

从一道习题看选取系统的重要性

叶安荣^{1,2} 卞志荣²

(1. 南京师范大学物理科学与技术学院 江苏 210097 2. 句容高级中学 江苏 212400)

近年的高三物理复习资料中频频出现一道选择题, 学生不会做, 老师也感到棘手, 而且从不同角度去分析竟然得出相反的结果, 教师在教学中遇到此题时通常是回避。现就此题分析如下, 供大家参考。

[题目] 如图 1、图 2 所示, LC 振荡电路中已有振荡电流, 在瞬间 Δt 内, 把线圈中的软铁棒抽走, 它引起的振荡电流的变化是:

- (A) 振幅加大, 周期变大
- (B) 振幅加大, 周期变小
- (C) 振幅减小, 周期变大
- (D) 振幅减小, 周期变小

周期减小是很显然的, 因为抽走软铁棒, 线圈的自感系数 L 减小, 周期 $T \propto \sqrt{L}$ 。本题分析的焦点集中在振幅的增减上, 即抽走软铁棒的过程引起的振荡电路系统能量是增加还是减少问题。

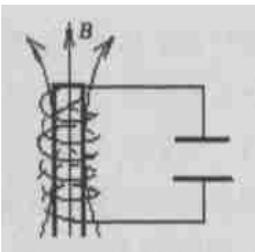


图 1

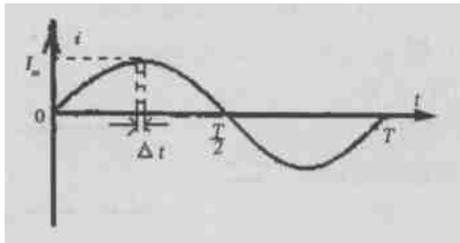


图 2

有人认为, 软铁棒受线圈的吸引力, 抽动软铁棒的过程中外界对系统作正功, 系统能量增加, 所以振幅增加。有人根据所给的答案(振幅减小)如此解释: 软铁棒受线圈的排斥力, 抽动软铁棒的过程应是外界对系统作负功(软铁棒在线圈里会自动往外跑, 这太不可思议了!), 系统能量减少, 所以振幅减小。还有人去做试验试图证明软铁棒与线圈之间到底是吸引力还是排斥力, 也未能得出令人信服的结论。

在各种理论分析中, 有一个明显的共识就是: 外界对系统作正功, 系统的能量就增加, 反之系统的能

去天空中的云是白色的。但是当云层越来越厚时, 小水滴越来越多, 几乎连成一片, 太阳光和以射散的光不能或者很少能穿透云层, 这时白云就变成乌云了。

正是在太阳光通过大气层入射到地球表面的过程中, 大气层中的空气分子或其他微粒会对阳光有

吸收、反射、透射等作用, 从而形成了蓝天、白云和绚丽的落日余辉和晨时朝霞。如果没有大气层和其他微粒, 即使是白天, 太阳看上去也只是个孤零零的明亮的球, 天空也将是漆黑一片, 所以空气不但给我们提供了赖以生存的条件, 也使我们的天空变得多姿多彩。

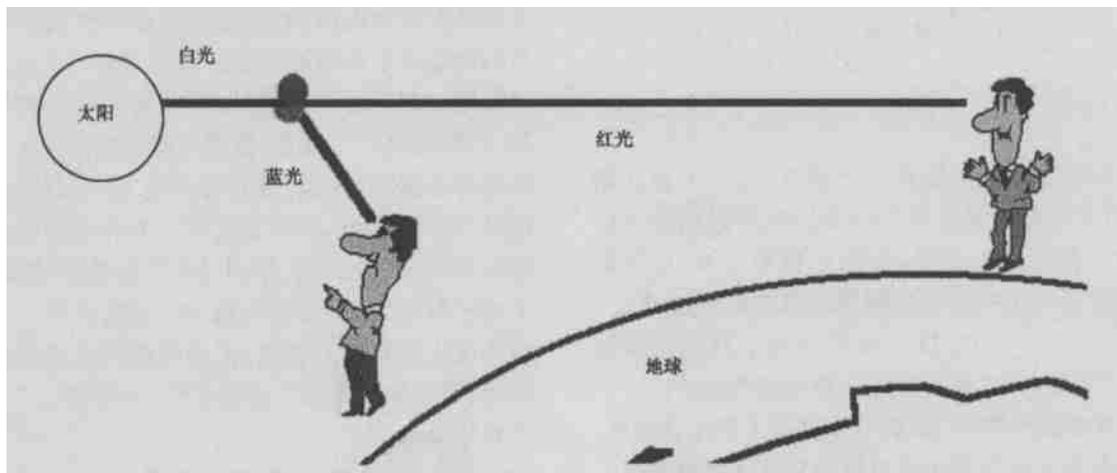


图 4 蓝色天空和红色夕阳示意图

量则减少。

为了解决这个困惑,笔者查阅了相关资料,在几次讨论之后找到了解决方案,关键在于正确地选取系统以及正确分析系统中各力的功。电磁学中有两类相似的能量转化问题,分别为电场中抽动电介质和磁场中抽动铁棒。

