# 第一章 3 带电粒子在匀强磁场中的运动

## 问题？

在现代科学技术中，常常要研究带电粒子在磁场中的运动。如果沿着与磁场垂直的方向发射一束带电粒子，请猜想这束粒子在匀强磁场中的运动径迹，你猜想的依据是什么？

*v*

*q*

*B*

## 带电粒子在匀强磁场中的运动

要分析上述问题中带电粒子的运动，就需要分析粒子的受力情况。我们知道，带电粒子在磁场中运动要受到洛伦兹力的作用。由于带电粒子初速度的方向和洛伦兹力的方向都在与磁场方向垂直的平面内，所以粒子在这个平面内运动。

洛伦兹力总是与粒子的运动方向垂直，只改变粒子速度的方向，不改变粒子速度的大小。由于粒子速度的大小不变，粒子在匀强磁场中所受洛伦兹力的大小也不改变，洛伦兹力对粒子起到了向心力的作用。所以，沿着与磁场垂直的方向射入磁场的带电粒子，在匀强磁场中做匀速圆周运动（图1.3–1）。

*O*

*B*

*F = qvB*

*v*

*q*

图1.3–1 带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动

### 思考与讨论

垂直射入磁场的带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动，圆周的半径可能与哪些因素有关？周期可能与哪些因素有关？

## 带电粒子在磁场中做圆周运动的半径和周期

考虑到粒子所受的洛伦兹力提供了它做匀速圆周运动的向心力，列出方程来就不难得到几个物理量之间的关系式。然后就可以分别判断粒子的速度和磁场的强弱对圆半径的影响。

假设一个电荷量为 *q* 的粒子，在磁感应强度为 *B* 的匀强磁场中以速度 *v* 运动，那么带电粒子所受的洛伦兹力为

*F* = *qvB*

洛伦兹力提供向心力

*qvB* = *m*

由此可解得圆周运动的半径

*r* =

从这个结果可以看出，粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的半径与它的质量、速度成正比，与电荷量、磁感应强度成反比。

### 演示

**观察带电粒子的运动径迹**

图 1.3–2 是洛伦兹力演示仪的示意图。电子枪可以发射电子束。玻璃泡内充有稀薄的气体，在电子束通过时能够显示电子的径迹。励磁线圈能够在两个线圈之间产生匀强磁场，磁场的方向与两个线圈中心的连线平行。

*B*

*v*

励磁线圈

玻璃泡

电子枪

图1.3–2 洛伦兹力演示仪示意图

分别预测下列情况下带电粒子的运动径迹，然后用洛伦兹力演示仪进行检验。

1．不加磁场。

2．在玻璃泡中施加沿两线圈中心连线方向、由读者指向纸面的磁场。

3．保持出射电子的速度不变，改变磁感应强度。

4．保持磁感应强度不变，改变出射电子速度的大小和方向。

在上面的实验中，不加磁场时，电子束的径迹是一条直线（图1.3–3）。加磁场后电子束的径迹是一个圆（图1.3–4）。当电子束出射速度不变，磁感应强度变大时，这个圆的半径变小；当磁感应强度不变，电子束出射速度变大时，这个圆的半径变大。



图1.3–4 施加垂直于纸面的磁场后，电子束沿圆轨道运动

图1.3–3 没有磁场时电子束沿直线运动

我们还可以根据圆周运动的知识分析带电粒子做匀速圆周运动的周期。匀速圆周运动的周期 *T* = ，将 *r* = 代入，可得

*T* =

由此可见，带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的周期跟轨道半径和运动速度无关。这是一个很重要的结论，下一节介绍的回旋加速器就是依据这个原理制成的。

【例题】

一个质量为 1.67×10−27 kg、电荷量为 1.6×10−19 C 的带电粒子，以 5×105 m/s 的初速度沿与磁场垂直的方向射入磁感应强度为 0.2 T 的匀强磁场。

