



在解决物理问题过程中培养学生 “去理想化”思维习惯*

——以一个有趣的静电场问题为例

刘淑琳 邓敏钰 兰小刚

(西华师范大学物理与空间科学学院 四川 南充 637002)

(收稿日期:2021-08-01)

摘要:物理教学离不开理想化模型的建构,简化的理想模型能够帮助中学生在现有知识层面的基础上,更好地理解相关知识并解决问题.但是在实际物理问题中,如果不充分考虑理想化条件,学生在解决问题时就容易产生认知矛盾,不知所措.以一个有趣的静电场问题为例,揭示理想化模型的局限性,强调“去理想化”思维习惯的重要性.探讨分析了教师如何帮助学生打破思维定势,让其对已掌握的物理知识活学活用,培养学生严谨的科学思维.

关键词:理想模型 去理想化 静电场

1 引言

理想化模型是物理学中常用的一种简化模型,作为对实际问题的一种高度抽象,此类模型对研究一些物理学问题具有十分重要的意义.在中学物理教学过程中,大量采用了一些简化的理想模型.然而很多学生,甚至部分教师往往忽略了理想化模型的局限性^[1].实际上,利用理想化模型来讨论问题,必须要考虑理想化条件,充分考虑到实际问题与理想化模型的区别.这就要求学生在运用物理知识解决实际问题时,需要培养“去理想化”的思维习惯,即在理想化建模中,培养一种逆向思维过程^[2].这对培养学生解决实际问题的能力和建构科学严谨的物理思维,具有重要意义.接下来我们将通过一个颇有争议的案例,进行深入讨论.

2 问题呈现

如图1(a)所示,两平行金属板A和B放在真空中,间距为 d , P 点在A与B板间,A板接地,B板的电势 φ 随时间 t 的变化情况如图1(b)所示, $t=0$ 时,在 P 点由静止释放一质量为 m ,电荷量为 e 的电子,

当 $t=2T$ 时,电子回到 P 点.电子运动过程中未与极板相撞,不计重力,则下列说法正确的是()

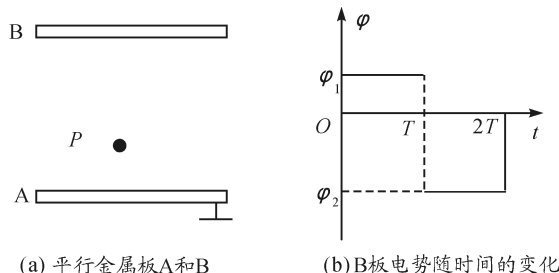


图1 问题附图

- A. $\varphi_1 : \varphi_2 = 1 : 2$
 B. $\varphi_1 : \varphi_2 = 1 : 3$
 C. 在 $0 \sim 2T$ 时间内,当 $t=T$ 时电子的电势能最小
 D. 在 $0 \sim 2T$ 时间内,电子的电势能减少了 $\frac{2\varphi_1^2 e^2 T^2}{md^2}$

这是近年来某市高三诊断性考试中的一道试题.从题目设计来看,该题考查了带电粒子在电场中的运动问题,知识点涉及运动学知识、牛顿运动定律、动能定理以及电势能等.本题综合性较强,体现

* 四川省研究生教育改革创新项目,项目编号:445001;西华师范大学教学改革与研究项目,项目编号:xjggh2017111

通讯作者:兰小刚(1982-),男,博士,副教授,主要从事物理学学科教学论研究.

了命题专家对知识点的准确把握,但是该题解析存在一些值得商榷的问题,下面我们首先介绍一下原解析过程.

如图 2(a) 所示,取竖直向上为 x 轴的正方向,在 $0 \sim T$ 时间内,平行板间的电场强度为 $E_1 = \frac{\varphi_1}{d}$.

因电子重力远小于其受静电电场力,所以可以不考虑重力作用. 根据牛顿第二定律,在该阶段,电子以加速度 $a_1 = \frac{eE_1}{m} = \frac{e\varphi_1}{dm}$ 向上做匀加速直线运动,经过

时间 T 的位移为: $x_1 = \frac{1}{2}a_1 T^2$, 速度为 $v_1 = a_1 T$.

