

# 作业

1. No.8 （希望在作业题纸中选择、填空、判断各题的相应位置处写出其关键步骤）；
2. 自学本章各例题并完成书上的习题(对照书后的参考答案自己订正)。

第十三周星期三交作业

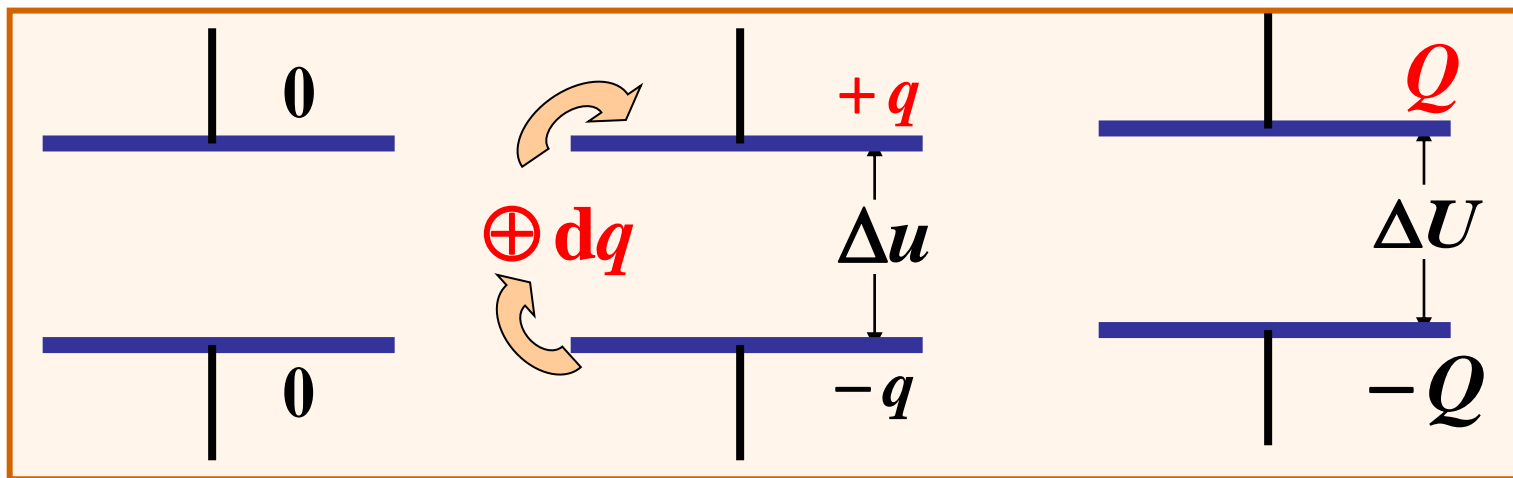


## 第九节 静电场的能量

### 一、电容器的能量

### 二、电场能量

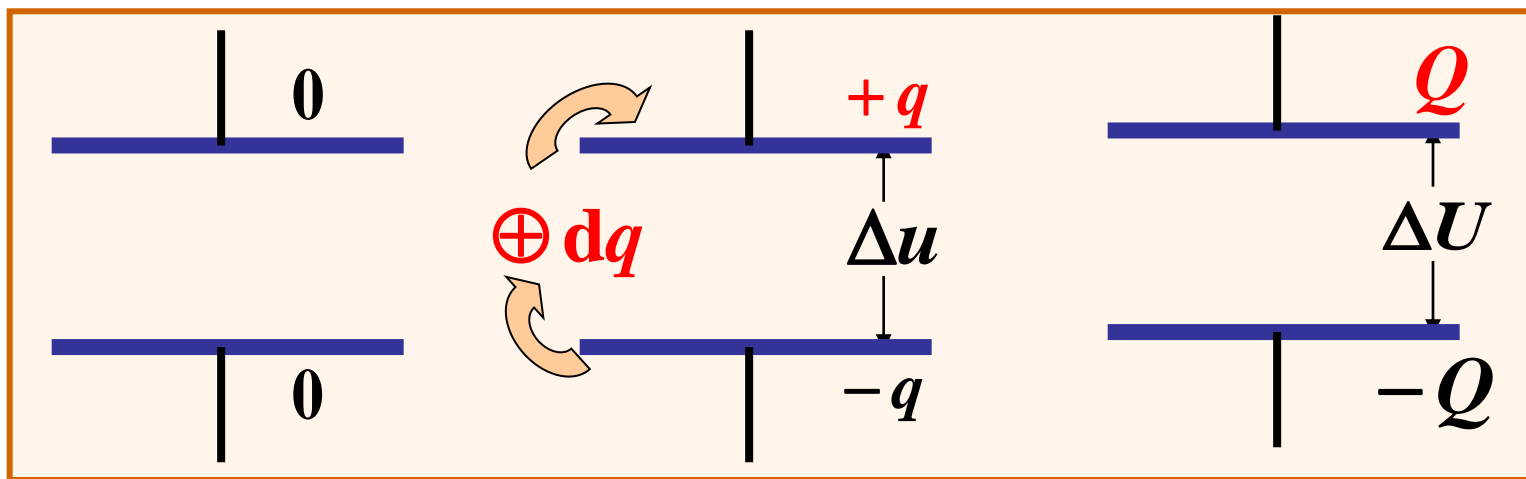
## 一、电容器的能量



**模型：**将  $Q$  由负极移向正极板的过程

极板电量  $0 \rightarrow Q$   
板间电压  $0 \rightarrow \Delta U$

电容器储能 = 过程中反抗电场力的功



计算:  $dA = \Delta u \cdot dq = \frac{q}{C} dq$

$$A = \int dA = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{Q^2}{2C}$$

电容器的能量:  $w = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} C (\Delta U)^2 = \frac{1}{2} Q \Delta U$

## 二、电场能量

1. 电场能量密度 $w_e$ : 单位体积内储存的能量

以平行板电容器为例:  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$      $\Delta U = Ed$

$$\therefore W = \frac{1}{2} C (\Delta U)^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} E^2 d^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E^2 V$$

$$w_e = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E^2$$

## 2. 电场能量

$$W = \int_V w_e dV = \int_V \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E^2 dV$$

注意：

- \* 上式对非均匀电场和随时间变化的电场均适用。
