[1]运动和力

位移：$\Delta\vec{r}$. 位移的大小为$|\Delta\vec{r}| \neq \Delta|r| = |r_2| - |r_1|$.

平均速度：$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$.

瞬时速率：$v = \frac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$

抛体运动：

$$\begin{aligned} v =& \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\vec{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\vec{j} \\ \vec{v} =& (v_0\cos\theta_0)\vec{i} + (v_0\sin\theta_0 - gt)\vec{j} \\ \vec{r} =& \int_0^t \vec{v}\mathrm{d}t = (v_0\cos\theta_0\vec{i} + v_0\sin\theta_0\vec{j})t - \frac{1}{2}gt^2\vec{j} = \overrightarrow{v_0}t + \frac{1}{2}\vec{g}t^2 \end{aligned}$$

消去t，得抛体轨迹方程为

$$y = x\tan\theta_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2\cos^2\theta_0}$$

求得射程，即抛物线与Ox轴的一个交点的坐标为

$$x_m = \frac{v_0^2\sin 2\theta_0}{g}$$

显然，当$\theta = 45^\circ$时射程最大.

自然坐标系：一根坐标轴沿轨迹沿切线方向，单位矢量用 $\overrightarrow{e_t}$ 表示；另一坐标轴沿法线方向并指向凹侧，单位矢量用 $\overrightarrow{e_n}$ 表示.

曲线运动：

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\overrightarrow{e_t} + \frac{v^2}{R}\overrightarrow{e_n} \\ a_t &= \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}, \quad a_n = \frac{v^2}{R} \\ \vec{a} &= \overrightarrow{a_t} + \overrightarrow{a_n} \end{aligned}$$

方向用与$\overrightarrow{e_n}$的夹角$\phi = \arctan\frac{a_t}{a_n}$表示.

空间绝对性：空间两点的距离不管从哪个坐标系测量都相同.

时间绝对性：时间与坐标系无关

伽利略(坐标)变换式：$\boldsymbol{v}_{PK} = \boldsymbol{v}_{PK'} + \boldsymbol{v}_{K'K}$. 质点在两个相对做匀速直线运动的参考系中的加速度相同.

牛顿第一定律：任何物体都保持静止的或沿一直线做匀速运动的状态，直到作用在它上面的力迫使它改变这种状态为止. 也叫做惯性定律. 牛顿第一定律只适用于惯性参考系下低速运动的宏观物体，即在该参考系观察一个不受力作用的物体将保持其静止或匀速直线运动状态不变. 不遵守第一定律的参考系称为非惯性参考系.

牛顿第二定律：

- $\vec{F}=m\vec{a}$. 物体受到外力作用时，它所获得的加速度大小与外力的大小成正比，并与物体的质量成反比，加速度的方向与外力的方向相同.
- $\vec{p}=m\vec{v}$. 运动的变化与所加的动力成正比，并且发生在这力所沿的直线的方向上.

牛顿第三定律： $\vec{F}_{AB}=\vec{F}_{BA}$. 两个物体之间的作用力和反作用力，在同一直线上，大小相等而方向相反.

基本力：

- 万有引力：物体受地球的引力的一部分提供了向心力，剩余的分力才是重力.
- 电磁力：除万有引力外，几乎是所有宏观力的缔造者
- 强力
- 弱力

摩擦力：

- 静 摩 擦 力 $F_s=\mu_s F_N$
- 滑动摩擦力 $F_k=\mu_k F_N$
- 一般$\mu_k<\mu_s<1$
- **只有不受摩擦的轻绳上的张力才处处相等。**

伽利略相对性原理（力的相对性原理）**：任何惯性系对力学规律都是等价的.** 在一个惯性系的内部所作的任何力学的实验都不能确定这一惯性系本身是在静止状态还是在做匀速直线运动.

非惯性系： 对地面参考系做加速运动的系统.

惯性力： 大小等于物体质量m和非惯性系加速度a的乘积，但方向和a相反.

