向を決めるのはむづかしいという K-メモの記述は判る。

それ故にこそ筆者の非常な苦心があり、そこに遷移エネルギーの原理 (Transient Energy Principle. TE原理) という熱力学の新原理が存在し筆者はそれを発見したと考えている訳である。物理学の原理 (Principle) の発見という言葉は軽卒に使われるべきものでは絶対にならないことは筆者も肝に銘じていることである。因みに当物理学教室でTE原理が過まっていることを明確に示した人は未だ居ない。Field Theoryと言った物理学の最深部と関連する物理学の原理として提案されていることを注意する。

§ 2. 二, 三の例では熱力学の問題設定の厳密性に関するK-メモの甘さが目立つ。もともとTE原理はエントロピー増大を指向する Thermal Principle と、配位空間上のエネルギー減少を指向する Dynamical Principle が互に競合する場合に不可逆過程の指向する方向を定めるものとして登場しているのである。その際出発状態は準定常的なものと仮定され、Internal Parameter X_i (I-解説¹⁾ p 117) の最初の変分方向のみに関するものである。大きく変化した後の状況はブランコの例のように (p 119 上 1) 色々であって判らない。従って最も厳重な物理学の Elementary Process の進行する方向に関するものであって、滑車だの、糸だの低級なものとの関係する § 2 の例は不適當である。良く言えば複雑過ぎるし、悪く言えば巨視的なものと粗い物理学で十分記述できる低精度の問題である。しかしながらK-メモに調子を合せて、敢えて此等の問題にTE原理を適用する事にすると、初期条件の設定だけは厳重でなければならぬことを先づ注意する。

さて糸はゴムであるとする。第一例は省略して第二例を証明する。この場合熱浴の温度を T_r とし、ガスの温度 T と峻別し、初期条件として

$$\begin{aligned} \text{Case A} \quad T_r &\neq T, \quad Mg = F = pS \\ \text{Case B} \quad T_r &= T, \quad Mg = F \neq pS \end{aligned} \tag{14}$$

の二つの場合に別ける必要がある。(そうでないと両者が同時に起ると共に熱伝導の早さ等が関係する。) 系の張力 F はピストンの高さ h が抱束されているとして、初期状態では $F = Mg$ に等しいと置かねばならぬ。Case A では h は自由で、 $Mg = pS$ から定まる h に初期条件があり、 $t = 0$ で熱浴とガスとの間の熱絶縁が外される。当然 $T_r \leq T$ に従って高い温度から低い温度に熱流が生じる。それだけが不可逆過程の初過程であって、TE原理をとくに使う必要はない。Case B は $t = 0$ で高さ h のクランプが外される。 δh を仮想変位として

$$[TE] = -\delta U^C = -\delta U_2^C - \delta U_{\text{elas}}^C = -(pS - F)\delta h > 0 \quad (16)$$

が、 δh の方向を決定する。ここでピストンは重さがないと理想化している。[TE] は勿論ゴムの中を走る弾性波のエネルギーになる。 U_{elas}^C は h の関数として現された定常な状態でのゴムの弾性エネルギーである。

K-メモでは物理学の原理にエントロピー増大以外に Dynamical Principle のあることが軽視されている。磁場中で電子は反磁性的なサイクロトロン運動を Dynamic に行うのであり、且つマイスナー効果の特殊性として、その Dynamics と Thermal Principle が微視的領域で本質的に相関するのであって、上記の例はこの本質に肉薄できる例ではない。なお TE 原理は必要条件だけしか与えることが出来ないことを注意する。TE 原理の不等式を満足する一つの想定された素過程が、具体的に発生するかどうかは、考えている体系の持つ内部機構に依存するのであって、TE-原理の関知できるところではない。(I-解説 p 121 参照)

