

带电粒子在有界磁场中运动的临界问题解析*

——以2020年高考全国卷I物理第18题为例

马顺存

(湖南师范大学附属中学 湖南长沙 410006)

(收稿日期:2020-08-05)

摘要:高考题是高中物理教学的指挥棒和风向标,本文用3种方法对2020年高考全国卷I物理第18题从不同的思路进行解析,寻找到解答此题的最佳方法,最后对解题的思路进行了分析总结.有助于学生思维能力和核心素质的培养.

关键词:带电粒子 有界磁场 临界问题

“临界问题”大量存在于高中物理的许多章节中,如“圆周运动中小球能过最高点的速度条件”“运动学中的追及问题”等等,这类题目中往往含有“最大”“最高”“至少”“恰好”等词语,其最终的求解一般涉及极值,但关键是找准临界状态.带电粒子在有界磁场中运动的临界问题,在解答上除了有求解临界问题的共性之外,还有其自身的一些特点.解决带电粒子在磁场中运动的临界问题一般的思路是:画图→动态分析→找临界轨迹→计算解答.找出临界轨迹,做出轨迹图形,是解决这类问题的关键.下面以2020年高考全国卷I物理第18题为例进行解析.

【题目】(2020年高考全国卷I物理第18题)一匀强磁场的磁感应强度大小为 B ,方向垂直于纸面向外,其边界如图1中虚线所示, \widehat{ab} 为半圆, ac 和 bd 与直径 ab 共线, ac 间的距离等于半圆的半径.一束质量为 m ,电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子,在纸面内从 c 点垂直于 ac 射入磁场,这些粒子具有各种速率.不计粒子之间的相互作用.在磁场中运动时间最长的粒子,其运动时间为()

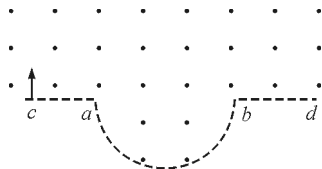


图1 题图

- A. $\frac{7\pi m}{6qB}$ B. $\frac{5\pi m}{4qB}$
C. $\frac{4\pi m}{3qB}$ D. $\frac{3\pi m}{2qB}$

解析:设半圆 \widehat{ab} 的半径为 R ,粒子做圆周运动的轨迹圆半径为 r .

解法一(常规思路):由带电粒子在磁场中运动,其所受洛伦兹力提供做圆周运动的向心力有

$$qvB = m \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

$$qvB = m \frac{4\pi}{T^2} r \quad (2)$$

解得 $r = \frac{mv}{qB}$ $T = \frac{2\pi m}{qB}$

其中 m, q, B 为已知, v 为变化量, r 随着 v 的增大而增大.

带电粒子在磁场中运动的时间

* 湖南师范大学附属中学教育科学“十三五”规划2019年度课题“基于核心素养的高中物理实验课程开发与实施研究”研究成果,课题批准号:FZJK19A12

作者简介:马顺存(1984-),男,中小学一级,主要从事高中物理教学工作.

$$t = \frac{\theta}{2\pi} T = \frac{\theta}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB}$$

其中 θ 为带电粒子运动轨迹所对应的圆心角, 可知带电粒子在磁场中运动的时间与速度大小无关.

由于粒子垂直于 ac 射入, 可知其轨迹圆的圆心必定在 ac 所在直线上, 由于粒子具有各种速率, 所以粒子的轨迹圆半径由零逐渐增大, 作出粒子在磁场中运动的轨迹, 如图 2 所示.

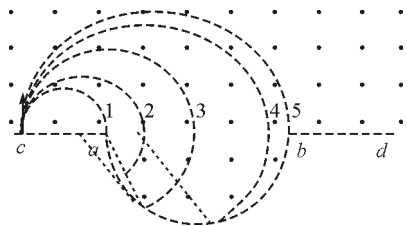


图2 解法一图示

当 $r \leq 0.5R$ 或 $r \geq 1.5R$ 时, 粒子从 ac, bd 区域射出, 粒子在磁场中运动的轨迹为半圆, 运动时间等于半个周期(非最长时间), 如图 2 中的轨迹 1 和 5.

