



带电粒子在速度选择器中的运动

——对人教版普通高中物理教材一题的改进分析及建议

周建新 刘黎红

(武汉市新洲区第一中学 湖北 武汉 430415)

(收稿日期:2015-11-07)

摘要:人教版普通高中《物理·选修3-1》第98页“问题与练习”中的第3题,是一道带电粒子在速度选择器中运动的问题.本文提出若带电粒子不是速度选择器所选择的速度时,带电粒子做什么样的运动?并就此问题做出了分析,利用几何画板软件画出图像做了验证,提出改进速度选择器精度的意见.

关键词:速度选择器 带电粒子 运动

1 问题提出

人教版普通高中《物理·选修3-1》第98页“问题与练习”中第3题:在图1所示的平行板器件中,电场强度 E 和磁感应强度 B 相互垂直.具有不同水平速度的带电粒子射入后发生偏转的情况不同.这种装置能把具有某一特定速度的粒子选择出来,所以叫速度选择器.试证明带电粒子具有速度 $v_0 = \frac{E}{B}$ 时,才能沿着图示虚线路径通过这个速度选择器.

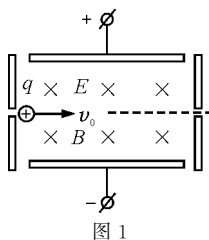


图1

带电粒子以初速 v_0 进入磁场, $v_0 \perp E$, $v_0 \perp B$,

设粒子电荷量 $+q$,则受洛伦兹力 $f_{洛} = Bqv_0$,方向向上,电场力 $F_{电} = qE$,方向向下.当粒子沿图中虚线做直线运动时,由二力平衡有

$$qv_0B = Eq \quad v_0 = \frac{E}{B}$$

若带电粒子的速度不是 v_0 ,那带电粒子做什么样的运动呢?它还有可能从右边的小孔中射出吗?

2 问题分析

设带电粒子水平射入的速度为 v ($v > v_0$).此时粒子的水平速度 v 可以分解为两个水平速度:一是速度方向水平,大小为 $v_0 = \frac{E}{B}$.由这个速度引起的洛伦兹力跟电场力平衡,故粒子在这个方向做速度为 v_0 的匀速直线运动.另一个速度是方向水平,大小为 $(v - v_0)$.粒子同时受到由这个速度 $(v - v_0)$ 产生的洛伦兹力的作用而做匀速圆周运动.以粒子刚进

案,直流电经过全桥逆变转变为能量较高的正弦交流电,用磁耦合谐振的方式进行能量的无线传输.本系统在实验室条件下,传输距离为10 cm时,传输效率可达到60%,在保证输出功率为1 W前提下,传输距离可达到33 cm,具有传输效率高、距离较远、输出功率大等特点.经验证,可实现为手机无线充电的功能,具有良好的市场发展前景.

参考文献

1 张国圆,王习,赵端.磁耦合谐振式无线电能传输系统传

输特性分析.工矿自动化,2015(7)

2 余梅.一种磁耦合谐振式无线电能传输系统的研究.电力系统及其自动化,2015(5)

3 王振亚.谐振式无线电能传输系统的优化设计.电力电子与电力传动,2015(5)

4 董苗苗.磁耦合谐振式无线电能传输的研究.通信与信息系统,2014(3)

5 肖思宇,马殿光,张汉花,等.耦合谐振式无线电能传输系统的线圈优化.电工技术学报,2015(S1)

入复合场的时刻为计时起点,并以该 $t=0$ 时的位置为坐标原点,以大小为 v_0 的水平分速度方向为 x 轴的正方向,以另一个大小为 $(v-v_0)$ 的分速度产生的洛伦兹力方向为 y 轴正方向,则粒子在 t 时刻的速度

$$v_x = v_0 + (v - v_0) \cos\left(\frac{qB}{m}t\right) = \frac{E}{B} + \left(v - \frac{E}{B}\right) \cos\left(\frac{qB}{m}t\right) \quad (1)$$

$$v_y = (v - v_0) \sin\left(\frac{qB}{m}t\right) = \left(v - \frac{E}{B}\right) \sin\left(\frac{qB}{m}t\right) \quad (2)$$