[2]运动的守恒量和守恒定律

质心： 与质点系质量分布有关的一个代表点，它的位置在平均意义上代表着质量分布的中心.

$$\boldsymbol{r}_C=\frac{\sum m_i\boldsymbol{r}_i}{m}=\frac{\int \boldsymbol{r}\mathrm{d}m}{m}$$

其中 $\mathbf{r}_C$ 表示质心的位矢. **系统内，内力是成对出现的。**

> 重心与质心的区别
>
> 概念不同：质心，指物质系统上被认为质量集中于此的一个假想点（质量分布的中心）。重心是指在地球对物体各部分引力的合力的作用点.
>
> 位置不同：物体的重心与质心的位置不一定重合，除非重力场是均匀的，否则同一物质系统的质心与重心通常不在同一假想点上。
>
> 背景不同：质心不一定要在有重力场的系统中，当物体或质点组与地球相距极远时，可以认为它们不再受重力，重心也就失去了意义，但是质心的概念却仍然有效。

质心运动定理： 不管物体的质量如何分布，也不管外力作用在物体的什么位置上，质心的运动就像是物体的全部质量都集中于此，而且所有外力也都集中作用其上的一个质点的运动一样.

动量定理： 物体在运动过程中所受合外力的冲量等与物体动量的增量. **只适用于惯性参考系.**

$$\int_{t_1}^{t_2} \mathbf{F}\,\mathrm{d}t = \boldsymbol{I} = \boldsymbol{p_2} - \boldsymbol{p_1}$$

冲力：在碰撞中，两物体相互作用的时间**极为短促**，其量值的变化又**极大**.

动量守恒定律：如果系统所收到的外力矢量和为零，则系统的总动量保持不变. 物理学最基本普世原理.

火箭速度：$\mathrm{d}v = -u\frac{\mathrm{d}m}{m}$

引力势能：$E = -G_0 Mm\frac{1}{r}$

弹性势能：$E = \frac{1}{2}kx^2$

角动量（动量矩）：

$$\boldsymbol{L} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{p}$$

其大小为 $L = rp\sin\phi$，ϕ指向是由 $\boldsymbol{r}$ 经小于 180° 的角转到 $\boldsymbol{p}$ 的右手螺旋定则的前进方向.

力臂：力的作用线到转动轴的垂直距离.

力矩：

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}$$

角动量定理：质点所受的合外力矩等于它的角动量对时间的变化率.

$$\boldsymbol{M} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{L}}{\mathrm{d}t}$$

注意：功是标量，单位为 J；力矩是矢量，单位为 $N \cdot m$.

角动量守恒定律： 如果作用在质点上的外力对某定点的力矩为零，则质点对该定点的角动量在运动过程中保持不变.

$$\boldsymbol{L} = \text{常量} \quad (\boldsymbol{M} = 0)$$

因作用在小球上的有心力对力心的力矩为零，故圆周运动的小球对圆心的角动量守恒，有

$$r_1 m v_1 = r_2 m v_2$$

功：

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{F} \times \Delta\boldsymbol{r}$$

功率：力在单位时间内做的功.

$$p = \frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{v}$$

能量：各种运动形式的一般量度，是**物体状态的单值函数**，状态是用**位置**和**速度**两个**状态参量**来描述的.

动能定理：合外力对物体做的功等于物体动能的增量.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$
$$A = E_{kb} - E_{ka}$$

保守力： 功的大小只与物体的始末位置有关，而与所经历的路径无关.

$$\oint \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{r} = 0$$

质点沿任意闭合路径运动一周时，保守力对它所做的功为零.

相互作用力： 一对相互作用力所做总功只与作用力大小和相对位移有关，与参考系选择无关.

质点系的动能定理： 系统的外力和内力做功的总和等于系统内能的增量.

$$\boldsymbol{A}_e + \boldsymbol{A}_i = \Delta E_k》$$

质点系的功能原理： 系统机械能增量等于**外力**所做的功与**非保守内力**的功的总和.

机械能守恒定律： 如果一个系统内只有**保守力**做功，其他内力和一切外力都不做功，则系统内个物体的动能和势能可以相互转化，但其机械能的总值不变.

能量守恒定律： 一个孤立系统经历任何变化时，该系统的所有能量的总和是不变的，能量只能从一种形式转化为另一种形式，或从系统内的一个物体传给另一个物体.

