

场强方向判断容易出现的一个隐蔽性错误

——带电粒子在匀强电场中做匀变速曲线运动的相关规律

张黎

(黄陂区前川街第三中学 湖北 武汉 430317)

何崇荣

(黄陂区第一中学 湖北 武汉 430300)

(收稿日期:2020-11-27)

摘要:介绍了粒子在匀强电场中做匀变速曲线运动时,若给出粒子运动过程中经过若干点的能量间的关系或者给出经过两点时速度方向,如何确定场强方向.同时也指出在解决此类问题时,特别容易犯一些隐蔽性错误.

关键词:场强方向 隐蔽性 匀变速曲线运动 规律

带电粒子(不计重力)在匀强电场中仅受电场力作用时,若粒子速度与场强方向不共线,则粒子做匀变速曲线运动.教学过程中会碰到,如果给出粒子运动过程中经过若干点的能量间的关系或者给出经过两点时速度方向,如何判断场强方向问题.而在解决此类问题时,特别容易犯一些隐蔽性错误^[1].

1 已知3点动能关系判断场强方向

1.1 题目

【例1】(2020年湖北八校联考)如图1所示,半径为 R 的圆形区域, c 为圆心, $\angle acb = 60^\circ$,在圆上 a 点有一粒子源以相同的速率向圆面内各个方向发射多个质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的带电粒子,圆形区域

法正是问题群情境发展的重要依据.所以,著名教育家玻利亚说“在教一个科学的分支(或一个理论、一个概念)时,我们应让孩子重蹈人类思想发展中那些最关键的步子.”以科学思维方法互构问题群情境的发展的主要策略:一是物理问题的认识往往经历由特殊到一般,再由一般到个别的反复过程,是归纳和演绎的统一;二是科学认识的过程一般是模型建构、分析与综合、推理与论证的辩证结合过程;三是物理学科内在的逻辑体系与它的历史发展线索是相统一的.

上述文中仅就“构建教学目标体系”与“创设主体学习活动”两方面作了些阐述,贯穿于学习任务层目标的是知识逻辑,贯穿于学习任务活动的是认知逻辑和思维方法,这就是课堂教学的主线.在具体落实课堂教学时,尚需要进一步理顺的是学习任务层目标与学习任务活动间的协同融合和教与学关系的互构核心——问题群的探究解决.对“互构课堂”中,学评共生的驱动力——多维评价及相互间的关系另行撰文阐述.

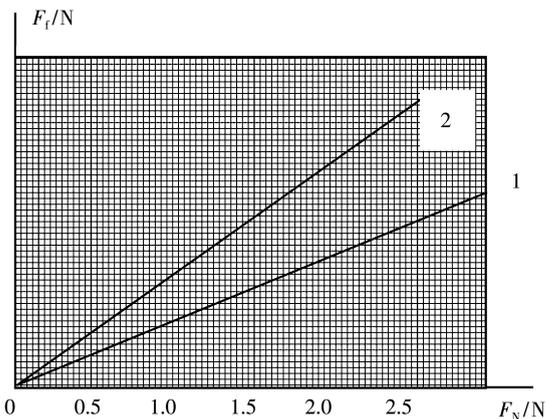


图6 $F_f - F_N$ 图

4)如何理解 F_N 的内涵.实验探究合理外推:抬高长木板的一端,由于木板有所倾斜,又导致了不同的滑动摩擦力 F_f 的值.如果木板越来越倾斜,滑动摩擦力又将会如何变化?如果长木板转动到竖直平面,此时滑动摩擦力 F_f 的情况又将会如何?从而得出 F_N 的真正内涵.