1. 电场中抽出电介质

(1) 固定电容器带电量 Q 不变, (抽动前断开电路即可): 选取电容器(包括电介质)、外力 F 二者构成系统, 在该过程中, 设拉力 F 做功为 W , 则电容器的静电能增加 W (如图 3 所示)。

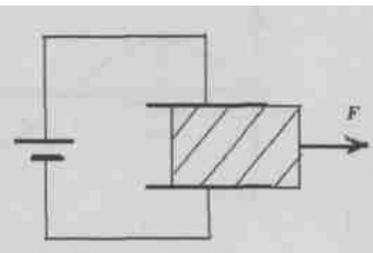


图 3

$$\text{拉力 } F = - F_e = - \frac{Q^2}{2C^2} \frac{\partial C}{\partial x}$$

拉力 F 做功

$$W = \int F dx = - \int_{C_1}^{C_2} \frac{Q^2}{2C^2} dC = \frac{Q^2}{2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right)$$

电容器静电能增加

$$\Delta E_e = \Delta \left(\frac{Q^2}{2C} \right) = \frac{Q^2}{2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right) = W$$

即固定电容器带电量 Q 不变时, 抽出电介质, 拉力 F 做正功 W , 电容器的静电能就增加 W ; 同理, 插入电介质, 拉力 F 做负功 W , 电容器的静电能就减少 W 。

(2) 固定电容器两端电势差 U 不变: 选取电容器(包括电介质)、外力 F 、电源三者构成系统。设拉力 F 做功为 W , 电源对电容器做功为 W_e

$$W = - \int_{C_1}^{C_2} \frac{U^2}{2} dC = \frac{U^2}{2} (C_1 - C_2)$$

$$W_e = \int U dq = U^2 \int_{C_1}^{C_2} dC = U^2 (C_2 - C_1) = - 2W$$

即固定电容器两端电势差 U 不变时, 拉力 F 做正功 W , 电源对电容器做负功 $2W$, 所以电容器的静电能减少 W 。如插入电介质, 拉力 F 做负功 W , 电源对电容器做正功 $2W$, 所以电容器的静电能增加 W 。

结论: Q 不变时, 拉力做的功等于静电能的增加; U 不变时, 拉力做的功等于静电能的减少。

2. 磁场中抽出铁棒(如图 4) 根据有无感应电动势出现, 需要不需要外加电源做功可分为两种情形:

(1) 固定线圈磁通量不变

(2) 固定线圈电流不变

固定线圈磁通量 Φ 不变时, 因为无感应电动势出现, 不需要外加电源做功。选取电感器(包括磁介质)、外力 F 二者构成系统, 仿照电场中抽出电介质过程可以证明, 在该过程中, 设拉力 F 做功为 W , 则电感器的静磁能增加 W 。也即磁力做的功等于静磁能的减少。

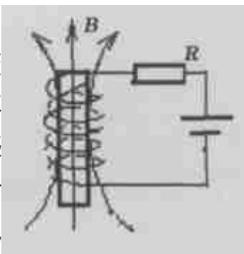


图 4

固定线圈电流 I 不变时, 抽出铁棒的过程中, 穿过线圈的磁通量减小, 出现与外加电源极性相反的感应电动势, 要求外加电源克服感应电动势做功。选取电感器(包括铁棒)、外力 F 、电源三者构成系统。电磁学中同样可以证明, 这部分维持电流(包括施力电流和受力电流)不变所做的功正好是磁力做功的两倍, 即磁力做功等于静磁能的增加。如插入铁棒, 各力做功效果变化, 但数值关系不变。

结论: Φ 不变时, 拉力做的功等于静磁能的增加; I 不变时, 拉力做的功等于静磁能的减少。

可见, 这两道对应的能量转化问题分两种情况:

① Q 、 Φ 不变时, 电源没参与做功, 考虑二物体构成的系统, 拉力做的功等于静磁能的增加; 反之, 拉力做多少负功, 静磁能就减少多少。

② U 、 I 不变时, 电源要参与做功, 考虑三物体构成的系统, 拉力做的功等于静磁能的减少; 反之, 拉力做多少负功, 静磁能就减少多少。

由此, 分析静电能、静磁能变化时要注意条件, 弄清哪些量是不变的, 对应过程中涉及到哪些能量的相互转化。原来的题目瞬间电流不变, 图 1 中的电容器等效为电源, 对应磁性线圈电流固定时静磁力做的功等于线圈静磁能的增加情形。根据楞次定律阻碍相对运动可知, 抽出软铁棒会受到静磁场的阻力, 即静磁力作负功, 故而线圈静磁能减少。但是线圈对电源(电容器)做的功仍是 LC 回路系统内部能量的转化, 此时的静磁能加上电容器储存的静电能为 LC 回路总能量, 所以 LC 回路总能量增加, 得出结论振幅增大, 故而应选 B 。原题设计者可能想当然地认为抽走了铁芯, 使得线圈中的磁场能迅速减弱, 没能抓住能量变化的本质, 从而得出了振幅减小的错误结论。

如果在 $i = 0$ 瞬间抽出软铁棒, 由于静磁场不存

(下转第 62 页)

