

大学物理 (二)

本学期内容及成绩评定

一、本学期内容四大部分：**磁学、机械振动和波动、光学、量子物理基础**；

二、成绩评定：

1. 作业14次+总结+课堂：30分；
2. 期中考试一次：10分；
3. 期末考试：60分。

第7章

稳恒磁场

人类对电的认识可以追溯到2000多年前，
实际上对磁现象的发现比电现象还要早。

☀ 公元前5~3世纪人类就发现了磁石吸铁、磁石指南。

在11世纪我国已制造出指南针，并用于航海。



☀ 1600年，英国著名的医生、物理学家吉尔伯特发表了巨著《论磁》，开创了磁学的近代研究，使得磁学从经验转变为科学。



☀ 电磁学与我们现在科技、生活的紧密相联



科学的真正突破，就在于打破思维定式的束缚，创建新的科学概念。

1820年，丹麦物理学家**奥斯特**发现了电流的磁效应。



《电磁学》 就此诞生！

本章内容

7.1 稳恒电流

7.2 磁场 磁场强度

7.3 毕奥-萨伐尔定律

7.4 磁场的高斯定理和安培环路定理

7.5 磁场对运动电荷的作用 磁场对载流导线的作用

7.6 磁场中的磁介质

重要的思想方法： 类比法

7-1 稳恒电流 电流密度 电源 电动势

7-1.1 电流 电流密度

一、**电流**：大量带电粒子定向运动形成的

1. 电流形成的条件

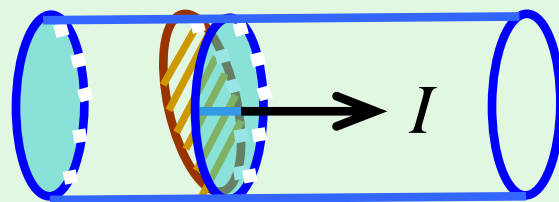
- **载流子**：可以**自由运动的带电粒子**。
- 导体两端要存在有电势差。

2. **电流强度**：单位时间内通过导体某一截面的电量

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

单位：安培=库仑/秒 $1\text{A} = \text{C} / \text{s}$

电流的方向：正电荷运动的方向。



传导电流：在导体或电解质溶液中的电流。还有：**束缚电流**、**位移电流**

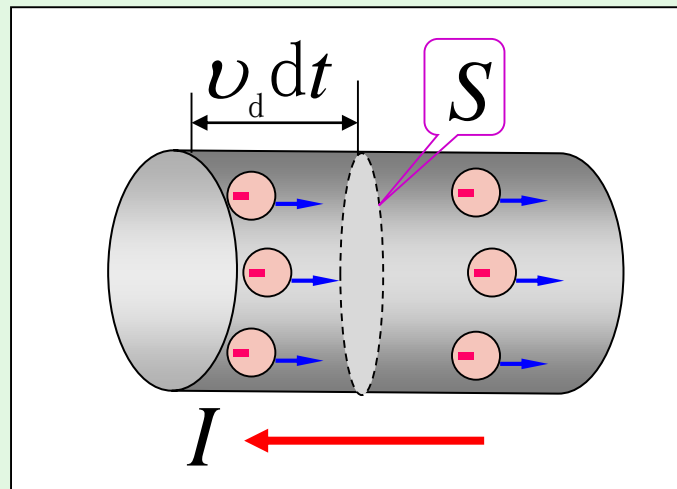
导体中电流产生的微观机制:

e —— 每个载流子 (电子) 所带电量

n —— 载流子浓度

v_d —— 载流子作定向运动的平均速度 (漂移速度)

S : 垂直于载流子运动方向的横截面面积



dt 时间内通过 S 的载流子数:

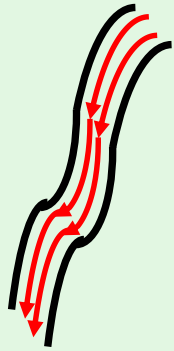
$$N = n v_d S dt$$

dt 时间内通过 S 的电荷:

