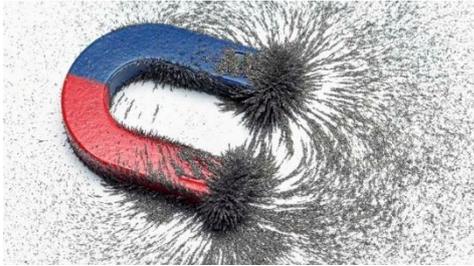


## 第 23 章：电流与磁场

### 23.1 磁场

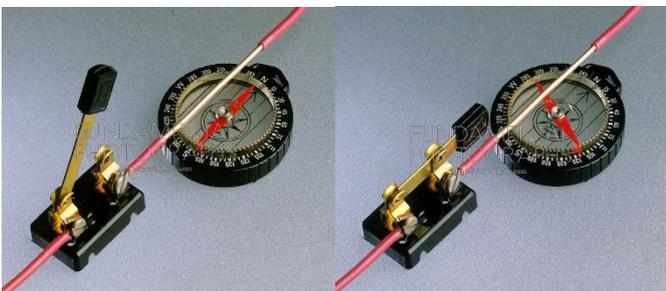
#### 磁现象

1. 能够吸引铁质物体的性质称为\_\_\_\_\_。
2. 具有磁性的物体称为\_\_\_\_\_。
3. 磁体的各部分磁性强弱不同，磁性最强的区域称为\_\_\_\_\_。



#### 电流的磁效应

1. 1820 年，丹麦物理学家奥斯特发现电流周围存在磁场——\_\_\_\_\_。
2. 奥斯特实验：直导线沿南北方向水平放置，磁针水平地放在导线下方或上方。
3. 地磁场使磁针指向南北方向，通电直导线能改变磁针的指向说明通电直导线周围产生了磁场。

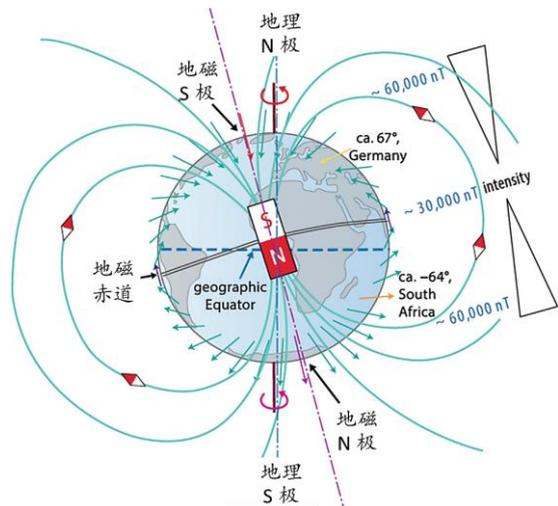


#### 磁场

1. 磁体或通电导体周围存在一种特殊物质，能够传递磁体与磁体之间、磁体与通电导体之间、通电导体与通电导体之间的相互作用，这种特殊的物质叫\_\_\_\_\_。
2. 磁场的基本特性是对处于磁场中的磁体、电流和运动电荷有磁场力的作用。

#### 地球的磁场

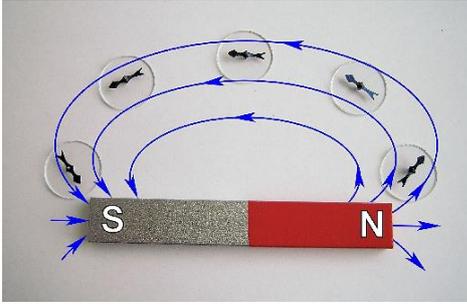
1. \_\_\_\_\_是指地球周围空间分布的磁场，它跟条形磁铁的磁场相似。
2. 地磁的 N 极在地球地理南极附近，地磁的 S 极在地球地理北极附近。
3. 地球地理北极和地磁的 S 极之间的夹角叫\_\_\_\_\_。
4. 磁针和水平方向形成的夹角叫\_\_\_\_\_。
5. 磁倾角为零的各个点连起来形成的连线叫作地磁赤道。
6. 磁针的 N 极向下倾的时候，磁倾角是正的；磁针的 N 极向上翘的时候，磁倾角是负的。
7. 磁偏角和磁倾角决定地磁场的方向，\_\_\_\_\_决定地磁场的大小。



### 23.2 磁场的方向、磁感线

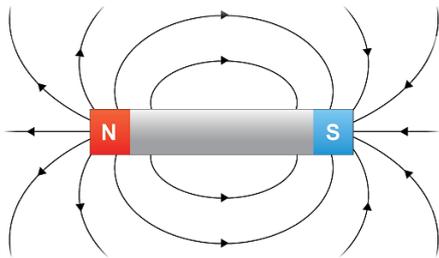
#### 磁场的方向

1. 小磁针在静止时\_\_\_\_\_为该点\_\_\_\_\_。
2. 在\_\_\_\_\_，磁感线从\_\_\_\_\_的方向，在\_\_\_\_\_是由\_\_\_\_\_。



### 磁感线

- 在磁场中画出一些曲线，使曲线上任何一点的切线方向都跟这一点的磁场方向相同，这些曲线叫\_\_\_\_\_。
- 磁感线的特点：
  - 磁感线是\_\_\_\_\_，磁铁外部的磁感线是从北极出来，回到磁铁的南极，内部是从南极到北极。
  - 磁感线\_\_\_\_\_。
  - 磁感线上每一点的\_\_\_\_\_都表示该点的\_\_\_\_\_。
  - 磁感线的\_\_\_\_\_表示\_\_\_\_\_。

