

静電磁場角運動量の生成

椋原健明

(受理 昭和55年5月31日)

GENERATION OF ANGULAR MOMENTUM OF STATIC ELECTROMAGNETIC FIELDS

Kenmei KUKIHARA

A method for generating electromagnetic angular momentum in static fields is proposed, which consists of a condenser and a magnet. The configuration has analogy with the unipolar inducting machine so as to produce nonzero total angular momentum.

Magnitude of the generation is estimated to range from microscopic $\#$ to macroscopic $\sim 10^{25}\%$.

1. 序 論

機械的な回転部を持たないジャイロともいえるものの原理を与える。考案の動機は2つあり、1つは、静的な場に於ける角運動量の量子化は、巨視的なものとして現れないかという予想である。

超流動ヘリウムの回転の量子化は、理論的予想¹⁾の後、1961年に発見され²⁾、現在もなお詳しい観測の工夫が続行されている³⁾。

超伝導体に於ける磁束の量子化も、同様な経過を経て、同じく1961年に発見され、どの教科書にもある⁴⁾。

両者はいずれも、大まかにいえば、 ^4He 原子又は電子対という Bose 粒子の Bose-Einstein 凝縮とみなされる。それ故、低温でしか見出されない。

Bose 粒子の凝縮で、昔からおなじみのものは光子のそれである。ケミカルポテンシャルがゼロであるから、Bose-Einstein 凝縮は起さないが、非平衡状態なら低周波領域に於て容易に起る。このことが、存立の理由となっている為に通常の電磁気学は高周波では精度が低下して使えない。可視レーザー位までであろう。

位相が明確になる程の高い光子数は、静的な場で最も楽になり、超流体に次ぐ巨視的な量子現象が期待できるかも知れない。

もう1つの動機は次のものである。天文学の為に開発中の装置によって、Bose 粒子 (量子化されるとし

たら)である重力波の通信が4m位の距離まで成功している⁵⁾。電磁気学の Hertz の実験の段階である。一般相対論が工学にかかわる小数の例の1つである。受信信号は原子半径より2桁位小さい。高い振幅の時空の歪を発生するには超高エネルギー密度を要する。莫大なエネルギーの固りであるといえる普通の物質でさえ、更に何桁も圧縮する必要がある。マルコーニの段階は不可能に近い。時空を曲げるのは質量のみではない。角運動量の存在もその能力を持つ。回転方向へ時空をひきずる効果がある。自然界の角運動量生成は星や原子が行っている。人工の装置はジャイロである。機械式でないジャイロの最初の候補は静電磁場の角運動量であろう。厳密には、ジャイロとしての認識は薄い。永久電流のリングは、原子がいわば永久電流電子を持っているのと同様に、角運動量を有している。

本提案の装置についての計算の結果は、後に示す様に、アボガドロ数の桁数を越える広範囲の量を生成できることを示している。巨大量の生成は現在の技術では困難である。巨視的な量の生成は可能である。又、quantal region の量を通常の巨視的な装置でつくる可能性も持つ。

2. 装 置

コンデンサーと磁石 (又はコイル) とで、Poynting vector の閉曲線をつくる。そして生成した角運動量の

総量がゼロにならない為に、装置は単極誘導機と似たものとなる。

静電磁場の Poynting の vector について、電磁気学の教科書には、考える必要がないとするもの⁷⁾、角運動量も存在するであろう⁸⁾とするものもあり一定していない。

静的な場に於ても、そもそもエネルギー流が存在するのかどうか、ということの発見がなされなければならない状況にみえる。それ故、エネルギー流を循環させて、その角運動量として観測できたら、発見の為の装置ともなり得る。