宇宙速度：

1. 第一宇宙速度：

   环绕地球运动所需向心力由万有引力提供
   $G\frac{mm_E}{R^2} = \frac{mv_1^2}{R}$，$G\frac{mm_e}{R^2} = mg$
   解得：$v_1 = \sqrt{gR} = 7.91 \times 10^3 \text{ m/s}$
2. 第二宇宙速度（逃逸速度）：

   $\frac{1}{2}mv_2^2 = G\frac{mm_E}{R}$
   解得：$v_2 = \sqrt{2gR} = 11.2 \times 10^3 \text{ m/s}$
3. 第三宇宙速度：

   $\frac{1}{2}mv_3^2 = G\frac{mm_E}{r_{地日}}$
   解得：$v_3 = \sqrt{\frac{2Gm_e}{r_{地日}}} = 42.2 \times 10^3 \text{ m/s}$

碰撞： 多个物体相互接近或发生接触时，在极为短暂的时间内运动状态发生显著变化的作用过程.

- **散射：** 相互接近时，斥力迫使物体偏离原运动方向运动的碰撞.
- **对心碰撞：** 撞前撞后速度都在两球的中心连线上的碰撞.

碰撞定律： 碰撞后两球分离速度 $v_2 = v_1$ ，与碰撞前两球接近速度 $v_{10} - v_{20}$ 成正比.

$$e = \frac{v_2 - v_1}{v_{10} - v_{20}}$$

其中 e 叫做恢复系数（在斜碰情况下，上式速度都是指沿碰撞接触处法线方向上的相对速度）.

- 完全非弹性碰撞：$e = 0, v_1 = v_2$ ，机械能不损失
- 完全弹性碰撞：$e = 1$ ，损失机械能最多

注意：机械能损失的大小完全取决于 $\frac{m_1}{m_2}$ 和 e ， 它们越小，机械能损失越多.

[3]刚体和流体的运动

刚体：无数个质元组成的一种特殊的质点系，无论它在多大外力的作用下，系统内任意两质元间的距离始终保持不变，即忽略形变. 刚体内力做功为零.

平动：刚体内任何一条给定的直线，在运动中始终保持它的方向不变 (直线指的方向 $\neq$ 运动方向).

转动：刚体的各个质元在运动中都绕转轴做圆周运动. 如果转轴是固定不动的，就叫做定轴转动.

自由度：确定一个物体在空间的位置所需要的独立坐标的数目. 刚体有3个平动自由度和3个转动自由度.

力矩：外力对转轴的作用力分成与转轴平行的分力（忽略）和与转轴垂直的分力. 方向由$\vec{r}$经小于$180°$的交转到$\vec{F}$的右手螺旋前进的方向.

力臂：转轴到与转轴垂直的分力间的距离

角速度矢量：$\vec{v}=\vec{\omega}\times\vec{r}$.

转动惯量：$J=\int r^2\mathrm{d}m$. 各质元的质量与各自到转轴的距离平方的乘积之和.

影响转动惯量的因素：质量大小、质量分布、定轴位置.

形状	转动惯量
转轴通过棒的中心并和棒垂直	$J=\frac{1}{3}ml^2$
转轴通过棒的一端并和棒垂直	$J=\frac{1}{12}ml^2$
转轴通过中心与圆环面垂直	$J=mr^2$
转轴通过中心沿圆环直径	$J=\frac{1}{2}mr^2$
转轴通过中心与圆盘垂直	$J=\frac{1}{2}mr^2$
转轴通过中心与沿圆筒几何轴	$J=\frac{m}{2}(r_1^2+r_2^2)$

平行轴定理:$J=J_c+mh^2$. 刚体对任意一转轴的转动惯量等与刚体对通过质心并与该轴平行的轴的转动惯量J_c加上缸体质量与两轴间距离二次方的乘积.

力矩的功：$\mathrm{d}A=M\mathrm{d}\theta$

转动动能：$E_k=\frac{1}{2}J\omega^2$.