- \* 积分应遍及电场所在的整个空间，若各区域 $\epsilon$ 、 $E$ 分布不同，应分区域积分，再相加。

**例 (P<sub>229</sub> 9.9.2)** 一平行板电容器与一电源相连，现将一块大小与电容器相同，相对电容率为 $\epsilon_r$ 的均匀电介质插入电容器中，则电容、极板电量、板间电场强度、电位移、两板电势差和电场能量中，哪些增大？哪些减小？哪些不变？若充电后先断开电源，再插入电介质，情况又如何？

插入电介质	不变量	增大量	减小量
不断开电源	$\Delta U, E$	$C, q, D, W$	
断开电源			

解：插入前：

插入后：

$$\Delta U \quad \text{————} \quad \Delta U$$

不断开电源

$$E = \frac{\Delta U}{d} \quad \text{————} \quad E' = \frac{\Delta U}{d} \quad \therefore E' = E$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad \text{————} \quad C' = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} > \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad \therefore C' > C$$

$$q = C \Delta U \quad \text{————} \quad q' = C' \Delta U > C \Delta U \quad \therefore q' > q$$

$$D = \epsilon_0 E \quad \text{————} \quad D' = \epsilon_0 \epsilon_r E' > \epsilon_0 E \quad D' > D$$

$$W = \frac{1}{2} C (\Delta U)^2 \quad \text{————} \quad W' = \frac{1}{2} C' (\Delta U)^2 > \frac{1}{2} C (\Delta U)^2 \quad W' > W$$



插入电介质	不变量	增大量	减小量
不断开电源	$\Delta U, E$	$C, q, D, W$	
断开电源	$q, D$	$C$	$\Delta U, E, W$