型式としては図1のものが最も単純であろう。

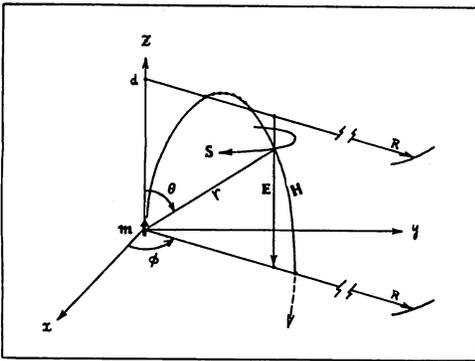


図1 生成装置と計算座標、半径 R の極板は一部分のみ示す。

半径 R の金属円盤 2枚が、間隔 d で置かれ、V ボルトの電圧により、ほぼ一様な電場 E をつくっている。このコンデンサーの一方の極板の中心には、磁気モーメント m が置かれ磁場 H をつくる。S は Poynting の vector である。

実際には、磁場は、極板に密着した円形コイルでつくることになる。その場合には、コイル内電子流の持つ微小角運動量を加算する必要がある。

計算は簡略さの為、双極子について示す。いずれの場合でも、磁力線の、円形極板の半径に平行な成分が常に正值であることから、両者がほぼ同等であることは明らかである。

3. 角運動量の計算

系の巨視的な全電磁角運動量 M は、次の体積積分で与えられよう。太文字は vector である。

$$M = \frac{1}{c^2} \int \mathbf{r} \times \mathbf{S} \, dv \quad \dots\dots(1)$$

分母は光速の自乗、r は位置座標である。図1の直交直線座標での成分は (x, y, z) のカッコで示し、極座標系では [r, theta, phi] のカッコを用いる。

電場は、コンデンサー内部のほぼ一様な部分では、

$$\mathbf{E} = (0, 0, E), \quad E = V/d$$

双極子 m = (0, 0, m) の磁場は、

$$\mathbf{H} = \frac{m}{4\pi\mu_0} \left(3 \frac{z}{r^3} \mathbf{r} - \frac{1}{r^3} (0, 0, 1) \right),$$

である。ここで $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 、よって

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} = \frac{3Em}{4\pi\mu_0} \frac{\cos\theta \sin\theta}{r^3} [0, 0, 1]$$

図1からも明らかである様に、S には phi 成分しかない。対称性から M には z 成分しかないので、r x S については z 成分のみ求める。

$$(\mathbf{r} \times \mathbf{S})_z = \frac{3Em \sin^2\theta \cos\theta}{4\pi\mu_0 r^2} \quad \dots\dots(2)$$

phi 積分が 2pi を与えて、(1), (2) より、

$$|M| \equiv M = \frac{3Em}{2c^2\mu_0} \int d\theta \int dr \sin^3\theta \cos\theta \quad \dots\dots(3)$$

コンデンサー内部を、図2の様に2領域 I, II に分けて r, theta の積分を行う。

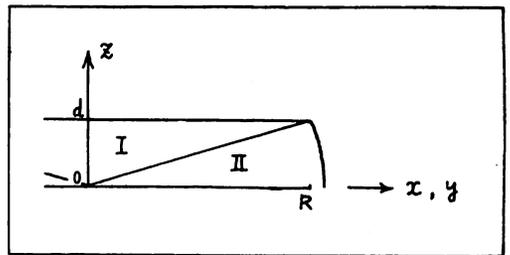


図2 積分領域

計算は、 $R \gg d$ の場合のみについて行う。結果から見ると、領域 II の寄与は I からのものにくらべて d/R のオーダーでしかない。よって II がコンデンサーから少しはみ出していることに問題はない。II の領域では $R \gg d$ となると H と E は平行に近くなって小さな S しか与えない。

簡単な積分の結果、総角運動量の大きさは、

$$M = \frac{Vm}{c^2\mu_0} \left(1 + O\left(\frac{d}{R}\right) \right) \quad \dots\dots(4)$$

d/R の項の係数は、大きくはない。が、コンデンサーの端から外のことを無視しているのでも意味がない。R が d にくらべて充分大きいとき、M の値は R に依らない定数 ($R/d = \infty$ のときの値) に、

