

第2节 磁场对运动电荷的作用力

课时学习素养目标：1.结合演示实验，认识洛伦兹力。会用左手定则判断洛伦兹力的方向。（物理观念、科学思维）

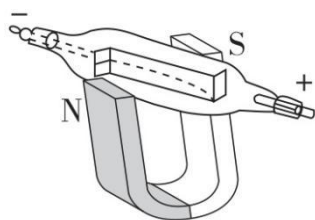
2.掌握洛伦兹力公式的推导过程，会用公式分析求解洛伦兹力。（科学思维）

3.知道电视机显像管的基本结构和工作原理。（物理观念）

4.会分析带电体在洛伦兹力作用下的运动。（科学思维）

任务学习一 洛伦兹力的方向

抽成真空的玻璃管左右两个电极分别连接到高压电源两极时，阴极会发射电子。电子在电场的加速下飞向阳极。没有磁场时，电子束的径迹呈一条直线。如果在电子束的路径上施加磁场，电子束会发生弯曲。此实验说明了什么？



【答案】实验表明，电子束受到磁场的力的作用，径迹发生了弯曲。

新知梳理

1. **洛伦兹力：**_____在磁场中受到的力。

【答案】运动电荷

2. **电子束在磁场中的偏转**

(1) 没有磁场时，电子束的径迹呈_____。

(2) 在电子束路径上施加磁场，电子束的径迹会发生_____。

(3) 改变磁场方向，使其与原来方向相反，电子束的径迹会向_____的方向发生弯曲。

【答案】 (1) 一条直线

(2) 弯曲

(3) 相反

3. **左手定则：**伸开左手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内；让磁感线从_____垂直进入，并使四指指向_____的方向，这时_____所指的方向就是运动的正电荷在磁场中所受洛伦兹力的方向。

【答案】掌心； 正电荷运动； 拇指

4. 洛伦兹力方向的特点：与电荷运动方向和磁感应强度的方向都_____。

【答案】垂直

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 运动电荷在磁感应强度不为零的地方，一定会受到洛伦兹力的作用。()

(2) 运动电荷在某处不受洛伦兹力的作用，则该处的磁感应强度一定为零。()

(3) 用左手定则判断洛伦兹力方向时，四指的指向与正电荷运动方向相同。()

【答案】(1) ×

(2) ×

(3) ✓

【解析】

(1) 运动电荷在磁感应强度不为零的地方，当速度方向与磁感应强度方向平行时，不受洛伦兹力的作用。

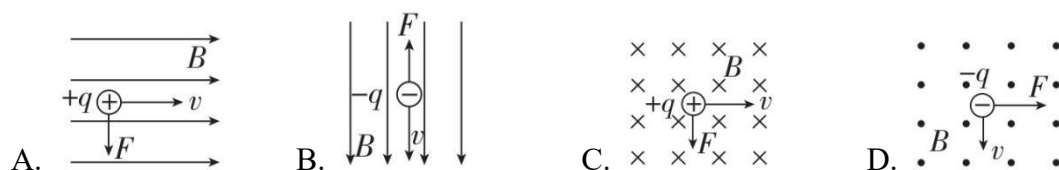
(2) 运动电荷在某处不受洛伦兹力的作用，可能是运动方向与磁场方向平行。

2. 用左手定则判断安培力方向与判断洛伦兹力方向时有什么区别与联系？

【答案】都是磁感线从掌心垂直进入，拇指指向受力方向，不同的是判断安培力方向时四指指向电流方向，判断洛伦兹力方向时四指指向正电荷运动方向或负电荷运动反方向，而正电荷的定向运动方向或负电荷定向运动的反方向即电流的方向。

典例精讲

例 1 下列表示运动电荷在磁场中所受洛伦兹力的方向正确的是 ()



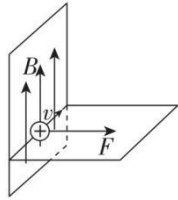
【答案】DA

【解析】图中电荷不受洛伦兹力，选项 A 错误；B 图中电荷不受洛伦兹力，选项 B 错误；根据左手定则可知，C 图中正电荷所受洛伦兹力方向向上，选项 C 错误；根据左手定则可知，D 图中负电荷所受洛伦兹力方向向右，选项 D 正确。