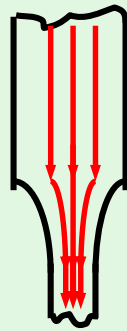
$$dq = eN = en v_d S dt$$

$$I = dq / dt = en v_d S$$

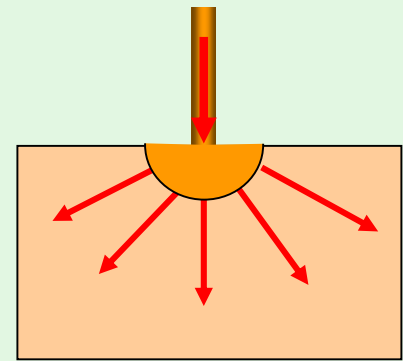
几种典型的电流分布



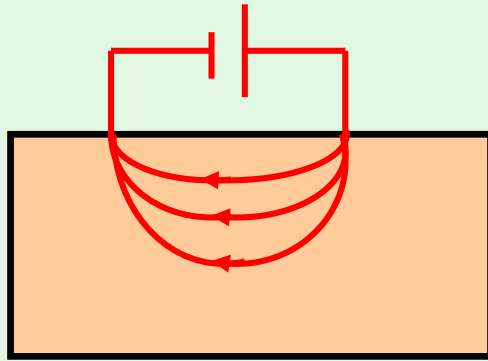
粗细均匀的
金属导体



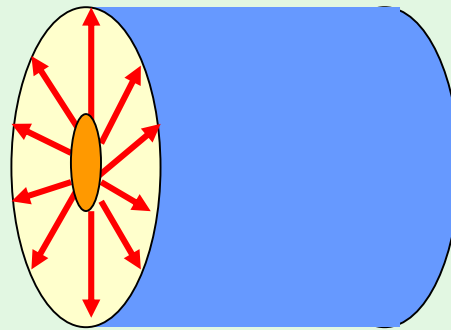
粗细不均匀的
金属导线



半球形接地电极
附近的电流



电阻法勘探矿藏
时的电流



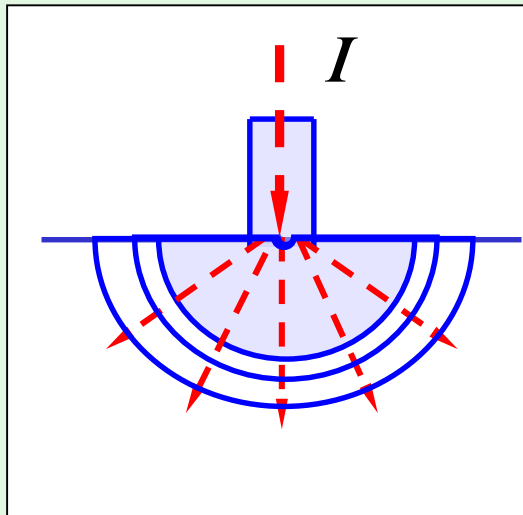
同轴电缆中的
漏电流

电流分布一般是不均匀的，即在导体的不同地方单位面积中通过的电流不同。

用电流强度还不能细致地描述**电流的分布**。

二 电流密度 \vec{j}

大地
电
流



- 流过各截面的电流强度均为 I
- 不同截面各点电流大小不同
- 同一截面各点电流方向不同

\vec{j} { **方向:** 该点正电荷运动方向
大小: 单位时间内通过垂直于正载流子运动方向的单位面积的电量。

$$\vec{j} = \frac{dq}{dS_{\perp} dt} = \frac{I}{dS_{\perp}}$$

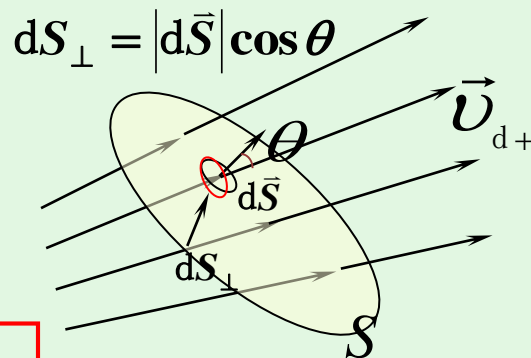
单位: A / m^2

⇓ 电流密度的微观定义

$$dI = dq / dt = nq v_d dS_{\perp}$$

$$\therefore j = \frac{dI}{dS_{\perp}} = qn v_d$$

$$\boxed{\vec{j} = qn \vec{v}_d}$$



对于导体，载流子是自由电子： $\vec{j} = -en \vec{v}_d$

⇓ 电流强度与电流密度的关系：

$$dI = dq_{d\vec{S}} / dt = dq_{d\vec{S}_{\perp}} / dt = |\vec{j}| dS_{\perp} = |\vec{j}| |d\vec{S}| \cos \theta = \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

