

## 第九章 静电场及其应用/1

### 1 电荷/1【作业 P119】

### 2 库仑定律/4【作业 P121】

#### 专题强化 1 库仑定律的应用/6【作业 P123】

### 3 电场 电场强度/8

#### 第 1 课时 电场强度 电场强度的叠加/8【作业 P125】

#### 第 2 课时 电场线 匀强电场/11【作业 P127】

#### 专题强化 2 静电场中力的性质/14【作业 P129】

### 4 静电的防止与利用/16【作业 P131】

#### 章末素养提升/18

## 第十章 静电场中的能量/21

### 1 电势能和电势/21【作业 P133】

### 2 电势差/24【作业 P135】

### 3 电势差与电场强度的关系/26【作业 P137】

#### 专题强化 3 电场线、等势面与带电粒子运动轨迹问题 等分法的应用/29【作业 P139】

#### 专题强化 4 静电场中的功能关系及图像问题/31【作业 P141】

### 4 电容器的电容/33

#### 第 1 课时 电容器的电容/33【作业 P143】

#### 第 2 课时 平行板电容器的电容/36【作业 P145】

### 5 带电粒子在电场中的运动/38

#### 第 1 课时 带电粒子在电场中的运动/38【作业 P147】

#### 第 2 课时 带电粒子在电场中偏转的推论和示波管的原理/40【作业 P149】

#### 专题强化 5 带电粒子在交变电场中的运动/42【作业 P151】

#### 专题强化 6 带电粒子在电场和重力场中的运动/44【作业 P153】

#### 章末素养提升/47

## 第十一章 电路及其应用/49

### 1 电源和电流/49【作业 P155】

### 2 导体的电阻/52【作业 P157】

### 3 串联电路和并联电路/55

#### 第 1 课时 串联电路和并联电路 滑动变阻器的两种接法/55【作业 P159】

#### 第 2 课时 电表的改装 电流表的内接法和外接法/58【作业 P161】

### 4 实验：导体电阻率的测量/60

#### 第 1 课时 实验：长度的测量及测量工具的选用/60【作业 P163】

#### 第 2 课时 实验：金属丝电阻率的测量/63【作业 P165】

5 实验: 练习使用多用电表/66【作业 P167】

专题强化 7 电阻的测量/70【作业 P169】

章末素养提升/73

## 第十二章 电能 能量守恒定律/75

1 电路中的能量转化/75【作业 P171】

2 闭合电路的欧姆定律/77

第 1 课时 闭合电路的欧姆定律/77【作业 P173】

第 2 课时 路端电压与负载的关系 电阻表的原理/79【作业 P175】

专题强化 8 闭合电路的功率 两种  $UI$  图像的对比/82【作业 P177】

专题强化 9 闭合电路的动态分析 含有电容器的电路 故障分析/84【作业 P179】

3 实验: 电池电动势和内阻的测量/86

第 1 课时 伏安法测电池电动势和内阻/86【作业 P181】

第 2 课时 伏阻法和安阻法测电池电动势和内阻/89【作业 P183】

4 能源与可持续发展/91【作业 P185】

章末素养提升/94

## 第十三章 电磁感应与电磁波初步/96

1 磁场 磁感线/96【作业 P187】

2 磁感应强度 磁通量/99【作业 P189】

3 电磁感应现象及应用/102【作业 P191】

4 电磁波的发现及应用/104【作业 P193】

5 能量量子化/106【作业 P195】

章末素养提升/108



## 第九章

# 静电场及其应用



## 1 电荷

**[学习目标]** 1.知道自然界中的两种电荷及它们之间相互作用的规律,知道电荷量的概念及单位。2.理解摩擦起电、感应起电和接触起电(重难点)。3.理解电荷守恒定律的内容(重点)。4.知道元电荷的概念,体会电荷量是不连续的。

### 一、电荷

- 1.自然界中有两种电荷: \_\_\_\_\_ 电荷和 \_\_\_\_\_ 电荷。用丝绸摩擦过的玻璃棒带正电荷,用毛皮摩擦过的橡胶棒带负电荷。
- 2.电荷量: 电荷的多少,用  $Q$  或  $q$  表示,在国际单位制中,它的单位是 \_\_\_\_\_, 符号是 C。正电荷的电荷量为 \_\_\_\_\_ 值, 负电荷的电荷量为 \_\_\_\_\_ 值。
- 3.每个原子中 \_\_\_\_\_ 的正电荷数量与 \_\_\_\_\_ 的负电荷数量 \_\_\_\_\_, 所以整个原子对外界表现为 \_\_\_\_\_。
- 4.电荷间有相互作用力, 同种电荷相互 \_\_\_\_\_, 异种电荷相互 \_\_\_\_\_, 两电荷间的相互作用力大小 \_\_\_\_\_, 方向 \_\_\_\_\_, 作用在同一条直线上。
- 5.两物体发生相互吸引的作用时未必都带电, 因为带电体不管是带正电荷还是带负电荷, 都有 \_\_\_\_\_ 轻小物体的性质。
- 6.比较带电体带电的多少时, 比较的是其电荷量的 \_\_\_\_\_, 绝对值大的带电多。尽管电荷量有正、负值之分, 但 “+” “-” 号仅代表电荷的种类, 不表示大小。

### 『易错辨析』

- (1) 电荷的正负是人为规定的。(     )
- (2) 摩擦过的琥珀能够吸引羽毛, 说明羽毛带了电。(     )

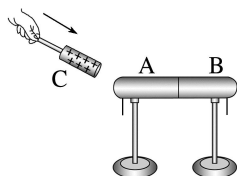
### 二、物体的三种起电方式 验电器

#### 1. 摩擦起电

原因：当两种物质组成的物体互相摩擦时，一个物体上的一些受束缚较弱的\_\_\_\_\_会\_\_\_\_\_到另一个物体上，于是原来\_\_\_\_\_的物体由于\_\_\_\_\_而带负电，\_\_\_\_\_的物体则带正电。同一物体与不同种类的物体摩擦时，可能带不同种类的电荷。

2. 将一个带电体与另一个不带电的导体接触，就可以使不带电的物体带上与带电体电性相同的电荷，叫作\_\_\_\_\_。

### 3. 感应起电



如图所示，取一对用绝缘柱支持的导体 A 和 B，使它们彼此接触。起初它们不带电，贴在下部的两片金属箔是闭合的。

① 手握绝缘棒把带正电荷的带电体 C 移近导体 A，金属箔有什么变化？

② 这时手持绝缘柱把导体 A 和 B 分开，然后移开 C，金属箔又有什么变化？

③ 再让导体 A 和 B 接触，又会看到什么现象？

(1) 定义：利用静电感应使金属导体带电的过程。

(2) 规律：近端(靠近带电体端)感应出\_\_\_\_\_电荷，远端(远离带电体端)感应出\_\_\_\_\_电荷(均选填“异种”或“同种”)。

(3) 本质：电子从物体的一部分\_\_\_\_\_。

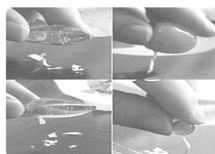
### 4. 验电器

(1) 作用：检验物体\_\_\_\_\_。

(2) 原理：同种电荷相互\_\_\_\_\_。

(3) 静电计：把金属箔换成\_\_\_\_\_，并用\_\_\_\_\_制作外壳的验电器。

**【例 1】** (2024·合肥市第一中学高二期中) 如图所示，摩擦过的琥珀靠近桌面上的碎纸屑时，发现纸屑飞起来与琥珀接触后又快速地离开，关于这个现象，下列说法正确的是( )



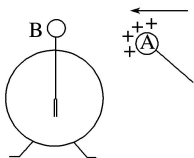
A. 摩擦过的琥珀不带电

B. 碎纸屑原来带正电

C. 纸屑飞起来是万有引力的结果

D. 纸屑与琥珀接触后又快速地离开是因为纸屑带上琥珀同种电荷

【例 2】 如图所示，用起电机使金属球 A 带正电，将 A 靠近验电器上的金属小球 B，则( )



- A. 验电器的金属箔不会张开，因为球 A 没有和 B 接触
- B. 验电器的金属箔张开，因为整个验电器都带上了正电
- C. 验电器的金属箔张开，因为整个验电器都带上了负电
- D. 验电器的金属箔张开，因为验电器下部的两片金属箔都带上了正电

拓展 1 若验电器带正电，用一根带大量负电荷的金属棒接触验电器的金属球，金属箔的张角将如何变化？

---

---

拓展 2 若验电器带正电，当一个带负电的金属球 A 靠近验电器上的金属球 B 时，验电器中金属箔的张角将如何变化？

---

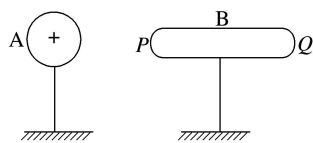
---

拓展 3 若验电器带正电，当一个不带电的金属球 A 靠近验电器上的金属球 B 时，验电器中金属箔的张角又将如何变化？

---

---

【例 3】 如图所示，不带电导体 B 在靠近带正电荷的导体 A 后，P 端及 Q 端分别感应出负电荷和正电荷，则以下说法正确的是( )

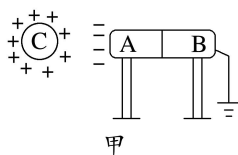


- A. 若用导线将 Q 接地，然后断开，再取走导体 A，则导体 B 将带负电
- B. 若用导线将 Q 接地，然后断开，再取走导体 A，则导体 B 将带正电
- C. 若用导线将 Q 接地，然后断开，再取走导体 A，则导体 B 将不带电
- D. 若用导线将 P 接地，然后断开，再取走导体 A，则导体 B 将带正电

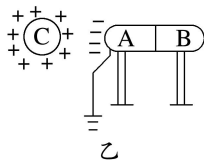
■ 总结提升 ■

### 静电感应中导体接地问题分析

1. 如图甲所示，当 B 接地时，在导线的连接下，导体 A、B 和大地组成了一个新导体，这时近端为 A，而远端为大地。由于静电感应，A 带负电，而 B 原来感应出的正电荷被大地流来的负电荷中和了，所以 B 不带电。



2.如图乙所示,如果是 A 接地,近端仍然为 A(这里很容易错误地认为 B 为近端或远端),远端为大地。由于静电感应, A 仍然带负电,而 B 感应出的正电荷被从大地流来的负电荷中和,所以 B 不带电。



3.如果前面两种情况不是接地,而是改为用手触摸 A 或 B,则结果相同。

### 三、电荷守恒定律 元电荷

#### 1.电荷守恒定律

(1)内容: 电荷既不会\_\_\_\_\_,也不会\_\_\_\_\_,它只能从一个物体\_\_\_\_\_到另一个物体,或者从物体的一部分\_\_\_\_\_到另一部分;在转移过程中,电荷的\_\_\_\_\_保持不变。

(2)电荷守恒定律的另一表述是: 一个与外界没有电荷交换的系统,电荷的\_\_\_\_\_保持不变。

#### 2.元电荷

(1)元电荷: 最小的\_\_\_\_\_,即\_\_\_\_\_所带电荷量的大小。所有带电体所带电荷量只能是元电荷的\_\_\_\_\_。

(2)元电荷的值  $e=$ \_\_\_\_\_,由物理学家\_\_\_\_\_测定。

(3)比荷: 带电粒子的\_\_\_\_\_与其\_\_\_\_\_之比叫作比荷。

电子的比荷为:  $\frac{e}{m_e}=1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ 。

3.电中性: 物体所带的正电荷和负电荷在数量上\_\_\_\_\_,对外不显电性,表现为不带电的状态。

4.电中和: 两个带\_\_\_\_\_异种电荷的物体相互接触时,都恢复成不带电的情形。

5.元电荷不是实际粒子,仅表示\_\_\_\_\_电荷量单元,没有正、负。

6.质子和正电子所带的电荷量为\_\_\_\_\_元电荷,它们\_\_\_\_\_(填“是”或“不是”)元电荷,质子和正电子是实际存在的粒子。

#### 『易错辨析』

(1)所谓“电荷的中和”是正、负电荷一起消失了。( )

(2)物体所带的电荷量可能为  $6.0 \times 10^{-18} \text{ C}$ 。( )

(3)物体带电荷量为  $+1.60 \times 10^{-9} \text{ C}$ ,这是因为失去了  $1.0 \times 10^{10}$  个电子。( )

【例 4】完全相同的两金属小球 A、B 带有等量电荷,相隔一定的距离,让第三个完全相同的不带电金属小球 C,先后与 A、B 接触后移开。

(1)若 A、B 两球带同种电荷,求接触后两球带电荷量大小之比;

(2)若 A、B 两球带异种电荷，求接触后两球带电荷量大小之比。

---

---

---

---

---

---

#### ■ 总结提升 ■

##### 接触起电时电荷量的分配规律

当两个完全相同的金属球接触后，电荷量将平均分配。

- (1)若两个完全相同的金属球最初带同种电荷，接触后电荷量相加后均分；
- (2)若两个完全相同的金属球最初带异种电荷，则接触后电荷先中和再均分。

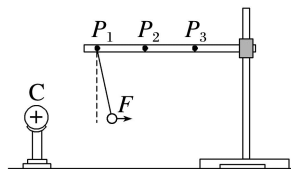
材质、形状、大小不同的导体接触时电荷量一般不能平均分配。

## 2 库仑定律

**[学习目标]** 1.了解库仑定律探究过程,体会实验与类比在定律的建立过程中发挥的重要作用。2.知道点电荷的概念,明确带电体可以看作点电荷的条件(重点)。3.理解库仑定律的内容、公式及适用条件(重点)。4.理解静电力的概念,会用库仑定律进行有关计算(难点)。

### 一、电荷之间的作用力 库仑的实验

如图,带正电的带电体 C 置于铁架台旁,把系在丝线上带正电的小球先后挂在  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  等位置。



(1)改变悬点位置,即改变带电体 C 与带电小球之间的距离,作用力会如何改变?

(2)在同一位置增大小球所带的电荷量,作用力又会怎样变化?

(3)电荷之间作用力的大小与哪些因素有关?

---

---

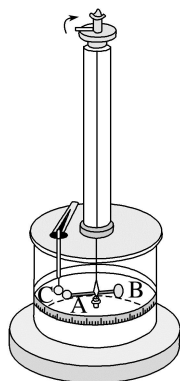
### 「梳理与总结」

1.探究方法:\_\_\_\_\_法。

2.探究过程及结果

| 实验条件     | 实验现象              | 实验结果                |
|----------|-------------------|---------------------|
| 电荷量一定    | 电荷间的距离_____, 偏角越小 | 电荷之间的作用力随着距离的_____  |
| 电荷间的距离一定 | 电荷量_____, 偏角越大    | 电荷之间的作用力随着电荷量的_____ |

3.库仑扭秤实验用到的方法有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。(如图所示)



### 二、库仑定律

## 1.库仑定律

(1)内容：真空中两个静止点电荷之间的相互作用力，与它们的\_\_\_\_\_成正比，与它们的距离的\_\_\_\_\_成反比，作用力的方向在\_\_\_\_\_，这个规律叫作库仑定律。这种电荷之间的相互作用力叫作\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_。

(2)表达式： $F=$ \_\_\_\_\_，其中  $r$  指的是两点电荷间的距离； $k=$ \_\_\_\_\_  $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ ，叫作静电力常量。

## 2.点电荷

定义：当带电体之间的距离比它们自身的大小\_\_\_\_\_，以致带电体的\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_及\_\_\_\_\_对它们之间的作用力的影响可以忽略时，这样的带电体可以看作带电的点，叫作\_\_\_\_\_。

### 『思考与讨论』

1.当两个电荷之间的距离  $r \rightarrow 0$  时，能否根据  $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$  推出两电荷之间的库仑力  $F \rightarrow \infty$ ？

---

---

2.(来自教材改编)两个半径为  $r$  的金属球，球心间距离为  $3r$ ，现使两球带上等量同种电荷  $q$ ，它们之间的库仑力  $F=k\frac{q^2}{9r^2}$ ，对吗？若使两球带上等量异种电荷，库仑力为  $F=k\frac{q^2}{9r^2}$ ，对吗？

---

---

### 『提炼·总结』

1.不能根据公式  $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$  认为当  $r$  趋于 0 时， $F$  趋近于无穷大。因为当  $r$  趋于 0 时，带电体不能视为点电荷。

2.对于不能看作点电荷的带电体，不能直接应用库仑定律的公式计算静电力，但静电力仍存在。

3.对于两个半径较小的、电荷均匀分布的带电球体，电荷中心与球心重合，两球上电荷之间的距离等于两球心之间的距离。

4.对于两个半径较大的带电金属球，由于同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引，两球上电荷中心的距离并不等于两球球心间的距离，不能把金属球看成点电荷进行计算。

### 『易错辨析』

(1)两电荷的电荷量越大，它们间的静电力就越大。( )

(2)只要是体积很小的带电体就能看作点电荷。( )

(3)两点电荷之间的作用力是相互的，其方向相反，但电荷量大的对电荷量小的电荷作用力大。( )

(4)只要是均匀的球形带电体，不管球的大小如何，都能看作点电荷。( )

**【例 1】**  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点在同一直线上， $AB:BC=1:2$ ， $B$  点位于  $A$ 、 $C$  之间，在  $B$  处固定一电荷量为  $Q$  的点电荷。当在  $A$  处放一电荷量为  $+q$  的点电荷时， $B$  处点电荷所受的静电力为  $F$ ；移去  $A$  处点电荷，在  $C$  处放一电荷量为  $-2q$  的点电荷，则  $B$  处点电荷所受的静电力为( )

A.  $-\frac{F}{2}$

B.  $\frac{F}{2}$

C.  $-F$

D.  $F$

【例 2】(2024·天津市高二期末)真空中两个相同的带等量异种电荷的金属小球 A 和 B(均可看作点电荷), 分别固定在两处, 两球之间的静电力大小为  $F$ 。现用一个不带电的同样的金属小球 C 先与 A 接触, 再与 B 接触, 然后移开 C, 此时 A、B 之间的静电力大小是( )

A.  $\frac{1}{8}F$

B.  $8F$

C.  $\frac{1}{16}F$

D.  $16F$

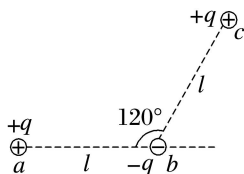
### ■ 总结提升 ■

1. 利用库仑定律计算库仑力大小时, 不必将表示电性的正、负号代入公式, 只代入  $q_1$ 、 $q_2$  的绝对值即可。
2. 利用同种电荷相互排斥、异种电荷相互吸引来判断库仑力的方向。

### 三、静电力计算

1. 微观带电粒子间的万有引力\_\_\_\_\_库仑力。在研究微观带电粒子的相互作用时, 可以把万有引力忽略。
2. 两点电荷间的库仑力与周围是否存在其他电荷\_\_\_\_\_(填“有关”或“无关”)。
3. 两个或两个以上点电荷对某一个点电荷的作用力, 等于各点电荷单独对这个点电荷的作用力的\_\_\_\_\_。这个结论叫作静电力叠加原理。
4. 任何一个带电体都可以看成是由许多\_\_\_\_\_组成的, 如果知道带电体上的电荷分布, 根据\_\_\_\_\_就可以求出带电体之间的静电力的大小和方向。

【例 3】(2025·眉山市高二期中)如图所示, 真空中,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三处分别固定电荷量为  $+q$ 、 $-q$ 、 $+q$  的三个点电荷。已知静电力常量为  $k$ ,  $ab=bc=l$ ,  $\angle abc=120^\circ$ 。则  $b$  处点电荷受到  $a$ 、 $c$  两处点电荷的库仑力的合力大小为( )



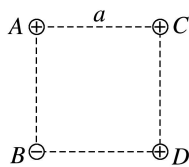
A.  $\frac{3kq^2}{l^2}$

B.  $\frac{\sqrt{3}kq^2}{l^2}$

C.  $\frac{3kq^2}{2l^2}$

D.  $\frac{kq^2}{l^2}$

【例 4】(2024·杭州市东方中学高二期末)在边长为  $a$  的正方形的每一顶点都放置一个电荷量大小为  $q$  的点电荷, 点电荷的正负如图所示, 静电力常量为  $k$ 。如果保持它们的位置不变, 则位于  $A$  点的点电荷受到其他三个电荷的静电力的合力大小是( )



A.  $\frac{2kq^2}{a^2}$

B.  $(\sqrt{2}-\frac{1}{2})\frac{kq^2}{a^2}$

C.  $(\frac{1}{2}+\sqrt{2})\frac{kq^2}{a^2}$

D.  $\frac{3kq^2}{2a^2}$



## ■ 总结提升 ■

---

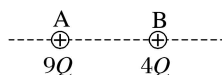
1. 静电力具有力的一切性质，静电力之间可以叠加，也可以与其他力叠加。
2. 非点电荷间静电力的计算：将带电体看成由很多点电荷组成，利用库仑定律和静电力叠加进行求解。
3. 当多个带电体同时存在时，任一带电体同时受到多个静电力的作用，可以利用力的平行四边形定则求合力。

## 专题强化 1 库仑定律的应用

**[学习目标]** 1.会利用库仑定律分析同一直线上三个点电荷的平衡问题(重点)。2.会利用库仑定律分析非共线力作用下带电体的平衡问题(重点)。3.会处理库仑力作用下带电体的动力学问题(难点)。

### 一、同一直线上三个点电荷的平衡问题

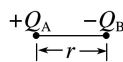
A、B 两个点电荷，相距为  $r$ ，A 带有  $9Q$  的正电荷，B 带有  $4Q$  的正电荷(如图)



(1)A 和 B 固定，如何放置一个电荷量为  $q$  的正点电荷 C，才能使点电荷 C 处于平衡状态？若将 C 换成等量负电荷 C'，C'平衡的位置是否发生变化？

(2)如果 A 和 B 是自由的，如何放置第三个点电荷 D，使系统处于平衡状态，求 D 的位置、电性和电荷量大小。

(3)如图，A、B 是两个自由的点电荷，相距为  $r$ ，A 带有  $9Q$  的正电荷，B 带有  $-4Q$  的负电荷，放置第三个点电荷 E，使系统处于平衡状态，求 E 的位置、电性和电荷量大小。



---

### 「提炼·总结」

#### 1.两个电荷固定，第三个电荷平衡问题

只需要确定第三个电荷位置即可，对其电性和所带电荷量没有要求。

#### 2.三个自由电荷的平衡问题

(1)同一直线上的三个自由点电荷都处于平衡状态时，每个电荷受到的合力均为零。根据平衡条件可得，电荷间的关系为：

“三点共线”——三个点电荷分布在同一条直线上；

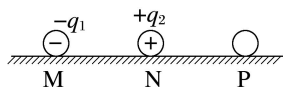
“两同夹异”——正、负电荷相互间隔；

“两大夹小”——中间电荷的电荷量最小；

“近小远大”——中间电荷靠近电荷量较小的电荷。

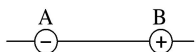
(2)对于三个自由电荷的平衡问题，只需对其中两个电荷列平衡方程，不必再对第三个电荷列平衡方程。

**【例 1】** (2024·重庆市九龙坡区高二期末)如图所示，光滑绝缘的水平桌面的同一直线上，放置三个可视为点电荷的小球 M、N 和 P，其中 M 和 N 固定，带电荷量分别为  $-q_1$  和  $+q_2$ ，若小球 P 能保持静止，则 ( )



- A.P 一定带正电,  $q_1=q_2$   
 B.P 一定带负电,  $q_1=q_2$   
 C.P 可能带正电,  $q_1>q_2$   
 D.P 可能带负电,  $q_1<q_2$

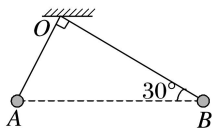
【例 2】 如图所示, 光滑绝缘的水平地面上有相距为  $L$  的自由点电荷 A、B, 电荷量分别为  $-4Q$  和  $+Q$ , 今引入第三个点电荷 C, 使三个点电荷都处于平衡状态, 则 C 的电荷量和放置的位置是( )



- A.  $-Q$ , 在 A 左侧距 A 为  $L$  处  
 B.  $-2Q$ , 在 A 左侧距 A 为  $\frac{L}{2}$  处  
 C.  $-4Q$ , 在 B 右侧距 B 为  $L$  处  
 D.  $+2Q$ , 在 A 右侧距 A 为  $\frac{3L}{2}$  处

## 二、非共线力作用下带电体的平衡问题

【例 3】 (2025·渭南市高二期中)如图所示, 用两根不可伸长的绝缘细线悬挂于  $O$  点的带电小球 A、B(均视为质点)静止时处于同一水平线上。已知 A 球的质量为  $m$ 、电荷量为  $Q_1$ ,  $O$ 、A 间的距离为  $L$ ,  $AO \perp BO$ ,  $\angle OBA=30^\circ$ , 静电力常量为  $k$ , 重力加速度大小为  $g$ 。求:



- (1) A、B 两球间的库仑力大小  $F$ ;  
 (2) B 球的电荷量  $Q_2$ 。

---



---

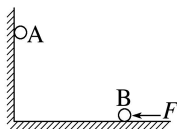


---



---

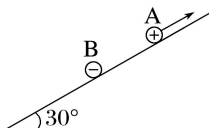
针对训练 (2025·广州市高二期中)竖直墙面与水平地面均光滑且绝缘, 小球 A、B 带同种电荷, 现用水平向左的推力  $F$  作用于小球 B, 两球分别静止在竖直墙和水平地面上, 如图所示, 如果将小球 B 向左推动少许, 当两球重新达到平衡时, 与原来的平衡状态相比较( )



- A. 地面对小球 B 的支持力不变  
 B. 推力  $F$  将不变  
 C. 两小球之间的距离变小  
 D. 竖直墙面对小球 A 的弹力变大

### 三、含库仑力的动力学问题

**【例 4】** (2024·湖北罗田县第一中学高二期中)如图所示, 带电小球 A 和 B(可视为点电荷)放在倾角为  $30^\circ$  的光滑固定绝缘斜面上, A 球的质量为  $2m$ , 所带电荷量为  $+q$ , B 球的质量为  $m$ , 所带电荷量为  $-q$ 。沿斜面向上的恒力作用于 A 球, 可使 A、B 保持间距  $r$  不变沿斜面向上做匀加速直线运动, 已知重力加速度为  $g$ , 静电力常量为  $k$ , 求:



(1)加速度的大小;

(2)恒力的大小。

---

---

---

#### ■ 总结提升 ■

分析静电力作用下点电荷的平衡或动力学问题, 步骤如下:

(1)确定研究对象: 适当采用“整体法”或“隔离法”;

(2)对研究对象进行受力分析, 画示意图(受力和运动过程);

(3)根据平衡条件或牛顿第二定律列方程;

(4)解方程求出待求量。

### 3 电场 电场强度

#### 第1课时 电场强度 电场强度的叠加

[学习目标] 1.知道电场的概念及电场的基本性质。2.理解电场强度及其定义式,并能用该公式进行有关计算(重点)。3.掌握点电荷的电场和电场强度的叠加(难点)。

##### 一、电场 电场强度

###### 1.电场

电荷之间通过\_\_\_\_\_相互作用。电场和磁场已被证明是一种客观存在。场像分子、原子等实物粒子一样具有能量,因而场也是物质存在的一种形式。

静止电荷产生的电场叫作\_\_\_\_\_。它的基本性质是对放入电场的电荷有\_\_\_\_\_的作用。

###### 2.电场强度

###### (1)试探电荷与场源电荷

①试探电荷:为了便于研究电场各点的性质而引入的电荷,是电荷量和体积都\_\_\_\_\_的点电荷。

②场源电荷:\_\_\_\_\_的带电体所带的电荷,也叫源电荷。

###### (2)电场强度

①定义:放入电场中某点的试探电荷,所受的\_\_\_\_\_与它的\_\_\_\_\_之比,叫作该点的电场强度。

②定义式:  $E = \frac{F}{q}$  (适用于一切电场)。

③单位: \_\_\_\_\_, 符号是\_\_\_\_\_。

###### ④方向

规定:与正电荷在该点所受的静电力的方向\_\_\_\_\_;与负电荷在该点所受的静电力的方向\_\_\_\_\_。

⑤电场强度反映了电场的力的性质,但与试探电荷受到的静电力大小\_\_\_\_\_ (填“有关”或“无关”)。

⑥电场中某点的电场强度  $E$  是唯一的,是由电场本身的特性(形成电场的电荷及空间位置)决定的,与是否放入试探电荷\_\_\_\_\_ (填“有关”或“无关”)。

##### 『易错辨析』

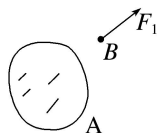
(1)  $E = \frac{F}{q}$  中的  $q$  是场源电荷。( )

(2)若在电场中某点放置负试探电荷,则该点的电场强度方向与放置正试探电荷时相反。( )

(3)若在电场中的某点不放试探电荷,则该点的电场强度为0。( )

(4) 电场强度公式  $E = \frac{F}{q}$  表明, 电场强度的大小与试探电荷的电荷量  $q$  成反比, 若  $q$  减半, 则该处的电场强度变为原来的 2 倍。( )

**【例 1】** 在一带负电荷的导体 A 附近有一点 B, 如在 B 处放置一个  $q_1 = -2.0 \times 10^{-8} \text{ C}$  的电荷, 测出其受到的静电力  $F_1$  大小为  $4.0 \times 10^{-6} \text{ N}$ , 方向如图, 则:



(1) B 处电场强度多大? 方向如何?

(2) 如果换成一个  $q_2 = +4.0 \times 10^{-7} \text{ C}$  的电荷放在 B 点, 其受力多大? 此时 B 处电场强度多大?

---

---

---

(3) 如果将 B 处电荷拿走, B 处的电场强度是多大?

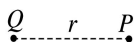
---

---

---

## 二、点电荷的电场

如图所示, 在电荷量为  $Q$  的正点电荷的电场中, P 点到 Q 的距离为  $r$ , 则 Q 在 P 点的电场强度是多大? 方向如何?



---

---

---

### 「梳理与总结」

#### 1. 点电荷的电场强度

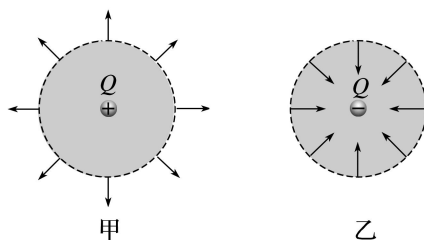
(1) 表达式: \_\_\_\_\_。

(2) 适用条件: \_\_\_\_\_。

#### 2. 点电荷电场强度的方向

当  $Q$  为正电荷时, 电场强度  $E$  的方向沿半径\_\_\_\_\_ (如图甲);

当  $Q$  为负电荷时, 电场强度  $E$  的方向沿半径\_\_\_\_\_ (如图乙)。



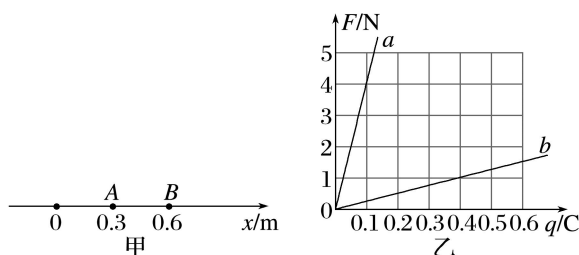
**注意：**如果以  $Q$  为圆心、 $r$  为半径作一个球面，则球面上各点的电场强度大小相等，但方向不同。

**【易错辨析】**

(1) 根据公式  $E=k\frac{Q}{r^2}$  可知，电场中某点的电场强度与场源电荷所带的电荷量  $Q$  成正比，与  $r^2$  成反比。( )

(2) 由  $E=k\frac{Q}{r^2}$  可知，在离点电荷非常近的地方( $r \rightarrow 0$ )，电场强度  $E$  可达无穷大。( )

**【例 2】** (来自教材改编) 在一个点电荷  $Q$  的电场中，建立如图甲所示的一维坐标系，坐标轴上  $A$ 、 $B$  两点的坐标分别为 0.3 m 和 0.6 m。在  $A$ 、 $B$  两点分别放置试探电荷，其受到的静电力跟试探电荷的电荷量的关系，如图乙中直线  $a$ 、 $b$  所示，力的正方向与  $x$  轴正方向相同。



(1) 求  $A$  点和  $B$  点的电场强度；

(2) 点电荷  $Q$  所在位置的坐标是多少？

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**■ 总结提升 ■**

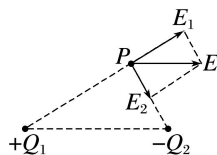
$E=\frac{F}{q}$  与  $E=k\frac{Q}{r^2}$  的比较

| 项目    | $E=\frac{F}{q}$ (定义式) | $E=k\frac{Q}{r^2}$ (决定式) |
|-------|-----------------------|--------------------------|
| 意义及用途 | 给出了一种量度电场强弱的方法        | 指明了点电荷电场强度大小的决定因素        |
| 适用范围  | 一切电场                  | 真空中点电荷的电场                |

|               |                              |                                        |
|---------------|------------------------------|----------------------------------------|
| $E$ 与各量关系     | $E$ 的大小与 $F$ 、 $q$ 的大小无关     | $E \propto Q, E \propto \frac{1}{r^2}$ |
| $Q$ 或 $q$ 的意义 | $q$ 是试探电荷的电荷量, $Q$ 是场源电荷的电荷量 |                                        |

### 三、电场强度的叠加

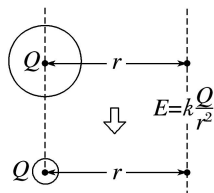
1. 若场源是多个点电荷, 则某点的电场强度等于各个点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和。如图所示,  $P$  点的电场强度  $E$  等于点电荷  $+Q_1$  和  $-Q_2$  在该点产生的电场强度\_\_\_\_\_。



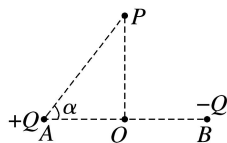
2. 对于较大的不能视为点电荷的带电体的电场强度, 可把带电体分成很多小块, 只要每块足够小, 就可以看成点电荷, 用点电荷电场强度叠加的方法计算。

3. 均匀带电球体(或球壳)外某点电场强度的计算

如图所示, 均匀带电球体(或球壳)外某点的电场强度  $E = k\frac{Q}{r^2}$ , 式中  $r$  是球心到该点的距离( $r > R$ ,  $R$  为球的半径),  $Q$  为整个球体(或球壳)所带的电荷量。



**【例 3】** (2024·天津市武清区高二期中) 如图所示, 相距为  $2d$  的  $A$ 、 $B$  两点固定着等量异种点电荷, 电荷量分别为  $+Q$  和  $-Q$ 。在  $AB$  连线的中垂线上取一点  $P$ ,  $PO \perp AB$ ,  $\alpha = 60^\circ$ 。已知静电力常量为  $k$ 。求:



(1)  $O$  点的电场强度大小和方向;

(2)  $P$  点的电场强度大小和方向。

---



---

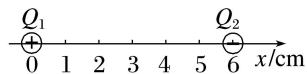


---



---

**针对训练** (来自教材) 如图所示, 真空中有两个点电荷,  $Q_1 = 4.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ ,  $Q_2 = -1.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ , 分别固定在  $x$  轴的坐标为 0 和 6 cm 的位置上。



(1)  $x$  轴上哪个位置的电场强度为 0?



(2)  $x$  轴上哪些位置的电场强度的方向是沿  $x$  轴的正方向的？

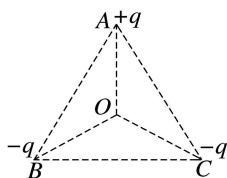
---

---

---

---

**【例 4】** 如图所示，等边三角形  $ABC$  的三个顶点分别固定三个点电荷  $+q$ 、 $-q$ 、 $-q$ ，已知三角形边长为  $\sqrt{3}L$ ，静电力常量为  $k$ ，则该三角形中心  $O$  点处的电场强度大小、方向如何？



---

---

---

---

---

---

---

---

第 2 课时 电场线 匀强电场

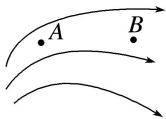
[学习目标] 1.知道什么是电场线并掌握电场线的特点。2.会用电场线描述电场，熟记几种常见的电场线(重点)。3.知道孤立正负点电荷、等量同种(异种)点电荷电场线的分布特点，掌握两个等量同种(异种)点电荷连线及中垂线上的电场变化规律(重难点)。4.知道什么是匀强电场以及匀强电场的特点(重点)。

一、电场线

电场线的特点

- (1)电场线从\_\_\_\_\_出发，终止于\_\_\_\_\_。不是闭合曲线。
- (2)电场线在电场中\_\_\_\_\_，这是因为在电场中任意一点的电场强度不可能有两个方向。
- (3)电场线的\_\_\_\_\_可以用来比较各点电场强度的大小。电场强度较大的地方电场线较密，电场强度较小的地方电场线较疏。
- (4)电场线是为了形象描述电场而假想的曲线，实际不存在。

【例 1】 (2024·厦门市杏南中学高二月考)如图所示的电场中，有  $A$ 、 $B$  两点，下列说法中正确的是( )

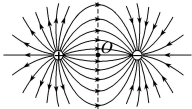


- A. $A$  点的电场强度小于  $B$  点的电场强度
- B. $A$ 、 $B$  两点的电场强度大小与放置于该点的电荷有关
- C.正电荷在  $A$  点受到的静电力方向与该点的电场强度方向相同
- D.负电荷在  $A$  点受到的静电力方向与该点的电场强度方向相同

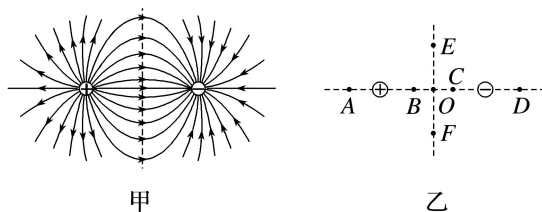
二、几种常见的电场线

认真观察常见的几种电场线的分布情况，完成下面填空。

| 电场      | 电场线 | 简要描述                                                                                               |
|---------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 正点电荷    |     | 以点电荷为球心的球面上各点电场强度大小____，方向____                                                                     |
| 负点电荷    |     | 以点电荷为球心的球面上各点电场强度大小____，方向____                                                                     |
| 等量同种点电荷 |     | 1.由左向右，两点电荷连线上的电场强度先变____后变____。<br>连线中点 $O$ 电场强度为____<br>2.两点电荷连线中点 $O$ 沿中垂线到无限远，电场强度先变____后变____ |

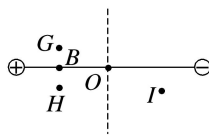
|                 |                                                                                   |                                                                                                                             |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                                                                                   | 3.关于 $O$ 点对称的两点电场强度_____ (选填 “等大同向” 或 “等大反向” )                                                                              |
| 等量<br>异种<br>点电荷 |  | 1.由左向右, 两点电荷连线上的电场强度先变____后变____<br>2.从两点电荷连线中点 $O$ 沿中垂线到无限远, 电场强度逐渐变____<br>3.关于 $O$ 点对称的两点电场强度_____ (选填 “等大同向” 或 “等大反向” ) |

**【例 2】** (多选) 电场线能很直观、方便地比较电场中各点电场强度的大小。如图甲是等量异种点电荷形成电场的电场线, 图乙是场中的一些点,  $O$  是两电荷连线的中点,  $E$ 、 $F$  是连线中垂线上相对  $O$  对称的两点,  $B$ 、 $C$  和  $A$ 、 $D$  也相对  $O$  对称。则( )



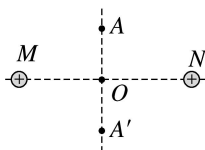
- A.  $B$ 、 $C$  两点电场强度大小和方向都相同
- B.  $A$ 、 $D$  两点电场强度大小相等, 方向相反
- C.  $E$ 、 $O$ 、 $F$  三点比较,  $O$  点电场强度最大
- D.  $B$ 、 $O$ 、 $C$  三点比较,  $O$  点电场强度最小

**拓展** 如图,  $G$ 、 $H$  两点关于等量异种点电荷连线轴对称,  $G$ 、 $I$  关于  $O$  点中心对称, 下列说法正确的是( )



- A.  $G$ 、 $H$  两点电场强度相同
- B.  $H$ 、 $I$  两点电场强度相同
- C.  $G$ 、 $I$  两点电场强度相同
- D.  $G$  点电场强度大于  $B$  点电场强度

**【例 3】** (2024·四川省宁南中学校高二期中) 如图所示,  $M$ 、 $N$  两点固定两个等量的正点电荷(场源电荷), 其连线的中垂线上  $A$ 、 $A'$  两点关于  $O$  点对称, 在  $A$  点由静止释放一个带负电的粒子, 不计粒子的重力, 粒子的电荷量远小于场源电荷的电荷量, 下列说法中正确的是( )



- A. 中垂线上从  $A$  到  $O$  到  $A'$  电场强度的大小一定先减小后增大
- B. 粒子运动到  $O$  点时加速度为零，速度达最大值
- C. 粒子在从  $A$  点到  $O$  点运动的过程中，加速度越来越大，速度越来越大
- D. 粒子越过  $O$  点后，速度越来越小，加速度越来越大，直到速度减小为零

### 三、匀强电场

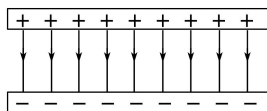
1. 定义：如果电场中各点的电场强度\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_，这个电场就叫作匀强电场。

2. 特点：

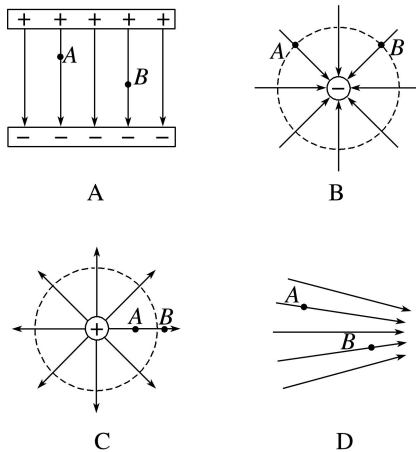
(1) 匀强电场的电场线是相互\_\_\_\_\_且\_\_\_\_\_的直线；

(2) 电场线的疏密程度\_\_\_\_\_，即电场线分布\_\_\_\_\_。

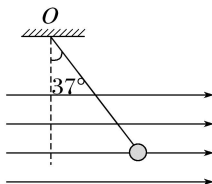
3. 举例：两块等大、正对的、带等量异种电荷的平行金属板相互靠近时，它们之间的电场(边缘除外)可以看作匀强电场。



**【例 4】** (2025·眉山市高二期中) 如图是某四个电场中的电场线分布图，其中  $A$ 、 $B$  两点的电场强度相同的是( )



**【例 5】** 用细线将质量为  $m=4 \times 10^{-3} \text{ kg}$  的带电小球悬挂在  $O$  点下，当空间中有方向为水平向右，电场强度大小为  $E=1 \times 10^4 \text{ N/C}$  的匀强电场时，小球静止后细线与竖直方向成  $37^\circ$  角，如图所示。(  $\sin 37^\circ=0.6$ ,  $\cos 37^\circ=0.8$ ,  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$  )



(1)请画出小球的受力分析图，并分析小球所带电荷的电性；

(2)求小球的带电荷量  $q$ ；

(3)求细线的拉力大小。

---

---

---

---

---

---

---

---

## 专题强化2 静电场中力的性质

[学习目标] 1.会利用几种特殊方法求解带电体的电场强度(重难点)。2.会分析电场线与带电粒子运动轨迹结合的问题(重点)。3.会分析电场中的动力学问题(难点)。

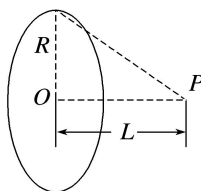
### 一、非点电荷电场强度的求解

求解点电荷的电场强度时,一般可用公式  $E=\frac{F}{q}$ 、 $E=\frac{kQ}{r^2}$  计算。但当一个带电体的体积较大时,已不能看作点电荷,求这个带电体在某处的电场强度时,常用微元法、对称法、补偿法等方法,化难为易。

#### 1.微元法

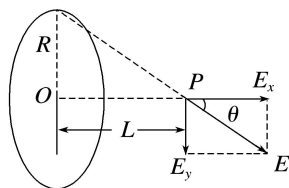
把带电体分成很多小块,每小块都可以看成点电荷,用点电荷电场叠加的方法计算。

**【例1】**如图甲所示,均匀带电圆环所带电荷量为  $Q$ ,半径为  $R$ ,圆心为  $O$ ,  $P$  为垂直于圆环平面中心轴上的一点,  $OP=L$ ,静电力常量为  $k$ ,求  $P$  点的电场强度大小时:



甲

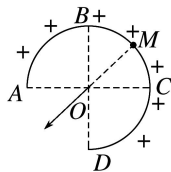
设想将圆环看成由  $n$  个相同的小段组成,当  $n$  相当大时,每一小段都可以看成一个点电荷,其所带电荷量  $Q'=\underline{\hspace{2cm}}$ ,由点电荷电场强度公式可求得每一小段带电体在  $P$  点产生的电场强度大小  $E=\underline{\hspace{2cm}}$ ,如图乙中所示,  $E$  垂直于中心轴的分量  $E_y$  相互抵消,而沿轴方向的分量  $E_x$  之和即为带电圆环在  $P$  点的电场强度  $E_P$ ,即  $E_P=\underline{\hspace{2cm}}$ 。



乙

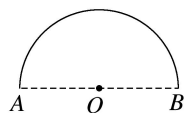
#### 2.对称法

带电体所带电荷或部分电荷对称分布,可应用对称性解决问题,使问题简单化。



例如:均匀带电的圆环有一个  $\frac{1}{4}$  圆弧的缺口,判断  $O$  点的电场强度方向时,由于圆环上任何两个关于圆中心对称的两点在  $O$  点产生的电场强度矢量和为零,故可以等效为弧  $BC$  在  $O$  点产生的电场强度,弧  $BC$  上关于  $OM$  对称的两点在  $O$  点产生的电场强度沿  $MO$  方向,故  $O$  点的电场强度沿  $MO$  方向。

## 【例 2】



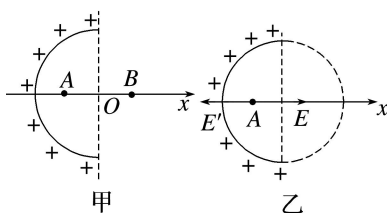
如图所示，一个绝缘半圆环上均匀分布有同种电荷，固定在绝缘水平面上，在圆弧的圆心处放有一个点电荷，点电荷受到的静电力为  $F$ ，若截走圆弧的  $\frac{1}{2}$ ，则圆心处的点电荷受到的静电力大小变为( )

- A.  $\frac{\sqrt{2}}{2}F$       B.  $\frac{1}{2}F$       C.  $\frac{\sqrt{3}}{2}F$       D.  $\frac{1}{3}F$

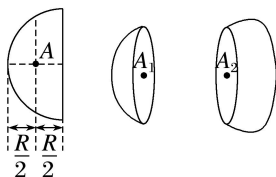
### 3. 补偿法

当带电体的形状不完整，如有缺口的带电圆环或球面，通常将它补全为完整的圆环或球面，根据作差法求解。

例如：已知均匀带电球壳内部电场强度处处为零。如图甲，半球球壳电荷量为  $+q$ ， $A$ 、 $B$  两点关于半球球壳心  $O$  点对称，且半球壳在  $A$  点产生的电场强度大小为  $E$ 。求半球壳在  $B$  点产生的电场强度大小时，可以将题目中半球壳补成一个均匀带电的完整球壳，如图乙，设右半球在  $A$  点产生的电场强度大小为  $E'$ 。由于均匀带电球壳内部电场强度处处为零，则  $E$  和  $E'$  大小相等。根据对称性可知，左半球在  $B$  点产生的电场强度大小也为  $E$ 。



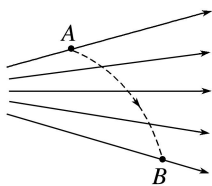
【例 3】 如图所示，将表面均匀带正电的半球壳，沿线轴分成厚度相等的两部分，然后将这两部分移到很远的距离，设分开后球表面仍均匀带电，左半部分在  $A_1$  点的电场强度大小为  $E_1$ ，右半部分在  $A_2$  点的电场强度的大小为  $E_2$ ，则有( )



- A.  $E_1 = E_2$       B.  $E_1 < E_2$   
C.  $E_1 > E_2$       D. 大小无法确定

## 二、电场线与带电粒子的运动轨迹结合的问题

若实线为电场线，虚线为带电粒子的运动轨迹，带电粒子只受静电力的作用从  $A$  点向  $B$  点运动。回答以下问题：



- (1)画出粒子在  $A$  点的运动方向和加速度方向；
- (2)判断粒子的电性；
- (3)判断粒子从  $A$  到  $B$  过程中，加速度大小的变化情况；
- (4)判断粒子从  $A$  到  $B$  过程中，速度大小的变化情况。

---

---

---

---

---

---

---

---

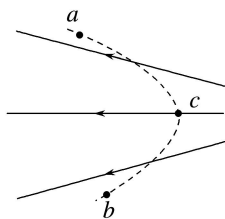
#### 『提炼·总结』

1.带电粒子仅受静电力作用做曲线运动时，静电力指向轨迹曲线的内侧。静电力沿电场线方向或电场线的切线方向，粒子速度方向沿轨迹的切线方向。

#### 2.分析方法

- (1)由轨迹的弯曲情况，结合电场线确定静电力的方向；
- (2)由静电力和电场线的方向可判断电荷的正负；
- (3)由电场线的疏密程度可确定静电力的大小，再根据牛顿第二定律，可判断带电粒子加速度的大小；
- (4)根据力和速度的夹角，由静电力做功的正负，动能的增大还是减小，可以判断速度变大还是变小，从而确定不同位置的速度大小关系。

【例 4】 某电场的电场线分布如图所示，虚线为某带电粒子只在静电力作用下的运动轨迹， $a$ 、 $b$ 、 $c$  是轨迹上的三个点，则( )



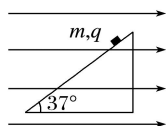
- A.粒子一定带负电
- B.粒子一定是从  $a$  点运动到  $b$  点
- C.粒子在  $c$  点的加速度一定大于在  $b$  点的加速度
- D.粒子在电场中  $c$  点的速度一定大于在  $a$  点的速度



### 三、电场中的动力学问题

分析带电体在电场中的加速运动时，与力学问题分析方法完全相同，牛顿第二定律仍适用。

**【例 5】** 如图所示，光滑固定斜面(足够长)倾角为  $37^\circ$ ，一带正电的小物块质量为  $m$ 、电荷量为  $q$ ，置于斜面上，当沿水平方向加如图所示的匀强电场时，带电小物块恰好静止在斜面上，从某时刻开始，电场强度变化为原来的  $\frac{1}{2}$ ，重力加速度  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ ， $\sin 37^\circ=0.6$ ， $\cos 37^\circ=0.8$ 。求：



(1)原来的电场强度大小(用字母表示)；

(2)小物块运动的加速度；

(3)小物块第 2 s 末的速度大小和前 2 s 内的位移大小。

---

---

---

---

---

---

---

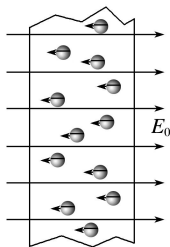
---

## 4 静电的防止与利用

**[学习目标]** 1.知道什么是静电平衡,能掌握静电平衡状态下导体的特点(难点)。2.知道导体上电荷的分布特征,了解尖端放电、静电屏蔽现象及其成因(重点)。3.了解静电除尘、静电喷漆、静电复印的工作原理。

### 一、静电平衡

如图所示,不带电的金属导体放到电场中,导体内的自由电子将发生定向移动,使导体两端出现等量异种电荷。请思考下列问题:



(1)自由电子定向移动的原因是什么?定向移动的方向如何?

