



理想化模型的局限性*

——论 2017 年高考江苏物理试卷第 4 题

欧剑雄

(福建省莆田第一中学 福建 莆田 351100)

(收稿日期:2017-06-21)

【题目】如图 1 所示,3 块平行放置的带电金属薄板 A,B,C 中央各有一小孔,小孔分别位于 O,M,P 点.由 O 点静止释放的电子恰好能运动到 P 点.现将 C 板向右平移到 P' 点,则由 O 点静止释放的电子()

- A. 运动到 P 点返回
- B. 运动到 P 和 P' 点之间返回
- C. 运动到 P' 点返回
- D. 穿过 P' 点

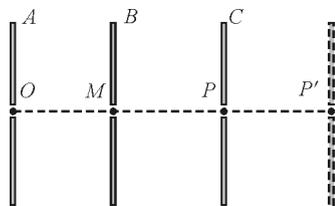


图 1 题图

本题官方给出的参考答案是 A.

1 常见分析过程的问题

常见的分析过程如下:B,C 板构成的电容器,其电容 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$,由于带电金属薄板的电荷量 Q 不变,故 B,C 板间的电场强度

$$E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{4\pi k Q}{\epsilon S}$$

即场强 E 与 B 板和 C 板间距 d 无关.所以,将 C 板向右平移到 P' 点后,电子仍然运动到 P 点返回.

上述分析过程看似有理,实则是滥用理想化模型,原因如下:

平行板电容器是一个理想化模型,一个实际的电容器能够被视为平行板电容器的基本条件是两极板的间距足够小(即极板间距离 d 远小于极板平面的线度),其电容 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}$ 的推导也是建立在这个理想化条件的基础之上.本题并未给出“金属薄板的间距很小”或“金属板面积足够大”的理想化条件;相反,题目所给的配图与该条件严重不符.因此,笔者认为在这种情况下用平行板电容器的模型来讨论此题是不科学的,正确的分析过程应该要基于金属薄板的面积有限的实际情况.

2 有限大均匀带电薄板的分析

两个正对的有限大均匀带电薄板构成的电容器的电容除了与正对面积 S,板间距 d 和介质的相对介电常数 ϵ 有关以外,还与带电薄板的形状有关.下面以均匀带电圆盘为例讨论.

2.1 均匀带电圆盘轴线上的电场强度

如图 2 所示,半径为 R 的均匀带电圆盘,其电荷面密度为 σ .设 P 为轴线上距圆心 O 距离为 H 的一点,则 P 点的电场强度

$$E = \int_0^R \int_0^{2\pi} \frac{k\sigma r dr d\varphi}{\left(\frac{H}{\cos\theta}\right)^2} \cos\theta = \int_0^R \frac{2\pi k\sigma}{H^2} \cos^3\theta r dr \quad (1)$$

因为 $r = H \tan\theta$,所以

$$dr = \frac{H}{\cos^2\theta} d\theta$$

* 福建省教育科学“十三五”规划 2016 年度常规课题“基于核心素养培养的高中物理试题设计与评价研究”的阶段性研究成果,项目编号:FJJKB16-003

$$E = \int_0^\alpha 2\pi k\sigma \sin \theta d\theta = 2\pi k\sigma (1 - \cos \alpha) \quad (2)$$

式中

$$\alpha = \arctan \frac{R}{H} \quad \cos \alpha = \frac{H}{\sqrt{H^2 + R^2}}$$

从式(2)可以看出, H 越大时, 电场强度 E 越小.

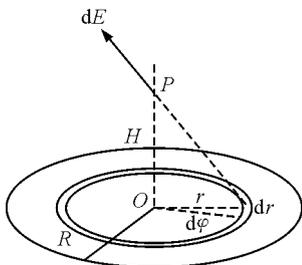


图2 均匀带电圆盘电场强度分析图

在本题中若将 C 板向右平移到 P' 点, 则与移动前相比, M, P 间各点场强均变小, 故电子将穿过 P 点, 在 P 和 P' 点之间返回, 本题正确答案应为 B.

2.2 两种理想化条件下的讨论

(1) 当 $H \ll R$ 时, $\cos \alpha \approx 0$, 此时

$$E \approx 2\pi k\sigma \quad (3)$$

此时场强 E 几乎不随距离 H 变化而变化, 即当极板面积足够大时, 圆盘附近区域的电场可近似视为匀强电场. 且 $\frac{R}{H}$ 的值越大, 式(3)的精确度越高.

平行板电容器由两个靠得很近的正对极板构成, 当两极板带等量异种电荷时, 根据式(3)可知极板间的电场为匀强电场, 其场强 $E = 4\pi k\sigma$, 根据电容的定义 $C = \frac{Q}{U}$, 可得

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\sigma S}{Ed} = \frac{S}{4\pi kd}$$

若在两极板充满相对介电常数为 ϵ 的介质, 可得平行板电容器的电容

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd}$$

从上面分析过程, 我们可以看出电容器的电容 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd}$ 是建立在理想化条件“极板面积足够大”的前提下. 若实际情况与理想化条件相差越大, 则上述公式的误差就越大.