插入前：

插入后：

$$q \text{ ————— } q' = q$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d} \text{ ————— } C' = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} > \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad \therefore C' > C$$

$$\Delta U = \frac{q}{C} \text{ ————— } \Delta U' = \frac{q'}{C'} < \frac{q}{C} \quad \therefore \Delta U' < \Delta U$$

$$E = \frac{\Delta U}{d} \text{ ————— } E' = \frac{\Delta U'}{d} < \frac{\Delta U}{d} \quad \therefore E' < E$$

$$D = \epsilon_0 E \text{ ————— } D' = \epsilon_0 \epsilon_r E' = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\Delta U'}{d} = \epsilon_0 E \quad \therefore D' = D$$

$$W = \frac{q^2}{2C} \text{ ————— } W' = \frac{q'^2}{2C'} < \frac{q^2}{2C} \quad \therefore W' < W$$

断开电源

静电场：相对于观察者静止的电荷周围的电场

静电感应：电荷瞬间宏观定向运动  
介质极化：电荷瞬间微观定向运动

} 只讨论实现  
平衡后电场

性质：

有源

有势（保守）

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum_{(S \text{ 内})} q_0$$

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

## 第十节 稳恒电场

一、电流强度

二、电流密度矢量

三、稳恒电流与稳恒电场

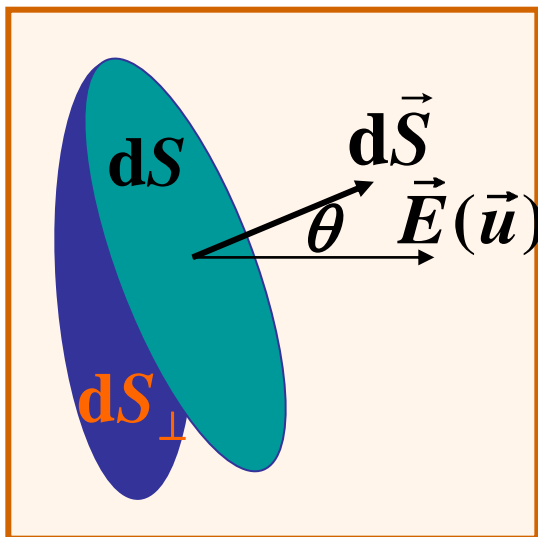
四、电源电动势

## 一、电流强度

电流强度 $I$ ：单位时间内通过导体内某一面积的电量，其指向为正电荷的运动方向。

设正电荷的漂移运动（定向匀速运动）速率为 $u$ ，

电荷数密度为 $n$ ，则 电流强度：



$$\begin{aligned} dI &= dI_{S_{\perp}} = qnu dS_{\perp} = qnu dS \cos \theta \\ &= qn\vec{u} \cdot d\vec{S} \end{aligned}$$

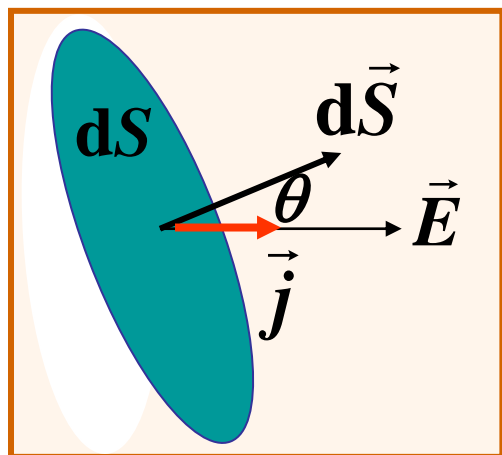
电流强度： $dI = qnu dS_{\perp} = qn\vec{u} \cdot d\vec{S}$

## 二、电流密度矢量

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS_{\perp}} \vec{n}_0 = qnu \vec{n}_0 = qn\vec{u}$$