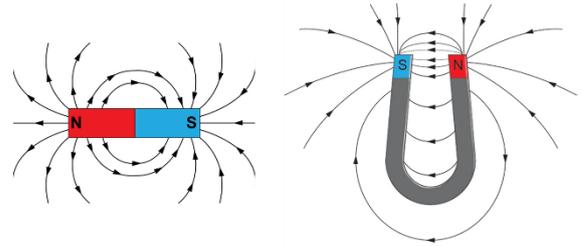


- 当磁感线方向与纸面垂直时，“•”表示磁感线垂直纸面向外，“×”表示磁感线垂直纸面向内。
- 磁感线与电场线的对比：

| 项目  |      | 磁感线                  | 电场线  |
|-----|------|----------------------|------|
| 相似点 | 引入目的 | 形象地描述场而引入的假想线，实际不存在。 |      |
|     | 疏密   |                      | 场的强弱 |
|     | 切线方向 |                      | 场的方向 |
|     | 是否相交 |                      | 不能相交 |
| 不同点 |      | 闭合曲线                 | 不闭合  |

### 几种常见的磁场

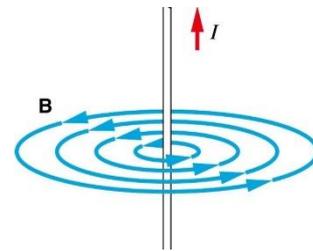
- 磁体的磁感线分布：



- 通电导线的磁场方向可以用\_\_\_\_\_来判断：

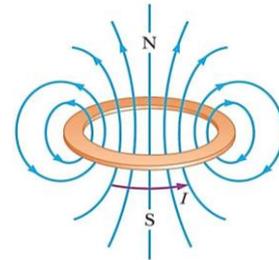
#### a) 直线电流

右手握住导线，让伸直的拇指指向电流的方向，弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向。



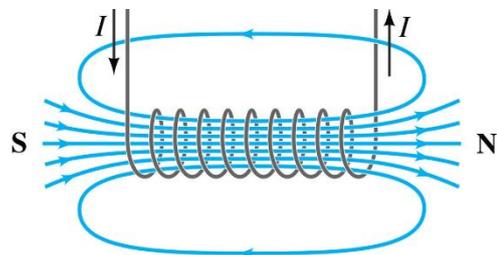
#### b) 环形电流

右手弯曲的四指与环形电流的方向一致，伸直的拇指所指的方向就是环形导线轴线上磁感线的方向。



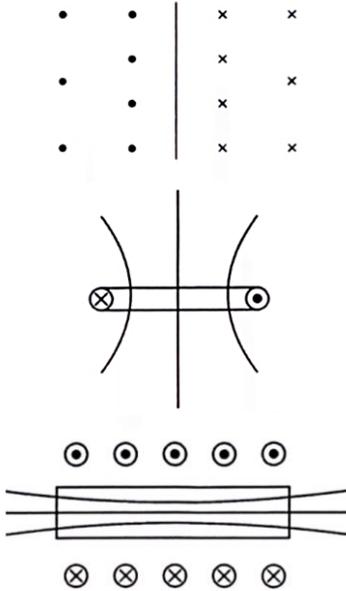
#### c) 通电螺线管

右手握住螺线管，让弯曲的四指与电流方向一致，伸直的拇指所指的方向就是螺线管内部磁感线的方向。

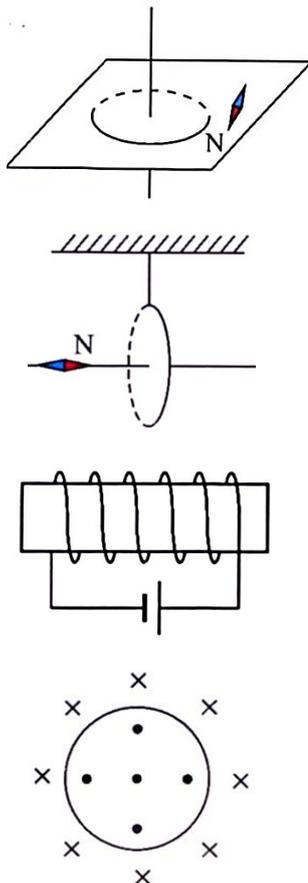


例子:

1. 如图所示, 在各图中补画出电流方向或磁感线方向。(⊙表示电流垂直纸面向外, ⊗表示电流垂直纸面向里。)



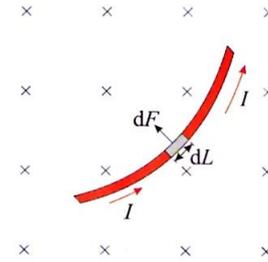
2. 根据图中给出的电流方向或磁场方向, 画出对应的磁感线(标上方向)或电流方向。



### 23.3 磁感应强度

#### 磁感应强度的定义

1. 物理学中, 很短一段通电导线中的电流  $I$  与导线小段长度  $dL$  的乘积  $IdL$  叫作\_\_\_\_\_。我们可用一小段电流元来检验磁场的强弱与方向。



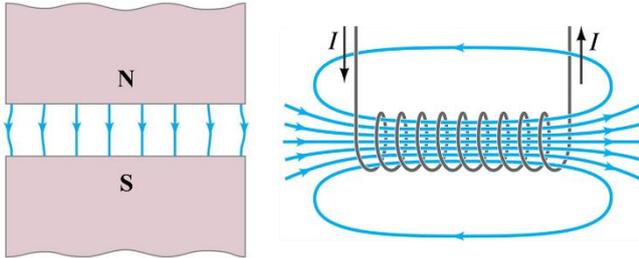
| 项目  | 磁感应强度  |
|-----|--|
| 内容  | 在磁场中垂直于磁场方向的通电导线, 所受的磁场力 $F$ 跟电流 $I$ 和导线长度 $L$ 的乘积的比值等于该处的磁感应强度 $B$ 。                  |
| 公式  | $B = \frac{F}{IL}$ $B$ = 磁感应强度<br>$F$ = 通电导线与磁场方向垂直时受到的力<br>$I$ = 导线中的电流<br>$L$ = 导线长度 |
| 单位  | $T / NA^{-1}m^{-1} / Wbm^{-2}$   |
| 标矢性 | 矢量 (磁场中小磁针静止时N极的指向)  |
| 意义  | 用来描述磁场的强弱  |

例子:

