

牛顿第三定律在电磁学中的探讨

郑维东 冯 黎

(中国工程物理研究院工学院, 四川绵阳, 621900)

摘 要 本文探讨了牛顿第三定律在电磁学中成立与否的原因, 阐明了动量守恒定律在整个物理学中尤其是在现代物理学中所占的重要地位, 说明了在整个物理学中, 从动量守恒定律出发考虑问题, 要比从牛顿第三定律出发考虑问题更具有基本意义。

关键词 库仑定律, 牛顿第三定律, 动量守恒定律

牛顿第三定律指出: 两个物体间的作用力与反作用力是大小相等, 方向相反, 并在同一直线上的, 且同时产生, 同时消失, 属于同一物理性质。牛顿第三定律是经典力学的基础之一, 在经典力学范围内, 牛顿第三定律是普遍成立的。那么, 在电磁学中牛顿第三定律是否成立呢? 结果是有成立的情况, 也有不成立的情况。

1 牛顿第三定律在电磁学中成立的情况

1.1 两静止电荷之间的作用

根据库仑定律, 大家可以知道, 两个静止的点电荷之间的相互作用力为:

$$\begin{cases} \mathbf{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}_{21}^0 \\ \mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}_{12}^0 = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}_{21}^0 = -\mathbf{F}_{21} \end{cases} \quad (1)$$

这里 \mathbf{F}_{21} 表示电荷 q_2 对电荷 q_1 的作用力; \mathbf{r}_{12}^0 表示方向由 q_1 指向 q_2 的单位矢量, $\mathbf{r}_{12}^0 = -\mathbf{r}_{21}^0$ 符合牛顿第三定律。

对于两个静止带电体间的作用力, 可将带电体分割为许多微元电荷, 并将它们看成点电荷, 然后应用库仑定律进行积分或迭加, 由此推知, 带电体间的作用力也符合牛顿第三定律。

1.2 两稳恒电流间的作用

如图 1 来看两平行直线电流之间的作用力:

收稿日期: 2003-09-18

$$F_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 I_2 l_1 l_2}{r^2} = F_{21} \quad (2)$$

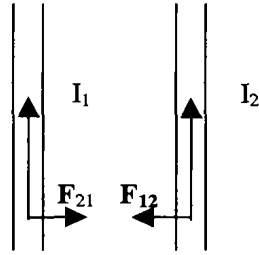


图1 两稳恒电流间的作用

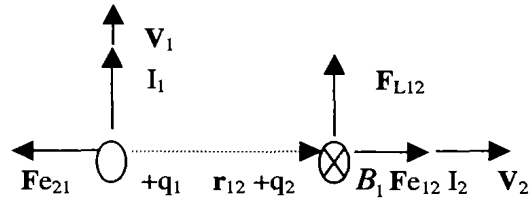


图2 两个运动电荷之间的相互作用

两力大小相等，方向相反，在同一直线上，符合牛顿第三定律。

直线电流可以看作是闭合电流的一部分，所以任何两个闭合稳恒电流之间的相互作用也是遵循牛顿第三定律的。这可以由比奥—萨伐尔定律加以证明。

2 牛顿第三定律在电磁学中不成立的情况

来看两个运动电荷之间的相互作用。如图2，两电荷的运动方向相互垂直，电荷 q_1 位于电荷 q_2 所形成的电流轴线上，因此 q_1 不受 q_2 的磁场作用，只受 q_2 的电场作用。 q_1 的受力 F_{21} 即为库仑力 F_{e21}

$$\begin{cases} F_{21} = F_{e21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} r_{21}^0 = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} r_{12}^0 \\ F_{L21} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

对于 q_2 不仅要受到 q_1 的电场作用，而且还要受到 q_1 的磁场作用。 q_2 所受库仑力为

$$F_{e12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} r_{12}^0 = -F_{e21} = -F_{21} \quad (4)$$

对于 q_2 所受的洛伦兹力 F_{L12} 可作如下计算， q_1 以速度 V_1 运动时就相当于有一 $q_1 V_1$ 的电流元，因而它在 q_2 处产生的磁场 B_1 为

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_1 V_1}{r_{12}^2}$$

其方向垂直纸面向里，且 $B_1 \perp V_2$ ，故 q_2 所受的洛伦兹力为

$$F_{L12} = q_2 V_2 B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_1 q_2 V_1 V_2}{r_{12}^2} \quad (5)$$

其方向为在纸面内垂直向上，故 q_2 所受的力为

$$F_{12} = F_{e12} + F_{L12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} r_{12}^0 + \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_1 q_2 V_1 V_2}{r_{12}^2} v_1 \quad (6)$$

