

对新概念物理教程《电磁学》 (第2版)中一道习题的讨论

杨向荣

[宜春市第九中学(外国语学校) 江西 宜春 336000]

(收稿日期:2017-08-21)

摘要:新概念物理教程《电磁学》(第2版)一书中的一道关于带电粒子在磁场中运动的习题,参考答案中将带电粒子在磁场中的运动看成了类平抛运动,本文对该题重新解答,认为只有当满足某特定条件时,该带电粒子在匀强磁场中的匀速圆周运动才能近似看成类平抛运动.

关键词:带电粒子 均匀磁场 匀速圆周运动 类平抛运动

1 原题与参考答案

在赵凯华和陈熙谋主编的新概念物理教程《电磁学》(第2版)一书中,有一道关于带电粒子在磁场中运动的习题,题目如下.

【题目】如图1所示,一质量为 m 的粒子带有电

荷量 q ,以速度 v 射入磁感应强度为 B 的均匀磁场, v 与 B 垂直;粒子从磁场出来后继续前进.已知磁场区域在 v 方向(即 x 方向)上的宽度为 l ,当粒子从磁场出来后在 x 方向前进的距离为 $L - \frac{l}{2}$ 时,求它的偏转 y ^[1].

为 λ .可以规定离直线为 R (R 为某一固定值) 处的圆柱面上的电势为零,这时,离该面为 r 处的电势为

$$\varphi_r = \int_r^R \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \int_r^R \frac{r}{r^2} \cdot dr = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \int_r^R \frac{dr}{r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{R}{r}$$

(3) 一根无限长均匀带电的圆柱面

对于无限长均匀带电的圆柱面,半径为 R ,电荷的面密度为 σ .可以规定该圆柱面上的电势为零,这时离轴线为 r 处的电势为

$$\varphi_r = \int_r^R \frac{\sigma R}{\epsilon_0 r} dr = \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \ln \frac{R}{r} \quad (r > R)$$

$$\varphi = 0 \quad (r \leq R)$$

4.2 有两个无限大带电平面时的零电势点问题

对于有两个无限大带电平面的电场,可以规定一个面电荷所在处的电势为零.例如,规定 $-\sigma$ 处的电势为零,以两面中间为原点,沿着从 σ 到 $-\sigma$ 的法线方向取 x 轴,这时各处的电势为

$$\varphi = \frac{\sigma}{\epsilon_0} d \quad \left(x \leq -\frac{d}{2}\right)$$

$$\varphi = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(\frac{d}{2} - x\right) \quad \left(\frac{d}{2} \geq x \geq -\frac{d}{2}\right)$$

$$\varphi = 0 \quad \left(x \geq \frac{d}{2}\right)$$

作出的 $\varphi-x$ 图像,如图10所示.

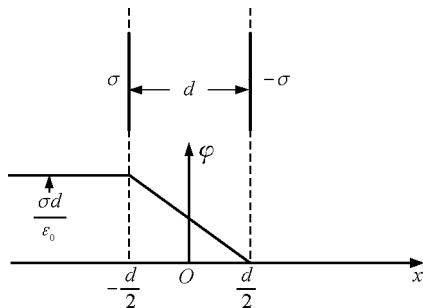


图10 两个无限大带电平面 $\varphi-x$ 图像

参考文献

- 赵凯华,陈熙谋.新概念物理教程:电磁学(第2版).北京:高等教育出版社,2006.12
- 梁灿斌.普通物理学教程:电磁学(第2版).北京:高等教育出版社,2004.5
- 郭硕鸿.电动力学(第2版).北京:高等教育出版社,1997.7

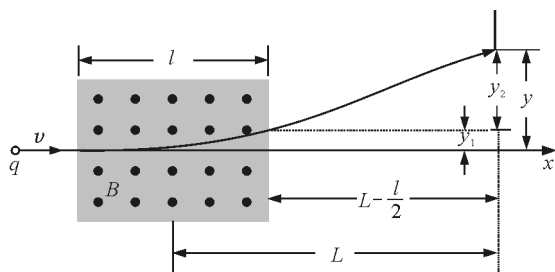


图1 题图

在教材配套的习题指导书中,本题的解析如下.

