**注意事项**

1）请把助教考核表打印后发给班长或课代表填写，每班一份。

2）要求缺作业的学生补交所缺作业；作业缺三分之一及以上者综合成绩将按零分计。

3）本次考试要求带计算器，考场上不能互借。

4）除平时答疑外，每个课堂在期末考试前要由任课老师另行单独安排两次（每次至少2节课时间）线下的考前答疑。

**答疑时间：6月13，20，23号，上午八点半到十一点半，西五楼116**

# 第二篇　　热学

# 分子动力学总结

一、几个基本概念

二、对理想气体的基本描述

三、能量均分定理、理想气体的内能

分子平均动能的总和一般形式为：

$$\varepsilon_k = \frac{i}{2}kT \quad = \frac{t+r+s}{2}kT$$

一个分子的平均总内能为： $E = \frac{i}{2}kT = \frac{t+r+2s}{2}kT$

四、麦克斯韦分子按速率分布定律

$$f(v) = 4\pi\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \cdot v^2$$

分子速率的三个统计平均值：

$$v_p = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \qquad v = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \qquad \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

理想气体物态方程

$$pV = \frac{M}{m} RT$$

热力学第一定律

$$Q = \Delta E + A$$

$$Q = \frac{M}{m} C \Delta T \qquad \Delta T = T_2 - T_1$$

$$C_V = \frac{i}{2} R$$

$$\Delta E = \frac{M}{m} C_V \Delta T \qquad \Delta E = E_2 - E_1$$

$$r = \frac{C_p}{C_V}$$

$$A = \int p \, \mathrm{d}V \qquad C_p = C_V + R$$

# 理想气体在各种过程中的重要公式

| 过程 | 特征 | 过程方程 | 吸收热量$Q$ | 对外做功$A$ | 内能增量$\Delta U$ |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等体 | $V=C$ | $\frac{p}{T}=C$ | $\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$ | $0$ | $\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$ |
| 等压 | $p=C$ | $\frac{V}{T}=C$ | $\nu C_{p,m}(T_2-T_1)$ | $p(V_2-V_1)$<br>$\nu R(T_2-T_1)$ | $\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$ |
| 等温 | $T=C$ | $pV=C$ | $\nu RT\ln V_2/V_1$<br>$\nu RT\ln p_1/p_2$ | $A=Q$ | $0$ |
| 绝热 | $Q=0$ | $pV^{\gamma}=C_1$<br>$V^{\gamma-1}T=C_2$<br>$p^{\gamma-1}T^{-\gamma}=C_3$ | $0$ | $-\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$<br>$\frac{1}{\gamma-1}(p_1V_1-p_2V_2)$ | $\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$ |
| 多方 | | $pV^{n}=C_1$<br>$V^{n-1}T=C_2$<br>$p^{n-1}T^{-n}=C_3$ | $\nu C_{n,m}(T_2-T_1)$ | $\frac{1}{n-1}(p_1V_1-p_2V_2)$ | $\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$ |

