

麦克斯韦怎样建立起位移电流概念

原 所 佳

(山东农业大学基础部 泰安 271018)

于 国 安

(曲阜师范大学物理系 山东 273100)

麦克斯韦建立电磁场理论最重要的贡献之一是提出了位移电流假说。位移电流的中心思想是变化着的电场激发涡旋磁场,这一假说和涡旋电场假说(变化着的磁场产生变化的电场)构成了电磁相互作用中完整的波动图象——电磁波。

众所周知,位移电流是麦克斯韦给予法拉第的场观点以数学表述时作出的一个重要发展。麦克斯韦第一次提出位移电流假说并不象通常教科书所叙述的那样,是用安培环路定理讨论非稳恒情形时发现矛盾后提出的。实际上麦克斯韦是在得出电磁场方程之前,即在他关于电磁场理论的第二篇论文《论物理的力线》(1861—1862)中就提出了位移电流的概念。尔后,麦克斯韦在第三篇论文《电磁场的动力学理论》(1865)中再次给出了位移电流的定量形式。下面我们来看看麦克斯韦是如何提出位移电流概念的。

麦克斯韦建立电磁场理论的第一篇论文《论法拉第的力线》(1855—1856)受到汤姆逊的启发,根据流体、热现象与法拉第力线相似性,运用类比方法给予法拉第电流状态以数学表述。后来在第二篇论文中他感到有必要对力线的分布和力线的应力性质给予机械性的说明,在此过程中麦克斯韦提出了位移电流概念。

在第二篇论文中麦克斯韦首先借助于分子涡旋理论和以太的概念,精心地构思和设计了电磁作用下的分子涡旋媒质的力学模型。具体内容是:媒质是具有弹性的分子涡旋,两相邻的涡旋之间被一层细微的粒子隔开,粒子的线度很小,其质量与涡旋媒质相比微不足道,这些粒子起着齿轮系列中可动惰轮的作用,粒子在涡旋中的运动构成电流,涡旋的角速度与磁场强度成正比,涡旋的方向与磁力线方向一致,涡旋物质的密度正比于媒质的磁导率,利用这一力学模型,麦克斯韦说明了电流的磁效应、电磁感应现象等,并得到了一些符合实际的定量关系。在文章的第三部分,“应用于静电的分子涡旋理论”中,麦克斯韦把上述模型应用到静电现象中。当电力(电场强度)作用在导体上时,导体中的电荷就是分子涡旋之间的粒子在电力的作用下移动形成电流。与此同时,粒子的切向力作用在涡旋上,使涡旋由内向外传递。当电力作用在电介质上,由于电介质内部不存在可移动的自由粒子,涡旋传递方式不象导体那样简单。因此,麦克斯韦感到有

必要建立起电介质在电力作用下的分子模型。

麦克斯韦认为,无论是导体还是电介质,当电力作用在它上面时,有两个问题必须考虑:一是有电流通过,二是没有电流通过,那么电力的作用效果能否在它里面传递,就此问题麦克斯韦将导体、电介质与流体进行类比。具体讲导体就象流体中的一种多孔膜,这种多孔膜在一个方向上流体的阻力较大,相反方向阻力较小。换言之,与电力方向相同时,导体电阻较小,电流能够通过。而电介质就象一个弹性膜,这种弹性膜对流体来讲是不可渗透的,但流体的压力可以从一边传递到另一边。换言之,电介质虽然在电力的作用下没有电流通过,但电力的作用效果可以在电介质中传递。接下去,麦克斯韦考虑到电力作用在一个电介质上产生部分极化现象,这一现象和铁屑粒子在磁铁感应下产生的磁化分布一样,由于每一磁化粒子存在两个相反极性,由此麦克斯韦给出了电介质在电力作用下的分子模型:在电力的作用下,我们可以假设电荷在每个分子上是这样放置的,一边为正电,另一边为负电,但电荷完全联结在分子上,并不能从一个分子跑到另一个分子上。

根据电介质的分子模型,麦克斯韦考虑到电介质在电力作用下产生极化,而再用相反方向的电力作用到电介质上时,电介质恢复原状。由此实验事实联想到弹性固体在一定压力作用下产生位移,当外力消失时,弹性固体恢复原状。麦克斯韦得出结论:电介质在电力作用下的效果是在一定方向上产生电荷的位移,简称电位移。这种电位移并不相当于电流,因为它达到一定值时便为恒量,但它是电流的开始,它在正方向或负方向电位移的增加或消失形成了电流。因此,如果用 h 表示电位移, R 表示电力, E 是依赖于电介质性质的系数(今日的光速 c)。类比弹性固体方程有

$$R = -4\pi E^2 h, \quad (\text{CGSE 制}),$$

如果 r 是由于电位移引起的电流,则上式变为

$$r = \frac{dh}{dt} = -\frac{1}{4\pi E^2} \frac{dR}{dt}.$$

从此式可以看出变化的电力产生一个变化的电流,这一电流不象管中的流水那样完全限制起来,有一部分能够进入周围的空间。变化的电力产生了变化的

行星面积定理与宇宙速度的初等数学推导

钟育乔

(海口市海南医学院 海南 570005)

