

教会学生探索模型变化的规律化解问题拓展的难点

刘白生

(江苏省溧水高级中学 江苏 南京 211200)

(收稿日期:2018-03-05)

摘要:立足物理模型的基本原理,从中找出涉及到的物理量,分析出模型的变化和拓展规律,能使学生化解高考题中模型变化和拓展的难点,进而顺利地解决此类问题.

关键词:模型 变化和拓展 质谱仪

笔者对近几年来高考物理题深入分析发现,高考题经常要用到物理课本上的模型,如回旋加速器、质谱仪等,甚至有的模型连续几年都考,教师、学生都感觉讲过了、做过了,且做过多遍,但高考时就是做不出来,有时甚至无从下手.探究其原因,大多数教师和学生认为虽然模型做过了,但高考题对它进行了拓展和变化,而平时的复习中并没有做过这种拓展,因此感觉仍是新题且很难.为了突破这一难点,教师在平时的复习中努力地对模型进行变化,但总与高考试题有很大的差异,因而这类题一直是高考题中的难点,得分率很低.

笔者在教学中也关注到了这一点,并对它进行一定的分析和研究,认识到平时对模型拓展和变化大多是盲目而没有规律,因而很难达到与高考题相似.实际上模型的变化与拓展也有规律,掌握了这个规律此类问题的难点就会得到较大的化解.本文以质谱仪为例说明在教学中如何找到这一规律,进而提高学生解决模型的变化与拓展类问题的能力.

1 质谱仪的基本原理

【例1】图1所示为质谱仪原理示意图,设粒子质量为 m ,电荷量为 q ,加速电场电压为 U ,偏转磁场的磁感应强度为 B ,则粒子进入磁场时的速度是多大?打在底片上的位置到 S_3 的距离多大?

分析:质谱仪工作原理,即带电粒子经加速电场 U 加速,然后经过 S_3 沿着与磁场垂直的方向进入匀强磁场 B ,在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动,最后打到照相底片 D 上,粒子进入磁场时的速率

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

在磁场中运动的轨道半径

$$r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

所以打在底片上的位置到 S_3 的距离为

$$s = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

答案: $\sqrt{\frac{2qU}{m}}; \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$.

由 $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$ 可以看出,此式中涉及到 r, m, q, U, B 5个物理量,进行模型变化时可以从这几个物理量入手.

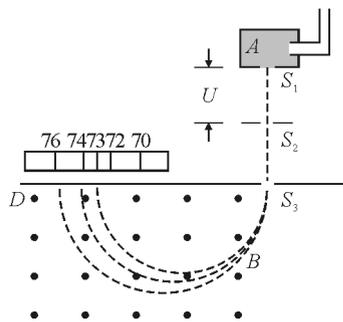


图1 例1题图

2 改变质量 m 和磁感应强度 B

【例2】(2016年高考新课标I卷第15题)现代质谱仪可用来分析比质子重很多倍的离子,其示意图如图2所示,其中加速电压恒定.质子在入口处从静止开始被加速电场加速,经匀强磁场偏转后从出

口离开磁场.若某种一价正离子在入口处从静止开始被同一加速电场加速,为使它经匀强磁场偏转后仍从同一出口离开磁场,需将磁感应强度增加到原来的 12 倍.此离子和质子的质量比约为()

- A. 11 B. 12 C. 121 D. 144

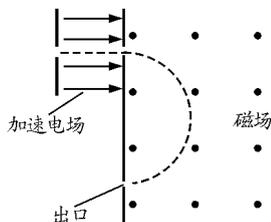


图 2 例 2 题图

分析:由题意,由于两种粒子从同一入口垂直进入磁场,从同一出口垂直离开磁场,故在磁场中做匀速圆周运动的半径应相同.匀速圆周运动的半径

$$r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

由于加速电压不变,故

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{B_2}{B_1} \sqrt{\frac{m_1 q_2}{m_2 q_1}} = 1$$

其中 $B_2 = 12B_1, q_2 = q_1$, 可得

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{144}$$

故一价正离子与质子的质量比约为 144.