## △ 循环效率 与 致冷系数

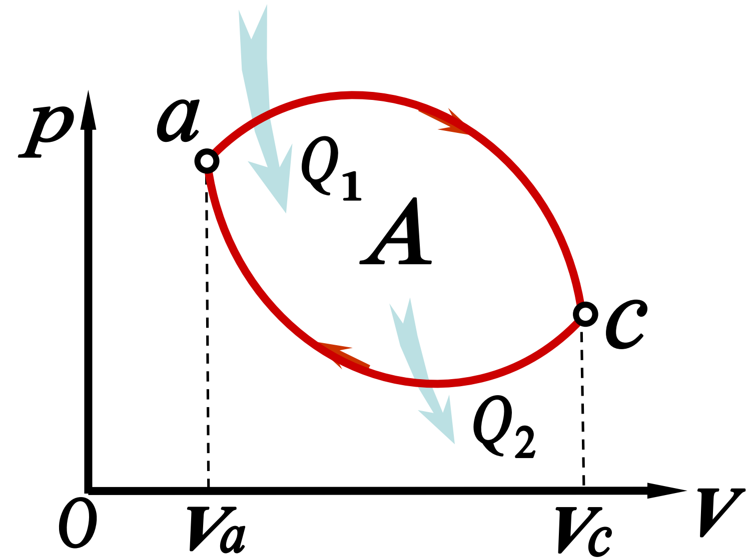
### 热机的循环效率

$$h = \frac{A}{Q_1}$$

工质对外作的净功

工质从高温热源吸收的热量

$$= \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$



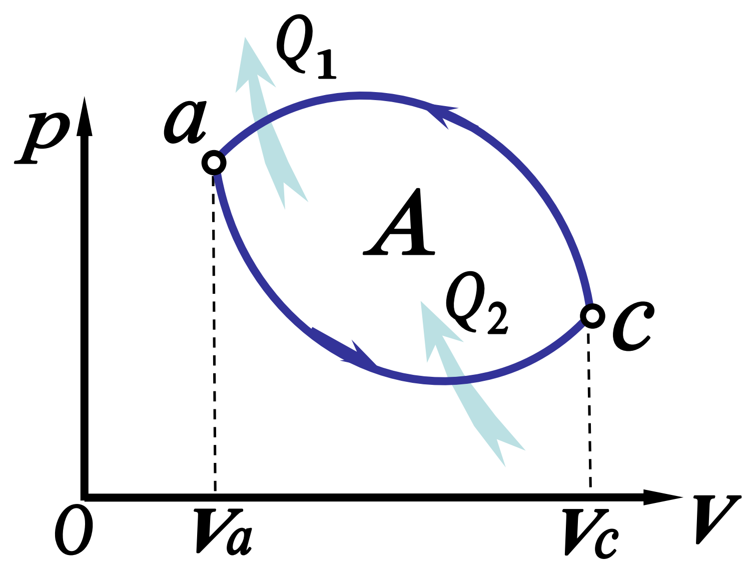

### 致冷机的致冷系数

$$w = \frac{Q_2}{A}$$

工质从低温热源吸收的热量

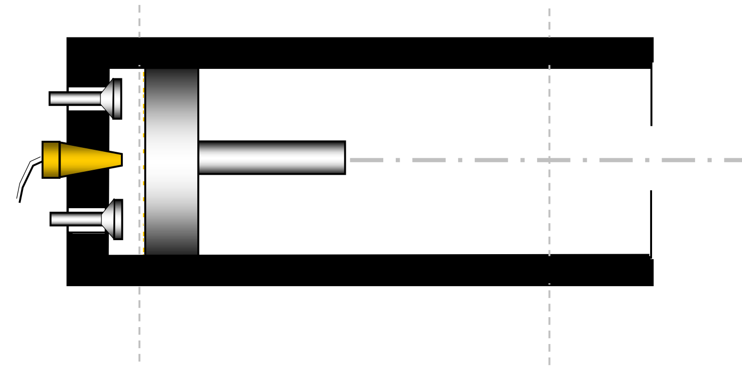
外界对工质作的净功

$$= \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$



例 应用热机效率的一般概念，导出四冲程火花塞点燃式气油发动机的理想循环（奥托循环）效率

$$h_{奥托}=1-\frac{T_a}{T_b}=1-\left(\frac{V_a}{V_b}\right)^{1-g}$$



**解法提要:**

$$h=1-\frac{Q_2}{Q_1}$$

$bc$ 等体吸热 $Q_1=C_V(T_c-T_b)$

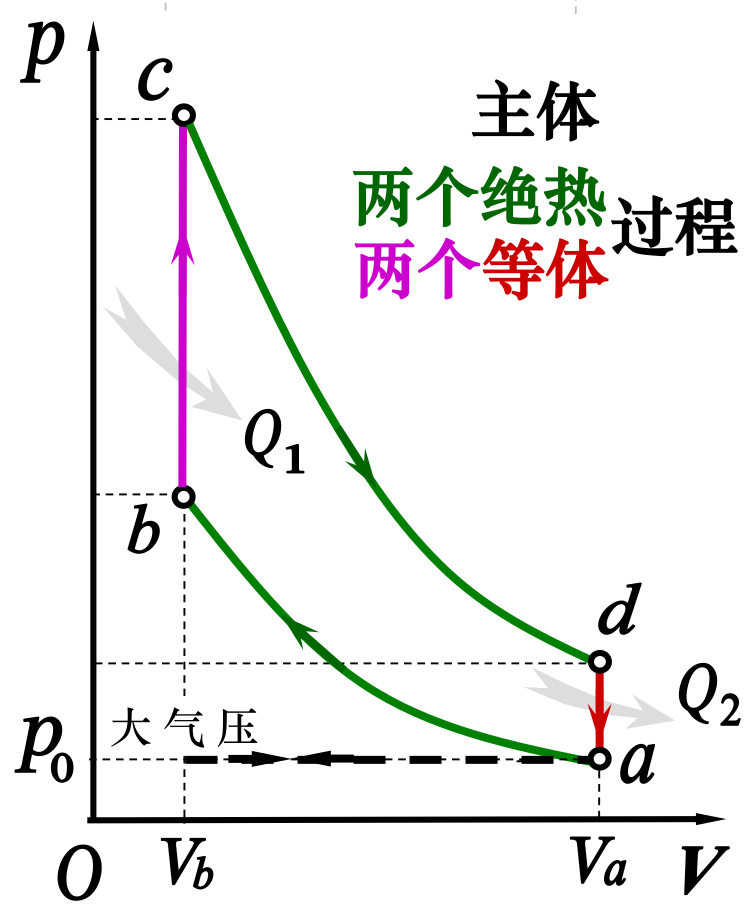
$da$ 等体放热 $Q_2=C_V(T_d-T_a)$

$$h_{奥托}=1-\frac{Q_2}{Q_1}=1-\frac{T_d-T_a}{T_c-T_b}$$

$ab,cd$ 均为绝热过程，有

$$T_bV_b^{g-1}=T_aV_a^{g-1}$$
$$T_cV_c^{g-1}=T_dV_d^{g-1}$$

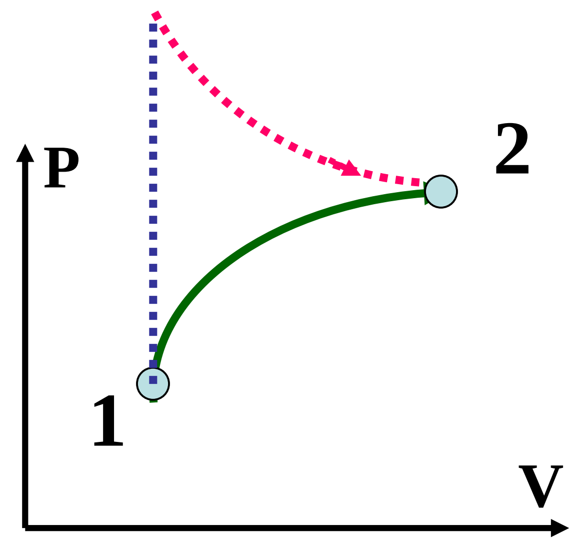
$$h_{奥托}=1-\frac{T_a}{T_b}=1-\left(\frac{V_a}{V_b}\right)^{1-g}$$



