

# 对陀螺进动中一个奇异现象的分析

仇九子

(中国人民武装警察部队学院基础部 廊坊 065000)

陀螺进动是验证角动量定理的典型演示实验。在大学物理课的教学中,结合教学内容,让学生观察和分析陀螺进动现象,就会使物理教学生动、直观、有趣,收到良好的教学效果。但在用天津大学研制的“GJY-1”型多功能刚体进动演示仪”演示陀螺在重力矩作用下自转轴的进动现象时,我们观察到了一个奇异的现象。演示过程和观察到的现象如下:

① 用加速电机高速旋转体将陀螺仪加速转动至最大转速。

② 将陀螺仪自转轴的一端放置在水平桌面上,使自转轴与桌面间有一较大的夹角,然后慢慢放手。

这时,陀螺将在重力矩作用下绕通过支点 $O$ 的铅垂轴( $Y$ 轴)作进动,如图1所示。但陀螺在绕铅垂轴进动的同时,我们还观察到一个奇异的现象:陀螺的自转轴绕支点 $O$ 逐渐向铅垂

轴的方向转动( $\theta$ 角逐渐增大),直至完全直立(自转轴与铅垂轴重合),然后又偏离铅垂轴向水平方向转动。我们把这一现象叫做自转轴的“直立现象”。

众所周知,陀螺绕铅垂轴的进动是由于重力矩作用的结果。在重力矩作用下,陀螺对支点 $O$ 的角动量的方向在不断地改变,角动量的增量就等于重力矩产生的角冲量。所以,陀螺绕铅垂轴的进动是在重力矩作用下,陀螺绕支点 $O$ 转动的角动量发生变化的结果。可是,陀螺在绕铅垂轴进动的过程中,其自转轴的“直立现象”是什么力引起的呢?

力是物体运动状态发生改变的原因。陀螺自转轴绕支点 $O$ 向铅垂轴方向的转动是陀螺受到一外力作用的结果。设这个外力为 $F$ ,作用点在陀螺的质心。下面先由角动量定理来分析 $F$ 的方向。

定律公式就是追求跟万有引力平方反比定律的对称而获得的。再如,麦克斯韦出于对称美学原理根据电磁的对称性,在没有任何实验支持的情况下,在安培定律中平添了位移电流矢量项,经后人两次简化,即从一个概念、一个命题或一个理论中反映出来的对称性。此外,物理学家始终认为物理规律的“统一”、“对应”是宇宙和谐美的反映,整个物理学发展史,可以说就是物理学家们为建立统一的物理理论的奋斗史。

总之,在物理教学中,运用物理学史料,可以使学生在学会从物质组成和运动的繁杂、混乱的秩序中整理出统一、简洁的秩序和规律的同时,培养学生正确的审美观和鉴赏美、创造美的能力,学会从零散、无序的艺术哲学之中整理出令人神怡的秩序和规律。

近些年来,尽管物理学史与物理教育的有机结合的问题已开始引起物理教学工作者的注意,但现状还不能令人满意,这方面的研究与实践尚未广泛深入地展开。其主要原因在于:第一,师范院校的物理专业还没有把物理学史列为必修课程,导致师范生对物理学史知之甚少;第二,教师对物理学史的教育功能缺乏正确、深刻的认识。因此,师范院校的物理专业加强物理学史课程教学是解决上述问题的关键所在。同时,还应在教育科研方面进行有效的引导,在有关物理教学的学术刊物上更多地发表一些物理学史教育方面的研究成果。我们相信,经过广大物理教育工作者的共同努力,一定能在物理教学中充分发挥物理学史潜在的教育功能,为物理教改注入新的活力。