(2)自由电子能否一直定向移动?为什么?

---

---

#### 「梳理与总结」

1.静电平衡:导体内的自由电子不再发生\_\_\_\_\_的状态。

2.处于静电平衡状态的导体,其内部的电场强度处处为\_\_\_\_,即外电场  $E_0$  和感应电荷产生的电场  $E'$  的关系为  $E_0 = -E'$ 。

3.导体上电荷的分布:

(1)静电平衡时,导体\_\_\_\_\_没有净电荷(未被抵消的电荷),电荷只分布在导体的\_\_\_\_\_。

(2)在导体外表面,越尖锐的位置,电荷的密度(单位面积的电荷量)\_\_\_\_\_,凹陷的位置几乎没有电荷。

4.处于静电平衡状态的导体,其外表面任一点的电场强度方向跟该点的表面\_\_\_\_\_。

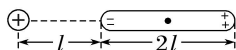
#### 「易错辨析」

(1)处于静电平衡状态下的导体表面和内部的合电场强度均为零。( )

(2)静电平衡时,导体内部不再有电荷的定向移动。( )

(3)一个孤立的带电体,在自身所带电荷的电场中,处于静电平衡状态,不具有静电平衡的特点。( )

**【例1】** (2024·重庆市高二期末)如图所示,一长为  $2l$  且粗细均匀的导体棒原来不带电,现将一电荷量为  $+q$  的点电荷放在其中轴线上距其左端  $l$  处,静电力常量为  $k$ ,当该导体棒达到静电平衡后,棒上感应电荷在棒内中心处产生的电场强度大小为( )



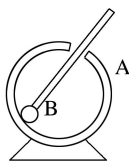
- A. 0                      B.  $\frac{kq}{4l^2}$                       C.  $\frac{kq}{l^2}$                       D.  $\frac{4kq}{l^2}$

### ■ 总结提升 ■

求处于静电平衡状态的导体的感应电荷产生的电场强度的方法是：

- (1) 先求出外电场电场强度  $E_{\text{外}}$  的大小和方向。
- (2) 由于导体处于静电平衡状态，则满足静电平衡条件  $E_{\text{合}}=0$ 。
- (3) 由  $E_{\text{外}}+E_{\text{感}}=0$ ，求出感应电场  $E_{\text{感}}$  的大小和方向。

**【例 2】** 一个带绝缘底座的空心金属球 A 带有  $4 \times 10^{-8} \text{ C}$  的正电荷，上端开有适当小孔，有绝缘柄的金属小球 B 带有  $2 \times 10^{-8} \text{ C}$  的负电荷，使 B 球和 A 球内壁接触，如图所示，则 A、B 所带电荷量分别为 (     )



- A.  $Q_A=1 \times 10^{-8} \text{ C}$      $Q_B=1 \times 10^{-8} \text{ C}$   
 B.  $Q_A=2 \times 10^{-8} \text{ C}$      $Q_B=0$   
 C.  $Q_A=0$      $Q_B=2 \times 10^{-8} \text{ C}$   
 D.  $Q_A=4 \times 10^{-8} \text{ C}$      $Q_B=-2 \times 10^{-8} \text{ C}$

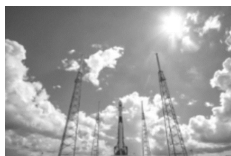
## 二、尖端放电

1. 空气的电离：在一定条件下，导体尖端电荷\_\_\_\_\_很大，导体尖端周围的强电场使空气中残留的带电粒子发生剧烈运动，并与空气分子碰撞从而使空气分子中的正负电荷\_\_\_\_\_，这个现象叫作空气的电离。
2. 尖端放电：所带电荷与导体尖端的电荷符号相反的粒子，由于被\_\_\_\_\_，而与尖端上的电荷\_\_\_\_\_，相当于导体从尖端\_\_\_\_\_的现象。
3. 尖端放电的应用与防止：
  - (1) 应用：避雷针是利用尖端放电避免雷击的一种设施。
  - (2) 防止：高压设备中导体的表面尽量\_\_\_\_\_会减少电能的损失。

### 『易错辨析』

- (1) 验电器的金属杆上端固定一个金属球而不是做成针尖状，这是为了防止尖端放电。(     )
- (2) 避雷针避雷的原理是尖端放电能将云层中的电荷中和。(     )
- (3) 为了美观，通常把避雷针顶端设计成球形。(     )
- (4) 为了避免因尖端放电而损失电能，高压输电导线表面要尽量光滑。(     )

**【例 3】** (2021·浙江 6 月选考)如图所示,在火箭发射塔周围有钢铁制成的四座高塔,高塔的功能最有可能是( )

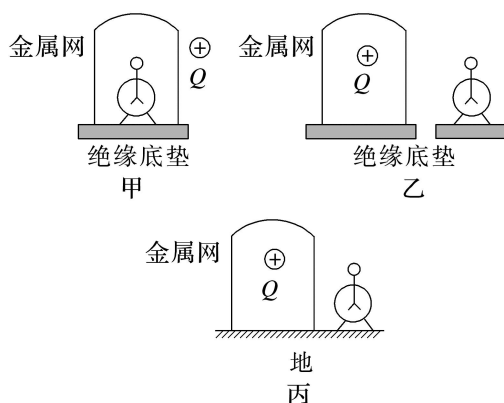


- A. 探测发射台周围风力的大小
- B. 发射与航天器联系的电磁波
- C. 预防雷电击中待发射的火箭
- D. 测量火箭发射过程的速度和加速度

### 三、静电屏蔽

1. 定义: 导体壳(或金属壳)内达到静电平衡后, 外电场对内部\_\_\_\_\_产生影响, 金属壳的这种作用叫作静电屏蔽。
2. 实质: 静电屏蔽的实质是利用了\_\_\_\_\_现象, 使金属壳内的感应电荷的电场和外加电场的电场强度矢量和为\_\_\_\_\_。
3. 航天器经过地球大气层时, 与大气层高速摩擦产生高温, 在航天器周围形成等离子体, 对航天器产生静电屏蔽作用, 导致地面控制中心与航天器的通信暂时中断。
4. 电梯轿厢通常是用不锈钢做的, 因此在封闭的电梯里手机通信中断, 也是发生了静电屏蔽。

**【例 4】** 下列关于静电屏蔽实验的说法正确的是( )

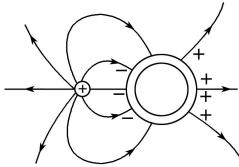
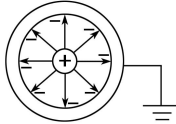


- A. 甲图中验电器的金属箔张开
- B. 乙图中验电器的金属箔不会张开
- C. 丙图中验电器的金属箔不会张开
- D. 甲、乙、丙三图中验电器的金属箔都张开

### ■ 总结提升 ■

#### 静电屏蔽的两种情况

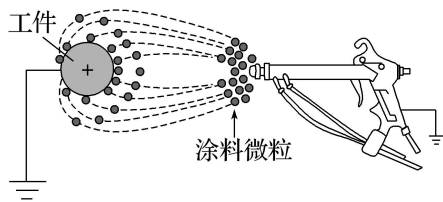
|  |            |                |
|--|------------|----------------|
|  | 屏蔽外电场(外屏蔽) | 屏蔽内电场(全屏蔽或内屏蔽) |
|--|------------|----------------|

|      |                                                                                   |                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 图示   |  |  |
| 实现过程 | 因场源电荷产生的电场与导体球壳表面上感应电荷产生的电场在空腔内的合电场强度为零，达到静电平衡状态，起到屏蔽外电场的作用                       | 当空腔外部接地时，外表面的感应电荷被中和，外部电场消失，起到屏蔽内电场的作用                                              |
| 最终结论 | 导体内空腔不受外界电荷影响                                                                     | 接地导体空腔外部不受内部电荷影响                                                                    |
| 本质   | 静电感应与静电平衡，用于做静电屏蔽的材料只能是导体，不能是绝缘体                                                  |                                                                                     |

#### 四、静电吸附

- 1.静电吸附：在电场中，带电粒子受到\_\_\_\_\_的作用，向着电极运动，最后被吸附在电极上的现象。
- 2.静电除尘：当空气中的尘埃带电时，在\_\_\_\_\_作用下，尘埃到达电极而被收集起来的过程。
- 3.静电喷漆：接负高压的涂料雾化器喷出的油漆微粒带负电，在静电力作用下，这些微粒向着作为\_\_\_\_\_的工件运动，并沉积在工件表面的过程。
- 4.静电复印：复印机应用了\_\_\_\_\_的原理。

**【例 5】** (多选)(2024·龙岩市高二期中)静电喷漆是利用静电吸附现象制造的，其喷涂原理如图所示，则以下说法正确的是( )



- A.在喷枪喷嘴与被喷涂工件之间有一强电场
- B.涂料微粒一定带正电
- C.涂料微粒一定带负电
- D.涂料微粒可能带正电，也可能带负电

## 章末素养提升

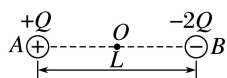
### 素养再现

|          |                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                               |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物理<br>观念 | 与电荷有关的概念                                                                                                  | 1.点电荷：带电体的_____、_____及_____对它们之间的作用力的影响可以忽略时<br>2.场源电荷：_____的带电体所带的电荷<br>3.试探电荷：放入后不影响要研究的电场及用来研究电场各点的性质的电荷<br>4.元电荷：最小的_____, 即_____所带电荷量的大小<br>5.比荷：带电体的_____与_____的比值                                      |
|          | 两个定律                                                                                                      | 1.电荷守恒定律：电荷既不会_____, 也不会_____, 它只能从一个物体_____到另一个物体, 或者从物体的一部分_____到另一部分; 在转移过程中, 电荷的_____保持不变<br>2.库仑定律：真空中两个静止点电荷之间的相互作用力, 与它们的_____成正比, 与它们的距离的_____成反比, 作用力的方向在_____. 这个规律叫作库仑定律。这种电荷之间的相互作用力叫作_____或_____ |
|          | 电场强度                                                                                                      | 1.定义式: $E=\frac{F}{q}$ (适用于_____电场)<br>决定式: $E=k\frac{Q}{r^2}$ (适用于_____)<br>2.电场线：电场中画出假想的曲线, 每点的_____表示该点的_____方向, 疏密表示电场的_____, 特点是_____, _____                                                            |
| 科学思维     | 理想化模型                                                                                                     | 点电荷                                                                                                                                                                                                           |
|          | 控制变量法                                                                                                     | 库仑定律的探究                                                                                                                                                                                                       |
|          | 微小量放大法                                                                                                    | 库仑扭秤实验                                                                                                                                                                                                        |
|          | 比值定义法                                                                                                     | $E=\frac{F}{q}$                                                                                                                                                                                               |
|          | 形象描述                                                                                                      | 电场线                                                                                                                                                                                                           |
| 科学探究     | 1.通过实验观察, 了解静电现象, 探究物体带电的本质<br>2.通过探究如何得出库仑定律, 体会库仑扭秤实验的科学思想和方法<br>3.通过实验模拟和定量分析的方法, 探究描述电场强弱的物理量, 获得探究体验 |                                                                                                                                                                                                               |

|             |                                                          |
|-------------|----------------------------------------------------------|
| 科学态度<br>与责任 | 1.会从微观的角度认识物体带电的本质                                       |
|             | 2.通过实验观察静电现象，培养严谨细致的科学态度                                 |
|             | 3.通过了解生活中关于静电的利用和防护，能对利用和防护静电的一些行为发表自己的观点，有进行科学普及的兴趣和责任感 |

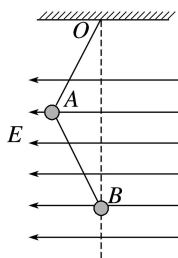
## 提能训练

【例 1】(2024·广东部分名校高二期末联考)如图所示， $A$ 、 $B$  是两个电荷量分别为  $+Q$ 、 $-2Q$  的点电荷，距离为  $L$ ，其连线中点为  $O$ ，静电力常量为  $k$ 。 $O$  点处的电场强度大小为( )



- A.  $12k\frac{Q}{L^2}$                       B.  $8k\frac{Q}{L^2}$   
C.  $4k\frac{Q}{L^2}$                       D.  $k\frac{Q}{L^2}$

【例 2】(多选)(2025·天津市第一中学高二期中)如图所示，用两段长度相等的绝缘细绳顺次连接质量相等的  $A$ 、 $B$  两小球，悬挂于天花板的  $O$  点。现在让  $A$ 、 $B$  两小球分别带上电荷，电性和电荷量均未知，并且加上一水平向左的匀强电场。不考虑两小球之间的相互作用，装置平衡时  $A$ 、 $B$  两小球的位置如图所示， $B$  球刚好在  $O$  点的正下方，则下列说法中正确的是( )



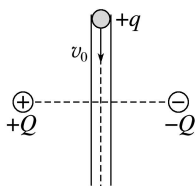
- A. 小球  $A$ 、 $B$  所带电性一定是相反的  
B. 小球  $A$  与小球  $B$  的电荷量之比一定是 2 : 1(不考虑电性的正负号)  
C. 细绳  $OA$  的拉力大小是细绳  $AB$  的拉力大小的 2 倍  
D. 若只增加小球  $A$  的带电荷量，装置平衡后小球  $B$  仍能位于  $O$  点正下方

## ■ 总结提升 ■

### 静电力与平衡知识的综合应用

- 1.同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。静电力与重力、弹力一样，在解题中要注意力学规律的应用及受力分析。
- 2.带电体在电场中的平衡问题，实际上属于力学平衡问题，仅多了一个静电力而已。求解时，需应用有关力学的平衡知识，在正确的受力分析基础上，应用共点力作用下物体的平衡条件，灵活选用合适的方法(如合成法、分解法、矢量图解法、相似三角形法、整体法与隔离法等)求解。

【例 3】 (2024·安徽省岳西中学高二月考)如图所示为两个固定在同一水平面上的点电荷，距离为  $d$ ，电荷量分别为  $+Q$  和  $-Q$ 。在它们的中垂线上水平固定一根内壁光滑的绝缘细管，一电荷量为  $+q$  的小球(忽略重力)缓慢经过细管，则( )



- A. 小球的加速度先减小后增大
- B. 小球的速度先减小后增大
- C. 小球受到的库仑力最大值为  $\frac{8kQq}{d^2}$
- D. 管壁对小球的弹力最大值为  $\frac{4kQq}{d^2}$

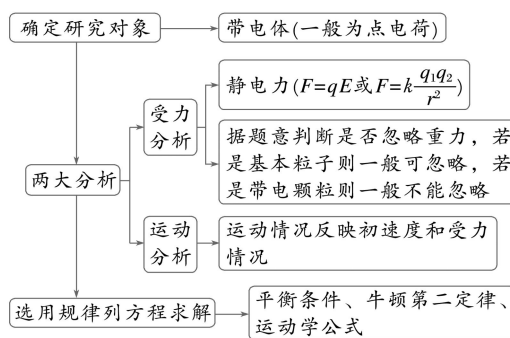
### ■ 总结提升 ■

## 带电体在电场中的运动问题

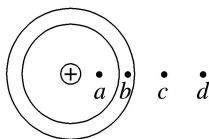
### 1. 问题综述

带电体在电场中运动是一类综合性很强的问题，解决这类问题时，常把带电体看作点电荷，应用牛顿运动定律、动能定理等求解。电场分为匀强电场和非匀强电场两种类型。

### 2. 解题思路



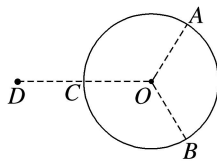
【例 4】 (2024·哈尔滨市第一中学高二质检)如图所示，较厚的空腔球形导体壳中有一个正点电荷，则图中  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  各点处的电场强度大小关系为( )



- A.  $E_a > E_b > E_c > E_d$
- B.  $E_a > E_c = E_d > E_b$
- C.  $E_a > E_c > E_d > E_b$
- D.  $E_a < E_b < E_c = E_d$



【例 5】 (2024·南阳市六校高二期中)如图所示，半径为  $R$  的带电荷量为  $+Q$  的绝缘圆环，圆心为  $O$ ，电荷量均匀分布。 $A$ 、 $B$ 、 $C$  为圆环的三等分点， $OD=2R$ 。现将  $A$ 、 $B$  两处长为  $\Delta l$  的电荷取走， $D$  点放置一电荷量为  $q$  的点电荷， $O$  处电场强度恰好为零，则( )



A.  $D$  处的点电荷一定带正电

B.  $C$  点电场强度为零

C.  $q$  的绝对值为  $\frac{2\Delta l}{\pi R}Q$

D.  $A$ 、 $B$  两点电场强度相同

## 第十章

# 静电场中的能量

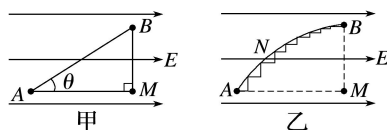


## 1 电势能和电势

**[学习目标]** 1.知道静电力做功的特点,掌握静电力做功与电势能变化之间的关系(重点)。2.理解电势能、电势的概念及电势和电势能的相对性(重难点)。3.掌握电势能的计算方法(重点)。4.会判断电场中两点电势的高低(重点)。

### 一、静电力做功的特点

如图所示,正试探电荷  $q$  在电场强度为  $E$  的匀强电场中从  $A$  移动到  $B$ 。



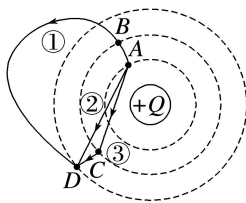
- (1)若  $q$  沿直线  $AB$ (图甲)运动,静电力做的功为多少?
- (2)若  $q$  沿折线  $AMB$ (图甲)从  $A$  点移动到  $B$  点,静电力做的功为多少?
- (3)若  $q$  沿任意曲线  $ANB$ (图乙)从  $A$  点移动到  $B$  点,静电力做的功为多少?
- (4)由此可得出什么结论?

### 「梳理与总结」

静电力做功的特点:静电力所做的功与电荷的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_有关,与电荷经过的路径\_\_\_\_\_。

**注意:**这个结论虽然是从匀强电场中推导出来的,但是可以证明对非匀强电场也是适用的。

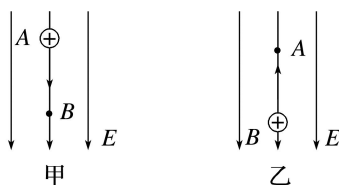
**【例 1】** (2024·黑龙江省实验中学高二月考)如图所示是以电荷  $+Q$  为圆心的一组同心圆(虚线),电场中有  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  四点。现将一带电荷量为  $q$  的正点电荷由  $A$  点沿不同的路径移动到  $D$  点,沿路径①做功为  $W_1$ ,沿路径②做功为  $W_2$ ,沿路径③做功为  $W_3$ ,则( )



- A.  $W_2 < W_3 < W_1$       B.  $W_1 = W_2 = W_3$   
C.  $W_2 > W_3 > W_1$       D.  $W_3 > W_2 > W_1$

## 二、电势能

(1)分析正电荷只在静电力作用下从  $A \rightarrow B$  运动(图甲)和从  $B \rightarrow A$  运动时(图乙)静电力做功情况、动能和电势能的变化。



(2)参考重力做功与重力势能变化的关系总结静电力做功与电势能之间有什么关系。

(3)如果规定  $B$  点为零势能位置，若电荷从  $A$  移动至  $B$  静电力对电荷做功为  $W_{AB}$ ，则电荷在  $A$  点电势能是多少？

---



---



---

### 「梳理与总结」

1.定义：电荷在电场中具有的电势能，是与\_\_\_\_\_有关的物理量。符号：\_\_\_\_\_。

2.静电力做功与电势能变化之间的关系：

(1) $W_{AB} =$ \_\_\_\_\_。

(2)静电力做正功，即  $W_{AB} > 0$ ，电势能\_\_\_\_\_；静电力做负功，即  $W_{AB} < 0$ ，电势能\_\_\_\_\_。

3.电势能的大小：电荷在某点的电势能，等于把它从这点移动到\_\_\_\_\_时静电力所做的功。

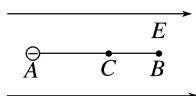
4.电势能的几点说明：

(1)标量：正负值表示电势能\_\_\_\_\_。

(2)系统性：电荷与\_\_\_\_\_共有的能量。

(3)相对性：通常以离场源电荷\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_为零势能面。

【例 2】将带电荷量为  $6 \times 10^{-6} \text{ C}$  的负电荷从电场中的  $A$  点移到  $B$  点，克服静电力做了  $3 \times 10^{-5} \text{ J}$  的功，再从  $B$  移到  $C$ ，静电力做了  $1.2 \times 10^{-5} \text{ J}$  的功，则：



- (1)电荷从  $A$  移到  $B$ ，再从  $B$  移到  $C$  的过程中电势能改变了多少？
- (2)如果规定  $A$  点的电势能为零，则该电荷在  $B$  点和  $C$  点的电势能分别为多少？
- (3)如果规定  $B$  点的电势能为零，则该电荷在  $A$  点和  $C$  点的电势能分别为多少？

---

---

---

---

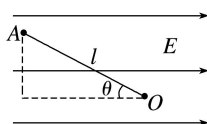
---

---

---

### 三、电势

在如图所示的匀强电场中，电场强度为  $E$ ，取  $O$  点为零势能点， $A$  点距  $O$  点的距离为  $l$ ， $AO$  连线与电场强度反方向的夹角为  $\theta$ 。



- (1)电荷量分别为  $q$ 、 $-q$  和  $2q$  的试探电荷在  $A$  点的电势能分别为多少？
- (2)不同电荷在同一点的电势能与电荷量的比值是否相同？与试探电荷的电荷量是否有关系？

---

---

#### 「梳理与总结」

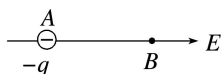
- 定义：电荷在电场中某一点的\_\_\_\_\_与它的\_\_\_\_\_之比。
- 公式： $\varphi =$ \_\_\_\_\_。
- 单位：在国际单位制中，电势的单位是\_\_\_\_\_，符号是  $V$ ， $1 V = 1 J/C$ 。
- 电势是\_\_\_\_\_ (填“矢”或“标”)量，只有大小，没有方向。

#### 「思考与讨论」

- (1)假如正试探电荷沿着电场线从  $A$  点移到  $B$  点，电荷的电势能如何变化？ $A$ 、 $B$  两点电势有什么关系？



- (2)假如负试探电荷从  $A$  点移到  $B$  点，电势能如何变化？ $A$ 、 $B$  两点电势有什么关系？




---

---

#### 「提炼·总结」

- 电势高低的判断：沿着电场线方向电势逐渐\_\_\_\_\_。

2.电势的相对性：只有在规定了零电势点之后，才能确定电场中某点的电势，一般选\_\_\_\_\_或离场源电荷\_\_\_\_\_处的电势为0。

3.电势是\_\_\_\_\_(填“矢”或“标”)量，但有正负。在同一电场中，电势为正值表示该点电势高于零电势，电势为负值表示该点电势低于零电势。

注意：通过 $\varphi=\frac{E_p}{q}$ 计算时， $E_p$ 、 $q$ 均需代入正负号。

### 『易错辨析』

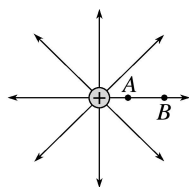
(1)电场强度为零的位置电势也为零。( )

(2)电场强度大的位置电势不一定高。( )

(3)电势降低的方向就是电场线的方向。( )

(4)某电场中， $A$ 点的电势 $\varphi_A=-3\text{ V}$ ， $B$ 点的电势 $\varphi_B=-4\text{ V}$ ，则 $\varphi_A<\varphi_B$ 。( )

【例3】如图，将 $q_1=2\times 10^{-6}\text{ C}$ 的试探电荷从 $A$ 点移到 $B$ 点，静电力做功 $5\times 10^{-5}\text{ J}$ ，从 $B$ 点移到无穷远处，静电力做功 $8\times 10^{-5}\text{ J}$ 。以无穷远处的电势为零，求：



(1)电荷 $q_1$ 在 $A$ 、 $B$ 两点的电势能；

(2) $A$ 、 $B$ 两点的电势；

(3) $q_2=-2\times 10^{-6}\text{ C}$ 的电荷在 $A$ 、 $B$ 两点的电势能。

---

---

---

拓展1  $A$ 点与 $B$ 点哪个位置电势高？

---

---

拓展2  $q_2$ 在 $A$ 点还是 $B$ 点的电势能大？

---

---

### ■ 总结提升 ■

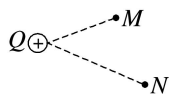
#### 电势高低的判断方法

1.电场线法：沿着电场线方向电势逐渐降低。

2.场源电荷法：离场源正电荷越近的点，电势越高；离场源负电荷越近的点，电势越低。

3.公式法：由 $\varphi=\frac{E_p}{q}$ 知，对于同一正电荷，电势能越大，所在位置的电势越高；对于同一负电荷，电势能越小，所在位置的电势越高。

【例 4】(多选)如图所示, 固定在  $Q$  点的正点电荷产生的电场中有  $M$ 、 $N$  两点, 已知  $\overline{MQ} < \overline{NQ}$ 。下列叙述正确的是( )



- A. 若把一正点电荷从  $M$  点沿直线移到  $N$  点, 则静电力对该电荷做正功, 电势能减少
- B. 若把一正点电荷从  $M$  点沿直线移到  $N$  点, 则该电荷克服静电力做功, 电势能增加
- C. 若把一负点电荷从  $M$  点沿直线移到  $N$  点, 则静电力对该电荷做正功, 电势能减少
- D. 若把一负点电荷从  $M$  点沿直线移到  $N$  点, 再从  $N$  点沿不同路径移回到  $M$  点, 则该电荷电势能不变

#### ■ 总结提升 ■

### 电势能大小的判断方法

#### 1. 根据静电力做功判断

静电力做正功, 电势能减少; 静电力做负功, 电势能增加。

#### 2. 根据 $E_p = q\varphi$ 判断

如果是正电荷, 电势越高, 电势能越大; 如果是负电荷, 电势越高, 电势能越小。

## 2 电势差

[学习目标] 1.理解电势差的概念,知道电势差的正负表示两点间电势的高低关系。2.掌握电势差的表达式,会用  $U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$  及  $U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$  进行有关计算(重点)。3.理解等势面的概念,掌握等势面的特点,会应用常见电场的等势面解决问题(重难点)。

### 一、电势差

1.定义:电场中两点之间\_\_\_\_\_的差值,也叫作\_\_\_\_\_。

2. $A$ 、 $B$  两点电势差,可以表示为  $U_{AB}=\rule{1.5cm}{0.4pt}$ ,也可以表示为  $U_{BA}=\rule{1.5cm}{0.4pt}$ ,可知  $U_{AB}=-U_{BA}$ 。

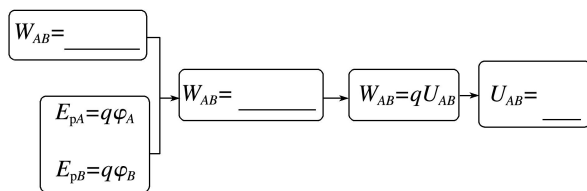
3.电势差的正负

电势差是标量,所以电场中各点间的电势差可依次用\_\_\_\_\_相加。

4.电势差的单位

在国际单位制中,电势差与电势的单位相同,均为\_\_\_\_\_,符号是 V。

5.(1)静电力做功与电势差的关系

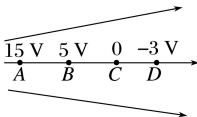


(2)说明:①由  $U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$  可以看出,  $U_{AB}$  在数值上等于单位正电荷由  $A$  点移动到  $B$  点时静电力所做的功。

②  $U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}$  中,  $U_{AB}$ 、 $W_{AB}$  及  $q$  都有正负之分,计算  $U_{AB}$  时,  $W_{AB}$  和  $q$  的正负可直接代入求解。

### 『思考与讨论』

电场中  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  四点的电势如图所示。



(1) $A$ 、 $C$  及  $A$ 、 $B$  间的电势差各为多少? 哪个较大?

(2)若取  $D$  点电势为零,则  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点的电势各为多少?  $A$ 、 $C$  及  $A$ 、 $B$  间的电势差各为多少?

---

---

---

### 『提炼·总结』

电势的大小与零电势点的选取有关,电势差的大小与零电势点的选取无关。

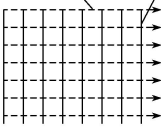
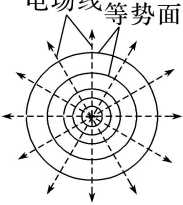
「易错辨析」

- (1)电势差与电势一样，是相对量，都与零电势点的选取有关。( )
- (2)若 $\varphi_A=0$ ，则 $U_{AB}=\varphi_B$ 。( )
- (3)将电荷量为 $q$ 的电荷从 $A$ 点移到 $B$ 点与将电荷量为 $-q$ 的电荷从 $B$ 点移到 $A$ 点，静电力所做的功相同。( )
- 【例 1】 (2025·太原市高二期中)将电荷量 $q=1.0\times 10^{-9}\text{ C}$ 的点电荷从 $A$ 点移动到 $B$ 点，静电力做功 $W_{AB}=-4.0\times 10^{-8}\text{ J}$ ，若将该电荷从 $B$ 点移动到 $C$ 点，电势能增加了 $6.0\times 10^{-8}\text{ J}$ ，设 $C$ 点的电势 $\varphi_C=0$ 。求：
- (1) $A$ 与 $B$ 、 $A$ 与 $C$ 两点间的电势差 $U_{AB}$ 、 $U_{AC}$ ；

- (2) $A$ 、 $B$ 两点的电势 $\varphi_A$ 、 $\varphi_B$ ， $q$ 在 $B$ 点的电势能 $E_{pB}$ 。

二、等势面

- 1.等势面的定义：电场中\_\_\_\_\_的各点构成的面。
- 2.电场线跟等势面垂直，并且由\_\_\_\_\_的等势面指向\_\_\_\_\_的等势面。
- 3.四种常见的典型电场的等势面对比

| 电场     | 等势面(实线)                                                                                                | 特征描述           |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 匀强电场   | <div>电场线 等势面</div>  | 垂直于电场线的一簇等间距平面 |
| 点电荷的电场 | <div>电场线 等势面</div>  | 以点电荷为球心的一簇球面   |



|            |  |                                            |
|------------|--|--------------------------------------------|
| 等量异种点电荷的电场 |  | 点电荷连线的中垂面上的电势为零                            |
| 等量正点电荷的电场  |  | 点电荷连线上，中点电势最低，而在中垂线上，中点电势最高。关于中点对称的两点，电势相等 |

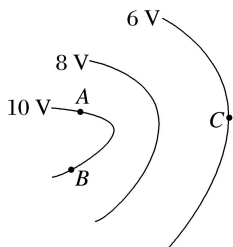
说明：(1)在空间中两等势面不相交。

(2)以上图中两个相邻的等势面之间的电势差是相等的，这样的等势面称为等差等势面。

(3)由图可知，在电场线密集的地方，等差等势面密集，电场强度大；在电场线稀疏的地方，等差等势面稀疏，电场强度小。

### 「思考与讨论」

(1)某电场的等势面如图所示，试画出电场线的大致分布。若单位正电荷沿任一路径从  $A$  点移到  $B$  点，静电力所做的功是多少？



(2)正电荷从  $A$  点移到  $C$  点，与从  $B$  点移到  $C$  点，静电力所做的功是否相等？

---



---



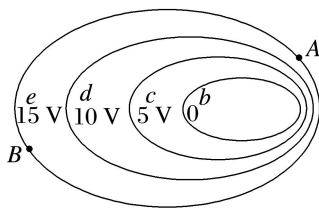
---

### 「提炼·总结」

1.同一等势面上，任意两点间的电势差为 0，所以若初、末位置在同一等势面上，沿任意路径移动电荷，静电力做的总功为零。

2.两个等势面的电势差相等，所以在两个等势面间移动同一电荷，静电力做功的绝对值相等。

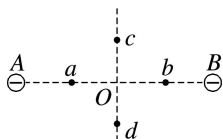
【例 2】(多选)如图所示为某电场等势面的分布情况，则下列说法正确的是( )



A.所有电荷在  $A$ 、 $B$  两点的电势能均相等

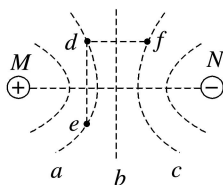
- B.  $A$  点的电场强度大于  $B$  点的电场强度
- C. 质子在  $A$ 、 $B$  两点的电势能相等且为正值
- D. 若将电子从  $b$  等势面移动到  $e$  等势面, 则静电力做功  $-15\text{ eV}$

**【例 3】** (2024·广州市高二月考) 如图所示,  $A$ 、 $B$  为两个等量负点电荷,  $a$ 、 $O$ 、 $b$  在点电荷  $A$ 、 $B$  的连线上,  $c$ 、 $O$ 、 $d$  在连线的中垂线上,  $Oa=Ob=Oc=Od$ , 则( )



- A.  $a$ 、 $b$  两点的电场强度相同, 电势相同
- B.  $c$ 、 $d$  两点的电场强度相同, 电势相同
- C. 将一电子由  $a$  点移至  $b$  点电子电势能先减小后增大
- D. 将一电子由  $d$  点移至  $c$  点电子电势能增大

**【例 4】** (多选) 如图所示, 真空中  $M$ 、 $N$  处分别放置两等量异种点电荷,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  表示电场中的 3 个等势面,  $d$  点和  $e$  点位于  $a$  等势面上,  $f$  点位于  $c$  等势面上,  $df$  平行于  $MN$ 。以下说法正确的是( )



- A.  $d$  点的电势高于  $f$  点的电势
- B.  $d$  点的电势与  $e$  点的电势相等
- C. 若将一负试探电荷沿直线由  $d$  点移动到  $f$  点, 则静电力先做正功、后做负功
- D. 若将一正试探电荷沿直线由  $d$  点移动到  $e$  点, 试探电荷的电势能增加

### ■ 总结提升 ■

#### 1. 等量同种点电荷的等势面

(1) 等量正点电荷连线的中点电势最低, 两点电荷连线的中垂线上该点的电势最高, 从中点沿中垂线向两侧, 电势越来越低。

(2) 等量负点电荷连线的中点电势最高, 两点电荷连线的中垂线上该点的电势最低, 从中点沿中垂线向两侧, 电势越来越高。

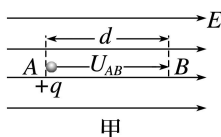
2. 等量异种点电荷的等势面: 点电荷的连线上, 从正电荷到负电荷电势越来越低, 两点电荷连线的中垂面是一等势面。

### 3 电势差与电场强度的关系

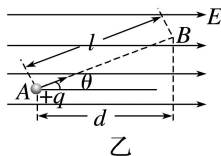
[学习目标] 1.知道电势差与电场强度的关系式,了解其适用条件(重点)。2.会用关系式  $U=Ed$  处理匀强电场问题,利用公式  $E=\frac{U}{d}$  定性分析非匀强电场(重点)。

#### 一、匀强电场中电势差与电场强度的关系

如图甲所示,在电场强度为  $E$  的匀强电场中,  $A$ 、 $B$  是相距为  $d$  且沿电场方向上的两点,其电势差为  $U_{AB}$ ,现将一个电荷量为  $+q$  的电荷由  $A$  移到  $B$ 。



- (1)从力和位移的角度计算静电力所做的功;
- (2)通过  $A$ 、 $B$  间的电势差计算静电力所做的功;
- (3)比较两次计算功的大小并总结电势差与电场强度的关系;



- (4)如果  $A$ 、 $B$  两点不在同一条电场线上(如图乙),上述结论还成立吗?请尝试进行论证。

---

---

---

#### 『梳理与总结』

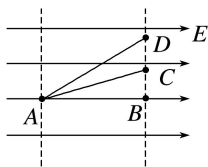
##### 1.匀强电场中电势差与电场强度的关系

- (1)匀强电场中两点间的电势差等于电场强度与这两点\_\_\_\_\_的距离的乘积。
- (2)公式:  $U_{AB}=\rule{1cm}{0.4pt}$ 。
- (3)电场强度单位的换算:  $\rule{1cm}{0.4pt}=1\text{ N/C}$ 。
- (4)应用:在定量计算中,此关系式只适用于匀强电场,公式中  $d$  必须是沿电场强度方向的距离,当电场中的两点不在同一条电场线上时,  $d$  应为两点在电场强度方向上的投影距离,亦为电场中两点所在的等势面间的距离。

2.由  $E=\frac{U_{AB}}{d}$  可知,电场强度在数值上等于沿电场方向单位距离上降低的电势,电场强度是电势差对空间位置的变化率,电势随空间变化的快慢,反映了电场强度的大小。

#### 『思考与讨论』

如图,图中虚线为等势线,  $B$ 、 $C$ 、 $D$  三点位于同一等势线上。



- (1)比较  $A$  与  $B$ 、 $A$  与  $C$ 、 $A$  与  $D$  间电势差的大小;
- (2)电势沿  $AB$ 、 $AC$ 、 $AD$  三条线, 哪一个方向降低最快?

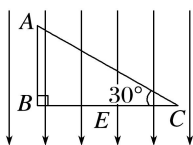
### 「提炼·总结」

电场中电场强度方向指向电势降低最快的方向。

### 「易错辨析」

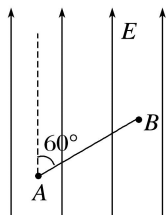
- (1)由公式  $E = \frac{U_{AB}}{d}$  得电场强度跟两点的电势差成正比, 跟两点的距离成反比。( )
- (2)匀强电场中沿电场线方向, 任何相同距离上电势降落必定相等。( )
- (3)匀强电场中电势降低的方向必是电场强度方向。( )

**【例 1】** 如图所示,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  是匀强电场中一直角三角形的三个顶点, 其中  $\angle C = 30^\circ$ ,  $AB$  方向与电场方向平行,  $AC$  边长  $0.8 \text{ m}$ 。已知  $A$ 、 $C$  两点的电势  $\varphi_A = 9 \text{ V}$ ,  $\varphi_C = 3 \text{ V}$ , 下列说法正确的是( )



- A. 匀强电场的电场强度大小为  $7.5 \text{ V/m}$
- B. 匀强电场的电场强度大小为  $15 \text{ V/m}$
- C. 匀强电场的电场强度大小为  $5\sqrt{3} \text{ V/m}$
- D.  $B$  点比  $C$  点电势低

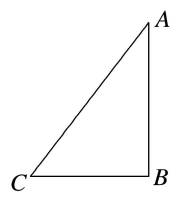
**针对训练 1** (2024·眉山市高二期中) 如图所示, 匀强电场电场强度大小  $E = 100 \text{ V/m}$ ,  $A$ 、 $B$  两点相距  $10 \text{ cm}$ ,  $A$ 、 $B$  连线与电场线夹角为  $60^\circ$ , 则  $U_{BA}$  为( )



- A.  $5 \text{ V}$
- B.  $5\sqrt{3} \text{ V}$
- C.  $-5 \text{ V}$
- D.  $-5\sqrt{3} \text{ V}$

**【例 2】** (2024·天津市五校高二期中) 如图所示, 匀强电场中  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点构成一个直角三角形(电场线与三角形所在平面平行), 其中  $\angle A = 30^\circ$ , 边长  $AC = 16 \text{ cm}$ 。将电荷量  $q = -6 \times 10^{-6} \text{ C}$  的点电荷由  $A$  点移到

$B$  点，静电力做功  $2.4 \times 10^{-5} \text{ J}$ ，再由  $B$  点移到  $C$  点，该点电荷克服静电力做功  $2.4 \times 10^{-5} \text{ J}$ ，取  $B$  点的电势为零，求：



(1)  $A$ 、 $C$  两点的电势；

---

---

---

---

---

(2) 匀强电场的电场强度。

---

---

---

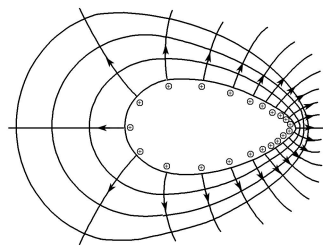
■ 总结提升 ■

电势差的三种求解方法

- 1. 应用定义式  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$  来求解。
- 2. 应用关系式  $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$  来求解。
- 3. 应用关系式  $U_{AB} = Ed$ （匀强电场）来求解。 $U_{AB} = Ed$  阐述的是一个矢量的大小与另一个标量间的关系，所以不带符号计算，结果的正负根据题意另行判断。

二、利用公式  $E = \frac{U}{d}$  定性分析非匀强电场

运用  $E = \frac{U}{d}$  怎样解释电场线密的地方等差等势线也密？



---

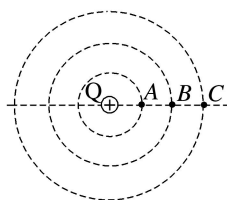
---

---

## 「提炼·总结」

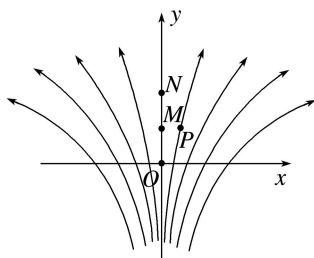
$U_{AB}=Ed$  只适用于匀强电场的定量计算, 在非匀强电场中, 不能进行定量计算, 但可以定性地分析有关问题。

**【例 3】** (多选)(2025·芜湖市高二月考)如图, 三个同心圆是正点电荷  $Q$  周围的三个等势面,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  分别是这三个等势面上的点。已知这三个圆的半径关系为  $r_C - r_B = r_B - r_A$ , 且这三点在同一条电场线上。现将一个电荷量为  $1.6 \times 10^{-6} \text{ C}$  的正电荷  $q$  从  $A$  点移到  $C$  点, 其电势能减少  $1.92 \times 10^{-5} \text{ J}$ 。下列说法正确的是( )



- A. 若取  $C$  点的电势为 0,  $A$  点的电势为 12 V
- B. 若取  $A$  点的电势为 0,  $B$  点的电势为 -6 V
- C.  $U_{AB} = U_{BC}$
- D. 将正电荷  $q$  从  $B$  点移到  $C$  点, 静电力做功小于  $9.6 \times 10^{-6} \text{ J}$

**针对训练 2** 如图所示, 一个电场的电场线分布关于  $y$  轴对称,  $O$ 、 $M$ 、 $N$  是  $y$  轴上的三个点, 且  $OM = MN$ ,  $P$  点在  $y$  轴的右侧,  $MP \perp ON$ , 则( )



- A.  $M$  点的电势比  $P$  点的电势高
- B. 将负电荷由  $O$  点移动到  $P$  点, 静电力做正功
- C.  $M$ 、 $N$  两点间的电势差大于  $O$ 、 $M$  两点间的电势差
- D.  $M$ 、 $N$  两点间的电势差等于  $O$ 、 $M$  两点间的电势差

## 专题强化3 电场线、等势面与带电粒子运动轨迹问题 等分法的应用

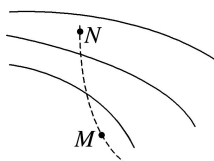
[学习目标] 1.会根据电场线、等势面与带电粒子的运动轨迹判断粒子的受力情况及能量的变化情况(重难点)。2.会利用等分法确定等势面和电场线(重难点)。

### 一、电场线、等势面与带电粒子运动轨迹的综合问题

带电粒子在电场中运动轨迹问题的分析方法:

- 1.判断速度方向: 带电粒子运动轨迹上某点的切线方向为粒子在该点处的速度方向。
- 2.判断静电力(或电场强度)的方向: 仅受静电力作用时, 带电粒子所受静电力方向指向轨迹曲线的凹侧, 再根据粒子的正负判断该点处电场强度的方向。
- 3.判断静电力做功的正负及电势能的增减: 若静电力与速度方向成锐角, 则静电力做正功, 电势能减少; 若静电力与速度方向成钝角, 则静电力做负功, 电势能增加。
- 4.判断粒子动能的增减: 可以根据动能定理判断动能的变化情况。

【例1】 如图所示, 实线表示某电场的电场线(方向未标出), 虚线是一带负电的粒子只在静电力作用下从  $N$  点运动到  $M$  点的运动轨迹, 设  $M$  点和  $N$  点的电势分别为  $\varphi_M$ 、 $\varphi_N$ , 加速度大小分别为  $a_M$ 、 $a_N$ , 速度大小分别为  $v_M$ 、 $v_N$ , 电势能分别为  $E_{pM}$ 、 $E_{pN}$ 。下列判断正确的是( )



- A.  $v_M < v_N$ ,  $a_M > a_N$
- B.  $v_M < v_N$ ,  $\varphi_M < \varphi_N$
- C.  $\varphi_M < \varphi_N$ ,  $E_{pM} < E_{pN}$
- D.  $a_M < a_N$ ,  $E_{pM} < E_{pN}$

拓展1 例1中若粒子从  $M$  点运动到  $N$  点, 其他条件不变, 则  $v_M$  \_\_\_\_\_  $v_N$ ,  $E_{pM}$  \_\_\_\_\_  $E_{pN}$ 。

拓展2 若例1中实线为等差等势面, 其他条件不变, 下列选项正确的是( )

- A.  $v_M < v_N$ ,  $a_M > a_N$
- B.  $v_M < v_N$ ,  $\varphi_M < \varphi_N$
- C.  $\varphi_M < \varphi_N$ ,  $E_{pM} < E_{pN}$
- D.  $a_M < a_N$ ,  $E_{pM} < E_{pN}$