如图 2(b) 所示: $T \sim 2T$ 时间内平行板间电场强度为: $E_2 = \frac{\varphi_2}{d}$, 加速度为 $a_2 = \frac{e\varphi_2}{dm}$, 电子以 v_1 的速度向上做匀变速直线运动, 位移为: $x_2 = v_1 T - \frac{1}{2}a_2 T^2$, 由题意: $t = 2T$ 时刻, 电子回到 P 点, 则有: $x_1 + x_2 = 0$, 联立可得: $\varphi_2 = 3\varphi_1$, 所以 A 错误, B 正确.

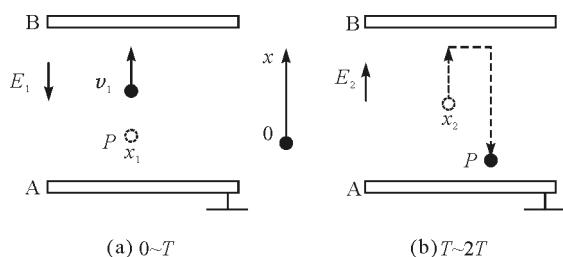


图 2 平行板间电场分布及电子运动情况

对于选项 D, 电子在 $2T$ 时刻的速度为速度 $v_2 = v_1 - a_2 T = \frac{2eT\varphi_1}{dm}$, 相应的动能为 $E_{k2} = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{2e^2 T^2 \varphi_1^2}{md^2}$, 根据能量守恒定律, 电势能的减少量等于动能的增加量, 所以选项 D 正确.

对于选项 C, 依据电场力做正功最多时, 电势能最小. 而 $0 \sim T$ 内电子做匀加速运动, T 时刻的动能 $E_{k1} = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{e^2 T^2 \varphi_1^2}{2md^2}$, 显然 $E_{k2} > E_{k1}$, 则在 $T \sim 2T$ 中某时刻, 系统电势能最小, 所以 C 错误.

3 对上述问题的几点讨论

3.1 静电场及静电势能

在前期调研中, 我们发现: 对于上述解析的选项

C, 有部分同学提出另外一种思路: 如果不采用做功与电势能的关系求解, 而利用电势能公式 $E_p = -e\varphi$, 即在 $0 \sim T$ 时间内, 电子向上运动, 电势逐渐增高, 在 $t = T$ 时刻, 达到电势最高的位置, 而电子在静电场中的电势能为负, 则在该时刻达到电势能的最小值; 而在 $T \sim 2T$ 时间段内, 电势变为负值, 电子电势能为正. 从这个角度分析, 选项 C 应该是正确答案.

那么, 关于选项 C 的分析, 到底哪种是正确的? 笔者认为, 以上两种关于静电势能的分析, 都有一定的片面性. 因为以上分析都忽略了静电场的基本性质——保守性. 所谓保守性, 是指静电场力做功与路径无关, 仅仅取决于始、末位置的变化, 因此只有在保守场中, 才能讨论“电势能”. 若电子在保守场中仅受保守力作用, 回到同一个位置时, 保守力做功为零, 电子动能应该保持不变. 而在本例中, 显然已经违背了静电场的保守性条件: 因为电子从 P 点出发, 回到 P 点时, 动能发生了变化. 所以在这种物理条件下讨论电势能, 是毫无意义的. 而在原解析中, 利用 $\Delta E_k = \Delta E_p$ 来判断电势能变化, 是不符合物理实际的. 因为从 $0 \sim 2T$, 该电场已不满足静电场条件; 此外, 两阶段电势分布发生变化, 两阶段的“电势能”也不同.

3.2 能量转换关系

对于选项 D 的解析, 也是不严谨的. 尽管在 $0 \sim 2T$ 时间内, 动能增量是 $\Delta E_k = \frac{2e^2 T^2 \varphi_1^2}{md^2}$, 但显然, 该增量并非完全等于电势能的减少量. 那么要捋清该过程的能量转化关系, 我们还得从平行带电金属板入手分析.

