

# 静电磁学中的牛顿第三定律和超距作用

陈国贵<sup>1</sup>, 黄亦斌<sup>2</sup>

(1. 揭阳职业技术学院, 广东 揭阳 522000; 2. 江西师范大学物理与通信电子学院, 江西 南昌 330027)

**摘要:** 澄清了静电磁学中关于超距作用的某些观点, 确认在静电磁相互作用场合不必引入场。指出牛顿第三定律的通常公式表示有不足之处, 该定律与超距作用也有差别, 提出了“刚体的相互作用定律”, 并据此分析了两电偶极子和两通电线圈情形时的相互作用。

**关键词:** 静电磁学; 牛顿第三定律; 超距作用; 刚体相互作用定律

中图分类号: TM15

文献标识码: A

文章编号: 1009—7600 (2013) 05—0068—03

## Newton's Third Law and Action at a Distance in Static Magnetism

CHEN Guo-gui<sup>1</sup>, HUANG Yi-bin<sup>2</sup>

(1. Jieyang Vocational and Technical College, Jieyang 522000, China;

2. Jiangxi Normal University, Department of Physics and Communication-electronics, Nanchang 330027, China)

**Abstract:** This paper clarifies some views on action at a distance in static magnetism. It confirms that it is not necessary to bring in the condition of static magnetism interaction. It points out the deficiency of usual formula in Newton's third law, as well as the difference between this law and action at a distance. It puts forward interaction law of rigid body. According to this, it analyzes the interaction between two electric dipoles and two current loops.

**Key words:** static magnetism; Newton's third law; action at a distance; interaction law of rigid body

对于电磁相互作用, 历史上曾存在两种彼此相左的观点: 一种观点认为它是超距作用, 它的传递不需要介质, 不需要时间; 另一种观点认为它是近距作用, 两电磁体之间的作用不是直接的, 而是通过一种特殊的物质——电磁场来传递的, 因此近距作用观点又称为场观点。两种观点在静电磁情况下给出的结果相同, 从而不能分出高下, 但在变化情况下将给出不同的预言, 从而可以由实验来检验。实验证明, 场观点是正确的。场也是一种物质, 跟实物一样具有能量、动量等力学性质。场和实物是物质存在的两种形式。然而, 有意见认为, 在静电磁情况下, 某些场合显示出场观点的必要性, 从而可以作为引入场观点的切入口。这主要是指下面两个场合: 一是两静止电偶极子相互作用力因不共线而不满足牛顿第三定律; 二是考虑两

稳恒电流的相互作用时, 两电流元的相互作用不满足牛顿第三定律。

本文认为, 这种观点并不合适, 因为它的直接结论是“静电磁相互作用不必引入场”的观点存在问题。对于静电磁作用确实没有引入场的必要, 但其理由对于上述两种场合来说是完全不同的。对于第二种场合, 首先, 在稳恒情况下, 是无法得到两电流元的相互作用的。或者说, 此时, 两电流元的相互作用有多种可能, 例如<sup>[1]</sup>:

$$F_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi} \oint_{L_1} \oint_{L_2} \frac{dl_2 \times (dl_1 \times r_{12})}{r_{12}^3}$$

$$= \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi} \oint_{L_1} \oint_{L_2} r_{12} \left[ \frac{3(dl_1 \cdot r_{12})(dl_2 \cdot r_{12})}{r_{12}^5} - \frac{2dl_2 \cdot dl_1}{r_{12}^3} \right] \quad (1)$$

收稿日期: 2013-03-18

作者简介: 陈国贵 (1977—), 男, 广东揭阳人, 讲师, 硕士; 黄亦斌 (1973—), 男, 湖南桃江人, 副教授, 博士。

2013年第5期

它们仅在积分符号下才有意义, 而积分值完全相同, 故孰对孰错, 不能判别。既然相互作用连是什么情况都无法知道, 那就无法判断是否满足牛顿第三定律, 是“超距”还是“近距”就更无从谈起。而两电流元相互作用的正确公式只能在非稳恒情况下获得。尽管此时必须引入场, 但不构成对“静磁相互作用不必引入场”的否定, 因为其前提已由“静”变为“非稳恒”了。

下面讨论第一种场合。为此, 先讨论牛顿第三定律。牛顿第三定律的内容众所皆知, 即两质点的相互作用力等大、反向、共线 (即作用在两质点的连线上)。然而, 其数学表达式却常被认为是  $F_{12} = -F_{21}$ 。这其实是不完整的, 因为它只表示了“等大反向”, 还漏了“共线”。其正确的表达式应该是:

$$F_{12} = -F_{21} \text{ 且 } F_{12} // r_{12} \quad (2)$$

其中  $r_{12} = r_2 - r_1$  是质点 2 (位于  $r_2$  处) 相对于质点 1 (位于  $r_1$  处) 的位矢, 或是由质点 1 指向质点 2 的矢径。(2) 式的后一部分  $F_{12} // r_{12}$  也可以写为更为抽象的形式:  $r_{12} \times F_{12} = 0$ , 它恰好反映了“共线”的性质, 也是证明内力力矩成对抵消的关键条件。

