

对一道错误命题的分析讨论 —— 滚轮线

杨德云 傅明峰

(江苏省六合高级中学 江苏 南京 211500)

(收稿日期:2015-10-07)

摘要:物理习题有着巩固物理知识,提高学生解决物理问题能力的作用. 命制物理习题过程中可能会出现各种错误,这种错误导致事与愿违. 故而在平时的命题过程中应深入思考,反复推敲,尽量避免各类错误,以提高习题的可信度.

关键词:运动的合成与分解 滚轮线 摆线 曲线运动 复合场 正交分解法

滚轮线是匀速直线运动图像和匀速圆周运动图像的叠加图像,它的形状类似于正弦函数图像,滚轮线即是数学上的摆线,所谓摆线其实就是一个圆沿着一条直线做无滑动的滚动,圆周上的一点画出来的曲线. 摆线的形状是一拱一拱的,如图1所示,只要圆不停地旋转,画出来的摆线就会不断延长,而且摆线的每一拱的横向长度等于圆的周长. 有时在命制“复合场”习题过程中忽略了摆线(又名:滚轮线)这样一个复杂的曲线运动.

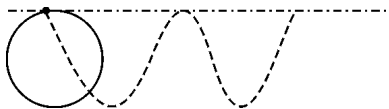


图1

【题目】如图2所示,在竖直绝缘的平台上,一个带正电的小球以水平速度 v_0 抛出,落在地面上的A点,若加一垂直纸面向里的匀强磁场,则小球的落点

- A. 仍在A点
- B. 在A点左侧
- C. 在A点右侧
- D. 无法确定

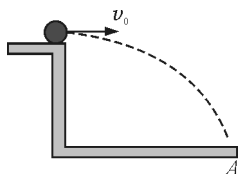


图2

1 原题给出的参考解答

洛伦兹力虽不做功但可以改变小球的运动状态(改变速度的方向),小球做曲线运动,在运动中任一位置受力如图3所示,小球受到了斜向上的洛伦兹力的作用,小球竖直方向的加速度为

$$a_y = \frac{mg - qvB \cos \theta}{m}$$

且 $a_y < g$, 水平方向的加速度为

$$a_x = \frac{qvB \sin \theta}{m}$$

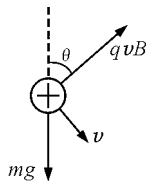


图3

小球平抛时间增加,水平速度也增加,故落点应在A点的右侧.

以上的解答过程看似井井有条、滴水不漏,但细想想,小球在做变速运动且有洛伦兹力等力的作用下,真能落在地面上吗?

2 带电小球在磁场中的运动情况分析

小球如果只受重力作用或洛伦兹力作用问题比较简单,前者平抛运动后者匀速圆周运动,但是同时在重力和洛伦兹力作用下小球的速度会发生变化,速度变化又会使洛伦兹力变化. 小球在这两个力作用下做复杂的曲线运动,这是现阶段的学生所无法解决的,但我们可以应用分解思想解决这样一个复杂的曲线运动,本题可能存在的运动情景如下:

(1) 当 $B = \frac{mg}{qv_0}$ 时,即重力和洛伦兹力平衡,带电

小球沿水平方向做匀速直线运动,小球将不会落回地面.

(2) 若 $B \neq \frac{mg}{qv_0}$, 即重力和洛伦兹力不相等, 小

球将发生偏转, 在偏转过程中小球受到的洛伦兹力 $f=qvB$ 的大小和方向都在改变, 小球将在重力场和磁场中做变加速曲线运动——摆线运动.

1) 当 $B > \frac{mg}{qv_0}$ 时, 即洛伦兹力大于重力, 小球向上偏转, 如图 4(a) 所示, 将初速度 v_0 分解为同一直线上的 v_1 和 v_2 , 使 $v_0 = v_1 + v_2$, 若使 $qv_1B = mg$, 即 v_1 产生的洛伦兹力与重力相平衡, 将小球的变加速曲线运动分解为以速度 v_1 的匀速直线运动和在洛伦兹力 qv_2B 作用下的匀速圆周运动, 当 $v_2 > v_1$ 时, 运动轨迹为如图 4(b) 所示的周期性的摆线图像, 摆线始终在平台的上方, 小球也不会落回地面.