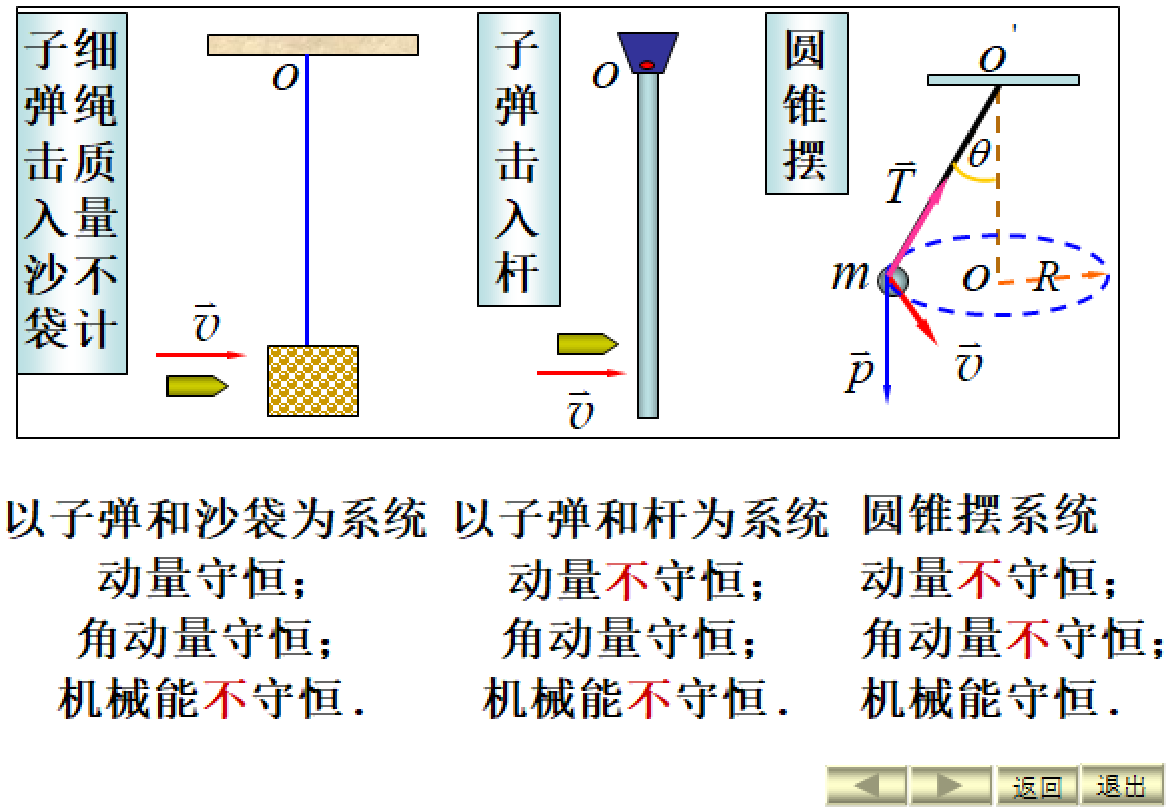
动能定理：$A=\int_{\theta_1}^{\theta_2}M\mathrm{d}\theta=\frac{1}{2}J\omega_2^2-\frac{1}{2}J\omega_2^2$. 总外力矩对刚体所做的功等于刚体转动动能的增量.

角动量：$L=J\omega$. 各质元角动量沿Oz轴的分量和.

角动量定理：

- $M=\frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}t}$. 刚体所受到的对定轴的总外力矩等于刚体对该轴的角动量的时间变化率.
- $\int_{t_0}^{t}M\mathrm{d}t=J\omega-J\omega_0$. 冲量矩之和等于定轴转动物体对轴的角动量增量.

角动量守恒定律：当外力给定轴的总力矩为零时，物体对该轴的角动量保持不变.



定向回转仪

利用物体高速转动时转轴方向不变的特性制成。由于转子的角动量，回转仪有抗拒方向改变的趋向；运用到角动量守恒定律：刚体所受合外力矩为零时，动量矩守恒，刚体便在惯性支配下转动，其动量矩的大小和轴的方向将保持不变。

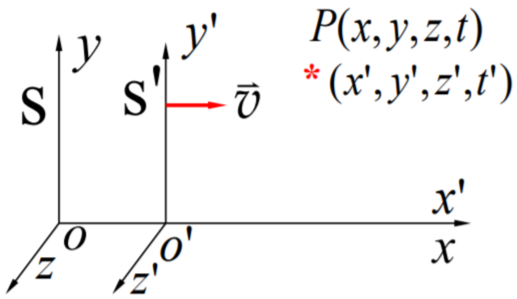
[4]相对论基础

狭义相对论基本原理：

1. **相对性原理：** 物理定律在一切惯性参考系中都具有相同的数学表达形式，即所有惯性系对于描述物理现象都是等价的.
2. **光速不变原理：** 在彼此相对做匀速直线运动的任一惯性参考系中，所测得的光在真空中的传播速度都是相等的.