（1）求粒子所受的重力和洛伦兹力的大小之比。

（2）求粒子在磁场中运动的轨道半径。

（3）求粒子做匀速圆周运动的周期。

**分析** 依据所给数据分别计算出带电粒子所受的重力和洛伦兹力，就可求出所受重力与洛伦兹力之比。带电粒子在匀强磁场中受洛伦兹力并做匀速圆周运动，由此可以求出粒子运动的轨道半径及周期。

解 （1）粒子所受的重力

*G* = *mg* = 1.67×10−27 ×9.8 N = 1.64×10−26 N

所受的洛伦兹力

*F* = *qvB* = 1.6×10−19 ×5×105 ×0.2 N = 1.6×10−14 N

重力与洛伦兹力之比

= = 1.03×10−12

可见，带电粒子在磁场中运动时，洛伦兹力远大于重力，重力作用的影响可以忽略。

（2）带电粒子所受的洛伦兹力为

*F* = *qvB*

洛伦兹力提供向心力，故

*qvB* = *m*

由此得到粒子在磁场中运动的轨道半径

*r* = = m = 2.61×10−2 m

（3）粒子做匀速圆周运动的周期

*T* = = = s= 3.28×10−7 s

## 练习与应用

1．电子以 1.6×106 m/s 的速度沿着与磁场垂直的方向射入 *B* = 2.0×10−4 T 的匀强磁场中。求电子做匀速圆周运动的轨道半径和周期。

**参考解答**：4.6×10−2 m，1.8×10−7 s

2．已知氚核的质量约为质子质量的 3 倍，带正电荷，电荷量为一个元电荷；α 粒子即氦原子核，质量约为质子质量的 4 倍，带正电荷，电荷量为 *e* 的 2 倍。现在质子、氚核和 α 粒子在同一匀强磁场中做匀速圆周运动。求下列情况中它们运动的半径之比：

（1）它们的速度大小相等；

（2）它们由静止经过相同的加速电场加速后进入磁场。

**参考解答**：（1）1∶3∶2

（2）1∶∶

3．如图 1.3–5 所示，一个质量为*m*、电荷量为*q*的带负电荷的粒子，不计重力，从*x*轴上的*P*点以速度*v*射入第一象限内的匀强磁场中，并恰好垂直于*y*轴射出第一象限。已知*v*与*x*轴成60°角，*OP* = *α*。

*B*

*y*

*v*

*x*

*P*

*O*

60°

图 1.3–5

（1）求匀强磁场的磁感应强度*B*的大小。

（2）求带电粒子穿过第一象限所用的时间。

**参考解答**：（1）

（2）

# 第3节 带电粒子在匀强磁场中的运动 教学建议

## 1．教学目标

（1）知道带电粒子沿着与磁场垂直的方向射入匀强磁场会在磁场中做匀速圆周运动，能推导出匀速圆周运动的半径公式和周期公式，能解释有关的现象，解决有关实际问题。

（2）经历实验验证带电粒子在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动以及其运动半径与磁感应强度的大小和入射速度的大小有关的过程，体会物理理论必须经过实验检验。

（3）知道洛伦兹力作用下带电粒子做匀速圆周运动的周期与速度无关，能够联想其可能的应用。能用洛伦兹力分析带电粒子在匀强磁场中的圆周运动。了解带电粒子在匀强磁场中的偏转及其应用。

## 2．教材分析与教学建议

本节教材的内容属于洛伦兹力知识的应用，教材采用了先理论分析与推导再实验验证的顺序。这样的研究过程比较符合物理学的研究思路，同时使得前面学习过的力学知识与洛伦兹力产生了紧密的联系。通过力学知识的学习，学生对物体做匀速圆周运动的条件有了清晰的了解。对于带电粒子垂直于磁感应强度的方向进入磁场，根据带电粒子受到的洛伦兹力的特点，教师可以引导学生分析出：①粒子的运动方向和洛伦兹力的方向始终处于垂直于磁感应强度的平面内；②洛伦兹力不做功，不影响带电粒子运动的速度大小。进而得知洛伦兹力充当向心力，并推导得出半径的公式。得出理论分析的结论后，再做教材图 1.3–2 的实验，通过实验证明带电粒子做的是匀速圆周运动。让学生在这一学习过程中对理论与实践相结合的研究方法有所体会，并且在学习过程中体验到成功的喜悦。