(2) 当 $H \gg R$ 时

$$\cos \alpha = \left(1 + \frac{R^2}{H^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \approx 1 - \frac{R^2}{2H^2}$$

此时

$$E = k \frac{q}{H^2} \quad (4)$$

式中 $q = \sigma\pi R^2$ 为圆盘的电荷量. 可以看出, 式(4)与点电荷的场强公式一致. 可见, 只要 $\frac{R}{H}$ 的比值足够小, 就可以将带电圆盘看作点电荷.

由此我们可以看出, 同一个带电圆盘, 当场点离盘很远时可被看作点电荷, 而当场点在盘点附近时可被看作无限大平面. 这说明理想化模型是建立在对应的理想化条件的基础之上的, 撇开理想化条件而谈理想化模型是荒唐且无效的.

3 学生可能的解答思路分析

在网络上与其他教师交流时, 笔者发现有些教师有这样一种观点: 只有高中知识的考生不可能像上文一样分析出有限大带电金属薄板的电场强度分布特点, 因此本题学生只能按照学过的平行板电容器模型来处理, 题目虽未指出“金属薄板的间距很小”, 但做题时应该默认题目满足这个条件.

笔者认为这种观点是不科学的, 原因有 3 个. 首先, 题目所给的配图与“金属薄板的间距很小”这个理想化条件相差很远, 命题者应该用清晰、准确的语言表述和合理的配图让考生理解题意, 而非通过揣摩命题者的意图. 第二, 部分物理能力较强的考生可以通过类似上文的分析得出本题的正确答案应该为 B, 若将参考答案定为 A, 那么本题必然是一道负效度的试题(即能力较强的考生的得分反而低于能力较低的考生)^[1]. 第三, 考生可以只利用学过的高中物理知识得出正确答案 B, 解答思路如下.

要判断电子会运动到哪里, 关键是判断 C 板向右平移前后 M, P 间各点场强的变化情况. 按照正常的分析方法很难判断出场强的变化情况, 因此可借理想化模型来讨论.

若极板间距很小, 则电场为匀强电场, 由于 C 板向右平移前后电荷量保持不变, 故场强 E 大小不变, 电子将运动到 P 点返回.

若极板间距很大, 则可将 C 板视为点电荷. 由于 C 板向右平移前后 A, B 板电荷产生的电场不变, 故

人教版高中《物理·必修1》教材中的两处亮点

郝继光

(南昌市湾里区第一中学 江西 南昌 330004)

黄亦斌

(江西师范大学物理与通信电子学院 江西 南昌 330022)

(收稿日期:2017-07-14)

摘要:分析了人教版高中《物理·必修1》教材中的两处亮点,即关于“重力的方向”的陈述和关于火车整体沿直线运动时能否视为质点的判断,指出通常的认识“重力的方向是竖直向下的”和“火车过桥时不能视为质点”中的问题所在.

关键词:重力的方向 竖直向下 火车 质点

人教版高中教材《物理·必修1》(第3版)^[1](以下简称“教材”)从出版发行至今,已经使用了6个年头.通过分析教材字里行间的行文措辞,感受到了教材的精确、简练以及编者的严谨、专注,使得该版教材堪称精雕细琢之作.

细细品味教材,笔者觉得其中的两处亮点值得提请同行注意.

只需考虑C板电荷产生的电场.显然,C板向右平移后, M, P 间各点场强均变小,故电子将在 P 和 P' 点之间返回.

由于题目并未给出极板间距很大或很小的条件,因此结论应该居于上述两种讨论结果之间,即电子将在 P 和 P' 点之间返回,且当极板间距越小(或金属薄板面积越大)时电子的返回点越靠近 P 点.但是不管金属薄板面积多大,都不是真的无限大,所以电子不可能在 P 点返回,故本题正确答案为B.

4 结论

基于上述的分析,笔者认为本题参考答案有错,正确答案应为B.

本题命题者意图让考生用平行板电容器模型来讨论问题,却忽视了理想化模型的条件,也忽视了同一个物体在不同条件下是可以被视为不同的理想化

1 重力的方向

谈这个问题前,先请大家看看下面哪个表述更合适:

表述一:重力的方向是竖直向下的.

表述二:重力的方向叫做竖直向下.

长久以来,我们认可的都是表述一.但仔细一

模型的.如果命题者认为用平行板电容器模型来讨论本题是正确解法,那么该如何让那些用点电荷模型讨论本题的考生心服口服.

作为对实际物体的一种高度抽象,理想化模型的建立对自然科学的研究具有十分重要的意义.但我们同时应该注意到理想化模型的局限性:首先,脱离了理想化条件,理想化模型便无从谈起;其次,理想化模型是对实际物体的一种近似,实际条件与理想化条件的差距越大,基于理想化模型讨论出的结论与实际情况的差距也就越大.因此,利用理想化模型来讨论问题,必须要考虑理想化条件,也必须要注意到实际物体与理想化模型的区别.

参考文献

- 1 欧剑雄. 高考物理试题效度证据的研究. 物理通报, 2015(7):85~90