两个运动电荷之间的相互作用为什么不服从牛顿第三定律

北京师范大学　王 雪 君

在一些电磁学或电动力学书中，常有这样一个例子，如图 1 所示$I_1 d\boldsymbol{l}_1$ 和 $I_2 d\boldsymbol{l}_2$ 分别为两个稳恒电流元. $I_1 d\boldsymbol{l}_1$受到的力

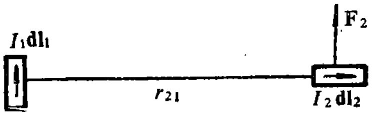

图 1

$$\boldsymbol{F}_1=\frac{I_1 d\boldsymbol{l}_1\times(I_2 d\boldsymbol{l}_2\times\boldsymbol{r}_{21})}{c^2 r_{21}^3}=0$$

$I_2 d\boldsymbol{l}_2$受到的力

$$\boldsymbol{F}_2=\frac{I_2 d\boldsymbol{l}_2\times(I_1 d\boldsymbol{l}_1\times\boldsymbol{r}_{12})}{c^2 r_{12}^3}\neq 0$$

可见一般说来，$\boldsymbol{F}_1\neq-\boldsymbol{F}_2$。由此得出结论：两个稳恒电流元之间的相互作用不一定服从作用反作用定律。那么在一般电磁学现象中，作用、反作用定律是否就不成立了呢？对这个问题常见的看法是：因为稳恒电流元是不能孤立存在的，所以不能就此作出结论。并且又接着指出，稳恒电流总是形成闭合迴路的，可以证明两个闭合稳恒电路之间的相互作用服从作用、反作用定律. 但是这种答案不禁又使人们产生一些疑问：闭合是不是牛顿第三定律成立的关键？电流随时间变化的两个环形电流之间的相互作用是否等值反号？甚至最简单的—— 两个任意运动点电荷之间的相互作用是不是服从作用、反作用定律呢？如果不服从，又是什么原因？本文就准备讨论这些问题。

一、两个运动点电荷之间的力不等值异号

用 q_1、q_2分别表示它们的电量，$\boldsymbol{v}_1$、$\boldsymbol{v}_2$ 分别表示它们的速度，由洛仑兹力公式知电荷 q_1受的力 $\boldsymbol{F}_1$是

$$\boldsymbol{F}_1=q_1\left(\boldsymbol{E}_2+\frac{\boldsymbol{v}_1}{c}\times\boldsymbol{B}_2\right)$$

其中 $\boldsymbol{E}_2$、$\boldsymbol{B}_2$ 是电荷 2 在电荷 1 所在处的电磁场。同样 q_2受的力 $\boldsymbol{F}_2=q_2\left(\boldsymbol{E}_1+\frac{\boldsymbol{v}_2}{c}\times\boldsymbol{B}_1\right)$. 可见要求出$\boldsymbol{F}_1$、$\boldsymbol{F}_2$,关键在于分别求出两个点电荷各自所产生的电磁场 $\boldsymbol{E}_1$、$\boldsymbol{B}_1$ 和 $\boldsymbol{E}_2$、$\boldsymbol{B}_2$. 由于运动电荷激发的电磁场是以光速传播的，所以电荷在t时刻在空间任意点产生的电磁场，不是由该电荷在同一时刻的位置、速度、加速度决定，而是与电荷在早些时刻的位置、速度、加速度有关[1]. 所以求任意运动电荷的电磁场是很麻烦的一件事.

但是当点电荷的速度 $v\ll c$ 时，它产生的电磁场可按 $1/c$的幂次展开，并且可以用同一时刻点电荷的位置、速度、加速度来表示[2]。

$$\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r},t)=q\frac{\boldsymbol{r}}{r^3}-\frac{q}{2c^2}\left\{\left[\frac{3\boldsymbol{r}}{r^5}(\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{r})^2-\frac{\boldsymbol{r}}{r^3}v^2\right]+\left[\frac{\dot{\boldsymbol{v}}}{r}+\frac{\boldsymbol{r}}{r^3}(\dot{\boldsymbol{v}}\cdot\boldsymbol{r})\right]\right\}+\cdots \tag{1}$$

