

# 应力激碎与粒子转化

戴启润

摘要:

本文从电磁场应力张量出发,引出电荷与电磁场的相互作用半径,说明电磁场具有电磁弹性。在强大的电磁场作用下的电荷,有可能被电磁场的应力激碎而实现粒子的转化。

## 一、电荷与电磁场相互作用半径

经典电动力学中,真空中的带电体系在外场所受 Lorentz 力密度  $\vec{f}$  为

$$\vec{f} = -\nabla \cdot \vec{T} - \frac{\partial \vec{g}}{\partial t} \quad (1)$$

其中

$$\vec{T} = -\epsilon_0 \vec{E} \vec{E} + \frac{\epsilon_0}{2} \vec{I} E^2 - \frac{1}{\mu_0} \vec{B} \vec{B} + \frac{1}{2\mu_0} \vec{I} B^2 \quad (2)$$

为应力张量(与电磁场张力张量差一符号),又称动量流密度。

$$\vec{g} = \epsilon_0 \vec{E} \times \vec{B} \quad (3)$$

为电磁动量密度。若场稳定,  $\vec{E}$ 、 $\vec{B}$  与  $t$  无关,  $\frac{\partial \vec{g}}{\partial t} = 0$ , 下面主要讨论此种情形。

对(1)式取任一闭面  $S$  内的体积分,并利用张量的散度定理,得到

$$\vec{F} = \int_V \vec{f} dV = - \oint_S \vec{T} \cdot d\vec{s} \quad (4)$$

上式说明,不论  $S$  面内的电荷分布如何,  $S$  面内电荷受到的合力只与  $S$  面上的  $\vec{T}$  有关。因

此,  $\vec{T}$  是一个代表力的面分布张量。它表明,电磁场亦象弹性体一样,其内部存在着各部分之间的相互作用,它既能施力于电荷和电磁场,也能承受电荷和电磁场对它的作用力。

(一) 电荷与电场的相互作用

为简化问题, 先考虑真空中一带电粒子 $e$ 处于匀强电场  $\vec{E}_0 = E_0 \vec{k}$  中, 粒子本身线度为  $r$ . 取 $S$ 为半径 $R$ 的球面(如图一所示)。则

$$\vec{T} = -\epsilon_0 \vec{E} \vec{E} + \frac{\epsilon_0}{2} E^2 \vec{I} \quad (5)$$

式中

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_e$$

$$\vec{E}_e = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 R^3} \vec{R}$$

$\vec{E}_e$ 为电荷 $e$ 的自激场。这是一个具有球对称的场。

$$\vec{T}_e = -\epsilon_0 \vec{E}_e \vec{E}_e + \frac{\epsilon_0}{2} E_e^2 \vec{I}$$

$$\vec{F}_e = -\oint \vec{T}_e \cdot d\vec{s} = 0$$

上式积分之所以为零是由于 $\vec{E}_e$ 具有球对称性,  $e$ 受到自激场的应力的合力必为零。

当  $E_e \ll E_0$  时, 忽略  $E_e$  的影响, 则(5)式为

$$\vec{T} = -\epsilon_0 \vec{E}_0 \vec{E}_0 + \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 \vec{I} \quad (6)$$

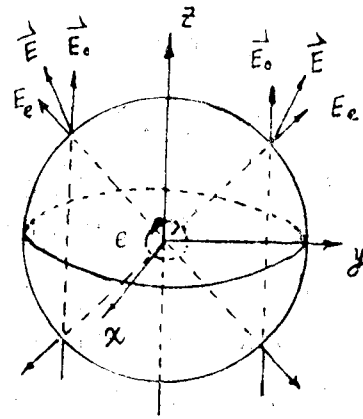
又  $\vec{E}_0 = E_0 \vec{k} \quad \vec{I} = \vec{i}\vec{i} + \vec{j}\vec{j} + \vec{k}\vec{k}$

设  $\vec{n}$  为 $S$ 面上外法线方向单位矢, 故 $S$ 单位面积上应力为

$$\begin{aligned} \vec{P} &= -\vec{n} \cdot \vec{T} \\ &= \epsilon_0 E_0^2 \cos\theta \vec{k} - \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 \vec{R} \end{aligned} \quad (7)$$