比较 \mathbf{F}_{12} 与 \mathbf{F}_{21} 的表达式, 可见两相互作用力不相等, 即不符合牛顿第三定律。

3 电磁场动量与动量守恒定律

为什么在力学和电磁学中会出现不同情况呢? 这还须从牛顿第三定律和动量守恒定律的关系入手。

在历史上, 先有动量守恒定律, 后有牛顿第三定律, 牛顿第三定律是从动量守恒定律发展而来的。动量守恒定律与能量守恒定律、电荷守恒定律、角动量守恒定律一起构成了宏观世界最根本的四个定律, 它不仅适用于经典力学, 还适用于经典电磁学乃至整个经典物理学, 也适用于现代物理学。动量守恒定律比牛顿第三定律更具有普适性。

动量守恒定律适用于一个封闭的物质系统, 所谓“封闭”就是指该物质系统与外界没有相互影响, 既没有力或动量的传递与交换。如果有力或动量在系统与外界之间流动, 则系统的总动量就不守恒。

经典电磁理论表明, 电磁场是物质的形态之一, 它跟实物一样, 具有能量也具有动量, 因而对于电磁场的动量是否守恒, 也要作具体分析。

4 动量守恒定律对两种情形的分析

4.1 在考虑两静止电荷或两稳恒电流之间的相互作用时, 实际上是把两静止电荷或两稳恒电流看成了一个系统, 由于电荷与电流各自要激发电场或电磁场, 所以该系统不是一个封闭的物质系统。根据动量守恒定律的成立条件, 静止电荷或稳恒电流系统的动量似不守恒, 牛顿第三定律也不成立。但静止电荷或稳恒电流所激发的电场或电磁场是稳定的, 它们所具有的动量是不随时间变化的, 为一固定值 \mathbf{P}' 。静止电荷与激发的电场构成一封闭系统, 所具有的动量为另一固定值 \mathbf{P}_0 , 所以不构成封闭系统的两静止电荷或两稳恒电流所具有的动量 $\mathbf{P}=\mathbf{P}_0-\mathbf{P}'$ 也是固定不变的, 既 \mathbf{P} 守恒, 因此它们间的相互作用仍符合牛顿第三定律。

4.2 两运动电荷或非稳恒电流与激发的电磁场构成一封闭系统, 所具有的总动量为一定值 \mathbf{P}_0 , 两运动电荷或非稳恒电流显然是一非封闭系统, 而且此时它们的电磁场是运动变化的, 电磁场动量不是一固定值, 所以两运动电荷与电磁场之间存在着动量的迁移, 电荷动量的增减正好由电磁场动量的改变予以补偿。两运动电荷的动量之和不守恒, 它们的相互作用也就不符合牛顿第三定律。

此外, 两运动电荷间的作用不符合牛顿第三定律还包含着瞬时性和超距作用的因素。经典力学中, 一般认为力的传递是瞬时的, 不须花费时间, 为超距作用。牛顿第三定律就是以超距作用为其存在前提, 它指出作用力与反作用力是完全对称的, 同时出现, 同时变化, 同时消失, 也不须任何物质来传递。但在电磁学中, 两运动电荷间的作用力是通过电磁场来传递的, 而电磁场的传递是以有限的光速来进行的, 一个运动电荷的作用力并不是在一瞬间从一电荷施加到另一电荷上的。超距作用在这里是不符合实际的, 当然牛顿第三定律也就不成立。

总之, 牛顿第三定律虽然在经典力学中具有十分显赫的地位, 但在整个物理学尤其是在现代物理学中则显得无足轻重, 取而代之的是更重要的、更普遍的动量守恒定律。在整

个物理学中,从动量守恒定律出发考虑问题,要比从牛顿第三定律出发考虑问题更具有基本意义。

参 考 文 献

- 1 张三慧. 大学物理学. 北京: 清华大学出版社, 2001
- 2 赵凯华, 陈熙谋. 电磁学. 北京: 高等教育出版社, 1984

Discussing about Law of Action and Reaction in the Electromagnetism

Zhen Weidong Feng Li

(CAEP Institute of Technology, Mianyang Sichuan, 621900)

Abstract From the conversation law of momentum, the reason that whether the law of action and reaction in the electromagnetism comes into existence is discussed. The importance of the conversation law of momentum in the whole physics especially in the modern physics is illuminated. That considering from the conversation law of momentum has more basic meaning than from the law of action and reaction is explained in the whole physics.

Key words law of coulomb, law of action and reaction, conversationlaw of momentum