$$\boldsymbol{H}(\boldsymbol{r},t)=\frac{q\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{r}}{cr^3}-\frac{q}{2c^3}\left\{\boldsymbol{v}\times\left[3\frac{\boldsymbol{r}}{r^5}(\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{r})^2-\boldsymbol{r}\frac{v^2}{r^3}\right]+\left[\frac{2(\ddot{\boldsymbol{v}}\times\boldsymbol{r})(\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{v})}{r^3}+\frac{\ddot{\boldsymbol{v}}\times\boldsymbol{r}}{r}+\frac{\boldsymbol{v}\times\dot{\boldsymbol{v}}}{r}+(\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{r})\left(\frac{\dot{\boldsymbol{v}}\cdot\boldsymbol{r}}{r^3}\right)\right]\right\}+\cdots \tag{2}$$

其中 $\boldsymbol{r}$ 是场点的位置矢量，它的起点是 t 时刻点电荷的位置. $\boldsymbol{v}$、$\dot{\boldsymbol{v}}$ 分别是它在 t 时刻的速度和加速度.

将(1)、(2)两式代入洛仑兹力公式，力也可展成 $1/c$ 幂次项的级数. 当只考虑力的 $1/c$ 的零次项时，很易看出两个运动电荷之间只有电力，没有磁力，而且电力是等值异号的. 当考虑到力的$(1/c)^2$项时，(1)、(2)可简化成

$$\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}\cdot t)=q\frac{\boldsymbol{r}}{r^3}-\frac{q}{2c^2}\left\{\frac{\dot{\boldsymbol{v}}}{r}+\left[\frac{\dot{\boldsymbol{v}}\cdot\boldsymbol{r}}{r^3}-\frac{v^2}{r^3}+\frac{3(\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{r})^2}{r^5}\right]\boldsymbol{r}\right\}$$

$$\boldsymbol{H}(\boldsymbol{r}\cdot t)=q\frac{\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{r}}{cr^3}$$

于是电荷 1 所受的力是

$$\boldsymbol{F}_1=\frac{q_1q_2\boldsymbol{r}_{21}}{r^3}-\frac{q_1q_2}{2c^2}\left\{\frac{\dot{\boldsymbol{v}}_2}{r}+\left[\frac{\dot{\boldsymbol{v}}_2\cdot\boldsymbol{r}_{21}}{r^3}-\frac{v_2^2}{r^3}+\frac{3(\boldsymbol{v}_2\cdot\boldsymbol{r}_{21})}{r^5}\right]\boldsymbol{r}_{21}\right\}+\frac{q_1q_2}{c^2}\boldsymbol{v}_1\times\left(\boldsymbol{v}_2\times\frac{\boldsymbol{r}_{21}}{r_3}\right)$$

电荷 2 所受的力是

$$\boldsymbol{F}_2=\frac{q_1q_2\boldsymbol{r}_{12}}{r^3}-\frac{q_1q_2}{2c^2}\left\{\frac{\dot{\boldsymbol{v}}_1}{r}+\left[\frac{\dot{\boldsymbol{v}}_1\cdot\boldsymbol{r}_{12}}{r^3}-\frac{v_1^2}{r^3}+\frac{3(\boldsymbol{v}_1\cdot\boldsymbol{r}_{12})^2}{r^5}\right]\boldsymbol{r}_{12}\right\}+\frac{q_1q_2}{c^3}\boldsymbol{v}_2\times\left(\boldsymbol{v}_1\times\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r^3}\right)$$

其中 $\boldsymbol{r}_{12}$ 是由电荷 1 指向 2 的矢量. $\boldsymbol{r}_{12}=-\boldsymbol{r}_{21}$,

$r=|\boldsymbol{r}_{12}|=|\boldsymbol{r}_{21}|$，两个力的矢量和 $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$ 是

$$\boldsymbol{F}=\frac{q_1q_2}{2c^2}\left\{\frac{-(\dot{\boldsymbol{v}}_1+\dot{\boldsymbol{v}}_2)}{r}+\left[-(\dot{\boldsymbol{v}}_1+\dot{\boldsymbol{v}}_2)\cdot\boldsymbol{r}_{12}+(v_1^2-v_2^2)-\frac{3(\boldsymbol{v}_1\cdot\boldsymbol{r}_{12})^2}{r^2}+\frac{3(\boldsymbol{v}_2\cdot\boldsymbol{r}_{12})^2}{r^2}\right]\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r^3}\right\}+\frac{q_1q_2}{c^2r^3}(\boldsymbol{v}_2\times\boldsymbol{v}_1)\times\boldsymbol{r}_{12} \qquad (3)$$