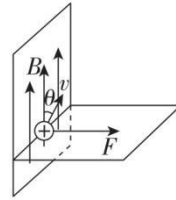
总结归纳

1. 洛伦兹力的方向

(1) $F \perp B$, $F \perp v$, 即 F 的方向总是垂直于 v 和 B 确定的平面, 但 B 与 v 不一定垂直, 如图甲、乙所示。



甲 v 与 B 垂直



乙 v 与 B 不垂直

(2) 洛伦兹力方向的判断

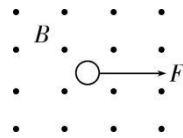
在用左手定则判断运动的电荷在磁场中所受洛伦兹力的方向时, 对于正电荷, 四指指向电荷的运动方向; 但对于负电荷, 四指应指向电荷运动的反方向。

2. 洛伦兹力方向的特点

洛伦兹力的方向随电荷运动方向的变化而变化。但无论怎样变化, 洛伦兹力都与电荷运动方向垂直。

迁移应用

1. 匀强磁场中一个运动的带电粒子, 受到洛伦兹力 F 的方向如图所示, 则该粒子所带电荷的电性和运动方向可能是 ()

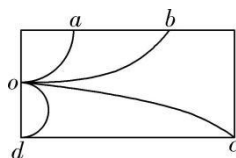


- A. 粒子带负电, 向下运动
- B. 粒子带正电, 向左运动
- C. 粒子带负电, 向上运动
- D. 粒子带正电, 向右运动

【答案】 A

【解析】 根据左手定则, 让磁感线从掌心垂直进入, 拇指指向 F 的方向, 则四指指向上, 存在两种可能: 粒子带正电且向上运动, 或粒子带负电且向下运动。故 A 正确, B、C、D 错误。

2. 带电粒子 (重力不计) 穿过饱和蒸汽时, 在它的路径上饱和蒸汽便凝成小液滴, 从而显示了粒子的径迹, 这是云室的原理。如图所示是云室的照片, 云室中加了垂直于照片向外的匀强磁场, 图中 oa 、 ob 、 oc 、 od 是从 o 点射出的四种粒子的径迹, 下列说法正确的是 ()



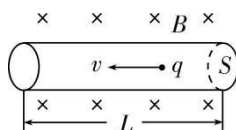
- A. 四种粒子都带正电
- B. 四种粒子都带负电
- C. 打到a、b点的粒子带正电
- D. 打到c、d点的粒子带正电

【答案】D

【解析】由左手定则知打到a、b点的粒子带负电，打到c、d点的粒子带正电，D正确。

任务学习二 洛伦兹力的大小

如图所示，匀强磁场的磁感应强度为 B 。设磁场中有一段长度为 L 的通电导线，横截面积为 S ，单位体积中含有的自由电荷数为 n ，每个自由电荷的电荷量为 q 且定向运动的速率都是 v 。



- (1) 导线中的电流是多少？导线在磁场中所受安培力多大？
- (2) 长为 L 的导线中含有的自由电荷数为多少？每个自由电荷所受洛伦兹力多大？

【答案】(1) $I = nqvS$, $F_{安} = ILB = nqvSLB$ 。

(2) $N = nSL$, $F_{洛} = \frac{F_{安}}{N} = qvB$ 。

新知梳理

- 1. 当 $v \perp B$ 时, $F =$ _____。

【答案】 qvB

- 2. 当 $v // B$ 时, $F =$ _____。

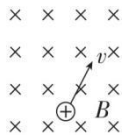
【答案】0

- 3. 当 v 与 B 成 θ 角时, $F =$ _____。

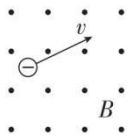
【答案】 $qvB\sin\theta$

典例精讲

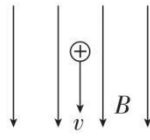
例2 如图所示，匀强磁场的磁感应强度大小均为 B ，带电粒子的速率均为 v ，带电荷量均为 q ，下列带电粒子所受洛伦兹力的大小和方向正确的是（ ）



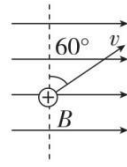
甲



乙



丙



丁

- A. 图甲为 $F_{洛} = qvB$ ，方向与 v 垂直斜向左上方
- B. 图乙为 $F_{洛} = qvB$ ，方向与 v 垂直斜向右下方
- C. 图丙为 $F_{洛} = qvB$ ，方向垂直纸面向外
- D. 图丁为 $F_{洛} = qvB$ ，方向垂直纸面向里