大小：通过与该点  $\vec{E}$  垂直的单位截面的电流

方向：与  $+q$  的漂移运动方向（ $\vec{E}$  方向）相同



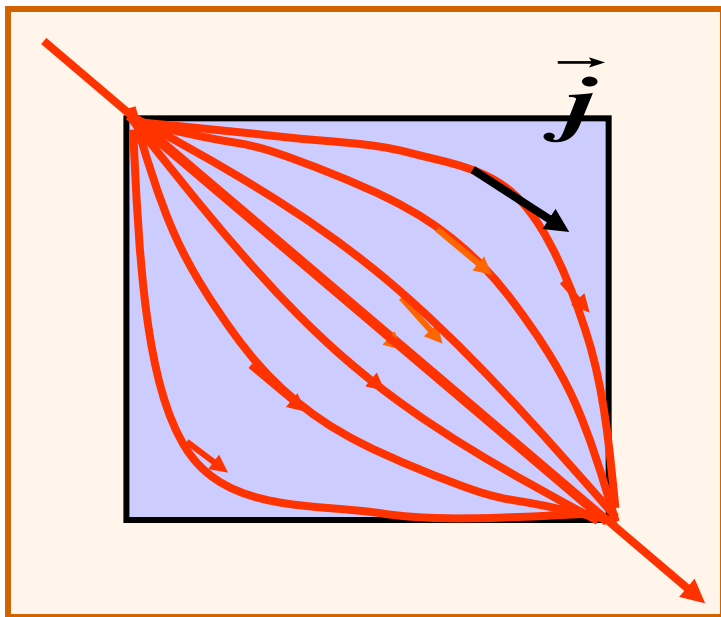
$$\text{又：} dI = qn\vec{u} \cdot d\vec{S} = \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} \longrightarrow I \text{ 与 } \vec{j} \text{ 的关系}$$

通过某截面的电流强度为电流密度矢量  $\vec{j}$  通过该面的通量。

$\vec{j}$  形成一个空间矢量场 —— 电流场

可以用 **电流线** 来描述电流场分布



电流线**特点**:

- 其切向即  $\vec{j}$  方向
- 其疏密  $\propto \vec{j}$  大小

### 三、稳恒电流与稳恒电场

**稳恒电流:**导体内各处电流密度矢量不随时间变化的电流。

**稳恒电流条件:**

$$I = \oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = 0 \quad \text{穿过封闭曲面 } S \text{ 的 } \vec{j} \text{ 通量为零}$$

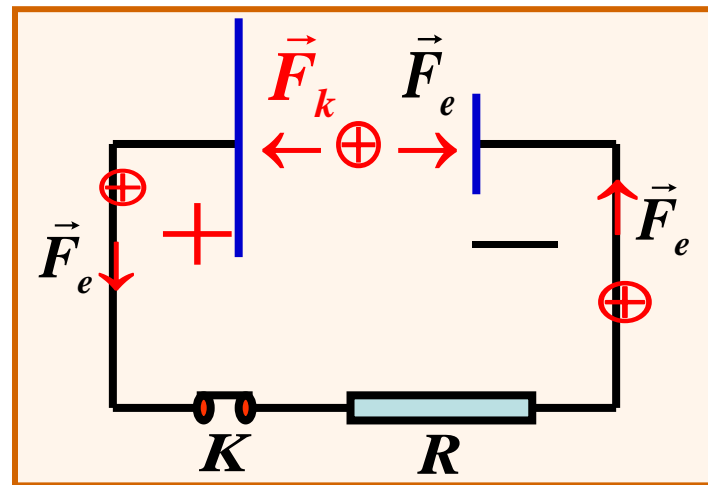
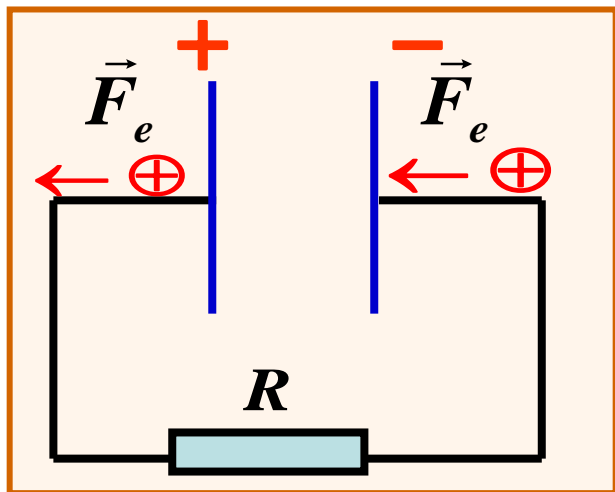
**稳恒电流的特点:**