故 $S$ 面上所受合力又分为两部分。对后一部分, 由于  $\frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 \vec{R}$  具有球对称性, 其面积分(表合力)必为零。注意到上下球面的对称性, 则

$$\oint_S \vec{P} \cdot d\vec{s} = \epsilon_0 E_0^2 \oint_S \cos\theta \vec{k} \cdot \vec{R} \cdot ds = \epsilon_0 E_0^2 R^2 \cdot 2 \int_0^\pi \cos^2\theta \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$$



图一: 半径为 $R$ 的球面上电场

$$= \frac{4\pi}{3} \epsilon_0 E_0^2 R^3$$

$$\vec{F} = \frac{4\pi}{3} \epsilon_0 E_0^2 R^2 \vec{k} \quad (8)$$

又处于匀强电场中的电荷e所受电场力为

$$\vec{F} = e E_0 \vec{k} \quad (9)$$

比较(8)、(9)两式可得电荷与电场之间相互作用半径为

$$R_e = \sqrt{\frac{3e}{4\pi\epsilon_0 E_0}} \quad (10)$$

以上讨论表明, Lorentz力并不直接作用在电荷上, 而是通过它们之间的“场”, 发生在确定的有效作用半径范围内, 称为作用深度。

通常所说的电场力 $eE$ , 实质是发生在包罗电荷e、半径为 $R_e$ 的球面上的合力。(10)

式还表明, $R_e$ 与 $\sqrt{e}$ 成正比, 与 $\sqrt{E_0}$ 成反比。它一般不等于粒子的半径 $r_0$ 。

### (二) 运动电荷与静磁场的相互作用

设真空中一带电粒子e以速度 $V$ 垂直进

入匀强磁场 $B_0 = B_0 \vec{k}$ 。(如图三所示)。

由李纳-维谢尔(Liénard-Wiechert)势, 得运动电荷e的电场、磁场为

$$\vec{E}_e = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 s^3} (1 - \beta^2) \vec{R} \quad (11a)$$

$$\vec{B}_e = \frac{1}{C^2} \vec{V} \times \vec{E}_e \quad (11b)$$

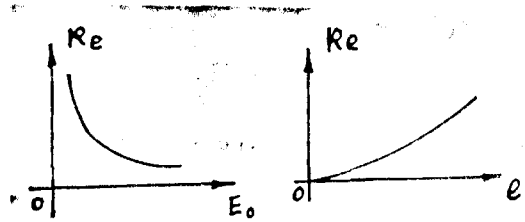
$$\text{其中 } S = \left[ (1 - \beta^2) R + \frac{(\vec{R} \cdot \vec{V})^2}{C^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\beta = \frac{V}{c}$$

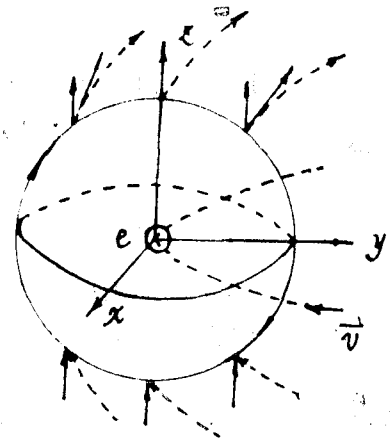
合场强

$$\vec{E} = \vec{E}_e$$

(12a)



图二:  $R_e$ 与 $E_0$ 、 $e$ 的关系。



图三: 半径为R的球面上磁场

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_e \quad (12b)$$

由于运动电荷自激的电场具有球对称性，故同上分析自激电场应力的合力为零，电荷仅在合磁场的张力作用下沿曲线运动，合磁场张量为

$$\vec{T}_m = -\frac{1}{\mu_0} \vec{B} \vec{B} + \frac{1}{2\mu_0} B^2 \vec{I} \quad (13)$$

单位面积上的磁场力

$$\vec{P}_m = -\vec{n} \cdot \vec{T}_m = \frac{1}{\mu_0} (\vec{n} \cdot \vec{B}) \vec{B} - \frac{1}{2\mu_0} B^2 \vec{n} \quad (14)$$