答案:D.

3 改变质量 m 和加速电场的电压 U

【例 3】(2015 年高考江苏卷理综第 15 题)一台质谱仪的工作原理如图 3 所示,电荷量均为 $+q$,质量不同的离子飘入电压为 U_0 的加速电场,其初速度几乎为零.这些离子经加速后通过狭缝 O 沿着与磁场垂直的方向进入磁感应强度为 B 的匀强磁场,最后打在底片上.已知放置底片的区域 $MN = L$,且 $OM = L$.某次测量发现 MN 中左侧 $\frac{2}{3}$ 区域 MQ 损坏,检测不到离子,但右侧 $\frac{1}{3}$ 区域 QN 仍能正常检测到离子.在适当调节加速电压后,原本打在 MQ 的离子即可在 QN 检测到.

- (1) 求原本打在 MN 中点 P 的离子质量 m ;
- (2) 为使原本打在 P 的离子能打在 QN 区域,求加速电压 U 的调节范围;
- (3) 为了在 QN 区域将原本打在 MQ 区域的所有离子检测完整,求需要调节 U 的最少次数.(取

$$\lg 2 = 0.301, \lg 3 = 0.477, \lg 5 = 0.699)$$

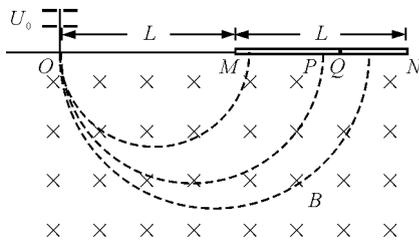


图 3 例 3 题图

分析:本题模型变化是在第(2)问和第(3)问,同一粒子在加速电场的电压 U 变化时,粒子会打在一个区间,第(2)问是在某一区间需要的加速电压 U 的调节范围,第(3)问是区间和加速电压 U 都要调节.

(1) 离子在电场中加速

$$qU_0 = \frac{1}{2}mv^2$$

在磁场中做匀速圆周运动

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

解得

$$r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU_0}{q}}$$

代入 $r_0 = \frac{3}{4}L$, 解得

$$m = \frac{9qB^2L^2}{32U_0}$$

(2) 由(1)知

$$U = \frac{16U_0r^2}{9L^2}$$

离子打在 Q 点

$$r = \frac{5}{6}L \quad U = \frac{100U_0}{81}$$

离子打在 N 点

$$r = L \quad U = \frac{16U_0}{9}$$

则电压的范围

$$\frac{100U_0}{81} \leq U \leq \frac{16U_0}{9}$$

(3) 由(1)知, $r \propto \sqrt{U}$, 由题意知,第 1 次调节电压到 U_1 , 使原本 Q 点的离子打在 N 点

$$\frac{L}{\frac{5L}{6}} \propto \frac{\sqrt{U_1}}{\sqrt{U_0}}$$

此时,原本半径为 r_1 的打在 Q_1 的离子打在 Q 上

$$\frac{5L}{6} = \frac{\sqrt{U_1}}{\sqrt{U_0}}$$

解得

$$r_1 = \left(\frac{5}{6}\right)^2 L$$

第 2 次调节电压到 U_2 , 使原本 Q_1 点的离子打在 N 点, 原本半径为 r_2 的打在 Q_2 的离子打在 Q 上, 则

$$\frac{L}{r_1} \propto \frac{\sqrt{U_2}}{\sqrt{U_0}} \quad \frac{5}{6L} \propto \frac{\sqrt{U_2}}{\sqrt{U_0}}$$

解得

$$r_1 = \left(\frac{5}{6}\right)^3 L$$

同理, 第 n 次调节电压, 有

$$r_n = \left(\frac{5}{6}\right)^{n+1} L$$

检测完整, 有 $r_n \leq \frac{L}{2}$, 解得

$$n \geq \frac{\lg 2}{\lg \frac{6}{5}} - 1 \approx 2.8$$

最少次数为 3 次.

答案: (1) $m = \frac{9qB^2L^2}{32U_0}$; (2) $\frac{100U_0}{81} \leq U \leq \frac{16U_0}{9}$;

(3) 3 次.