当 $0.5R < r < 1.5R$ 时, 粒子从半圆磁场 \widehat{ab} 边界射出, 当 r 从 $0.5R$ 逐渐增大的过程中, 粒子射出位置从 a 点逐渐向下移动, 粒子运动轨迹的圆心角从 π 逐渐增大. 当轨迹圆半径为 R 时(如图 2 中的轨迹 3), 此时轨迹圆心角最大, 之后随着 r 的增大, 轨迹圆心角逐渐减小. 因此当轨迹半径 $r = R$ 时, 轨迹圆心角最大, 其最大值为

$$\theta = \pi + \frac{\pi}{3} = \frac{4\pi}{3}$$

粒子运动最长时间为

$$t = \frac{\theta}{2\pi} T = \frac{\frac{4\pi}{3}}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB} = \frac{4\pi m}{3qB}$$

所以选项 C 正确.

解法二:

解题分析部分与解法一相同, 关键点是如何找到临界条件下的出射点. 在解法一中, 用作缩放圆的方法找出最大轨迹圆, 由于轨迹圆有无数个, 不太容易找到临界条件. 同时要证明所找到的轨迹即为在磁场中运动时间最长的粒子轨迹也比较困难. 因此需要寻找一种更简单地找到临界条件轨迹的方法.

如图 3 所示, 过 c 点作一直线交 \widehat{ab} 于 e, g 点, 设某一粒子在磁场中运动的轨迹经过 f 点, 则有 $\beta = 2\alpha$. 粒子从 c 点运动到 f 点的时间 $t = \frac{\pi + \beta}{2\pi} T$. 同时, 带电粒子从 c 点出发, 到达直线 eg 上任意一点的时间都是相等的. 又因 α 越大则 β 越大, t 越大. 可知当 cg 与圆弧 ab 边界相切时, α 最大, t 最大. 此时的 $\alpha = 30^\circ$, 即

$$\beta = 60^\circ$$

$$t_{\max} = \frac{\pi + \beta}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB} = \frac{4\pi m}{3qB}$$

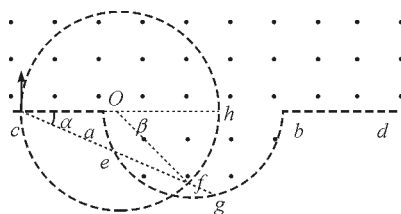


图3 解法二图示

解法三:

解题分析部分与解法一相同, 用该方法找到的粒子在磁场中运动的轨迹临界条件相比于解法二思路更加清晰, 也更加容易理解.

如图 4 所示, 由方法一分析可知, 在磁场中运动时间最长的粒子其出射点一定在 \widehat{ab} 上, 故在 \widehat{ab} 上任取一点 p , 设 p 点为某一带电粒子的出射点. 连接 c, p 和 O, p , 不难得出 $\beta = 2\alpha$, 粒子在磁场中运动的时间 $t = \frac{\pi + \beta}{2\pi} T$. 可知 α 越大则 t 越大. 因 p 点是任意选取的, 所以, 当 cp 与圆弧 ab 边界相切时, α 最大, t 最大. 此时 $\alpha = 30^\circ$, 即

$$\beta = 60^\circ$$

$$t_{\max} = \frac{\pi + \beta}{2\pi} \frac{2\pi m}{qB} = \frac{4\pi m}{3qB}$$

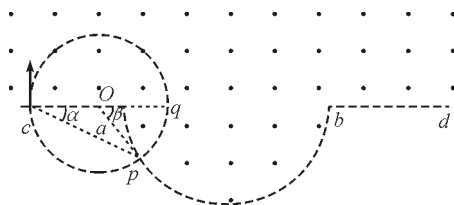


图4 解法三图示

(下转第 138 页)