后一部分是球对称的，其面积分（合力）为零。前一部分对张力的贡献为

$$\begin{aligned} F &= \oint \vec{P}_m \cdot d\vec{s} \\ &= \frac{1}{\mu_0} \int \int (\vec{n} \cdot \vec{B})^2 R^2 d\Omega \end{aligned} \quad (15)$$

当  $B_e \ll B_0$  时， $\vec{n} \cdot \vec{B} = \vec{n} \cdot \vec{B}_0 = B_0 \cos \theta$ ，代入上式

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{\mu_0} B_0^2 R^2 \int_0^\pi \cos^2 \theta \sin \theta d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \\ &= \frac{4\pi}{3\mu_0} B_0^2 R^2 \end{aligned}$$

用左手定则可判断此时  $F$  的方向沿  $y$  轴正向，

$$\vec{F} = \frac{4\pi}{3\mu_0} B_0^2 R^2 \vec{j} \quad (16)$$

又运动电荷（设为正电荷）在磁场中受力应为

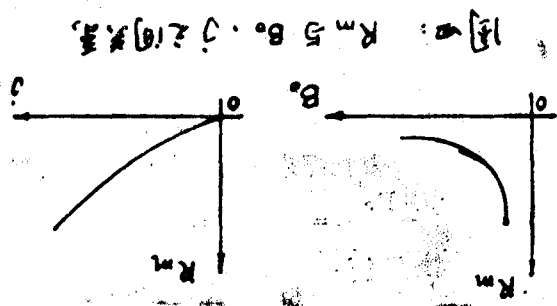
$$\begin{aligned} \vec{F} &= e\vec{v} \times \vec{B} = e(-V\vec{i} \times B_0\vec{k}) \\ &= eVB_0\vec{j} \end{aligned} \quad (17)$$

比较上两式得

$$\frac{4\pi}{3\mu_0} B_0^2 R^2 = eVB_0$$

$$R_m = \sqrt{\frac{3\mu_0 eV}{4\pi B_0}}$$

(18)



上式表明, 磁场对运动电荷的有效作用半径, 与其场强B的方根成反比, 与电流密度  $\vec{j} = eV$  方根 (指大小) 成正比。它们之间关系如图四所示。且  $R_m \neq r$ , 可见 Lorentz 力也不是直接作用在电荷体上, 而是通过场作用在半径为  $R_m$  的球面S上。

将以上结论推广至迅变场。(10)、(18)式在某一瞬时仍然成立。一般讲来, 应从(1)式出发作类似分析, 但运算要复杂得多, 得出的R形式也比较复杂, 它不仅随  $\vec{j}, e, B, E$  变化, 而且又是空间坐标  $r$ 、时间  $t$  的函数, 限于篇幅, 不再赘述。

## 二、应力激碎与粒子转化

电磁场与电荷间的相互作用, 并非直接作用在电荷体上或场源上, 而是通过它们之间的电磁场发生在半径为  $R_e$  或  $R_m$  的球面上。  $R_e$  或  $R_m$  与  $E$  或  $B$  的方根成反比, 与粒子的线度无关。随着外场的增强, 则  $R_e$  越来越小, 这意味着S面在电磁场应力的作用下收缩, 类似于质量一定的气体球, 在高温下压缩, 形象地说明电磁场象弹性体一样具有电磁弹性。如前分析, 这实质上是电磁场内部相互作用——电磁张力所导致的必然结果。

当  $R_e$  或  $R_m$  等于粒子本身线度  $r$  时称为临界半径。这时的  $E_0$  或  $B_0$  称为临界场强  $E_c, B_c$ 。