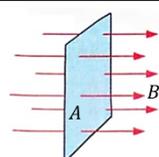
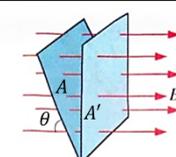
- 匀强磁场中有一根与磁场方向垂直的通电导线, 导线长 1.2 m, 电流强度是 5.0 A, 它受到的磁场力为 1.8 N, 求这个位置的磁感应强度。 [0.3 T]
- 长 10 cm 的导线放在匀强磁场中, 导线方向与磁场方向垂直, 导线中的电流是 3 A 时, 它受到的磁场力是  $1.5 \times 10^{-3} N$ 。求磁场的磁感强度。 [ $5 \times 10^{-3} T$ ]

### 匀强磁场

1. 磁感应强度的大小相等、方向相同，这个磁场就叫\_\_\_\_\_。
2. 匀强磁场的磁感线是相互平行且等间隔的直线。

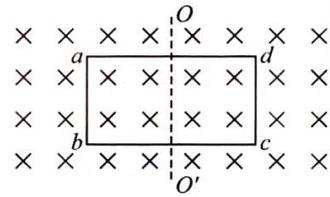


### 磁通量

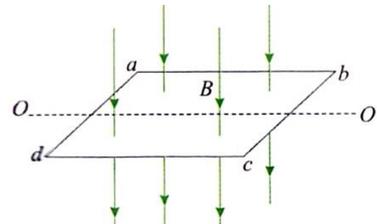
| 项目  | 磁通量  |
|-----|--|
| 内容  | 在磁感应强度为 $B$ 的匀强磁场中，有一个与磁场方向垂直的平面，面积为 $A$ ， $B$ 与 $S$ 的乘积叫穿过这个面积的磁通量。   |
| 公式  |  $\Phi = BA$<br> $\Phi = BA \sin \theta$<br>$\Phi$ = 穿过此面积的磁通量<br>$B$ = 磁感应强度 $A$ = 面积<br>$\theta$ = $A$ 与 $B$ 的夹角 |
| 单位  | $Wb / Tm^2$  |
| 标矢性 | 标量   |
| 意义  | 表示穿过这个面的磁感线条数  |

1. 对于同一个平面，当它跟磁场方向\_\_\_\_\_时，穿过它的磁感线条数最多，\_\_\_\_\_。当它跟磁场方向\_\_\_\_\_时，没有磁感线穿过它，则\_\_\_\_\_。
2. 从  $\Phi = BA$  可以得出  $B = \frac{\Phi}{A}$ ，这表示磁感应强度等于穿过单位正对面积的磁通量，因此，工程技术人员常把磁感应强度叫作\_\_\_\_\_。

### 例子:

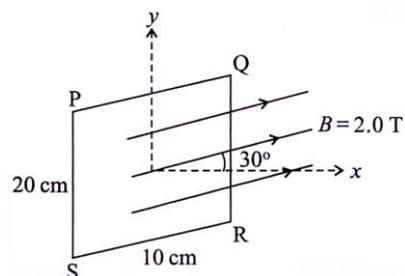


1. 如图所示，一个面积为  $0.5 m^2$  的长方形线圈  $abcd$ ，线框平面与磁感应强度为  $2 T$  的匀强磁场方向垂直，求：
  - a) 此时穿过线圈的磁通量。 [1 Wb]
  - b) 当线圈以  $OO'$  为轴从图中位置转过  $60^\circ$  时，穿过线圈的磁通量。 [0.5 Wb]



2. 水平放置的线圈  $abcd$  的面积为  $0.2 m^2$ ，处在竖直向下的匀强磁场中，如图所示，穿过线圈的磁通量为  $0.06 Wb$ 。求：
  - a) 磁场的磁感应强度。 [0.3 T]
  - b) 当线圈绕轴  $OO'$  转过  $30^\circ$  时，穿过线圈的磁通量。 [0.052 Wb]

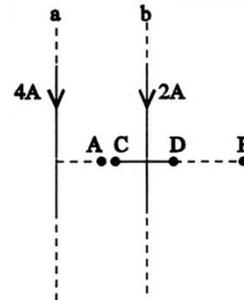
### 统考题:



如图所示，匀强磁场的磁感强度为 2.0 T，方向与水平  $x$  轴成  $30^\circ$  角。矩形线圈 PQRS 的边长为 10 cm 及 20 cm，置于竖直的  $y$  轴面内。求穿过该线圈的磁通量大小。

- A. 0.040 Wb                      B. 0.035 Wb  
C. 0.020 Wb                      D. 0.012 Wb

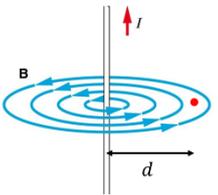
2016 年



3. 有两根相互平行的长直导线 a、b，相距 15 cm，通过两导线的电流大小和方向如图所示。在两导线所在的平面内，两电流产生的磁场中，磁感强度为零的点到两导线 a、b 的距离分别应为：
- A. 10 cm 和 5 cm，在图中 A 点；  
B. 30 cm 和 15 cm，在图中 B 点；  
C. 12 cm 和 3 cm，在图中 C 点；  
D. 20 cm 和 5 cm，在图中 D 点

### 23.4 通电直导体的磁场和通电螺线管的磁场

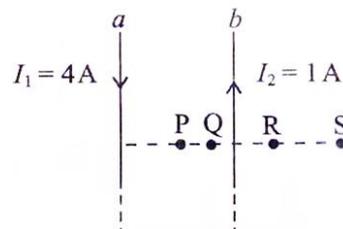
#### 通电直导体的磁场

| 项目   | 通电直导体的磁场   |
|------|--|
| 公式   |  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$ <p> <math>B</math> = 磁感应强度      <math>\mu_0</math> = 真空中的磁导率<br/> <math>I</math> = 导线中电流      <math>d</math> = 离开导线的距离         </p> |
| 适用条件 | 直导线的长度远大于离开导线的距离，除了导线两端附近。   |