与方法应用迁移到实际情境中去,学生的能力和素养才能真正得到提高.在平时的教学中,教师除了提供大量带有实践情境的习题或问题供学生解答外,还可以结合实际情境问题开展以微课题为载体的探索研究.例如,学习匀变速直线运动及圆周运动的规律后,可开展围绕交通法律法规或安全行车常识为主题的各微小课题,如“严禁疲劳驾驶”“严禁酒驾”“严禁超重”“高速公路行驶不能急打方向”“高速公路上的故障车需在车后 150 m 处设置警示标志”等.微课题情境的探索研究,本身就是引导学生自主学习、改革学生学习方式的重要举措之一,可使教师培养和提升学生的“物理观念”“科学思维”“科学探究”“科学态度与责任”等核心素养的教学工作落到实处.

因此,物理教学过程要重视情境与物理知识的融合,学生在情境中获取知识和应用知识解决实际

问题,能力和素养才能逐步发展,学生的核心素养才能得到锤炼和提高.物理学科的核心素养着力解决的就是提高学生在复杂情境下解决问题的能力,使之能够适应飞速发展的信息时代和复杂多变的未来社会.

参考文献

- 1 教育部考试中心.中国高考评价体系[M].北京:人民教育出版社,2019.11
- 2 教育部考试中心.中国高考评价体系说明[M].北京:人民教育出版社,2019.11
- 3 陆永华,潘华君.浅论物理情境化试题命题[J].物理教学,2015(11):57~59
- 4 廖伯琴.普通高中物理课程标准(2017年版)解读[M].北京:高等教育出版社,2018.6
- 5 吴喆,何善亮.物理教学的“情境化”“去情境化”与“再情境化”[J].物理教师,2017(11):21~25

(上接第 132 页)

结束语:

由于本题是一个单选题,在考场上我们可以通过排除法、赋值法等解决问题,不必要花费太多的时间将每一个问题都分析得一清二楚.然而,带电粒子在磁场中运动的临界问题是高考中的常考点,也常以压轴题的形式出现,难度较大.考场之外对该题型的解析还是很有价值的.通过对 2020 年高考全国卷 I 物理第 18 题的解析,对 3 种解法做如下归纳:

方法一,我们用常规思路解决问题,利用动态圆寻找临界条件,但是发现要找到临界条件比较难,要证明所画出的临界轨迹就是在磁场中运动时间最长的粒子轨迹就更难了.

方法二,是在方法一基础上的换位思考,画出一条直线,到达这条直线上所有粒子运动的时间都是相等的,因此临界条件的寻找由动态圆转化为动态直线,问题得到简化.

方法三,则是在方法二基础上的进一步思考,在 \widehat{ab} 上任取一点,临界问题的寻找由动态直线转化为

动态点的寻找.思路更清晰,临界条件也更容易找到.

我们可以看到,带电粒子在磁场中运动临界问题的解答很能体现学生的分析思维能力以及想象能力,要求学生能够由一条确定的轨迹想到多条动态轨迹,从不同的角度思考问题,并最终判定临界状态.所以,在平时的教学过程中,我们要深入挖掘高考题型的最佳解题方法,通过适当的方式教给学生,这样有助于拓展学生的视野,有助于学生理解问题的本质.在学习的过程中,我们不能只要求得出正确的答案,要知其然,更要知其所以然,同时还要思考如何才能寻找到最佳解题方法,这样才能在考试中得心应手.在核心素养教学理论指导下,要求作为教师的我们要充分挖掘问题的本质和内涵,在备课中多下功夫,走在高中物理教学的“潮流前线”,为学生全面而有个性的发展“保驾护航”^[1].

参考文献

- 1 闫寒,王文涛.对 2019 年高考物理北京卷第 23 题解法的探讨[J].物理教学探讨,2020(5):39~41