由

$$R_e = \sqrt{\frac{3e}{4\pi\epsilon_0 E_0}}$$

$$R_m = \sqrt{\frac{3\mu_0 eV}{4\pi B_0}}$$

可得

$$E_c = \frac{3e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \tag{19}$$

$$B_c = \frac{3\mu_0 eV}{4\pi r^2} \tag{20}$$

若  $E_0, B_0$  继续增大, 且  $E_0 > E_c, B_0 > B_c$  时则  $R \leq r$ , 可以推测粒子将被压崩而成碎片, 从而发生粒子的转化。这种突变现象称为应力激碎。高能加速器中的质子的对心碰撞以及正负粒子的湮灭实质上就是应力激碎的例子。一对质量相等、带等量电荷的正负电子对, 当以很高速度接近时, 在对方产生的超场强的应力作用下被激碎湮灭, 产生一对光子。其它粒子激碎后的产物则要视原来的物理样品、条件、机制、过程等而定。

$$\frac{E_c}{B_c} = \frac{1}{V\epsilon_0\mu_0} = \frac{C^2}{V} \tag{21}$$

由于一般基本粒子过程中  $V < C$ , 故  $E_c \gg B_c$ , 选用磁场去实现粒子的转化要比电场来得容易。

下转第82页

参考文献

[1] 《IBM PC微型计算机组成原理, 语言, 软件及其应用》第791页 陕西科技出版社1985年  
 [2] 张寿宣等著《中文信息的计算机处理》第63页 宇航出版社 1984年

[3] GWBASIC (BASICA) 89—102页 长城0520A 随机文本  
 [4] dBASEII资料管理 上册 香港版影印本  
 [5] 中文信息处理国际研讨会论文集(3) 第81页 1983年

(接第68页) 在国际单位制中, 若取下列各量大小的数量级为

$$e \sim 10^{-19} \text{ ( C )}$$

$$V \sim 10^7 \text{ ( m/s )}$$

$$r \sim 10^{-15} \text{ ( m )}$$

其中 $r$ 为一般基本粒子线度, 则

$$E_c \sim 10^{21} \text{ ( V/m )}$$

$$B_c \sim 10^{11} \text{ ( T )}$$

以上数据说明选用磁场去实现粒子转化要比电场来得容易。但不论选用电场或磁场, 要想获得稳定的超过 $E_c$ 、 $B_c$ 的电磁场均非易事。再考虑到在 $r$ 线度内, 核力相互作用比起库仑相互作用要强100多倍, 则所需 $E_c$ 、 $B_c$ 还要大些。若我们想法获得一“孤立”的上述强度的超场的脉冲(如孤立波), 在瞬间照射一带电粒子促成应力激碎现象, 在理论上仍是可取的。

(接第89页)

#### 四、说明

1、ADC0809有8路模拟输入端, 故可以进行群控, 即可控制8台加热炉, 或作其他控制操作, 如自动称重量、装卸料等; 当然, 这种情况就存在优先权和采用中断的问题, 所以上述的硬件设计和程序需加修改; 这里只考虑正极性变换。

2、程序中标号FIRST中字节DB的数值可由用户自行确定, 如 $100^\circ\text{C}$  (64H)、 $200^\circ\text{C}$  (C8H)等, 要求的温度高精度也高时, 8位不满足要求时, 可采用12位A/D或16位A/D转换器, 上述程序也应加修改。

3、程序中我们选用 $300\mu\text{s}$  A/D转换时间, 比ADC0809实际转换时间 $100\mu\text{s}$ 大, 显然, 这样处理降低了A/D转换的速度, 在要求A/D转换速度高的场合, 可将ADC0809的转换结束脉冲EOC上升沿送入PIO的 $\overline{S\text{T}B}$ 端, 作为请求CPU中断, 而把送入转换结果操作放在中断服务程序中完成, 这样转换时间即为A/D转换器的时间, 提高了转换速度。

4、程序中的10ms和2分钟延时, 是用软件延时办法, 占用了CPU大量的时间, 在多路控制中是不运用的, 解决方法是采用中断方式节省占用CPU的时间。程序中的延时时间用户根据需要自行设定, 而且温度变化是缓慢变化的过程。

#### 参 考 文 献

1. Integrated Circuits. Analog Devices  
 2. Liner Databook National Semiconductor Corporation

3. Linear Integrated circuits and Mos /FET'S. RCA SCA Solid state  
 4. Solid state: The Light connection. Popular Electronics MAY1978 Vol.13No5  
 5. 微型计算机硬件软件及其应用 周明德