#### 例子：

- 在一根竖直放置的长直导线中，通以自下而上、大小为 10 A 的直流电流，在距导线 20 cm 处的磁感应强度是多大？  
[ $1 \times 10^{-5}$  T]
- 一条东西方向放置的长直导线，通以 10 A 的直流电流，电流的方向由东向西，问：导线正下方 5 cm 处的磁感应强度有多大？方向如何？(地磁场忽略不计)  
[ $4 \times 10^{-5}$  T; 南]

#### 统考题：



两根相互平行的长直导线 a、b 相距 15 cm。通过两导线的电流大小和方向如图所示。在两导线所在的平面内，两电流产生的磁场中标有四点 P、Q、R 及 S。哪个点的磁感强度为零？此点到两导线 a、b 的距离分别是多少？

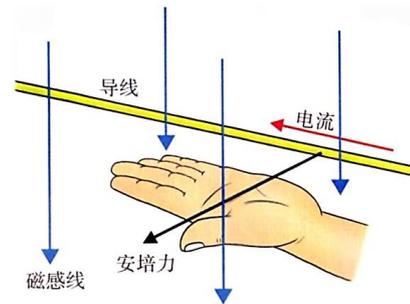
- A. P 点...10 cm 和 5 cm
- B. Q 点... 12 cm 和 3 cm
- C. R 点... 20 cm 和 5 cm
- D. S 点... 30 cm 和 15 cm

2004 年

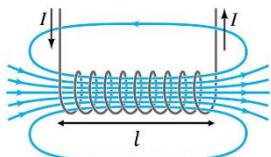
### 23.5 磁场对电流的作用力

#### 安培力的方向

1. 通电导线在磁场中受的力称之为\_\_\_\_\_。
2. 磁场、电流和安培力三者之间的方向关系可用\_\_\_\_\_来判断：摊开左手掌，使拇指与其余四指垂直，并且都与手掌在同一个平面内，让磁感线从掌心进入，并使四指指向电流的方向，这时拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受的安培力的方向。

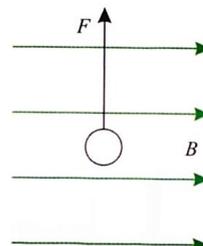
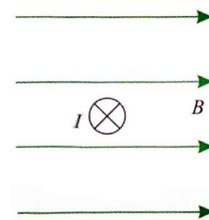


#### 通电螺线管的磁场

| 项目   | 通电螺线管的磁场   |
|------|--|
| 公式   |  $B = \frac{\mu_0 NI}{l}$ <p> <math>B</math> = 磁感应强度      <math>\mu_0</math> = 真空中的磁导率<br/> <math>N</math> = 总匝数            <math>I</math> = 导线中电流<br/> <math>l</math> = 管长         </p> |
| 适用条件 | 管长远大于管径，除了两管口附近处。  |

#### 例子：

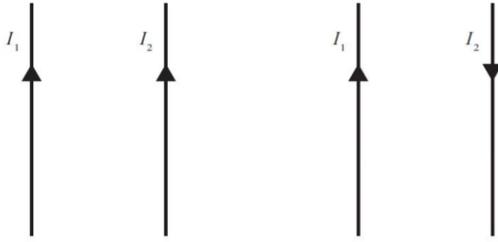
1. 如图所示，磁场中有一条通电直导线，其方向与磁场方向垂直。图中分别标明了电流  $I$ 、磁感应强度  $B$ 、安培力  $F$  三个物理量中两个量的方向，试画出第三个量的方向。



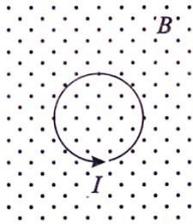
#### 例子：

1. 某长直螺线管长 10 cm，绕有 500 匝线圈，当通过的电流为 2 A 时，螺线管内中轴线上的磁感应强度是多大？ [0.0126 T]
2. 一细长螺线管，长 10 cm，绕有 500 匝导线，通过的电流为 1 A 时，螺线管内中部的磁感强度有多大？ [6.28 × 10<sup>-3</sup> T]

2. 有两根相互平行的长直导线，通过两导线的电流方向如图所示。试画出两根导线的安培力方向。



**统考题：**



一个可伸缩的环形带电导线垂直放置在一个均匀的磁场内。环形导线上的电流及磁场的方向如图所示，则这个环形导线将\_\_\_\_\_。

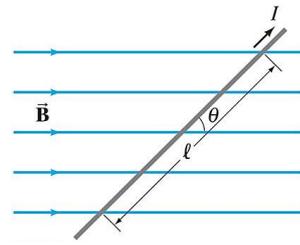
- A. 向内收缩
- B. 向外扩张
- C. 向上移动
- D. 绕着其中一直径转动

2015 年

**例子：**

1. 一根长 2 m 的直导线，通有 1 A 的电流，放在磁感强度为 0.2 T 的匀强磁场中，当导线与磁感线的方向成  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $90^\circ$  时，导线所受的安培力各是多大？

[0 N; 0.2 N; 0.4 N]

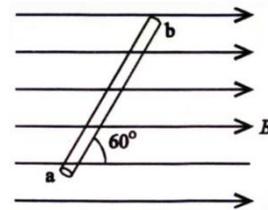


2. 如图所示，在磁感强度为 0.5 T 的匀强磁场里，有一根与磁场方向成  $45^\circ$  角，长 12 cm 的通电导线。若通过的电流为 4 A，求导线所受的安培力大小和方向。

[0.17 N; 垂直于纸面指向内]

**安培力的大小**

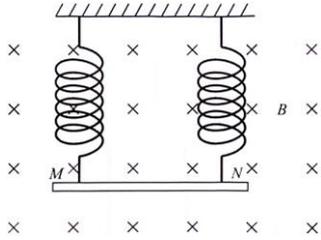
| 项目  | 安培力   |   |
|-----|---|---|
| 内容  | 通电导线在磁场中受的力   |   |
| 公式  | $F = BIL$<br>( $I$ 与 $B$ 垂直)                          | $F = BIL \sin \theta$<br>( $I$ 与 $B$ 成角度 $\theta$ ) |
|     | $F$ = 安培力<br>$I$ = 导线中的电流<br>$\theta$ = $I$ 与 $B$ 的夹角 | $B$ = 磁感应强度<br>$L$ = 导线长度                           |
| 单位  | N   |   |
| 标矢性 | 矢量 (可用左手定则判断)   |   |