§ 3 については p 78 の熱浴の議論が気になる。筆者の場合は連続的な正電荷の海で代表される電気ポテンシャルの井戸の中の電子ガスであって、熱浴は考えず、輻射場だけが熱の出入源になる。熱浴を考えることにより、磁場中にある電子ガスの温度の定義という困難な問題の処理に迫られる。特に格子のように強く相互作用するものが熱浴であるとする、この問題が本質的になって困難を惹起する。強く相互作用している場合 $\delta Q = T_r \delta S_r$ の関係も定義できるかどうか疑わしく、まして、 $\delta U_{2T} = T \delta S_2 - p_2 dV_2$ は困る。電磁的な仕事を無視して、 $-p_2 dV_2$ などを持ち出すセンスは判らない。 $\delta U_{2T} = T \delta S_2$ は既に述べたように全くの過まりである。従って式(24)は得られない。なお p 79 下 10 $\delta W_1 = \delta U_{1D}$ の式は自己矛盾である。 $\mathbf{j}_1(\mathbf{r})$ を不変とすると δW_1 が厳密に定義できるが、その際授受した仕事は $\mathbf{j}_1(\mathbf{r})$ を不変に維持させている電源のエネルギーの変化になる。 $\mathbf{j}_1(\mathbf{r})$ が変化すると仮定すると U_m や U_R にもその結果の影響が現れる。

p 80 の下で、 $U_R + \delta W_1$ が [TE] であると書かれ、理由が判らぬとされたのは理解出来ない。K-メモの最終状態ではなく、I-解説¹⁾ $t = t^0 + \delta t^0 + \delta t^\alpha$ (p 123 - p 125) で考えたとき、 $C_1 + C_2$ の配位空間で考えると、配位空間では、定常もしくは準定常に内部パラメーターが抱束された場合の系の状態のみが示されているという熱力学の原則に従い、 C_1, C_2 のその時の $\mathbf{j}_1(\mathbf{r}), \mathbf{j}_2(\mathbf{r}), U_{1kT}, U_{2kT}$ によって指定される系の配位空間上

「磁場の関係する物理学に新しい常識を樹立することに就いて」の正誤訂正および補足と、近藤氏の批判解説に対する回答

でのエネルギー以外のエネルギーが、 $[TE]$ であって、孤立系では全エネルギー一定であるから、p 125 式(90)に従って

$$[TE] = -\delta U^C = -\delta [U_m^C + U_{kD}^C + U_{kT}] \quad (17)$$

と計算されるのである。それがたまたま C_1 の電流 I_1 が全く反応せず、飛翔して来た誘導起電力 δE_2 のする仕事そのままの形で全部その電源への仕事として吸収されたとして理想化するとそれが δW_1 になり

$$[TE] = \delta W_1 + U_R \quad (18)$$

という等式が成立するに過ぎないのである。(式(85), (86), (89), (90)) 仕事を与え得たり、エネルギーを奪い取るような強い action を持った電磁波動が空中を飛翔して居る状況のもとで、何が $[TE]$ であるかを決定することは確かに一義性に懸念を伴うような物理的状況である。こうした場合はわれわれは自然の解析性、数理物理学的無矛盾性を信じて熱力学の配位空間の原理を formal に適用する以外に方法はない。式(17)はそうしたものである。そして結果は見事にそれによってすべてが consistent になることを証明したのである。K-メモの suggest した δU_{EM} は $t = t^0 + \delta t^0 + \delta t^\alpha$ の時の巨視的な電磁場のエネルギーから、初期状態の電磁場(磁場のみ)のエネルギーを差し引き、更に C_2 内の $\mathbf{j}_2(\mathbf{r})$ が造る磁場の自己エネルギーを、それが既に安定化しているからという理由で、その変化分 δU_{m2} を差し引いて、その残りを δU_{EM} としているのである。先づ δU_{m2} を差し引く理由は明瞭でない。どうしてかというと $\delta \mathbf{j}_2$ の発生は δU_{m2} の磁気エネルギーを構成する電磁波動の変化が、 $\delta \mathbf{j}_2$ の附近にのみ集中している状況のもとで完成し、それが全空間に拡がって安定化するのを見届ける前であることである。

$\delta \mathbf{j}_2$ は TE 原理的には零に極限を取るものであって、巨視的变化と微視的变化の数学的な接合点という物理的意義を持つものである。第二に、 $\delta \mathbf{j}_2$ が発生した以上は、その際電磁エネルギーの体系と、電子の運動エネルギーの体系との間に既に δU_{2T} のエネルギーの授受があり、従って $t = t^0 + \delta t^0 + \delta t^\alpha$ の時点での電磁場のエネルギーは初期状態の電磁場のエネルギーとは既に独立になっている。従って熱力学の原則に従い、 $t = t^0 + \delta t^0 + \delta t^\alpha$ の時点での $[TE]$ は、 $t = t^0 + \delta t^0 + \delta t^\alpha$ の時点での体系の内部パラメターの値のみから決定されねばならないのである。この辺の議論を十分に理解するの

