

静电平衡状态下导体接地后电荷转移及分布探讨

王 群

(东北师范大学物理学院 吉林 长春 130024)

陈维栋

(东北师范大学附属中学 吉林 长春 130021)

(收稿日期:2018-03-14)

摘 要:对两个静电平衡状态导体接地的实例进行定性分析,使学生对导体接地后电荷转移及分布问题有更为本质的认识和理解.

关键词:静电平衡 接地 电荷转移及分布 电场力 电势

在高中物理静电场部分,处于静电平衡状态下导体接地后电荷转移及分布情况是学生比较困惑的一类问题.学生往往习惯利用同种电荷排斥“最远”、异种电荷吸引“最近”的方法判断导体接地后电荷的转移及分布,然而这种方法仅仅适用一些简单物理模型的分析,属于二级结论,不具有普适性,对于更复杂一些的物理模型用此种方法就无法判断,因此要求学生能够从本质上来分析这一类问题.

从本质上来看,电荷是因为受到电场力的作用而发生移动,而移动方向就是电荷的受力方向.正电荷在电场力的作用下将从高电势向低电势移动,负电荷在电场力的作用下从低电势向高电势移动.因此,在静电平衡状态下判断导体接地后电荷转移及分布情况需要从“电场力”和“电势”这一角度进行探讨,进而找到处理此类问题的一般方法.

《普通高中物理课程标准(实验)》中对于“电势”的要求是“知道电势能、电势,理解电势差”^[1],《2018年普通高等学校招生全国统一考试大纲(物理)》中,对“电势”这一内容为 I 级要求,即“要知道其内容及含义,并能在有关问题中识别和直接使用”.因此,学生应掌握从“电场力”和“电势”角度来处理电荷转移问题的一般方法.

1 导体接地电荷转移的实质

首先,地球本身是一个极大的带电导体球,当有 Δq 的电荷流入或流出大地时引起地球电势的变化

可用公式 $\Delta\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\Delta q}{R_{\text{地}}}$ 表示,由于 Δq 很小, $R_{\text{地}}$ 很大,使得 $\frac{\Delta q}{R_{\text{地}}}$ 趋近于零,可以忽略不计,可以认为地球是一个电势稳定的大导体球,因此可以选择大地为零电势.其次,在理论研究中,为使电势的表达式更为简单,使计算更为简洁,常选取无穷远处为零电势.通过理论和实验可以证明,选取无穷远处或大地为零电势,二者是等效的^[2].

当一个带电导体接地前,选取无穷远处为零电势,结合导体周围电场线的分布可以判断带电导体的电势高低.当导体接地时,由于导体与大地的电势高低不同,自由电子受到电场力的作用就会从低电势向高电势移动,直到导体与大地等势为止.据此,就可以判断出带电导体达到稳定状态后电荷的分布情况.

2 静电平衡状态下导体接地后电荷转移及分布探讨

下面通过两道例题加以说明.学生在初学静电平衡状态下导体接地后电荷转移及分布问题时,如例 1 是学生常见的一道题目,学生往往会通过电荷间相互作用规律去判断.

【例 1】如图 1 所示,一个自身不带电的金属导体 B 置于带正电的金属小球 A 产生的电场中,金属导体 B 通过导线和开关与大地相连.现将开关 S 闭合后再断开,金属导体 B 将带上何种电荷?

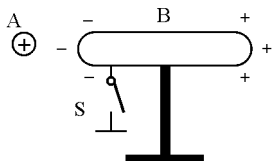


图1 例1题图

解析:从电荷间相互作用规律来看,同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引,金属导体中可移动的电荷为自由电子,因此,自由电子将被吸引到靠近小球A一端而使这一端带负电,导体B的另一端由于电子转移而带等量的正电,因此可等效为正电荷被排斥到远端。

由于开关S闭合后,导体B与大地相连构成一个导体,此时等效为正电荷被排斥到远端即大地处,再断开开关S后,金属导体B将带负电。

从电场力和电势角度来看,金属导体B置于带正电金属小球A附近后,金属导体B将发生静电感应,左右两端分别感应出等量的负电荷和正电荷,最终达到静电平衡状态,导体B为等势体.选取大地为零电势,根据电场线分布特点,即电场线从正电荷(无穷远)出发终止于无穷远(负电荷)可知,A,B周围电场线分布情况,即金属导体B的电势大于零.当开关S闭合后导体与大地相连,由于导体与大地间存在电势差,金属导体B和地球构成的大的导体系统中的自由电子将在电场力的作用下从低电势向高电势处移动,即自由电子从大地向导体B转移,与金属导体B表面感应出的正电荷相互中和,直到导体B与大地等势为止,电子将不再转移.因此,导体B接地后再与大地断开将带负电.无论将导体B左端还是右端接地,导体B最终均会与大地等势而带负电。

对于这一题目,从电荷间相互作用规律或从电场力和电势的角度均可判断,然而对于一些更为复杂的问题却难以直接利用电荷间相互作用规律判断,要从更为本质的电荷转移的实质出发。

【例2】如图2所示,两块分别带有等量正、负电荷的无穷大金属板A,B彼此正对,在两块金属板间放置一不带电的金属导体球C,左侧带电金属板A通过开关 S_1 与大地相连,导体球C通过开关 S_2 与大地相连,闭合开关 S_1 ,再闭合开关 S_2 .那么若此时断开开关 S_2 ,导体球将带何种电荷?

解析:彼此正对的两个金属板A,B所带的等量

正负电荷由于异种电荷相互吸引将分布在相靠近的两个表面,并在相互靠近的表面间形成电场,电场方向由金属板A指向金属板B.在两板之间放置不带电的金属导体球C,由于静电感应,导体球C靠近A一端将感应出负电荷,靠近金属板B的一端将感应出正电荷.现依次将开关 S_1 , S_2 闭合,由于导体球C两端分别与带有等量正负电荷的金属板A,B相互靠近,若仍依据“同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引”将无法判断.因此,还需要从电荷转移的实质出发。

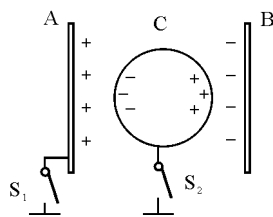


图2 例2题图

A,B为无限大带电金属板,当闭合开关 S_1 使金属板A接地后,金属板A、B及导体球C的电荷分布可近似认为几乎不变,金属板A与大地等势.取大地为零电势,则金属板A电势也为零,依据金属板A,B以及导体球C之间的电场线分布情况可知,导体球C的电势小于零.闭合开关 S_2 时,金属导体球C的自由电子在电场力的作用下从电势较低的金属球C向大地转移,再断开开关 S_2 ,金属球C将带正电。

3 总结

对于处于静电平衡状态导体接地后电荷转移及分布问题的处理,采用电荷间相互作用规律即“同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引”可以解决一些相对简单的问题,然而对于更为复杂一些的物理模型的处理必须从电荷转移的实质出发,即从电场力和电势的角度进行探讨,而这两种判断方法在本质上是一致的.因此,教师应引导学生从本质出发,认识和把握电荷转移的实质,进而使学生对此类问题有更为深刻的理解。

参考文献

- 1 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(实验). 北京:人民教育出版社,2003
- 2 陈秉乾,王稼军. 电磁学. 北京:北京大学出版社,2003. 34~35
- 3 刘高福,刁心峰. 带电导体接地后电荷分布情况的探讨. 物理教师,2016(6):54~56