3. 如图所示，在磁感强度为 0.04 T 的匀强磁场里，有一根与磁场方向成  $60^\circ$  角，长 10 cm 的通电导线 ab，它所受的安培力为 0.02 N，力的方向垂直于纸面指向读者。求导线中电流的大小和方向。

[5.77 A; b 流向 a]

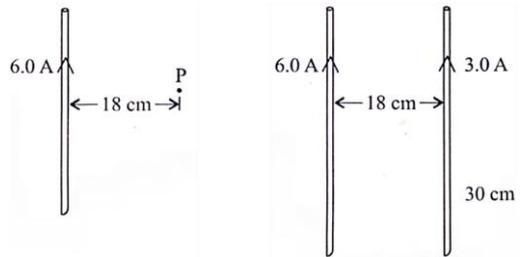
1. 当电流方向与磁场方向\_\_\_\_\_时，电流受到的\_\_\_\_\_；电流方向与磁场方向\_\_\_\_\_时，电流受到的\_\_\_\_\_。



4. 如图所示，在磁感应强度为 1 T 的匀强磁场中，有两根相同的轻质弹簧，下面悬挂一条长为 0.5 m、质量为 0.1 kg 的金属棒 MN，此时弹簧伸长 10 cm，欲使弹簧不伸长则棒上应通过多大的电流？方向如何？ [1.96 A; M 流向 N]

5. 两根相互平行的长直导线 X、Y，相距 3 cm，通过两导线的电流大小和方向如图所示。若两根导线长度为 80 cm，求导线 X 所受的安培力。 [ $5.33 \times 10^{-5} \text{ N}$ ; 向右]

**统考题：**

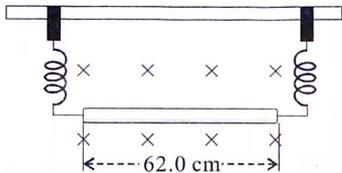


如图所示，提供一条长且直，并带有 6 A 的电线。

- 根据图一，计算从该电线距离 18 cm 的一个“P”点上的磁感应强度；
- 如图二所示，再提供另一条长度 30 cm 带有 3 A 的电线，以 18 cm 的距离与第一条电线平行排列。求第二条电线所受的磁力。

2007 年

**统考题：**



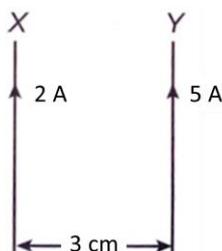
如图所示，一根 62.0 cm 长、13.0 g 质量的导线被两根可延长的引线悬挂在大小为 0.440 T 的匀强磁场中。试问，需要多大的电流才可使到两根承重引线中的张力为零？

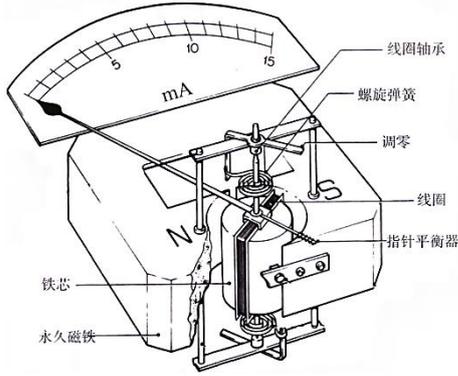
- A. 0.205 A                      B. 0.279 A  
 C. 0.289 A                      D. 0.467 A

2008 年

**安培力的应用**

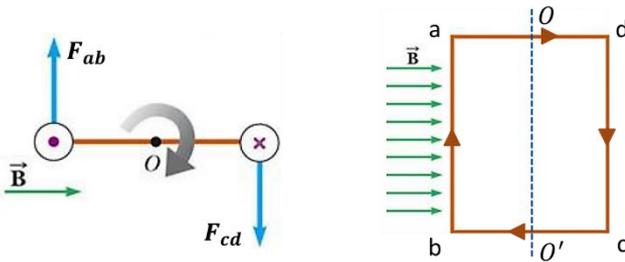
- 在一个蹄形磁铁的两极间有一个固定的圆柱形铁芯，铁芯外面套有一个可以绕轴转动的铝框，铝框上绕有线圈，铝框的转动轴上装有两个螺旋弹簧和一个指针，线圈的两端分别接在两个螺旋弹簧上，被测电流经过这两个弹簧流入线圈，由于安培力作用线圈转动，指针随之偏转。





2. 线圈在磁场中的受力情况:

- a) da 边和 bc 边与磁感线平行，所受的安培力都等于零；而 ab 和 cd 两个侧边和磁感应线垂直，它们受到的安培力为  $F_{ab} = F_{cd} = BI \cdot ab$



- b) 这一对大小相等、方向相反的安培力形成力偶，使线圈绕竖直轴  $OO'$  转动。

$$M_1 = BI \cdot ab \cdot ad = BIA$$

如果线圈共有  $N$  匝，那么总力偶矩为

$$M = BINA$$

- c) 当线圈转动时，线圈上、下的螺旋弹簧扭动，于是螺旋弹簧产生一个反方向的恢复力矩  $M'$ ，阻止线圈继续转动。当  $M'$  与  $M$  相等时，线圈就停在某一偏角上。