飯田修一

には I 解説 § 11 だけでは不十分であって、Part III ^{8*)} p 69-71, 77-79, および Part III -R ^{9*)} の対応する箇所に示されているところの、 $t = t^0 + \delta t$ で、I 解説 ¹⁾ の図 4 の波頭面 S_ρ が、なお C_2 内部の小さい領域に閉じ込められている状況の物理的解析の理解が必要である。

なお K-メモの δU_{EM} は U_R に他ならず、 U_R は $c \delta \mathbf{E} \times \delta \mathbf{H}$ として、 δ の二次の熱輻射エネルギー的なものであって、その値は $\mathbf{j}_2(\mathbf{r})$ の初期状態と最終状態の何れにも依存せず、又 C_2 内の磁場 $\mathbf{H}(\mathbf{r})$ の値にも関係せず、単に $\mathbf{j}_2(\mathbf{r})$ の変化分、 $\delta \mathbf{j}_2(\mathbf{r}, t)$ の時間変化のスピード、途中の変化経過にだけ依存するものになっている。初期状態と同一の最終状態に戻っても $U_R \neq 0$ であって、それでは熱輻射以外の変化の方向を決定できる条件は出て来ない。又体系の残部のエネルギーを指定できるような配位空間構成の仕様は存在しない。p 81 の第二法則の議論が、初等的誤謬であることは言う迄もないであろう。

§ 4 の議論は相当な暴論になる。p 81 下 3 Van Vleck の本のハミルトニアンを用いる方法は証明になって居ないので、この記述は取り下げるべきである。I 解説 ¹⁾ p 111 下 8 - p 112 までを参照載きたい。p 82 の議論は C_1 と電子が近いとして光速 $c = \infty$ の仮定の式(26)が出发点になっている。この際 C_1 自身の造る磁場の自己エネルギーは第一項にくりこんでいることを明確化する必要がある。式(33)までの記述は従来のハミルトニアンが、力学的に、近似的に一電子の力学的運動を記述するものになることを証明しただけであって、Part III ^{8*)} § 4 で説明したことと同等である。さてそこから p 83 下 6 において、“電子の速度が v_2 である確率と $-v_2$ である確率が等しく、電流の平均が 0 であって、Miss van Leenwen の定理が成り立つ”という結論は出てこない。力学で有効な H' が、熱統計力学で有効な、体系のエネルギーを表現していないということは筆者の主張の根幹であり、それを反論する十分な根拠を与えないでの結論である。熱統計力学の根幹は以上の解析で全く無視されたもの、即ちサイクロtron運動する電子の放射する電磁場エネルギー (U_R 相当) と、多数ケの電子が電気的および磁氣的に相互作用することによって発生する多体系特有の集団統計効果の落着く先如何ということであり、この議論は何ものも示していない。

p 83 下 4 からは暴論が始まる。 C_1 が一万光年の彼方にあると宇宙は龐大な磁気エネルギーで満たされ、われわれの世界とは根本的に異なった世界になる。又 δW_1 は存在

「磁場の関係する物理学に新しい常識を樹立することに就いて」の正誤訂正および補足と、近藤氏の批判解説に対する回答

しないかも知れないが、式(17)で示される [TE] は間違いなく存在する。p 79 において、 δU_m は飛翔する電磁場の境界領域が C_1 を通過して無限遠に飛び去っている時に定義され、 $\delta U'_m$ も同一の前提が要るようである。その前提を外して $\delta U'_m$ とは何か全く判らなくなる。p 84 上 12 以下の議論は従って理解困難である。