岁的雇员阿尔伯特·爱因斯坦发表了他的关于空间和时间的内部结构的新想法。这些新想法等于是对力学基础的一场革命性改变。尽管牛顿物理学被证明不是错的,而且在很多情况下接近真实,但它现在仅仅被看做爱因斯坦力学的一级近似。

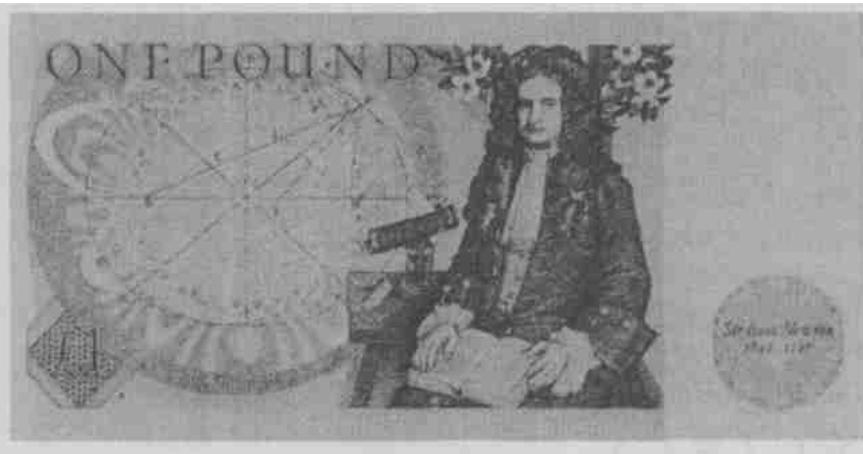


图4 印有艾萨克·牛顿爵士肖像的1英镑旧英币,他可能是这个造币厂最有声望的监察员。这里他与他所改进的望远镜、他首次用来做光谱分析的棱镜以及环绕太阳的行星椭圆轨道的图像画在了一起。票面上也印有苹果树的枝杈,据轶事传闻,他是

看到苹果从树上往下掉时才萌生万有引力的想法

在牛顿的《原理》一书的初版出版之后,他的名字传遍了欧洲,他很快被誉为健在的最伟大的科学家。1696年,英格兰国王任命他为皇家造币厂的监察员,那是一个非常重要的部门(牛顿要负责英国货币体系的改革)。后来他升任该厂的主管。在那个职位上,他被冠以艾萨克·牛顿爵士——因他对造币

厂的服务,1705年被安妮女王(Queen Anne)封为爵士而出现在1英镑纸币上。

在牛顿一生的最后24年里,他一直是皇家学会的会长。这个学会是英国最古老的科学协会,1645年非正式成立,用作著名哲学家和自然科学家每周例行的聚

会场所。1660年,国王查尔斯二世(King Charles II)正式承认了它。牛顿用强硬的手腕控制着这个学会,进而左右着英国所有的科学生活。没有牛顿的认可,谁也不能成为新会员。

(编译自《改变世界的方程》)

科苑快讯

恒星照亮行星定律被打破 人马座行星正温暖恒星

恒星照亮行星,这是天文学的定律。然而,科学家却发现人马座一个巨大炙热的气态行星在磁场作用下,产生类似太阳耀斑的活动温暖着其恒星;同时,科学家也第一次观测到太阳系外行星的磁场状况。这颗炙热的行星与木星大小类似,是地球质量的270倍。但与地球和木星不同,该行星与其恒星的距离很近,仅有大约700万千米左右,而地球与太阳的距离约为1.5亿千米。

这样接近恒星的行星,在迄今发现的100多颗太阳系外行星中约占20%。这颗人马座行星在其恒星上产生一个大型磁暴,从而形成了一个永久性的热点。该热点伴随着行星以3天的周期绕恒星公转。科学家发现这一热点已经有一年多时间。恒星本身的自转周期为9天,但似乎这一热点与行星的运动相应,而与恒星的自转无关。科学家认为,这一运动的热点可能是行星的磁场与恒星的色球层相互作用形成的。科学家将发现的热点编号为HD179949,距离地球90光年。如果不是它具有行星的轨道绕自己的恒星公转,科学家会将该热点当成类似太阳耀斑之类

的东西。

(上接58页)

在,没有发生软铁棒与回路的能量转换,故而回路总能量不变,振幅不变;如果在其他时刻抽出,结论与原题目相同,只是振幅增大的程度要小些。

同样对于静电场抽出电介质的问题思路也更加清晰,如在LC回路中抽出电介质,磁性线圈相当于电源,即相当于图3,可应用所得结论,不再赘述。

这类问题也可与人造卫星类比,运行中的人造卫星由于受摩擦阻力作用,运行的轨道半径逐渐减小,但是卫星的动能却增加,因为此过程中地球的引力做了两倍数值的正功。我们就要研究卫星、地球、摩擦阻力三者构成的系统,如遗漏了地球,只研究卫星、摩擦阻力二者构成的系统,就会得出错误的结论。

通过研究,我们的学生对电磁场的能量转化问题、对系统的选取等方面有了更清晰的认识,分析问题、解决问题的能力得到了进一步的提高。