$$M' = M$$

$$k\theta = BINA$$

$$\theta = \frac{BINA}{k}$$

上式表明，线圈偏转的角度正比于通过线圈的电流大小。

### 23.6 磁场对运动电荷的作用力

#### 洛伦兹力

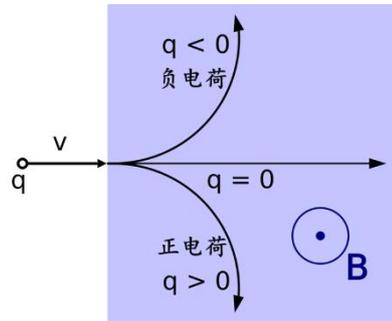
1. 运动电荷在磁场中受到的力称之为\_\_\_\_\_。

Prepared by: Mr. Ong Choong Min

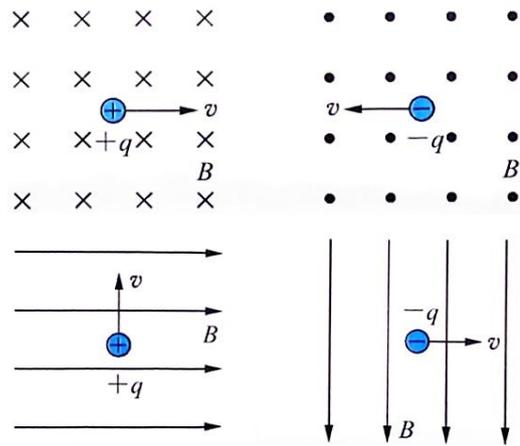
2. 洛伦兹力是单个运动电荷所受的磁场力。安培力是导线中所有定向移动的自由电荷受到的洛伦兹力的宏观表现。

#### 洛伦兹力的方向

1. 运动电荷在磁场中受到的洛伦兹力的方向可用\_\_\_\_\_来判定：摊开左手掌，使拇指与其余四指垂直，并且都与手掌在同一个平面内，让磁感线从掌心进入，并使四指指向正电荷运动的方向，这时拇指所指的方向就是运动正电荷在磁场中所受洛伦兹力的方向。如果是负电荷在运动，受力的方向将与正电荷受力的方向相反。



#### 例子:

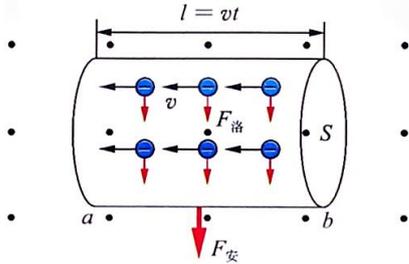


1. 试判断图中各带电粒子所受洛伦兹力的方向。

#### 洛伦兹力的大小

1. 电荷定向运动时所受洛伦兹力的矢量和，在宏观上表现为导线所受的安培力。按照这个思路，我们可以由安培力的表达式推导出洛伦兹力的表达式。

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{Q}{t} & F_L &= \frac{FA}{N} \\
 &= \frac{Nq}{t} & &= \frac{BIL}{N} \\
 &= nSvt \left( \frac{q}{t} \right) & &= \frac{B(nSvq)L}{N} \\
 &= nSvq & &= Bqv
 \end{aligned}$$



| 项目  | 洛伦兹力  |
|-----|---|
| 内容  | 运动电荷在磁场中受到的力  |
| 公式  | $F = Bqv$ ( $v$ 与 $B$ 垂直)<br>$F = Bqv \sin \theta$ ( $v$ 与 $B$ 成角度 $\theta$ )<br>$F$ = 洛伦兹力 $B$ = 磁感应强度<br>$q$ = 粒子的电荷量 $v$ = 粒子的速度<br>$\theta$ = $v$ 与 $B$ 的夹角 |
| 单位  | $N$   |
| 标矢性 | 矢量(可用左手定则判断)  |

**例子:**

1. 一个电子以速率  $v = 3 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$  垂直射入磁感强度  $B = 0.1 \text{ T}$  的匀强磁场中, 它受到的磁场力是多大? [4.81  $\times 10^{-14} \text{ N}$ ]

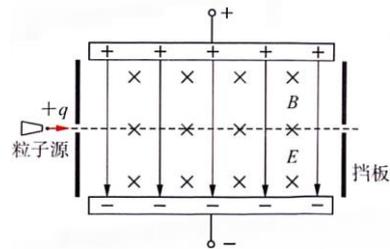
2. 一个电子以速率  $v = 1.2 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$  射入磁感强度  $B = 0.02 \text{ T}$  的匀强磁场中, 当速度  $v$  与磁感强度的夹角为  $30^\circ$ 、 $60^\circ$  时, 电子受到的磁场力分别是多大? [1.92  $\times 10^{-14} \text{ N}$ ; 3.33  $\times 10^{-14} \text{ N}$ ]

**统考题:**

一个电子以  $9.1 \times 10^{-25} \text{ kgms}^{-1}$  的动量垂直地射入一个  $2.5 \times 10^{-4} \text{ T}$  的匀强磁场中。作用在该电子的磁场力是多少?

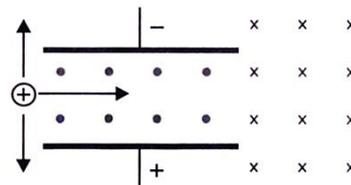
- A.  $2.28 \times 10^{-2} \text{ N}$       B.  $3.64 \times 10^{-21} \text{ N}$   
 C.  $4.00 \times 10^{-17} \text{ N}$       D.  $5.66 \times 10^{-20} \text{ N}$

2017 年



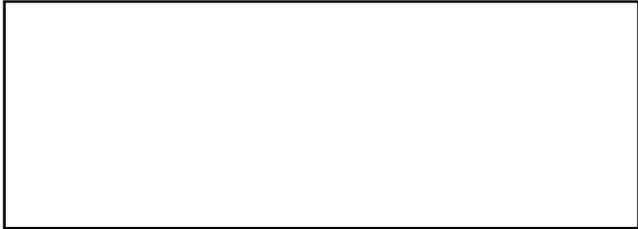
3. 如图所示的速度选择器中, 电场强度  $E$  和磁感应强度  $B$  相互垂直, 粒子源将不同水平速度的带电粒子从小孔射入磁场。试证明带电粒子(不计重力)以水平速度  $\frac{E}{B}$  射入时, 才能沿着图示虚线路径通过这个速度选择器。

**统考题:**



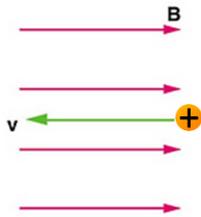
如图所示, 一正电粒子带有  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  的电荷量。该粒子沿直线等速通过一个具有电场强度  $E = 10^6 \text{ Vm}^{-1}$  和磁场强度  $B = 0.5 \text{ T}$  的速度选择器。假设粒子的重量可以忽略不计。试求该粒子直线通过速度选择器时的速率。

