

电磁学教学中右手(螺旋)定则的应用

金永君 魏英智

(黑龙江科技大学理学院物理系 黑龙江 哈尔滨 150022)

(收稿日期:2016-01-26)

摘要:在电磁学的教学中,常常用到右手螺旋定则,而在中学的物理教学中常常有左手定则、右手定则.为了避免左、右手的混淆,我们在大学电磁学和大学物理的教学过程中,只强调右手(螺旋)定则,以下文章内容将物理学中使用右手定则的内容加以归类比较,并结合数学的叉乘,有利于学生对此类问题的学习.

关键词:电磁学 教学 右手(螺旋)定则 叉乘

在中学物理的电磁学教学中,我们常常用左、右手来判定通电导体受力、感应电流的方向.但对于一些物理知识没有真正理解透彻的学生,有时应用左、右手判定的时候,往往混淆,造成错误.为了防止以上问题的发生,我们在大学物理课程,尤其是电磁学的教学过程中,告知学生抛弃左手定则,大学以后接触矢量运算的概念后,我们只用右手(螺旋)定则,问题就迎刃而解,避免了混淆,对学习电磁学知识会有很大益处.

1 右手定则

1.1 三维直角坐标系中的右手定则

手掌展平,四指方向沿 x 方向,然后将四指向手心方向折合,四指与手掌成 90° 时指向 y 方向,此时,与四指垂直的大拇指指向即为 z 方向,如图 1 所示.

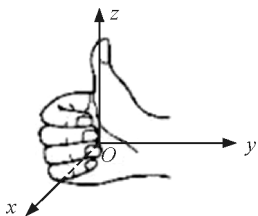


图 1

1.2 数学中的矢量叉乘

两个向量 \mathbf{a} 和 \mathbf{b} 的叉积写作 $\mathbf{a} \times \mathbf{b}$. 可以定义为: $\mathbf{c} = \mathbf{a} \times \mathbf{b} = ab \sin \theta \mathbf{n}$, 在这里 θ 表示 \mathbf{a} 和 \mathbf{b} 之间的夹角 ($0 \leq \theta \leq 180^\circ$), 它位于这两个矢量所决定的平面上, 而 \mathbf{n} 是一个与 \mathbf{a}, \mathbf{b} 所在平面均垂直的单位矢量, $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{n}$ 遵从右手螺旋关系.

2 电磁学中右手(螺旋)定则的应用

高中阶段为了简单, 引用了左、右手定则的概念. 大学阶段, 凡是涉及到两个向量的叉乘一律用右手, 避免了混淆.

2.1 洛伦兹力

磁场对运动带电粒子的作用力——洛伦兹力

$$\mathbf{f} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

其中 q, \mathbf{v} 分别是点电荷的电量和速度; \mathbf{B} 是点电荷所在处的磁感应强度. \mathbf{v} 与 \mathbf{B} 方向不垂直时, 洛伦兹力的大小是 $f = |q| vB \sin \theta$, 式中 θ 是 \mathbf{v} 和 \mathbf{B} 的夹角. 示意图如图 2 所示.

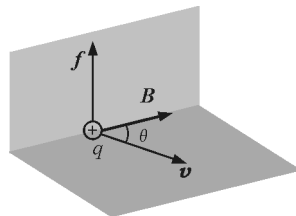


图 2

2.2 毕奥-萨伐尔定律

定律: 载流导线上的电流元 $I d\mathbf{l}$ 在真空中某点 P 产生的磁感应强度大小 $d\mathbf{B}$ 为

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \sin \theta}{r^2}$$

由该式可知 $d\mathbf{B}$ 的大小与电流元 $I d\mathbf{l}$ 的大小成正比, 与电流元 $I d\mathbf{l}$ 和从电流元到 P 点的位矢 \mathbf{r} 之间的夹角 θ 的正弦值成正比, 与位矢 \mathbf{r} 大小的平方成反比, 即如图 3 所示. 电流元 $I d\mathbf{l}$ 在空间产生的磁感应强度

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^3}$$

任意载流导线在点 P 处的磁感应强度

$$\mathbf{B} = \int d\mathbf{B} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^3}$$

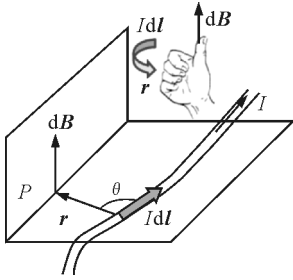


图 3

2.3 安培定律

定律:如图 4 所示,电流元在磁场中所受的安培力与电流元大小、磁感应强度大小、电流元与磁感应强度夹角的正弦值成正比,即

$$d\mathbf{F} = I d\mathbf{l} \times \mathbf{B}$$

整段载流导线所受的安培力

$$\mathbf{F} = \int_L I d\mathbf{l} \times \mathbf{B}$$

安培力是洛伦兹力的宏观表现。

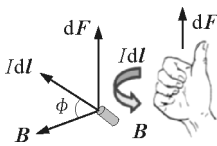


图 4

2.4 磁力矩

如果是通电线圈,由受力转换为受力矩对问题的研究更为简便,如图 5 所示。

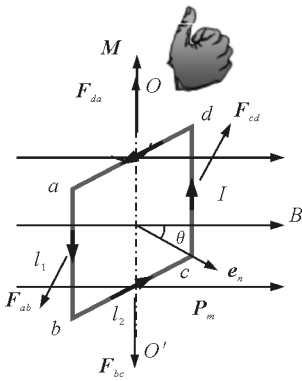


图 5

磁力矩为磁矩和磁感应强度的叉乘

$$\mathbf{M} = \mathbf{P}_m \times \mathbf{B} \quad M = NISB \sin \theta$$

磁矩 $\mathbf{P}_m = NIS\mathbf{n}$, \mathbf{n} 为线圈平面的法向单位矢量,与

电流 I 遵从右手螺旋关系。

2.5 动生电动势

一段导线在磁场中切割磁感线运动,产生的感应电动势为动生电动势 $d\varepsilon = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$,前两个矢量叉乘,再与第三个矢量点乘。