矢量和 $\boldsymbol{F}$ 就是两个电荷的总动量的变化率。从 (3) 式看出，只有在两个电荷满足 $\dot{\boldsymbol{v}}_1=-\dot{\boldsymbol{v}}_2$ 和 $\boldsymbol{v}_1=\pm\boldsymbol{v}_2$ 的特殊情况下，两个力才等值异号，$\boldsymbol{F}_1=-\boldsymbol{F}_2$。

二、矢量和F与电磁场动量的关系

我们知道电磁场也有动量。这动量可以随时间变化，可以传播，从场的一部分迁移到另一部分，而且它还可以和实物即电荷体系交换动量。所以两个点电荷并不构成一个封闭系统，必须把它们的电磁场也包括在内才能构成一个封闭系统。这个系统应满足以下的动量守恒定律[3]

$$\int_V f dv=-\oint_S d\boldsymbol{s}\cdot\overleftrightarrow{\mathscr{T}}-\int_V\frac{\partial \boldsymbol{g}}{\partial t}dv$$

其中 $\int_V f\,dv=\frac{d}{dt}(\boldsymbol{G}_{m_1}+\boldsymbol{G}_{m_2})$ 是两个点电荷的总机械动量随时间的变化率，$\boldsymbol{g}$、$\overleftrightarrow{\mathscr{T}}$ 分别是电磁场的动量密度矢量及动量流密度张量

$$\boldsymbol{g}=\frac{1}{4\pi c}(\boldsymbol{E}\times\boldsymbol{B})$$

$$\overleftrightarrow{\mathscr{T}}=\frac{1}{4\pi}\left[\frac{1}{2}(E^2+B^2)\overleftrightarrow{I}-\boldsymbol{E}\boldsymbol{E}-\boldsymbol{B}\boldsymbol{B}\right]$$

其中 $\boldsymbol{E}=\boldsymbol{E}_1+\boldsymbol{E}_2$、$\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}_1+\boldsymbol{B}_2$ 是两个电荷电磁场的合场强。

同样我们对守恒定律中的每一项也只考虑到 $(1/c)^2$。于是 $\oint d\boldsymbol{s}\cdot\overleftrightarrow{\mathscr{T}}=0$。守恒定律可写为

$$\frac{d}{dt}(\boldsymbol{G}_{m_1}+\boldsymbol{G}_{m_2})+\frac{d}{dt}\int \boldsymbol{g}dv=0$$

即两个运动电荷的总机械动量与它们的电磁场动量之和是守恒量。将 $\boldsymbol{g}$ 代入上式得到

$$\frac{d}{dt}\left\{\boldsymbol{G}_{m_1}+\boldsymbol{G}_{m_2}+\frac{1}{4\pi c}\left[\int\boldsymbol{E}_1\times\boldsymbol{H}_1dv+\int\boldsymbol{E}_2\times\boldsymbol{H}_2dv+\int(\boldsymbol{E}_1\times\boldsymbol{H}_2+\boldsymbol{E}_2\times\boldsymbol{H}_1)dv\right]\right\}=0 \qquad (4)$$

那么 q_1 所得到的力 $\boldsymbol{F}_1$ 应该是什么呢？有两种可能，$\boldsymbol{F}_1=\frac{d}{dt}\boldsymbol{G}_{m_1}$，或者

$$\boldsymbol{F}_1=\frac{d}{dt}\left[\boldsymbol{G}_{m_1}+\frac{1}{4\pi c}\int\boldsymbol{E}_1\times\boldsymbol{H}_1dv\right].$$

从(1)和(2)式看到 $\boldsymbol{E}$ 和 $\boldsymbol{H}$ 都和电荷的速度有关，当电荷由于受力而改变它的运动状态时，它所产生的场 $\boldsymbol{E}$、$\boldsymbol{B}$ 也必然随之改变，所以力的作用是使电荷和它的场一起改变动量。这样看来第二种情况可能是更合理一些。于是将它代入守恒定律(4)得到

$$\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2=-\frac{d}{dt}\left[\frac{1}{4\pi c}\int(\boldsymbol{E}_1\times\boldsymbol{H}_2+\boldsymbol{E}_2\times\boldsymbol{H}_1)dv\right] \qquad (4')$$