# 不同过程的熵变

| 过程 | $\Delta S = \int \frac{dQ}{dT}$ |
| --- | --- |
| 等容 | $\int \frac{\nu C_v dT}{T} = \nu C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$ |
| 等温 | $\int \frac{PdV}{T} = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$ |
| 等压 | $\int \frac{\nu C_p dT}{T} = \nu C_P \ln \frac{V_2}{V_1}$ |
| 绝热可逆过程 | 0 |
| 绝热自由膨胀 | $\int \frac{PdV}{T} = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$ |

例4. 对任意的可逆过程




$$\Delta S=\int_1^2\frac{\text{đ}Q}{T}=\int_1^2\frac{dE+\text{đ}A}{T}$$

由内能的改变
状态方程可求

可以证明:

$$S_2-S_1=\underbrace{\nu C_V\ln\frac{T_2}{T_1}}_{\text{等容}}+\underbrace{\nu R\ln\frac{V_2}{V_1}}_{\text{等温}}$$

$$S_2-S_1=\underbrace{\nu C_p\ln\frac{T_2}{T_1}}_{\text{等压}}-\underbrace{\nu R\ln\frac{P_2}{P_1}}_{\text{等温}}$$

**例**　计算不同温度液体混合后的熵变． 质量为 0.30 kg、温度为 $90^{\circ}\mathrm{C}$的水，与质量为 0.70 kg、 温度为 $20^{\circ}\mathrm{C}$的水混合后，最后达到平衡状态. 试求水的熵变. 设整个系统与外界间无能量传递 .