粒子在 t 时刻的位置坐标

$$x = v_0 t + r \sin\left(\frac{qB}{m}t\right) = \frac{E}{B}t + r \sin\left(\frac{qB}{m}t\right) \quad (3)$$

$$y = r - r \cos\left(\frac{qB}{m}t\right) \quad (4)$$

上面式(3)、(4)中 r 为粒子的分速度 $(v-v_0)$ 产生的洛伦兹力作用而做匀速圆周运动的轨迹半径

$$r = \frac{m(v-v_0)}{qB} = \frac{m(Bv-E)}{qB^2} \quad (5)$$

从式(4)、(5)可知粒子回到 x 轴上的时刻为

$$t = \frac{2n\pi m}{qB} \quad (n=1,2,3,\dots)$$

此时的速度恰好为 v ; 粒子离开 x 轴的最大距离为

$$D = 2r = \frac{2m(Bv-E)}{qB^2}$$

3 问题验证

根据上面式(3)、(4)、(5),利用几何画板软件,试着画出带电粒子在速度选择器中的运动轨迹(参数设置均为 $v > v_0$),各参数设置: $q=1\text{ C}$, $m=4\text{ kg}$, $E=1\text{ N/C}$, $B=1\text{ T}$.

(1) 若 v 与 v_0 比较接近,可以描绘出粒子的运动轨迹,如图2所示.

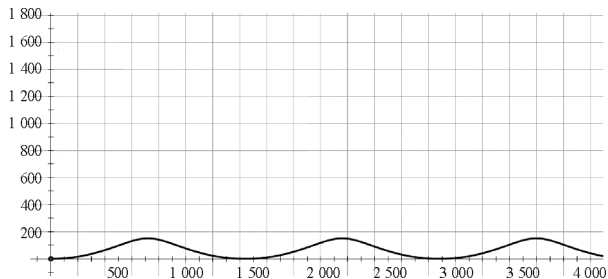


图2 $v = 20\text{ m/s}$

(2) 若 v 与 v_0 相差较多,可以描绘出粒子的运动轨迹,如图3所示.

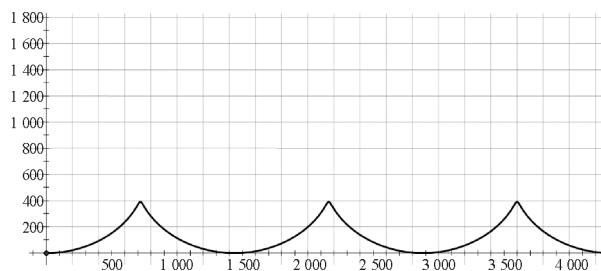


图3 $v = 50\text{ m/s}$

(3) 若 v 与 v_0 相差很大,也可以描绘出粒子的运动轨迹,如图4所示.

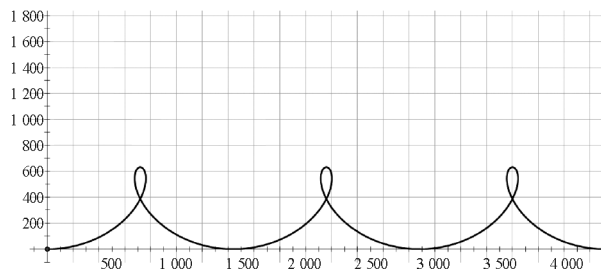


图4 $v = 80\text{ m/s}$

当然,如果带电粒子的入射速度 $v < v_0$,入射带电粒子轨迹的形状类似,只不过在 x 轴的下方.从上面3种情况均可以看出:当速度选择器的平行板器件间距较大,同时长度“合适”,其实不同速度的带电粒子均可以穿过右边挡板上的小孔,从而失去速度选择功能.

4 问题改进

鉴于上面的分析,要提高速度选择器选择速度的精度,可以采取两种措施:

- (1) 减小平行板器件间距;
- (2) 平行板器件的长度最好是 $\frac{\pi m}{qB}v_0$ 的奇数倍.

这样可以最大限度地避免带电粒子从右边小孔中水平射出.当然,笔者认为课本在该题中,应该有意强调平行板器件间的间距很小,而不是在图中用一个容易产生误解的带小孔的右挡板,旨在挡住发生偏转的粒子.至于中学阶段,在平行板器件间距很小这种理想情况下,第二条措施就没有意义了.个人观点,如有不当,欢迎大家批评指正!