对整段导线所产生的动生电动势

$$\varepsilon = \int_L (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$$

3 右手定则的应用扩展

在大学物理中还有用到右手螺旋定则的内容。

3.1 力矩

如图 6 所示,力对参考点 O 的力矩为从参考点引向力的作用点的矢径与力的叉乘

$$\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} \quad M = rF \sin \alpha$$

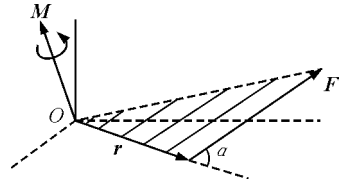


图 6

3.2 角动量

如图 7 所示,质量为 m 的质点对参考点 O 的角动量为矢径与动量的叉乘

$$\mathbf{L}_O = \mathbf{r} \times m\mathbf{v} \quad L_O = rpv \sin \alpha = rmv \sin \alpha$$

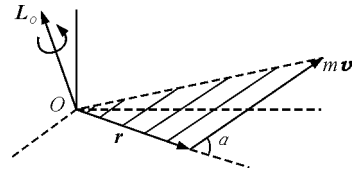


图 7

3.3 电流与磁场的关系判定

如图 8 所示,通电直导线和螺线管其电流与磁场也遵从右手螺旋关系,该关系判定虽然没有用叉乘,但都有某些方面的统一。

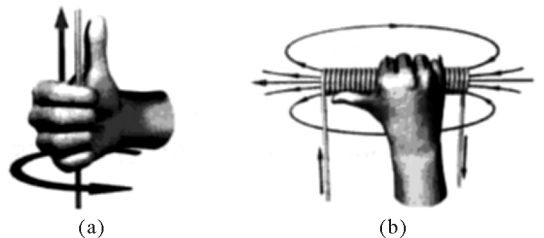


图 8

(下转第 23 页)

学——相对论和量子力学体系的极限适用范围. 普朗克时间是指时间量子的最小间隔, 为 10^{-43} s, 没有比这更短的时间存在. 普朗克长度约等于 1.6×10^{-35} m, 测量得到任一长度皆不可能比其精确, 且比该长度更短的长度是没有意义的.

3.4 普朗克常量是精确定义质量单位的基础

在基本物理常数中, 普朗克常量 h 是随着量子力学的发展而进入物理学领域的, 它的数值的准确性影响着诸如电子的静止质量、阿伏伽德罗常数和基本电荷 e 等基本物理常数的准确性. 因此, 准确测定普朗克常量 h 对于建立整个基本物理常数体系具有重要意义. 普朗克本人对 h 值的最早估计是 $h = 6.55 \times 10^{-34}$ J·s. 2010年, 国际科学技术数据委员会推荐的 h 值 $h = 6.626\ 069\ 75(29) \times 10^{-34}$ J·s, 相对标准不确定度为 4.4×10^{-8} , 是目前被认定的最佳推荐值.

质量单位——千克是目前7个基本单位中唯一还依靠实物基准保存量值的基本单位. 国际计量

(上接第19页)

4 总结

可见, 在电磁学和大学物理的教学内容中, 右手定则对于由两个矢量决定的第三个矢量的计算非常

委员会早在2005年就号召各国家计量实验室进行与质量单位新定义有关的基本物理常数的测量以及有关实物基准的稳定性考察工作, 为新定义的实施做准备. 经计量学家研究发现, 未来的质量单位的定义在很大程度上将依赖于普朗克常量 h 的测定值和不确定度. 一旦普朗克常量 h 的测定值不确定度小于 2×10^{-8} , 有望通过普朗克常量 h 来重新定义质量单位, 实现质量量子基准, 从而代替已经使用120多年的铂铱合金国际千克原器^[4].

参考文献

- 1 James Stein. Planck's constant: the number that rules technology, reality and life.
- 2 赵凯华. 定性 & 半定量物理学. 北京: 高等教育出版社, 1991. 104 ~ 109
- 3 元方. 常数诱发科学发现的一个重要范例——试论普朗克常量在量子发现中的作用. 自然杂志, 1993(23): 68 ~ 73
- 4 韩冰, 贺青, 李世松, 等. 普朗克常量 h 测定与质量量子基准的最新研究进展. 计量学报, 2013, 34(1): 90 ~ 96

重要, 学生如果熟练掌握了右手定则, 避开使用左手, 就不易混淆了, 而且许多问题就迎刃而解.

参考文献

- 1 赵凯华, 陈熙谋. 电磁学. 北京: 高等教育出版社, 2011
- 2 张三慧. 电磁学. 北京: 清华大学出版社, 2014

Application on Right Hand(Spiral) Rule in Electromagnetics Teaching

Jin Yongjun Wei Yingzhi

(Department of physics, Heilongjiang University of science and technology, Harbin, Heilongjiang 150022)

Abstract: In the teaching of electromagnetics, often use the right hand spiral rule, and in the middle school physics teaching often have a left hand rule, the right - hand rule. In order to avoid the confusion of left and right hand, we electromagnetism in university and college physics teaching process, the emphasis on the right hand (spiral) rule, only the following article will use the right - hand rule in physics by sorting out the contents of comparison, combined with the mathematical cross - product, beneficial to this kind of problem with the student learning.

Key words: electromagnetism; teaching; right hand(spiral) rule; ultiplication cross