高中物理学科蕴含着十分丰富的科学思维方法,这些内隐于教学逻辑中的具体化的科学思维方

内存在平行于圆面的匀强电场,粒子从电场中射出的最大动能是初动能的4倍,经过**b**点的粒子动能是初动能的3倍,已知初动能为 E_k ,不计粒子重力及粒子间的相互作用,下列选项正确的有()

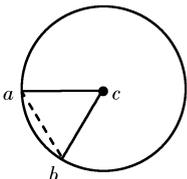


图1 例1题图

- A. 电场强度大小为 $\frac{2E_k}{qR}$
- B. 电场强度大小为 $\frac{14E_k}{qR}$
- C. 电场强度方向从**a**到**b**
- D. 电场强度方向从**a**到**c**

1.2 解析

设电场强度方向与 ac 连线的夹角为 θ ,如图2所示。

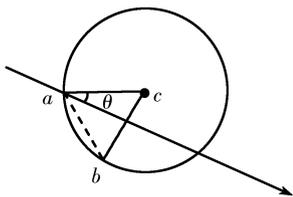


图2 例1解析图

由**a**点到最大动能处,根据动能定理有

$$qER(1 + \cos \theta) = E_{km} - E_k \quad (1)$$

由**a**到**b**点有

$$qER \cos(60^\circ - \theta) = E_{kb} - E_k \quad (2)$$

联立式(1)和式(2)解得

$$\cos \theta = \frac{1}{2} \text{ 或 } \cos \theta = -\frac{11}{14}$$

当 $\cos \theta = \frac{1}{2}$ 时,即 $\theta = 60^\circ$ 电场强度方向从**a**到

b,场强大小 $E = \frac{2E_k}{qR}$;

当 $\cos \theta = -\frac{11}{14}$ 时,即 $\theta = 141.8^\circ$,场强大小 $E =$

$\frac{14E_k}{qR}$,于是选项A,B,C正确。

1.3 评析

上述解析应该是非常严谨了,此题公布的参考答案也是选项A,B,C。不过后来有教师指出 $\cos \theta = -\frac{11}{14}$,这种情况不成立。真心佩服发现这个隐蔽性

错误的老师。后来笔者就想已知3点动能关系,能否判断场强方向呢?我们可以寻找等势点来确定场强方向^[1]。如图3所示,设粒子从圆周上**e**点射出时动能最大,在**ab**延长线上与**e**点电势相等的点记为**d**点,过**c**点作**ab**连线的垂线,垂足为**c'**点,则 $E_{kd} = E_{ke} = E_{km}$, $\frac{E_{kd} - E_{kb}}{E_{kb} - E_{ka}} = \frac{bd}{ab}$,于是 $bd = \frac{1}{2}ab = \frac{R}{2}$,由于**e**是圆周上动能最大的点,则过**e**点的等势线(面)与圆周相切,即 de 与圆周相切,场强方向由**c**指向**e**。再由 $\triangle cc'd \cong \triangle ced$,得 $ce \parallel ad$,即场强方向为由**a**指向**b**。

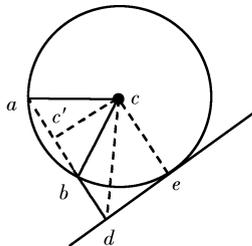


图3 例1评析图

通过上述分析,根据3点动能关系,可以确定场强方向。所以此题正确选项为A和C。

2 已知两点速度方向判断场强方向

2.1 题目

【例2】在平行于纸面的匀强电场中,有一电量为 q 的带正电粒子仅在电场力作用下,粒子从电场中的**A**点运动到**B**点,速度大小由 $2v_0$ 变为 v_0 ,粒子的初、末速度与**AB**连线的夹角均为 30° ,如图4所示,已知**A**和**B**两点间的距离为 d ,则该匀强电场的电场强度为()

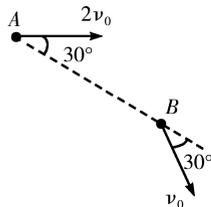


图4 例2题图

- A. $\frac{\sqrt{3}mv_0^2}{qd}$,方向竖直向上
- B. $\frac{\sqrt{3}mv_0^2}{qd}$,方向斜向左下
- C. $\frac{3mv_0^2}{qd}$,方向竖直向上

$$D. \frac{\sqrt{21}mv_0^2}{2qd}, \text{方向斜向左下方}$$

2.2 解析

建立图5所示的坐标系,将粒子的运动按 x 轴方向和 y 轴方向分解,两方向电场强度的分量分别为 E_x 和 E_y ,加速度分别为 a_x 和 a_y ,根据速度位移公式有