也就是两个电荷分别受到的力的矢量和等于这两个电荷的电磁场动量交叉项部分在单位时间内的减少。比较(3)、(4′)两式，有

$$-\frac{d}{dt}\left[\frac{1}{4\pi c}\int(\boldsymbol{E}_1\times\boldsymbol{H}_2+\boldsymbol{E}_2\times\boldsymbol{H}_1)dv\right]=\frac{q_1q_2}{2c^2}\left\{\frac{-(\dot{\boldsymbol{v}}_1+\dot{\boldsymbol{v}}_2)}{r}+\left[-(\dot{\boldsymbol{v}}_1+\dot{\boldsymbol{v}}_2)\cdot\boldsymbol{r}_{12}+(v_1^2-v_2^2)-\frac{3(\boldsymbol{v}_1\cdot\boldsymbol{r}_{12})^2}{r^2}+\frac{3(\boldsymbol{v}_2\cdot\boldsymbol{r}_{12})^2}{r^2}\right]\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r^3}\right\}+\frac{q_1q_2}{c^2r^3}(\boldsymbol{v}_2\times\boldsymbol{v}_1)\times\boldsymbol{r}_{12} \qquad (5)$$

若是我们能够证明(5)式成立，那也就证明了(4′)式成立，也就说明 $\boldsymbol{F}_1=\frac{d}{dt}\left[\boldsymbol{G}_{m_1}+\frac{1}{4\pi c}\int(\boldsymbol{E}_1\times\boldsymbol{H}_1)dv\right]$；$\boldsymbol{F}_2=\frac{d}{dt}\left[\boldsymbol{G}_{m_2}+\frac{1}{4\pi c}\int(\boldsymbol{E}_2\times\boldsymbol{H}_2)dv\right]$ 的这种看法是正确的。下面我们就通过直接计算电磁场的动量证明(5)成立。

三、计算电磁场动量

为证明(5)式，我们先求出两个运动点电荷电磁场动量的交叉项部分 $\boldsymbol{G}_I$。由于只取到 $1/c^2$ 项，(1)、(2) 式已化简成 $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r},t)=q\frac{\boldsymbol{r}}{r^3}$ 及 $\boldsymbol{H}(\boldsymbol{r},t)=q\frac{\boldsymbol{v}}{c}\times\frac{\boldsymbol{r}}{r^3}$。将它们代入 $\boldsymbol{G}_I$，得到

$$\boldsymbol{G}_I=\int_\infty\frac{1}{4\pi c}(\boldsymbol{E}_1\times\boldsymbol{H}_2+\boldsymbol{E}_2\times\boldsymbol{H}_1)dv=\frac{q_1q_2}{4\pi c^2}\int_\infty\frac{1}{r_1^3r_2^3}[\boldsymbol{v}_1(\boldsymbol{r}_1\cdot\boldsymbol{r}_2)+\boldsymbol{v}_2(\boldsymbol{r}_1\cdot\boldsymbol{r}_2)-\boldsymbol{r}_1(\boldsymbol{r}_2\cdot\boldsymbol{v}_1)-\boldsymbol{r}_2(\boldsymbol{r}_1\cdot\boldsymbol{v}_2)]dv$$

令 $\boldsymbol{G}_{I_1}$、$\boldsymbol{G}_{I_2}$、$\boldsymbol{G}_{I_3}$、$\boldsymbol{G}_{I_4}$ 依次表示上式右方各项积分。首先计算 $\boldsymbol{G}_{I_2}$

$$\boldsymbol{G}_{I_2}=\frac{q_1q_2}{4\pi c^2}\boldsymbol{v}_2\int_\infty\frac{\boldsymbol{r}_1\cdot\boldsymbol{r}_2}{r_1^3r_2^3}dv$$

如图 2 将球坐标系原点建立在点电荷 1 上，使 $\boldsymbol{r}_{12}$ 沿 z 轴正向。再借助于 $r_2^2=r_1^2+r^2-2rr_1\cos\theta_1$，将积分变量由 r_1、θ_1、ϕ 换为 r_1、r_2、ϕ。于是 $(\boldsymbol{r}_1\cdot\boldsymbol{r}_2)=\boldsymbol{r}_1\cdot(\boldsymbol{r}_1-r\hat{\boldsymbol{k}})=r_1^2+r_2^2-r^2$。在 r_1 保持不变，并注意到 r 是不变量，有 $r_2dr_2=r_1r\sin\theta_1d\theta_1$。因此积分体元 $dv=\frac{1}{r}$