いくらでも近くなる。 $R/d=\infty$ での値は厳密に正しい。コンデンサーの内部にしか電場はないからである。

これらのことから、有限な $R(\gg d)$ の場合でも、コンデンサー外部からの寄与は微小、 d/R のオーダーでしかないと結論される。

これは又、充分遠方からみたコンデンサーは電気双極子にみえることによる。遠方球殻の S は高々 $r^2 dr$ で変化することになり積分しても、無限遠からの寄与はない。

結局、 R は有限であっても、定量的な角運動量を発生できることがわかった。材料費も、コンデンサー充電電気量も有限でよい。

4. 生成量の2例

磁気モーメント m を円形コイル $n\mu_0 IS$ で近似的に置き換えてみる。 n は巻数、 I は電流、 S はコイルが囲む面積である。

$$c^2 \sim 10^{17} \text{ m}^2/\text{sec}^2 \text{ であるから,} \\ M \sim nVIS \times 10^{-17} \text{ (Joule}\cdot\text{sec)} \quad \dots\dots(5)$$

case A として,

$$\begin{cases} V=10^5 \text{ volt} \\ nI=10^2 \text{ A}\cdot\text{回} \\ S=1\text{m}^2 \end{cases}$$

のとき、 $M \sim 10^{-8}$ Joule·sec となる。

この大きさは機械式では 0.1g の質量が動径 1cm を 1Hertz 程度で回転しているものに相当する。

因みに前述の重力波発信器は 44kg の鉄ローターの 30Hertz 回転である。

case B として,

$$\begin{cases} V=100\mu V \\ nI=1\mu A\cdot\text{回} \\ S=1\text{mm}^2 \end{cases}$$

は実現可能と思われるが、 $M \sim 10^{-33}$ Joule·sec を与える。これは角運動量の量子、 $\hbar=0.66 \times 10^{-33}$ Joule·sec の大きさである。必然的に量子化が予想される。この場合の電磁気学の破れ方は前述のものと本質的に異なる。磁束量子化の例に於ける破れ方に相当している。その

例では、抵抗ゼロの電線には任意の大きさの電流を流せる筈が、リングにするとある量の整数倍しか流せなくなるという形で現れる。総電流という積分値に対する量子効果である。電流分布等には何か現れるか、何も起らないかは未だ議論も観測もない。

本装置では総角運動量に部する量子化が、それをつくる電圧、磁場に対する何かとして現れるかも知れない。電荷分布にか、電流値にてあろうか。角運動量自体はマイクロであって、この場合は測定はできないし、装置の物質内の電子スピン1個の反転でも \hbar だけ変化してしまう。

5. 結 語

静電磁場の Poynting vector に意味があるかどうか。Boson 凝縮体の先の2例では、粘性ゼロの超流動を伴っている。それからすれば、電磁場にも抵抗ゼロの流れが伴うとして、それはエネルギー流であるという推測もされる。case A, B 共に結果は意外性が大きい。ミスがないかであるが、計算も論理も単純である。そして(4)式は電磁場がつくる作用のディメンジョンを持つ最も単純な式といえるので、その量を生成する装置であることを暗示している。

装置は電源 ON から充電終了時までには単極電動機として機械的なトルクも同時発生するので、その間は、固定する要がある。軸性 vector の為か、導線の配置をいか様に対称にしてもトルクを生む。

文 献

- 1) L. Onsager, Nuovo Cimento Suppl. 6, 249 (1949)
- 2) R.P. Feynman, in Progress in Low Temperature Physics Vol. I, (North-Holland, Amsterdam, 1957), Chap. II
- 3) W.F. Vinen, Proc. R. Soc. London Ser.A 260, 218 (1961)
- 4) P.W. Karn, D.R. Starks, W. Zimmermann, Jr., Phys. Rev. B. 21, 1797 (1980)
- 5) 辻川, 津田, 青木, 永野, 超伝導の化学, 共立出版, 1953, pp. 21-22
- 6) 坪野公夫, サイエンス no. 4, 1980, p. 40
- 7) 金原寿郎, 電磁気学 (II) 裳華房, 1976, p. 217
- 8) 高橋秀俊, 電磁気学, 裳華房, 1960 p. 321