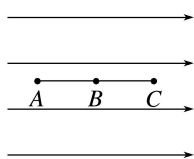
### ■ 总结提升 ■

1.在解决带电粒子在电场中运动轨迹问题时, 要分清题目中是电场线还是等势线, 一般选择轨迹与电场线(等势线)的交点进行分析。

2.判断静电力的方向时,若题目已知电场线,过交点作电场线的切线,结合轨迹确定具体的静电力的方向;  
若题目已知等势线,过交点作等势线切线的垂线,结合轨迹确定具体的静电力方向。

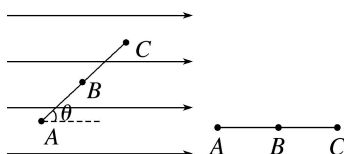
## 二、等分法确定等势面和电场线

【例 2】(1)如图甲,在匀强电场中,有  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点,其中  $B$  为  $AC$  的中点,则  $U_{AB}$  \_\_\_\_\_  $U_{BC}$  (填“>” “<” 或 “=”),  $\varphi_B =$  \_\_\_\_\_ (用  $\varphi_A$ 、 $\varphi_C$  表示)。

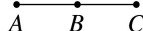


甲

(2)如图乙所示,若线段  $ABC$  与匀强电场夹角为  $\theta$ ,  $B$  为  $AC$  的中点,则  $\varphi_B =$  \_\_\_\_\_ (用  $\varphi_A$ 、 $\varphi_C$  表示)。



乙



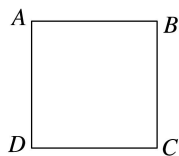
丙

(3)如图丙所示,在匀强电场中,若匀强电场的方向未知,  $B$  仍为线段  $AC$  的中点,则  $\varphi_B =$  \_\_\_\_\_ (用  $\varphi_A$ 、 $\varphi_C$  表示)。

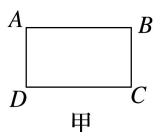
### ■ 总结提升 ■

匀强电场中任一线段  $AC$  的中点  $B$  的电势  $\varphi_B = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2}$ 。

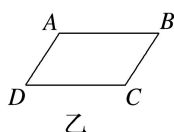
拓展 1 (1) $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  是匀强电场中一正方形的四个顶点,已知  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点的电势分别为  $\varphi_A = 15 \text{ V}$ 、 $\varphi_B = 9 \text{ V}$ 、 $\varphi_C = -3 \text{ V}$ ,由此可知  $\varphi_D =$  \_\_\_\_\_  $\text{V}$ 。



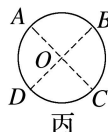
(2) $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  是匀强电场中甲、乙、丙图形中的四个点,若  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点的电势分别为  $\varphi_A = 15 \text{ V}$ 、 $\varphi_B = 9 \text{ V}$ 、 $\varphi_C = -3 \text{ V}$ ,则  $\varphi_D =$  \_\_\_\_\_  $\text{V}$ 。



甲



乙



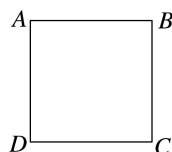
丙

### ■ 总结提升 ■

- 1.匀强电场中,关于同一点对称的任意两点的电势之和相等;
- 2.匀强电场中,若两线段平行且相等,两线段两端电势差相等。



拓展 2 在图中，作出拓展 1(1)中过  $A$  点的电场线。

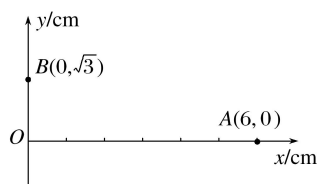


## ■ 总结提升 ■

### 用等分法确定匀强电场的电场方向的方法

1. 由等分法确定各点电势；
2. 连接电势相等的点画出等势线；
3. 根据电场线与等势面垂直画出电场线；
4. 由电势高的等势面指向电势低的等势面标出电场线的方向。

【例 3】 如图所示，在平面直角坐标系中，有一个方向平行于坐标平面的匀强电场，其中坐标原点  $O$  处的电势为  $0$ ，点  $A$  处的电势为  $6\text{ V}$ ，点  $B$  处的电势为  $3\text{ V}$ ，则电场强度的大小为( )



- A.  $200\text{ V/m}$                       B.  $200\sqrt{3}\text{ V/m}$   
C.  $100\text{ V/m}$                       D.  $100\sqrt{3}\text{ V/m}$

## ■ 总结提升 ■

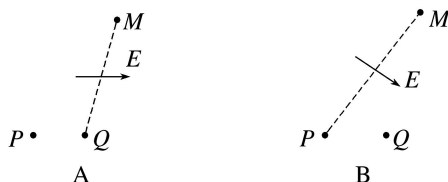
### 求匀强电场电场强度大小常用的方法

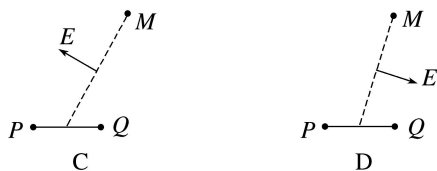
方法一：确定两等势面间电势差  $U$  及等势面之间距离  $d$ ，利用  $E = \frac{U}{d}$  计算电场强度大小。

方法二：分别利用  $E_x = \frac{U_x}{d_x}$  和  $E_y = \frac{U_y}{d_y}$  计算两个相互垂直方向上的电场强度大小，再利用矢量合成求出合电场强度的大小。

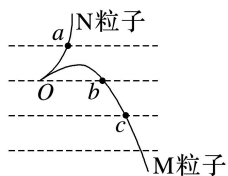
## 随堂演练

1. (2024·长沙市高二期末)  $P$ 、 $Q$ 、 $M$  是在匀强电场中同一平面上的三个点，已知各点电势  $\varphi_P = 10\text{ V}$ 、 $\varphi_Q = 2\text{ V}$ 、 $\varphi_M = 6\text{ V}$ ，下列图中电场强度的方向表示正确的是( )





2.(2024 ·哈尔滨市九中高二期)图中虚线为匀强电场中与电场强度方向垂直的等间距平行直线，两粒子 M、N 比荷相等，电性相反。现将 M、N 从虚线上的  $O$  点以相同速率射出，两粒子在电场中运动的轨迹分别如图中两条实线所示。点  $a$ 、 $b$ 、 $c$  为实线与虚线的交点，已知  $O$  点电势高于  $c$  点。若不计重力及两粒子间的相互作用，则( )



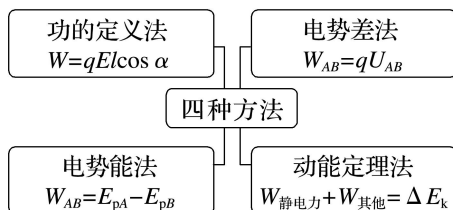
- A.M 带负电荷，N 带正电荷
- B.N 在  $a$  点的速度与 M 在  $c$  点的速度大小相等
- C.N 在  $a$  点的动能与 M 在  $c$  点的动能一定相同
- D.N 从  $O$  点运动至  $a$  点的过程中电势能增加

## 专题强化 4 静电场中的功能关系及图像问题

[学习目标] 1.能应用动能定理等分析静电场中的功能关系。2.理解 $\varphi$ - $x$ 、 $E$ - $x$ 和 $E_p$ - $x$ 等图像的意义并会应用图像解决电场问题。

### 一、静电场中的功能关系

#### 1.静电力做功的计算



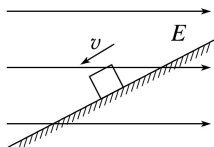
#### 2.电场中常见的几种功能关系

(1)静电力做功等于带电体电势能的减少量, 即  $W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}=-\Delta E_p$ 。

(2)合外力做功等于带电体动能的变化量, 即  $W_{\text{合}}=\Delta E_k$ , 这里的  $W_{\text{合}}$  指合外力做的功。

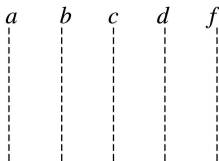
(3)只有静电力做功, 则带电体的动能和电势能之间相互转化, 二者总和不变, 即  $\Delta E_k=-\Delta E_p$ 。

**【例 1】** (多选)如图所示, 在水平向右的匀强电场中有一绝缘斜面, 斜面上有一带电金属块沿斜面滑下。已知在金属块滑下的过程中动能增加了 12 J, 金属块克服摩擦力做功 8 J, 重力做功 24 J, 则以下判断正确的是( )



- A.金属块带正电荷
- B.金属块的机械能减少 12 J
- C.金属块克服静电力做功 8 J
- D.金属块的电势能减少 4 J

**【例 2】** (多选)图中虚线  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $f$  代表匀强电场内间距相等的一组等势面, 已知平面  $b$  上的电势为 2 V。一电子经过  $a$  时的动能为 10 eV, 从  $a$  到  $d$  的过程中克服静电力所做的功为 6 eV。下列说法正确的是( )



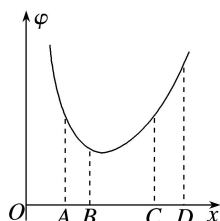
- A.平面  $c$  上的电势为零
- B.该电子可能到达不了平面  $f$

- C.该电子经过平面  $d$  时, 其电势能为  $4\text{ eV}$   
 D.该电子经过平面  $b$  时的速率是经过  $d$  时的 2 倍

## 二、电场中的图像问题

### 1. $\varphi$ - $x$ 图像

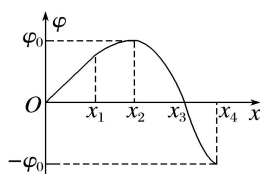
(1) $\varphi$ - $x$  图像的意义: 反映了电势  $\varphi$  随位置  $x$  变化的规律。在  $\varphi$ - $x$  图像中根据纵坐标值可以直接判断各点电势的高低。



(2) $\varphi$ - $x$  图线的斜率绝对值表示沿  $x$  轴方向电场强度的大小; 电场强度为零处, 其切线的斜率为零。

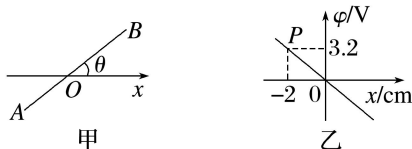
(3)设电场强度的方向与  $x$  轴平行, 图像中沿  $x$  轴电势降低的方向即为电场强度方向。图中  $A$  点电势高于  $B$  点电势, 故  $A$ 、 $B$  间电场方向沿  $x$  轴正方向,  $C$  点电势低于  $D$  点电势, 故  $C$ 、 $D$  间电场方向沿  $x$  轴负方向。

**【例 3】** (2024·海南苗族自治县高二开学考试)在  $x$  轴方向存在一静电场, 其电势  $\varphi$  与  $x$  的关系如图所示, 其中  $O \sim x_1$  之间的  $\varphi$ - $x$  图像为倾斜直线, 下列判断正确的是( )



- A.  $O \sim x_1$  之间的电场为匀强电场, 电场方向沿  $x$  轴正方向  
 B.  $x=x_2$  处的电势最高, 电场强度为零  
 C.  $x=x_3$  处的电势和电场强度均为零  
 D. 若将正电荷从  $O$  点沿  $x$  轴移动到  $x_4$  处, 静电力做功为零

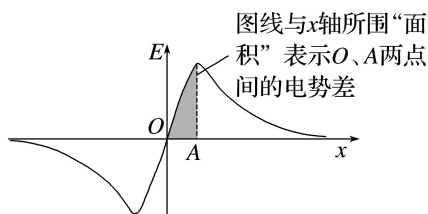
**针对训练** 如图甲所示, 直线  $AB$  是电场中的一条电场线, 沿与直线  $AB$  成  $\theta=37^\circ$  角方向建立一维坐标轴  $Ox$ , 令原点  $O$  处电势为零, 则沿  $Ox$  坐标轴上各点的电势  $\varphi$  与  $x$  坐标的关系如图乙所示, 直线上  $P$  点坐标已标注在图中。下列说法正确的是( $\cos 37^\circ=0.8$ )( )



- A. 电场方向由  $B$  指向  $A$   
 B. 电场方向沿  $x$  轴正方向  
 C. 原点  $O$  处的电场强度大小为  $2 \times 10^2\text{ V/m}$   
 D. 原点  $O$  处的电场强度大小为  $1.6 \times 10^2\text{ V/m}$

## 2. $E$ - $x$ 图像

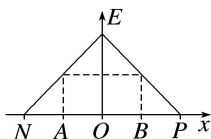
(1)  $E$ - $x$  图像的意义：反映了沿  $x$  轴方向电场强度  $E$  随  $x$  变化的规律。



(2) 设  $x$  轴正方向为电场强度的正方向， $E > 0$  表示电场强度沿  $x$  轴正方向； $E < 0$  表示电场强度沿  $x$  轴负方向。

(3) 图线与  $x$  轴围成的“面积”表示电势差，“面积”大小表示电势差大小，两点的电势高低根据电场方向判定。

**【例 4】** (2024·天津市五校高二期中) 某半导体  $PN$  结中存在电场，取电场强度  $E$  的方向为  $x$  轴正方向，其  $E$ - $x$  关系图像如图所示，已知  $NA=AO=OB=BP$ 。取  $O$  点的电势为零，则( )



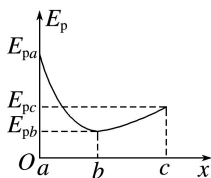
- A.  $A$  点电势低于  $B$  点电势
- B. 电子从  $N$  移到  $P$  的过程中，电势能先增大后减小
- C. 电子由  $N$  运动到  $P$  的过程静电力先减小后增大
- D.  $N$ 、 $A$  两点之间的电势差小于  $A$ 、 $O$  两点之间的电势差

## 3. $E_p$ - $x$ 图像

(1)  $E_p$ - $x$  图像的物理意义：反映了电势能  $E_p$  随  $x$  变化的规律。

(2) 图像切线的斜率绝对值表示静电力大小。图像切线斜率为零时静电力为零，该点的电场强度的大小也为零。

**【例 5】** (2024·太原市高二期中)  $a$ 、 $b$ 、 $c$  是静电场中一直线上的三个点，从  $a$  点释放一个初速度为零的电子，电子仅在静电力的作用下，由  $a$  点经  $b$  点运动到  $c$  点，其电势能随该电子位置的变化关系如图所示，下列说法正确的是( )



- A. 该电场可能是孤立的点电荷产生的
- B. 电子在  $a$  点加速度小于在  $b$  点加速度
- C. 电场中  $a$  点的电势低于  $b$  点的电势
- D. 电子从  $a$  点到  $c$  点的过程中动能先减小后增大

## 4 电容器的电容

### 第1课时 电容器的电容

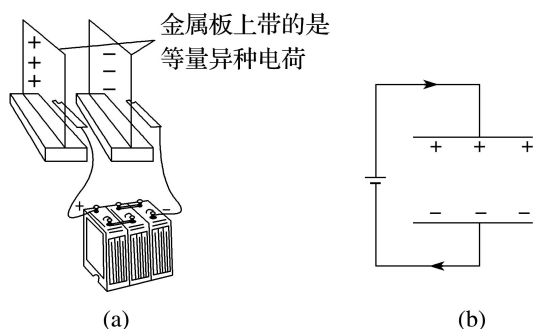
[学习目标] 1.知道什么是电容器及电容器的主要构造。2.理解电容的概念及其定义式(重难点)。3.知道电容器充、放电的实验原理和实验电路。

#### 一、电容器

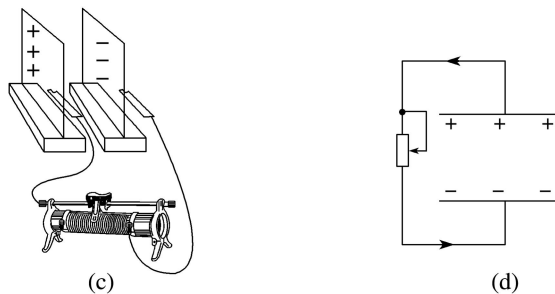
1.基本构造：任何两个彼此\_\_\_\_\_又相距很近的导体，都可以看成一个电容器。

2.充电、放电：

(1)充电：把电容器的两个极板与电源的\_\_\_\_\_相连，使两个极板上带上\_\_\_\_\_的过程。充电后，跟电源正极相连的极板带\_\_\_\_\_电，跟电源负极相连的极板带\_\_\_\_\_电。充电过程如图(a)、(b)所示。



(2)放电：用导线把充电后的电容器的\_\_\_\_\_接通，两个极板上的电荷\_\_\_\_\_，电容器失去电荷的过程。放电后，电容器任一极板带电荷量均为\_\_\_\_\_。放电过程如图(c)、(d)所示。



3.从能量的角度区分充电与放电：充电是从电源获得能量储存在电容器中，放电是把电容器中的\_\_\_\_\_通过电流做功转化为电路中其他形式的能量。

4.电容器的电荷量：其中\_\_\_\_\_极板所带电荷量的绝对值。

#### 「易错辨析」

(1)电容器只能储存同种电荷。( )

(2)电容器带电时，只有一个极板上有电荷。( )

(3)一个极板带电荷量是  $Q$ ，则电容器的电荷量为  $2Q$ 。( )

## 二、电容

### 1. 电容

(1)定义：电容器所带的\_\_\_\_\_与电容器两极板之间的\_\_\_\_\_之比，叫作电容器的电容。

(2)定义式：\_\_\_\_\_ (比值定义法)， $Q$  指一个极板所带电荷量的绝对值。

(3)电容的国际单位：\_\_\_\_\_，简称：\_\_\_\_\_，用字母\_\_\_\_\_表示，常用的单位还有微法和皮法， $1 \text{ F} = \text{_____} \mu\text{F} = \text{_____} \text{ pF}$ 。

(4)物理意义：描述电容器容纳电荷本领大小的物理量。

(5)由  $C = \frac{Q}{U}$  表明，电容器的电容在数值上等于使两极板间的电势差为\_\_\_\_\_时电容器所带的电荷量。

### 2. 击穿电压和额定电压

(1)击穿电压：电介质不被\_\_\_\_\_时加在电容器两极板上的\_\_\_\_\_电压，若电压超过这一限度，电容器就会损坏。

(2)额定电压：电容器外壳上标的电压是工作电压，也是电容器正常工作时所能承受的最大电压。

(3)额定电压比击穿电压\_\_\_\_\_。

### 『易错辨析』

(1)放电的电容器电荷量为零，电容也为零。( )

(2)对于确定的电容器，它所带电荷量与它两极板间电压的比值保持不变。( )

(3)当加在电容器两端的电压超过额定电压时，电容器将被击穿。( )

**【例 1】** (来自教材改编)(2024·陕西瑞泉中学高二月考)心室纤颤是一种可能危及生命的疾病。一种叫作心脏除颤器的医疗设备，其工作原理是通过一个充电的电容器对心室纤颤患者皮肤上安装的两个电极板放电，让一部分电荷通过心脏，使心脏停止跳动，再刺激心室纤颤患者的心脏恢复正常跳动。若心脏除颤器的电容器电容为  $15 \mu\text{F}$ ，充电至  $9.0 \text{ kV}$  电压，如果电容器在  $2.0 \text{ ms}$  时间内完成放电，放电结束时电容器两极板间的电势差减为零。下列说法正确的是( )

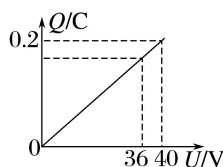
A.若充电至  $4.5 \text{ kV}$ ，则该电容器的电容为  $7.5 \mu\text{F}$

B.充电至  $9.0 \text{ kV}$  时，该电容器所带电荷量是  $0.27 \text{ C}$

C.这次放电过程中有  $0.135 \text{ C}$  的电荷通过人体组织

D.这次放电过程中有  $0.27 \text{ C}$  的电荷通过人体组织

**【例 2】** 如图所示为某一电容器所带电荷量和两端电压之间的关系图线，若将该电容器两端的电压从  $40 \text{ V}$  降低到  $36 \text{ V}$ ，对该电容器来说正确的是( )

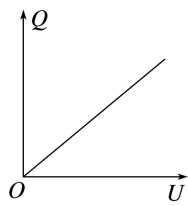


A.是充电过程

- B.是放电过程
- C.该电容器的电容为  $5 \times 10^{-2} \text{ F}$
- D.该电容器的电荷量变化量为  $0.2 \text{ C}$

■ 总结提升 ■

电容器电容的另一表达式



如图所示， $Q$ - $U$  图像是一条过原点的直线，其中  $Q$  为一个极板上所带电荷量的绝对值， $U$  为两极板间的电势差，直线的斜率表示电容大小。因此  $C=\frac{\Delta Q}{\Delta U}$ ，即电容的大小在数值上等于两极板间的电压增加(或减小) $1 \text{ V}$  所增加(或减小)的电荷量。

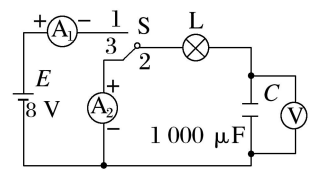
三、实验：观察电容器的充、放电现象

1.实验器材

$8 \text{ V}$  的直流电源、单刀双掷开关、平行板电容器、电流表、电压表、小灯泡、导线若干。

2.实验步骤

(1)按图连接好电路。



- (2)将单刀双掷开关  $S$  接触点  $1$ ，观察电容器的充电现象，并将结果记录在表格中。
- (3)将单刀双掷开关  $S$  接触点  $3$ ，观察电容器的放电现象，并将结果记录在表格中。
- (4)关闭电源。

3.实验记录和分析

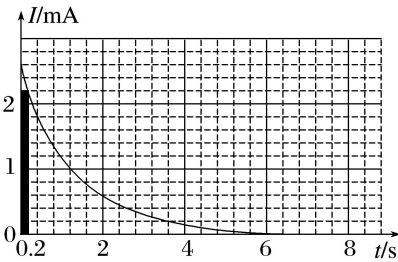
| 实验项目      |       | 实验现象                                         |
|-----------|-------|----------------------------------------------|
| 电容器<br>充电 | 灯泡    | 灯泡的亮度由_____到_____最后_____(均选填“明”“暗”或“熄灭”)     |
|           | 电流表 1 | 电流表 1 的读数由_____到_____最后为_____(均选填“大”“小”或“零”) |
|           | 电压表   | 电压表的读数由_____到_____(均选填“大”或“小”)最后稳定为某一数值      |



|           |       |                                              |
|-----------|-------|----------------------------------------------|
| 电容器<br>放电 | 灯泡    | 灯泡的亮度由_____到_____最后_____(均选填“明”“暗”或“熄灭”)     |
|           | 电流表 2 | 电流表 2 的读数由_____到_____最后为_____(均选填“大”“小”或“零”) |
|           | 电压表   | 电压表的读数由_____到_____最后为_____(均选填“大”“小”或“零”)    |

【思考与讨论】

一位同学用电流传感器(相当于电流表)观察电容器放电过程的变化情况得到的  $I-t$  图像如图所示, 电源电压为直流  $8\text{ V}$ 。



- (1)在图中画一个竖立的狭长矩形(在图的最左边), 它的面积的物理意义是什么。
- (2)怎样根据  $I-t$  图像估算电容器在全部放电过程中释放的电荷量? 试着算一算。

---

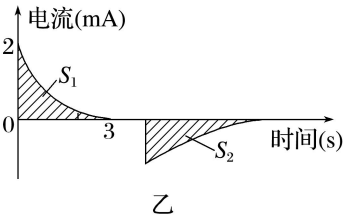
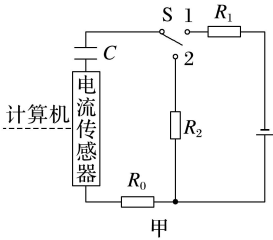


---



---

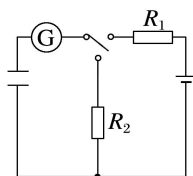
【例 3】 (2024·莆田市高二期中)如图甲是利用电流传感器系统研究电容器的充、放电过程。电路中的电流传感器可以捕捉瞬时的电流变化。图甲直流电源电压为  $8\text{ V}$ , 充电前电容器带电荷量为零。先使  $S$  与“1”端相连, 电源向电容器充电。充电结束后, 使  $S$  与“2”端相连, 直至放电完毕。计算机记录的电流随时间变化的  $I-t$  曲线如图乙所示。



- (1)在电容器充电与放电过程中,通过电阻  $R_0$  的电流方向\_\_\_\_\_(选填“相同”或“相反”)。
- (2)图像阴影为  $I-t$  曲线图像与对应时间轴所围成的面积,乙图中阴影部分的面积  $S_1$ \_\_\_\_\_  $S_2$ (选填“>”“<”或“=”)。
- (3)已知  $S_1=3.2 \text{ mA}\cdot\text{s}$ ,则该电容器的电容值为\_\_\_\_\_ F(保留两位有效数字)。
- (4)由甲、乙两图可判断阻值  $R_1$ \_\_\_\_\_  $R_2$ (选填“>”“<”或“=”)。

### ■ 总结提升 ■

如图所示,研究电容器充放电的过程:



- (1)电容器充电结束时,电容器两端的电压等于电源电压(与  $R_1$  阻值无关)。
- (2)充电的电荷量与放电的电荷量相等,若与电容器串联的电阻阻值增大,充(放)电时间延长。

## 第2课时 平行板电容器的电容

[学习目标] 1.了解影响平行板电容器电容大小的因素,并能进行有关的分析和计算(重点)。2.掌握平行板电容器两类动态变化问题的分析方法(重难点)。3.会分析平行板电容器中的力学问题(重点)。

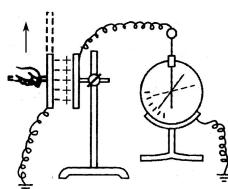
### 一、平行板电容器的电容

1.在探究影响平行板电容器电容大小的因素的实验中静电计在实验中的作用是什么?

---

---

2.如图,实验中待测电容器所带的电荷量是否变化?实验中怎样知道电容器电容变大还是变小?

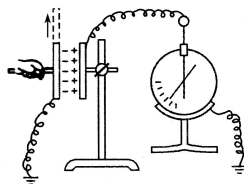


---

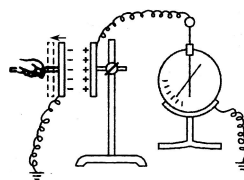
---

3.利用平行板电容器进行实验

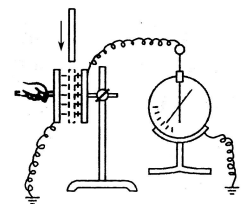
(1)如图所示,保持  $Q$  和  $d$  不变,减小两极板的正对面积  $S$ ,观察到静电计指针偏转角增大,请依据  $C=\frac{Q}{U}$  分析电容  $C$  的变化。



(2)如图所示,保持  $Q$  和  $S$  不变,增大两极板间的距离  $d$ ,观察到静电计指针偏转角增大,分析电容  $C$  的变化。



(3)如图所示,保持  $Q$ 、 $S$ 、 $d$  不变,插入电介质,观察到静电计指针偏转角减小,分析电容  $C$  的变化。



---

## 「梳理与总结」

1. 平行板电容器电容的决定因素：电容  $C$  与两极板间电介质的相对介电常数  $\epsilon_r$  成\_\_\_\_\_，与极板的正对面积  $S$  成\_\_\_\_\_，与两极板间的距离  $d$  成\_\_\_\_\_。

2. 平行板电容器电容的决定式： $C=_____$ ， $\epsilon_r$  为电介质的相对介电常数， $k$  为静电力常量。当两极板间是真空时， $\epsilon_r=_____$ 。空气的相对介电常数十分接近 1。

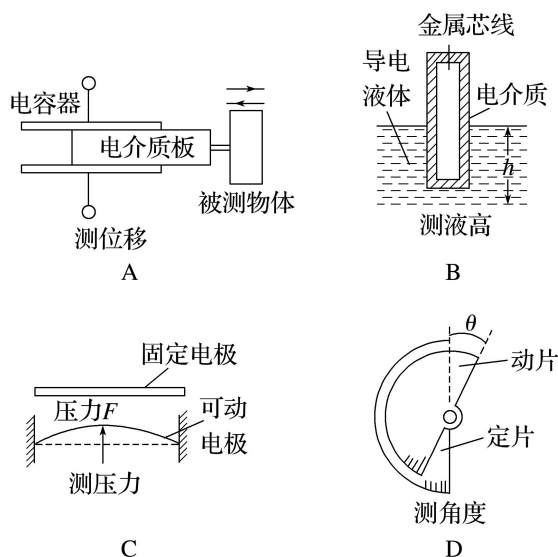
### 3. 常用电容器

(1) 分类：从构造上看，可以分为\_\_\_\_\_电容器和\_\_\_\_\_电容器两类。

(2) 固定电容器有：\_\_\_\_\_电容器、\_\_\_\_\_电容器等。

(3) 可变电容器由两组铝片组成，固定的一组铝片叫\_\_\_\_\_，可以转动的一组铝片叫\_\_\_\_\_。转动动片，使两组铝片的\_\_\_\_\_发生变化，电容就随着改变。

**【例 1】** (2024·扬州市高二期中) 传感器是自动控制设备中不可缺少的元件，已经渗透到宇宙开发、环境保护、交通运输以及家庭生活等各个领域。几种电容式传感器如图所示，其中通过改变电容器两极板间的距离而引起电容变化的是( )



**【例 2】** (2024·华东师范大学附属东昌中学高二期中) 如图，我们在办理身份证时进行了指纹采集。电容式指纹识别的原理是手指与传感器表面接触时，皮肤表面会和传感器上许许多多相同面积的小极板一一匹配成电容不同的平行板电容器，从而识别出指纹的纹路。相比于极板与指纹的凸点处构成的电容器，极板与指纹沟(凹的部分)构成的电容器电容\_\_\_\_\_ (填“大”或“小”)，若增大电容器的电压，电容器电容将\_\_\_\_\_ (填“变大”“变小”或“不变”)。



1.公式  $C=\frac{Q}{U}$  和  $C=\frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$  的比较

|      | $C=\frac{Q}{U}$                                       | $C=\frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$ |
|------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 特点   | 定义式                                                   | 决定式                              |
| 意义   | 对某电容器 $Q\propto U$ ，但 $\frac{Q}{U}=C$ 不变，反映电容器容纳电荷的本领 | 反映了影响电容大小的因素                     |
| 适用范围 | 任何电容器                                                 | 平行板电容器                           |

2. 电容器容纳电荷的本领由  $\frac{Q}{U}$  来量度，由本身的结构(如平行板电容器的  $\epsilon_r$ 、 $S$ 、 $d$  等因素)来决定。

二、平行板电容器的两类动态问题

1.两类基本问题

以下两种情形下，若电容器的某一物理量发生变化，求其他物理量的变化情况。

- (1)电容器始终与电池两极相连，稳定后，电容器上的电压不变。
- (2)电容器和电源连接后再断开，电容器上的电荷量不变。

2.平行板电容器动态问题的分析方法

抓住不变量，分析变化量，紧抓三个公式：

$C=\frac{Q}{U}$ 、 $E=\frac{U}{d}$  和  $C=\frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$

3.平行板电容器的两类典型问题基本思路

(1) $U$  不变的情形

由  $C=\frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}\rightarrow C\propto\frac{\epsilon_r S}{d}$ ，可知  $C$  的变化情况

由  $Q=UC$  判断  $Q$  的变化情况

由  $E=\frac{U}{d}$  判断  $E$  的变化情况

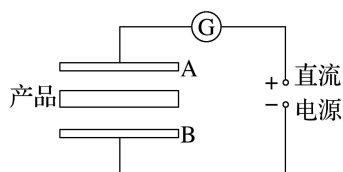
(2) $Q$  不变的情形

由  $C=\frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}\rightarrow C\propto\frac{\epsilon_r S}{d}$ ，可知  $C$  的变化情况

由  $U=\frac{Q}{C}$  判断  $U$  的变化情况

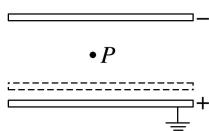
由  $E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\epsilon_r S}\rightarrow E\propto\frac{1}{\epsilon_r S}$ ，可知  $E$  随  $S$ 、 $\epsilon_r$  的变化而变化，但与  $d$  无关，不随  $d$  的变化而变化。

**【例 3】** (2024·广州市高二期中)在某流水线上用如图所示的传感器来监控产品的厚度，其中 A、B 为平行板电容器的上、下两个极板，上下位置均固定，且分别接在恒压直流电源的两极上，G 是灵敏电流计。当产品的厚度变薄导致相对介电常数  $\epsilon_r$  变小时，则有( )



- A.极板间的电压变小
- B.极板上所带的电荷量变大
- C.平行板电容器的电容变大
- D.有向右的电流流过灵敏电流计

**【例 4】** 一平行板电容器充电后与电源断开，正极板接地，在两极板间有一正电荷(电荷量很小)固定在  $P$  点，如图所示，以  $E$  表示两极板间的电场强度， $U$  表示电容器的电压， $E_p$  表示正电荷在  $P$  点的电势能。若保持负极板不动，将正极板移到图中虚线所示的位置，则( )



- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| A. $U$ 变小， $E$ 不变   | B. $E$ 变大， $E_p$ 变大 |
| C. $U$ 变小， $E_p$ 不变 | D. $U$ 不变， $E_p$ 不变 |

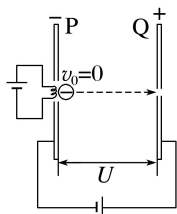
## 5 带电粒子在电场中的运动

### 第 1 课时 带电粒子在电场中的运动

**[学习目标]** 1.能从力和能量的角度分析带电粒子在电场中的加速问题(重点)。2.能运用类平抛运动的分析方法研究带电粒子在电场中的偏转问题(重难点)。

#### 一、带电粒子在电场中的加速

**【例 1】** 如图所示,炽热的金属丝可以发射电子。在金属板 P、Q 间加电压  $U$ , 发射出的电子在真空中加速后, 从金属板的小孔穿出。设电子刚离开金属丝时的速度为零, 电子质量为  $m$ 、电荷量大小为  $e$ 。



(1) 已知电子的质量为  $m=9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ , 电荷量为  $e=1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , 若极板电压  $U=200 \text{ V}$ , 板间距离为  $d=2 \text{ cm}$ , 则电子的重力与所受静电力的比值为\_\_\_\_\_ ( $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ , 结果保留一位有效数字), 通过以上数据可知, 在研究电子运动的过程\_\_\_\_\_ (选填“需要”或“不需要”) 考虑重力。

(2) 电子在 P、Q 间做什么运动?

(3) 求电子到达正极板时的速度大小(用两种方法求解, 结果用字母表示)。

---

---

---

**拓展 1** (1) 若保持 P、Q 间电压不变, 增大 P、Q 两板间的距离, 电子到达极板时所用的时间\_\_\_\_\_ (填“变长”“不变”或“变短”), 电子到达 Q 板的速率\_\_\_\_\_ (填“增大”“减小”或“不变”)。

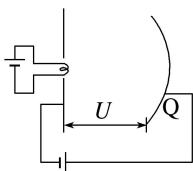
(2) 如何增大电子到达 Q 板的速率?

---

---

**拓展 2** 若电子的初速度  $v_0 \neq 0$ , 电子到达 Q 板的速率为\_\_\_\_\_。

**拓展 3** 如图所示, 若 Q 板为其他形状, 两极板间不是匀强电场, 该用何种方法求解。



---

## ■ 总结提升 ■

### 1. 带电粒子的分类及受力特点

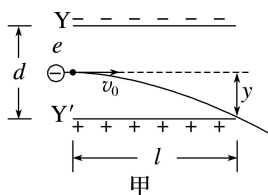
(1) 电子、质子、 $\alpha$ 粒子、离子等基本粒子，重力远小于静电力，一般都不考虑重力，但不能忽略质量。

(2) 质量较大的微粒，如带电小球、带电油滴、带电颗粒等，除有说明或有明确地暗示外，处理问题时一般都不能忽略重力。

2. 带电粒子在带电金属板间加速后的速率仅与带电粒子的初速度大小及两板间的电压有关，与板间距离无关。

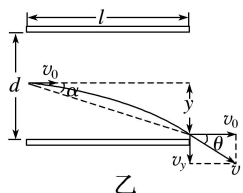
## 二、带电粒子在电场中的偏转

**【例 2】** 如图甲，两个相同极板 Y 与 Y' 的长度为  $l$ ，间距为  $d$ ，极板间的电压为  $U$ 。一个质量为  $m$ 、电荷量为  $e$  的电子沿平行于板面的方向射入电场中，射入时的速度为  $v_0$ 。把两极板间的电场看作匀强电场。



(1) 电子在电场中做什么运动？如何处理？

(2) 设电子不与平行板相撞，如图乙，完成下列内容(均用题中所给字母表示)。



① 电子通过电场的时间  $t = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

② 静电力方向：加速度  $a = \underline{\hspace{2cm}}$ ，离开电场时垂直于极板方向的分速度  $v_y = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

③ 速度与初速度方向夹角的正切值  $\tan \theta = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

④ 离开电场时沿静电力方向的偏移量  $y = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

## ■ 总结提升 ■

带电粒子在匀强电场中的偏转问题类似于平抛运动，运用运动的合成与分解来分析：将运动分解为沿初速度方向的匀速直线运动和垂直初速度方向的初速度为零的匀加速直线运动，在这两个方向上分别列运动学或牛顿第二定律方程求解物理量。



**拓展** 若电子可以飞出极板，两极板间距  $d$  应满足什么条件？

---



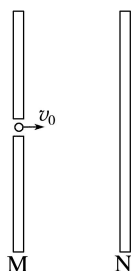
---



---

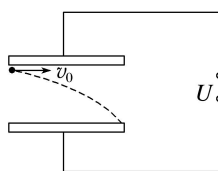
### 随堂演练

1. 如图所示，M、N是真空中两块相距为  $d$  的平行金属板。质量为  $m$ 、电荷量大小为  $q$  的带电粒子，以初速度  $v_0$  由小孔进入电场，当 M、N 间电压为  $U$  时，粒子恰好能到达 N 板。如果要使这个带电粒子到达距 N 板  $\frac{d}{3}$  后返回，下列措施中能满足要求的是(不计带电粒子的重力)( )



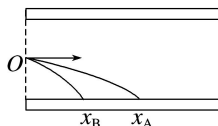
- A. 使初速度减为原来的  $\frac{1}{3}$   
 B. 使 M、N 间电压提高到原来的 2 倍  
 C. 使 M、N 间电压提高到原来的 3 倍  
 D. 使初速度和 M、N 间电压都减为原来的  $\frac{2}{3}$

2. 如图所示，两金属板与电源相连接，电压为  $U$ ，电子从上极板边缘垂直电场方向，以速度  $v_0$  射入匀强电场，且恰好从下极板边缘飞出，两板之间距离为  $d$ 。现在保持电子入射速度和入射位置(紧靠上极板边缘)不变，仍要让其从下极板边缘飞出，则下列操作可行的是( )



- A. 电压调至  $2U$ ，板间距离变为  $2d$   
 B. 电压调至  $2U$ ，板间距离变为  $\sqrt{2}d$   
 C. 电压调至  $\sqrt{2}U$ ，板间距离变为  $2d$   
 D. 电压调至  $\sqrt{2}U$ ，板间距离变为  $\frac{d}{2}$

3. 如图所示，带电荷量之比为  $q_A : q_B = 1 : 3$  的带电粒子 A、B，先后以相同的速度从同一点水平射入平行板电容器中，不计重力，带电粒子偏转后打在同一极板上，水平飞行距离之比为  $x_A : x_B = 2 : 1$ ，则带电粒子的质量之比  $m_A : m_B$  以及在电场中飞行的时间之比  $t_A : t_B$  分别为( )



A.  $1 : 1, 2 : 3$

B.  $2 : 1, 3 : 2$

C.  $1 : 1, 3 : 4$

D.  $4 : 3, 2 : 1$

# 第 2 课时 带电粒子在电场中偏转的推论和示波管的原理

[学习目标] 1.知道带电粒子在电场中偏转的三个重要推论并会应用推论解决带电粒子在电场中的偏转问题(重点)。2.知道示波管的主要构造和工作原理。

## 一、带电粒子在电场中偏转的三个重要推论

【例 1】 带电粒子(不计重力)垂直进入偏转电场，粒子从偏转电场中射出时，其速度反向延长线与初速度方向交于一点，试证明此点为粒子沿初速度方向位移的中点。

---

---

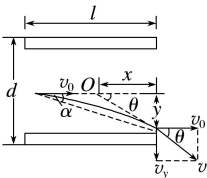
---

---

---

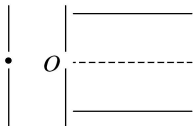
### ■ 总结提升 ■

推论 1：如图所示，粒子从偏转电场中射出时，其速度的反向延长线与初速度方向交于一点，此点平分沿初速度方向的位移。



推论 2：位移方向与初速度方向间夹角的正切值为速度偏转角正切值的 $\frac{1}{2}$ ，即  $\tan \alpha = \frac{1}{2} \tan \theta$ 。

【例 2】 如图所示，一带电粒子先经加速电场加速后，又沿着平行于板面的方向从  $O$  点垂直进入偏转电场，已知加速电场的电压为  $U_0$ ，偏转电场的电压为  $U$ ，极板长度为  $l$ ，极板间距为  $d$ ，不计粒子重力，求：



- (1)粒子离开偏转电场时速度偏转角的正切值  $\tan \theta$ ;
- (2)粒子射出偏转电场时的偏移距离  $y$ 。

---

---

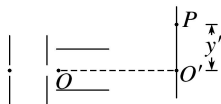
---

---

---

**拓展 1** (来自教材)让一价氢离子、一价氦离子和二价氦离子的混合物由静止开始经过同一加速电场加速,然后在同一偏转电场里偏转,它们是否会分离为三股粒子束?

**拓展 2** 若在偏转极板右侧有一荧光屏,极板的右端与荧光屏的距离为  $L$ , 如图所示,求粒子打在荧光屏上的位置  $P$  与荧光屏中心  $O'$  点之间的距离  $y'$ 。

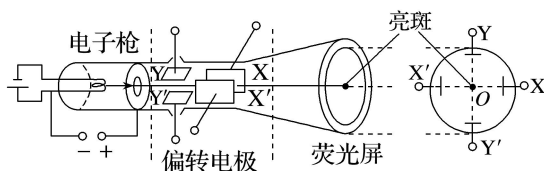


## ■ 总结提升 ■

推论 3: 初速度为零的不同的带电粒子(电性相同),经同一电场加速后,垂直进入同一偏转电场,则它们的运动轨迹必定重合。偏移距离与偏转角只与加速电压及偏转电压有关,与粒子(质量、电荷量)无关。

## 二、示波管的原理

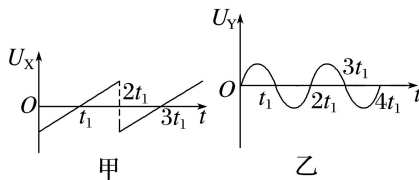
1.构造: 示波管主要是由电子枪、偏转电极(XX'和 YY')、荧光屏组成,管内抽成真空(如图)。



2.作用

(1)电子枪的作用是产生\_\_\_\_\_的一束电子。

(2)示波管的 XX'偏转电极通常接入仪器自身产生的锯齿形电压(图甲),叫作\_\_\_\_\_。YY'偏转电极上加的是待测的\_\_\_\_\_(例如图乙)。



(3)荧光屏的作用是显示电子的偏转情况。

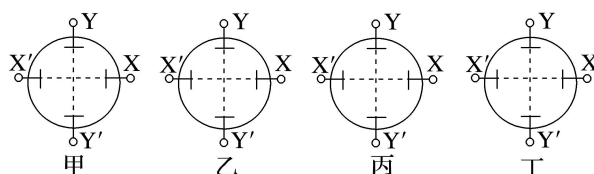
## 『思考与讨论』

(1)如果在偏转电极  $XX'$  之间和偏转电极  $YY'$  之间都没有加电压，电子束从电子枪射出后打在荧光屏上的哪个位置？在图甲中标出来。

(2)①如果仅在  $XX'$  之间加上扫描电压，荧光屏上会看到什么样的亮线？在图乙中标出来。

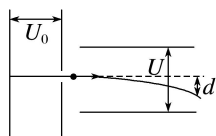
②如果仅在  $YY'$  之间加上正弦式信号电压，荧光屏上会看到什么样的亮线？在图丙中标出来。

③如果同时在  $XX'$ 、 $YY'$  之间加上扫描电压和正弦式信号电压，荧光屏上会看到什么样的亮线？在图丁中标出来。



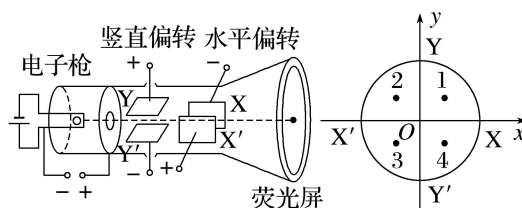
## 随堂演练

1.(2024·内蒙古高二期中)如图，初速度为零的电子经加速电场加速后，垂直射入偏转电场，射出时偏转位移为  $d$ ，若要使  $d$  增大些，下列措施可行的是( )



- A. 增大偏转电场极板间距离
- B. 适当减小加速电压  $U_0$
- C. 适当减小偏转电压  $U$
- D. 减小加速电场板间距离

2.如图是示波管的示意图，从电子枪发出的电子通过两对偏转电极，如果偏转电极不加电压，则电子沿直线打在荧光屏的中心  $O$ ，当在两对偏转电极上同时加上电压后，电子将偏离中心打在某个位置，现已标出偏转电极所加电压的正负极，从示波管的右侧来看，电子可能会打在荧光屏上哪一位置( )



- A. 1 位置
- B. 2 位置
- C. 3 位置
- D. 4 位置

## 专题强化 5 带电粒子在交变电场中的运动

[学习目标] 1.会分析带电粒子在交变电场中的直线运动(重点)。2.会分析带电粒子在交变电场中的曲线运动(重难点)。

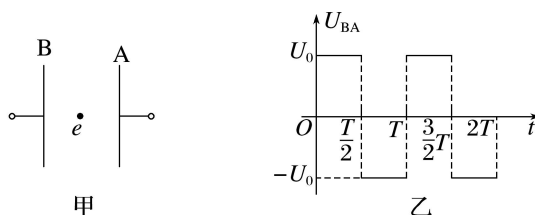
### 一、带电粒子在交变电场中的直线运动

#### 1.交变电场

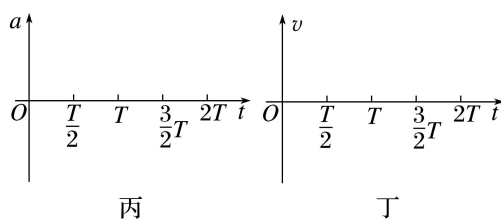
电场强度的大小和方向随时间做周期性变化的电场叫作交变电场(常见的产生交变电场的电压波形有方波、锯齿波、正弦波等)。

2.此类问题中,带电粒子进入电场时初速度为零,或初速度方向与电场方向平行,带电粒子在交变电场静电力的作用下,做加速、减速交替的直线运动。

**【例 1】**如图甲所示, A、B 是一对平行的金属板, 一电子静止在两极板中间,  $t=0$  时刻在两极板间加上如图乙所示周期为  $T$  的交变电压  $U_{BA}$ , 已知电子的质量为  $m$ 、电荷量为  $e$ , 两板间的距离为  $d$ , (电子在  $0\sim 2T$  时间内不与极板发生碰撞), 设电子向 B 板运动方向为正方向。



(1)试在图丙中作出电子的加速度随时间变化的图像。

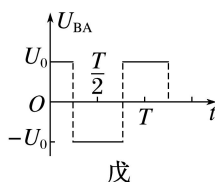


(2)试在图丁中作出电子的速度随时间变化的图像(不用计算最大速度)。

(3)下列关于电子运动情况的说法正确的是\_\_\_\_\_。

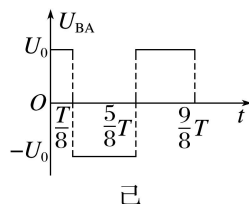
- A.电子一直向 A 板运动
- B.电子一直向 B 板运动
- C.电子先向 A 板运动, 然后向 B 板运动, 再返回出发点做周期性来回运动
- D.电子先向 B 板运动, 然后向 A 板运动, 再返回出发点做周期性来回运动

**拓展 1** 若两金属板间加上如图戊所示的交变电压, 电子的运动情况为( )



- A. 电子一直向 A 板运动  
 B. 电子一直向 B 板运动  
 C. 电子先向 A 板运动, 然后向 B 板运动, 再返回出发点做周期性来回运动  
 D. 电子先向 B 板运动, 然后向 A 板运动, 返回出发点后做周期性来回运动