**解**　系统为孤立系统 , 混合是不可逆的等压过程. 为计算熵变 , 可假设一可逆等压混合过程.

设　平衡时水温为 $T'$ ，水的定压比热容为

$$c_p = 4.18\times10^3\,\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$$

由能量守恒得

$$0.30\times c_p(363\,\mathrm{K}-T') = 0.70\times c_p(T'-293\,\mathrm{K})$$

$$T' = 314\,\mathrm{K}$$

$$m_1 = 0.3\text{kg} \qquad m_2 = 0.7\text{kg}$$

$$T_1 = 363\,\text{K} \qquad T_2 = 293\,\text{K} \qquad T^{'} = 314\,\text{K}$$

各部分热水的熵变

$$\Delta S_1 = \int \frac{\mathrm{d}Q}{T} = m_1 c_p \int_{T_1}^{T^{'}} \frac{\mathrm{d}T}{T} = m_1 c_p \ln \frac{T^{'}}{T_1} = -182\,\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$\Delta S_2 = \int \frac{\mathrm{d}Q}{T} = m_2 c_p \int_{T}^{T^{'}} \frac{\mathrm{d}T}{T} = m_2 c_p \ln \frac{T^{'}}{T_2} = 203\,\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 21\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$$

显然孤立系统中不可逆过程熵是增加的 .

将1kg 20ºC的水放到100ºC的炉上加热后达100ºC，水的比热C=4.18×10³J/kg k.求水和炉子的熵变。

解：设水依次与一系列温度逐渐升高彼此相差无限小dT的热源接触，从而逐个吸热dQ达到热平衡进行可逆加热最后达100ºC

$$\Delta S_{水} = \int \frac{\text{đ}Q}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mC\,dT}{T} = mC \ln \frac{T_2}{T_1} = 1.01 \times 10^3 \, J/k$$

设炉子经历一个可逆等温放热过程（加热中炉温不变）：

$$\Delta S_{炉} = \int \frac{\text{đ}Q}{T} = \frac{1}{T}\int_1^2 \text{đ}Q = \frac{1}{T} Q_{放} = -\frac{1}{T} Cm(T_2 - T_1)$$

$$= -9.01 \times 10^2 J/k < 0$$

孤立系统熵增加

系统总熵变：$\Delta S = \Delta S_{水} + \Delta S_{冰} = 1.09 \times 10^2 J/k > 0$

# 3. 本学期必做演示实验

**期末卷面占6分，2个小题。**

一．力学

锥体上滚
直升机模型
离心节速器
对比式转动定律演示仪
常平架陀螺仪
进动仪（车轮）
伯努利原理(电吹风+乒乓球)

二．热学

伽尔顿板
麦克斯韦速率分布

三．电磁学

电荷曲率分布
静电滚筒
避雷针尖端放电
富兰克林轮
静电植绒

# 第三篇　　电磁学

# 静电场、稳恒磁场的关联物理量

| 静电场 | | 稳恒磁场 | |
|---|---|---|---|
| 物理量 | 数值表达 | 物理量 | 数值表达 |
| 电场强度 | $\vec{E}=\dfrac{\vec{F}}{q_0}$ | 磁感应强度 | **B** |
| 库仑定律 | $\vec{F}=\dfrac{q_1q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{e}_r$ | 磁场对运动电荷的作用力 | $\vec{F}=q\vec{v}\times\vec{B}$ |
| 点电荷的电场 | $\vec{E}=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{e}_r$ | 毕奥萨伐尔定律 | $d\vec{B}=\dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{Id\vec{l}\times\vec{e}_r}{r^2}$ |
| 电通量 | $\Phi_E=\int_S\vec{E}\bullet d\vec{S}$ | 磁通量 | $\Phi_M=\int_S\vec{B}\bullet d\vec{S}$ |
| 高斯定理 | $\oint_S\vec{E}\bullet d\vec{S}=\dfrac{1}{\varepsilon_0}\sum_{S内}q_i$ | 高斯定理 | $\boxed{\oint_S\vec{B}\bullet d\vec{S}=0}$ |
| 环路定理 | $\oint_L\vec{E}\bullet d\vec{l}=0$ | 安培环路定理 | $\oint_L\vec{B}\bullet d\vec{l}=\mu_0\sum_i I_i$ |
| 电偶极矩 | $\vec{p}=q\vec{l}$ | 磁偶极矩 | $\vec{P}_m=I\vec{S}$ |