解析:由磁场的方向和粒子轨道的偏离方向可判定这粒子带负电.设该粒子受洛伦兹力偏转向上的加速度为 a ,则

$$ma = qvB \quad a = \frac{qvB}{m}$$

$$\text{得} \quad y_1 = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} \left(\frac{l}{v}\right)^2$$

而

$$v_1 = at = \frac{qvB}{m} \frac{l}{v} = \frac{qBl}{m}$$

$$\frac{y_2}{v_1} = \frac{L - \frac{l}{2}}{v}$$

$$\text{得} \quad y_2 = \frac{v_1}{v} \left(L - \frac{l}{2}\right) = \frac{qBl}{mv} \left(L - \frac{l}{2}\right)$$

$$\text{所以} \quad y = y_1 + y_2 = \frac{qBlL}{mv}$$

从这个解答中可以看出,书中认为该带电粒子在磁场中近似做初速度为 v 的类平抛运动,即在磁场中运动的全过程,带电粒子所受的洛伦兹力大小不变,方向近似保持竖直向上.我们知道,带电粒子在匀强磁场中所受洛伦兹力的方向一直与速度方向垂直,只受洛伦兹力时,粒子应做匀速圆周运动.本题中将粒子的匀速圆周运动近似看成类平抛运动,值得讨论.

2 基于带电粒子在匀强磁场中应做匀速圆周运动的解答

从带电粒子在匀强磁场中应做匀速圆周运动这一事实出发,对该题重新解答.

解:该带电粒子在磁场中做匀速圆周运动,作出其圆心 O ,及两条半径 R ,如图2所示.圆心角为 θ .洛伦兹力提供向心力,有

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

$$\text{得} \quad R = \frac{mv}{qB}$$

由图可知

$$\tan \theta = \frac{l}{\sqrt{R^2 - l^2}} = \frac{y_2}{L - \frac{l}{2}}$$

所以

$$y_2 = \frac{l \left(L - \frac{l}{2}\right)}{\sqrt{R^2 - l^2}} \quad y_1 = R - \sqrt{R^2 - l^2}$$

所以偏转距离

$$y = y_1 + y_2 = R - \sqrt{R^2 - l^2} + \frac{l \left(L - \frac{l}{2}\right)}{\sqrt{R^2 - l^2}}$$

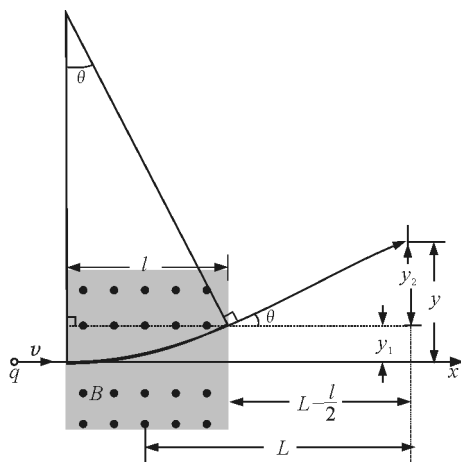


图2 分析图

3 讨论与总结

对此结果进行讨论,当 $R \gg l$ 时, $y = \frac{Ll}{R} = \frac{qBlL}{mv}$, 此结果与习题指导书中给出的结果相吻合.因此,只有当 $R \gg l$ 时,该带电粒子在该磁场中的运动才能近似为类平抛运动.但在题目中并没有设定这个条件,而且可以看出,根据题目提供的图,作出的带电粒子在磁场中运动的半径 R 也并不远远大于磁场宽度 l .因此,习题指导书中给出的本题的解题思路并不严谨.从出题角度来看,本题考查的是带电粒子在磁场中运动的知识,在只受洛伦兹力的情况下,带电粒子在匀强磁场中应做匀速圆周运动,如果将其看成类平抛运动来解此题,则违背了出题的意图.

参考文献

- 赵凯华,陈熙谋.新概念物理教程电磁学(第2版).北京:高等教育出版社,2006