**拓展 2** 若两极板间加上如图己所示的交变电压, 电子的运动情况可能为( )



- A. 电子一直向 A 板运动  
 B. 电子一直向 B 板运动  
 C. 电子时而向 A 板运动, 时而向 B 板运动, 若运动时间足够长, 电子最后打在 A 板上  
 D. 电子时而向 A 板运动, 时而向 B 板运动, 若运动时间足够长, 电子最后打在 B 板上

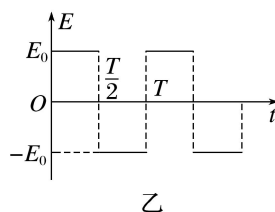
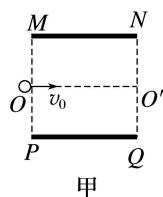
## ■ 总结提升 ■

### 解决带电粒子在交变电场中直线运动问题的思路

- (1) 通常将  $U-t$  图像、 $E-t$  图像、 $\varphi-t$  图像等转化为  $a-t$  图像, 进一步绘制出  $v-t$  图像, 可将复杂的运动过程直观地描述出来。  
 (2) 判断粒子一直向某一方向运动, 还是做往复运动, 关键是判断粒子的速度为零后加速度的方向, 若加速度的方向与原来速度方向相同, 粒子将继续向同一方向运动, 若粒子加速度方向与原来运动方向相反, 粒子将向反方向运动。

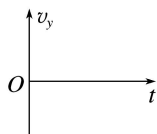
## 二、带电粒子在交变电场中的曲线运动

**【例 2】** 如图甲所示, 两平行金属板  $MN$ 、 $PQ$  的板长和板间距离相等, 板间存在如图乙所示的随时间周期性变化的电场, 周期为  $T$ , 电场方向与两板垂直, 不计重力的带电粒子沿板间中线  $OO'$  垂直电场方向源源不断地射入电场, 粒子射入电场时的初速度大小均为  $v_0$ , 已知  $t=0$  时刻射入电场的粒子经过时间  $T$  刚好沿上板右边缘垂直电场方向射出电场。不计粒子间的相互作用, 请分析以下情况:



- (1)  $t=0$  时刻射入电场的粒子在  $0 \sim T$  内, 沿电场方向的运动情况:

由题意得  $0 \sim \frac{T}{2}$  时间内, 在沿电场方向上, 粒子做\_\_\_\_\_运动,  $t = \frac{T}{2}$  时刻,  $v_y$ \_\_\_\_\_(填“最大”或“最小”),  $\frac{T}{2} \sim T$  时间内, 在沿电场方向上, 粒子做\_\_\_\_\_运动,  $t = T$  时刻,  $v_y =$ \_\_\_\_\_。  
画出沿电场方向的分速度  $v_y$ - $t$  图像。



(2) 该粒子离开极板时的速度  $v =$ \_\_\_\_\_;

(3) 若一个粒子从  $\frac{T}{4}$  时刻射入电场, 粒子离开极板的时刻为\_\_\_\_\_, 粒子离开极板的速度  $v' =$ \_\_\_\_\_, 离开极板的位置为\_\_\_\_\_。

**拓展** (1) 试分析会不会有粒子打到极板上。

(2) 试分析是否所有粒子均沿垂直电场方向射出电场。

---



---

### ■ 总结提升 ■

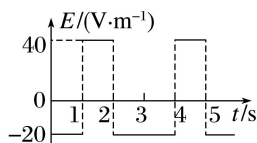
若带电粒子以一定的初速度垂直于电场方向进入交变电场, 粒子将做曲线运动, 应运用运动的独立性, 分方向对粒子进行运动分析:

(1) 在初速度方向上, 粒子做匀速直线运动。

(2) 在垂直于初速度方向上, 粒子做匀加速、匀减速交替的运动, 可利用  $v_y$ - $t$  图像进行速度、位移的分析。

### 随堂演练

1. (多选) 如图所示为匀强电场的电场强度  $E$  随时间  $t$  变化的图像。当  $t = 0$  时, 在此匀强电场中由静止释放一个带电粒子, 设带电粒子只受静电力的作用, 则下列说法中正确的是( )



A. 带电粒子将做往复运动

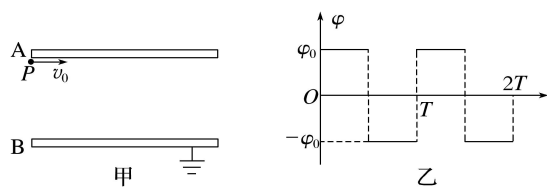
B. 2 s 末带电粒子离出发点最远

C. 2 s 末带电粒子的速度为零

D. 0~3 s 内, 静电力做的总功为零

2. (多选) 如图甲所示, 长为  $2d$  的两水平金属板 A、B 组成一间距为  $d$  的平行板电容器, 电容器的 B 板接地, A 板电势  $\varphi$  与时间  $t$  的变化关系如图乙所示, 其周期  $T = \frac{d}{v_0}$ 。P 为靠近 A 板左侧的一粒子源, 能够水平向右发射初速度为  $v_0$  的相同带电粒子。已知  $t = 0$  时刻发射的粒子刚好能从 B 板右侧边缘离开电容器, 则下列判断正确的是( )





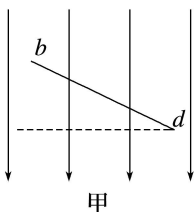
- A.  $t=0$  时刻发射的粒子从 B 板右侧离开时的速度大小仍为  $v_0$
- B. 该粒子源发射的粒子的比荷为  $\frac{2v_0^2}{\varphi_0}$
- C.  $t=\frac{T}{4}$  时刻射入的粒子离开电容器时的电势能小于射入时的电势能
- D.  $t=0$  时刻发射的粒子经过  $\frac{T}{2}$  的时间，其速度大小为  $\sqrt{2}v_0$

## 专题强化 6 带电粒子在电场和重力场中的运动

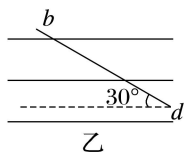
[学习目标] 1.会应用运动和力、功和能的关系分析带电粒子在电场和重力场中的运动问题(重难点)。2.会利用“等效法”解决带电粒子在电场和重力场中圆周运动的临界问题(重难点)。

### 一、带电粒子在电场和重力场中的直线运动

【例 1】(1)如图甲，一带电液滴沿直线从  $b$  点运动到  $d$  点， $bd$  与水平面成  $30^\circ$  角，匀强电场方向竖直向下，液滴的质量为  $m$ ，带电荷量为  $q$ ，重力加速度为  $g$ ，则液滴带\_\_\_\_\_电(填“正”或“负”)，电场强度  $E = \frac{mg}{q}$ ，液滴做\_\_\_\_\_运动。



(2)如图乙，若其他条件不变，电场方向\_\_\_\_\_，电场强度为\_\_\_\_\_，液滴做\_\_\_\_\_运动，加速度大小  $a = \frac{mg}{q}$ 。



### ■ 总结提升 ■

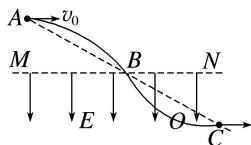
#### 带电粒子在电场中做直线运动的条件

不可忽略重力的带电粒子(如油滴、小球等)在匀强电场中做直线运动时，重力与静电力的合力为恒力

- 1.若合力的方向与运动方向在同一条直线上，带电粒子做匀变速直线运动；
- 2.合力为 0，带电粒子做匀速直线运动，此种情况下，电场通常为竖直方向。

### 二、带电粒子在电场和重力场中的“抛体”运动

【例 2】在水平面  $MN$  的下方存在竖直向下的匀强电场，质量为  $m$  的带电小球由  $MN$  上方的  $A$  点以一定初速度水平抛出，从  $B$  点进入电场，到达  $C$  点时速度方向恰好水平， $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点在一直线上，且  $AB=BC$ ，如图所示。重力加速度为  $g$ ，由此可知小球带\_\_\_\_\_电(填“正”或“负”)，小球从  $A$  到  $B$  与从  $B$  到  $C$  的运动时间\_\_\_\_\_ (填“相等”或“不相等”)，静电力大小为\_\_\_\_\_，小球从  $A$  到  $B$  与从  $B$  到  $C$  的速度变化量的大小\_\_\_\_\_ (填“相等”或“不相等”)。



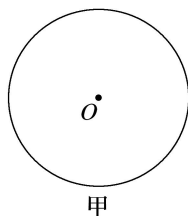
## ■ 总结提升 ■

### 处理带电粒子在电场和重力场中“抛体”运动的方法

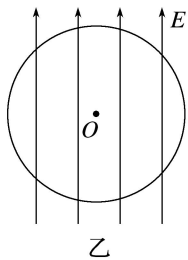
1. 明确研究对象并对其进行受力分析。
2. 将运动正交分解，分方向进行分析，把曲线运动转化为分方向的直线运动，利用牛顿运动定律、运动学公式求解。
3. 涉及到功和能量问题可利用功能关系和动能定理处理。
  - (1) 功能关系：静电力做的功等于电势能的减少量， $W_{\text{电}} = E_{\text{p1}} - E_{\text{p2}}$ 。
  - (2) 动能定理：合力做的功等于动能的变化量， $W = E_{\text{k2}} - E_{\text{k1}}$ 。

### 三、带电粒子在电场和重力场中的圆周运动

**【例 3】** 将光滑绝缘圆轨道置于竖直面内，一带正电、质量为  $m$  的小球能在圆轨道内完成完整的圆周运动，圆轨道的圆心为  $O$ 。重力加速度为  $g$ ，轨道半径为  $R$ 。

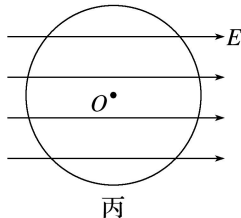


- (1) 在图甲中作图确定小球速度最大的位置  $A$  及小球速度最小的位置  $B$ 。



- (2) 若将此轨道置于竖直向上匀强电场中，电场强度大小为  $E = \frac{2mg}{q}$ 。

- ① 小球受到重力与静电力合力大小为\_\_\_\_\_，方向\_\_\_\_\_。
- ② 在图乙中作图确定小球速度最大时所处的位置  $C$  及小球速度最小时所处的位置  $D$ 。
- ③ 若小球恰好完成圆周运动，则  $v_D = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $v_C = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



- (3) 若将此轨道置于水平向右的电场中，电场强度大小为  $E = \frac{3mg}{4q}$ ， $\tan 53^\circ = \frac{4}{3}$ 。

- ① 小球受重力与静电力的合力大小为\_\_\_\_\_，方向为\_\_\_\_\_。

②在图丙中作图确定小球速度最大时所处的位置  $M$  和速度最小时所处的位置  $N$ 。

③若小球恰好完成圆周运动，则  $v_N = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $v_M = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

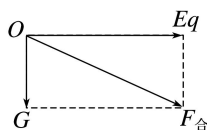
## ■ 总结提升 ■

### 解决电场和重力场中的圆周运动问题的方法

1. 首先分析带电体的受力情况进而确定向心力的来源。

2. 用“等效法”的思想找出带电体在电场和重力场中的等效“最高点”和“最低点”。

(1) 等效重力法



将重力与静电力进行合成，如图所示，则  $F_{\text{合}}$  为等效重力场中的“等效重力”， $F_{\text{合}}$  的方向为“等效重力”

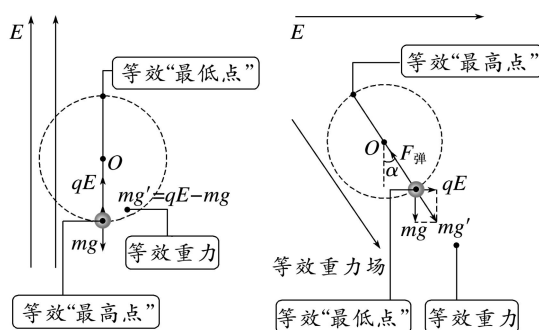
的方向，即等效重力场中的“竖直向下”方向。 $a = \frac{F_{\text{合}}}{m}$  视为等效重力场中的“等效重力加速度”。

(2) 几何最高点(最低点)与物理最高点(最低点)

①几何最高点(最低点)：是指图形中所画圆的最上(下)端，是符合人视觉习惯的最高点(最低点)。

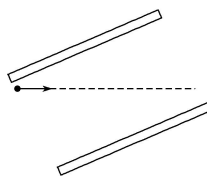
②物理最高点(最低点)：是指“等效重力  $F_{\text{合}}$ ”的反向延长线过圆心且与圆轨道的交点，即物体在圆周运动过程中速度最小(大)的点。

重力场与电场在一条直线上    重力场与电场成一定夹角



## 随堂演练

1. (多选)如图所示，平行板电容器的两个极板与水平地面成一角度，两极板与一直流电源相连。若一带电粒子恰能沿图中所示水平直线通过电容器，则在此过程中，该粒子( )



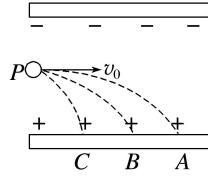
A. 所受重力与静电力平衡

B. 电势能逐渐增加

C.动能逐渐增加

D.做匀变速直线运动

2. (2025·上海市青浦高级中学高二月考)如图所示,有三个质量相等分别带正电、负电和不带电的小球,从  $P$  点以相同的初速度垂直电场方向进入匀强电场  $E$  中,它们分别落到  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点,则可判断 ( )



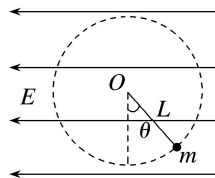
A.三个小球到达正极板时的动能关系是  $E_{kA} > E_{kB} > E_{kC}$

B.三个小球在电场中运动的时间  $t_A = t_B = t_C$

C.三个小球在电场中运动的加速度关系是  $a_C > a_B > a_A$

D.落到  $A$  点的小球带负电,落到  $B$  点的小球不带电

3. (多选)如图所示,在竖直平面内有水平向左的匀强电场,在匀强电场中有一根长为  $L$  的绝缘细线,细线一端固定在  $O$  点,另一端系一质量为  $m$  的带电小球,小球电荷量大小为  $q$ 。小球静止时细线与竖直方向成  $\theta$  角,此时让小球获得初速度且恰能绕  $O$  点在竖直平面内顺时针做圆周运动,重力加速度为  $g$ 。下列说法正确的是( )



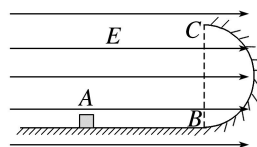
A.匀强电场的电场强度大小  $E = \frac{mg \tan \theta}{q}$

B.小球动能的最小值为  $E_k = \frac{mgL}{2 \cos \theta}$

C.小球运动至圆周轨迹的最高点时机械能最小

D.若小球恰好能够完成圆周运动,则小球运动过程中对绳的最大拉力为  $\frac{5mg}{\cos \theta}$

4. 如图所示,半径为  $R$  的光滑半圆形轨道  $BC$  固定在竖直面内,与水平地面相切于  $B$  点,  $BC$  为其直径。整个区域内存在着水平向右的匀强电场,电场强度  $E = \frac{2mg}{q}$ 。一质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  的绝缘滑块从地面上的  $A$  点由静止释放。已知  $A$  点到  $B$  点的距离为  $2R$ ,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  位于同一竖直平面内,重力加速度为  $g$ ,滑块与水平地面间的动摩擦因数为  $\mu$ 。



(1)求滑块到达  $B$  点时对半圆形轨道的压力  $F_N$ ;

(2)若滑块能到达  $C$  点,求滑块到达  $C$  点时速度的大小  $v_C$ 。



## 章末素养提升

### 素养再现

|      |                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物理观念 | 电场能的性质                                                                                                                                                                                                                                           | <p>1.静电力做功与电势能变化之间的关系：<br/>静电力做正功，即 <math>W_{AB}&gt;0</math>，电势能_____，静电力做负功，即 <math>W_{AB}&lt;0</math>，电势能_____</p> <p>2.电势：电荷在电场中某一点的_____与它的_____之比。公式：<br/><math>\varphi=_____</math></p> <p>3.电势差：电场中两点之间_____的差值，也叫作_____。静电力做功与电势差的关系_____或_____</p> <p>4.等势面：电场中_____的各点构成的面</p> <p>5.匀强电场中两点间的电势差等于_____与这两点间沿_____的距离的乘积，关系式 <math>U_{AB}=_____</math></p> |
|      | 电容器                                                                                                                                                                                                                                              | <p>1.定义式：_____(比值定义法)</p> <p>2.平行板电容器电容的决定式：_____</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|      | 带电粒子在电场中的加速                                                                                                                                                                                                                                      | <p>将带电粒子从一个极板处由静止释放，到达另一极板时速度为 <math>v</math>，则_____</p> <p><math>=\frac{1}{2}mv^2</math>, <math>v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}</math></p>                                                                                                                                                                                                                                   |
|      | 带电粒子在电场中的偏转                                                                                                                                                                                                                                      | <p>初速度方向：粒子做匀速直线运动，通过电场的时间 <math>t=_____</math></p> <p>离开电场时垂直于板方向的分速度 <math>v_y=at=_____</math></p> <p>速度方向与初速度方向夹角的正切值 <math>\tan \theta=\frac{v_y}{v_0}=_____</math></p> <p>离开电场时沿静电力方向的偏移量 <math>y=\frac{1}{2}at^2=_____</math></p>                                                                                                                              |
| 科学思维 | <p>1.科学推理、论证：本章关于电势能、电势、电场强度与电势差的关系等知识的学习都是通过演绎的方式进行的。例如把恒力做功的普遍公式用于匀强电场中静电力做功的情况，推导出静电力做功与路径无关的结论</p> <p>2.用物理量之比定义新物理量，被定义的新物理量跟定义式中的物理量不是同一研究对象，没有因果关系，如通过电势能与电荷量的比值定义电势，用来描述静电场能的性质，与试探电荷无关</p> <p>3.运用类比法分析带电粒子在匀强电场中的偏转问题，建立类平抛运动的物理模型</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

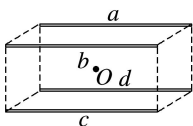
|         |                                                                                                                                                |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 科学探究    | 1.能针对电容器充、放电过程中的电压、电流等物理量的变化提出相关的问题或猜想<br>2.会根据实验电路选择合适的器材进行实验；能在初步观察的基础上确定记录数据的时间间隔；能通过同学间的合作，记录不同时刻电流表的读数<br>3.会根据实验数据画出 $I-t$ 图像，推断电荷量的变化情况 |
| 科学态度与责任 | 1.通过实验的操作，形成严谨细致，实事求是的科学态度<br>2.通过电容器等知识的学习，体会科学、技术、社会之间的密切联系，逐渐形成探索自然的内在动力                                                                    |

## 提能训练

**【例 1】** (2024·安阳市高二期末)在一正点电荷形成的电场中， $A$ 、 $B$  两点的电势分别为  $\varphi_A$ 、 $\varphi_B$ ，电场强度的大小分别为  $E_A$ 、 $E_B$ 。若以无穷远处的电势为 0，到场源电荷(电荷量为  $Q$ )距离为  $r$  的点的电势为  $\varphi = \frac{kQ}{r}$ ，则( )

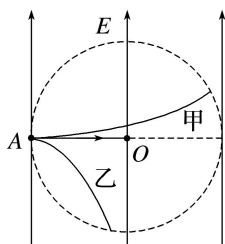
- A.  $\frac{\varphi_A - E_A}{\varphi_B - E_B}$                       B.  $\frac{\varphi_B - E_A}{\varphi_A - E_B}$   
 C.  $\frac{\varphi_A^2 - E_A}{\varphi_B^2 - E_B}$                       D.  $\frac{\varphi_A^2 - E_B}{\varphi_B^2 - E_A}$

**【例 2】** (2022·湖南卷)如图，四根完全相同的均匀带正电绝缘长棒对称放置在长方体的四条长边  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  上。移去  $a$  处的绝缘棒，假定另外三根绝缘棒电荷分布不变。关于长方体几何中心  $O$  点处电场强度方向和电势的变化，下列说法正确的是( )



- A. 电场强度方向垂直指向  $a$ ，电势减小  
 B. 电场强度方向垂直指向  $c$ ，电势减小  
 C. 电场强度方向垂直指向  $a$ ，电势增大  
 D. 电场强度方向垂直指向  $c$ ，电势增大

**【例 3】** (多选)(2025·内江市高二期中)两个质量相等、电荷量不等的带电粒子甲、乙，以不同的速率沿着  $AO$  方向垂直射入匀强电场，电场强度方向竖直向上，它们在圆形区域中运动的时间相同，其运动轨迹分别如图所示。不计粒子所受的重力及粒子间的相互作用，下列说法正确的是( )

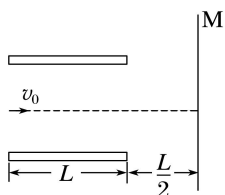


- A. 甲粒子带正电荷



- B. 甲粒子所带的电荷量比乙粒子的多  
 C. 乙粒子在圆形区域中动能变化量比甲粒子的大  
 D. 乙粒子进入电场时的速度比甲粒子的大

**【例 4】** (多选)(2025·成都市高二期末)如图, 电容为  $C$  的平行板电容器两极板水平放置, 极板长为  $L$ , 两极板间的距离为  $d$ , 距极板右端  $\frac{L}{2}$  处有一竖直屏  $M$ , 电容器充电后与电源断开。一电荷量为  $q$ 、质量为  $m$  的带正电小球(可视为质点)以初速度  $v_0$  沿中线水平向右射入两极板间, 最后垂直打在竖直屏  $M$  上, 已知重力加速度大小为  $g$ 。下列说法正确的是( )



- A. 电容器的上极板带正电, 电荷量为  $\frac{Cmgd}{q}$   
 B. 小球在整个过程中竖直向上偏转的位移大小为  $\frac{3gL^2}{4v_0^2}$   
 C. 整个过程中小球减少的电势能和增加的重力势能均为  $\frac{3mg^2L^2}{8v_0^2}$   
 D. 若仅增大两极板间的距离, 该小球仍垂直打在竖直屏  $M$  上

#### ■ 总结提升 ■

#### 电容器和力学知识的综合问题的解题思路

电容器与力学知识的综合问题是静电场与力学知识的综合, 分析方法与力学问题的分析方法基本相同: 先分析受力情况, 再分析运动情况和运动过程, 然后选用合适的物理规律列式求解问题, 往往涉及电容的定义式和决定式、静电力、平衡条件、牛顿第二定律、动能定理等。

# 第十一章 电路及其应用

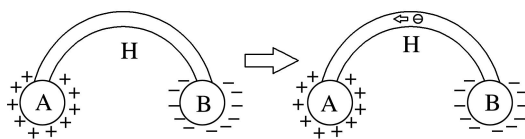


## 1 电源和电流

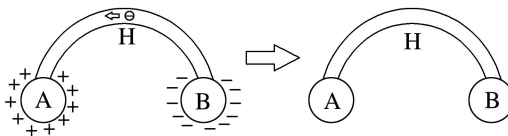
[学习目标] 1.了解形成电流的条件，知道电源的作用和导体中的恒定电场。2.理解电流的定义，知道电流的单位和方向，会用公式  $I = \frac{q}{t}$  分析问题(重点)。3.会推导电流的微观表达式，了解表达式中各物理量的意义(重难点)。

### 一、电源

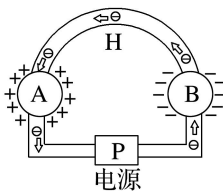
1.如图所示，用导线 H 连接两个分别带正、负电荷的导体 A、B，导线 H 中的电荷将如何移动？导线中有无电流？



2.如图所示，在上述过程中，两导体的电荷量如何变化，A、B 之间的电势差如何变化，自由电子会一直运动吗？能否形成持续的电流？



3. 如图所示，如果想让导线中有持续的电流，我们需要一个怎样的装置？



## 【梳理与总结】

- 1.电源的定义：在电源内部把电子从电源\_\_\_\_\_搬运到电源\_\_\_\_\_的装置就是电源。
- 2.电源的作用：使导体两端始终存在一定的\_\_\_\_\_，使电路中有持续的电流。

## 二、恒定电流

- 1.导线内的电场是如何形成的？

---

---

- 2.在恒定电场的作用下，导体中自由电荷会做什么样的运动？

---

---

- 3.自由电荷会在导体中一直加速吗？

---

---

## 【梳理与总结】

- 1.\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_都不随时间变化的电流称为恒定电流。
- 2.电流的定义式： $I=\frac{q}{t}$ ，其物理意义：\_\_\_\_\_时间内通过导体横截面的\_\_\_\_\_，是表示电流强弱程度的物理量。

注意：(1)横截面选取是任意的，电流大小与所选横截面大小无关。

(2) $q$ 是通过导体某横截面的电荷量，而不是通过单位横截面积的电荷量。

(3)用该式计算出的电流是时间 $t$ 内的平均值。对于恒定电流，电流的瞬时值与平均值相等。

- 3.在国际单位制中，电流的单位是安培，符号是A。常用单位：毫安(mA)、微安( $\mu$ A)， $1\text{ A}=\underline{\hspace{2cm}}\text{ mA}=\underline{\hspace{2cm}}\mu\text{A}$ 。

- 4.电流的方向：规定为\_\_\_\_\_定向移动的方向，与负电荷定向移动的方向\_\_\_\_\_。

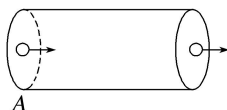
注意：(1)电流虽然有方向，但它是标量，其计算遵循代数运算法则。

(2)在外电路中电流方向由电源正极到负极，在电源内部电流方向由电源负极到正极。

## 【易错辨析】

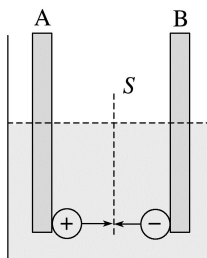
- (1)导体中有电荷运动就会形成电流。( )
- (2)在国际单位制中，电流是一个基本物理量，其单位安培是基本单位。( )
- (3)对于导体，只要其两端电势差为零，电路中的电流也必为零。( )

【例1】(2025·盐城市高二月考)如图所示是通有恒定电流的某段导体，在5 s内有0.5 C的负电荷向右通过横截面A，则导体内电流的大小和方向分别是( )



- A. 0.1 A 向右      B. 0.1 A 向左  
C. 2.5 A 向右      D. 2.5 A 向左

【例 2】 如图所示，电解池内有一价的电解液(A、B 间所接电源未画出)，时间  $t$  内通过溶液内截面  $S$  的正离子数是  $n_1$ ，负离子数是  $n_2$ ，设元电荷为  $e$ ，以下说法正确的是( )



- A. 当  $n_1 = n_2$  时，电流为零  
B. 当  $n_1 > n_2$  时，电流方向从 A→B，电流大小为  $I = \frac{(n_1 - n_2)e}{t}$   
C. 当  $n_1 < n_2$  时，电流方向从 B→A，电流大小为  $I = \frac{(n_1 + n_2)e}{t}$   
D. 溶液内电流方向从 A→B，电流大小为  $I = \frac{(n_1 + n_2)e}{t}$

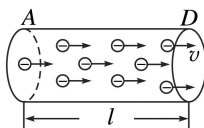
#### ■ 总结提升 ■

#### 不同导体中电流的计算方法

|         |                                                                                                                 |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 金属导体    | 自由电荷只有自由电子，运用 $I = \frac{q}{t}$ 计算时， $q$ 是 $t$ 时间内通过金属导体横截面的自由电子的总电荷量，电流方向与自由电子的运动方向相反                          |
| 电解液     | 自由电荷是正、负离子，运用 $I = \frac{q}{t}$ 计算时， $q$ 是在时间 $t$ 内通过电解液横截面的正、负两种离子的电荷量的绝对值之和，电流方向与正离子运动方向相同                    |
| 电离状态的气体 | 空气是绝缘体，但空气被电离后就成了导体，其中自由电荷既有正、负离子，也有自由电子，利用公式 $I = \frac{q}{t}$ 求气体导电电流时， $q$ 应是在时间 $t$ 内通过横截面的三种带电粒子的电荷量的绝对值之和 |

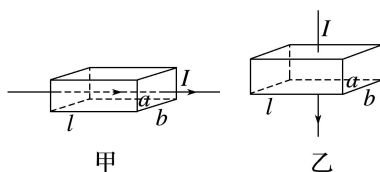
### 三、电流的微观表达式

如图所示为表示粗细均匀的一段长为  $l$  的导体，两端加一定的电压，导体中的自由电荷沿导体定向移动的速率为  $v$ ，设导体的横截面积为  $S$ ，导体单位体积内的自由电荷数为  $n$ ，每个自由电荷的电荷量大小为  $q$ 。则：



导体内的自由电荷全部通过横截面  $D$  所用的时间  $t=$ \_\_\_\_\_。导体内的自由电荷总数  $N=$ \_\_\_\_\_, 总电荷量  $Q=Nq=$ \_\_\_\_\_, 此导体中的电流  $I=\frac{Q}{t}=$ \_\_\_\_\_。

**【例 3】** 如图所示为一长方形金属导体, 其长为  $l$ 、高为  $a$ 、宽为  $b$ 。当从左右两面或者上下两面流过的电流均为  $I$  时, 金属导体内自由电子定向移动的速率之比为( )



- A.  $a : b$                       B.  $l : a$                       C.  $l : b$                       D.  $a : l$

**【例 4】** 一根长为  $L$ , 横截面积为  $S$  的铜棒, 两端电压为  $U$ , 铜棒的电阻为  $R$ , 铜棒单位体积内自由电子的数目为  $n$ , 每个自由电子电荷量为  $e$ , 求:

- (1) 通过铜棒的电流;  
(2) 自由电子定向移动的速率。

---

---

---

---

---

---

---

---

#### ■ 总结提升 ■

1. 自由电子定向移动速率: 金属导体中的自由电子定向移动形成电流, 其中自由电子定向移动速率的数量级一般为  $10^{-4}$  m/s。
2. 电子热运动速率: 导体内的自由电子在永不停息地做无规则的热运动, 由于热运动, 自由电子向各个方向运动的机会相等, 故不能形成电流, 常温下自由电子热运动速率的数量级为  $10^5$  m/s。
3. 电场传播速率(或电流传导速率): 等于光速。闭合开关的瞬间, 电路中各处以真空中光速  $c$  的速度建立恒定电场, 在恒定电场的作用下, 电路中各处的自由电子几乎同时开始定向移动, 整个电路也就几乎同时形成了电流。

## 四、电池的容量

某充电宝信息如图所示, 其中 20 000 mA·h 代表哪个物理量?

|                             |
|-----------------------------|
| 电池类型：AAA 级锂电芯               |
| 容 量：20 000 mA · h           |
| 本机输入 / 输出：DC5 V/1 A 或 2 A   |
| 产品颜色：( 灰色、蓝色、黄色、绿色 ) 边框     |
| 产品尺寸：151 mm × 78 mm × 22 mm |
| 产品重量：约 350 g                |

---

---

---

---

【梳理与总结】

- 1.定义：电池放电时输出的总电荷量。
- 2.单位：“安时”(A·h)或“毫安时”(mA·h)。

【例 5】 某手机的说明书标明该手机电池容量为 4 000 mA·h，待机时间为 22 d，请估算该手机的待机电流有多大。说明书还标明，用该手机播放视频的时间是 17 h，请估算播放视频的电流大约是待机电流的几倍。(结果均保留两位有效数字)

某手机说明书(节选)

|       |                     |
|-------|---------------------|
| 手机类型  | 智能手机、4G 手机……        |
| 屏幕分辨率 | 1 920×1 080 像素(FHD) |
| 电池容量  | 4 000 mA·h          |
| 电池类型  | 不可拆卸式电池             |
| 待机时间  | 22 d                |

---

---

---

---

---

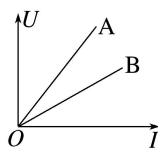
---

## 2 导体的电阻

[学习目标] 1.知道电阻的定义式及其物理意义。2.理解电阻的大小与哪些因素有关,掌握电阻定律(重点)。  
3.了解电阻率的物理意义及其与温度的关系(重点)。4.能根据伏安特性曲线求导体的电阻(难点)。

### 一、电阻

如图所示的图像为金属导体 A、B 的  $U-I$  图像,思考:



(1)对导体 A(或导体 B)来说,电流与它两端的电压有什么关系?  $U$  与  $I$  的比值有什么特点?

(2)对导体 A、B,在电压  $U$  相同时,谁的电流小? 谁对电流的阻碍作用大?

### 「梳理与总结」

#### 1.电阻

(1)物理意义:反映导体对电流的\_\_\_\_\_作用。

(2)定义:导体两端的电压  $U$  与通过导体的电流  $I$  的比值。定义式:  $R=_____$ 。

(3)单位:国际单位制单位为欧姆( $\Omega$ ),常用单位还有千欧( $k\Omega$ )、兆欧( $M\Omega$ )

$1\text{ k}\Omega=_____ \Omega$ ;  $1\text{ M}\Omega=_____ \Omega$ 。

2.欧姆定律  $I=\frac{U}{R}$ 、电阻定义式  $R=\frac{U}{I}$  的比较

|       | 欧姆定律 $I=\frac{U}{R}$                                                              | 电阻的定义式 $R=\frac{U}{I}$                         |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 内容或意义 | 在电路中,通过导体的电流 $I$ 与导体两端的电压 $U$ 成正比,与导体的电阻 $R$ 成反比                                  | 这是电阻的基本定义式,是比值法定义的物理量,但 $R$ 与电压 $U$ 和电流 $I$ 无关 |
| 适用范围  | 欧姆定律适用于纯电阻电路,即线性元件(如金属导体、电解质溶液)在恒定温度下的情况。对于非线性元件(如气态导体、半导体元件)或温度变化较大的情况,欧姆定律可能不适用 | 适用于所有导体(不适用于电动机、电解槽等非纯电阻电路)                    |

|          |                             |                             |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|
| 应用<br>场景 | 常用于计算电路中的电流，尤其是在已知电压和电阻的情况下 | 常用于测量或计算电阻值，尤其是在已知电压和电流的情况下 |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|

【易错辨析】

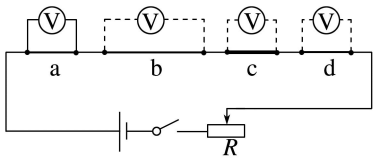
- (1)由关系式  $U=IR$  可知，对于阻值一定的导体，通过它的电流越大，它两端的电压也越大。( )
- (2)由关系式  $R=\frac{U}{I}$  可知，导体两端的电压为零时，导体的电阻也为零。( )
- (3)由关系式  $I=\frac{U}{R}$  可知，对于阻值一定的导体，当导体两端的电压增大一倍时，导体中的电流也增大一倍。( )

【例 1】(多选)小强在探究定值电阻两端电压和电流的关系，当在该电阻两端加  $U=20\text{ V}$  的电压时，通过该电阻的电流为  $I=5\text{ A}$ 。下列说法正确的是( )

- A.该电阻的阻值为  $4\ \Omega$
- B.如果仅将电压升高到  $30\text{ V}$ ，则通过的电流为  $6\text{ A}$
- C.如果仅将该电阻换成阻值为  $10\ \Omega$  的定值电阻，则通过的电流应为  $2\text{ A}$
- D.当通过该电阻电流为零时，定值电阻的阻值应为零

二、电阻定律 电阻率

1.实验装置：如图所示，a、b、c、d 是四条不同的金属导体。导体 b、c、d 在长度、横截面积、材料三个因素方面，分别只有一个因素与导体 a 不同。



2.实验原理

- (1)四个不同的导体串联，电流相同，因此，电阻之比等于相应的电压之比。
- (2)用控制变量法，探究导体的电阻与长度、横截面积、材料的关系。

3.探究过程及结论：

下表所示为四个串联导体的各方面因素关系及导体两端的电压关系。

| 三个因素及电压<br>不同导体 | 长度   | 横截面积 | 材料   | 电压            |
|-----------------|------|------|------|---------------|
| a               | $l$  | $S$  | 铁    | $U$           |
| b               | $2l$ | $S$  | 铁    | $2U$          |
| c               | $l$  | $2S$ | 铁    | $\frac{U}{2}$ |
| d               | $l$  | $S$  | 镍铜合金 | $5U$          |



- (1)对比导体 a 和 b 说明什么？
- (2)对比导体 a 和 c 说明什么？
- (3)对比导体 a 和 d 说明什么？

『 梳理与总结 』

1.电阻定律

- (1)内容：同种材料的导体，其电阻  $R$  与它的\_\_\_\_\_成正比，与它的\_\_\_\_\_成反比；导体电阻还与构成它的\_\_\_\_\_有关。
- (2)表达式： $R=_____$ ，此式为电阻的决定式，式中 $\rho$ 是比例系数， $\rho$ 叫作这种材料的电阻率，单位为 $\Omega\cdot\text{m}$ 。

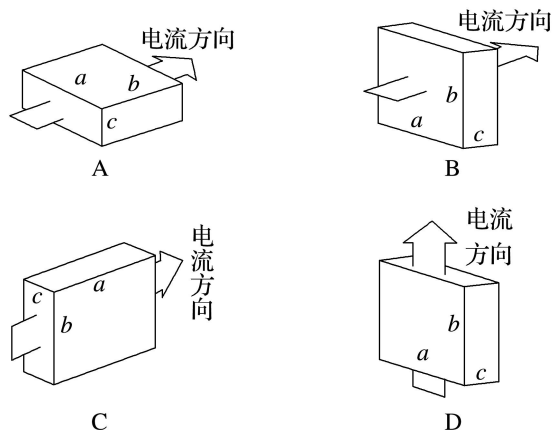
2.电阻率

- (1)电阻率是反映导体\_\_\_\_\_性能的物理量，是导体材料本身的属性。
- (2)电阻率与温度的关系及应用
  - ①金属的电阻率随温度的升高而\_\_\_\_\_，可用于制作电阻温度计。
  - ②大部分半导体的电阻率随温度的升高而减小，半导体的电阻率随温度的变化较大，可用于制作热敏电阻。
  - ③有些合金，如锰铜合金和镍铜合金，电阻率几乎不受温度变化的影响，常用来制作\_\_\_\_\_。
  - ④一些金属在温度特别低时电阻可以降到零，这种现象叫作\_\_\_\_\_。

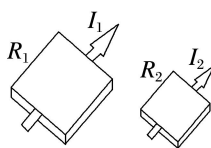
3. $R=\frac{U}{I}$ 与  $R=\rho\frac{l}{S}$ 的区别与联系

| 公式<br>区别、联系 |   | $R=\frac{U}{I}$                                                                        | $R=\rho\frac{l}{S}$                                      |
|-------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 区别          | 1 | 提供了一种测量电阻 $R$ 的方法：只要测出 $U$ 、 $I$ 就可求出 $R$                                              | 提供了一种测导体的电阻率 $\rho$ 的方法：只要测出 $R$ 、 $l$ 、 $S$ 就可求出 $\rho$ |
|             | 2 | 适用于纯电阻元件                                                                               | 适用于粗细均匀的金属导体或浓度均匀的电解液                                    |
| 联系          |   | $R=\rho\frac{l}{S}$ 是对 $R=\frac{U}{I}$ 的进一步说明，即导体的电阻与 $U$ 和 $I$ 无关，仅取决于导体本身的材料、长度和横截面积 |                                                          |

**【例 2】** (2024·杭州市高二期中)有一个长方体金属电阻，材料分布均匀，边长分别为  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ，且  $a>b>c$ 。电流沿以下方向流过该金属电阻，其中电阻阻值最大的是(     )



**针对训练** (2024·安徽师范大学附属中学高二月考) 现有两电阻  $R_1$  和  $R_2$  是材料、厚度相同的正方形导体板, 但  $R_1$  的尺寸比  $R_2$  的尺寸大, 下列说法中正确的是( )



- A. 按如图方式分别与电源串联, 若用相同恒压电源, 则  $I_1 > I_2$
- B. 按如图方式分别与电源串联, 若用相同恒压电源, 则  $I_1 < I_2$
- C. 按如图方式分别与电源串联, 若用相同恒压电源, 则  $I_1 = I_2$
- D. 无论怎样接电源, 正方形导体板电阻  $R_1 > R_2$

**【例 3】** (2024·上海市高二期末) 某同学将待测量的金属丝单层缠绕在底面半径为  $r$  的圆柱形铅笔上, 测得  $N$  圈的电阻丝宽度为  $d$ , 电阻丝的总电阻值为  $R$ , 总长度为  $L$ , 则该电阻丝的电阻率为( )

- A.  $\frac{\pi r^2 R}{L}$
- B.  $\frac{\pi d^2 R}{4L}$
- C.  $\frac{\pi d^2 R}{4LN^2}$
- D.  $\frac{\pi(2r+d)^2 R}{4L}$

### ■ 总结提升 ■

#### 公式 $R = \rho \frac{l}{S}$ 的应用技巧

- 公式  $R = \rho \frac{l}{S}$  中的  $l$  是沿电流方向的导体长度,  $S$  是垂直电流方向的横截面积。
- 一定几何形状的导体的电阻大小与接入电路的具体方式有关, 在应用公式  $R = \rho \frac{l}{S}$  求电阻时要注意导体长度和横截面积的确定。

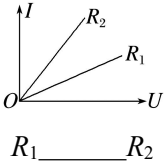
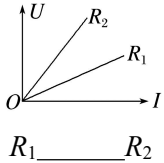
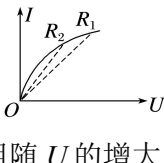
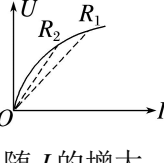
### 三、导体的伏安特性曲线

- 伏安特性曲线: 在实际应用中, 常用横坐标表示\_\_\_\_\_, 纵坐标表示\_\_\_\_\_, 这样画出的  $I-U$  图像叫作导体的伏安特性曲线。
- 线性元件和非线性元件

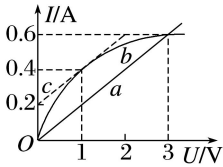
- (1)线性元件：伏安特性曲线是一条过原点的\_\_\_\_\_，如金属导体(在温度没有显著变化时)、电解质溶液。
- (2)非线性元件：伏安特性曲线是一条曲线，如气态导体、半导体元件。

『思考与讨论』

$I$ - $U$  图像与  $U$ - $I$  图像

| <div>图像</div> <div>比较内容</div> | $I$ - $U$ 图像                                                                                                          | $U$ - $I$ 图像                                                                                                           |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 坐标轴                           | 横坐标表示电压 $U$ 、<br>纵坐标表示电流 $I$                                                                                          | 横坐标表示电流 $I$ 、<br>纵坐标表示电压 $U$                                                                                           |
| 斜率                            | 图线上的点与坐标原点连线的斜率表示_____                                                                                                | 图线上的点与坐标原点连线的斜率表示_____                                                                                                 |
| 线性元件图线的形状                     | <br>$R_1$ _____ $R_2$               | <br>$R_1$ _____ $R_2$               |
| 非线性元件图线的形状                    | <br>电阻随 $U$ 的增大而_____, $R_1 > R_2$ | <br>电阻随 $I$ 的增大而_____, $R_2 > R_1$ |

**【例 4】** (多选)(2024·广州市高二期末)图中的实线分别是电阻  $a$ 、 $b$  的伏安特性曲线，虚线  $c$  是  $b$ ( $U=1\text{ V}$ ) 的切线， $a$ 、 $c$  相互平行，下列说法正确的是(     )



- A. $U=1\text{ V}$  时， $b$  的电阻为  $5\ \Omega$
- B. $U=1\text{ V}$  时， $a$ 、 $b$  的电阻相等
- C. $b$  的电阻随电压的升高而增大
- D. $U=3\text{ V}$  时， $a$ 、 $b$  的电阻相等

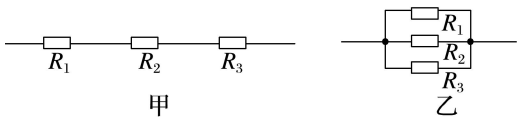
### 3 串联电路和并联电路

#### 第 1 课时 串联电路和并联电路 滑动变阻器的两种接法

[学习目标] 1.掌握串、并联电路的电流、电压和电阻关系，并能进行有关计算(重点)。2.理解滑动变阻器的两种接法，并能正确选择(难点)。

##### 一、串联电路和并联电路

1.串联电路：把几个导体或用电器依次首尾连接，接入电路的连接方式，如图甲所示。



2.并联电路：把几个导体或用电器的一端连在一起，另一端也连在一起，再将两端接入电路的连接方式，如图乙所示。

3.串联电路、并联电路的特点

|          | 串联电路                                  | 并联电路                                       |
|----------|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| 电流<br>关系 | 各处电流相等，即 $I=I_1=I_2=\cdots=I_n$       | 总电流等于各支路电流之和，即 $I=I_1+I_2+\cdots+I_n$      |
| 电压<br>关系 | 总电压等于各部分电压之和，即 $U=U_1+U_2+\cdots+U_n$ | 各支路两端电压相等，即 $U=U_1=U_2=\cdots=U_n$         |
| 电阻<br>关系 | 总电阻等于各部分电阻_____，即 $R=$ _____          | 总电阻的倒数等于各支路电阻的_____，即 $\frac{1}{R}=$ _____ |

##### 「思考与讨论」

1. $n$  个相同电阻(阻值为  $R_0$ )串联或并联，其总电阻分别为多少？

2.并联电路中，若某一电阻增大，总电阻如何变化？若增加一支路，总电阻如何变化？

3.阻值为  $R_1$  和  $R_2$  的两个电阻并联后阻值  $R_{\text{并}}$ \_\_\_\_\_  $R_1$ ， $R_{\text{并}}$ \_\_\_\_\_  $R_2$ (均填 “>” 或 “<”)；若  $R_1 \ll R_2$ ， $R_{\text{并}}$  约为\_\_\_\_\_ (填 “ $R_1$ ” 或 “ $R_2$ ”)。

##### 「易错辨析」

- (1)电路中电阻的个数越多，电路的总电阻越大。( )
- (2)无论是串联电路还是并联电路，只要其中一个电阻增大，总电阻就增大。( )

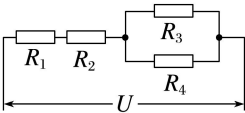
【例 1】 (2024·普宁市高二期中)阻值分别为  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  的电阻串联在电路中。已知  $R_1=10\ \Omega$ 、 $R_3=5\ \Omega$ ， $R_1$  两端的电压为  $6\ \text{V}$ ， $R_2$  两端的电压为  $12\ \text{V}$ ，则( )

- A.电路中的电流为  $0.6\ \text{A}$
- B. $R_2$  为  $15\ \Omega$
- C.三只电阻两端的总电压为  $20\ \text{V}$
- D. $R_3$  两端的电压为  $4\ \text{V}$

【例 2】 已知  $R_1=10\ \Omega$ ， $R_2=20\ \Omega$ ， $R_1$  允许通过的最大电流为  $1.5\ \text{A}$ ， $R_2$  两端允许加的最大电压为  $10\ \text{V}$ 。若将它们串联，加在电路两端的最大电压是( )

- A. $45\ \text{V}$                       B. $5\ \text{V}$                       C. $25\ \text{V}$                       D. $15\ \text{V}$

【例 3】 (2024·广东普宁勤建学校高二月考)如图所示的电路中，路端电压  $U=39\ \text{V}$ ，外电路中  $R_1=7\ \Omega$ ， $R_2=4\ \Omega$ ， $R_3=6\ \Omega$ ， $R_4=3\ \Omega$ 。



- (1)求电路的总电阻；
- (2)分别求电路中的每个电阻两端的电压。

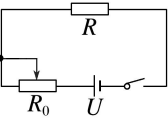
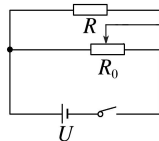
■ 总结提升 ■

- 1.串联电路中各电阻两端的电压跟它们的阻值成正比，即 $\frac{U_1}{R_1}=\frac{U_2}{R_2}=\cdots=\frac{U_n}{R_n}=\frac{U}{R_{\text{总}}}=I$  或  $U_1:U_2:U_3:\cdots:U_n=R_1:R_2:R_3:\cdots:R_n$ 。
- 2.并联电路中通过各支路电阻的电流跟它们的阻值成反比，即  $I_1R_1=I_2R_2=\cdots=I_nR_n=I_{\text{总}}R_{\text{总}}=U$  或  $I_1:I_2:I_3:\cdots:I_n=\frac{1}{R_1}:\frac{1}{R_2}:\frac{1}{R_3}:\cdots:\frac{1}{R_n}$ 。