$$dI = \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

$$I = \iint_S dI = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

通过某一截面的电流强度是通过该截面的电流密度通量。

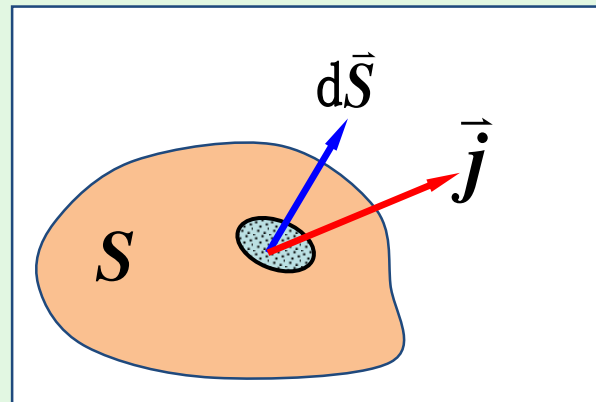
通过封闭曲面S 的电流？

三、 电流的连续性方程 恒定电流条件

通过封闭曲面 S 的电流: $I = \oiint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$

由电荷守恒定律:
电流连续性方程

$$\oiint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = -\frac{dq_{\text{内}}}{dt}$$



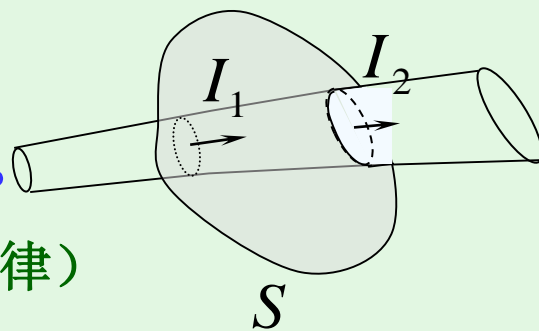
若: 闭合曲面 S 内的电荷不随时间而变化, 则:

恒定电流条件: $\oiint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = 0$

* 电流线不可能在任何地方中断, 是闭合曲线。

基尔霍夫第一、二定律 (节点电流定律、回路电压定律)

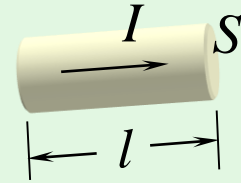
* 电荷分布: 不随时间改变。



→ 恒定的电场 • 与静电场服从同样的基本规律。

7-1.2 欧姆定律的微分形式（电流密度与电场强度的关系）

欧姆定律: $U = RI$



电阻定律: $R = \rho \frac{l}{S} (\Omega)$

电阻率: $\rho (\Omega \cdot \text{m})$

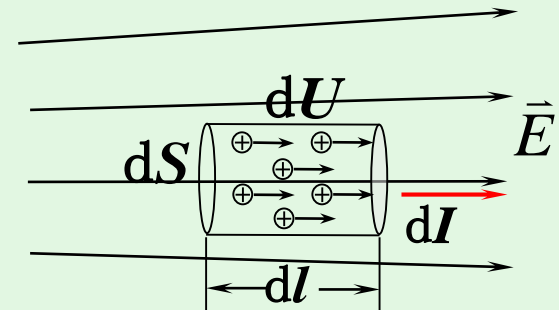
电导率 $\sigma \equiv \frac{1}{\rho} (\text{S/m})$