$(r_1 r_2 dr_1 dr_2 d\phi)$。下面再来定$r_2$的积分上、下限。当$r_1$不变时，可以$q_1$为球心作一半径为$r_1$的球面，$\boldsymbol{r}_2$便是从电荷 2 指向球面上任一点的矢径。当$r_1\geqslant r$，$0\leqslant\theta_1\leqslant\pi$，有$r_1-r\leqslant r_2\leqslant r_1+r$。当$r_1\leqslant r$，$0\leqslant\theta_1\leqslant\pi$，有$r-r_1\leqslant r_2\leqslant r+r_1$。

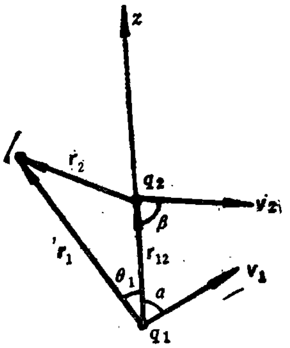

图 2

于是 $$G_{l_2}=\frac{q_1q_2}{4\pi c^2}v_2\int_\infty\frac{(r_1^2+r_2^2-r^2)}{2r_1^2r_2^2r}dr_1dr_2d\phi$$

$$=\frac{q_1q_1}{4c^2r}v^2\left[\int_0^r\int_{r-r_1}^{r+r_1}\frac{(r_1^2+r_2^2-r^2)}{r_1^2r_2^2}dr_1dr_2\right.$$

$$\left.+\int_r^\infty\int_{r_1-r}^{r_1+r}\frac{(r_1^2+r_2^2-r^2)dr_1dr_2}{r_1^2r_2^2}\right]$$

$$=\frac{q_1q_2}{c^2r}v_2$$

同样有 $G_{l_1}=\int_\infty\frac{q_1q_2}{4\pi c^2r_1^3r_2^3}\boldsymbol{v}_1(\boldsymbol{r}_1\cdot\boldsymbol{r}_2)dv=\frac{q_1q_2}{c^2r}\boldsymbol{v}_1$

下面再计算G_{l_3}。$G_{l_3}=\frac{-q_1q_2}{4\pi c^2}\int_\infty\frac{\boldsymbol{r}_1(\boldsymbol{r}_2\cdot\boldsymbol{v}_1)dv}{r_1^3r_2^3}$

将上述坐标系中的x轴选在$\boldsymbol{v}_1$在xoy面的投影方向上，于是$\boldsymbol{v}_1=v_1(\cos\alpha\hat{k}+\sin\alpha\hat{i})$，其中$\alpha$是$\boldsymbol{v}_1$和$\hat{k}$的夹角。再用球坐标$r_1$、$\theta_1$、$\phi$表示$x_1$、$y_1$、$z_1$有 $\boldsymbol{r}_1(\boldsymbol{r}_2\cdot\boldsymbol{v}_1)=$
$r_1v_1\times(\hat{i}\sin\theta_1\cos\phi+\hat{j}\sin\theta_1\sin\phi+\hat{k}\cos\theta_1)$
$\times(r_1\sin\theta_1\cos\phi\sin\alpha+r_1\cos\theta_1\cos\alpha-r\cos\alpha)$

$$\therefore\quad G_{l_3}=\frac{-q_1q_2v_1}{4\pi c^2}\int_\infty\left[r_1^2\sin^2\theta_1\cos^2\phi\sin\alpha\hat{i}\right.$$

$$\left.+r_1\cos\theta_1(r_1\cos\theta_1-r)\cos\alpha\hat{k}\right]\frac{dv}{r_1^3r_2^3}$$

同样将变量θ_1换成r_2，得到

$$G_{l_3}=\frac{-q_1q_2v_1}{2c^2r}\sin\alpha\hat{i}$$

于是 $$G_{l_1}+G_{l_3}=\frac{q_1q_2}{2c^2}\left[\frac{\boldsymbol{v}_1}{r}+(\boldsymbol{v}_1\cdot\boldsymbol{r}_{12})\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r^3}\right]$$