# 静电场，稳恒磁场的关联物理量

| 静电场 | | 稳恒磁场 | |
|---|---|---|---|
| 物理量 | 数值表达 | 物理量 | 数值表达 |
| 电极化强度 | $\vec{P}=\frac{\sum_i \vec{p}_i}{\Delta V}=(\varepsilon_r-1)\varepsilon_0\vec{E}$ | 磁化强度 | $\vec{M}=\frac{\sum_i \vec{P}_{mi}}{\Delta V}=\frac{\mu_r-1}{\mu_r\mu_0}B=(\mu_r-1)\vec{H}$ |
| 电位移矢量 | $\vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}+\vec{P}$ | 磁场强度 | $\vec{H}=\frac{\vec{B}}{\mu_r\mu_0}$ |
| 介质中高斯定理 | $\boxed{\oint_S \vec{D}\bullet d\vec{S}=\sum_{S内} q_i}$ | 介质中安培环路定理 | $\oint_L \vec{H}\bullet d\vec{l}=\sum_i I_i$ |

不用掌握

1. 均匀带电球面

$$E = \begin{cases} 0 & r < R \\ \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} & r > R \end{cases}$$

1'. 均匀带电球体

$$E = \begin{cases} \dfrac{Q\,r}{4\pi\varepsilon_0 R^3} & r < R \\ \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} & r > R \end{cases}$$

2. 均匀带电圆柱面

$$E = \begin{cases} 0 & r < R \\ \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} & r > R \end{cases}$$

2'. 均匀带电圆柱体

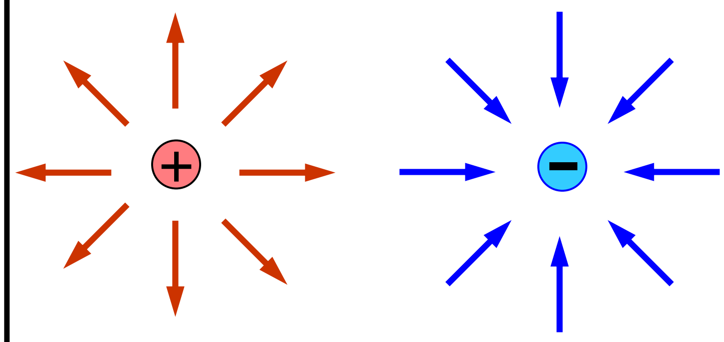
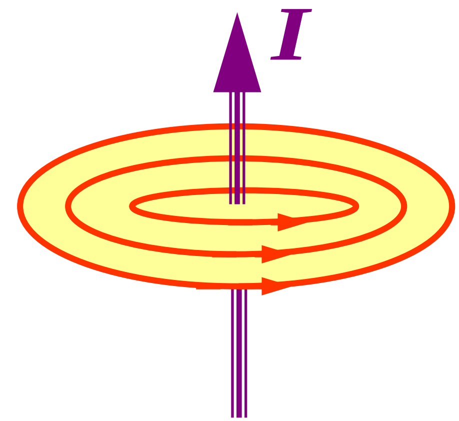
$$E = \begin{cases} \dfrac{\lambda\,r}{2\pi\varepsilon_0 R^2} & r < R \\ \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} & r > R \end{cases}$$