4 改变粒子发射的位置和加速电场的电压 U

【例 4】(2017 年高考江苏卷理综第 15 题) 一台质谱仪的工作原理如图 4 所示. 大量的甲、乙两种离子飘入电压为 U_0 的加速电场, 其初速度几乎为零, 经过加速后, 通过宽为 L 的狭缝 MN 沿着与磁场垂直的方向进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 最后打到照相底片上. 已知甲、乙两种离子的电荷量均为 $+q$, 质量分别为 $2m$ 和 m , 图中虚线为经过狭缝左、右边界 M, N 的甲种离子的运动轨迹, 不考虑离子间的相互作用.

(1) 求甲种离子打在底片上的位置到 N 点的最小距离 x ;

(2) 在答题卡的图中用斜线标出磁场中甲种离子经过的区域, 并求该区域最窄处的宽度 d ;

(3) 若考虑加速电压有波动, 在 $(U_0 - \Delta U)$ 到 $(U_0 + \Delta U)$ 之间变化, 要使甲、乙两种离子在底片上没有重叠, 求狭缝宽度 L 满足的条件.

分析: 本题模型变化是在第 (2) 问和第 (3) 问,

第 (2) 问是发射位置变化导致轨迹及区间的变化, 第 (3) 问是 2 个粒子由于发射位置和加速电压 U 的变化导致区间不同, 只要分析出不发生交叠的条件即可.

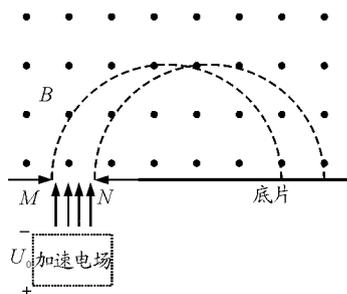


图 4 例 4 题图

解: (1) 设甲种离子在磁场中的运动半径为 r_1 , 电场加速

$$qU_0 = \frac{1}{2} \cdot 2mv^2$$

且

$$qvB = 2m \frac{v^2}{r_1}$$

解得

$$r_1 = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{mU_0}{q}}$$

根据几何关系 $x = 2r_1 - L$, 解得

$$x = \frac{4}{B} \sqrt{\frac{mU_0}{q}} - L$$

(2) (见图 5) 最窄处位于过两虚线交点的垂线上

$$d = r_1 - \sqrt{r_1^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2}$$

解得

$$d = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{mU_0}{q}} - \sqrt{\frac{4mU_0}{qB^2} - \frac{L^2}{4}}$$

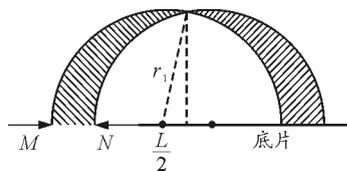


图 5 (2) 问分析图

(3) 设乙种离子在磁场中的运动半径为 r_2, r_1 的最小半径

$$r_{1\min} = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{m(U_0 - \Delta U)}{q}}$$

r_2 的最大半径

$$r_{2\max} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m(U_0 + \Delta U)}{q}}$$

由题意知 $2r_{1\min} - 2r_{2\max} > L$, 即

$$\frac{4}{B} \sqrt{\frac{m(U_0 - \Delta U)}{q}} - \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2m(U_0 + \Delta U)}{q}} > L$$

解得

$$L < \frac{2}{B} \sqrt{\frac{m}{q}} [2\sqrt{(U_0 - \Delta U)} - \sqrt{2(U_0 + \Delta U)}]$$

答案:(1) $x = \frac{4}{B} \sqrt{\frac{mU_0}{q}} - L$; (2) $d = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{mU_0}{q}} -$

$$\sqrt{\frac{4mU_0}{qB^2} - \frac{L^2}{4}}; (3) L < \frac{2}{B} \sqrt{\frac{m}{q}} [2\sqrt{(U_0 - \Delta U)} - \sqrt{2(U_0 + \Delta U)}].$$