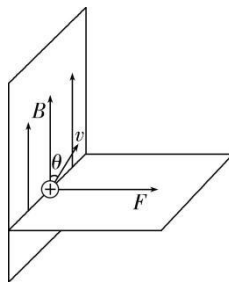
【答案】 A

【解析】 根据左手定则可知，题图甲中洛伦兹力方向应该垂直运动方向斜向左上方，由于 B 和 v 垂直，故洛伦兹力大小为 Bqv ，故 A 正确；题图乙中为负电荷，其所受洛伦兹力方向垂直于运动方向斜向左上方，由于 B 和 v 垂直，故洛伦兹力大小为 Bqv ，故 B 错误；题图丙中速度方向与磁场方向平行，不受洛伦兹力，故 C 错误；题图丁中将速度分解到水平方向和竖直方向，则洛伦兹力大小为 $Bqv\cos 60^\circ = \frac{Bqv}{2}$ ，方向垂直于纸面向里，故 D 错误。

总结归纳

1. 洛伦兹力的大小

一般表达式： $F = qvB\sin\theta$ ， θ 为 v 与 B 的夹角，如图所示。



(1) 当 $v \perp B$ 时，洛伦兹力最大。

(2) 当 $v // B$ 时，不受洛伦兹力。

(3) 当粒子运动方向与磁场方向夹角为 θ 时，将 v 分解为 $v_{//}$ 和 v_{\perp} ，其中 $v_{\perp} = v\sin\theta$ ，则 $F = qvB\sin\theta$ 。

2. 洛伦兹力与安培力的区别和联系

(1) 区别：洛伦兹力方向始终与速度方向垂直，恒不做功，而安培力可以做功。

(2) 联系：安培力是洛伦兹力的宏观表现，洛伦兹力是安培力的微观本质。

迁移应用

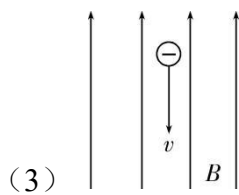
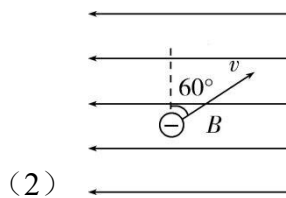
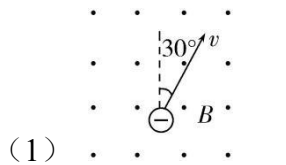
3. 两个带电粒子以相同的速度垂直磁感线方向进入同一匀强磁场，两粒子质量之比为 1:4，电荷量之比为 1:2，则刚进入磁场时两带电粒子所受洛伦兹力之比为 ()

- A. 2:1 B. 1:1 C. 1:2 D. 1:4

【答案】 C

【解析】 带电粒子的速度方向与磁感线方向垂直时，洛伦兹力 $F = qvB$ ，与电荷量成正比，与质量无关，故 C 正确。

4. 在如图所示的各图中，匀强磁场的磁感应强度均为 B ，带电粒子的速度均为 v 、带电荷量均为 q 。试求出图中带电粒子所受洛伦兹力的大小，并指出洛伦兹力的方向。



【答案】 (1) qvB ；垂直于 v 指向左上方

(2) $\frac{1}{2}qvB$ ；垂直于纸面向里

(3) 不受洛伦兹力

【解析】

(1) 因 $v \perp B$ ，所以 $F = qvB$ ，方向与 v 垂直指向左上方。

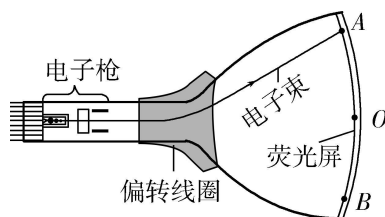
(2) v 与 B 的夹角为 30° ，将 v 分解成垂直于磁场的分量和平行于磁场的分量， $v_{\perp} = v\sin 30^\circ$ ， $F = qvB\sin 30^\circ = \frac{1}{2}qvB$ ，方向垂直于纸面向里。

(3) 由于 v 与 B 平行，所以带电粒子不受洛伦兹力。

任务学习三 电子束的磁偏转

新知梳理

1. **显像管的构造**：如图所示，由电子枪、_____和荧光屏组成。



【答案】 偏转线圈

2. **原理**

- (1) 电子枪_____。
- (2) 电子束在磁场中_____。
- (3) 荧光屏被电子束撞击发光。

【答案】 (1) 发射电子

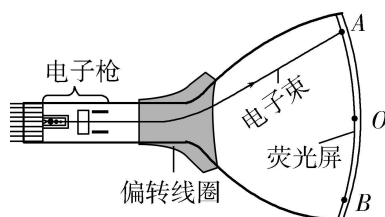
(2) 偏转

3. **扫描**：在偏转区的水平方向和竖直方向都有偏转磁场，其方向、强弱都在_____，使得电子束打在荧光屏上的光点不断移动。

【答案】 不断变化

典例精讲

例3 如图所示为电视机显像管的原理示意图（俯视图），电子枪发射的电子束经加速电场加速后，再经过偏转线圈打到荧光屏上。当偏转线圈产生的偏转磁场方向和强弱不断变化时，电子束打在荧光屏上的光点就会移动，从而实现扫描。下列关于荧光屏上光点的说法正确的是（ ）