二、滑动变阻器的两种接法

1.两种接法的特点

|  |       |       |
|--|-------|-------|
|  | 限流式接法 | 分压式接法 |
|--|-------|-------|

|                                 |                                                                                   |                                                                                     |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 电路图(图中 $R$ 为负载电阻, $R_0$ 为滑动变阻器) |  |  |
| 滑动变阻器接入电路的特点                    | 采用“一上一下”的接法                                                                       | 采用“一上两下”的接法                                                                         |
| 闭合开关前滑片位置                       | 如图所示应在最_____端, 即保证滑动变阻器接入电路中的阻值最_____                                             | 如图所示应在最_____端, 即开始时 $R$ 两端电压为_____                                                  |
| 通过 $R$ 的电流范围                    | $\frac{U}{R_0+R} \sim \frac{U}{R}$                                                | $0 \sim \frac{U}{R}$                                                                |
| $R$ 两端的电压范围                     | $\frac{R}{R_0+R}U \sim U$                                                         | _____                                                                               |
| 优点                              | 电路连接简单, 耗电少                                                                       | $R$ 的电压调节范围大                                                                        |

## 2.两种接法的适用条件

(1)限流式接法适合测量阻值较小的电阻(与滑动变阻器的总电阻相当)。由于  $R$  小, 限流式接法中滑动变阻器分得的电压大, 移动滑片调节范围大。

(2)分压式接法适合测量阻值较大的电阻(比滑动变阻器的总电阻大)。若  $R$  很大, 分压式接法中  $R$  几乎不影响电压的分配, 移动滑片电压变化明显, 便于调节。

(3)以下几种情况必须采用分压式接法

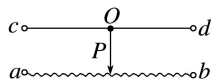
①要求电压表能从零开始读数, 要求电压(电流)测量范围尽可能大;

②当待测电阻  $R \gg R_0$  (滑动变阻器的最大阻值)时(限流式接法滑动变阻器几乎不起作用);

③若采用限流式接法, 电路中的最小电流仍超过电路中电表、电阻允许的最大电流。

(4)在两种电路均可使用的情况下, 应优先采用限流式接法, 因为限流式接法电路简单, 能耗低。

**【例 4】** (多选)滑动变阻器的原理如图所示, 则下列说法中正确的是( )



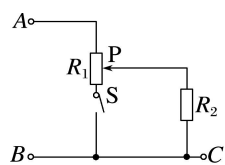
A.若仅将  $a$ 、 $c$  两端连在电路中, 则当滑片  $OP$  向右滑动时, 滑动变阻器接入电路中的阻值增大

B.若仅将  $a$ 、 $d$  两端连在电路中, 则当滑片  $OP$  向右滑动时, 滑动变阻器接入电路中的阻值减小

C.将滑动变阻器以限流式接法接入电路时, 必须连入三个接线柱

D.将滑动变阻器以分压式接法接入电路时, 必须连入三个接线柱

**【例 5】** 如图所示, 滑动变阻器  $R_1$  的最大阻值是  $200\ \Omega$ ,  $R_2=300\ \Omega$ ,  $A$ 、 $B$  两端电压  $U_{AB}=8\ \text{V}$ 。



(1)当 S 断开时，移动滑片 P， $R_2$  两端可获得的电压变化范围是多少？

(2)当 S 闭合时，移动滑片 P， $R_2$  两端可获得的电压变化范围是多少？

---



---



---



---



---



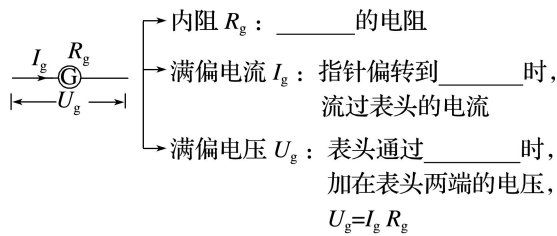
---

# 第 2 课时 电表的改装 电流表的内接法和外接法

[学习目标] 1.理解将小量程电流表改装成大量程电流表和电压表的原理，并能进行有关计算(重难点)。2.理解电流表的内接法和外接法，并能正确选择接法(重难点)。

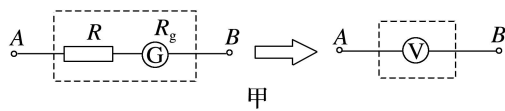
## 一、电表的改装

### 1.小量程电流表 G(表头)的三个参量

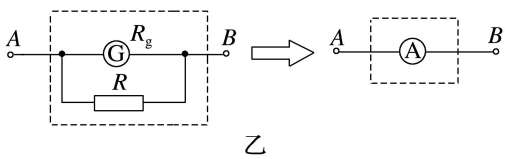


### 2.电表改装原理

(1)电压表改装：将表头 \_\_\_\_\_ 一个较 \_\_\_\_\_ 电阻，该电阻常被叫作分压电阻，如图甲所示。



(2)电流表改装：将表头 \_\_\_\_\_ 一个较 \_\_\_\_\_ 电阻，该电阻常被叫作分流电阻，如图乙所示。



【例 1】 有一电流表 G，内阻  $R_g = 10 \, \Omega$ ，满偏电流  $I_g = 3 \, \text{mA}$ 。

(1)要把它改装成量程为  $0 \sim 3 \, \text{V}$  的电压表，应串联一个多大的电阻？改装后电压表的内阻是多大？

(2)要把它改装成量程为  $0 \sim 0.6 \, \text{A}$  的电流表，需要并联一个多大的电阻？改装后电流表的内阻是多大？

---

---

---

---

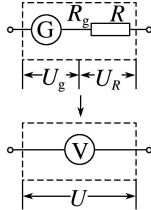
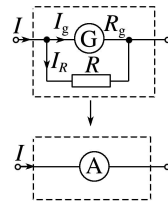
---

---

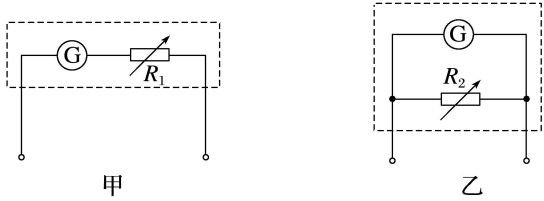
### ■ 总结提升 ■

| 项目 | 改装成电压表 | 改装成电流表 |
|----|--------|--------|
|----|--------|--------|



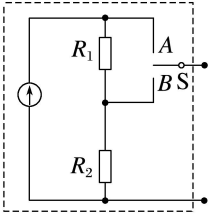
|         |                                                                                   |                                                                                     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 内部电路    |  |  |
| 改装原理    | 串联分压                                                                              | 并联分流                                                                                |
| 改装后的量程  | $U = I_g(R + R_g)$                                                                | $I = \frac{R + R_g}{R} I_g$                                                         |
| 量程扩大的倍数 | $n = \frac{U}{U_g}$                                                               | $n = \frac{I}{I_g}$                                                                 |
| 接入电阻的阻值 | $R = \frac{U}{I_g} - R_g = (n - 1)R_g$                                            | $R = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{R_g}{n - 1}$                                   |
| 改装后的总内阻 | $R_V = R_g + R = nR_g$                                                            | $R_A = \frac{R R_g}{R + R_g} = \frac{R_g}{n}$                                       |

**针对训练** (多选)(2024·呼和浩特市高二期末)如图所示, 将一个电流计 G 和一个电阻串联可以改装成电压表, 将一个电流计 G 和一个电阻并联可以改装成电流表, 要使它们的量程增大,  $R_1$ 、 $R_2$  应如何变化( )



- A.  $R_1$  增大                      B.  $R_1$  减小  
C.  $R_2$  减小                      D.  $R_2$  增大

**【例 2】** (2024·成都市外国语学校高二月考)某同学要将一小量程电流表(满偏电流为  $250\ \mu\text{A}$ , 内阻为  $10\ \Omega$ )改装成有两个量程的电流表, 设计电路如图所示, 其中定值电阻  $R_1=6\ \Omega$ ,  $R_2=4\ \Omega$ 。



- (1)当开关 S 接 A 端时, 该电流表的量程为  $0\sim$ \_\_\_\_\_ mA。  
(2)当开关 S 接 B 端时, 该电流表的量程为  $0\sim$ \_\_\_\_\_ mA。

■ **总结提升** ■ \_\_\_\_\_

**关于电表改装的四点提醒**

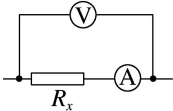
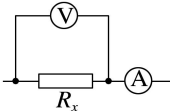
- 电表改装的问题实际上是串、并联电路中电流、电压的计算问题, 只要把表头看成一个电阻  $R_g$  即可。
- 无论表头改装成电压表还是电流表, 它的三个参量  $U_g$ 、 $I_g$ 、 $R_g$  是不变的, 即通过表头的最大电流并不改变。

3.由改装后电压表的内阻  $R_V=R_{\text{串}}+R_g=nR_g$ (其中  $n=\frac{U}{U_g}=\frac{U}{I_gR_g}$ )可知, 电压表量程越大, 其分压电阻  $R_{\text{串}}$ 越大, 电压表内阻  $R_V$ 越大。

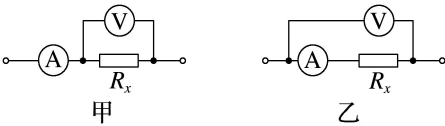
4.由改装后电流表的内阻  $R_A=\frac{R_{\text{并}}R_g}{R_{\text{并}}+R_g}=\frac{R_g}{n}$ (其中  $n=\frac{I}{I_g}$ )可知, 电流表的量程越大, 其分流电阻  $R_{\text{并}}$ 越小, 电流表的内阻  $R_A$ 越小。

## 二、伏安法测电阻的两种接法

两种接法的比较

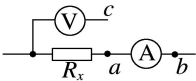
|      | 内接法                                                                               | 外接法                                                                                 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 电路   |  |  |
| 误差来源 | 电流表的分压作用                                                                          | 电压表的分流作用                                                                            |
| 误差分析 | $R_{\text{测}}=\frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}}=\frac{U_x+U_A}{I_x}=R_x+R_A>R_x$  | $R_{\text{测}}=\frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}}=\frac{U_x}{I_x+I_V}<R_x$            |
| 适用情况 | 测大电阻                                                                              | 测小电阻                                                                                |

**【例 3】** (多选)如图所示, 甲、乙为伏安法测量电阻时的两种不同接法。所用的电压表内阻约为  $5\,000\,\Omega$ , 电流表内阻约为  $0.5\,\Omega$ 。现有一阻值约为  $500\,\Omega$ 的待测电阻  $R_x$ , 采用不同电路比较( )



- A.用图甲电路进行测量, 测量误差小
- B.用图乙电路进行测量, 测量误差小
- C.若用图甲电路进行测量, 测量值比真实值偏大
- D.若用图乙电路进行测量, 测量值比真实值偏大

**【例 4】** 如图所示, 用电流表和电压表测量电阻  $R_x$ 的阻值,  $c$  端与  $b$  端相连时, 电流表示数为  $4.60\,\text{mA}$ , 电压表示数为  $2.50\,\text{V}$ ,  $c$  端与  $a$  端相连时, 电流表示数为  $5.20\,\text{mA}$ , 电压表示数为  $2.30\,\text{V}$ , 比较这两次结果, 下列说法正确的是( )



- A.电阻的真实值更接近  $543\,\Omega$ , 且大于  $543\,\Omega$
- B.电阻的真实值更接近  $543\,\Omega$ , 且小于  $543\,\Omega$
- C.电阻的真实值更接近  $442\,\Omega$ , 且大于  $442\,\Omega$

D.电阻的真实值更接近  $442\ \Omega$ ，且小于  $442\ \Omega$

### ■ 总结提升 ■

#### 电流表内、外接的选择方法

方法一 直接比较法：当  $R_x \gg R_A$  时，采用电流表内接法，当  $R_x \ll R_V$  时，采用电流表外接法，可记忆为“大内小外”。

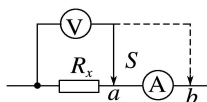
方法二 公式计算法

当  $\frac{R_V}{R_x} < \frac{R_x}{R_A}$  即  $R_x > \sqrt{R_A R_V}$  时，用电流表内接法，

当  $\frac{R_V}{R_x} > \frac{R_x}{R_A}$  即  $R_x < \sqrt{R_A R_V}$  时，用电流表外接法，

当  $R_x = \sqrt{R_A R_V}$  时，两种接法效果相同。

方法三 试触法：适用于  $R_x$ 、 $R_V$ 、 $R_A$  的阻值关系不能确定的情况，如图所示，把电压表的接线端分别接  $a$ 、 $b$  两点，观察两电表的示数变化：若电流表的示数变化明显，即  $\frac{|I_2 - I_1|}{I_1} > \frac{|U_2 - U_1|}{U_1}$ ，说明电压表的分流对电路影响大，表明  $R_x$  较大，应选用电流表内接法。反之，应选用电流表外接法。



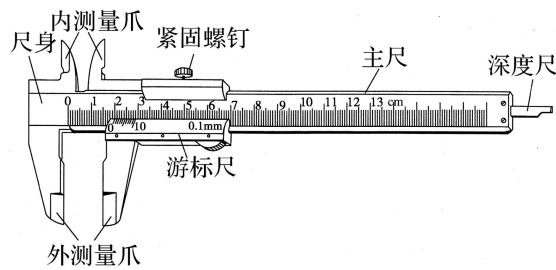
# 4 实验：导体电阻率的测量

## 第 1 课时 实验：长度的测量及测量工具的选用

[学习目标] 1.掌握游标卡尺和螺旋测微器的读数方法(重难点)。2.掌握电流表、电压表的读数方法(重点)。

### 一、游标卡尺的测量原理及使用

1.构造：主尺、游标尺(主尺和游标尺上分别有内、外测量爪)、游标卡尺上还有一个深度尺。(如图所示)



### 2.各部件的用途

- (1)内测量爪：用来测量槽的宽度和小圆管的内径等。
- (2)外测量爪：用来测量小钢球的直径、小圆管的外径、教科书的厚度等。
- (3)深度尺：固定在游标尺上，用来测量槽、孔和筒的深度。
- (4)紧固螺钉：读数时，为了防止游标尺移动，旋紧紧固螺钉可使游标尺固定在主尺上。

### 3.游标卡尺的原理

利用主尺的单位刻度与游标尺的单位刻度之间固定的微量差值来提高测量精度。无论游标尺上有多少个小等分刻度，它的刻度部分的总长度比主尺上的同样多的小等分刻度少 1 mm，常见的游标卡尺有 10 分度、20 分度、50 分度三种。

其规格见下表：

| 刻度格数(分度) | 刻度总长度 | 每小格与主尺最小刻度(1 mm)的差值 | 精确度(可精确到) |
|----------|-------|---------------------|-----------|
| 10       | 9 mm  | 0.1 mm              | _____ mm  |
| 20       | 19 mm | 0.05 mm             | _____ mm  |
| 50       | 49 mm | 0.02 mm             | _____ mm  |

4.读数方法：先读主尺上的刻度，当游标尺上第  $N$  条刻度线与主尺上某一刻度线对齐时，则：

10 分度：测量值=主尺整毫米数+ $N\times\frac{1}{10}$  mm

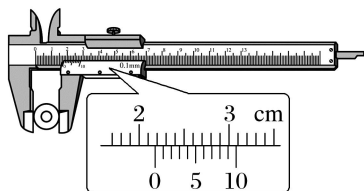
20 分度：测量值=主尺整毫米数+ $N\times\frac{1}{20}$  mm

50 分度：测量值=主尺整毫米数+ $N \times \frac{1}{50}$  mm

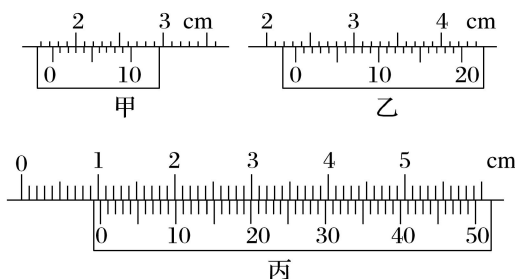
注意：(1)游标卡尺是根据刻度线对齐来读数的，所以不需要估读。但读数要注意最小精确度所在的位数，如果读数最后一位是零，该零不能去掉。读数时一般以毫米为单位，再进行单位换算。

(2)读数时，要注意游标尺第几条刻度线(不含零刻度线)与主尺对齐。

【例 1】(2024·北京师范大学附中高二月考)物理实验中。用游标卡尺测量某金属管的外径，示数如图所示。则该金属管的外径为\_\_\_\_\_ mm。

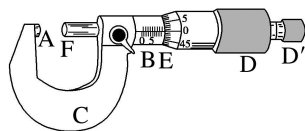


【例 2】如图甲、乙、丙所示的三把游标卡尺，它们的读数依次为\_\_\_\_\_ mm、\_\_\_\_\_ mm、\_\_\_\_\_ mm。



## 二、螺旋测微器的测量原理及使用

1.结构：如图所示，测砧 A 和\_\_\_\_\_ B 固定在尺架 C 上，可动刻度 E、旋钮 D、微调旋钮 D'、测微螺杆 F 是连在一起的，通过精密螺纹套在 B 上。

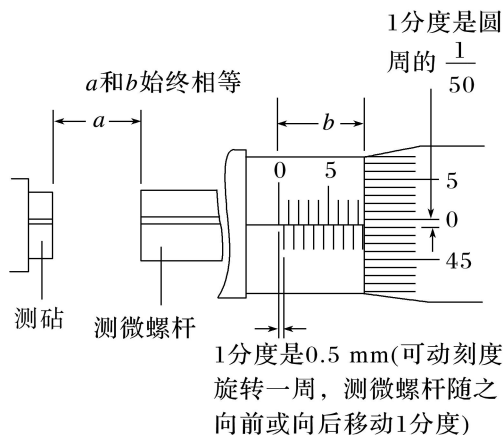


### 2.测量原理

螺旋测微器是依据螺旋放大的原理制成的。

(1)固定刻度 B 上的精密螺纹的螺距为 0.5 mm，即旋钮 D 每旋转一周，F 前进或后退 0.5 mm，而可动刻度 E 上有 50 个等分刻度，每转动一小格，F 前进或后退距离为\_\_\_\_\_ mm=\_\_\_\_\_ mm，即螺旋测微器的精确度为\_\_\_\_\_ mm。读数时再估读一位，则估读到毫米的千分位，因此，螺旋测微器又叫千分尺。

(2)可动刻度在固定刻度上旋转一周，可动刻度便沿着固定刻度方向前进或后退一个螺距的距离。因此，沿轴线方向移动的微小距离，就能用圆周上的读数表示出来，如图所示。



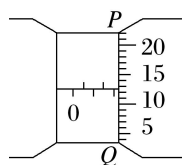
### 3. 读数方法

(1)先读固定刻度：毫米的整数部分。

(2)再读半毫米刻度，若半毫米刻度线已露出，记作\_\_\_\_\_ mm；若半毫米刻度线未露出，记作 0.0 mm。

(3)再读可动刻度(注意估读一位)记作  $n \times 0.01$  mm。

(4)最终读数结果为：固定刻度+半刻度+可动刻度。



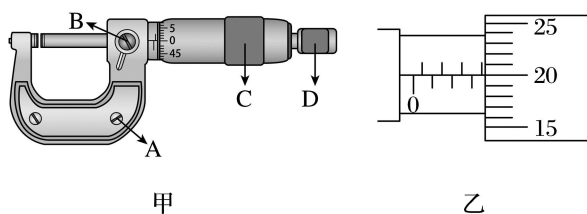
如图中固定刻度为 2 mm，半毫米刻度线未露出，可动刻度读数为 12.5(其中“12”是准确格数，“0.5”是估读的格数)，故被测长度是  $2 \text{ mm} + 0 + 0.01 \times 12.5 \text{ mm} = 2.125 \text{ mm}$ 。

### 4. 注意事项

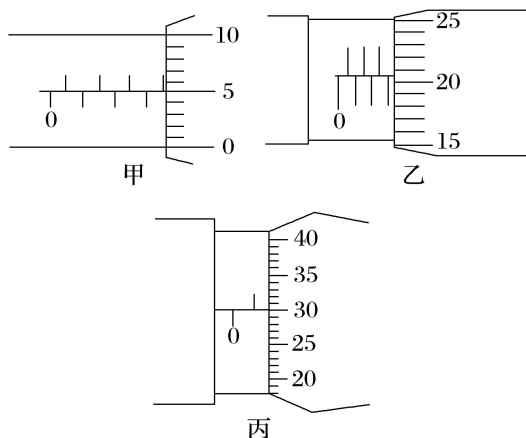
(1)测量时，在测微螺杆快靠近被测物体时应停止使用旋钮，改用微调旋钮，避免产生过大的压力，既可使测量结果精确，又能保护螺旋测微器。

(2)读数时准确到 0.01 mm，要估读到 0.001 mm，测量结果若用毫米作单位，则小数点后面必须保留\_\_\_\_位数字。

**【例 3】** 螺旋测微器为精密仪器，用螺旋测微器测量合金丝的直径时，为防止螺旋测微器损伤，当测砧和测微螺杆快接触合金丝时应改为旋转图甲所示的部件\_\_\_\_\_(选填“A”“B”“C”或“D”)，将会听到“喀喀”响声，表示已经夹紧，为防止读数时测微螺杆发生转动，读数前还应先旋紧如图甲所示的部件\_\_\_\_\_(选填“A”“B”“C”或“D”)。从图乙中的示数可读出合金丝的直径为\_\_\_\_\_ mm。



**【例 4】** 读出下面螺旋测微器测量的读数。



甲\_\_\_\_\_mm，乙\_\_\_\_\_mm，丙\_\_\_\_\_mm。

### 三、电压表、电流表的读数

1.对于电压表和电流表的读数问题，首先要弄清电表量程，即指针指到\_\_\_\_\_时对应的电压或电流，然后根据表盘总的刻度数确定\_\_\_\_\_，按照指针的实际位置进行读数即可。

2.读数原则：

(1)最小刻度是 1、0.1、0.01，按十分之一估读，可分别估读到 0.1、0.01、0.001；

(2)最小刻度是 2、0.2、0.02，按二分之一估读，可分别估读到 1、0.1、0.01；

(3)最小刻度是 5、0.5、0.05，按五分之一估读，可分别估读到 1、0.1、0.01。

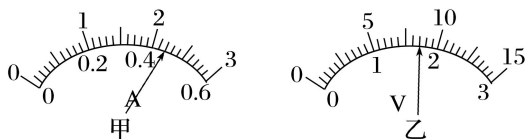
例如：

(1)0~3 V 的电压表和 0~3 A 的电流表的读数方法相同，此量程下的精确度分别是 0.1 V 和 0.1 A，看清楚指针的实际位置，读到小数点后面\_\_\_\_\_。

(2)对于 0~15 V 量程的电压表，精确度是 0.5 V，在读数时只要求读到小数点后面\_\_\_\_\_，即读到 0.1 V。

(3)对于 0~0.6 A 量程的电流表，精确度是 0.02 A，在读数时只要求读到小数点后面\_\_\_\_\_，这时要求“半格估读”，即读到最小刻度的一半 0.01 A。

**【例 5】** 如图为电流表和电压表的刻度盘。

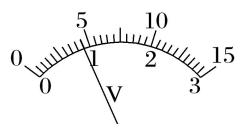


(1)图甲使用 0.6 A 量程时，对应刻度盘上每一小格代表\_\_\_\_\_A，图中表针的示数是\_\_\_\_\_A；当使用 3 A 量程时，对应刻度盘上每一小格代表\_\_\_\_\_A，图中表针示数为\_\_\_\_\_A。

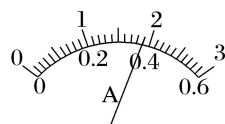
(2)图乙使用较小量程时，每小格表示\_\_\_\_\_V，图中表针的示数为\_\_\_\_\_V；若使用的是较大量程，则这时表盘刻度每小格表示\_\_\_\_\_V，图中表针示数为\_\_\_\_\_V。

**【例 6】** 请完成下列各表的读数，把答案填在图下的横线上。

(1)量程为 0~3 V 和 0~3 A 的电表读数。

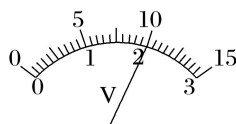


读数\_\_\_\_\_

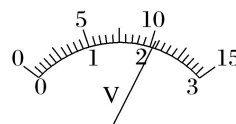


读数\_\_\_\_\_

(2)量程为 0~15 V 的电压表读数。

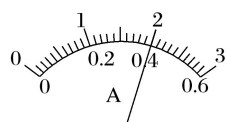


读数\_\_\_\_\_

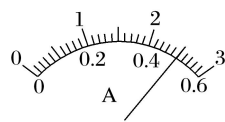


读数\_\_\_\_\_

(3)量程为 0~0.6 A 的电流表读数。



读数\_\_\_\_\_



读数\_\_\_\_\_



## 第2课时 实验：金属丝电阻率的测量

[学习目标] 1.掌握测量金属丝电阻率的实验原理和方法(重点)。2.了解伏安法测电阻的思路及实验数据的处理方法(难点)。

### 一、实验思路

- 1.取一段金属电阻丝连接到实验电路中，测出电阻丝的\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和直径  $d(S=)$ \_\_\_\_\_。
- 2.由  $R=\rho\frac{l}{S}$  得：  $\rho=$ \_\_\_\_\_ (用  $R$ 、 $S$ 、 $l$  表示) = \_\_\_\_\_ (用  $R$ 、 $d$ 、 $l$ 、 $\pi$  表示)，从而计算出该电阻丝所用材料的电阻率。

### 『思考与讨论』

- 1.待测电阻丝阻值较小时，电流表采用内接法，还是外接法？

---

---

---

- 2.为调节方便，尽可能测量多组数据，滑动变阻器采用限流式接法，还是分压式接法？闭合开关  $S$  之前，滑动变阻器的滑片处在什么位置？

---

---

---

- 3.请画出测量金属丝电阻率的实验电路图。

---

---

---

### 二、实验器材

直流电流表、直流电压表、电源、滑动变阻器、一段被测金属电阻丝、开关 1 个、导线若干、毫米刻度尺、螺旋测微器(或游标卡尺)。

### 三、物理量的测量

#### 1.电阻的测量

根据伏安法测电阻的思想：用电压表测电阻丝两端的电压，用电流表测电阻丝中的电流，读取多组电压、电流值，通过  $U-I$  图像求  $R$ 。

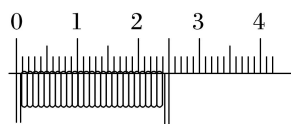
#### 2.电阻丝有效长度的测量

用\_\_\_\_\_测量电阻丝\_\_\_\_\_的有效长度  $l$ 。反复测量多次，得到有效长度的平均值。

#### 3.电阻丝直径的测量

电阻丝比较细，所以可采用累积的方法测量，或选取\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_来测量电阻丝的直径。在不同位置测量三次，取平均值  $d$  后，根据  $S=$ \_\_\_\_\_ 计算出电阻丝的横截面积  $S$ 。

4. 用刻度尺测量电阻丝的直径：取一段新的电阻丝，在圆柱形物体上紧密缠绕，用分度值为 1 mm 的刻度尺测出总宽度，再除以圈数，如图所示，该方法为累积法。



#### 四、实验步骤

1. 用螺旋测微器测量金属丝的直径，在不同位置测量三次，取平均值。
2. 把金属丝接入电路中，先用毫米刻度尺测量金属丝接入电路的有效长度三次，取平均值；然后闭合开关  $S$ ，调节滑动变阻器，用电压表测金属丝两端的电压，用电流表测通过金属丝的电流，利用欧姆定律  $R=\frac{U}{I}$ ，得到金属丝的电阻  $R$ 。改变滑动变阻器滑片位置，多测几组  $U$ 、 $I$  的数值。

#### 五、数据处理

##### 1. 电阻 $R$ 的测量

(1) 平均值法：用  $R=\frac{U}{I}$  分别算出各次的数值，再取平均值。

(2) 图像法：用  $U$ - $I$  图像的斜率求出。

##### 2. 电阻率的计算

将记录的数据  $R$ 、 $l$ 、 $d$  的值代入电阻率计算式得  $\rho=R\frac{S}{l}=\frac{\pi d^2 U}{4 l I}$ 。

#### 六、误差分析

1. 金属丝的横截面积是利用直径计算而得，直径的测量是产生误差的主要来源之一。
2. 金属丝的直径、长度的测量、电流表和电压表的读数等会带来偶然误差。
3. 采用伏安法测量金属丝的电阻时，电流表内阻(不是无限小)、电压表内阻(不是无限大)会造成系统误差。

#### 七、注意事项

1. 用分压式接法时，闭合开关  $S$  之前，一定要使滑动变阻器的滑片处在使待测电阻被短路的位置；用限流式接法时，滑动变阻器阻值调到最大。
2. 在用伏安法测电阻时，通过待测金属丝的电流  $I$  不宜过大(电流表用 0~0.6 A 量程)，通电时间不宜过长，以免金属丝的温度明显升高，造成其电阻率在实验过程中逐渐增大。
3. 若采用图像法，在描点时，要尽量使各点间的距离大一些，连线时要尽可能地让各点均匀分布在直线的两侧，个别明显偏离较远的点可以不予考虑。

**【例 1】** 某物理学习小组的两位同学采用伏安法测金属丝的电阻率，实验室备有下列实验器材：

- A. 电压表(量程 0~3 V，内阻约为 15 k $\Omega$ )
- B. 电压表(量程 0~15 V，内阻约为 75 k $\Omega$ )

C.电流表(量程 0~3 A, 内阻约为  $0.2\ \Omega$ )

D.电流表(量程 0~0.6 A, 内阻约为  $1\ \Omega$ )

E.滑动变阻器  $R_1$ (0~10  $\Omega$ , 0.6 A)

F.滑动变阻器  $R_2$ (0~2 000  $\Omega$ , 0.1 A)

G.电池组  $E$ (电压为 3 V)

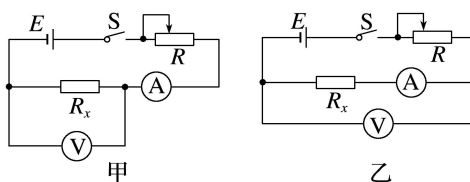
H.待测金属丝  $R_x$ (阻值约为  $5\ \Omega$ )

I.开关 S, 导线若干, 米尺, 螺旋测微器等

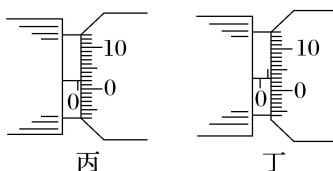
(1)为减小实验误差, 电压表应选用\_\_\_\_\_; 电流表应选用\_\_\_\_\_; 滑动变阻器应选用\_\_\_\_\_。

(均填字母代号)

(2)两位同学分别画出了两个电路图, 如图甲、乙所示。本实验选用\_\_\_\_\_ (填“甲”或“乙”)图比较合适。

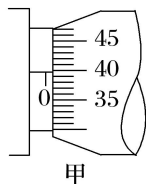


(3)实验中用螺旋测微器测量金属丝的直径, 使用时发现测微螺杆与测砧直接接触时读数如图丙所示, 测量金属丝直径时如图丁所示, 则金属丝的直径  $d=$ \_\_\_\_\_ mm。



(4)如果实验中测得金属丝的电阻值为  $R$ , 用米尺测出的金属丝长度为  $l$ , 用螺旋测微器测出的金属丝的直径为  $d$ , 则其电阻率  $\rho=$ \_\_\_\_\_。(用所给字母表示)

**【例 2】** 在“测量金属丝的电阻率”实验中, 所用测量仪器均已校准。待测金属丝接入电路部分的长度约为 50 cm。



(1)用螺旋测微器测量金属丝的直径, 其中某一次测量结果如图甲所示, 其读数应为\_\_\_\_\_ mm(该值接近多次测量的平均值)。

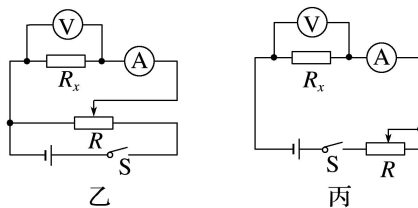
(2)用伏安法测金属丝的电阻  $R_x$ 。实验所用器材为: 电池组(电压为 3 V)、电流表(内阻约  $0.1\ \Omega$ )、电压表(内阻约  $3\ \text{k}\Omega$ )、滑动变阻器  $R$ (0~20  $\Omega$ , 额定电流 2 A)、开关、导线若干。

某小组同学利用以上器材正确连接好电路, 进行实验测量, 记录数据如下:

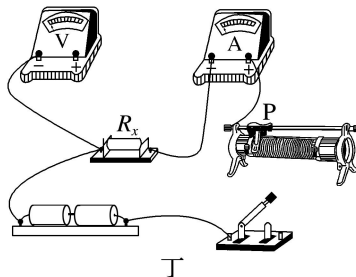
| 次数 | $U/\text{V}$ | $I/\text{A}$ |
|----|--------------|--------------|
|----|--------------|--------------|

|   |      |       |
|---|------|-------|
| 1 | 0.10 | 0.020 |
| 2 | 0.30 | 0.060 |
| 3 | 0.70 | 0.160 |
| 4 | 1.00 | 0.220 |
| 5 | 1.50 | 0.340 |
| 6 | 1.70 | 0.460 |
| 7 | 2.30 | 0.520 |

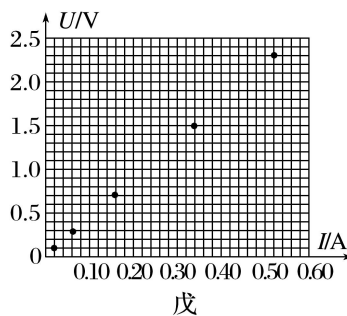
由以上实验数据可知，他们测量  $R_x$  采用的电路图是\_\_\_\_\_图(选填“乙”或“丙”)。



(3)如图丁所示是测量  $R_x$  的实验器材实物图，图中已连接了部分导线，滑动变阻器的滑片 P 置于变阻器的一端。请根据(2)中所选的电路图，补充完整图丁中实物间的连线，要求闭合开关的瞬间，电压表或电流表不被烧坏。



(4)该小组同学在坐标纸上建立  $U-I$  坐标系，如图戊所示，图中已标出了与测量数据对应的 5 个坐标点，请在图中标出第 4、6 次测量数据的坐标点，并描绘出  $U-I$  图线。由图线得到金属丝的阻值  $R_x=_____ \Omega$ (结果保留两位有效数字)。



(5)根据以上数据可以估算出金属丝的电阻率约为\_\_\_\_\_。

- A.  $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot m$       B.  $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot m$   
C.  $1 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$       D.  $1 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

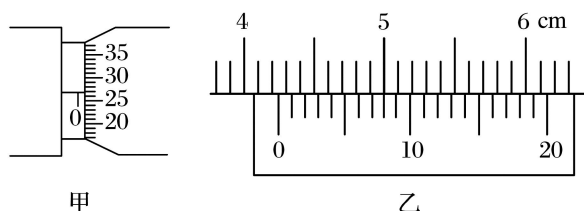
(6)任何实验测量都存在误差。本实验所用测量仪器均已校准，下列关于误差的说法正确的是\_\_\_\_\_。

- A.用螺旋测微器测量金属丝的直径时，由读数引起的误差属于系统误差
- B.由电流表和电压表的内阻引起的误差属于偶然误差
- C.若将电流表和电压表的内阻计算在内，可以消除由测量仪表引起的系统误差
- D.用  $U-I$  图像处理数据求金属丝的电阻可以减小偶然误差

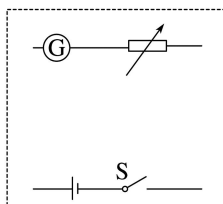
**【例 3】** 某中学课题研究小组为了撰写关于未知材料电阻率的实践报告，设计了一个测量电阻率(被测电阻丝的阻值约为  $25\ \Omega$ )的实验方案，可提供的器材有：

- A.电流表 G，内阻  $R_g=120\ \Omega$ ，满偏电流  $I_g=3\ \text{mA}$
- B.电流表 A，内阻约为  $0.2\ \Omega$ ，量程为  $0\sim 0.1\ \text{A}$
- C.螺旋测微器和游标卡尺
- D.电阻箱  $R_0(0\sim 9\ 999\ \Omega, 0.5\ \text{A})$
- E.滑动变阻器  $R(5\ \Omega, 1\ \text{A})$
- F.干电池组( $3\ \text{V}$ )
- G.一个开关和导线若干

(1)用螺旋测微器测量被测电阻丝横截面直径，示数如图甲所示，可知其直径  $d$  为\_\_\_\_\_mm；用游标卡尺测其长度，示数如图乙所示，可知其长度  $L$  为\_\_\_\_\_mm。



(2)把电流表 G 与电阻箱串联改装成电压表使用，最大测量电压为  $3\ \text{V}$ ，则电阻箱的阻值应调为  $R_0=$ \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。



(3)请用改造完的电压表设计一个测量电阻丝  $R_x$  电阻率的实验电路，根据提供的器材和实验需要，请将图中电路图补画完整。

(4)实验数据的测量与电阻率的计算：如果电阻丝的长度用  $L$  表示，开关闭合后，调节滑动变阻器的滑片到合适位置，电流表 G 的示数为  $I_1$ ，电流表 A 的示数为  $I_2$ ，请用已知量和测量量写出计算电阻率的表达式  $\rho=$ \_\_\_\_\_。

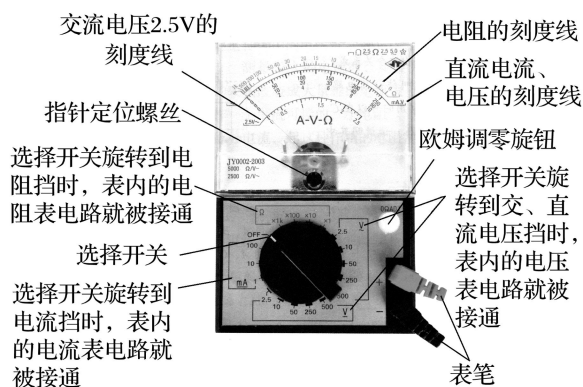
## 5 实验：练习使用多用电表

**[学习目标]** 1.了解多用电表的基本结构，知道多用电表的测量功能。2.会使用多用电表测量电压、电流和电阻(重点)。3.掌握多用电表的读数方法。4.会使用多用电表测量二极管的正反向电阻(难点)。5.会使用多用电表排查电路故障(难点)。

### 一、认识多用电表

#### 1.指针式多用电表

认识表盘和选择开关



#### 2.数字式多用电表



如图所示，数字式多用电表的测量值以数字形式直接显示，使用方便。数字式多用电表内部装有电子电路，这样可以使电表对被测电路的影响减到最小，同时还具有多种其他功能。

#### 『思考与讨论』

多用电表的电流挡、电压挡的挡位表示什么意义？电阻挡和电流挡、电压挡的挡位表示的意义一样吗？

---

---

---

### 二、使用多用电表

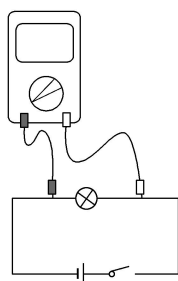
#### 1.使用步骤

(1)使用前，应调整\_\_\_\_\_，使指针指到零刻度。这一步又称为“机械调零”。

(2)使用时，通过\_\_\_\_\_选择合适的挡位。

(3)使用完毕，应将选择开关旋转到\_\_\_\_\_位置。

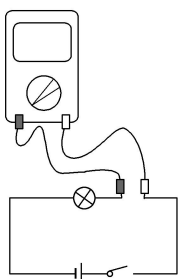
## 2.使用多用电表测量电压、电流和电阻



### (1)测量直流电压

- ①选择\_\_\_\_\_挡合适的量程，并将选择开关旋至相应位置。
- ②将多用电表\_\_\_\_\_在待测电路两端，注意红表笔接触点的电势应比黑表笔接触点的电势\_\_\_\_\_。
- ③根据表盘上相应量程的直流电压刻度读出电压值，读数时注意\_\_\_\_\_刻度所表示的电压值。

### (2)测量直流电流



- ①选择\_\_\_\_\_挡合适的量程，并将选择开关旋至相应位置。
- ②将被测电路导线拆开一端，把多用电表\_\_\_\_\_在电路中，注意电流应从\_\_\_\_\_表笔流入多用电表。
- ③读数时，根据表盘上相应量程的直流电流刻度进行读数，要认清刻度盘上的最小刻度。

### (3)测量电阻

- ①选挡：估计待测电阻的大小，旋转选择开关，使其尖端对准电阻挡的合适倍率。选择倍率时，应使表针尽可能指在刻度盘的中间区域。
- ②欧姆调零：将红、黑表笔短接，调节欧姆调零旋钮，使指针指在表盘右端“0”刻度处。
- ③测量读数：将两表笔分别与待测电阻的两端接触，读数乘倍率即为待测电阻阻值。
- ④测另一电阻时重复①②③三步。
- ⑤实验完毕：应将选择开关置于“OFF”挡或交流电压最高挡。

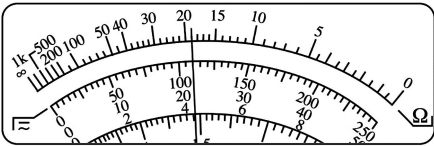
## 3.注意事项

- (1)用多用电表电压挡、电流挡测电压、电流时要注意红、黑表笔分别与电源的正、负极相连。
- (2)需要注意多用电表直流电流挡是毫安挡，不能测量比较大的电流。选择适当的量程，使指针偏转角尽量大一些，这样测量结果相对较准。
- (3)测电阻时应注意的问题

- ①选挡后要进行欧姆调零。
- ②换挡后要重新进行欧姆调零。
- ③被测电阻要与电源等其他元件分离，不能用手接触表笔的金属杆。
- ④操作完成后，要将两表笔从插孔中拔出，并将选择开关旋至“OFF”挡或交流电压最高挡，若长期不用，应将电池取出。

『思考与讨论』

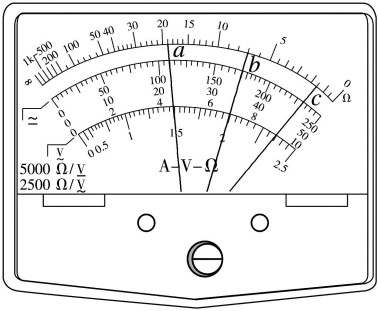
1.电阻表的表盘有什么特点？



2.若测一个阻值为 160 Ω左右的电阻，应该选择哪个电阻挡位？

【例 1】 (2024·四川省仁寿第一中学月考)在“练习使用多用电表”的实验中：

(1)前两次测量时，表盘指针如图中 *a*、*b* 所示。请据此完成记录表中的①和②；



|       | 所测物理量 | 量程或倍率   | 指针                                     | 读数                      |
|-------|-------|---------|----------------------------------------|-------------------------|
| 第 1 次 | 直流电压  | 0~50 V  | ①____<br>(选填“ <i>a</i> ”或“ <i>b</i> ”) | 34.0 V                  |
| 第 2 次 | 直流电流  | 0~10 mA | ②____<br>(选填“ <i>a</i> ”或“ <i>b</i> ”) | 4.4 mA                  |
| 第 3 次 | 电阻    | ×100    | <i>c</i>                               | $1.5\times10^2\ \Omega$ |

(2)第 3 次测量时，用“×100”电阻挡测量电阻，表盘指针如图中 *c* 所示，为了更准确测量需要换成\_\_\_\_  
(选填“×10”或“×1 k”)挡进行重新测量；



(3)多用电表改变不同倍率的电阻挡后,测量电阻前\_\_\_\_\_(选填“需要”或“不需要”)重新调零。

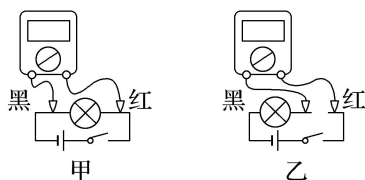
**【例 2】** (2024·北京市昌平区高二期末)多用电表是常用的电学测量仪表,它既能测量电流又能测量电压,还能测量电阻。

(1)关于多用电表的使用,下列操作正确的是\_\_\_\_\_;

A.测灯泡电压时,应按图甲所示连线,测量时开关 S 应断开

B.测灯泡电流时,应按图乙所示连线,测量时开关 S 应闭合

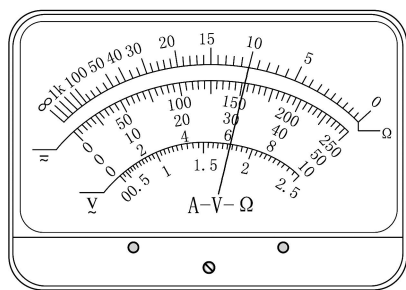
C.测灯泡电阻时,应按图甲所示连线,测量时开关 S 应断开



(2)某次用多用电表测量电阻和直流电压时指针位置如图丙所示,若选择开关置于:

①电阻“ $\times 1\text{ k}$ ”位置,则电阻的测量值为\_\_\_\_\_  $\text{k}\Omega$ ;

②直流“ $10\text{ V}$ ”位置,则电压的测量值为\_\_\_\_\_  $\text{V}$ 。



丙

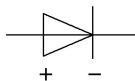
## ■ 总结提升 ■

1.读数时要注意读表盘上的刻度线:电阻表刻度不均匀,读最上一排刻度线;直流电流、电压刻度均匀,读中间刻度线。

2.电压表、电流表读数时,要看清选择开关所选择的量程,确定每一小格表示多少及应读到的有效数字位数。

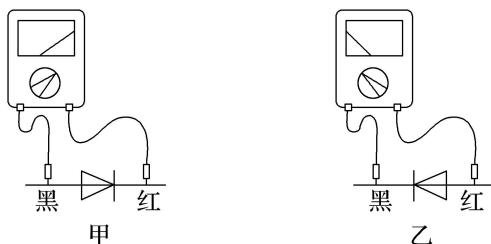
## 三、用多用电表测二极管正反向电阻

1.认识二极管:如图所示,它由半导体材料制成,左端为正极,右端为负极。



特点:二极管具有单向导电性。电流从正极流入时为正向电阻,电阻\_\_\_\_\_(填“很小”或“很大”),而从负极流入时为反向电阻,电阻\_\_\_\_\_(填“很大”或“很小”),接近断路。

2.多用电表测二极管的正、反向电阻



(1)测二极管正向电阻：将多用电表的选择开关旋至低倍率的电阻挡，欧姆调零之后将黑表笔接触二极管的正极，红表笔接触二极管的负极。

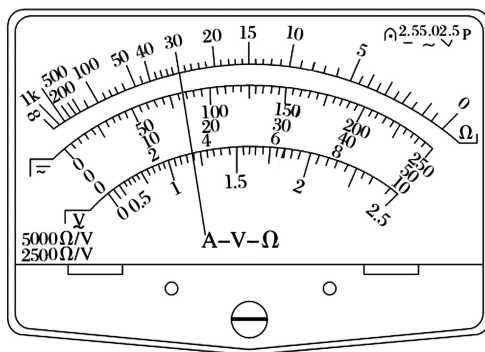
(2)测二极管反向电阻：将多用电表的选择开关旋至高倍率的电阻挡，欧姆调零之后将黑表笔接触二极管的负极，红表笔接触二极管的正极。

**【例 3】** 某同学利用多用电表测量二极管的反向电阻(二极管具有单向导电性，电流正向通过时几乎没有电阻，电流反向时，电阻很大)。完成下列测量步骤：

(1)检查多用电表的机械零点。

(2)将红、黑表笔分别插入“+”“-”插孔，二极管的两个极分别记作  $a$  和  $b$ ，将红表笔接  $a$  端时，表针几乎不偏转，将红表笔接  $b$  端时偏转角度很大，则为了测量该二极管的反向电阻，应将红表笔接二极管的\_\_\_\_\_ (选填“ $a$ ”或“ $b$ ”)端。

(3)将选择开关拨至电阻“ $\times 100$ ”挡，进行正确的测量步骤后，发现表针偏角较小。为了得到准确的测量结果，应重新选择量程进行测量，则该同学应选择\_\_\_\_\_ (选填“ $\times 10$ ”或“ $\times 1\text{ k}$ ”)挡，然后\_\_\_\_\_，再进行测量。测量后示数如图所示，则测量结果为\_\_\_\_\_。



(4)测量完成后，将选择开关拨向\_\_\_\_\_挡位置。

#### 四、用多用电表判断电路故障

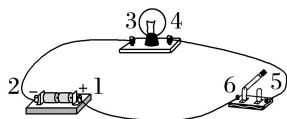
##### 1.电压表检测法

若电路断路，将电压表与电源并联，若有电压说明电源完好。若电路断路，将电压表逐段与电路并联，若某一段电压表指针偏转，说明该段电路中有断点。若电路短路，则用电压表逐段与电路并联，某一段电压表示数为零，则该段电路被短路。