3. 均匀带电无限大平面

$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

4. 均匀带电球体空腔

填补法

| | 静电场 | 稳恒磁场 |
|---|---|---|
| 形状 |  |  |
| 性质 | 有源无旋场 | 有旋无源场 |
| 强度大小 | $\vec{E} = \int \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon r^2}\vec{e}_r$<br>真空中 $\varepsilon \to \varepsilon_0$ | $\vec{B} = \int \frac{\mu}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{e}_r}{r^2}$<br>真空中 $\mu \to \mu_0$ |

| | 静电场 | 稳恒磁场 |
| --- | --- | --- |
| 高斯定理 | $\oint_S \vec{D}\cdot d\vec{S} = \sum_{S内} q_i$（有源场） | $\oint_S \vec{B}\cdot d\vec{S} = 0$（无源场） |
| 环路定理 | $\oint_L \vec{E}\cdot d\vec{l} = 0$（无旋场，保守场） | $\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l} = \sum I_i$（有旋场，非保守场） |
| 与实物的相互作用力 | 库仑力：$\vec{F} = \dfrac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{e}_r = q_0\vec{E}$ | 洛伦兹力：$\vec{F} = q\vec{v}\times\vec{B}$ |

**静电场特有的性质：**

电势：

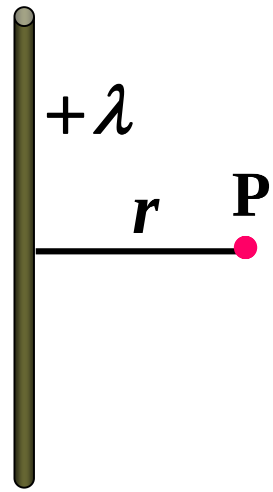
$V_P = \int_P^{V=0} \vec{E} \cdot d\vec{l}$ （场⟶势） $\vec{E} = -\nabla V$（势⟶场）

静电力的功：$A_{ab} = \int_a^b q\vec{E} \cdot d\vec{l} = q\left(V_a - V_b\right) = W_a - W_b$