- A. 光点打在A点，则磁场垂直纸面向里
- B. 从A向O扫描，则磁场垂直纸面向外且不断增强

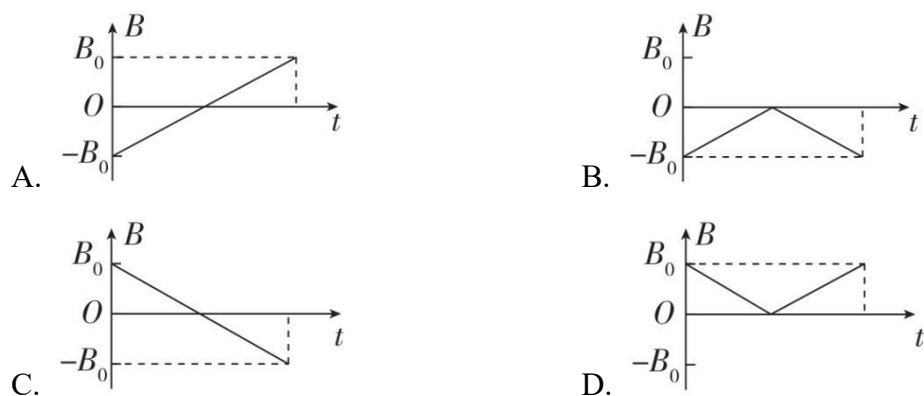
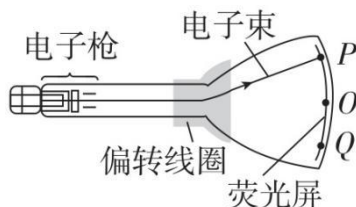
- C. 从 O 向 B 扫描, 则磁场垂直纸面向里且不断减弱
 D. 从 A 向 B 扫描, 则磁场先垂直纸面向外后垂直纸面向里

【答案】D

【解析】光点打在 A 点, 则电子束在偏转磁场中所受洛伦兹力方向为沿纸面向上, 根据左手定则, 磁场垂直纸面向外, 故 A 错误; 从 A 向 O 扫描, 则电子束在偏转磁场中所受洛伦兹力方向一直为沿纸面向上且不断减小, 根据左手定则, 磁场一直垂直纸面向外, 且磁感应强度减小, 故 B 错误; 从 O 向 B 扫描, 则电子束在偏转磁场中所受洛伦兹力方向一直为沿纸面向下且不断增大, 根据左手定则, 磁场一直垂直纸面向里, 且磁感应强度增大, 故 C 错误; 从 A 向 B 扫描, 其中从 A 向 O 扫描过程磁场垂直纸面向外, 从 O 向 B 扫描过程磁场垂直纸面向里, 故 D 正确。

迁移应用

5. 显像管的原理示意图如图所示, 当没有磁场时电子束打在荧光屏正中的 O 点。安装在管颈上的偏转线圈可以产生磁场, 使电子束发生偏转。设垂直纸面向里的磁场方向为正方向, 如果要使电子束打在荧光屏上的位置由 P 点逐渐移动到 Q 点(P 点与 Q 点到 O 点的距离相同), 下列磁场能够使电子束发生上述偏转的是 ()



【答案】A

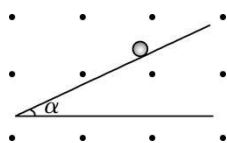
【解析】要使电子束打在荧光屏上的位置由 P 点逐渐移动到 Q 点, 可知电子先向上偏转后向下偏转, P 到 O 过程中所受洛伦兹力向上, O 到 Q 过程中所受洛伦兹力向下, 根据左手定则知, 能够使电子束发生上述偏转的磁场是选项 A 。

任务学习四 带电体在磁场中的运动

- 1.带电体在匀强磁场中速度变化时洛伦兹力往往随之变化，并进一步导致弹力、摩擦力的变化，带电体将在变力作用下做变加速运动。
- 2.利用牛顿运动定律和平衡条件分析各物理量的动态变化时要注意弹力为零的临界状态，此状态通常是弹力方向发生改变的转折点。

典例精讲

例4 如图所示，质量为 m 、电荷量为 q 的小球，在倾角为 α 的光滑斜面上由静止开始向下运动，匀强磁场的磁感应强度为 B ，方向垂直纸面向外，若带电小球某个时刻对斜面的压力恰好为零，(重力加速度为 g)问：