在计算G_{l_4}时，可将原点o选在电荷 2 上，z轴正向与$\boldsymbol{r}_{12}$方向相反，x轴的正向为$\boldsymbol{v}_2$在xoy面上的投影方向。于是$\boldsymbol{v}_2=v_2(\sin\beta\hat{i}+\cos\beta\hat{k})$，$\beta$为$\boldsymbol{v}_2$和$z$轴的夹角。其它处理同$G_{l_3}$。于是

$$G_{l_4}=\frac{-q_1q_2}{2c^2r}v_2\sin\beta\hat{i},$$

$$G_{l_2}+G_{l_4}=\frac{q_1q_2}{2c^2}\left[\frac{\boldsymbol{v}_2}{r}+(\boldsymbol{v}_2\cdot\boldsymbol{r}_{12})\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r^3}\right]$$

$$G_l=\frac{q_1q_2}{2c^2}\left[\frac{\boldsymbol{v}_1}{r}+(\boldsymbol{v}_1\cdot\boldsymbol{r}_{12})\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r^3}+\frac{\boldsymbol{v}_2}{r}+(\boldsymbol{v}_2\cdot\boldsymbol{r}_{12})\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r^3}\right]$$

注意到 $\frac{d\boldsymbol{r}_{12}}{dt}=\boldsymbol{v}_2-\boldsymbol{v}_1$， $\frac{dr}{dt}=\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r}\cdot(\boldsymbol{v}_2-\boldsymbol{v}_1)$有

$$\frac{dG_l}{dt}=\frac{q_1q_2}{2c^2}\left\{\frac{(\boldsymbol{v}_1+\boldsymbol{v}_2)}{r}+\left[(\dot{\boldsymbol{v}}_1+\dot{\boldsymbol{v}}_2)\cdot\boldsymbol{r}_{12}+(v_2^2-v_1^2)\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{3(\boldsymbol{v}_1\cdot\boldsymbol{r}_{12})^2}{r^2}-\frac{3(\boldsymbol{v}_2\cdot\boldsymbol{r}_{12})^2}{r^2}\right]\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r^3}\right\}$$

$$+\frac{q_1q_2}{c^2r^3}\boldsymbol{r}_{12}\times(\boldsymbol{v}_2\times\boldsymbol{v}_1)$$

$$=-\boldsymbol{F}$$

到此为止我们证明了(5)式。

四、几点讨论

1．动量是第一性的概念．在力学中，两个相互作用着的物体 1 和 2 各自所受的力等值反号的条件，即牛顿第三定律成立的条件是没有与它们相互作用的第三者存在．两个运动电荷所受的力不满足牛顿第三定律的原因，正是因为有电磁场这个第三者存在．

在力学中物体受的力等于它的动量的变化率，两个物体的作用和反作用相等表示动量在两个物体之间的传递．现在电磁场也有动量，它同带电体也可交换动量．但在物体一方动量变化率仍可用物体所受的力表示，而电磁场的动量变化率却不能用力来表示了．由此看出动量是第一性的概念，动量守恒定律是第一性的定律．而力的概念和牛顿第三定律只适用于一定的范围，它们是第二性的概念和定律．

2．两个环形电流的相互作用．两个稳恒环形电流满足作用反作用定律的关键在于稳恒电流的电磁场是稳恒场，场的动量不随时间发生变化，于是两个带电体所受的力就等值反号了．当然我们不能说这时电磁场不参与动量交换，没有电磁场是不行的，它是两电荷进行动量交换的媒介，但它本身动量不发生变化．由此可见稳恒环形电流服从第三定律的关键是“稳恒”二字，而不是闭合二字．

3．自有场和辐射场．我们现在再回到公式 (1)、(2) $\boldsymbol{E}$ 和 $\boldsymbol{H}$ 的表达式。可以看出，$\boldsymbol{E}$(或 $\boldsymbol{H}$) 的所有项分成两类：一类与速度以及$1/r^2$有关，因此随r的增大衰减得很快．如果对这部分场构成的$\vec{\mathscr{T}}$求通量$\oint d\boldsymbol{s}\cdot\vec{\mathscr{T}}$，将发现积分是零．说明这种场只能分布在电荷的周围，不能脱离电荷独立存在，所以称它为自有场．另一类与加速度以及 $1/r$ 有关，它的通量$\oint_s d\boldsymbol{s}\cdot\vec{\mathscr{T}}$不论积