S: 西门子

欧姆定律的微分形式:

$$dU = R dI = \frac{1}{\sigma} \frac{dl}{dS} dI = \frac{1}{\sigma} \frac{dl}{dS} j dS$$

$$E dl = \frac{1}{\sigma} \frac{dl}{dS} j dS \Rightarrow j = \sigma E$$



$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

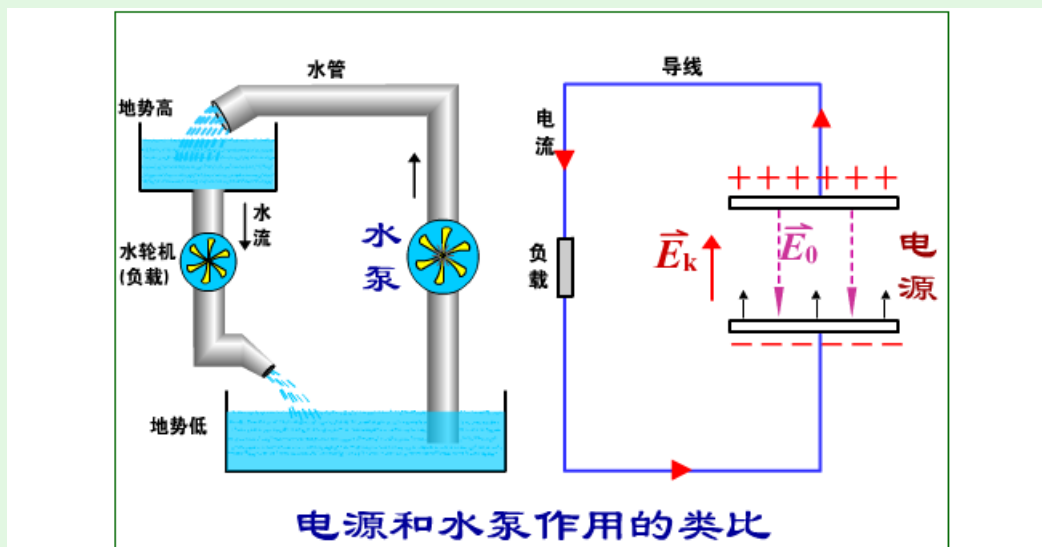
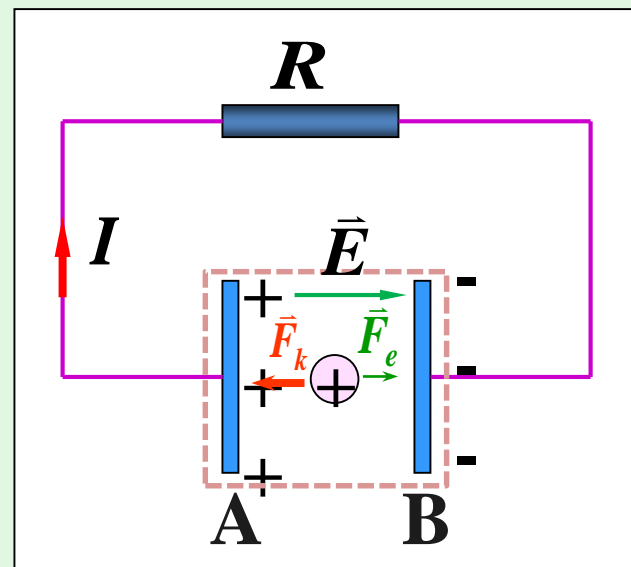
取直圆柱体元，轴线沿 j 方向

7-1.3 电源和电动势

一、 电源、非静电力

非静电力 \vec{F}_k : 把负极板上的正电荷不断地搬回到正极板, 并维持两极板上的电荷分布不变, 从而在导线有**稳恒电场**及**稳恒的电流**。

电源: 提供非静电力, 并把其他形式的能量转变为电能的装置。 化学的、机械的、核力等



把单位正电荷经电源内部由负极移向正极过程中, 非静电力所作的功—— **电动势 ε** (\vec{F}_k 作功的能力)

二、**电动势**：把单位正电荷经电源内部由负极移向正极过程中，非静电力所作的功。

“非静电场” 场强 $\vec{E}_k = \frac{\vec{F}_k}{q}$ $A_k = \int_{-}^{+} q \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$

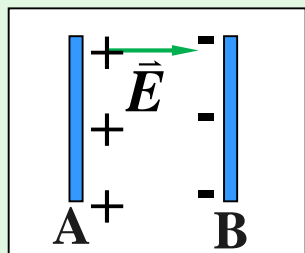
$\varepsilon = \frac{A_k}{q} = \int_{-}^{+} \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$ 单位：伏特 (V)