5 改变粒子发射的方向及能量

【例5】(2007年江苏高考理综第17题) 磁谱仪是测量 α 能谱的重要仪器。磁谱仪的工作原理如图6所示,放射源S发出质量为 m ,电荷量为 q 的粒子沿垂直磁场方向进入磁感应强度为 B 的匀强磁场,被限束光栏Q限制在 2φ 的小角度内, α 粒子经磁场偏转后打到与限束光栏平行的感光片P上。(重力影响不计)

(1) 若能量在 $E \sim E + \Delta E$ ($\Delta E > 0$, 且 $\Delta E \ll E$) 范围内的 α 粒子均沿垂直于限束光栏的方向进入磁场,试求这些 α 粒子打在胶片上的范围 Δx_1 。

(2) 实际上,限束光栏有一定的宽度, α 粒子将在 2φ 角内进入磁场,试求能量均为 E 的 α 粒子打到感光胶片上的范围 Δx_2 。

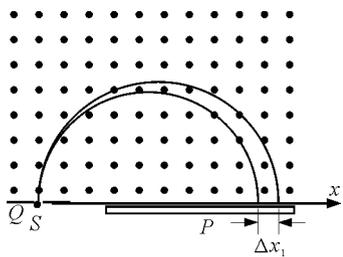


图6 例5题图

分析: 本题第(1)问模型变化是改变粒子发射的能量,与改变加速电压 U 相似,第(2)问是根据改变粒子发射的方向找落点的区间。

(1) 设 α 粒子以速度 v 进入磁场,打在胶片上的位置距S的距离为 x ,由圆周运动

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

α 粒子的动能

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

$$x = 2R \quad (3)$$

由式(1)~(3)可得

$$\Delta x_1 = \frac{2\sqrt{2m(E + \Delta E)}}{qB} - \frac{2\sqrt{2mE}}{qB}$$

由近似公式当 $x \ll 1$ 时,则 $(1+x)^n \approx 1+nx$,化简可得

$$\Delta x_1 \approx \frac{\sqrt{2mE}}{qBE} \Delta E \quad (4)$$

(2) 动能为 E 的 α 粒子沿 $\pm\varphi$ 角入射(图7),轨道半径相同,设为 R ,由几何关系得

$$\Delta x_2 = 2R - 2R\cos\varphi =$$

$$\frac{2\sqrt{2mE}}{qB} (1 - \cos\varphi) = \frac{4\sqrt{2mE}}{qB} \sin^2 \frac{\varphi}{2}$$

答案:(1) $\Delta x_1 \approx \frac{\sqrt{2mE}}{qBE} \Delta E$; (2) $\Delta x_2 = \frac{4\sqrt{2mE}}{qB} \cdot$

$\sin^2 \frac{\varphi}{2}$.

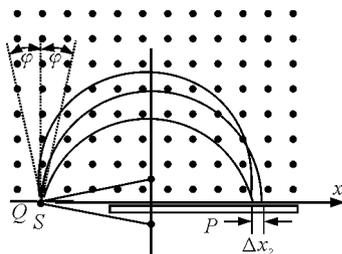


图7 (2)问分析图

由表达式还可以进行一些变化和拓展,这里不再一一举例。从以上例题可以发现,质谱仪在高考中多次考了,尤其是江苏高考2015年考了,2017年又考,每次题目虽然变了,但考查的原理没有变,只要在平时的教学中注重这一模型的变化与拓展规律,就能较好地培养学生的各种能力,掌握这类模型的求解规律,在高考中就能应对题目的变化和拓展,类似这样的模型还有许多,只要在教学过程中教师重视它的教学价值,归纳出它的规律并应用之,学生在高考中就能比较顺利地解决类似的问题,大家不妨试之。

参考文献

- 1 钟小平. 在物理教学中培养学生建模能力的探索. 教学月刊·中学版, 2013(7): 20~23
- 2 江秀梅, 刘大明. “多方建模”化解物理知识难点初探. 教学与管理, 2016(19): 78~80
- 3 赵鹏. 质谱仪模型的多角度变换分析. 物理教学, 2010(4): 36~37