新书介绍

简介一本有趣的新书——《相变和临界现象》

北京化工学院　李大勇

于渌和郝柏林同志编写的《相变和临界现象》一书由科学出版社出版发行了。这是一本介于科普读物与科学专著之间，以漫谈方式叙述的物理参考书。通俗但有相当的深度，主要特点是：第一内容相当丰富，全书共包括十章；有“物含妙理总堪寻”、从物质的三态变化谈起、千奇百怪的相变现象、平均场理论、简单而艰难的统计模型、概念的飞跃——标度律与普适性，一条新路——“重正化群”、空间维数的意义，特殊的“双二维”空间，以及非平衡相变——自然界中的有序和混沌。第二、讲述语言生动，可以说是图文并茂，书中配合文章有插图一百十余幅以及美丽的彩色照片，这些照片是由贝尔热(P·Berge)、贝依森(D·Beysens)等教授所赠。描写叙述生动有趣；富有诗意。

相变和临界现象是物理学中充满难题和意外发现的领域之一。不算人类关于物质三态变化的早期观察，仅从1869年安德鲁斯发现临界点、1873年范德瓦耳斯提出非理想气体状态方程以来，对相变的实验和理论研究已经有一百多年的历史。然而，正象相变本身是普遍存在于自然界中的突变一样，相变的研究过程也经历过很多突变。例如1911年发现的超导电现象，到1957年才有了正确的理论解释。而三十年代才发现的液体氦的超流效应，却在不到十年的时间，就初步掌握了它的基本规律。可是当人们用超流和超导的经验来预测氦的另一种同位素 ^{3}He 的超流性质时，却使实验物理学家一再碰壁。在1971年才发现 ^{3}He 具有不是一个，而是三个超流相。最近几年，粒子物理中一些根本问题，例如为什么至今观测不到理论上早就预言了的夸克(“夸克禁闭”)，也和相变问题有密切关系。

这本书以比较通俗的方式，总结了该领域近年来积累的知识，对平衡与非平衡统计物理的基本概念基本方法以及最新进展都有阐述，我认为是一本可供高等理工院校师生参考的好书。特别是配合热力学及统计物理的学习，作为课外阅读是很有益的。

分面积多大总是一个常矢量。在激发电磁场的运动电荷消失后它也不变。说明这部分由磁场能脱离电荷被辐射出去，所以称这类场为辐射场。

必须指出由于加速度项都在 $1/c^n$ 项，其中 $n\geqslant 2$。而我们在本文中考虑的作用力和电磁场动量都是 $1/c^2$ 项，实际上把两个运动电荷的辐射场都全部忽略了。因此在动量守恒定律中，不论积分空间 V 的大小，都有 $\oint_s d\boldsymbol{s}\cdot\overset{\leftrightarrow}{\mathscr{T}}=0$。

4．带电物体的动量．既然电荷的自有场随带电体永远一起以相同的速度运动而不能分离，那么我们给带电物体施力使其动量增加时，带电体的机械动量 $\boldsymbol{G}_m=m_0\boldsymbol{v}$ 和其自有场的动量 $\boldsymbol{G}_l=\frac{1}{4\pi c}\int \boldsymbol{E}\times\boldsymbol{H}dv$ 将要一起增加。自有场的存在相当于物体多了一定的质量一样。以电子为例我们定义电子的电磁质量 m_e 为 $\boldsymbol{G}_l=m_e\boldsymbol{v}$ 即 $m_e=\frac{G_l}{v}$。

我们在实验上测量电子质量的方法不外是施以一定的力而测量其动量的变化。我们已测得电子质量的精确值。这一质量应该是电子的机械质量与电磁质量之和。这就是我们取(4′)式的原因。由于电荷的自有场永远不会脱离电荷本身，所以机械质量和电磁质量是永远不能单独分别测出的。

参考文献

[1] 胡宁著，“电动力学”，1963年版，人民教育出版社，P.92.§21.
[2] 同[1]，P.97，(22)、(23)式.
[3] 曹昌祺著，“电动力学”，1979年版，人民教育出版社，P.26、27(5.7)、(5.9)、(5.13)、(5.14)式.
[4] Page L *and* Adams N.I, *Amer. J. Phys.* **13**, P.141, (1945).