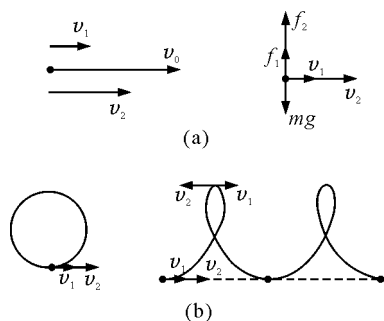


图 4

2) 当 $B < \frac{mg}{qv_0}$ 时, 即洛伦兹力小于重力, 小球

向下偏转, 如图 5(a) 所示, 将初速度 v_0 分解为同一直线上的 $v_1 + v_0$ 和 $-v_1$, 使 $q(v_1 + v_0)B = mg$, 即 $(v_1 + v_0)$ 产生的洛伦兹力与重力相平衡, 将小球的变加速曲线运动分解为以速度 $(v_1 + v_0)$ 的匀速直线运动和在洛伦兹力 qv_1B 作用下的匀速圆周运动, 运动轨迹为如图 5(b) 所示的周期性的摆线图像, 摆线始终在平台的下方, 小球不一定落回地面.

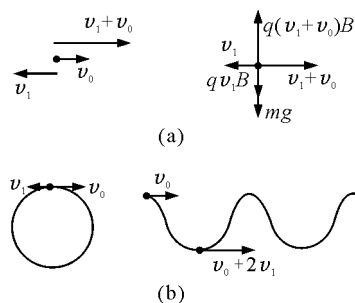


图 5

3 带电小球能够落地的条件

根据上述分析, 那么小球落地的第一个条件应是所加磁场的磁感应强度 $B < \frac{mg}{qv_0}$, 即洛伦兹力小于重力, 小球向下偏转; 小球落地的第二个条件应是平台的高度 h 小于小球在竖直方向上运动的最大距离 H .

水平方向匀速直线运动有

$$q(v_1 + v_0)B = mg$$

解得匀速直线运动的速度为

$$v_1 + v_0 = \frac{mg}{qB}$$

竖直平面内有

$$qv_1B = m \frac{v_1^2}{R}$$

解得圆周运动的半径为

$$R = \frac{m^2 g}{q^2 B^2} - \frac{mv_0}{qB}$$

小球在竖直方向上运动的最大距离 H

$$H = 2R = 2 \left(\frac{m^2 g}{q^2 B^2} - \frac{mv_0}{qB} \right)$$

因此小球落地的第二个条件为平台的高度

$$h < 2 \left(\frac{m^2 g}{q^2 B^2} - \frac{mv_0}{qB} \right)$$

4 结论

只有磁感应强度 $B < \frac{mg}{qv_0}$ 且平台高度 $h < 2 \left(\frac{m^2 g}{q^2 B^2} - \frac{mv_0}{qB} \right)$, 带电小球才可以落在地面上, 显然命题本身是错误的. 像这类相似情景的错误命题在高中物理教辅资料中比比皆是, 笔者认为有必要予以更正.

参考文献

- 1 胡建平. 对一道错误命题的分析讨论. 中学物理教学参考, 2013(4): 57 ~ 58
- 2 汪飞. 浅谈非正交分解法在曲线运动问题中的应用. 物理教师, 2013(9): 91 ~ 92
- 3 陈林桥, 戴海峰. 浅谈物理命题过程中五大要素的设置. 中学物理, 2012(19): 45 ~ 47
- 4 步国平 祝加伟. 带电粒子在电磁场中的复杂曲线运动处理方法赏析. 物理教学探讨, 2012(8)
- 5 孙高飞. 分解思想在复杂运动中的应用. 中学物理教学参考, 2012(3): 33 ~ 35