- 稳恒电流一定是闭合的，或两端通向无穷远(在无穷远处闭合)。
- 稳恒电流的电场分布不随时间变化。

**稳恒电场:**在稳恒电流情况下,导体内电荷沿定向运动,但电荷分布不随时间变化,电场不随时间变化。

**稳恒电场的特点:**具有与静电场相同的性质,即:有源有势。

## 四、电源电动势



**静电力**作用：

电路中只能形成短暂的非稳恒电流。

如何形成持续电流？

**电源**作用：

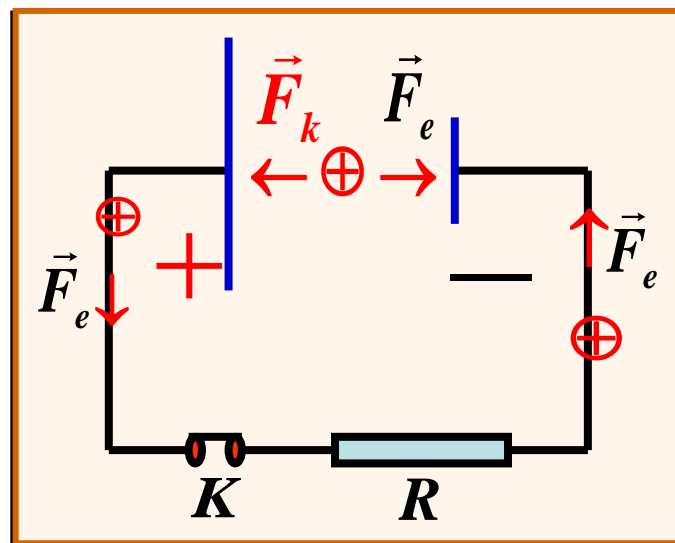
提供非静电力  $\vec{F}_k$ ，将  $+q$  由负极板移向正极板，保持极板间电势差，以形成持续的电流。



作用机理:

$\vec{F}_k$  反抗  $\vec{F}_e$  做功, 将其  
它形式能转变为电能。

断路:  $\vec{F}_k = -\vec{F}_e$  时平衡, 电流为零。

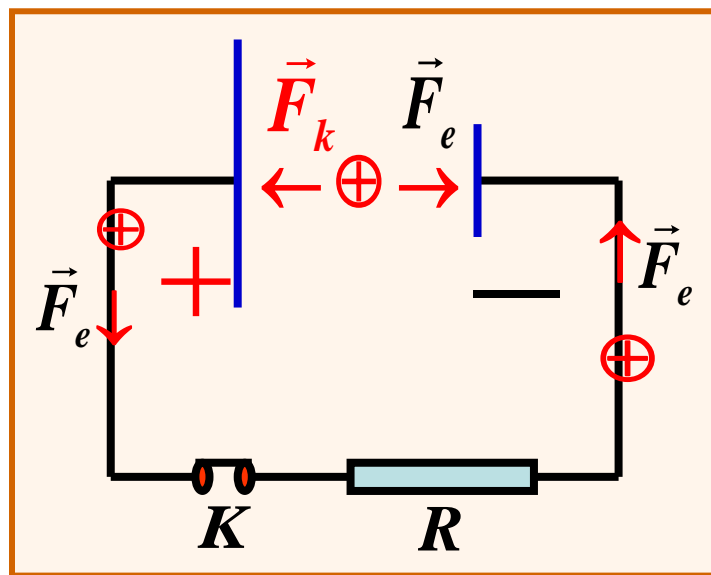


通路: { 外电路:  $\vec{F}_e$  作用, 将  $+q$  由正极  $\rightarrow$  负极  
内电路:  $|\vec{F}_k| > |\vec{F}_e|$  将  $+q$  由负极  $\rightarrow$  正极  
 $\vec{F}_k$ 、 $\vec{F}_e$  共同作用形成持续电流