静电势能：$W = qV$ 或 $W = \int V dq$

## 常用公式：

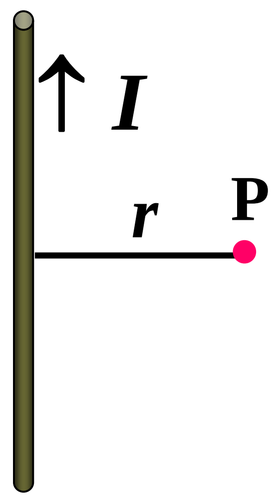
无限长带电棒场强：




$$E=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$$

方向：径向

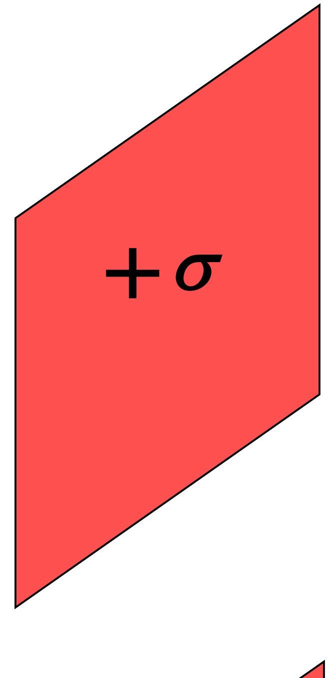
无限长直线电流磁场：




$$B=\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

方向：环绕直线的同心圆的切线方向

无限大带电平面场强：

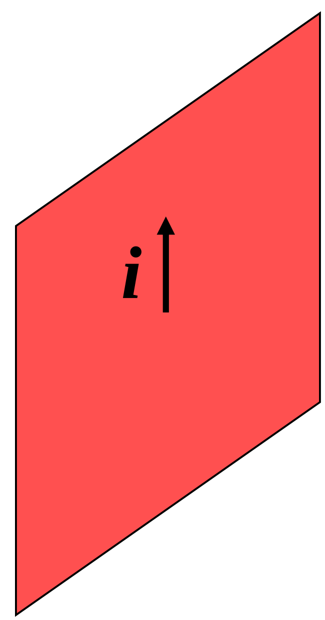



$$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

方向：垂直于平面

均匀分布电流

无限大平面磁场：

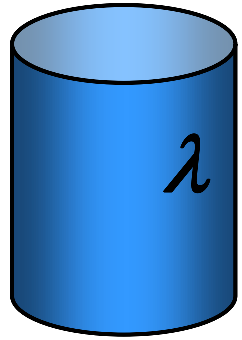



$$B=\frac{1}{2}\mu_0 i$$

方向：平行于平面

但与电流方向垂直

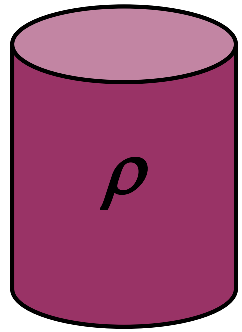
无限长带电圆柱面场强：




内部： $E = 0$

外部： $E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$

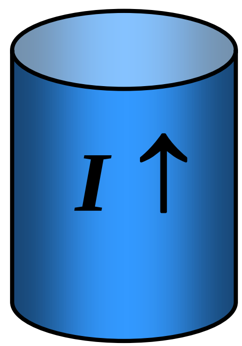
无限长带电圆柱体场强：




内部： $E = \dfrac{\rho r}{2\varepsilon_0}$

外部： $E = \dfrac{\rho R^2}{2\varepsilon_0 r}$

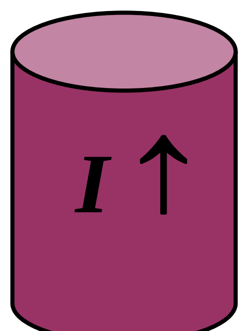
无限长载流圆柱面磁场：




内部： $B = 0$

外部： $B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}$

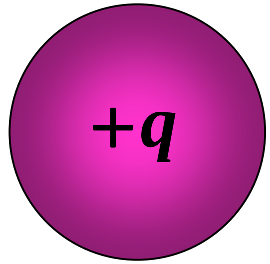
无限长载流圆柱体磁场：




内部： $B = \dfrac{\mu_0 I r}{2\pi R^2}$

外部： $B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}$

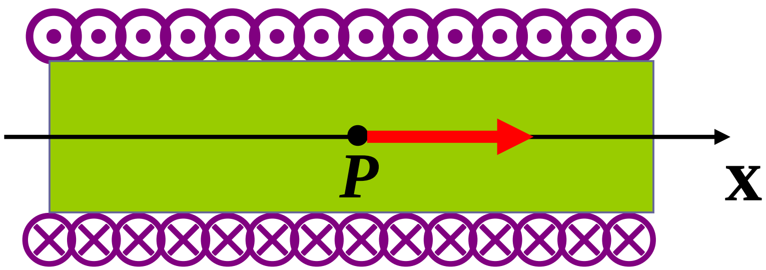
均匀带电球体场强：




内部：$E=\dfrac{qr}{4\pi\varepsilon_0 R^3}$

外部：$E=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

无限长载流直螺线管的磁场：



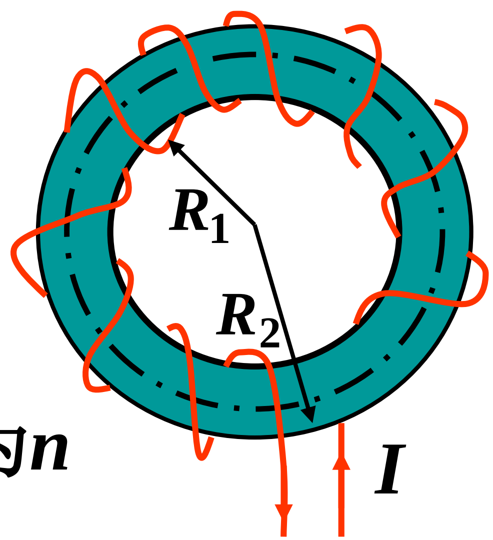

$B_{内}=\mu_0 nI$ —均匀磁场

$B_{外}\approx 0$

螺绕环的磁场：

总匝数为$N$，

单位长度匝数为$n$




$B_{内}=\dfrac{\mu_0 NI}{2\pi r}$

$B_{外}\approx 0$

当 $R_{管截面}<<R$ 即：$r\approx R$

$B_{内}=\mu_0 nI$

预祝同学们
期末考试取得好成绩！