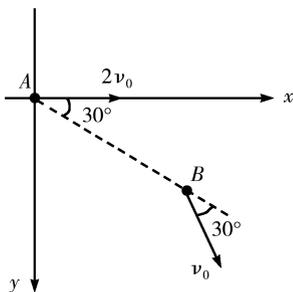


图5 例2解析图

$$x \text{ 方向: } (v_0 \cos 60^\circ)^2 - (2v_0)^2 = 2a_x d \cos 30^\circ \quad (3)$$

$$y \text{ 方向: } (v_0 \sin 60^\circ)^2 = 2a_y d \sin 30^\circ \quad (4)$$

根据牛顿第二定律

$$qE_x = ma_x \quad qE_y = ma_y \quad (5)$$

根据场强叠加

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (6)$$

联立式(3)~(6)解得

$$E_x = -\frac{15mv_0^2}{4\sqrt{3}qd} \quad E_y = \frac{3mv_0^2}{4qd} \quad E = \frac{21mv_0^2}{2qd}$$

于是正确选项为D.

2.3 评析

这个解析似乎也很完美,然而若选择将粒子的运动按 AB 连线和垂直于 AB 连线分解,两个方向都是匀变速直线运动,垂直于 AB 连线方向,相当于做类竖直上抛, A 和 B 两点在垂直于 AB 连线方向速度应该等大反向.而代入数据发现,两分量不等.于是题目条件出现不自洽.那么给出两点速度方向,如何确定场强方向呢?下面按一般性讨论,物体做匀变速曲线运动时,所受恒力方向有什么规律.

3 匀变速曲线运动速度方向恒力方向各自满足的规律

质点受恒力作用,当初速度与力不共线时,质点做匀变速曲线运动.若已知运动过程中两点速度方向,如图6所示,那么如何确定该恒力(或加速度)

的方向呢?



图6 匀变速曲线运动中已知两点速度方向

如图7所示,设质点加速度大小为 a , A 和 B 两点速度延长线相交于 D 点,质点由 A 运动到 B ,沿 v_1 方向的位移为 AC ,合位移为 AB ,过 D 点作 DD' 平行于恒力方向与合位移 AB 相交于 D' .

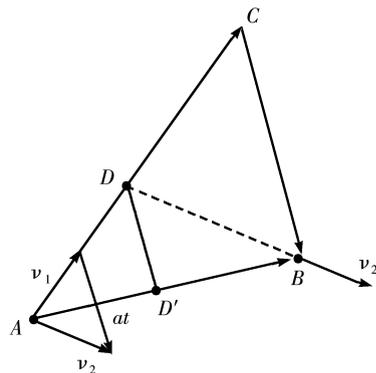


图7 速度和位移

将质点的运动分解为沿 v_1 方向的匀速直线运动和沿恒力方向的匀变速直线运动,于是有

$$AC = v_1 t, CB = \frac{1}{2} at^2$$

再根据速度矢量三角形与 $\triangle BCD$ 相似,于是有

$$\frac{CD}{v_1} = \frac{BC}{at}$$

解得

$$CD = \frac{1}{2} v_1 t = \frac{1}{2} AC$$

即 D 为 AC 的中点, D' 为 AB 的中点,恒力方向平行于 DD' .

于是可以得出以下规律.

规律1:类似于平抛运动速度方向特点,速度方向反向延长线相交于其中一分运动(匀速直线运动)的位移中点.

规律2:质点所受恒力方向平行于某两点的连线,这两点分别为任意两点速度方向的交点以及该两点连线的中点.

规律3:质点经过任意两点的速度沿垂直于两点连线方向的分量等大反向.

参考文献

- 廉志斌.一道联考题解析结果的物理真实性的讨论[J].物理教师,2020(6):53~54