至于牛顿第三定律和超距作用的关系, 常有人将它们等同。这其实是不对的, 因为牛顿第三定律只适用于质点。刚体力学告诉我们, 一个刚体所受各力的净结果可归结为一个施于质心的合力  $F$  与一个力偶矩  $M_s$  的作用。所以, 如果两刚体之间有相互作用, 那么它们之间不仅有作用力和反作用力  $F_{12}$ 、 $F_{21}$ , 还有作用力偶矩和反作用力偶矩  $M_{s12}$ 、 $M_{s21}$ 。此时它们之间的相互作用力通常不在两质心的连线上。容易得出, 有超距作用的两刚体, 其相互作用应满足: 一是两力等大反向 ( $F_{12} = -F_{21}$ ); 二是由于两力不在质心连线上而导致的、改变总轨道角动量的力矩 ( $M_1 = r_{C12} \times F_{12}$ ) 与两刚体各自所受的、改变各自的自旋角动量的力偶矩  $M_{s12}$ 、 $M_{s21}$  之和为 0:

$$M_1 + M_{s12} + M_{s21} = 0 \quad (3)$$

这两条是牛顿第三定律在刚体情况下的推广, 可以称为“刚体的相互作用定律”。如果两刚体不受外力, 这两条保证了系统的动量守恒和角动量守恒。于是质点的牛顿第三定律和刚体的相互作用定律都与超距作用相容。

回到电偶极子情况。电偶极子虽然可以在几何上被视为一个点, 但在物理上却由正负两个电荷组成。虽然两个电偶极子的相互作用不满足牛顿第三定律 (不共线), 但组成它们的四个电荷却两两间都满足, 故不应该有引入场的必要。实际上电偶极子可以视为刚体而不能被视为质点。质点是球对称的, 只能承受力, 不能承受力偶矩; 而电偶极子具有特殊方向 (电矩方向), 只具有轴对称性, 可以承受力偶矩。

下面证明两电偶极子之间的相互作用满足“刚体的相互作用定律”, 从而可视为超距的。设两电偶极子  $p_1$ 、 $p_2$  分别位于  $r_1$ 、 $r_2$  处, 则  $p_1$  在  $p_2$  处产生的电场为<sup>[2]</sup>:

$$E_{12} = -\frac{p_1}{4\pi\epsilon_0 r^3} + \frac{3p_{1r}}{4\pi\epsilon_0 r^4} r \quad (4)$$

其中  $r = r_{12} = r_2 - r_1$ ,  $p_{1r} = p_1 \cdot e_r$ ,  $e_r = r/r$ 。故  $p_2$  受到的作用力<sup>[3]</sup>:

$$F_{12} = (p_2 \cdot \nabla_2) E_{12} \\ = \frac{3}{4\pi\epsilon_0 r^4} (p_{2r} p_1 + p_{1r} p_2) + \frac{3r}{4\pi\epsilon_0 r^5} (p_1 \cdot p_2 - 5p_{1r} p_{2r}) \quad (5)$$

其中  $\nabla_2$  表示只对  $r_2$  求导。互换 (5) 式中的指标 1 和 2, 则  $r$ 、 $p_{1r}$ 、 $p_{2r}$  都反号, 可得  $F_{12} = -F_{21}$ 。

另一方面:

$$M_1 = r_{12} \times F_{12} \\ = \frac{3}{4\pi\epsilon_0 r^4} r \times (p_{2r} p_1 + p_{1r} p_2) \neq 0 \quad (6)$$

即  $F_{12} // r_{12}$  不一定成立, 故牛顿第三定律不一定成立。这种不成立只是说明二者在不受外力时总轨道角动量不守恒而已, 尚需考虑两电偶极子各自的自旋角动量部分。为此, 考虑两电偶极子各自所受的力偶矩之和<sup>[2][3][387]</sup>:

$$M_s = M_{s1} + M_{s2} \\ = p_1 \times E_{21} + p_2 \times E_{12} \\ = \frac{3}{4\pi\epsilon_0 r^4} \times (p_{1r} p_2 + p_{2r} p_1) \times r \quad (7)$$

显然, 合力矩  $M_1 + M_s = 0$ 。于是“刚体的相互作用定律”的两条都满足, 故电偶极子间的相互作用仍然可视为超距作用, 此时没有引入场的必要。

电磁学中“刚体的相互作用定律”还有其他例子, 比如两个通以稳恒电流的线圈之间的相互作用。通常可能认为这种情况满足牛顿第三定律, 但这是不对的, 因为它们之间的作用力一般只满足等大反向, 不满足在两质心连线上。或者说, 两刚体间的相互作用不能以质点情形时的牛顿第三定律来判断。以两磁偶极子 (小环电流) 为例, 此时必有跟 (6) 式类似的表达式, 故而二者间的作用力  $F_{12}$  与二者的相对位矢  $r_{12}$  并不同向。在一般情形, 每个线圈通常还会受到力偶矩的作用, 它们的结果是使各自的自旋角动量改变, 以补偿因两作用力不共质心连线导致的轨道角动量的改变。该例也是不需引入场的概念而可以得到彻底解释的。