##### 2.电阻表检测法

断开电路，用多用电表的电阻挡测量待测部分的电阻，若检测部分示数正常，说明两点间正常；若检测部分电阻很小(几乎为零)，说明该部分短路；若检测部分指针几乎不动，说明该部分断路。

**【例 4】** 在如图所示的电路中，1、2、3、4、5、6 为连接点的标号。在开关闭合后，发现小灯泡不亮。现用多用电表检查电路故障，需要检测的有：电源、开关、小灯泡、3 根导线以及电路中的各连接点。



(1)为了检测小灯泡以及 3 根导线，在连接点 1、2 已接好的情况下，应当选用多用电表的\_\_\_\_\_挡。

在连接点 1、2 同时断开的情况下，应当选用多用电表的\_\_\_\_\_挡。

(2)在开关闭合情况下，若测得 5、6 两点间的电压接近电源的电压，则表明\_\_\_\_\_可能有故障。

(3)将小灯泡拆离电路，写出用多用电表检测该小灯泡是否有故障的具体步骤：

---

---

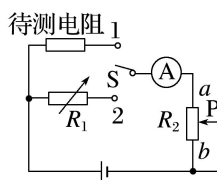
---

## 专题强化 7 电阻的测量

**[学习目标]** 1.进一步理解电流表内接法、外接法及滑动变阻器的限流式接法和分压式接法,并能在具体问题中正确选择(重难点)。2.会用等效替代法、伏伏法、安安法、半偏法测电阻(重难点)。

### 一、等效替代法测电阻

如图所示,先让待测电阻与一电流表串联后接到电压恒定的电源上,读得电流表示数  $I$ ;然后将电阻箱与电流表串联后接到同一电源上,调节电阻箱的阻值,使电流表的示数仍为  $I$ ,则电阻箱的读数等于待测电阻的阻值。



**说明:** 等效替代法的实验原理简单,看似没有系统误差,但考虑到电阻箱不能连续调节,往往很难保证电流表的读数不变。

**【例 1】** (2024·大连市滨城高中联盟高二月考)某实验小组同学想测量一个定值电阻  $R_x$  的准确阻值,实验室提供的器材如下:

待测定值电阻  $R_x$ (阻值约为  $10\ \Omega$ )

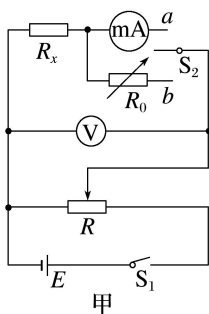
毫安表 mA(量程为  $200\ \text{mA}$ ,内阻未知)

电压表 V(量程  $3\ \text{V}$ ,内阻  $R_V \approx 3\ \text{k}\Omega$ )

电阻箱  $R_0$ (最大阻值为  $99\ 999.9\ \Omega$ )

滑动变阻器  $R_1$ (允许通过最大电流  $1.5\ \text{A}$ ,最大阻值  $5\ \Omega$ )

滑动变阻器  $R_2$ (允许通过最大电流  $0.3\ \text{A}$ ,最大阻值  $300\ \Omega$ )

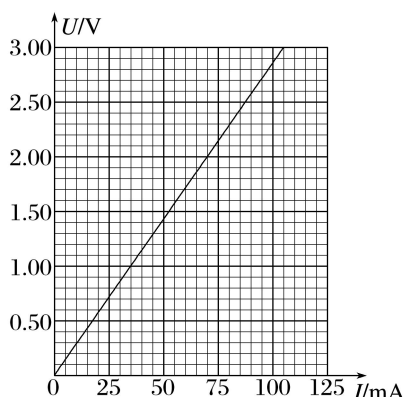


电源  $E$ (电压约  $3\ \text{V}$ )

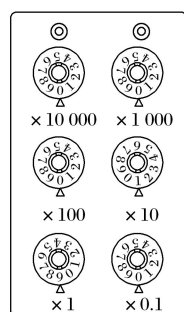
开关  $S$ 、导线若干

(1)实验小组同学经过讨论设计出如图甲所示的电路,实验中滑动变阻器  $R$  应选用\_\_\_\_\_ (选填“ $R_1$ ”或“ $R_2$ ”);

(2)将单刀双掷开关  $S_2$  置于  $a$ , 改变滑动变阻器滑片, 测得多组电流、电压值, 描绘出相应的  $U-I$  图像, 如图乙所示, 图像为一条过原点的直线, 则  $U-I$  图像的斜率表示 \_\_\_\_\_;



乙



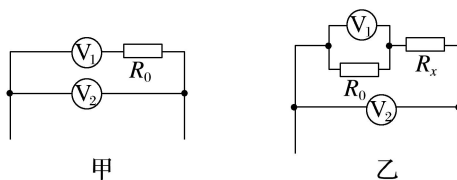
丙

(3)将单刀双掷开关  $S_2$  置于  $b$ , 保持滑动变阻器滑片位置不变, 调节电阻箱  $R_0$  的阻值, 使电压表  $V$  的示数与单刀双掷开关  $S_2$  置于  $a$  时相同, 此时电阻箱的阻值如图丙所示, 则毫安表的内阻  $R_{mA} =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ ;

(4)待测电阻的准确阻值  $R_{x\text{准}} =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$  (结果保留 2 位有效数字)。

## 二、伏伏法测电阻

伏伏法又称电压表差值法, 是利用两个电压表的组合测量电压表的内阻或其他电阻的方法。常见电路如图甲、乙所示。



甲

乙

(1)条件: 电压表  $V_2$  的量程必须大于电压表  $V_1$  的量程且能搭配使用。

(2)技巧: 已知内阻值的电压表可当作电流表使用。在缺少合适的电流表的情况下, 常用电压表代替电流表使用。

(3)原理: 以图甲为例, 电压表  $V_1$ 、 $V_2$  的读数分别为  $U_1$ 、 $U_2$ , 根据电路知识有  $U_2 = U_1 + \frac{U_1}{r_1} R_0$ , 则如果  $R_0$  已知, 可求出电压表的内阻  $r_1 = \frac{U_1}{U_2 - U_1} R_0$ ; 如果  $r_1$  已知, 可以求出  $R_0 = \frac{U_2 - U_1}{U_1} r_1$ 。

**【例 2】** (2024·广东省模拟)某实验兴趣小组, 根据以下器材想要精确测量电压表  $V_1$  的内阻, 其量程为 3 V, 内阻大约为  $2\text{ k}\Omega$ , 除此以外提供的器材有:

- A. 电源  $E$  (电压 9 V)
- B. 电压表  $V_2$  (量程 15 V, 内阻约为  $5\text{ k}\Omega$ )
- C. 电流表  $A$  (量程 0.6 A, 内阻约为  $5\ \Omega$ )
- D. 滑动变阻器  $R_1$  (阻值范围为  $0\sim 10\ \Omega$ )
- E. 滑动变阻器  $R_2$  (阻值范围为  $0\sim 1\ 500\ \Omega$ )
- F. 定值电阻  $R_3=5\text{ k}\Omega$
- G. 定值电阻  $R_4=500\ \Omega$
- H. 开关一个, 导线若干

(1) 实验过程中, 为减小实验误差, 要求电表示数至少要达到量程的  $\frac{1}{3}$ , 同时方便电路调节, 滑动变阻器应选择\_\_\_\_\_, 实验所需的另一个电表应选择\_\_\_\_\_, 定值电阻应选择\_\_\_\_\_ (均选填器材前的字母代号);

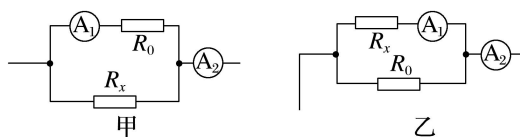
(2) 请在虚线框内画出实验电路图;



(3) 将电压表  $V_1$  的示数记为  $U_1$ , 将另一个电表的示数记为  $X_2$ , 将所选定值电阻的阻值记为  $R$ , 在获得多组  $U_1$ 、 $X_2$  的值后建立坐标系, 绘制  $X_2$ - $U_1$  图像, 拟合得到线性图像的斜率为  $k$ , 则电压表  $V_1$  的内阻  $R_V=_____$  (用  $k$ 、 $R$  表示)。

### 三、安安法测电阻

安安法又称电流表差值法, 是利用两个电流表的组合测量电流表的内阻或其他电阻的方法, 常见电路如图甲、乙所示。



(1) 条件: 电流表  $A_2$  的量程必须大于电流表  $A_1$  的量程且能搭配使用。

(2) 技巧: 已知内阻值的电流表可当作电压表使用。在缺少合适的电压表的情况下, 常用电流表代替电压表使用。

(3)原理：电流表  $A_1$ 、 $A_2$  的读数分别为  $I_1$ 、 $I_2$ ，电流表  $A_1$  的内阻为  $r_1$ ，则以图甲为例，根据电路知识有  $I_1(r_1+R_0)=(I_2-I_1)R_x$ ，则如果  $r_1$ 、 $R_0$  已知，可求出  $R_x$  的阻值；如果  $R_0$ 、 $R_x$  已知，可以求出电流表  $A_1$  的内阻  $r_1=\frac{I_2-I_1}{I_1}R_x-R_0$ 。

【例 3】某同学想要准确测量一阻值约为  $2\text{ k}\Omega$  的电阻  $R_x$  的阻值，实验室还提供了下列器材：

A. 电流表  $A_1$ (量程为  $0\sim 500\text{ }\mu\text{A}$ ，内阻  $r_1=1\text{ k}\Omega$ )

B. 电流表  $A_2$ (量程为  $0\sim 1.5\text{ mA}$ )

C. 滑动变阻器  $R_1(0\sim 20\text{ }\Omega)$

D. 滑动变阻器  $R_2(0\sim 2\text{ }000\text{ }\Omega)$

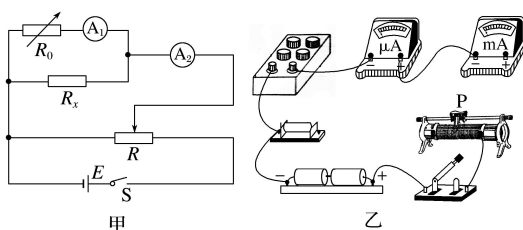
E. 电阻箱  $R_0(0\sim 9\text{ }999\text{ }\Omega)$

F. 电源(电压为  $3\text{ V}$ )

G. 开关

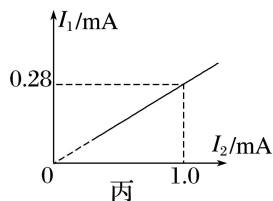
H. 导线若干

(1)某同学用如图甲所示电路图测电阻  $R_x$  的阻值，为尽可能获取多组数据且操作方便，滑动变阻器应选择\_\_\_\_\_ (填“ $R_1$ ”或“ $R_2$ ”)；为将电流表  $A_1$  改装成量程为  $3\text{ V}$  的电压表，需要将电阻箱  $R_0$  的阻值调为\_\_\_\_\_  $\Omega$ 。



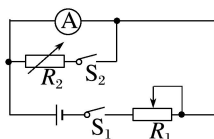
(2)如图乙所示为本实验的部分连线的实物图，请用笔画线代替导线将其连接成完整电路。

(3)按正确的电路连接，闭合开关，记录电流表  $A_1$ 、 $A_2$  的示数  $I_1$  和  $I_2$ ，移动滑动变阻器的滑片，记录多组数据，并作出  $I_1$ - $I_2$  图线如图丙所示，则该待测电阻阻值为  $R_x$ =\_\_\_\_\_  $\text{k}\Omega$ (计算结果保留两位有效数字)。



## 四、半偏法测电阻

### 1. “半偏法”测电流表的内阻

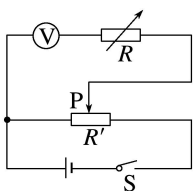


测量原理：实验电路如图所示。

- (1) 闭合开关  $S_1$  前，将滑动变阻器  $R_1$ 、电阻箱  $R_2$  的阻值调到最大；
- (2) 闭合开关  $S_1$ ，调节  $R_1$  使电流表  $A$  的指针满偏；
- (3) 再闭合开关  $S_2$ ，保持滑动变阻器滑片的位置不变，调节电阻箱  $R_2$  的阻值，使电流表  $A$  的指针半偏；
- (4) 读取电阻箱的阻值  $R_2$ ，则  $R_A = R_2$ 。

**注意：**  $R_1$  接入阻值越大，误差越小，故  $R_1$  应选择总阻值较大的。

## 2. “半偏法”测电压表的内阻



测量原理：实验电路如图所示。

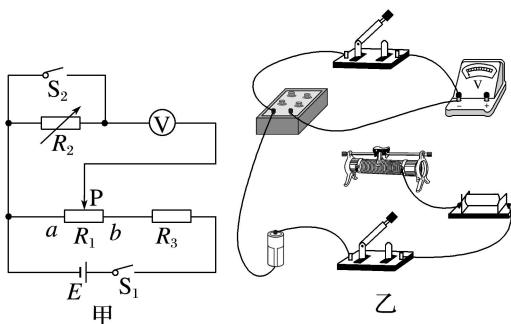
- (1) 闭合开关  $S$  之前，电阻箱  $R$  的阻值调到零，滑动变阻器  $R'$  的滑片  $P$  滑到最左端；
- (2) 闭合开关  $S$ ，调节滑片  $P$  的位置使电压表  $V$  的指针满偏；
- (3) 保持滑动变阻器滑片位置不变，再调节电阻箱的阻值，使电压表  $V$  的指针半偏；
- (4) 读取电阻箱的阻值  $R$ ，则有  $R_V = R$ 。

**注意：**  $R'$  应选总阻值较小的，有利于减小实验误差。

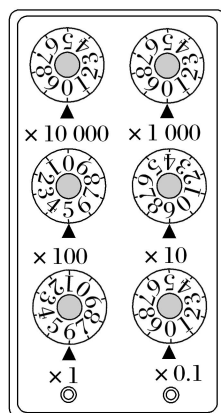
**【例 4】** 某同学测量一量程为 500 mV 的电压表的内阻。实验所提供的器材有：待测电压表、滑动变阻器  $R_1$  (0~20  $\Omega$ )、电阻箱  $R_2$ 、定值电阻  $R_3$  (阻值 20  $\Omega$ )、电池 (电压约为 1.5 V)、导线和两个开关。

该同学设计了如图甲所示的电路图，正确连接电路后进行了如下操作：

- ① 把滑动变阻器  $R_1$  的滑片滑到  $a$  端，闭合开关  $S_2$ ，并将电阻箱  $R_2$  的阻值调到较大；
- ② 闭合开关  $S_1$ ，调节  $R_1$  滑片的位置，使电压表的指针指到满刻度；
- ③ 保持开关  $S_1$  闭合、 $R_1$  滑片的位置不变，断开开关  $S_2$ ，调整  $R_2$  的阻值，当  $R_2$  调节旋钮位置如图丙所示时，电压表的指针指在满偏刻度的  $\frac{2}{3}$  处。







丙

请回答下列问题：

(1)用笔画线代替导线将实物图乙补充完整；

(2)图丙中电阻箱  $R_2$  接入电路的阻值为\_\_\_\_\_  $\Omega$ ，该电压表内阻为\_\_\_\_\_  $\Omega$ ；

(3)在操作无误的情况下，实际测出的电压表内阻的测量值  $R_{V\text{测}}$ \_\_\_\_\_ (选填“大于”“小于”或“等于”)真实值  $R_{V\text{真}}$ 。在其他条件不变的情况下，若  $R_{V\text{真}}$  越大测量误差就越\_\_\_\_\_ (选填“大”或“小”)。

# 章末素养提升

## 素养再现

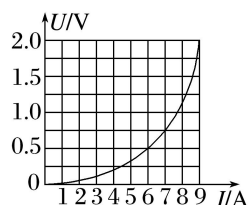
|         |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                 |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物理观念    | 电流                                                                                                                                                                                                                  | 1.电流的定义式： $I=\frac{q}{t}$ ，其物理意义：_____时间内通过导体横截面的_____, 规定_____定向移动的方向为电流的方向<br>2.电流的微观表达式： $I=$ _____          |
|         | 电阻                                                                                                                                                                                                                  | 1.定义式：导体两端的电压 $U$ 与通过导体的电流 $I$ 的比值 $R=$ _____<br>2.决定式：_____, 式中 $\rho$ 叫作这种材料的_____                            |
|         | 串、并联电路                                                                                                                                                                                                              | 1.串联电路：各处电流_____, 总电压等于各部分电压_____, 总电阻等于各部分电阻_____<br>2.并联电路：总电流等于各支路电流_____, 各支路两端电压_____, 总电阻的倒数等于各支路电阻的_____ |
|         | 多用电表                                                                                                                                                                                                                | 1.了解多用电表的基本结构，知道多用电表的测量功能<br>2.会使用多用电表测量电压、电流和电阻<br>3.会使用多用电表测量二极管的正反向电阻，会排查电路故障                                |
| 科学思维    | 1.能从微观视角和宏观表现分析电流的形成<br>2.会用控制变量法设计探究电阻与长度、横截面积及材料的定量关系的实验方案<br>3.熟练掌握伏安法测电阻的内接和外接的误差分析和对电路的选择<br>4.理解滑动变阻器的限流式接法和分压式接法                                                                                             |                                                                                                                 |
| 科学探究    | 1.知道游标卡尺和螺旋测微器的测量原理，会正确使用游标卡尺和螺旋测微器，能根据实际情况选择合适的测量工具<br>2.能够掌握测量金属电阻率的实验原理和方法<br>3.会根据实验数据描绘 $U-I$ 图像，求出电阻值。能根据串、并联电路的规律，对实验误差进行分析<br>4.认识多用电表的表盘结构及选择开关的功能，掌握多用电表的操作程序与使用要求，会使用多用电表测量电压、电流和电阻及判断二极管的极性，知道减小实验误差的方法 |                                                                                                                 |
| 科学态度与责任 | 1.养成自觉遵守实验操作规程和谨慎操作的习惯<br>2.能认识物理测量的精度依赖于实验器材，而且测量是有误差的<br>3.通过分组实验，讨论、交流，培养团队合作意识                                                                                                                                  |                                                                                                                 |

## 提能训练

**【例 1】** (2024·安徽省高二联考)随着中、日、美、韩等多家企业高调宣布全固态电池技术的新突破，全球范围内全固态电池技术再次引起广泛关注。2023 年 11 月，在我国试验测试中，相比常规固态电池，采用界面改性技术的固态电池在 150 周循环后容量的保持率大幅提高，超过 90%，电池寿命衰减率降低了 50%，关于电池中对电流定义式  $I=\frac{q}{t}$  理解，下列说法正确的是( )

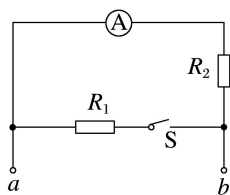
- A. 电池储存的电荷量  $q$  越多，它放电时的电流  $I$  一定越大
- B.  $I$  的方向与自由电子的定向移动方向相反
- C.  $I$  与通过导体横截面的电荷量成正比
- D.  $I$  是矢量，方向由  $q$  的移动方向决定

**【例 2】** 某灯泡的  $U-I$  图像如图所示，下列说法正确的是( )



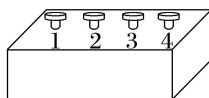
- A. 小灯泡的电阻随着电流的增大而减小
- B. 小灯泡的电阻随着电压的增大而减小
- C. 小灯泡是非线性电阻，所以不能计算出其在某状态下的电阻
- D. 当小灯泡两端的电压为 0.5 V 时，它的电阻约为  $\frac{1}{12} \Omega$

**【例 3】** (2025·北京市通州区高二期末)如图所示，电流表 A 的量程为 0.6 A，内阻  $r=5 \Omega$ 。电阻  $R_1=5 \Omega$ ， $R_2=20 \Omega$ 。用该电流表改装成电压表和量程更大的电流表，将接线柱  $a$ 、 $b$  接入电路，下列说法正确的是( )



- A. 若开关 S 闭合，可测量的最大电流为 3 A
- B. 若开关 S 断开，可测量的最大电压为 12 V
- C. 若开关 S 闭合且增大  $R_1$  阻值，可测量的最大电流将增大
- D. 若开关 S 断开且增大  $R_2$  阻值，可测量的最大电流不变

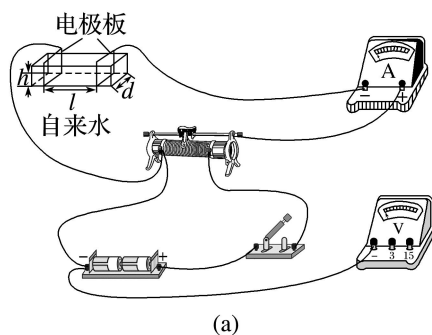
**【例 4】** (多选)(2023·全国乙卷)黑箱外有编号为 1、2、3、4 的四个接线柱，接线柱 1 和 2、2 和 3、3 和 4 之间各接有一个电阻，在接线柱间还接有另外一个电阻  $R$  和一个直流电源。测得接线柱之间的电压  $U_{12}=3.0 \text{ V}$ ， $U_{23}=2.5 \text{ V}$ ， $U_{34}=-1.5 \text{ V}$ 。符合上述测量结果的可能接法是( )



- A. 电源接在 1、4 之间， $R$  接在 1、3 之间
- B. 电源接在 1、4 之间， $R$  接在 2、4 之间
- C. 电源接在 1、3 之间， $R$  接在 1、4 之间
- D. 电源接在 1、3 之间， $R$  接在 2、4 之间

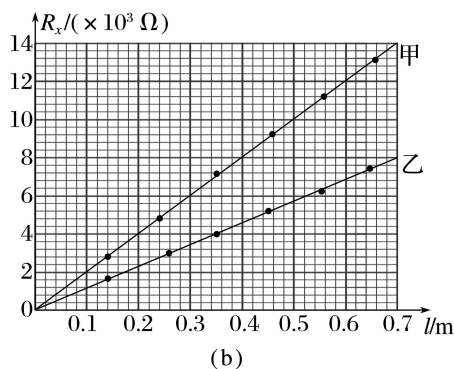
**【例 5】** (2024·江西卷)某小组欲设计一种电热水器防触电装置，其原理是：当电热管漏电时，利用自来水自身的电阻，可使漏电电流降至人体安全电流以下。为此，需先测量水的电阻率，再进行合理设计。

(1)如图(a)所示，在绝缘长方体容器左右两侧安装可移动的薄金属板电极，将自来水倒入其中，测得水的截面宽  $d=0.07\text{ m}$  和高  $h=0.03\text{ m}$ 。



(2)现有实验器材：电流表(量程  $300\text{ }\mu\text{A}$ ，内阻  $R_A=2\text{ }500\text{ }\Omega$ )、电压表(量程  $3\text{ V}$  或  $15\text{ V}$ ，内阻未知)、直流电源( $3\text{ V}$ )、滑动变阻器、开关和导线。请在图(a)中画线完成电路实物连接。

(3)连接好电路，测量  $26\text{ }^\circ\text{C}$  的水在不同长度  $l$  时的电阻值  $R_x$ 。将水温升到  $65\text{ }^\circ\text{C}$ ，重复测量。绘出  $26\text{ }^\circ\text{C}$  和  $65\text{ }^\circ\text{C}$  水的  $R_x-l$  图，分别如图(b)中甲、乙所示。



(4)若  $R_x-l$  图线的斜率为  $k$ ，则水的电阻率表达式为  $\rho=$  \_\_\_\_\_ (用  $k$ 、 $d$ 、 $h$  表示)。实验结果表明，温度 \_\_\_\_\_ (填“高”或“低”)的水更容易导电。

(5)测出电阻率后，拟将一段塑料水管安装于热水器出水口作为防触电装置。为保证出水量不变，选用内直径为  $8.0\times 10^{-3}\text{ m}$  的水管。若人体的安全电流为  $1.0\times 10^{-3}\text{ A}$ ，热水器出水温度最高为  $65\text{ }^\circ\text{C}$ ，忽略其他电阻的影响(相当于热水器  $220\text{ V}$  的工作电压直接加在水管两端)，则该水管的长度至少应设计为 \_\_\_\_\_  $\text{m}$ 。(保留两位有效数字)

## 第十二章

# 电能 能量守恒定律



## 1 电路中的能量转化

**[学习目标]** 1.理解电功、电功率、焦耳定律、热功率的概念,知道它们的区别与联系(重点)。2.知道纯电阻电路与非纯电阻电路的特点和区别,理解两种电路的能量转化关系(重难点)。

### 一、电功和电功率

#### 1.电功

(1)电流做功的实质是导体中的恒定电场对自由电荷的\_\_\_\_\_在做功。电能转化为其他形式的能是通过电流做功来实现的。

(2)电功的计算公式:  $W=$ \_\_\_\_\_。

单位: 焦耳, 符号为 J。

常用的单位: 千瓦时(kW·h), 也称“度”,  $1 \text{ kW}\cdot\text{h}=$ \_\_\_\_\_ J。

#### 2.电功率

(1)定义: 电流在一段电路中所做的功与通电时间之比。

(2)公式:  $P=\frac{W}{t}=$ \_\_\_\_\_。

(3)单位: 瓦特, 符号为 W。

(4)意义: 表示电流做功的快慢。

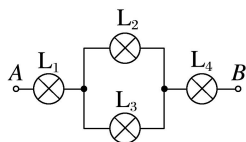
(5)额定功率: 额定功率是指用电器在额定电压下正常工作时所消耗的功率, 此时流经用电器的电流就是它的额定电流。

#### 「易错辨析」

(1)电功率越大, 表示电流做功越多。( )

(2)由公式  $P=\frac{W}{t}$  可知, 时间越短, 功率越大。( )

**【例 1】** (2024·上海交大附中浦东实验高中高二期中)已知电灯的亮暗取决于其两端的电压和通过的电流的乘积。如图, 电灯  $L_1$ 、 $L_2$  的电阻值均为  $3 \Omega$ ; 电灯  $L_3$ 、 $L_4$  的电阻值均为  $6 \Omega$ 。将  $A$ 、 $B$  两端接入电源, 四个灯均能发光, 若不考虑温度对电阻的影响, 最暗的灯是( )



A.L<sub>1</sub>

B.L<sub>2</sub>

C.L<sub>3</sub>

D.L<sub>4</sub>

## 二、焦耳定律

### 1.焦耳定律

(1)内容：电流通过导体产生的热量跟\_\_\_\_\_成正比，跟\_\_\_\_\_及\_\_\_\_\_成正比。  
这个关系式最初是由焦耳通过实验直接得到的，物理学中就把它叫作焦耳定律。

(2)表达式  $Q=$ \_\_\_\_\_。

### 2.热功率

(1)定义：单位时间内的发热量称为热功率。

(2)公式：  $P_{\text{热}}=I^2R$ 。

### 『思考与讨论』

电烙铁通电后，电烙铁的烙铁头热得能把金属熔化，而与电烙铁相连的导线却不怎么热，为什么？

【例 2】 (2025·蚌埠市高二月考)两根由同种材料制成的均匀电阻丝 A、B 并联在电路中，A 的长度为  $8L$ ，直径为  $d$ ，B 的长度为  $L$ ，直径为  $d$ 。那么通电后，A、B 在相同的时间内产生的热量之比为( )

A. $Q_A : Q_B=4 : 1$

B. $Q_A : Q_B=8 : 1$

C. $Q_A : Q_B=1 : 2$

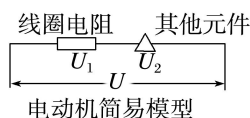
D. $Q_A : Q_B=1 : 8$

## 三、电路中的能量转化

### 1.电动机工作时的能量转化关系

(1)电动机从电源获得能量，一部分转化为\_\_\_\_\_，还有一部分转化为内能。

(2)电动机的简易模型及其功率、效率



①电动机消耗的功率(总功率):  $P_{\text{总}}=UI$ 。

②电动机的发热功率:  $P_{\text{热}}=I^2R$ 。

③电动机的输出功率(机械功率)  $P_{\text{机}}=P_{\text{总}}-P_{\text{热}}=UI-I^2R$ 。

④电动机的效率:  $\eta=\frac{P_{\text{机}}}{P_{\text{总}}}\times 100\%$ 。

2.电池充电时的能量转化关系：电池从电源获得的能量一部分转化为电池的\_\_\_\_\_能，还有一部分转化为内能。

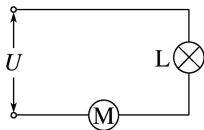
「易错辨析」

- (1)电功  $W=UIt$  在任何电路中都适用,  $Q=I^2Rt$  只在纯电阻电路中适用。( )
- (2)电热  $Q=I^2Rt$  可以用来计算所有含有电阻的电路中产生的焦耳热。( )
- (3)任何电路中的电功  $W=UIt$ , 电热  $Q=I^2Rt$ , 且  $W=Q$ 。( )

【例 3】 (2024·徐州市高二月考)关于以下三个公式① $P=UI$ ; ② $P=I^2R$ ; ③ $P=\frac{U^2}{R}$ 。计算电动机有关功率时, 公式选择正确的是( )

- A.热功率可以用公式①
- B.热功率可以用公式②
- C.总功率可以用公式③
- D.总功率可以用公式①②③

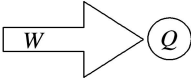
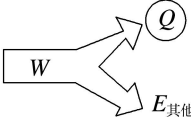
【例 4】 (2025·南充市高二期中)在如图所示的电路中, 输入电压  $U$  恒为 10 V, 灯泡 L 标有 “6 V, 12 W” 字样, 电动机线圈的电阻  $R_M=1\ \Omega$ 。若灯泡恰能正常发光, 下列说法正确的是( )



- A.流过电动机的电流是 4 A
- B.电动机的电功率是 16 W
- C.电动机的输出功率是 4 W
- D.电动机两端的电压是 2 V

■ 总结提升 ■

纯电阻电路与非纯电阻电路的比较

| 比较项目 | 纯电阻电路                                                                                                                               | 非纯电阻电路                                                                                                                                  |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 元件特点 | 电路中只有电阻元件, 如电阻、电炉丝、小灯泡                                                                                                              | 电路中除电阻外, 还包括能把电能转化为其他形式的能的用电器, 如电动机、电解槽                                                                                                 |
| 能量转化 | 电能全部转化为内能:<br><br>$W=Q=UIt=I^2Rt=\frac{U^2}{R}t$ | 电能转化为内能和其他形式的能:<br><br>$W=UIt, Q=I^2Rt, W=Q+E_{其他}$ |
| 功率特点 | 电功率等于热功率:<br>$P_{电}=P_{热}=UI=I^2R=\frac{U^2}{R}$                                                                                    | 电功率等于热功率与其他功率之和:<br>$P_{电}=UI$                                                                                                          |

|          |                     |                                                                  |
|----------|---------------------|------------------------------------------------------------------|
|          |                     | $P_{\text{热}}=I^2R$<br>$P_{\text{电}}=P_{\text{热}}+P_{\text{其他}}$ |
| 欧姆<br>定律 | 适用, $I=\frac{U}{R}$ | 不适用, $I<\frac{U}{R}$                                             |



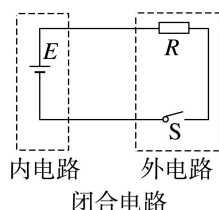
## 2 闭合电路的欧姆定律

### 第1课时 闭合电路的欧姆定律

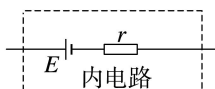
[学习目标] 1.理解电动势的概念。2.了解外电路、内电路，知道电动势等于内、外电路电势降落之和(重难点)。3.理解闭合电路欧姆定律的内容，掌握其表达式(重点)。

#### 一、电动势

1.由导线、电源和用电器连成的电路叫作闭合电路。闭合电路包括外电路和内电路。

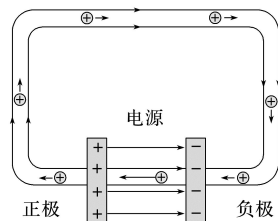


(1)外电路：用电器和导线组成外电路。



(2)内电路：电源内部是内电路。内电路中的电阻叫内电阻，简称内阻。我们可以将电源看作一个没有电阻的理想电源与电阻的串联。

2.非静电力：电源把正电荷从\_\_\_\_\_极搬运到\_\_\_\_\_极的力。在干电池中，非静电力是化学作用，在发电机中，非静电力是电磁作用。



3.电源：通过非静电力做功把其他形式的能转化为\_\_\_\_\_的装置。

#### 4.电动势

(1)定义：在电源内部，\_\_\_\_\_所做的功  $W$  与被移动的电荷量  $q$  的比值叫电源的电动势。

(2)定义式： $E = \frac{W}{q}$ 。

(3)单位：\_\_\_\_\_ (V)， $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$ 。

(4)物理意义：反映电源把其他形式的能转化为电能本领的大小。

(5)电动势由电源中非静电力的特性决定，跟电源的体积\_\_\_\_\_，跟外电路也\_\_\_\_\_ (均选填“有关”或“无关”)。

## 「思考与讨论」

日常生活中我们经常接触到各种各样的电源，如图所示的干电池、手机电池，它们有的标有“1.5 V”字样，有的标有“3.7 V”字样。



标有“1.5 V”干电池



标有“3.7 V”手机电池

- (1)如果把 5 C 的正电荷从 1.5 V 干电池的负极移到正极，该电荷的电势能增加了多少？非静电力做了多少功？如果把 2 C 的正电荷从 3.7 V 的手机电池的负极移到正极呢？
- (2)以上哪个电池把其他形式能转化为电能的本领大？

---

---

---

## 「易错辨析」

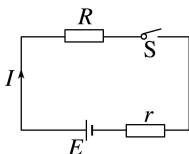
- (1)电源是通过静电力做功把其他形式的能转化为电能的装置。( )
- (2)电动势定义式  $E = \frac{W}{q}$  中的  $W$  与电压  $U = \frac{W}{q}$  中的  $W$  是同种性质力所做的功。( )
- (3)一节 1.5 V 的 5 号干电池和一节 1.5 V 的 7 号干电池把其他形式的能转化为电能的本领一样大。( )
- (4)外电路变化时，电动势也变化。( )

【例 1】铅蓄电池的电动势为 2 V，这表示( )

- A. 电源将 1 C 的正电荷从正极移至负极的过程中，2 J 的化学能转变为电能
- B. 电源将 1 C 的正电荷从负极移至正极的过程中，2 J 的化学能转变为电能
- C. 铅蓄电池在 1 s 内将 2 J 的化学能转变为电能
- D. 铅蓄电池比一节干电池(电动势为 1.5 V)的体积大，故电动势大

## 二、闭合电路欧姆定律及其能量分析

### 1. 闭合电路中的能量转化



- (1)时间  $t$  内电源输出的电能(等于非静电力做功的大小)为  $W = Eq =$ \_\_\_\_\_。
- (2)在时间  $t$  内，外电路转化的内能为  $Q_{\text{外}} =$ \_\_\_\_\_。内电路转化的内能为  $Q_{\text{内}} =$ \_\_\_\_\_。
- (3)根据能量守恒定律，非静电力做的功  $W = Q_{\text{外}} + Q_{\text{内}}$ ，即  $EIt =$ \_\_\_\_\_， $E =$ \_\_\_\_\_，进一步得： $I = \frac{E}{R+r}$ 。

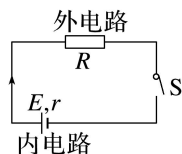
说明： $I = \frac{E}{R+r}$ 、 $E = IR + Ir$  只适用于外电路为纯电阻的闭合电路。

## 2. 闭合电路的欧姆定律

(1) 内容：闭合电路的电流跟电源的电动势成正比，跟内、外电路的电阻之和成反比。

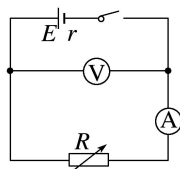
(2) 表达式： $I = \frac{E}{R + r}$ 。

(3) 内、外电路中的电势变化：如图所示，外电路中电流由电源正极流向负极，沿电流方向电势降低，内电路中电流由电源负极流向正极，沿电流方向电势升高。



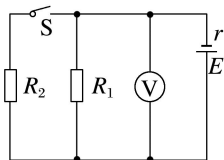
(4)  $E = U + Ir$ 。即：电源的电动势等于内、外电路电势降落之和。

**【例 2】** (多选) 如图所示，当可变电阻  $R = 2 \Omega$  时，理想电压表的示数  $U = 4 \text{ V}$ ，已知电源的电动势  $E = 6 \text{ V}$ ，则( )



- A. 此时理想电流表的示数是  $2 \text{ A}$
- B. 此时理想电流表的示数是  $3 \text{ A}$
- C. 电源的内阻是  $1 \Omega$
- D. 电源的内阻是  $2 \Omega$

**【例 3】** (2025·海南省文昌中学高二期末) 在如图所示的电路中，电阻  $R_1 = 12 \Omega$ ， $R_2 = 6 \Omega$ ，电压表视为理想电表。当开关 S 断开时，电压表示数为  $9 \text{ V}$ ，当开关 S 闭合时，电压表示数为  $6 \text{ V}$ 。求：



- (1) 开关 S 断开时，流过  $R_1$  的电流；
- (2) 开关闭合时，回路的总电流；
- (3) 电源的电动势  $E$  和内阻  $r$ 。

---

---

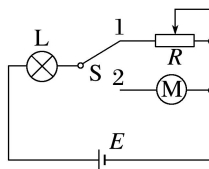
---

---

---

---

【例 4】 (2024·郴州市高二期中)如图所示，电源电动势  $E=6\text{ V}$ ，小灯泡 L 的规格为“ $3\text{ V } 0.9\text{ W}$ ”，开关 S 接 1，当滑动变阻器调到  $R=8\ \Omega$  时，小灯泡 L 正常发光，现将开关 S 接 2，小灯泡 L 和电动机 M 均正常工作，已知电动机的线圈电阻  $R_0=2\ \Omega$ 。求：



(1)电源内阻；

(2)电动机效率。

---



---



---



---



---



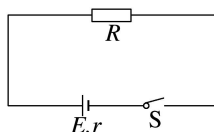
---

## 第2课时 路端电压与负载的关系 电阻表的原理

**[学习目标]** 1.理解路端电压与负载的关系,并能进行相关计算(重点)。2.通过探究电源两端电压与电流的关系,体会图像法在研究物理问题中的作用(重点)。3.知道电阻表测量电阻的原理,了解电阻表内部结构和刻度特点(重难点)。

### 一、路端电压与负载的关系

在如图所示的电路中,电源的电动势  $E=10\text{ V}$ ,内阻  $r=1\ \Omega$ ,试求当外电阻分别是  $3\ \Omega$ 、 $4\ \Omega$ 、 $9\ \Omega$ 时所对应的路端电压。通过数据计算,你发现了怎样的规律?



---

---

---

#### 「梳理与总结」

1.外电路中的用电器叫作\_\_\_\_\_,外电路的电势降落叫作\_\_\_\_\_。负载变化时,电路中的电流就会变化,路端电压也随之变化。

2.根据闭合电路的欧姆定律  $E=U_{\text{外}}+U_{\text{内}}$ ,若将  $U_{\text{外}}$  记为路端电压  $U$ ,考虑到  $U_{\text{内}}=Ir$ ,则  $U=E-Ir$ 。

3.对纯电阻电路,路端电压  $U$  与外电阻  $R$  的关系:

当外电阻  $R$  增大时,由  $I=\frac{E}{R+r}$  可知,电流  $I$ \_\_\_\_\_;由  $U=E-Ir$  可知,  $U$ \_\_\_\_\_;当外电阻  $R$  减小时,电流  $I$ \_\_\_\_\_,  $U$ \_\_\_\_\_。

结论:路端电压随着外电阻的增大而\_\_\_\_\_,随着外电阻的减小而\_\_\_\_\_。

#### 「思考与讨论」

1.两个电路中的电池相同,小灯泡的规格也相同,多个并联的小灯泡的亮度明显比单独一个小灯泡暗。如何解释这一现象呢?

---

---

---

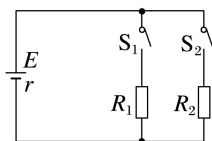
2.当外电路断开时,路端电压是多少?当电源两端短路时,路端电压是多少?电流会是无穷大吗?

---

---

---

【例 1】 如图所示，电源的电动势  $E=1.5\text{ V}$ ，内阻  $r=0.5\ \Omega$ ，电阻  $R_1=R_2$ ，当开关  $S_1$  闭合、 $S_2$  断开时，通过电源的电流为  $1\text{ A}$ 。求：



(1)开关  $S_1$  闭合、 $S_2$  断开时的路端电压；

(2)当开关  $S_1$ 、 $S_2$  都闭合时，通过电源的电流和路端电压。

---

---

---

---

---

---

## 二、电源的 $U-I$ 图像

根据闭合电路欧姆定律写出路端电压  $U$  与干路电流  $I$  之间的关系式，并画出  $U-I$  图像。

---

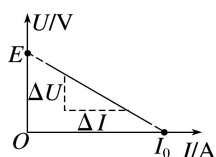
---

---

### 「梳理与总结」

1.公式： $U=$ \_\_\_\_\_。

2.图像： $U-I$  图像是一条倾斜的直线。



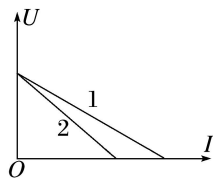
3.纵轴上的截距：表示电源的\_\_\_\_\_；

横轴上的截距：表示电源的短路电流， $I_{\text{短}}=I_0=$ \_\_\_\_\_。

4.图像斜率的绝对值：表示电源的\_\_\_\_\_， $r=\frac{E}{I_{\text{短}}}=$ \_\_\_\_\_。

### 「思考与讨论」

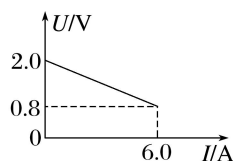
比较图线 1 和 2，说明电源 1 和电源 2 电动势及内阻大小关系。




---

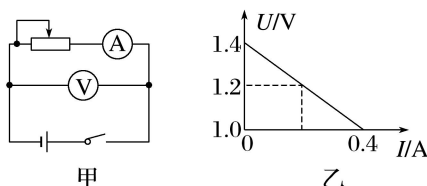
---

【例 2】(多选)如图所示为某一电源的  $U-I$  图像, 由图可知( )



- A. 电源电动势为 2.0 V
- B. 电源内阻为  $\frac{1}{3} \Omega$
- C. 电源短路时电流为 6.0 A
- D. 路端电压为 1.0 V 时, 电路中电流为 5.0 A

【例 3】(多选)用如图甲所示的电路来测量电池电动势和内电阻, 根据测得的数据作出了如图乙所示的  $U-I$  图像, 由图可知( )



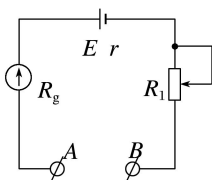
- A. 电池电动势的测量值是 1.4 V
- B. 电池内阻的测量值是  $3.5 \Omega$
- C. 外电路发生短路时的电流为 0.4 A
- D. 电压表的示数为 1.2 V, 电流表的示数为 0.2 A

### ■ 总结提升 ■

若  $U-I$  图像纵轴的取值不是从 0 开始, 纵轴上的截距仍然表示电源的电动势  $E$ , 图线斜率的绝对值仍然表示电源的内阻, 但横轴截距不表示短路电流。

## 三、电阻表的原理

已知电源电动势  $E=1.5 \text{ V}$ , 内阻  $r=0.5 \Omega$ , 小量程电流表的满偏电流为  $I_g=10 \text{ mA}$ , 电流表内阻  $R_g=7.5 \Omega$ 。

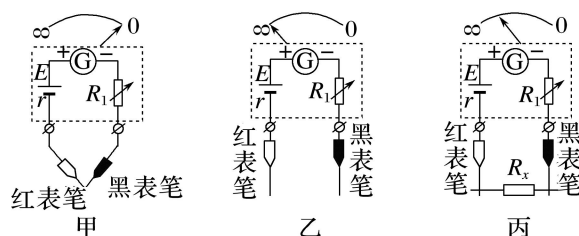


- (1) 若用导线把  $A$ 、 $B$  直接连起来, 此时应把可变电阻  $R_1$  调为多少才能使电流表恰好满偏?
- (2) 调到满偏后保持  $R_1$  的值不变, 在  $AB$  间接一个多大的电阻  $R_0$ , 才能使电流表指针指向刻度盘中间位置?
- (3) 保持  $R_1$  的值不变, 如果把任意电阻  $R_x$  接在  $A$ 、 $B$  间, 电流表读数  $I_x$  与  $R_x$  的值有什么关系?
- (4) 通过以上计算, 你有何发现?

## 「梳理与总结」

电阻表的测量原理是闭合电路欧姆定律，电阻表内部电路与外部被测电阻  $R_x$  一起组成闭合电路。

(1) 红、黑表笔短接，如图甲所示，被测电阻  $R_x=0$  时，调节调零电阻  $R_1$ ，使电流表指针达到满偏，有  $I=I_g=\frac{E}{R_\Omega}$ ，这一过程叫\_\_\_\_\_。满偏电流  $I_g$  处可标电阻大小为“\_\_\_\_\_”。

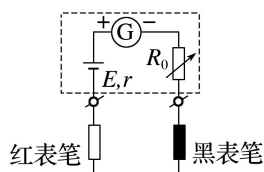


(2) 红、黑表笔断开，如图乙所示，被测电阻  $R_x \rightarrow \infty$ ，有  $I=0$ ，可以在  $I=0$  处标电阻大小为“\_\_\_\_\_”。

(3) 当  $R_x$  为 0 到  $\infty$  之间某一数值时，如图丙所示， $I_x=\frac{E}{R_\Omega+R_x}$ ，每个  $R_x$  值都对应一个电流值，在刻度盘上直接标出与  $I$  值对应的  $R_x$  值。

(4) 当  $R_x=\frac{R_\Omega}{2}$  时，指针偏转到表盘中间，有  $I=\frac{I_g}{2}$ ，此时  $R_x$  等于电阻表的中值电阻。

【例 4】电阻表的工作原理图如图所示。



(1) 若表头的满偏电流为  $I_g=500\ \mu\text{A}$ ，干电池的电动势为 1.5 V，把灵敏电流表的电流刻度值对应的电阻表电阻填在下表中：

|      |          |                   |                   |                   |
|------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 电流刻度 | 0        | 200 $\mu\text{A}$ | 300 $\mu\text{A}$ | 500 $\mu\text{A}$ |
| 电阻刻度 | $\infty$ | _____             | _____             | _____             |

(2) 这只电阻表的总内阻为\_\_\_\_\_  $\Omega$ ，表针偏转到满刻度的  $\frac{1}{3}$  时，待测电阻为\_\_\_\_\_  $\Omega$ 。

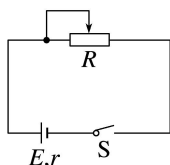


## 专题强化 8 闭合电路的功率 两种 $U-I$ 图像的对比

[学习目标] 1. 熟练掌握闭合电路的功率和相关物理量之间的关系, 会计算闭合电路的功率问题(重点)。2. 能区分用电器的  $U-I$  图像与电源的  $U-I$  图像, 并能根据两种图像进行相关计算(重难点)。

### 一、闭合电路的功率

【例 1】 如图所示, 电路中电源电动势为  $E$ , 内阻为  $r$ , 滑动变阻器阻值为  $R$ , 闭合开关  $S$ 。



(1) 当满足什么条件时, 电源的输出功率  $P_{\text{出}}$  最大?  $P_{\text{出}}$  最大值为多少?

(2) 当电源的输出功率最大时, 电源的效率  $\eta$  也是最大吗? 为什么?

---

---

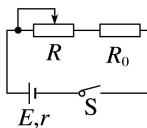
---

---

---

---

拓展 1 如图所示, 电路中  $E=4\text{ V}$ ,  $r=2\ \Omega$ , 定值电阻  $R_0=0.5\ \Omega$ , 滑动变阻器阻值  $R$  的调节范围为  $0\sim 10\ \Omega$ , 当滑片从最右端滑至最左端过程中。



(1) 当  $R=$  \_\_\_\_\_, 定值电阻  $R_0$  消耗的功率最大;

(2) 当  $R=$  \_\_\_\_\_, 电源的输出功率  $P_{\text{出}}$  最大, 最大输出功率  $P_{\text{m}}$  为 \_\_\_\_\_。

(3) 当  $R=$  \_\_\_\_\_, 滑动变阻器消耗的功率  $P_R$  最大, 滑动变阻器消耗的最大功率  $P_{\text{m}}'$  为 \_\_\_\_\_。

拓展 2 若拓展 1 中定值电阻  $R_0=4\ \Omega$ , 其他条件不变, 当滑动变阻器的滑片从最右端滑至最左端过程中, 当  $R=$  \_\_\_\_\_, 电源的输出功率最大, 最大输出功率  $P_{\text{m}}$  为 \_\_\_\_\_(结果保留 3 位有效数字)。

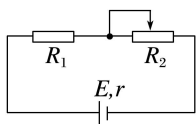
### ■ 总结提升 ■

#### 功率最大值的求解方法

1. 对定值电阻来说, 通过其电流最大时功率也最大。

2. 电源的输出功率在外电阻等于内阻时最大, 若不能相等, 外电阻越接近内阻, 电源的输出功率越大。

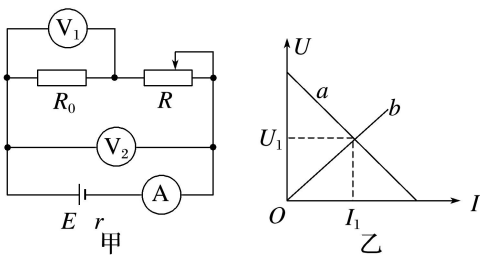
3.