能量转换:

$$\vec{F}_e \left\{ \begin{array}{l} \text{外电路: } \int_{-}^{+} \vec{F}_e \cdot d\vec{l} > 0 \\ \text{内电路: } \int_{-}^{+} \vec{F}_e \cdot d\vec{l} < 0 \end{array} \right.$$

$$\text{总功: } \oint_L \vec{F}_e \cdot d\vec{l} = 0$$



$\vec{F}_k$  : 做功如何?

$$\text{非静电场强: } \vec{E}_k = \frac{\vec{F}_k}{q}$$

电源电动势 $\varepsilon$ : 电源将单位正电荷由负极经电源内部移到正极时非静电力作的功。

电源电动势:  $\varepsilon = \frac{A_k}{q} = \frac{1}{q} \int_{\bar{-}}^{+} \vec{F}_k \cdot d\vec{l} = \int_{\bar{-}}^{+} \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$

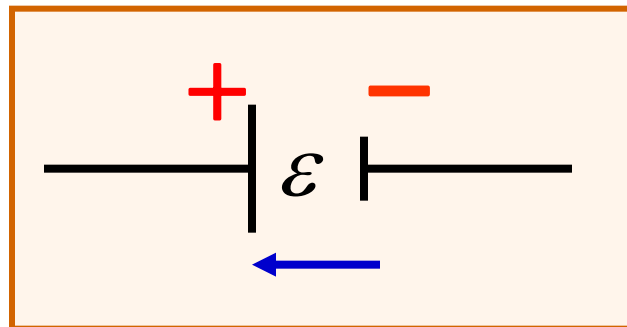
(经内电路)                      (经内电路)

若  $\vec{E}_k$  只在内电路存在:  $\varepsilon = \int_{\bar{-}}^{+} \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$

(经内电路)

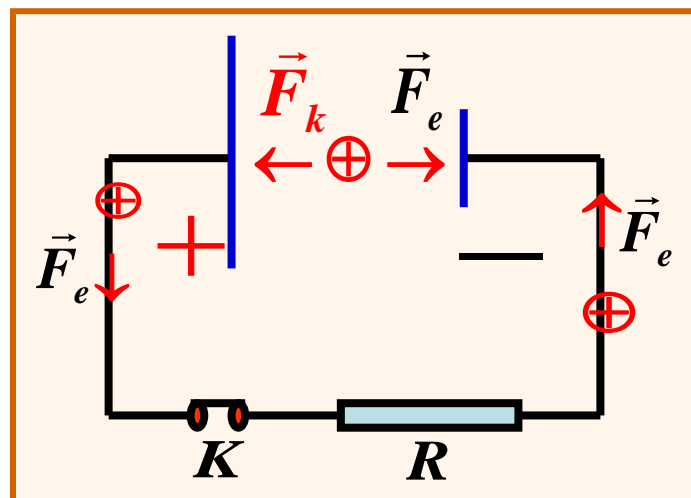
若  $\vec{E}_k$  存在于整个闭合回路:  $\varepsilon = \oint_L \vec{E}_k \cdot d\vec{l} > 0$  非静电力为  
非保守力!

规定电动势指向:



练习：





试比较电源路端电压  
和电源电动势这两个  
概念。



	电源路端电压	电源电动势
比较	$\Delta U = \int_{+}^{-} \vec{E}_e \cdot d\vec{l}$ <p>(经外电路)</p>	$\varepsilon = \int_{-}^{+} \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$ <p>(经内电路)</p>

## 练习：

单位正电荷从电源正极出发，沿闭合回路一周，又回到电源正极时，下列哪种说法正确？

-  1) 静电力所做总功为零；
-  2) 非静电力所做总功为零；
-  3) 静电力和非静电力做功代数和为零；
-  4) 在电源内只有非静电力做功，  
在外电路只有静电力做功。