§ 4. おわりに

以上 gordon 分解によるスピン電流の紹介と、近藤氏の批判が間違っていることを解説させて載いた。場の理論の理解に関しては東京大学理学部物理学教室の素粒子関係研究室の皆様、とくに西島和彦氏、宮沢弘成氏、佐藤光氏に大変御世話になった。この機会に厚く御礼申し上げる。なお本解説の内容には一切タッチされていないので、本文の全責任は筆者にあることは無論である。もちろん物性関係理論研究室の皆様方にも、I 解説の内容構成に至る長い過程で、直接間接に色々御世話になっているので、同じく厚い謝意を表したい。なお I 解説は、K-メモに関する本稿の批判の換点と共に、当物理教室メンバーを始め広い範囲に送付されて居り、既に 4 ヶ月以上を経過しているが、何等の反論も受けて居ないことを附記する。最後になって恐縮であるが、難解な筆者の新理論体系を非常な努力で理解され、TE 原理が正しければ飯田理論は正しい (K-メモ²⁾ 冒頭はしがき) との認識に到達された近藤淳氏に対し深甚な謝意を表させて載く。特に匿名で直接連絡できないレフェリー諸氏の場合と異なり氏は積極的に氏の所信を物性研究に投稿されたのであって、科学者としての態度の立派さに敬意を捧げたい。

なお最近東京大学物理学教室で数名の有志によって筆者の提起した課題、とくに古典電子ガスのマイスナー効果に就いて討論が行われた。初等的な質問も多かったが、中には本質に関係した誤解もあり、その後メモを提出して載くことにより氷解した疑点もあった。その総括として次のように筆者は考える。筆者の論文 Part III-R (Part III^{8*)} の revise されたもの) が討議に値し、従って公表に値するという考えに反対される方は次の二点を文書によって明確に説明すべきである。

- A. 多電子系において、電子間の電氣的、磁氣的相互作用を考慮し、特に磁気エネルギーの処置に関する熱力学上の配慮を明確化して、Miss van Leenwen の定理なるものを第三者に判る形で証明すること。
- B. TE 原理が過まりであるというのであれば、どのように過まっているかを式で示し、

飯田修一

それに代る熱力学の原理を明らかにして、その原理から $\delta \mathbf{j}_2(\mathbf{r})$ の進行方向を識別する条件式を明確化すること。

既に第一レフェリーとは 60 回、K 氏とは 20 回以上のメモ交換による討論を行っているので、本質的でない些細な議論の繰返しは容赦載きたいと考える。

上記有志との討論で遅延効果と configurational energy U^C との関係が問題となった。この点は I-解説¹⁾ で特に慎重を期したところで p 96 上 4-10 (行) p 112 上 7-下 5, p 126 下 14 以下などが関連する記述である。式(93)においてその第二式から第三式に移行の際マクスウェル式とベクトル関係式から

$$\int_{V_1} \frac{1}{2c} \mathbf{j}_1^0 \cdot \delta \mathbf{A}_2 dV = \int_{V_2} \frac{1}{2c} \mathbf{A}_1^0 \cdot \delta \mathbf{j}_2 dV \quad (19)$$

になっていること、従って飛行中の $\delta \mathbf{A}_2$ の $\mathbf{j}_1^0$ に対する期待される効果は、 δU_m^C 計算の際に既に考慮されていることを注意する。

文 献

- 1) 飯田修一：物性研究 31 (1978) 87-138.
- 2) 近藤 淳：物性研究 31 (1978) 71-86.
- 3) J. J. Sakurai: "Advanced Quantum Mechanics", Addison-Wesley Pub. Co. (1967) p. 107.
- 4) K. Nishijima: "Fields and Particles", Benjamin Inc. (1969) Chaps. 3, 4, and 6.
- 5) 高橋 康："物性研究者のための場の量子論 II"，培風館，(1976) p. 197.

附 記

近藤氏の再批判が、本号に再び出ることを知った。従って余白を利用して、その誤謬点を指摘させて戴く。

$dU_2 = T dS_2$ の式が誤まりであることは当然なので省略する。筆者の近似では $n \sim 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ ，サイクロトロン半径 $r_0 = v m c / e H \gg$ 自由行路程， $r_0 \gg \lambda$ (浸透深度定数)， $v \ll c$ などは当然のこととして仮定されている。 $n = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ， $H = 100 \text{ kG}$ の例題では， $v = 10^4 \text{ m/sec}$ として， $r_0 = 60 \text{ \AA}$ ，平均電子間距離 $500 \text{ \AA}$ であって，上の条件に抵触する。各電子は各々独立に極小円弧のサイクロトロン運動を行い，Drift Velocity $\mathbf{v}_D$ が無意味になる。 λ は計算上は $600,000 \text{ \AA}$ になるが，物理的意義は異なる。