- (1) 小球带电性质如何？
- (2) 此时小球的速度和位移分别是多大？

【答案】 (1) 带正电

(2) $\frac{mg\cos\alpha}{qB}$ $\frac{m^2g\cos^2\alpha}{2q^2B^2\sin\alpha}$

【解析】

(1) 小球沿斜面向下运动，某个时刻对斜面的压力为零，则其受到的洛伦兹力应垂直斜面向上，根据左手定则，四指指向与小球的运动方向一致，所以小球带正电。

(2) 当小球对斜面的压力为零时，有 $mg\cos\alpha = qvB$ 可知小球此时的速度为 $v = \frac{mg\cos\alpha}{qB}$ 由于小球所受合力为重力沿斜面向下的分力，故小球做匀加速直线运动，加速度为 $a = g\sin\alpha$ 由匀加速直线运动的规律有 $v^2 = 2ax$ 得小球的位移为 $x =$

$$\frac{m^2g\cos^2\alpha}{2q^2B^2\sin\alpha}$$

总结归纳

求解带电体在磁场中的运动问题的解题步骤

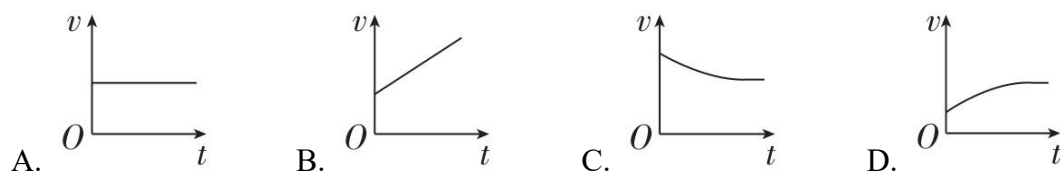
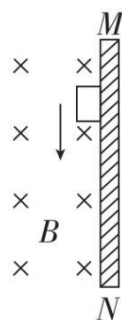
- 1.确定研究对象，即带电体；
- 2.确定带电体所带电荷的正、负以及速度方向；
- 3.由左手定则判断带电体所受洛伦兹力的方向，并作出受力分析图；

4.由平行四边形定则、三角形定则或正交分解法等对力进行合成或分解，根据物体的平衡条件或牛顿第二定律列方程求解；

5.对于定性分析的问题还可以采用极限法进行推理，从而得到结论。

迁移应用

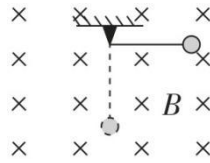
6. 多选题 如图所示，粗糙木板MN竖直固定在方向垂直纸面向里的匀强磁场中。 $t = 0$ 时，一个质量为 m 、电荷量为 q 的带正电物块沿MN以某一初速度竖直向下滑动，则物块运动的 $v - t$ 图像可能是（ ）



【答案】ACD

【解析】设初速度为 v_0 ，则 $F_N = Bqv_0$ ，若满足 $mg = F_f = \mu F_N$ ，即 $mg = \mu Bqv_0$ ，物块向下做匀速运动，A 正确；若 $mg > \mu Bqv_0$ ，则物块开始时有向下的加速度，由 $a = \frac{mg - \mu Bqv_0}{m}$ 可知，随着速度增加，加速度减小，即物块先做加速度减小的加速运动，最后达到匀速状态，B 错误，D 正确；若 $mg < \mu Bqv_0$ ，则物块开始有向上的加速度，做减速运动，由 $a = \frac{\mu Bqv_0 - mg}{m}$ 可知，随着速度减小，加速度减小，即物块先做加速度减小的减速运动，最后达到匀速状态，C 正确。

7. 用一根长 $L = 0.8\text{m}$ 的悬线，吊一质量为 $m = 1\text{g}$ 的带电小球，放在磁感应强度 $B = 1\text{T}$ 、方向如图所示的匀强磁场中，将小球拉到与悬点等高处由图示位置静止释放，小球便在垂直于磁场的竖直平面内摆动，当球第一次摆到最低点时，悬线的张力恰好为零(重力加速度 g 取 10m/s^2)，则小球第二次经过最低点时，悬线对小球的拉力为多大？



【答案】 0.06N

【解析】 设小球第一次到达最低点时速度为 v ，由动能定理可得

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

解得 $v = 4\text{m/s}$

由圆周运动规律及牛顿第二定律可知

$$\text{第一次经过最低点时，有 } Bqv - mg = m\frac{v^2}{L}$$

$$\text{第二次经过最低点时，有 } F - qvB - mg = m\frac{v^2}{L}$$

联立解得 $F = 0.06\text{N}$