质量为 m 的卫星(或行星)在质量为 M 的天体引力作用下运动,若忽略其它作用,则 M 应处于卫星轨道

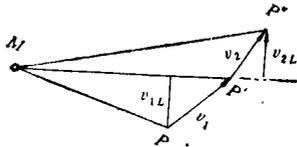


图 1

的焦点,如图 1 所示, m 在 P 点连续两秒内的位移,即该相邻两点的瞬时速度 v_1 及 v_2 . 由于 m 所受引力方向沿着矢径指向 M ,

与矢径 MP 垂直的方向上 m 不受力,故速度的垂直分量相等,即 $v_{1\perp} = v_{2\perp}$; 显然 m 的矢径在连续两秒内扫过的面积 $\Delta P'MP = \Delta PMP'$. 这就是我们熟知的开普勒第二定律,亦称行星面积定理.

设卫星 m 在椭圆轨道上运动,如图 2, 轨道的半长轴为 a , 焦距为 $2f$, 在轨道上运动的每一时刻卫星的总机械能守恒,则有

$$mv^2/2 + mgr = mv_1^2/2 + mg_1(a+f)$$

式中 v 为卫星在轨道上任一点的速度, r 为该点与 M 的距离, g 为卫星在该点的引力加速度, v_1 表示卫星在远地点 l 处的速度, g_1 为该点的引力加速度. 由万有引力公式:

$$F = -GMm/r^2 \text{ 及 } F = mg,$$

对于远地点 l 和近地点 n , 有:

$$v_1^2/2 - GM/(a-f) = v_2^2/2 - GM/(a+f)$$

根据面积定理, 当 m 用相等的时间 Δt , 通过的路程分别为 AB 和 $A'B'$, 则扇形面积 $MAIB$ = 扇形面积 $MA'nB'$, 取 Δt 很短, 则可认为 AB 及 $A'B'$ 是直线, 于是有:

电流,变化的电流产生变化的磁场,实质是变化的电动势产生了变化的磁场,即 $(\mathbf{X} \times \mathbf{H})_a = \partial \mathbf{D} / \partial t$ (MKSA 制). 这种变化的磁场,向周围空间传播,构成了电磁波的一部分.

在第三篇论文中,麦克斯韦抛弃了前两篇所采用的力学模型,直接根据动力学原理和电磁实验事实推出了电磁场方程. 麦克斯韦原文采用分量形式,共计 20 个方程,分成八组. 在第四组方程中,他论述了电动力和电位移之间的关系,由于这一关系是根据动力学中弹性固体方程以及电介质在电动力作用下产生极化的实验事实,麦克斯韦称为电弹性方程:

$$P = kf, Q = kg, R = kh,$$

式中 k 为电动力和电位移的比值,在 CGSE 单位制中

$v_n = v_1(a+f)/(a-f)$. 进而导出:

$$v^2/2 - GM/r = -GM/2a,$$

即:

$$v^2 = GM(2/r - 1/a).$$

上式为行星(或卫星)运动速度公式.

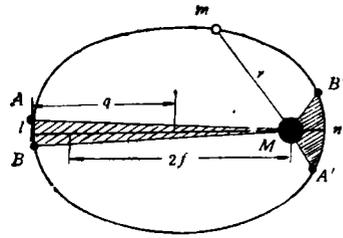


图 2

附近入轨的地球卫星, R 取地球半径, 将 G, M, R 各常数代人可计算出第一宇宙速度: $v_1 = 7.9$ 公里/秒

若 m 脱离 M , 其椭圆轨道伸向无限远 $a = \infty$, 此时有: $v_{11} = \sqrt{2GM/r}$, 称为脱离速度, 其中 M 为地球质量, r 为地球半径. 将其值代入上式, 则 $v_{11} = \sqrt{2}v_1 = 11.2$ 公里/秒, 这就是第二宇宙速度.

如果要使地球脱离太阳系, M 以太阳质量 2×10^{30} 千克, r 以日地平均距离 1.496×10^{11} 米代入, 算得 $v = 42.2$ 公里/秒, 考虑到发射时利用地球公转相对于太阳的速度为 29.8 公里/秒, 故 $v_{111} = 12.4$ 公里/秒. 实际上, 从地球发射的探测卫星, 除了克服太阳引力外, 首先要克服地球引力. 从前面计算其速度为 11.2 公里/秒. 相应的动能 $E_{11} = \frac{1}{2}mv_{11}^2$, 而克服太阳引力

(下转第 165 页)

$E = -4\pi E^2$, P, Q, R 为电动力在三个坐标轴上的分量, f, g, h 为电位移在坐标轴上的分量, 上式经变换为今日 $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$ (MKSA 制, 电介质为各向同性). 在第三组方程中, 麦克斯韦再次给出了前面的电位移方程. 于是建立起位移电流概念.

从上述位移电流概念建立的过程, 我们可以看到, 位移电流概念的提出决非偶然, 它是麦克斯韦先进的物理思想和科学方法的产物. 麦克斯韦继承了法拉第场的观念, 坚信自然界中各种事物之间存在着内在联系, 并根据不同事物外在的相似性, 运用类比、模型等各种物理方法, 寻找不同事物之间的联系, 在此基础上巧妙地借助数学方法来描述物理规律.

(责任编辑 王德云)