### （1）问题引入

根据本节前的问题情境，可以提出以下问题让学生思考：如果沿着与磁场垂直的方向发射带电粒子，带电粒子受到的洛伦兹力的方向怎样？洛伦兹力与带电粒子的运动方向是否处于同一平而内？带电粒子做什么运动？

### （2）带电粒子在匀强磁场中的运动

可以先复习力学中匀速圆周运动的知识，回顾物体做匀速圆周运动的条件：①物体要受到一个始终与运动方向垂直的向心力作用；②向心力与物体的运动方向在同一个平面内；③向心力与物体的运动方向垂直，不做功，不改变物体速度的大小。如果带电粒子垂直于磁感应强度的方向射入磁场，根据粒子受到的洛伦兹力的特点可以推知带电粒子做匀速圆周运动。洛伦兹力提供向心力，根据力学知识推导出半径公式，然后再用实验验证。验证时可以先用洛伦兹力演示仪让学生观察带电粒子在不加磁场时的直线运动，并讲解演示装置，让学生弄清其中电场、励磁线圈、磁场方向等情况；再观察电子沿着与磁场垂直的方向射入匀强磁场，在磁场中运动的圆形轨迹；然后用洛伦兹力的知识对观察到的现象加以说明并进一步推断其半径与速度的关系，再用实验观察带电粒子速度改变时运动情况的变化，验证所推出的结呆。在学生观察之前，教师应该说明匀强磁场的产生、方向和电子束运动的方向。如果学生的基础比较好，也可以要求学生在观察实验前先根据洛伦兹力的有关知识判断电子束偏转的方向，并进行讨论，预测电子束的轨迹形状，然后与实验观察结果进行比较。

理解电子垂直进入匀强磁场会做匀速圆周运动是学习的难点。教学时可以让学生分组讨论，通过合作学习、教师梳理，明确以下几点：

①洛伦兹力总是垂直于带电粒子的速度方向，洛伦兹力对带电粒子不做功，带电粒子动能不变。

②洛伦兹力大小不变且方向始终与带电粒子运动方向垂直，刚好提供了带电粒子做圆周运动所需的向心力，即 *qvB* = 。

③根据洛伦兹力作为向心力推导出带电粒子的半径和周期的表达式，通过讨论 *r*、*T* 与哪些因素有关，并与实验现象相比较，让学生注意到粒子的运动周期与它的速度无关。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共 3 道习题。第 1、2 题直接考查带电粒子在匀强磁场中做圆周运动的半径和周期，加强对公式的理解和运用。第 3 题则需要通过分析洛伦兹力的方向，找圆心，定半径，画轨迹，通过几何作图找出半径大小，从而求出磁感应强度 *B* 的大小和运动的时间，加强学生分析问题的能力。

1．4.6×10−2 m，1.8×10−7 s

提示：由 *qvB* = ，得 *r* = ，代入数据得 *r* = 4.6×10−2 m。而 *T* = = ，代入数据得 *T* = 1.8×10−7 s。

2．（1）1∶3∶2 （2）1∶∶

提示：（1）由 *r* = ∝可知，*r*质子∶*r*氚核∶*r*α粒子 = ∶∶= 1∶3∶2。

（2）由 *qU* = *mv*2 和 *r* = ；得 *r* = ∝，所以 *r*质子∶*r*氚核∶*r*α粒子 = ∶∶= 1∶∶。

3．（1） （2）

提示：（1）由带电粒子在磁场中运动的几何关系可知 *a* = *r*sin60° = sin60°，求得 *B* = 。

（2）带电粒子的运动轨迹所对的圆心角为 120°，由周期 *T* = ，可求出 *t* = *T* = 。