为了分析力  $F$  的方向,我们暂不考虑陀螺在重力矩作用下的进动,只考虑陀螺的自转和自转轴绕支点  $O$  向铅垂轴方向的转动。

如图 1 所示,陀螺绕其自转轴高速旋转着,

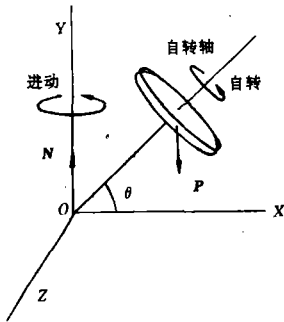


图 1

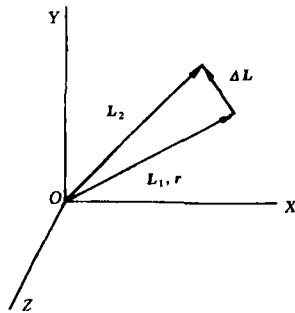


图 2

其自转轴在  $XY$  平面内,且在外力  $F$  作用下绕  $O$  点向  $Y$  轴方向转动。设  $t_1$  时刻陀螺对  $O$  点的角动量为  $L_1$ ,  $t_2$  时刻陀螺对  $O$  点的角动量为  $L_2$ 。则在  $\Delta t = t_2 - t_1$  时间内,角动量的增量  $\Delta L = L_2 - L_1$ ,如图 2 所示。假设陀螺对  $O$  点的角动量的大小不随时间变化,即  $L_1 = L_2$ ,则当  $\Delta t \rightarrow 0$  时,有  $\Delta L \rightarrow 0$ 。由图 2 可见,这时  $\Delta L$  与  $L_1$  相互垂直。由角动量定理可知,陀螺所受的角冲量等于角动量的增量,即

$$(\mathbf{r} \times \mathbf{F}) \Delta t = \Delta \mathbf{L}$$

其中  $r$  为由  $O$  点指向  $F$  作用点(陀螺的质心)的矢径, $r$  与  $L_1$  的方向相同。由上式可知, $F$  的方向为  $\Delta L \times r$  的方向,即  $F$  的方向沿着  $Z$  轴的负方向。

下面为了分析  $F$  的产生原因,我们考虑陀螺在重力矩作用下的进动。

由上面分析可知,陀螺受到一个沿  $Z$  轴负方向的外力  $F$  的作用,该力是陀螺自转轴绕支点  $O$  向铅垂轴方向转动的原因。那么,力  $F$  是如何产生的呢?在通常的分析中,我们只考虑两个力的作用。一是陀螺所受重力  $P$  的作用,二是桌面对陀螺的支持力  $N$  的作用。如图 1 所示,这两个力都在  $XY$  平面内,在  $Z$  轴方向的分量均为零。

力是物体对物体的作用。陀螺受到力  $F$  的作用,必有另外一个物体对它施加这种作用。由实验环境我们知道,陀螺除了受到地球和桌面对它的作用外,还受到空气对它的作用力。空气对陀螺的作用力有两种,一是空气对陀螺的粘滞阻力,二是空气对陀螺的压力。空气对陀螺的粘滞阻力阻碍陀螺的转动,使陀螺的转速和角动量变小。尽管陀螺所受粘滞阻力的合力不一定为零,但由陀螺的柱对称性和进动方向可知,该合力的方向也在  $XY$  平面内,该合力在  $Z$  轴方向的分量也为零。空气对陀螺的压力与空气和陀螺边缘的相对速度的大小有关。若陀螺为定轴转动,则由柱对称性,陀螺所受空气压力的合力为零。但由陀螺进动实验可知,陀螺在绕自转轴转动的同时,陀螺还绕沿垂轴作进动。如图 1 所示,在图示位置,陀螺进动的方向为  $Z$  轴的负方向。由于陀螺在进动的过程中,还绕自转轴高速旋转,陀螺的高速旋转必然要带动其所通过区域的空气沿陀螺的旋转方向运动。因此,在陀螺进动方向的两侧,两侧面与空气的相对速度的大小是不同的,如图 3 所示,其中  $v$  为陀螺边缘速度, $\mu$  为边缘附近空气的速度。由运动情况可知, $Z$  轴负方向一侧的相对