*若存在于整个回路L: $\varepsilon = \oint_L \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$

说明：(1) 标量，方向规定：电源内部**负极到正极**的方向。

(2) 取决于电源本身，与外电路无关。

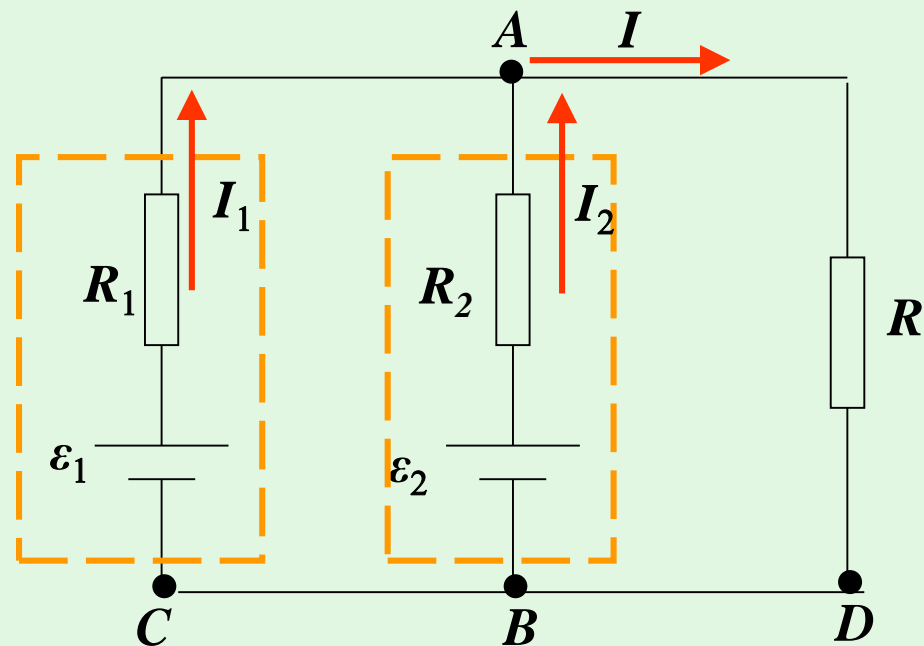
(3) 与电势差的区别：



$U_{AB} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$ 静电力的功

$\varepsilon = \int_{-}^{+} \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$ 非静电力的功

例 把两个直流电源并联起来给一个负载供电，设已知各电源的电动势及其内阻和负载的电阻，求每一电源所供给的电流 I_1 、 I_2 以及通过负载的电流 I 。



解 基尔霍夫第一定律（节点电流定律），对节点A列出电流方程：
$$I - I_1 - I_2 = 0$$

基尔霍夫第二定律（回路电压定律）

对回路ABCA：
$$I_1 R_1 - \varepsilon_1 - I_2 R_2 + \varepsilon_2 = 0$$
 降 “+”

对回路ADBA：
$$IR - \varepsilon_2 + I_2 R_2 = 0$$
 升 “-”

对这三个方程联立求解，即得各电流为：

$$I_1 = \frac{(R_2 + R)\varepsilon_1 - R\varepsilon_2}{R_1R_2 + R_1R + R_2R}$$

$$I_2 = \frac{(R_1 + R)\varepsilon_1 - R\varepsilon_2}{R_1R_2 + R_1R + R_2R}$$

$$I = \frac{R_2\varepsilon_1 + R_1\varepsilon_2}{R_1R_2 + R_1R + R_2R}$$

基本要求:

1. 理解电流强度、电流密度的概念。

$$I = \frac{dq}{dt} \quad j = \frac{I}{dS_{\perp}} \quad I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

2. 理解电源电动势的概念。 $\varepsilon = \int_{-}^{+} \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$

3. 了解欧姆定律的微分形式 $\vec{j} = \sigma \vec{E}$

4. 了解结点方程、回路电压方程

例：一电子绕原子核以 v 做匀速圆周运动，则对应的圆电流强度是：

$$I = e \frac{v}{2\pi R}$$