2012 年

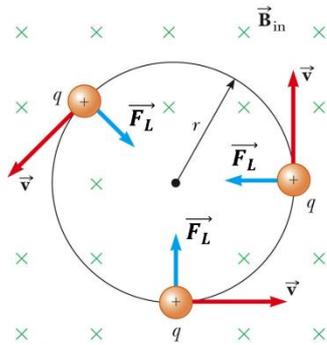


### 23.7 带电粒子在匀强磁场中的运动

1. 若带电粒子的\_\_\_\_\_，  
则不受洛伦兹力作用，故做\_\_\_\_\_。



2. 若带电粒子的\_\_\_\_\_，  
而洛伦兹力的方向始终既和磁场垂直，  
故做\_\_\_\_\_。



3. 带电粒子在匀强磁场中做圆周运动的基本物理量：

a) 向心力

$$F_c = F_L$$

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

b) 半径

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

$$r = \frac{mv}{Bq}$$

c) 周期

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

$$\frac{v}{r} = \frac{Bq}{m}$$

$$\frac{r}{v} = \frac{m}{Bq}$$

$$\frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{Bq}$$

$$T = \frac{2\pi m}{Bq}$$

d) 频率

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{Bq}{2\pi m}$$

e) 角速度

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\frac{2\pi m}{Bq} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\omega = \frac{Bq}{m}$$

| 项目  | 方程  |
|-----|---|
| 向心力 | $F_c = \frac{mv^2}{r} = Bqv$                      |
| 半径  | $r = \frac{mv}{Bq}$                               |
| 周期  | $T = \frac{2\pi m}{Bq}$                           |
| 频率  | $f = \frac{1}{T} = \frac{Bq}{2\pi m}$             |
| 角速度 | $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \frac{Bq}{m}$ |

例子：

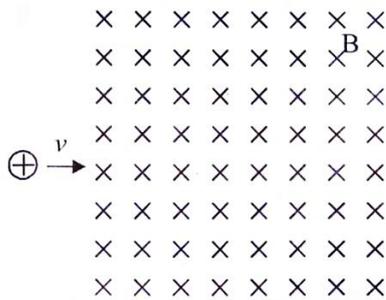
1. 电子以  $1.6 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$  的速率垂直射入磁感强度为  $2 \times 10^{-4} \text{ T}$  的匀强磁场中，电子做圆周运动的轨道半径和周期是多大？

[0.045 m;  $1.79 \times 10^{-7} \text{ s}$ ]

2. 一个质量为  $1.99 \times 10^{-26} \text{ kg}$  的单电荷碳离子，以  $4 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$  的速率垂直进入  $0.5 \text{ T}$  的磁场。该离子所作圆周运动的半径和周期是多少？ [0.0994 m;  $1.56 \times 10^{-6} \text{ s}$ ]

3. 一个初速度为零的质子，经过电压  $V = 1300 \text{ V}$  的电场加速后，垂直进入磁感强度  $B = 0.20 \text{ T}$  的匀强磁场中，求
- 质子进入磁场时的速率。  
[ $4.99 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ ]
  - 质子在磁场中运动的轨道半径。  
[0.026 m]
- (质子的质量  $m = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ，电量荷量  $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

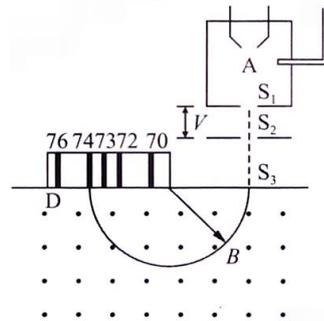
统考题：



如图所示，一个  $\alpha$  粒子以  $5500 \text{ ms}^{-1}$  的速度垂直地射入  $B = 0.001 \text{ T}$  的匀强磁场中，假设磁场足够大到让  $\alpha$  粒子从射入的边折返。（ $\alpha$  粒子质量 =  $6.64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ）

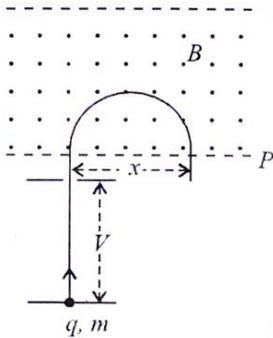
- 试绘出该  $\alpha$  粒子运动轨迹的标示图。
- $\alpha$  粒子运动的轨迹半径是多少？
- 求  $\alpha$  粒子在磁场中运动的时间。
- 如果用  $\beta$  粒子来取代  $\alpha$  粒子，以相同的速度射入同一磁场中，其运动轨迹会有什么不同？

2008 年



4. 质谱仪的构造如图所示。质量为  $4.3 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ，电荷量为  $4.8 \times 10^{-19} \text{ C}$  的粒子从容器 A 下方小孔  $S_1$  飘入电势差为  $3500 \text{ V}$  的加速电场，然后让粒子垂直进入磁感应强度为  $1.5 \text{ T}$  的磁场中，最后打到底片 D 上。求：
- 粒子进入磁场时的速率。  
[ $2.8 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ ]
  - 粒子在磁场中运动的轨道半径。  
[0.017 m]

统考题:



质谱仪是分离各种元素的同位素并测量它们的质量的仪器，如图所示。从离子源放出一个速度大小不计，质量为  $m$ 、电量为  $q$  的正离子，经电势差为  $V$  的加速电场加速后，垂直进入一个磁感应强度为  $B$  的有界磁场中，做了半个周期的匀速圆周运动后，落在记录它的照相底片上。若测得出口与入口的距离(圆周轨迹的直径)为  $X$ ，则