平行金属板带电, 在板间形成均匀电场(忽略边缘效应). 而电容器作为一种储能元件, 其储能能量 $W = \frac{1}{2}Cu_c^2$, 但其板间电势差是不能突变的, 否则其电流 $i_c = C \frac{du_c}{dt}$ 会趋于无穷大, 一般电路不可能实现. 在电路改变前后, 电容器遵守换路定则, 满足 $u_c(0_+) = u_c(0_-)$, 即换路前后, 电容器电压不会突变. 因此其充放电过程中存在暂态过程, 其板间电压往往随时间呈指数形式变化, 存在一个充放电的弛

豫时间^[3]. 因此本例中介绍的 B 板电势在 φ_1 和 φ_2 间突变, 此类理想模型在中学物理解题过程中很常见. 但在实际电路中几乎不能实现, 而且也容易给学生带来上述困惑.

即使通过某种特殊手段, 能够让 B 板电势由 φ_1 突变到 φ_2 , 其本身静电场的能量发生了变化. 一定有外界其他的能量转换为了静电能. 那么此时动能增量, 不仅仅来源于电势能. 所以选项 D 的解析, 是不正确的.

此外本例中, 描述为“电子的电势能”, 也不够严谨. 电势能应该属于电子-静电场系统, 而不仅仅属于电子.

4 总结

理想化模型作为一种把复杂现实情况理想化和抽象化的物理学研究工具, 在中学物理教学中应用十分广泛, 比如质点、点电荷、理想气体模型等等. 但是否可以理想化地研究物理问题是有条件的, 学生在利用理想化模型来解决问题的过程中容易遇到矛盾多解的情况, 这就要求学生分析理想化的过程并

从中发掘隐藏条件. 不仅要知其然, 还得要知其所以然, 注意每种模型都有一定的条件和应用范围. 所以这也就对中学物理教师的教学能力和研究能力提出了更高的要求. 教师在教导学生运用物理知识解决物理问题的过程中, 要充分考虑原始物理问题的实际特点, 运用物理问题的多样性和开放性, 有意去培养学生“去理想化”的思维习惯. 教师在命题时, 首先要防止掉入理想化模型的陷阱, 增强命题的科学性, 提升命题能力. “去理想化”是理想化建模的逆向过程, 长期的理想化思维定势不利于学生迁移能力的发展以及创新能力的提高. 所以, 在解决物理问题过程中的“去理想化”思维对于教学工作具有重要意义, 能够帮助教师更好地实现教、学、用的教学目标.

参考文献

- 1 冯杰, 谢利民, 张栖宁, 等. 对称性思维和逆向思维方法的应用[J]. 物理教师, 2013(2): 7 ~ 10
- 2 吉恒, 杨春艳. 物理教学中创造思维能力的培养[J]. 物理教师, 2011(10): 24 ~ 25
- 3 秦曾煌. 电工学(第7版)(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009. 83 ~ 84

Cultivating Students' Thinking Habit of *De-idealization* in the Process of Solving Physical Issues

—Taking an Interesting Electrostatic Field Issues as an Example

Liu Shulin Deng Minyu Lan Xiaogang

(School of Physics and Space Science, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637002)

Abstract: Physics teaching is inseparable from the construction of an ideal model. A simplified ideal model can help middle school students better understand relevant knowledge and solve problems on the basis of existing knowledge. However, in actual physics problems, if idealized conditions are not fully considered, students are prone to cognitive contradictions when solving problems, and they are at a loss as to what to do. This article takes an interesting electrostatic field problem as an example, reveals the limitations of idealized models, and emphasizes the importance of "de-idealized" thinking habits. Discussed and analyzed how teachers can help students break the stereotype of thinking, let them learn and use the physics knowledge they have mastered, and cultivate students' rigorous scientific thinking.

Key words: ideal model; de-idealization; electrostatic field