如图，求解滑动变阻器阻值  $R_2$  消耗的最大功率时，可把定值电阻  $R_1$  等效为电源内阻的一部分，则  $R_2=R_1+r$  时，滑动变阻器上消耗的功率最大。

## 二、两种 $U-I$ 图像的对比

如图所示，甲图中定值电阻的阻值为  $R_0$ ，滑动变阻器的阻值为  $R$ ，滑动变阻器的滑片从一端滑到另一端的过程中，两电压表的读数随电流表读数的变化情况如图乙中的  $a$ 、 $b$  两直线所示(电表均为理想电表)。



- (1)电压表  $V_1$ 、 $V_2$  的示数随电流表示数的变化图像应分别为  $U-I$  图像中的哪一条直线？
- (2) $a$ 、 $b$  直线的斜率分别表示什么？
- (3) $R$  取何值时， $a$ 、 $b$  直线相交？

---



---



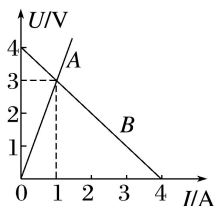
---

### 「提炼·总结」

#### 1.定值电阻的 $U-I$ 图像与电源 $U-I$ 图像的区别

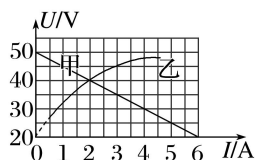
| 项目            | 定值电阻的 $U-I$ 图像                        | 电源的 $U-I$ 图像                                        |
|---------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 图像的形状         |                                       |                                                     |
| 关系式           | $U=IR$                                | $U=E-Ir$                                            |
| 图像的<br>物理意义   | 表示导体的性质， $U$ 与 $I$ 成正比的前提是电阻 $R$ 保持不变 | 表示电源的性质，电源的电动势和内阻保持不变，外电路电阻 $R$ 变化，才有 $U$ 和 $I$ 的变化 |
| 图像斜率<br>的物理意义 | 等于定值电阻 $R$ 的阻值                        | 绝对值等于电源内阻 $r$                                       |

2. 定值电阻的  $U-I$  图像与电源  $U-I$  图像的交点坐标的意义:



如图所示, 电源和定值电阻的  $U-I$  图线在同一个坐标系中, 两条图线的交点(1 A, 3 V)的含义是: 当图线 A 所示的外接电阻与图线 B 所示的电源连接后, 流过电阻的电流是 1 A, 电阻两端的电压为 3 V; 同时电源的输出电流是 1 A, 路端电压为 3 V。电源的输出功率  $P=UI=3\text{ W}$ , 其大小等于图中两条虚线与坐标轴所围的面积数值。

**【例 2】** (2025·济宁市高二期中) 如图所示, 图线甲、乙分别为某电源和某金属导体的  $U-I$  图线, 电源的电动势和内阻分别用  $E$ 、 $r$  表示, 根据所学知识, 下列说法正确的是( )



- A. 当该导体直接与该电源相连时, 该导体的电阻为  $15\ \Omega$
- B. 当该导体直接与该电源相连时, 电路消耗的总功率为 40 W
- C. 该电源电动势  $E=50\text{ V}$ , 内阻  $r=\frac{25}{3}\ \Omega$
- D. 当该导体直接与该电源相连时, 电源输出的功率为 80 W

**拓展** 该导体与该电源连接时, 电源效率为多少?

---



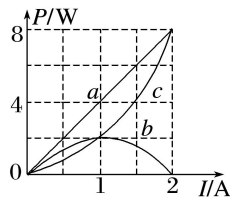
---



---

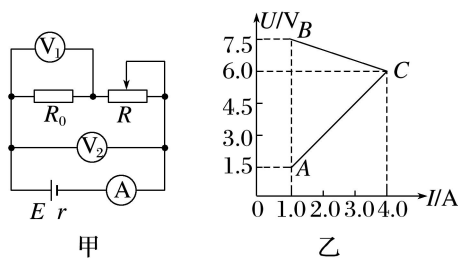
### 随堂演练

1. (多选) 某同学将一直流电源的总功率  $P_E$ 、输出功率  $P_R$  和电源内部的发热功率  $P_r$  随电流  $I$  变化的图线画在了同一坐标系上, 如图中的  $a$ 、 $b$ 、 $c$  所示, 下列判断正确的是( )



- A. 直线  $a$  表示电源的  $P_E-I$  图线
- B. 曲线  $c$  表示电源的  $P_R-I$  图线
- C. 电源的电动势  $E=4\text{ V}$ , 内阻  $r=2\ \Omega$
- D. 电源的最大输出功率  $P_{\max}=2\text{ W}$

2.(多选)如图甲所示电路中, 定值电阻  $R_0$  与滑动变阻器  $R$  串联在电动势为  $E$ 、内阻为  $r$  的电源两端, 所有电表均为理想电表, 当变阻器的滑片从一端滑到另一端的过程中两电压表的读数随电流表读数的变化情况如乙图中的  $AC$ 、 $BC$  两直线所示, 根据图上的已知信息, 判断下列说法中正确的是( )



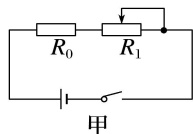
- A. 滑动变阻器  $R$  的最大阻值是  $8\ \Omega$
- B. 电源的电动势  $E=8\text{ V}$ , 内阻  $r=0.5\ \Omega$
- C. 当滑动变阻器  $R=1\ \Omega$  时, 定值电阻  $R_0$  上消耗的电功率最大
- D. 在电流表示数逐渐减小的过程中, 电源的效率逐渐增大

## 专题强化 9 闭合电路的动态分析 含有电容器的电路 故障分析

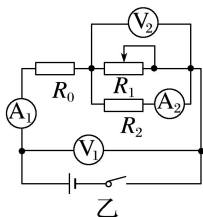
[学习目标] 1.会应用闭合电路的欧姆定律分析闭合电路的动态问题(重难点)。2.会分析含有电容器的电路问题(重难点)。3.会结合闭合电路欧姆定律和部分电路欧姆定律分析电路故障(难点)。

### 一、闭合电路的动态分析

(1)如图甲所示的电路中,电源电动势为  $E$ , 内阻为  $r$ ,  $R_0$  为定值电阻,  $R_1$  为滑动变阻器,当滑动变阻器  $R_1$  的滑片向右滑动时,以下物理量将如何变化?(均选填“增大”或“减小”)



- ①回路中的电流  $I$  \_\_\_\_\_;  
 ② $R_0$  两端电压  $U_0=IR_0$  \_\_\_\_\_, 内电压  $U_{内}=Ir$  \_\_\_\_\_;  
 ③路端电压  $U_{外}=E-U_{内}$  \_\_\_\_\_,  $R_1$  两端的电压  $U_1=E-I(r+R_0)$  \_\_\_\_\_。

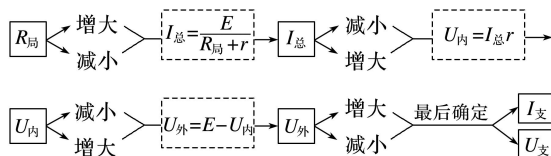


(2)如图乙所示,若将  $R_1$  并联一定值电阻  $R_2$ , 其他条件不变,当滑动变阻器  $R_1$  的滑片向右滑动时,  $R_1$  与  $R_2$  的并联阻值  $R_{并}$  \_\_\_\_\_, 电流表  $\textcircled{A_1}$  示数 \_\_\_\_\_,  $R_2$  所在支路的电流表  $\textcircled{A_2}$  示数 \_\_\_\_\_, 通过  $R_1$  的电流 \_\_\_\_\_,  $\textcircled{V_1}$  示数 \_\_\_\_\_,  $\textcircled{V_2}$  示数 \_\_\_\_\_。

### 『提炼·总结』

闭合电路动态问题的分析方法

1.程序法:遵循“局部—整体—局部”的思路,按以下步骤分析(如图):



2.结论法——“串反并同”

“串反”:是指某一电阻增大时,与它串联或间接串联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将减小;某一电阻减小时,与它串联或间接串联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将增大。

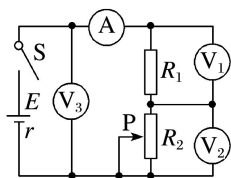
“并同”:是指某一电阻增大时,与它并联或间接并联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将增大;某一电阻减小时,与它并联或间接并联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将减小。

注意:此方法适用条件为电源内阻不为零。

### 3. 极限法

因滑动变阻器滑片滑动引起电路变化的问题，可将滑动变阻器的滑片分别滑至两个极端，使其电阻最大或电阻为零，画等效电路图分析各电学量的变化情况。

**【例 1】** (多选) 在如图所示的电路中，闭合开关  $S$ ，当滑动变阻器的滑片  $P$  向下滑动时，四个理想电表的示数都发生变化，电表的示数分别用  $I$ 、 $U_1$ 、 $U_2$  和  $U_3$  表示，电表示数的变化量分别用  $\Delta I$ 、 $\Delta U_1$ 、 $\Delta U_2$  和  $\Delta U_3$  表示。下列说法正确的是( )

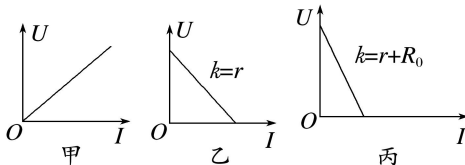


- A.  $\frac{U_1}{I}$  不变,  $\frac{\Delta U_1}{\Delta I}$  不变      B.  $\frac{U_2}{I}$  变大,  $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}$  变大  
C.  $\frac{U_2}{I}$  变大,  $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}$  不变      D.  $\frac{U_3}{I}$  不变,  $\frac{\Delta U_3}{\Delta I}$  不变

### ■ 总结提升 ■

#### 通过 $U-I$ 图像辨析动态电路 $\frac{U}{I}$ 和 $\frac{\Delta U}{\Delta I}$

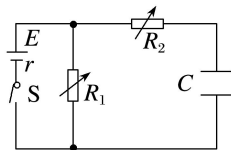
对于  $U-I$  图线,  $\frac{U}{I}$  为图像上任意一点的纵坐标和横坐标的比值,  $\frac{\Delta U}{\Delta I}$  为直线的斜率。



- 如图甲所示, 对于定值电阻  $R_0$ ,  $U=IR_0$ ,  $U-I$  图线为过原点的直线,  $\frac{U}{I} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = R_0$
- 如图乙所示, 电源的  $U-I$  图线为倾斜的直线,  $U=E-Ir$ ,  $\frac{U}{I} = R_{外}$ ,  $|\frac{\Delta U}{\Delta I}| = r$
- 如图丙所示, 可变电阻  $R$  的  $U-I$  图线为倾斜的直线,  $U=E-I(r+R_0)$ ,  $\frac{U}{I} = R$ ,  $|\frac{\Delta U}{\Delta I}| = r+R_0$

## 二、含电容器的电路

如图所示, 电路中  $R_1$ 、 $R_2$  均为可变电阻, 电源电动势为  $E$ , 内阻为  $r$ , 平行板电容器电容为  $C$ , 两极板水平放置。

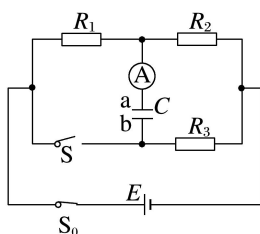


- 当开关闭合时, 有电流通过  $R_1$  或  $R_2$  吗? 若有, 电流方向如何?
- 电路达到稳定后, 有电流通过  $R_1$  或  $R_2$  吗? 此时电容器两端的电压为多少? 带电荷量为多少?
- 电路稳定后逐渐减小  $R_1$ , 在此过程中, 有电流通过  $R_2$  吗? 若有, 电流方向如何?
- 电路稳定后再逐渐减小  $R_2$ , 在此过程中, 有电流通过  $R_2$  吗? 若有, 电流方向如何?

### 「提炼·总结」

- 1.在直流电路中,当电容器充、放电时,电路中有充、放电电流。如果电容器两端电压升高,电容器将充电;如果电容器两端电压降低,电容器将通过与它连接的电路放电。充电时电容器相当于用电器,电流从正极进,放电时电容器相当于电源,电流从正极出。
- 2.电路稳定后,与电容器串联的支路可看成是断路,由于电容器所在支路无电流通过,所以在此支路中的电阻两端电压为零,因此电容器两极板间的电压就等于该支路两端的电压。

**【例 2】** 如图所示,电源电动势  $E=6\text{ V}$ , 内阻不计,电阻  $R_1=2\ \Omega$ ,  $R_2=4\ \Omega$ ,  $R_3=6\ \Omega$ , 电容器电容  $C=4\ \mu\text{F}$ , 下列说法正确的是( )



- A.S 断开时电容器的电压为  $2\text{ V}$
- B.S 断开时电容器 a 极板带负电
- C.S 闭合, 电路稳定后, 电容器 b 极板带负电
- D.S 闭合, 电路稳定后, 电容器所带电荷量为  $8\times 10^{-6}\text{ C}$

### ■ 总结提升 ■

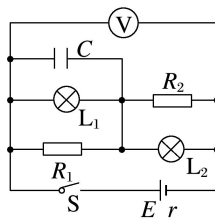
- 1.电容器的充、放电过程结束后,通过对电路的分析与计算得出电容器两极板的电势,电势高的极板带正电。
- 2.如果变化前后极板带电的电性相同,那么通过所连导线的电荷量等于始末状态电容器电荷量之差;如果变化前后极板带电的电性相反,那么通过所连导线的电荷量等于始末状态电容器电荷量之和。

## 三、直流电路的故障分析

- 1.常见故障: 断路、短路。
- 2.常用方法: 假设法

假设某电阻发生断路(或短路),根据闭合电路动态分析方法判断实际现象与题中情景是否相符,进而找出电路故障。

**【例 3】** 如图所示的电路中,闭合开关 S 后,灯  $L_1$  和  $L_2$  都正常发光,后来由于某种故障使灯  $L_2$  突然变亮,理想电压表读数增加,由此推断,这故障可能是( )



- A. 灯  $L_1$  灯丝烧断
- B. 电阻  $R_2$  断路
- C. 电阻  $R_2$  短路
- D. 电容器被击穿短路

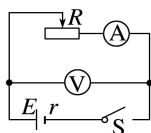


### 3 实验：电池电动势和内阻的测量

#### 第1课时 伏安法测电池电动势和内阻

[学习目标] 1.知道伏安法测电池电动势和内阻的原理，进一步理解路端电压随电流变化的关系(重点)。2.会用图像处理实验数据(重点)。3.尝试进行电池电动势和内阻测量误差分析，了解测量中减小误差的方法(重难点)。

##### 一、实验思路



由  $E = \frac{U}{1 - I_1 r}$  知，改变外电路的阻值可测出多组  $U$ 、 $I$  的值，通过图像可求出  $E$ 、 $r$  的值。

实验电路如图所示。

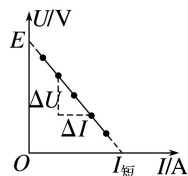
##### 二、物理量的测量

实验中需要测量  $U$  和  $I$  两个物理量。而仅测两组  $U$ 、 $I$  数据，联立方程解得  $E$  和  $r$ ，误差可能较大，只有多次测量，并对数据进行处理，才能减小误差。所以应该使用  $R$  改变外电路电阻，进行多次测量。

##### 三、数据分析

1. 计算法：由  $E = U_1 + I_1 r$ ， $E = U_2 + I_2 r$  可解得  $E = \frac{I_1 U_2 - I_2 U_1}{I_1 - I_2}$ ， $r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}$ 。可以利用  $U$ 、 $I$  的值多求几组  $E$ 、 $r$  的值，算出它们的平均值。

2. 作图法：



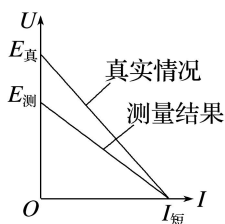
(1)以  $U$  为纵坐标， $I$  为横坐标，建立平面直角坐标系，根据几组  $U$ 、 $I$  的测量数据，在坐标系中描点，作  $U$ - $I$  图像，如图所示。

(2)将图线两侧延长，纵轴截距是断路时的路端电压，这时的电压  $U$  等于  $E$ ；横轴截距是路端电压  $U=0$  时的电流，它的数值就是短路电流  $I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$ 。

(3)图线斜率的绝对值为  $r$ ，即  $r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \frac{E}{I_{\text{短}}}$ 。

##### 3. 误差分析

(1)偶然误差：主要来源于电压表和电流表的读数以及作  $U$ - $I$  图像时描点不准确。

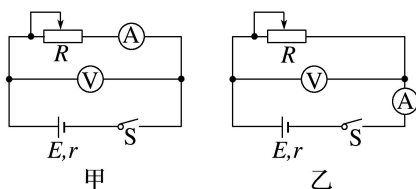


(2)系统误差：主要原因是未考虑电压表的分流作用，使得电流表上读出的数值比实际的总电流(即流过电源的电流)要小一些。 $U$ 越大，电流表的读数与总电流的偏差就越大，将测量结果与真实情况在  $U-I$  坐标系中表示出来，如图所示，可见  $E_{\text{测}} < E_{\text{真}}$ ， $r_{\text{测}} < r_{\text{真}}$ 。

说明：因电压表内阻通常比电池内阻大很多，电压表的分流作用不明显，本方案误差较小。

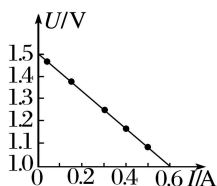
#### 4.电路的选择

伏安法测电动势和内阻还有另外一种接法如图乙所示，此种接法的系统误差来自电流表分压，( $E_{\text{测}} = E_{\text{真}}$ ， $r_{\text{测}} = r_{\text{真}} + R_A$ )由于电流表内阻和干电池电源的内阻接近，误差较大，所以一般选择误差较小的甲电路图。但是若已知  $R_A$ ，乙图的接法可求出  $r_{\text{真}} = r_{\text{测}} - R_A$ ，此时乙图的接法无系统误差，故此种情况应优先选择乙电路图。



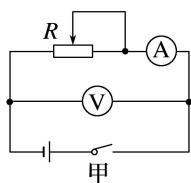
#### 四、注意事项

- 1.为使电池的路端电压有明显变化，应选取内阻较大的旧干电池和内阻\_\_\_\_\_的电压表。
- 2.实验中不能将电流调得过大，且读数要快，读完后立即切断电源，防止干电池因大电流放电时间过长导致内阻  $r$  发生明显变化。
- 3.当干电池的路端电压变化不很明显时，作图像，纵轴起点可不从零开始。如图所示，此时图线与纵轴交点仍为电池的\_\_\_\_\_，但图线与横轴交点不再是短路电流，内阻要在直线上取较远的两点，用  $r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|$  求出。



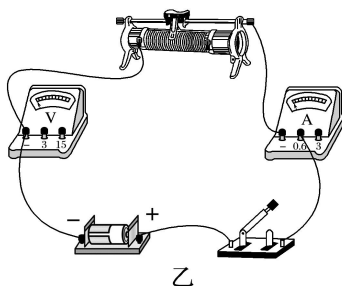
【例 1】(2024·盐城市高二月考)为了测量一节干电池的电动势和内阻，备有下列器材：

- A.待测干电池(电动势约 1.5 V，内阻约 1.0  $\Omega$ )
- B.电压表 V(量程 0~3 V，内阻  $R_V$  约 3 k $\Omega$ )
- C.电流表 A(量程 0~0.6 A，内阻  $R_A$  约 1  $\Omega$ )
- D.滑动变阻器  $R$ (0~20  $\Omega$ ，2 A)
- F.开关和导线若干

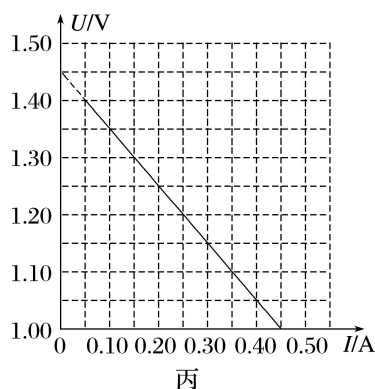


(1)某同学设计了如图甲所示的实验电路图。在闭合开关之前变阻器的滑片应移动到最\_\_\_\_\_(填“左”或“右”)端。

(2)对照实验电路图把实物电路(图乙)补充完整。

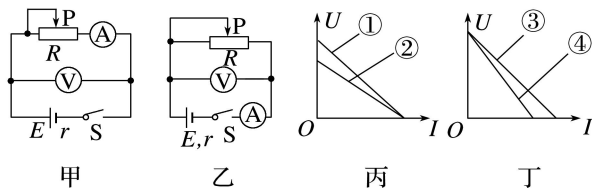


(3)图丙为该同学根据实验测量数据绘出的  $U-I$  图线, 由图线可得待测干电池的电动势  $E=$  \_\_\_\_\_ V, 内阻  $r=$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ (结果均保留 3 位有效数字)。



(4)本实验存在系统误差的原因是由于\_\_\_\_\_作用(填“电流表分压”或“电压表分流”)。

**【例 2】** (2025·黑龙江省龙东十校高二期中联考)如图所示, 图甲和图乙为测电源电动势和内阻的两种电路, 图丙和图丁为误差分析图像, 由于电流表和电压表都不是理想电表, 所以测量结果存在系统误差。



(1)测量电源电动势和内阻, 为了减小系统误差, 应采用\_\_\_\_\_(选填“图甲”或“图乙”)所示电路。

(2)关于图甲和图乙所示的电路, 下列说法正确的是\_\_\_\_\_:

- A.图甲, 原理上电动势和内阻的测量值都偏小
- B.图甲, 产生系统误差的原因是电流表的分压作用
- C.图乙, 原理上电动势和内阻的测量值都偏大

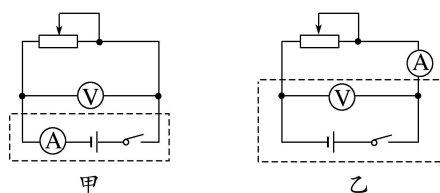
D.图乙,产生系统误差的原因是电流表的分压作用

(3)图丙是用\_\_\_\_\_ (选填“图甲”或“图乙”)电路处理的结果,其中图线\_\_\_\_\_ (填“①”或“②”或“③”或“④”)表示真实图线;

(4)图丁是用\_\_\_\_\_ (选填“图甲”或“图乙”)电路处理的结果,其中图线\_\_\_\_\_ (选填“①”或“②”或“③”或“④”)表示测量图线。综合利用图丙与图丁,可消除因电表不理想而引起的系统误差。

## ■ 总结提升 ■

### 等效电源法分析误差



两个电路误差分析:

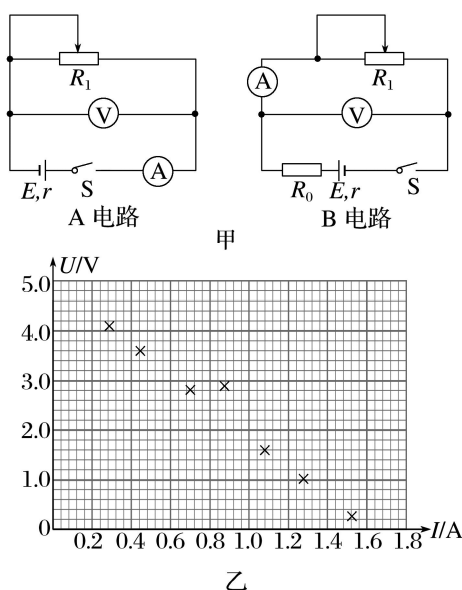
图甲把Ⓐ与电源等效为新的电源

$$r_{\text{测}} = r_{\text{真}} + R_A > r_{\text{真}}, E_{\text{测}} = E_{\text{真}}$$

图乙把Ⓥ与电源等效为新的电源

$$r_{\text{测}} = \frac{R_V r_{\text{真}}}{R_V + r_{\text{真}}} < r_{\text{真}}, E_{\text{测}} < E_{\text{真}}$$

**【例 3】** (2024·深圳市高二期中)某实验小组测量一充电宝的电动势和内阻。从说明书可知该充电宝的电动势约为 5 V,内阻很小,约 0.1~0.3 Ω,最大放电电流为 2 A。



(1)该小组想进一步精确测出该充电宝的电动势和内阻,实验室提供的器材如下:

A.电压表 V(量程为 6 V,内阻约为 5 kΩ)

B.电流表 A(量程为 3 A，内阻约为  $0.6\ \Omega$ )

C.滑动变阻器  $R_1$ (最大阻值为  $60\ \Omega$ )

D.定值电阻  $R_0=3\ \Omega$

E.一个开关及导线若干

该小组设计了两种电路，图甲中\_\_\_\_\_ (填“A 电路”或“B 电路”)更为合理。

(2)该小组通过调节滑动变阻器，测得多组  $I$ 、 $U$  数据，并在坐标纸上描点，如图乙所示，请根据描出的点作出  $U-I$  图像。

(3)根据  $U-I$  图像，可求得该充电宝的电动势为\_\_\_\_\_ V，内阻为\_\_\_\_\_  $\Omega$  (结果均保留两位有效数字)。

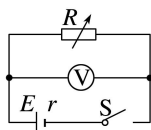
(4)根据误差分析，该充电宝的电动势的测量值比真实值\_\_\_\_\_ (填“偏小”或“偏大”)，内阻的测量值比真实值\_\_\_\_\_ (填“偏小”或“偏大”)。

## 第2课时 伏阻法和安阻法测电池电动势和内阻

**[学习目标]** 1.掌握用伏阻法和安阻法测电池的电动势和内阻的原理(重点)。2.会选用实验器材正确连接电路并进行实验数据处理(重点)。

### 一、伏阻法测电动势和内阻

#### 1.实验思路



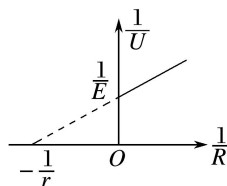
由  $E = \underline{\hspace{2cm}} = U + \frac{U}{R}r$  知, 改变电阻箱阻值, 测出多组  $U$ 、 $R$  值, 通过公式或图像可求出  $E$ 、 $r$ 。实验电路如图所示。

#### 2.实验器材

电池、电压表、          、开关、导线。

#### 3.数据处理

(1)计算法: 由  $\begin{cases} E = U_1 + \underline{\hspace{2cm}} \\ E = U_2 + \underline{\hspace{2cm}} \end{cases}$  解方程组可求得  $E$  和  $r$ 。



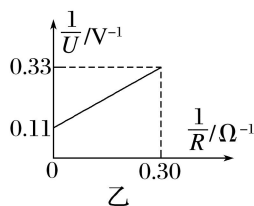
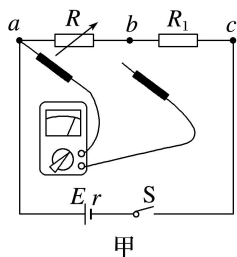
(2)图像法: 由  $E = U + \frac{U}{R}r$  得:  $\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r}{E} \cdot \frac{1}{R}$ 。故  $\frac{1}{U} - \frac{1}{R}$  图像的斜率  $k = \frac{r}{E}$ , 纵轴截距为  $\frac{1}{E}$ , 如图。

由图像的斜率和截距求解。

#### 4.误差分析

电压表的分流造成电动势的测量值偏小, 内阻的测量值偏小。

**【例1】** (2024·龙岩市高二期末)某兴趣小组利用多用电表测量某种电池的电动势  $E$  和内阻  $r$  (约  $2\ \Omega$ ), 其实验电路如图甲所示, 其中  $R$  为电阻箱, 定值电阻  $R_1 = 5\ \Omega$ , 实验步骤如下:



(1)将多用电表的选择开关旋至直流电压挡,将一支表笔接电路中的  $a$  点,闭合开关  $S$ ,另一支表笔接电路中的\_\_\_\_\_ (选填“ $b$ ”或“ $c$ ”)点,调节电阻箱并记下其阻值  $R$  和电压表的示数  $U$ ,接  $a$  点的那支表笔是\_\_\_\_\_ (选填“红”或“黑”)表笔;

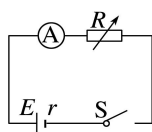
(2)多次改变电阻箱的阻值  $R$ ,记录下对应的电压  $U$ ;

(3)以  $\frac{1}{U}$  为纵轴、 $\frac{1}{R}$  为横轴,根据实验数据作出  $\frac{1}{U}-\frac{1}{R}$  图线如图乙所示;

(4)若不考虑多用电表对电路的影响,结合图乙可知,电池的电动势  $E=_____$  V,内阻  $r=_____$   $\Omega$  (计算结果均保留两位有效数字)。若考虑多用电表内阻的影响,则电源内阻的测量值\_\_\_\_\_ 真实值 (选填“大于”“小于”或“等于”)。

## 二、安阻法测电动势和内阻

### 1.实验思路



如图所示,由  $E=_____$  知,改变电阻箱的阻值,测出多组\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 的值,通过图像就可求出  $E$ 、 $r$  的值。

### 2.实验器材

电池、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、开关、导线。

### 3.数据处理

(1)计算法:由  $\begin{cases} E = I_1 R_1 + I_1 r \\ E = I_2 R_2 + I_2 r \end{cases}$  解方程组求得  $E$ 、 $r$ 。

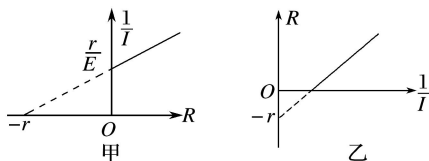
(2)图像法:①由  $E = I(R+r)$  得  $\frac{1}{I} = \frac{R}{E} + \frac{r}{E}$

$\frac{1}{I}-R$  图像的斜率  $k = \frac{1}{E}$ ,纵轴截距为  $\frac{r}{E}$  (如图甲)

②由  $E = I(R+r)$  得  $R = E \cdot \frac{1}{I} - r$

$R-\frac{1}{I}$  图像的斜率  $k = E$ ,纵轴截距为  $-r$  (如图乙)。

由图像的斜率和截距求解。

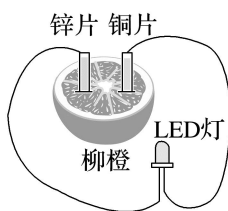


### 4.误差分析

电流表的分压引起系统误差,电动势的测量无偏差,内阻的测量值偏大 ( $r_{\text{测}} = r_{\text{真}} + R_A$ )。

**【例 2】** (2025·黄山市高二期末)将一铜片和一锌片分别插入同一只橙子内,就构成了简单的“水果电池”,其电动势约为 1 V,可是这种电池并不能点亮规格为“1 V 0.3 A”的小灯泡,原因是“水果电

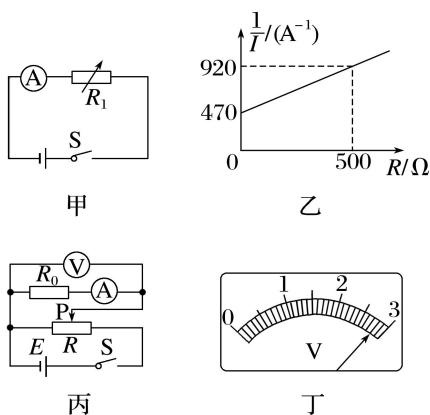
池”的内阻太大，流过小灯泡的电流太小，经测量仅约为  $3\text{ mA}$ 。某实验小组要测量“水果电池”的电动势和内电阻。现有下列器材：



- A.待测“水果电池”
- B.电流表：量程  $0\sim 3\text{ mA}$ ，电阻约  $40\ \Omega$
- C.电压表：量程  $0\sim 3\text{ V}$ ，电阻约  $1\ 000\ \Omega$
- D.定值电阻  $R_0=1\ 000\ \Omega$
- E.电阻箱  $R_1(0\sim 999.9\ \Omega)$
- F.滑动变阻器  $R_2$ (阻值  $0\sim 10\ \Omega$ ，额定电流  $0.5\text{ A}$ )
- G.滑动变阻器  $R_3$ (阻值  $0\sim 200\ \Omega$ ，额定电流  $0.3\text{ A}$ )
- H.电源：电动势  $E=3\text{ V}$ ，内阻不计
- I.开关、导线等实验器材

(1)从测量原理来看，利用图甲所示电路所得的“水果电池”的测量值与真实值相比，电动势  $E_{\text{测}}$  \_\_\_\_\_  $E_{\text{真}}$ ，内电阻  $r_{\text{测}}$  \_\_\_\_\_  $r_{\text{真}}$ (均选填“大于”“等于”或“小于”)。

(2)小组成员利用图甲电路测量“水果电池”的电动势和内电阻，多次改变电阻箱  $R_1$ 的阻值  $R$ ，读出电流表 A 示数  $I$ ，根据测得的数据作出  $\frac{1}{I}$ - $R$  图像，如图乙所示。根据图像可得，“水果电池”的电动势  $E_{\text{测}}=$  \_\_\_\_\_  $\text{V}$ ，内电阻  $r_{\text{测}}=$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ (结果均保留三位有效数字)。

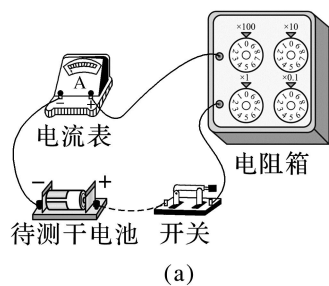


(3)为了测出电流表的内阻  $R_A$ 的阻值，小组成员选用器材 H 作为电源设计了如图丙所示的电路，滑动变阻器选择 \_\_\_\_\_(选填“F”或“G”)，实验过程中，某次测量电流表示数为  $2.70\text{ mA}$  时，电压表示数如图丁所示，由此结合图乙可求得“水果电池”内阻  $r=$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ (结果保留三位有效数字)。

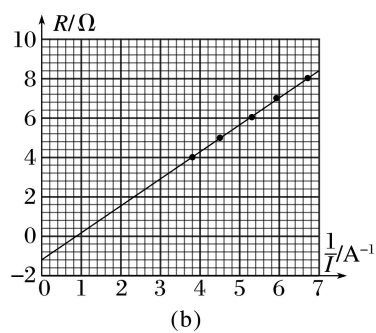
**【例 3】** (2024·广州市高二期末)一同学测量某干电池的电动势和内阻。

(1)如图(a)所示是该同学正准备接入最后一根导线(虚线所示)时的实验电路。请指出图中在器材操作上存在的两个不妥之处：① \_\_\_\_\_；② \_\_\_\_\_。





(2) 实验测出多组电阻箱阻值  $R$  和电流表示数  $I$ ，并计算出  $\frac{1}{I}$  数据，根据数据，在方格纸上作出了  $R-\frac{1}{I}$  关系图像如图(b)。由图像可计算出该干电池的电动势为\_\_\_\_\_ V，内阻为\_\_\_\_\_  $\Omega$  (结果均保留三位有效数字)。



## 4 能源与可持续发展

**[学习目标]** 1.掌握能量守恒定律的内容,知道其重要意义。2.了解什么是能量耗散和能源品质降低,认识自然界中能量转移或转化的方向性(重点)。3.认识当前环境问题,增强环境保护和可持续发展的意识。

### 一、能量守恒定律 能量转移或转化的方向性

#### 1.能量守恒定律

(1)能量既不会凭空产生,也不会凭空消失,它只能从一种形式\_\_\_\_\_为其他形式,或者从一个物体\_到别的物体,在转化或转移的过程中,能量的总量\_\_\_\_\_。

(2)能量守恒定律是贯穿物理学的基本规律,是在各种自然现象中普遍适用的一条规律。

(3)能量守恒定律的表达式

① $E_{初}=E_{末}$ , 初状态各种能量的总和等于\_\_\_\_\_状态各种能量的总和。

② $\Delta E_{增}=\Delta E_{减}$ , 某些能量的增加量等于其他能量的\_\_\_\_\_。

#### 2.能量转移或转化的方向性

(1)一切与热现象有关的宏观自然过程都是\_\_\_\_\_的,即一切与热现象有关的宏观过程具有方向性。

①能量的转移具有\_\_\_\_\_：如热量可以自发地从高温物体传给低温物体,但不能自发地从低温物体传给高温物体。

②能量的转化具有\_\_\_\_\_：如电池中的化学能转化为电能,电能又通过灯泡转化为内能和光能,热和光被其他物质吸收之后变成周围环境的内能,我们很难把这些内能收集起来重新利用。

#### (2)能量耗散

在能量转化过程中,散失到环境中的内能很难收集起来重新利用,这种现象叫能量的耗散。能量的耗散是从能量转化的角度反映出自然界中的宏观过程具有\_\_\_\_\_。

(3)能量的耗散表明,在能源的利用过程中,能量在数量上虽未减少,但在可利用的\_\_\_\_\_降低了,从便于利用的能源变成\_\_\_\_\_的能源。这是能源危机的深层次的含义,也是自然界的能量虽然守恒,但还是要节约能源的根本原因。

### 『思考与讨论』

能量耗散与能量守恒是否矛盾,该怎样理解?

---

---

---

**【例 1】** (多选)下列关于能量转化的说法中,正确的是( )

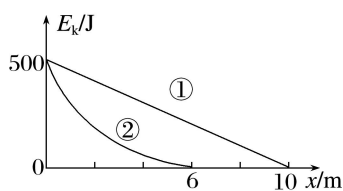
A.能量在转化过程中,有一部分能量转化为周围环境中的内能,我们无法把这些内能收集起来重新利用

B.各种形式的能量在转化时,总能量是不变的

C.在能源的利用过程中,能量的总量并未减少,但在可利用的品质上降低了,从便于利用的变成了不便于利用的

D.各种能量在不转化时是守恒的,但在转化时是不守恒的

**【例 2】** 构建和谐型、节约型社会深得民心,遍布于生活的方方面面,自动充电式电动车就是很好的一例,电动车的前轮装有发电机,发电机与蓄电池连接。当骑车者用力蹬车或电动自行车自动滑行时,电动自行车就可以通过发电机向蓄电池充电,将其他形式的能转化成电能储存起来。某人骑车以  $500\text{ J}$  的初动能在粗糙的水平路面上滑行。第一次关闭自动充电装置,让车自由滑行,其动能随位移变化的关系如图中图线①所示;第二次启动自动充电装置,其动能随位移变化的关系如图中图线②所示,则第二次向蓄电池所充的电能是( )



A.  $200\text{ J}$

B.  $250\text{ J}$

C.  $300\text{ J}$

D.  $500\text{ J}$

**【例 3】** (多选)把刚煮好的热鸡蛋放在冷水中,过一会,鸡蛋的温度降低,水的温度升高,最后水和鸡蛋的温度相同。但是相反的过程,即原来温度相同的水和鸡蛋,过一会儿水的温度自发地降低,而鸡蛋的温度上升,这样的现象我们从来没看到过。燃料燃烧时一旦把热量释放出去,就不会再次自动聚集起来供人类重新利用。电池中的化学能转化为电能,电能又通过灯泡转化为内能和光能,热和光被其他物质吸收之后变成周围环境的内能,我们很难把这些内能收集起来重新利用。这些现象说明( )

A.在能源的利用过程中,能量会减少,能量守恒定律不成立

B.我们在利用能源时,能量会耗散,自然界可利用的能源会越来越少

C.与热现象有关的宏观过程都是不可逆的,能量转化具有方向性

D.自然界中发生的能量转化都是不可逆的,各种能量最终都会转化为内能

## 二、能源的分类与应用 能源与社会发展

### 1.能源的分类

(1)不可再生能源:像煤炭、石油和天然气这类无法在短时间内再生的\_\_\_\_\_能源。

(2)可再生能源:像水能、风能这类在自然界可以\_\_\_\_\_的能源。

### 2.能源的开发与应用

近年来,我国在能源开发方面取得了很大成就,如太阳能发电、水力发电、风能发电、\_\_\_\_\_发电等。

### 3.能源与社会发展

(1)能源利用的三个时期:柴薪时期、\_\_\_\_\_时期、\_\_\_\_\_时期。

(2)能源是人类社会活动的\_\_\_\_\_。

### 4.煤炭和石油的燃烧对环境的危害

(1)燃烧时增加了大气中\_\_\_\_\_的含量，加剧了温室效应。

(2)因为煤炭和石油中常常含有硫，燃烧时形成的二氧化硫等物质使雨水的酸度升高，形成“\_\_\_\_\_”。

(3)内燃机工作时的高温使空气和燃料中的多种物质发生化学反应，产生氮的氧化物和碳氢化合物。这些化合物在大气中受到紫外线的照射，产生二次污染物质——\_\_\_\_\_。

## 5.能源的开发与环境的关系

(1)人类的生存与发展需要\_\_\_\_\_，能源的开发与使用又会对环境\_\_\_\_\_。

(2)一方面要大力提倡\_\_\_\_\_，另一方面要发展\_\_\_\_\_能源以及天然气、清洁煤和核能等在生产及消费过程中对生态环境的污染程度低的\_\_\_\_\_能源。

**【例 4】** (2025·江苏省扬州中学高二月考)下列关于能源的说法中，正确的是( )

A.煤、石油、天然气等燃料的最初来源可追溯到太阳能

B.由于能量不会凭空消失，也不会凭空产生，总是守恒的，所以节约能源的意义不大

C.节约能源只要提高节能意识就行，与科技进步无关

D.水能是不可再生能源

**【例 5】** (多选)(2024·杭州市四校联考)某地区常年有风，风速基本保持在  $4\text{ m/s}$ ，有一风力发电机，其叶片转动可形成半径为  $10\text{ m}$  的圆面，若保持风垂直吹向叶片，空气密度为  $1.3\text{ kg/m}^3$ ，风的动能转化为电能的效率为  $20\%$ 。为了合理利用能源，小刘同学设想建一抽水蓄能电站，抽水蓄能电站在用电低谷时利用风力发出的电将水抽到高处，在用电高峰时再利用水能发电，若平均用  $4$  度谷电能换  $3$  度峰电。(已知每天  $8:00\sim 22:00$  为用电高峰，其余时间为用电低谷，峰电价格  $0.50$  元，谷电价格  $0.30$  元)，下列说法正确的是( )

A.抽水蓄能电站平均用  $4$  度谷电能换  $3$  度峰电，该过程能量是守恒的

B.风力发电机把风能转化为电能，能量在可利用的品质上发生了变化，而抽水蓄能电站实现电能转化为水的势能储存，需要时再转化为电能，能量在可利用的品质上是不变的

C.若采用小刘同学的方案，一台风力发电机发出的电每年多产生的经济效益约为  $1\,700$  元

D.风力发电机的发电功率约为  $2.6\times 10^3\text{ W}$

# 章末素养提升

## 素养再现

|                 |                                                                                                                                                        |                                                                                                          |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物理<br>观念        | 电路<br>中的<br>能量<br>转化                                                                                                                                   | 1.电功: $W=$ _____<br>2.电功率: $P=\frac{W}{t}=$ _____<br>3.焦耳定律: $Q=$ _____<br>4.热功率: $P_{\text{热}}=I^2R$    |
|                 | 闭合<br>电路<br>的欧<br>姆定<br>律                                                                                                                              | 1.内容: 闭合电路的电流跟电源的____成正比, 跟____成反比<br>2.表达式: $I=$ _____<br>3.另一种表达形式: $E=$ _____. 即: 电源的电动势等于内、外电路____之和 |
| 科学<br>思维        | 1.通过学习“电动势”经历从感性到理性, 从个别到一般, 从现象到本质的渐进过程。通过闭合电路中的动态分析、最大功率、效率等问题, 体会闭合电路中电动势对整个电路的“制约关系”, 学会用数学方法分析电路中极值问题<br>2.对于电动机相关问题, 不能直接求解时, 可以通过整体和个别的关系间接建立联系 |                                                                                                          |
| 科学<br>探究        | 1.会根据闭合电路的欧姆定律设计测量电池电动势和内阻的实验方案<br>2.会根据要求选择合适的电压表、电流表、滑动变阻器或电阻箱<br>3.会设计相关表格并记录实验数据, 会利用表达式和图像处理数据并得出结果, 能对实验过程和结果进行评估、交流                             |                                                                                                          |
| 科学<br>态度<br>与责任 | 1.认识目前面临的能源与环境问题, 理解开发利用清洁能源的价值<br>2.增强对汽车能源消耗、环境污染和未来汽车发展方向的认识<br>3.在理解科学、技术、社会与环境关系的基础上, 形成应有的科学态度和社会责任感                                             |                                                                                                          |

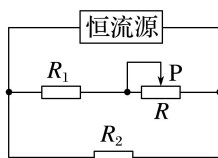
## 提能训练

**【例 1】** 如图所示的某种体温枪以 2 节干电池为电源, 工作电流为 5 mA。能通过传感器检测人体向外辐射的红外线, 根据红外线能量的强弱快速、准确且无接触的测量体温, 那么关于该体温枪的说法中正确的是( )



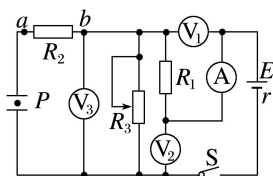
- A. 体温枪工作时，电路中每通过  $1\text{ C}$  电荷，每节电池都能把  $1.5\text{ J}$  化学能转化为电能
- B. 体温枪工作时，电池组两极间的电压为  $3\text{ V}$
- C. 体温枪工作时，电源的输出功率为  $15\text{ mW}$
- D. 体温枪工作时，电池组的电动势不再是  $3\text{ V}$

【例 2】(2024·北海市高二期末)“恒流源”是一种特殊的电源，电源输出的电流始终保持不变。如图所示的电路的电源是恒流源， $R_1$ 、 $R_2$  是定值电阻，当滑动变阻器  $R$  的滑片  $P$  由左向右移动，下列说法正确的是( )



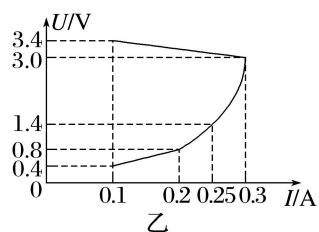
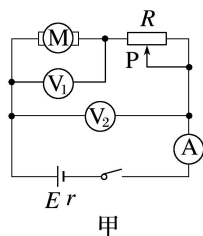
- A. 流过  $R_2$  的电流与流过  $R_1$  的电流之差保持不变
- B.  $R_2$  两端的电压减小
- C. 流过  $R_1$  的电流减小
- D. 滑动变阻器两端的电压增大

【例 3】(多选)(2025·枣庄市高二月考)在如图所示的电路中，电源电动势  $E$ 、内阻  $r$  恒定， $R_1$ 、 $R_2$  是定值电阻。闭合开关  $S$ ，平行板电容器两板间有一带电液滴刚好处于静止状态。将滑动变阻器  $R_3$  的滑片向上滑动一段长度，理想电压表  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  的示数变化量的绝对值为  $\Delta U_1$ 、 $\Delta U_2$ 、 $\Delta U_3$ ，电流表  $A$  是理想电流表。下列说法正确的是( )



- A. 电流表  $A$  示数变小，电压表  $V_2$  的示数变大
- B.  $\Delta U_3 = \Delta U_1 + \Delta U_2$
- C.  $R_3$  的滑片向上滑动过程中，定值电阻  $R_2$  中有从  $b$  流向  $a$  的瞬间电流，带电液滴将向上运动
- D. 电源效率减小

【例 4】(多选)(2024·南充市高二期末)如图甲所示，当滑动变阻器  $R$  的滑片  $P$  从一端滑到另一端的过程中，两个电压表的示数随电流表示数的变化情况如图乙所示。已知电流表示数小于或等于  $0.2\text{ A}$  时，电动机不发生转动，各电表均视为理想电表，不考虑电动机线圈电阻随温度的变化，则( )



- A. 电源的输出功率最大为 1.02 W
- B. 电源的效率最高约为 94.4%
- C. 电动机的输出功率最大为 0.72 W
- D. 当滑动变阻器接入电路的阻值为 6.8  $\Omega$  时，电动机消耗的电功率为 0.35 W