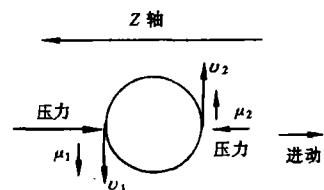


图 3

# 麦克斯韦电磁场理论的科学思想方法论

李 亦 军

(华北工学院理学系 太原 030051)

科学思想的诞生和科学理论的建立不是偶然的,它是许多先辈科学家研究的概括、综合、引申和发展以及科学家本身的丰富联想、独到智慧和创造性思维的产物,其中蕴含着科学家新思想和丰富的方法论上的教益和启迪。19世纪物理学中最伟大的成就——麦克斯韦电磁场理论就是如此,它是继牛顿力学之后物理学史上又一次划时代的伟大巨著,它的建立开拓了广泛的研究领域。在学习麦克斯韦电磁场理论的同时,总结其科学思想、挖掘其方法论的意义必定使我们受益匪浅。

## 一、建立麦克斯韦电磁场理论的物理背景

1. 法拉第的力线。法拉第具有丰富而深刻的物理思想,他从广泛的实验研究中构想出描绘电磁作用的力线图象,认为带电体和磁体周围存在着某种特殊状态,用电力线和磁力线来描述这种状态,他认为力线是物质的,充满整个空间,并把相异的电荷和相异的磁极联系起来,力线的疏密反映了场的强弱。法拉第指出:带电体之间或磁体之间的力线一般是曲线而不是直线,这表明了电和磁之间的作用不可能是直接作用,法拉第在解释他发现电磁感应现象的原因时指出,仅有导线运动不能产生电流,必须在磁性区域中以一定的方向运动才产生电流,

速度  $v_2 - \mu_2$  大, Z 轴正方向一侧的相对速度  $v_1 - \mu_1$  小。由流体压力与相对速度的关系可知,相对速度越大压力越小,相对速度越小压力越大。所以, Z 轴正方向一侧的空气对陀螺的压力大于 Z 轴负方向一侧的空气对陀螺的压力,它们的合力的方向指向 Z 轴的负方向。由角动量定理可知,在这一合力的作用下,陀螺的自转轴将绕 O 点向铅垂轴的方向转动。

他认为回路中产生感应电动势是因为穿过回路的磁力线数目发生变化,这样他就把力线图象从静态发展到动态,并将电现象和磁现象联系起来。法拉第力线思想是场概念的先声,他也成为场理论的创建人,“力线”概念是法拉第最伟大的贡献,并鼓舞着麦克斯韦深入地进行研究。

2. 韦伯的电磁理论。韦伯把电流看作是由数量相等的正、负电荷的流动构成的,认为运动电荷除了库仑力之外,还存在着因为运动而产生的另一种力,他结合了电流元相互作用力的安培定律和静电的库仑定律,导出了两个运动电荷的相互作用力。韦伯指出:当两个电流元相对运动时,运动电流元中的电荷除了沿导线运动外,还随导线运动,后者使电荷受到的附加作用力就是产生感应电动势的根源。韦伯理论广泛应用于静电现象、电磁吸引、电流感应现象,为此受到麦克斯韦的高度评价,并吸取了其中合理的内容。

3. 汤姆逊的类比研究。在建立电磁场理论的过程中,跨出极为重要的一步是汤姆逊的类比研究。他比较了带电导体区域内的静电力分布与无限固体中的热流分布,指出了等势面与等温面对应,电荷与热源相对应。然而热理

由以上分析可见,力  $F$  是空气对陀螺的压力的合力。空气压力是陀螺在进动过程中产生自转轴“直立现象”的根本原因。

在大学物理课的教学中,结合角动量定理,引导学生对陀螺进动过程中的这一奇异现象进行分析,可激发同学们的探索热情和学习兴趣,培养学生分析问题、解决问题以及进行科学研究的能力。