假若两个体系构成的整体似乎不受外力, 但计算各自所受的力 (力矩), 发现合力 (合力矩) 不为 0, 这就需要引入第三方 (场) 来保证动量 (角动量) 守恒定律的成立了。此时一定是原则上不满足超距作用 (牛顿第三定律或刚体相互作用定律) 的时候, 如两运动电荷 (或孤立电流元) 之间的相互作用。二者的相互作用力不是等大反向

的,故动量不守恒;而每个电荷不受力偶矩,“轨道力矩”之和 $M_l$ 不为0,故总角动量也不守恒。此时,场就必须登场了。

#### 参考文献:

[1]陈秉乾,舒幼生,胡望雨.电磁学专题研究[M].北京:高等教育

出版社,2001:48.

[2]郭硕鸿.电动力学:第3版[M].北京:高等教育出版社,2008:64.

[3]胡友秋,程福臻,叶邦角.电磁学与电动力学:上册[M].北京:科学出版社,2008:86.

[责任编辑,抚顺职院:陈 辉]

(上接 39 页)

表2 学生对专门用途英语学习成效的自我评价调查表

| 评价项目          | 赋 分 |   |   |   |   |
|---------------|-----|---|---|---|---|
|               | 5   | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 学生专业词汇量的增加    |     |   |   |   |   |
| 教师授课英语的听力提高程度 |     |   |   |   |   |
| 语言展示的流畅性      |     |   |   |   |   |
| 会计英语阅读能力提高    |     |   |   |   |   |
| 会计专业英语翻译能力提高  |     |   |   |   |   |

注:5分:效果显著;4分:有很大效果;3分:有效果;2分:效果不大;1分:没效果。

在收回的135份关于专门用途会计英语的调查问卷中,认可会计英语课程开设可行性的评分为3分以上的占90%。学生对教师的专门用途会计英语的教学评价达到4分以上学生占85%,认为能够接受会计英语教学模式和方法评分为3分以上的学生占90%,认为专门用途会计英语对于未来岗位有实用性的评分为3分以上的占86%。许多学生在问卷中写到,专门用途会计英语教学使他们的专业知识和英语水平相辅相成。学生对于专门用途会计英语的学习效果评价中尤其对词汇量的增加和语言展示的提高幅度大做出了4分以上的评价的占到80%。同时也提出在专门用途会计英语教学中,案例英语阅读太难,会计审计报告翻译难度大等问题。

学生们肯定了职业英语的实用性,通过实训能够提高专业英语的应用能力,可以看出,学生对会计英语教学是欢迎的,课程的设置具有可行性。开设专门用途英语,能够使学生提高专业英语的应用能力,最重要的是自主学习能力也得到了提高。通过语言展示,学生的创造性得到了前所未有的挖掘,学到的专业英语知识让他们充满未来岗位执行能力的信心。通过专门用途会计英语教学,提升了公共英语教学的内涵,促进了职教与企业的交流合作,激发了高职公共英语教学的生命力,提高高职非英语专业教

学的知名度。在未来的推广上要增加职业教育特色。

#### 四、结论

对于公共英语教学,不畏传统的束缚、不畏生源的低起点、不畏教与学的尴尬状况,大胆进行高年级学生的专门用途英语教学、双语教学、工学结合模式下的职业英语的实践。公共英语在高等院校的覆盖面广,涉及全院的学生英语应用能力,在学生的未来求职中起到脱颖而出的作用,同时也能为高职的特色招生起到推波助澜的作用。高职教育就是以就业为导向、以能力为根本的教育科学,科学就要符合与时俱进,可持续发展的趋势。英语教学是辅助地方经济建设的不可缺少的环节,是打开对外开放大门的一把钥匙,是走向世界的一个保证,应对这个教学任务,我们责无旁贷。

综上,高职公共英语要抓住职业技术教育大发展的契机,结合辽宁沿海产业基地经济大发展形势的人才需求,大力推行工学结合模式的专门用途英语教育,培养出符合地方经济建设人才需求的“专业+专业英语”的职业英语人才,为丰富高职的特色化教学、人才培养模式特色化内涵作出贡献。

#### 参考文献:

[1]教育部高等教育司.高等职业教育英语课程教学要求(试行)[M].北京:高等教育出版社,2008:2.

[2]HUTCHINSON T, WATERS A. English for Specific Purpose[M]. Shanghai: Shanghai Foreign Language Education Press,2002:89-93.

[3]武晓燕,陈玲敏.浅议高职院校公共英语与职业英语教学的衔接[J].湖北经济学院学报:人文社会科学版,2009(5):184-185.

[责任编辑,营口职院:王洪昌]