### ■ 总结提升 ■

#### 分析闭合电路图像问题的思路

1. 明确纵、横轴的物理意义；
2. 明确图像的截距、斜率及交点的意义；
3. 找出图像对应状态的参量或关系式；
4. 结合相关概念或规律进行分析、计算；
5. 具体求解时，要注意两坐标轴的坐标原点是否为 0。

# 第十三章 电磁感应与电磁波初步

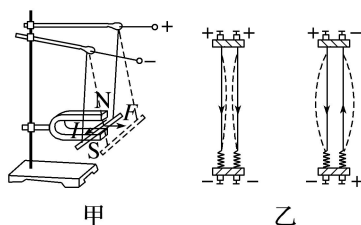


## 1 磁场 磁感线

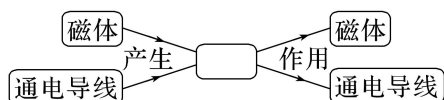
[学习目标] 1.知道磁场的概念，知道磁体与磁体间、磁体与通电导体间、通电导体与通电导体间的作用是通过磁场发生的。2.理解磁感线的概念，知道磁感线的特点(重难点)。3.理解安培定则，会用安培定则判断电流的磁场方向(重难点)。

### 一、电和磁的联系 磁场

如图甲所示，通电导线放在蹄形磁体附近，悬挂导线的细线偏离竖直方向，说明通电导线受到力的作用；如图乙所示，两条通电导线之间也有作用力。



根据实验，在下图中空白方框内填入恰当的内容。



### 「梳理与总结」

#### 1.电和磁的联系

(1)自然界中的磁体总存在着两个磁极，自然界中同样存在着两种电荷。同名磁极或同种电荷相互\_\_\_\_\_，异名磁极或异种电荷相互\_\_\_\_\_。

#### (2)奥斯特实验

实验现象：把导线放置在小磁针的\_\_\_\_\_，当给导线通电时，与导线平行放置的小磁针发生转动。

注意事项：导线应沿南北方向水平放置

结论：通电导线对小磁针有力的作用，说明电流具有\_\_\_\_\_效应。奥斯特首次揭示了\_\_\_\_\_的联系。

#### 2.磁场



(1)磁体与磁体之间、磁体与通电导体之间，以及通电导体与通电导体之间的相互作用都是通过\_\_\_\_\_发生的。

(2)基本性质：磁场对磁体或\_\_\_\_\_有力的作用。

(3)磁场尽管看不见、摸不着，但它与电场类似，都是不依赖于我们的感觉而\_\_\_\_\_的物质。

### 『易错辨析』

(1)磁场和电场一样，是客观存在的特殊物质。( )

(2)磁场只有在磁体与磁体、磁体与电流发生作用时才产生。( )

(3)电流与电流之间是通过电场发生作用的。( )

(4)磁体的磁场和电流的磁场本质上是一样的。( )

## 二、磁感线和地磁场

1.磁场的方向：物理学规定，在磁场中的某一点，小磁针静止时\_\_\_\_\_就是该点磁场的方向。

2.磁感线：在磁场中画出一些有方向的曲线，曲线上每一点的\_\_\_\_\_都跟这点磁场的方向一致，这样的曲线就叫作磁感线。

3.磁感线的特点

(1)磁感线是假想出来的有方向的曲线，实际并不存在。

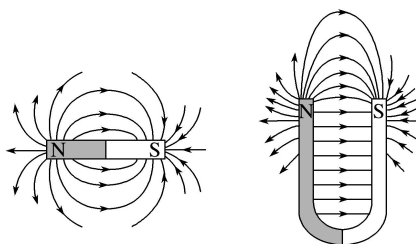
(2)磁感线的\_\_\_\_\_反映磁场的强弱，磁感线越密，表示磁场越强，磁感线越疏，表示磁场越弱。

(3)磁感线不相交，不相切，也不中断。

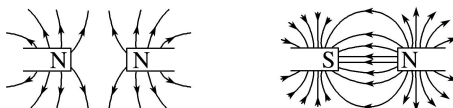
(4)磁感线是闭合曲线，在磁体外部由 N 极指向 S 极，在磁体内部由 S 极指向 N 极。

4.磁体的磁感线

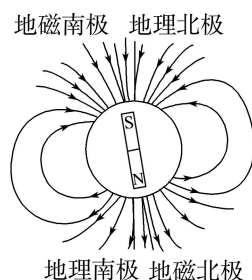
(1)条形磁体和蹄形磁体的磁感线



(2)同名磁极和异名磁极的磁感线



5.地磁场



(1)地球是一个巨大的磁体，地球周围空间存在的磁场叫地磁场。

(2)地磁场的三大特点

①地磁场的 N 极在地球的地理南极附近，S 极在地球的地理北极附近。地球的地理两极与地磁两极并不重合，因此，磁针并非准确地指南、北，其间有一个夹角，这就是地磁偏角。

②南半球地面某点地磁场的方向斜向上，在北半球地面某点地磁场的方向斜向下，水平分量由南到北。

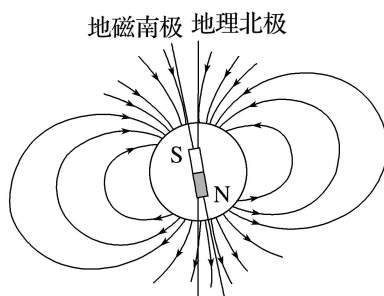
③在赤道地面上，磁场方向与地面平行，方向由南向北。

### 「易错辨析」

(1)磁感线从磁体的 N 极出发到磁体的 S 极终止。( )

(2)磁感线可以用细铁屑来显示，因而是真实存在的。( )

【例 1】 (2024·中山市高二月考)2023 年 12 月 1 日，黑龙江大兴安岭地区漠河、塔河等地出现了极光，极光本质上是由太阳发射的高速带电粒子流受地磁场的影响，进入地球两极附近时，撞击并激发高空中的空气分子和原子引起的。关于地磁场，下列说法正确的是( )



A.在广东省中山市，自由悬挂的小磁针 N 极会指向南方

B.在地球内部，磁场方向大致由地理北极指向地理南极

C.地球内部不存在磁场

D.地球附近磁感线非常密集，导致部分磁感线可能相交

### 三、安培定则

#### 1.直线电流的磁场

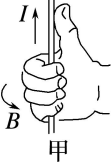
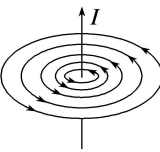
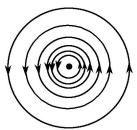
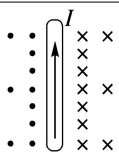
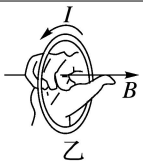
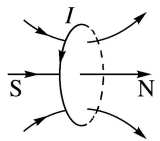
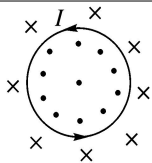
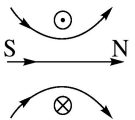
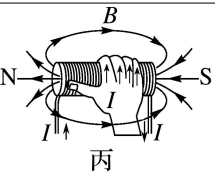
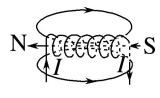
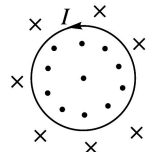
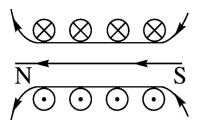
安培定则：如表格中甲图所示，用\_\_\_\_\_握住导线，让伸直的拇指所指的方向与电流方向一致，\_\_\_\_\_所指的方向就是磁感线环绕的方向。

#### 2.环形电流的磁场

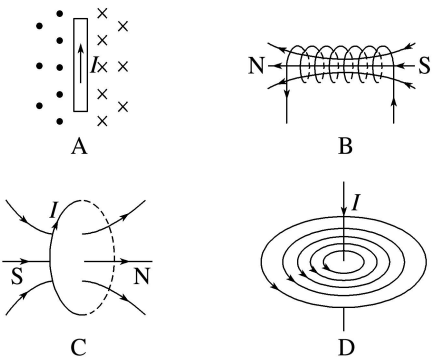
安培定则：如表格中乙图所示，让\_\_\_\_\_弯曲的四指与环形电流的方向一致，\_\_\_\_\_所指的方向就是环形导线轴线上磁场的方向。

### 3.通电螺线管的磁场

安培定则：如表格中丙图所示，用\_\_\_\_\_握住螺线管，让\_\_\_\_\_与螺线管电流的方向一致，伸直的拇指所指的方向就是螺线管轴线上磁场的方向。

|       | 安培定则                                                                                | 立体图                                                                                 | 横截面图                                                                                 | 纵截面图                                                                                  |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 直线电流  |    |    |     |    |
|       | 以导线上任意点为圆心的多组同心圆，越向外越稀疏，磁场越弱                                                        |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
| 环形电流  |    |    |    |    |
|       | 环内磁场比环外强，磁感线越向外越稀疏                                                                  |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
| 通电螺线管 |  |  |  |  |
|       | 内部磁场为匀强磁场且比外部强，方向由 S 极指向 N 极，外部磁场类似条形磁体的磁场，方向由 N 极指向 S 极                            |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |

**【例 2】** (2024·邵东市第四中学高二期中)电流的磁效应揭示了电与磁的关系。下面四幅图中描述磁场方向与电流方向之间的关系，其中磁感线分布正确的是(     )



## 四、安培分子电流假说

### 1.分子电流假说

安培认为，在物质内部，存在着一种环形电流——\_\_\_\_\_。分子电流使每个物质微粒都成为微小的\_\_\_\_\_，它的两侧相当于两个\_\_\_\_\_。

## 2.对磁现象的解释

当铁棒中各分子电流的取向\_\_\_\_\_时，铁棒对外显磁性；当铁棒中分子电流的取向变得\_\_\_\_\_时，铁棒对外不显磁性。

### 「易错辨析」

(1)安培提出“分子电流”假说，认为永磁体的磁场和通电导线的磁场均由运动的电荷产生。( )

(2)根据“分子电流”假说，磁体受到强烈震动时磁性不会减弱。( )

(3)根据“分子电流”假说，磁体在高温条件下磁性会减弱。( )

【例 3】(多选)(2024·泉州市高二期中)根据“分子电流”假说，下列说法中正确的是( )

A.磁体内存在分子电流，非磁体内不存在分子电流

B.不管磁体、非磁体，其内部均存在分子电流

C.没有磁性的物体内部分子电流的取向杂乱无章，分子电流形成的磁性彼此抵消，总体对外不显磁性

D.原来没有磁性的铁钉或铁块被磁化后，内部分子电流的取向变得大致相同，且不易再被打乱

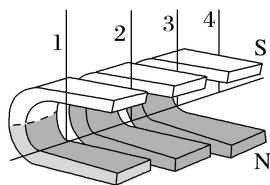
## 2 磁感应强度 磁通量

[学习目标] 1.理解磁感应强度的概念，会利用磁感应强度的定义式进行相关计算(重点)。2.知道什么是匀强磁场以及匀强磁场的特点。3.学会根据平行四边形定则处理磁场叠加的问题(重难点)。4.理解磁通量的概念，会计算磁通量的大小(难点)。

### 一、磁感应强度 匀强磁场

1.电场强度  $E$  的大小是通过试探电荷受力定义的， $E=\frac{F}{q}$ 。能否用类似的方法，测量 N 极受力的大小来确定磁感应强度的大小？

2. 在利用如图所示装置进行“探究影响通电导线受力的因素”的实验时，我们更换磁性强弱不同的磁体，按实验步骤完成以下实验探究：



保持  $I$  与  $l$  不变，按磁性从弱到强更换磁体，观察悬线摆动的角度变化，发现磁体磁性越强，悬线摆动的角度越大，表示通电导线受的力越\_\_\_\_\_，力  $F$  与  $Il$  的比值越\_\_\_\_\_，即  $B=\frac{F}{Il}$  越\_\_\_\_\_，这表示  $B$  能反映磁场的\_\_\_\_\_。

### 「梳理与总结」

#### 1.磁感应强度

(1)电流元：在物理学中，把很短一段通电导线中的\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_的乘积\_\_\_\_\_叫作电流元。(理想化的物理模型)

(2)定义：在磁场中\_\_\_\_\_磁场方向的通电导线，所受的力  $F$  跟电流  $I$  和长度  $l$  的乘积  $Il$  的比值叫磁感应强度。

(3)定义式： $B=$ \_\_\_\_\_。

(4)磁感应强度在国际单位制中的单位是\_\_\_\_\_，简称特，符号为\_\_\_\_\_。

$1\text{ T}=1\text{ N}/(\text{A}\cdot\text{m})$ 。

(5)磁感应强度是矢量，既有大小又有方向。方向就是该处小磁针静止时 N 极所指的方向，叠加遵循\_\_\_\_\_。

#### 2.匀强磁场

(1)定义：如果磁场中各点的磁感应强度的\_\_\_\_\_，这个磁场叫作匀强磁场。

(2)产生方法:

①距离很近的两个平行异名磁极之间的磁场(边缘部分除外)。

②通电螺线管内部的磁场(边缘部分除外)。

③相隔一定距离的两个平行放置的线圈通电时, 其中间区域的磁场。

(3)匀强磁场的磁感线: 一些间隔\_\_\_\_\_的\_\_\_\_\_直线, 如图所示。



【例 1】(2024·漳州市高二期末)下列有关磁感应强度的说法正确的是( )

A.磁感线分布越密的地方, 磁感应强度越小

B.由  $B = \frac{F}{Il}$  可知,  $B$  与  $F$  成正比, 与  $Il$  成反比

C.磁场中某点磁感应强度与是否放入通电导线无关

D.若一小段通电导线在某处所受磁场力为零, 则该处的磁感应强度一定为零

#### ■ 总结提升 ■

1.在定义式  $B = \frac{F}{Il}$  中, 通电导线必须垂直于磁场方向放置。因为磁场中某点通电导线受力的大小, 除和磁场强弱有关以外, 还和导线的方向有关, 导线放入磁场中的方向不同, 所受磁场力一般不相同。

2. $B$  的大小与  $F$ 、 $I$ 、 $l$  无关。通电导线受力为零的地方, 磁感应强度  $B$  的大小不一定为零, 可能是由于电流方向与  $B$  的方向在一条直线上。

【例 2】(多选)(2024·北京师范大学附属中学月考)物理关系式不仅反映了物理量之间的关系, 也确定了单位间的关系。与磁感应强度的国际单位等效的有( )

A.  $\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{C} \cdot \text{m}}$

B.  $\frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$

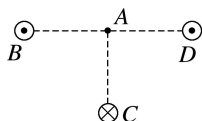
C.  $\frac{\text{N}}{\text{C}}$

D.  $\frac{\text{C}}{\text{V}}$

## 二、磁感应强度矢量的叠加

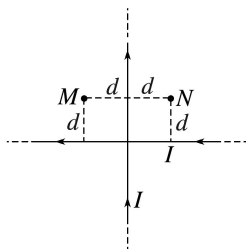
如果空间有两个磁体, 它们产生的磁场的磁感应强度分别为  $B_1$ 、 $B_2$ , 那么该空间的合磁感应强度为  $B_1 + B_2$  吗?

【例 3】(2024·咸阳市高二期末)如图是三根平行直导线的截面图, 若它们的电流大小都相同,  $B$ 、 $D$  中电流垂直纸面向外,  $C$  中电流垂直纸面向里。如果  $AB = AC = AD$ , 则  $A$  点的磁感应强度的方向( )



- A.由  $A$  指向  $B$       B.垂直纸面向外  
C.由  $A$  指向  $D$       D.垂直纸面向里

**【例 4】** (2024·安顺市高二期末)两条互相绝缘且足够长的直导线垂直放置在纸面内, 通有相等的电流  $I$ , 方向如图所示。若每根直导线通过电流  $I$  时, 所产生的磁场在距离导线  $d$  处的磁感应强度大小为  $B$ , 则对图中纸面内与两导线距离均为  $d$  的  $M$ 、 $N$  两点的磁感应强度表述正确的是( )



- A. $M$  处磁感应强度为  $2B$ , 方向垂直纸面向里  
B. $M$  处磁感应强度为  $2B$ , 方向垂直纸面向外  
C. $N$  处磁感应强度为  $2B$ , 方向垂直纸面向外  
D. $N$  处磁感应强度为  $2B$ , 方向垂直纸面向里

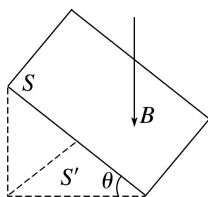
### ■ 总结提升 ■

#### 电流产生的磁场叠加问题的解题思路

- (1)应用安培定则判断各电流在某点分别产生的磁感应强度的方向(过该点磁感线的切线方向, 即与点和导线的连线垂直)。
- (2)根据平行四边形定则, 利用合成法或正交分解法进行合成, 求得合磁感应强度。

### 三、磁通量

- 1.定义: 匀强磁场中\_\_\_\_\_和与磁场方向\_\_\_\_\_的平面面积  $S$  的乘积。即  $\Phi=BS$ 。
- 2.拓展: 磁感应强度  $B$  与平面不垂直时, 这个面在垂直于磁场方向的\_\_\_\_\_与磁感应强度  $B$  的乘积表示磁通量。  $\Phi=BS'=BScos\theta$ , 如图所示。



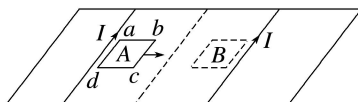
- 3.单位: 国际单位是\_\_\_\_\_, 简称韦, 符号是  $Wb$ ,  $1\ Wb=$ \_\_\_\_\_。
- 4.引申:  $B=\frac{\Phi}{S}$ , 表示磁感应强度的大小等于穿过垂直磁场方向的单位面积的磁通量。
- 5.磁通量的正、负

- (1)磁通量是标量, 但有正、负。当磁感线从某一面穿入时, 磁通量为正值, 则磁感线从此面穿出时磁通量为负值。

(2)若沿相反方向的磁感线穿过同一平面，且正向磁通量为 $\Phi$ ，反向磁通量为 $\Phi'$ ，则穿过该平面的磁通量 $\Phi_{\text{总}}=\Phi-|\Phi'|$ 。

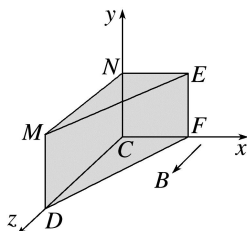
(3)形象的说，磁通量大小等于磁感线相抵消之后剩余的磁感线的条数，即净条数。

**【例 5】** (2024·泰州市高二期末)如图所示，两根足够长直导线通以相同的电流后平行放置于水平桌面上且关于虚线对称，一矩形线圈  $abcd$  从  $A$  位置运动到关于虚线对称的  $B$  位置过程中，下列说法正确的是 ( )



- A.在  $B$  位置穿过线圈的磁感线方向垂直水平桌面向下
- B.在  $A$  位置穿过线圈的磁感线方向垂直水平桌面向上
- C.从  $A$  到  $B$  穿过线圈的磁通量一直减小
- D.从  $A$  到  $B$  穿过线圈的磁通量先减小后增大

**【例 6】** (来自教材改编)(2024·哈尔滨市高二期中)如图，匀强磁场的磁感应强度  $B$  为  $0.2\text{ T}$ ，方向沿  $z$  轴的正方向，且线段  $MN$ 、 $DC$  相等，长度为  $0.4\text{ m}$ ，线段  $NC$ 、 $EF$ 、 $MD$ 、 $NE$ 、 $CF$  相等，长度为  $0.3\text{ m}$ ，通过面积  $S_{MNCD}$ 、 $S_{NEFC}$ 、 $S_{MEFD}$  的磁通量分别为  $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$ 、 $\Phi_3$ ，下列说法正确的是( )



- A.  $\Phi_1=0.024\text{ Wb}$
- B.  $\Phi_2=0.018\text{ Wb}$
- C.  $\Phi_3=0.03\text{ Wb}$
- D.  $\Phi_3=0$



### 3 电磁感应现象及应用

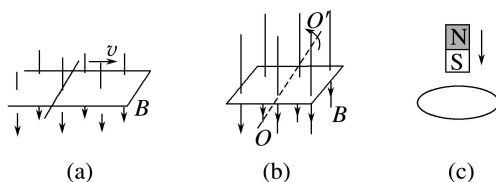
[学习目标] 1.知道什么是电磁感应现象。2.通过实验探究感应电流产生的条件(重难点)。3.了解电磁感应现象的应用。

#### 一、划时代的发现

- 1.奥斯特发现了电流的磁效应，证实电现象与\_\_\_\_\_是有联系的。
- 2.1831年，法拉第把两个线圈绕在一个铁环上，一个线圈接电源，另一个线圈接“电流表”。当给一个线圈通电或断电的瞬间，在另一个线圈上出现了电流，从而发现了“\_\_\_\_\_”现象，他认为“磁生电”是一种在变化、运动的过程中才能出现的效应。
- 3.法拉第把这些“磁生电”现象定名为\_\_\_\_\_，这些现象中产生的电流叫作\_\_\_\_\_。

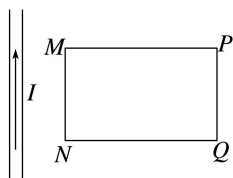
#### 二、磁通量变化的几种情况

- 1.磁通量的变化量 $\Delta\Phi=\Phi_2-\Phi_1$ ，磁感应强度 $B$ 不变，闭合回路的有效面积 $S$ 发生变化。如图(a)、(b)所示， $\Delta\Phi=B(S_2-S_1)=B\Delta S$ 。



- 2.闭合回路的面积 $S$ 不变，磁感应强度 $B$ 发生变化。如图(c)所示， $\Delta\Phi=(B_2-B_1)S=\Delta B\cdot S$ 。
- 3.磁感应强度 $B$ 和闭合回路的面积 $S$ 都发生变化， $\Delta\Phi=B_2S_2-B_1S_1$ 。

**【例 1】** (2025·安顺市高二期末)如图所示，矩形导线框  $MNQP$  位于竖直放置的通电长直导线附近，导线框和长直导线在同一竖直平面内，线框的  $MN$  和  $PQ$  两边与长直导线平行。下列操作导线框中有感应电流的是( )

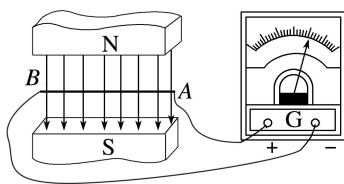


- A.导线框竖直下落
- B.导线框竖直向上平移
- C.导线框水平向左平移
- D.导线框以长直导线为轴转动

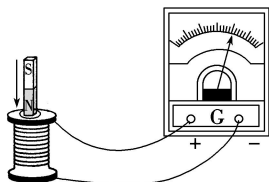
#### 三、产生感应电流的条件 电磁感应现象的应用

- 1.实验：探究感应电流产生的条件

(1)实验一：如图甲所示，导体棒  $AB$  做切割磁感线运动时，线路中\_\_\_\_\_电流产生，而导体棒  $AB$  顺着磁感线运动时，线路中\_\_\_\_\_电流产生。(均选填“有”或“无”)



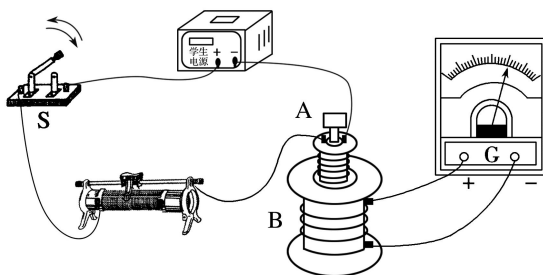
甲



乙

(2)实验二：如图乙所示，当条形磁体插入或拔出线圈时，线圈中\_\_\_\_\_电流产生，但条形磁体在线圈中静止不动时，线圈中\_\_\_\_\_电流产生。(均选填“有”或“无”)

(3)实验三：如图丙所示，将小线圈  $A$  插入大线圈  $B$  中不动，当开关  $S$  闭合或断开时，电流表中\_\_\_\_\_电流通过；若开关  $S$  一直闭合，当改变滑动变阻器的阻值时，电流表中\_\_\_\_\_电流通过；而开关  $S$  一直闭合，滑动变阻器的滑片不动时，电流表中\_\_\_\_\_电流通过。(均选填“有”或“无”)



丙

(4)归纳总结：

实验一中：导体棒做切割磁感线运动，回路的有效面积发生变化，从而引起了磁通量的变化，产生了感应电流。

实验二中：磁体插入或拔出线圈时，线圈中的磁场发生变化，从而引起了磁通量的变化，产生了感应电流。

实验三中：开关闭合、断开或滑动变阻器的滑片移动时，小线圈  $A$  中电流变化，从而引起穿过大线圈  $B$  的磁通量变化，产生了感应电流。

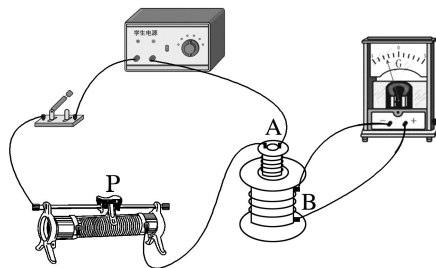
三个实验共同特点是：产生感应电流时闭合回路的磁通量都发生了变化。

2.产生感应电流的条件：当穿过闭合导体回路的\_\_\_\_\_时，闭合导体回路中就产生感应电流。

3.电磁感应现象的应用

生产、生活中广泛使用的变压器、\_\_\_\_\_等都是根据电磁感应制造的。

**【例 2】** (2024·临沂市高二期中)如图所示, 线圈 A 通过滑动变阻器和开关连接到电源上, 线圈 B 的两端连接到电流计上, 把线圈 A 装在线圈 B 的里面, 下列说法正确的是( )



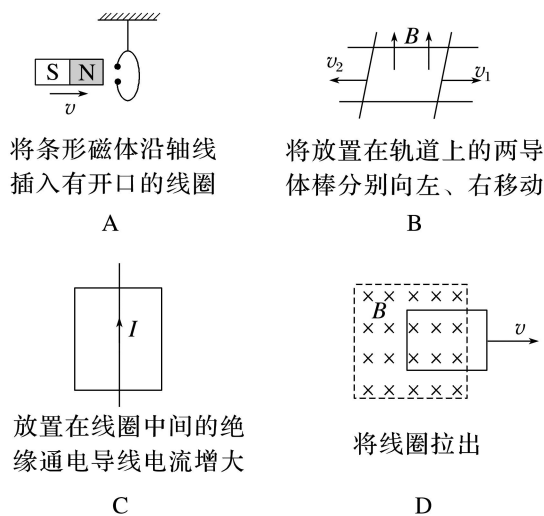
- A. 开关闭合瞬间, 电流计的指针不会偏转
- B. 开关断开瞬间, 电流计的指针不会偏转
- C. 开关闭合稳定后, 滑动变阻器的滑片 P 向右匀速滑动, 电流计指针不会偏转
- D. 开关闭合稳定后, 把小线圈 A 从线圈 B 中拔出, 电流计的指针会偏转

#### 四、感应电流产生条件的理解

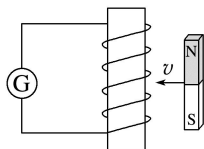
判断有无感应电流时必须明确的关键点:

- (1) 观察导体回路是否闭合;
- (2) 判断穿过回路的磁通量是否发生变化。

**【例 3】** (多选)(2025·宜宾市高二期末)下列图中的线圈或者回路中描述的情景能产生感应电流的是( )



**【例 4】** (2024·南通市开学考试)如图所示, 条形磁体以速度  $v$  向螺线管靠近。下列说法中正确的是( )



- A. 螺线管会产生感应电流
- B. 螺线管不会产生感应电流
- C. 只有磁体速度足够大, 螺线管才会产生感应电流

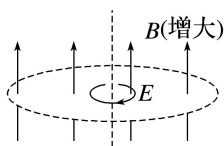
D.只有磁体磁性足够强，螺线管才会产生感应电流

## 4 电磁波的发现及应用

[学习目标] 1.了解麦克斯韦电磁场理论,知道电磁场的概念。2.知道电磁波的特点,掌握电磁波波长、频率、波速之间的关系(重点)。3.知道电磁波谱中各种电磁波的排列顺序,了解各种电磁波的应用,了解电磁波的能量(重点)。

### 一、电磁场

#### 1.麦克斯韦电磁场理论



##### (1)变化的磁场产生电场

①在变化的磁场中放入一个闭合电路,由于穿过电路的磁通量发生变化,电路中会产生\_\_\_\_\_。  
这个现象的实质是变化的磁场在空间产生了\_\_\_\_\_。

②即使在变化的磁场中没有闭合电路,也同样会在空间产生\_\_\_\_\_。

##### (2)变化的电场产生磁场

变化的电场就像导线中的电流一样,会在空间产生\_\_\_\_\_,即\_\_\_\_\_的电场产生磁场。

2.电磁场:变化的电场和磁场相互联系,所形成的不可分割的统一体。

【例 1】 (多选)下列关于电磁场理论的叙述正确的是 ( )

- A.变化的磁场周围一定存在着电场,与是否有闭合电路无关
- B.周期性变化的磁场产生同频率变化的电场
- C.变化的电场和稳定的磁场相互关联,形成一个统一的场,即电磁场
- D.电场周围一定存在磁场,磁场周围一定存在电场

■ 总结提升 ■ \_\_\_\_\_

#### 对麦克斯韦电磁场理论的理解

| 恒定的磁场不产生电场                  | 恒定的电场不产生磁场                  |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 均匀变化的磁场在周围空间产生恒定的电场         | 均匀变化的电场在周围空间产生恒定的磁场         |
| 不均匀变化的磁场在周围空间产生变化的电场        | 不均匀变化的电场在周围空间产生变化的磁场        |
| 周期性变化的磁场在周围空间产生同频率的周期性变化的电场 | 周期性变化的电场在周围空间产生同频率的周期性变化的磁场 |

## 二、电磁波

1.(1)麦克斯韦的伟大预言：周期性变化的电场引起\_\_\_\_\_变化的磁场，这个变化的磁场又引起新的变化的\_\_\_\_\_，这样变化的电场和变化的磁场交替产生，由近及远地向周围传播，形成电磁波。

(2)电磁波可以在\_\_\_\_\_中传播，因为电磁波的传播靠的是电场和磁场的相互“激发”，不需要传播介质。

**注意：**电磁波传播虽然不需要介质，但它也可以在其他介质如光纤中传播，且速度都比在真空中的小。

(3)光的电磁理论：光是以波动形式传播的一种电磁振动，电磁波在真空中的传播速度等于\_\_\_\_\_，即  $c=3\times 10^8\text{ m/s}$ 。

(4)赫兹的贡献：1886年，科学家赫兹通过实验捕捉到了\_\_\_\_\_，证实了麦克斯韦的电磁场理论。

(5)电磁场中储存着能量，电磁波的发射过程就是辐射电磁能的过程。

### 2.波长、频率与波速之间的关系

(1)波速=波长 $\times$ 频率，即  $c=\lambda f$ 。

(2)频率由波源决定，与介质无关，而波长、波速的大小与介质有关，所以同一电磁波在不同介质中传播时，频率不变，波长、波速发生改变。

(3)不同频率的电磁波在同一介质中传播时，传播速度不同。

### 【易错辨析】

(1)麦克斯韦首先预言了电磁波的存在，赫兹最先用实验证实了电磁波的存在。( )

(2)电磁波依赖于介质才能传播。( )

**【例2】** (2025·保定市高二期末)下列关于电磁波的叙述中，正确的是( )

A.电磁波的频率都相同

B.电磁波在任何介质中的传播速度均为  $3\times 10^8\text{ m/s}$

C.麦克斯韦证实了电磁波的存在

D.电磁波具有波的一切特征

**【例3】** (2024·北京市期末)500米口径球面射电望远镜(简称FAST)又被称为“中国天眼”，是中国科学院国家天文台的一座射电望远镜，若其工作频率范围是  $7\times 10^7\sim 3\times 10^9\text{ Hz}$ ，那么它观测到的电磁波最长波长( )

A.约0.1米

B.约4米

C.约40米

D.约1 000米

## 三、电磁波谱

### 1.电磁波谱

(1)概念：按电磁波的\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_大小的顺序把它们排列起来，就是电磁波谱。

(2)各种电磁波按波长由大到小排列顺序为：\_\_\_\_\_、红外线、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、X射线、 $\gamma$ 射线。

2.不同电磁波的特性和用途

| 种类   | 波长范围                       | 特性            | 应用                      |
|------|----------------------------|---------------|-------------------------|
| 无线电波 | 大于<br>1 mm                 | 波动<br>能力强     | 通信、广播、射电望远镜             |
| 红外线  | 760~<br>10 <sup>6</sup> nm | 热作<br>用强      | 烘干、红外遥感、测温、夜视仪          |
| 可见光  | 400~<br>760 nm             | 感光<br>性强      | 照明、照相                   |
| 紫外线  | 10~<br>400 nm              | 化学作用、<br>荧光作用 | 消毒、荧光效应、促使人体合成<br>维生素 D |
| X 射线 | 0.001~<br>10 nm            | 较强的<br>穿透能力   | 透视人体、检查金属零件的质量          |
| γ射线  | 小于<br>10 <sup>-3</sup> nm  | 穿透能<br>力最强    | 医学上的γ刀技术、探测金属内部<br>的缺陷  |

「易错辨析」

- (1)过强的紫外线照射有利于人的皮肤健康。(     )
- (2)电磁波频率最大的是γ射线，医学上常用它进行人体透视检查。(     )
- (3)紫外线和 X 射线都可以使感光底片感光。(     )

**【例 4】** 某广播电台发射“中波”段某套节目的信号，家用微波炉中的微波，VCD 机中的激光(可见光)，人体透视用的 X 光，都是电磁波，它们的频率分别为  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$ ，则(     )

- A. $f_1>f_2>f_3>f_4$                       B. $f_1<f_2<f_3<f_4$
- C. $f_1<f_3<f_2<f_4$                       D. $f_1>f_3>f_2>f_4$

**【例 5】** (2024·长沙市高二期末)下列关于电磁波的说法正确的是(     )

- A.X 射线穿透力较强，可用来进行人体透视
- B.紫外线能在磁场中偏转，有很强的荧光效应，可用于防伪
- C.麦克斯韦建立了电磁场理论并证实了电磁波的存在
- D.红外体温计是依据体温计发射红外线来测量体温的

四、电磁波的能量 电磁波通信

1.电磁波的能量

(1)电磁波是物质存在的一种特殊形式

电磁波和我们学过的电场、磁场一样，是一种特殊的物质，不是由分子、原子所组成的，与通常的实物不同，但它是客观存在的。

## (2)电磁波具有能量

从场的观点来看，电场具有电场能，磁场具有磁场能，电磁场具有电磁能，电磁波发射的过程就是辐射能量的过程，电磁波在空间传播，电磁能就随之一起传播。

## 2.电磁波通信

### (1)传播途径

电磁波携带的信息，既可以有线传播，也可以无线传播。

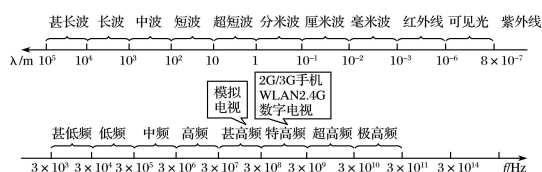
有线传播利用金属导线、光纤等有形媒介传送信息，如台式电脑、电话等。

无线传播仅利用电磁波而不通过线缆传递信息，如收音机、手机、GPS、无线鼠标等。

### (2)传输特点

电磁波的频率越高，相同时间传递的信息量越大，由于光的频率比无线电波的频率高得多，因此光缆可以传递大量的信息。

**【例 6】** 5G 是“第五代移动通信技术”的简称，目前世界各国正大力发展 5G 网络，5G 网络使用的无线电波通信频率在 3.0 GHz 以上的超高频段和极高频段，比目前 4G 及以下网络(通信频率在 0.3~3.0 GHz 的特高频段)拥有更大的带宽和更快的传输速率。5G 网络的传输速率(指单位时间传输的数据量大小)可达 10 Gbps，是 4G 网络的 50~100 倍。关于 5G 网络使用的无线电波，下列说法正确的是( )



- A.在真空中的传播速度更快
- B.在真空中的波长更长
- C.在真空中的波长与 4G 网络使用的无线电波相同
- D.频率更高，相同时间传递的信息量更大



## 5 能量量子化

[学习目标] 1.了解热辐射和黑体的概念。2.初步了解微观世界的量子化特征,知道普朗克常量(难点)。3.了解原子的能级结构(重点)。

### 一、热辐射

#### 1.热辐射

(1)定义:我们周围的一切物体都在辐射\_\_\_\_\_。这种辐射与物体的\_\_\_\_\_有关,所以叫作热辐射。

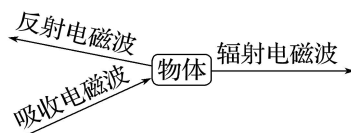
(2)特点:当温度升高时,热辐射中波长\_\_\_\_\_的电磁波的成分越来越强。

(3)理解:

①并非只有高温物体才会发生热辐射,任何物体在任何温度下都会发生热辐射,这是由于物体中分子、原子受到激发会发射电磁波。

②热辐射是内能转化为电磁能的过程。

③除了热辐射外,物体表面还会吸收和反射外界射来的电磁波(如图)。除光源外,常温下我们看到的物体的颜色就是其反射的光的颜色。



#### 2.黑体

(1)定义:能够\_\_\_\_\_吸收入射的各种波长的电磁波而不发生反射的物体。

(2)特点

①黑体不反射电磁波,但可以向外\_\_\_\_\_电磁波。

②黑体辐射电磁波的强度按波长的分布只与黑体的\_\_\_\_\_有关。

**注意:**黑体不一定是黑的,只有当自身辐射的可见光非常微弱时看上去才是黑的;有些可看成黑体的物体由于有较强的辐射,看起来还会很明亮,如炼钢炉口上的小孔。

**【例 1】** (多选)(2024·南宁市高二期末)下列有关黑体和黑体辐射的说法中正确的是( )

- A.黑体的热辐射实际上是电磁辐射
- B.能够完全吸收入射的各种波长的电磁波而不发生反射的物体叫作黑体
- C.黑体辐射电磁波的强度按波长的分布与它的温度、材料的种类及表面状况有关
- D.黑体辐射随着温度的升高,各种波长的辐射强度都增加

#### ■ 总结提升 ■

|  |       |          |
|--|-------|----------|
|  | 热辐射特点 | 吸收、反射的特点 |
|--|-------|----------|

|      |                             |                              |
|------|-----------------------------|------------------------------|
| 一般物体 | 辐射电磁波的情况与温度有关，与材料的种类、表面状况有关 | 既吸收又反射，其能力与材料的种类及入射波的波长等因素有关 |
| 黑体   | 辐射电磁波的强弱按波长的分布只与黑体的温度有关     | 完全吸收各种入射电磁波，不反射              |

## 二、能量子

1.概念：振动着的带电微粒的能量只能是某一最小能量值的\_\_\_\_\_，这个不可再分的最小的能量值 $\epsilon$ 叫作能量子。

2.大小： $\epsilon=$ \_\_\_\_\_，其中普朗克常量  $h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 。

3.爱因斯坦光子说：光是由一个个不可分割的能量子组成，频率为 $\nu$ 的光的能量子为\_\_\_\_\_，光的能量子称为\_\_\_\_\_。

**注意：**能量的量子化：在微观世界中能量不能连续变化，只能取分立值，这种现象叫作能量的量子化。量子化的基本特征就是在某一范围内取值是不连续的。

**【例 2】** (2024·宁夏银川唐徕中学高二期末)下列关于能量量子化说法正确的是( )

- A.爱因斯坦最早提出了能量子假说
- B.普朗克认为微观粒子能量是连续的
- C.频率为 $\nu$ 的光的能量子为  $h\nu$
- D.电磁波波长越长，其能量子越大

**【例 3】** 可见光波长的大致范围是 400~760 nm。已知普朗克常量  $h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ，光速  $c=3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，则波长为 400 nm、760 nm 的可见光发生电磁辐射的能量子 $\epsilon$ 的值分别是多少(结果保留 3 位有效数字)?

---

---

---

---

---

---

## 三、能级

### 1.能级

原子的能量是量子化的，这些量子化的能量值叫作能级。

原子具有确定能量的稳定状态，称为定态。能量最低的状态叫作基态，其他的状态叫作激发态。

### 2.能级之间的跃迁

处于低能级的原子受到高速运动的电子的撞击，有可能跃迁到较高的能量状态，处于高能级的原子是不稳定的，会自发地向能量较低的能级跃迁，放出光子。

**注意：**(1)能级越低，原子越稳定。

(2)除受到高速运动的电子的撞击外，当吸收一定大小的光子的能量(等于跃迁前后的两能级之差)时，原子也能从低能级跃迁到高能级。

### 3.原子的发射光谱

#### (1)光谱特征

如图所示是氢原子的光谱，原子的发射光谱只有一些分立的亮线。



#### (2)光谱分立的原因

原子从高能态向低能态跃迁时放出的光子的能量，等于前后两个能级之差，因为原子的能级是分立的，所以放出的光子的能量也是分立的。

**【例 4】** 一个氢原子从低能级跃迁到高能级，该氢原子( )

- A.吸收光子，吸收光子的能量等于两能级之差
- B.吸收光子，能量减少
- C.放出光子，能量增加
- D.放出光子，放出光子的能量等于两能级之差

**【例 5】** (多选)下列说法正确的是( )

- A.原子的能量是连续的，原子的能量从某一能量值变为另一能量值，可以连续变化
- B.原子从低能级向高能级跃迁时放出光子
- C.原子从高能级向低能级跃迁时放出光子，且光子的能量等于前后两个能级之差
- D.由于能级的存在，原子放出的光子的能量是分立的，所以原子的发射光谱只有一些分立的亮线

## 章末素养提升

### 素养再现

|          |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物理<br>观念 | 12 个概念 | <p>1.磁场：是一种特殊的物质，对磁体或_____有力的作用</p> <p>2.磁感线：用来形象描述磁场引入的假想的线，曲线上每一点的_____都跟这点磁场的方向一致</p> <p>3.磁感应强度：在磁场中_____磁场方向的通电导线，所受的磁场力 <math>F</math> 跟_____和_____的乘积 <math>Il</math> 的比值叫磁感应强度</p> <p>4.磁通量：匀强磁场中_____和与磁场方向_____的平面面积 <math>S</math> 的乘积，即 <math>\Phi=BS</math></p> <p>5.感应电流：法拉第把他发现的磁生电的现象叫作电磁感应，产生的电流叫作_____</p> <p>6.电磁场：变化的_____和_____相互联系，所形成的不可分割的统一体</p> <p>7.电磁波：_____变化的电场和_____变化的磁场交替产生，由近及远地向周围传播，形成电磁波</p> <p>8.电磁波谱：按电磁波的_____或_____大小的顺序把它们排列起来，就是电磁波谱</p> <p>9.热辐射：一切物体都在辐射电磁波，且辐射强度与物体的_____有关，所以叫热辐射</p> <p>10.黑体：能够完全吸收入射的各种波长的_____而不发生反射</p> <p>11.能量子：振动着的带电微粒的能量只能是某一最小能量值的_____，这个最小的能量值 <math>\epsilon</math> 叫能量子</p> <p>12.能级：原子的能量是_____的，量子化的能量值叫_____</p> |
|          | 1 个定则  | <p>1.直线电流的磁场</p> <p>安培定则：用_____握住导线，让伸直的拇指所指的方向与电流方向一致，_____所指的方向就是磁感线环绕的方向</p> <p>2.环形电流的磁场</p> <p>安培定则：让右手_____与环形电流的方向一致，_____就是环形导线轴线上磁场的方向</p> <p>3.通电螺线管的磁场</p> <p>安培定则：用右手握住螺线管，让弯曲的四指与_____一致，伸直的拇指所指的方向就是_____磁场的方向</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

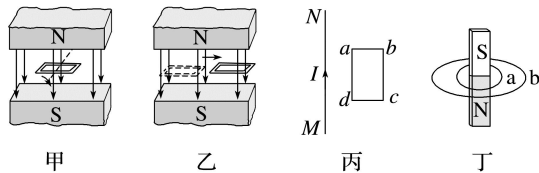
|         |       |                                                                                                                            |
|---------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | 1 个条件 | 产生感应电流的条件：当穿过闭合导体回路的_____时，闭合导体回路中就产生感应电流                                                                                  |
|         | 4 个关系 | 1. $B=$ _____ ( $B$ 与 $I$ 垂直)<br>2. $\Phi=$ _____ ( $B$ 与 $S$ 垂直)<br>3. $c=$ _____<br>4. $\varepsilon=$ _____              |
| 科学思维    |       | 1.类比的思想：对于磁场，通过与电场进行类比学习。如，磁场与电场类比；磁感应强度与电场强度类比；磁感线与电场线类比<br>2.通过“做一做”可以体会赫兹对电磁波预言的证实，体现了假说、理论预言、实验证实、质疑创新等科学思维在科学发现中的重要意义 |
| 科学探究    |       | 通过实验“探究感应电流产生的条件”，提高科学探究能力。从已有认知出发，在初中学习的基础上提出问题。通过法拉第的发现，体会“磁生电”是一种在变化、运动的过程中才出现的效应                                       |
| 科学态度与责任 |       | 电磁感应现象的发现是电磁学中最重大的发现之一。利用电磁感应原理制造的发电机使人类获取了巨大而廉价的电能，为电气化发展奠定了基础                                                            |

### 提能训练

【例 1】 (2024·辽宁省高二期中)下列关于磁场和磁体的说法中正确的是( )

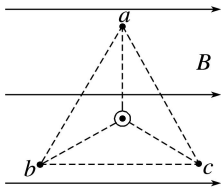
- A.高温可以使磁体的磁性越来越强
- B.宇宙中“破坏力”最强的天体“磁星”，危险程度不亚于黑洞，其磁场只存在于“磁星”外部，内部不存在磁场
- C.电磁起重机的中心部件是电磁铁，其工作原理主要利用了电流的一种效应，此效应的发现者是奥斯特
- D.中国宋代科学家沈括在《梦溪笔谈》中最早记载了地磁偏角，地磁南极在地理南极附近

【例 2】 (2025·江西省三新协同教研共同体联考)以下关于电磁感应现象的几个场景说法正确的是( )



- A.图甲中，线圈绕垂直于磁场的转动轴转动时会产生感应电流
- B.图乙中，线圈垂直于匀强磁场方向向右运动，线圈右边未离开磁场前，线圈会产生感应电流
- C.图丙中，线框与直导线  $MN$  在同一平面内，线框以直导线  $MN$  为轴旋转，会产生感应电流
- D.图丁中，线圈  $b$  中的磁通量大于线圈  $a$  中的磁通量

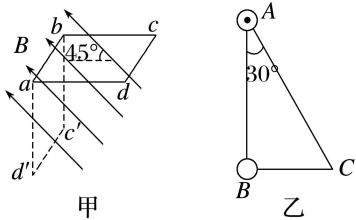
【例 3】 (2025·玉溪市高二期末)如图所示，等边三角形  $abc$  中心处静置一长直通电导线，导线与  $abc$  平面垂直，电流方向如图所示，该空间还存在与  $bc$  边平行的匀强磁场，方向如图所示。若  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三点的磁感应强度大小分别为  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ ，下列关系式正确的是( )



- A. $B_1>B_2>B_3$
- B. $B_1<B_2<B_3$
- C. $B_1<B_2=B_3$
- D. $B_1>B_2=B_3$

【例 4】 (2024·枣庄市滕州第一中学高二月考)(1)如图甲所示，匝数为  $N=10$ 、面积为  $S$  的闭合线圈  $abcd$  水平放置，与磁感应强度为  $B$  的匀强磁场夹角为  $45^\circ$ ，现将线圈以  $ab$  边为轴顺时针转动  $90^\circ$ 。求初始时的磁通量以及整个过程中线圈的磁通量变化量的大小；

(2)如图乙所示，在直角三角形  $ABC$  的  $A$  点和  $B$  点分别固定一垂直纸面的无限长通电直导线，其中  $A$  点处导线电流方向垂直纸面向外， $\angle A=30^\circ$ 。已知通电直导线形成的磁场在空间某点处的磁感应强度  $B=k\frac{I}{r}$ ， $k$  为比例系数， $r$  为该点到导线的距离， $I$  为导线中的电流。现测得  $C$  点的磁场沿  $BC$  方向。请利用平行四边形定则作出  $C$  点合磁场方向(仅作图，不需要说明原因)，并求出  $A$ 、 $B$  两点处导线电流的大小之比。




---



---



---