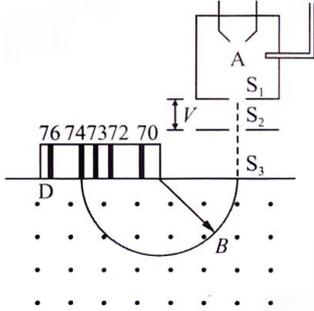
- 试证明该正离子的质量  $m = \frac{qB^2x^2}{8V}$
- 设离子源能放出氕( $H^+$ )、氘( $D^+$ )、氚( $T^+$ )三种离子，这种质谱仪能将它们分离吗？试求出它们的圆周轨迹直径比。(提示：氕、氘、氚的质量比为 1:2:3)
- 若  $V = 150 \text{ V}$ ， $B = 0.8 \text{ T}$ ，求一正离子在磁场  $B$  中的轨迹半径，已知该离子的电荷与质量的比值为  $1.75 \times 10^{11} \text{ Ckg}^{-1}$ 。

2004 年

## 23.8 洛伦兹力的应用

### 质谱仪

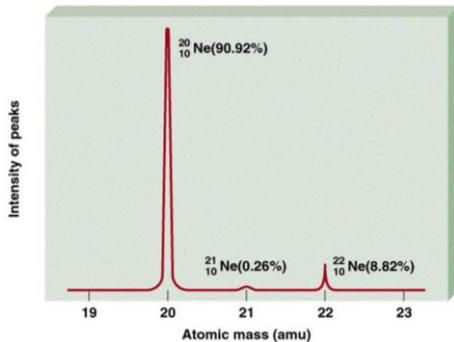
- 气体分子在电离室  $A$  被电离成正离子，这些正离子从小孔  $S_1$  飘出，进入电势差为  $V$  的加速电场，其初速度几乎为 0，然后经过  $S_3$  沿着与磁场垂直的方向进入磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中，最后打在底片  $D$  上。



2. 荷质比公式的推导:

$$\begin{aligned}
 qV &= \frac{1}{2} mv^2 & Bqv &= \frac{mv^2}{r} \\
 v &= \sqrt{\frac{2qV}{m}} & Bq &= \frac{m}{r} \sqrt{\frac{2qV}{m}} \\
 B^2 q^2 &= \frac{m^2}{r^2} \times \frac{2qV}{m} \\
 \frac{q}{m} &= \frac{2V}{B^2 r^2}
 \end{aligned}$$

3. 带电量相同而质量有微小不同的同位素粒子进入磁场后，将沿着不同的半径做圆周运动，打到底片上的位置不同。因此根据胶片上谱线的条数和强弱，就可以确定同位素的种类和含量的多少。

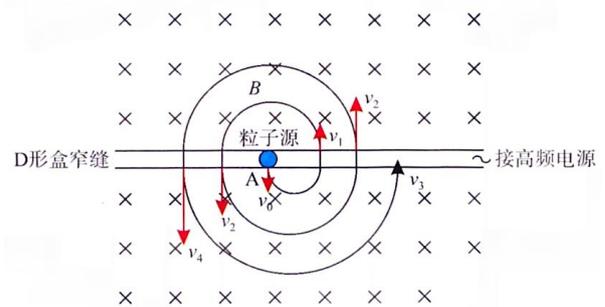
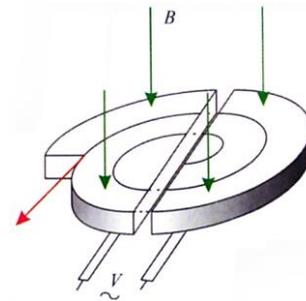


### 回旋加速器

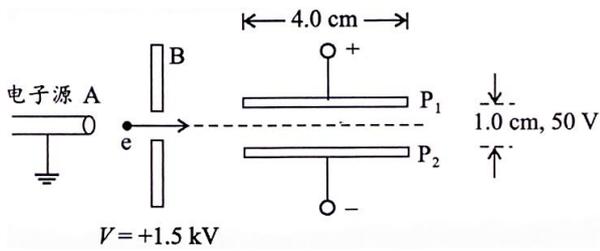
1. 为了研究物质内部的微观结构，通常需要用极高能量的带电粒子去轰击原子核才能把原子核打开。使带电粒子获得高能量的设备就是粒子加速器。
2. 早期的加速器是通过提高电源电压来加速的，但由于技术限制，获取的电压有限，因此粒子能量最高只能达到约 10 Mev。

Prepared by: Mr. Ong Choong Min

3. 为了进一步提高粒子的能量，科学家制成了多级加速器，但由于粒子在加速过程中的径迹为直线，多级加速装置长达几千米甚至几十千米。
4. 回旋加速器利用带电粒子在电场中可加速，在磁场中做匀速圆周运动的特点，使带电粒子能在较小的空间范围内多次受到电场的加速。
5. 间隙中心 A 处是粒子源，产生带电粒子，在两盒之间被电场加速。两个半圆盒处于与盒面垂直的磁感强度为 B 的匀强磁场中，带电粒子在磁场中做匀速圆周运动。
6. 经过半个圆周后，当它再次来到两盒间的间隙时，高频交变电源正好经过半个周期，在间隙处产生了反向电场，于是粒子又一次被加速。
7. 如此继续下去，粒子的速率和能量逐渐增大，当达到预期的值时，用一个静电偏转装置将高能粒子引出，就完成了粒子加速。



统考题:



如图所示，一电子从一电子源 A 被高压电场 B (相对于 A 而言，B 的电压是 1.5 kV) 所吸引而作水平直线运动，以直驱进入两水平平行板  $P_1$  及  $P_2$  内的空间。 $P_1$  及  $P_2$  各长 4.0 cm，相距 1.0 cm 且其间电位差是 50 V。该电子受  $P_1$  与  $P_2$  间的电场作用而偏转。试求

- 电子进入  $P_1$  与  $P_2$  间的电场之前的速度；
- 电子在  $P_1$  与  $P_2$  之间，从一端运行至另一端所需的时间；
- $P_1$  与  $P_2$  间的电场强度；
- 电子在  $P_1$  与  $P_2$  间运行时受电场力作用所产生的加速度；
- 若在  $P_1$  与  $P_2$  间施加一个外磁场，可使电子水平直线穿过  $P_1$  与  $P_2$  间，求该磁场的大小和方向。