- 狭义相对性原理是伽利略相对性原理的推广
- 光速不变与伽利略变换相矛盾
- 否定牛顿绝对时空观

洛伦兹坐标变换：



坐标系$K^{'}$以速度u相对于坐标系K做匀速直线运动. 当$t^{'}=t=0$时原点$O^{'}$与O重合.

$$\begin{cases} x^{'}=\frac{x-ut}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ y^{'}=y \\ z^{'}=z \\ t^{'}=\frac{t-\frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{cases} \quad 或 \quad \begin{cases} x=\frac{x^{'}+ut^{'}}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ y=y^{'} \\ z=z^{'} \\ t=\frac{t^{'}+\frac{ux^{'}}{c^2}}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{cases}$$

相对论速度变换：

$$\begin{cases} v_x^{'}=\frac{v_x-u}{1-\frac{uv_x}{c^2}} \\ v_y^{'}=\frac{v_y\sqrt{1-\beta^2}}{1-\frac{uv_x}{c^2}} \\ v_z^{'}=\frac{v_z\sqrt{1-\beta^2}}{1-\frac{uv_x}{c^2}} \end{cases} \quad 或 \quad \begin{cases} v_x=\frac{v_x^{'}+u}{1+\frac{uv_x^{'}}{c^2}} \\ v_y=\frac{v_y^{'}\sqrt{1-\beta^2}}{1+\frac{uv_x^{'}}{c^2}} \\ v_z=\frac{v_z^{'}\sqrt{1-\beta^2}}{1+\frac{uv_x^{'}}{c^2}} \end{cases}$$

说明：

- $\beta=\frac{u}{c}$
- 相对论因子 $\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$
- 当$u\ll c$时，洛伦兹变换和相对论速度变换转化为伽利略变换
- 当$u>c$时，洛伦兹变换失去意义，说明物体的速度不能超过真空中的光速

异时异地公式：

$$\begin{cases} \Delta x^{'}=\gamma(\Delta x-u\Delta t) \\ \Delta t^{'}=\gamma(\Delta t-\frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases} \quad 或 \quad \begin{cases} \Delta x=\gamma(\Delta x^{'}+u\Delta t^{'}) \\ \Delta t=\gamma(\Delta t^{'}+\frac{u}{c^2}\Delta x^{'}) \end{cases}$$

同时的相对性：

K系	$K^{'}$系
同时同地	同时同地
同时异地	异时异地

两个具有因果关联事件的时间顺序不会因参考系而颠倒.

时间的膨胀：$\Delta\tau=\gamma\Delta\tau_0$

固有时τ_0（本征时间）：用一个相对**事件发生地**静止的钟测量的两个**同地**事件的时间间隔.

非固有时τ（观测时间）：在相对**事件发生地**运动的参考系中，用置于不同地点的两只钟测量的两个异地事件的时间间隔.

长度的收缩：$\Delta x=\frac{\Delta x_0}{\gamma}$

固有长度（Δx_0）：在**相对物体静止**的参考系中测量的长度.

观测长度（Δx ）：在相对物体运动的参考系中**同时**测量的长度.

比较狭义相对论的时空观和经典力学时空观的异同

经典力学认为，在所有的惯性参考系中，时间和空间的量度是绝对的，它们不随进行量度的参考系而变化，说明了一切惯性系对力学规律的的等价性；狭义相对论认为，在所有的惯性参考系中，物理现象都是等价的，说明惯性系对力学、电磁学定律等一切自然规律的等价性.

伽利略变换关系式中长度和时间是绝对的，反映了经典力学中的绝对时空观；洛伦兹变换公式中长度和时间是相对量；二者的本质差别在于对长度和时间的认识．洛伦兹变换是狭义相对论中的基本公式可推导出同时性的相对性、长度收缩、时间膨胀等重要结论，当相对运动速度$v\ll c$时洛伦兹变换过渡到了伽利略变换.

静止质量：m_0质点在相对静止的惯性系中测出的质量，与之相对的m则是质点对观察者有相对速度v时的质量，称为**运动的质量**(相对论性质量）.

二者关系为

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

相对论基本方程：

$$\boldsymbol{F}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{m_0}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}\boldsymbol{v}\right)$$

相对论动能表达式：

$$E_k=E-E_0=mc^2-m_0c^2$$

其中E_0为静能，E为运动时的总能量.

相对论动量和能量关系式：

$$E^2=c^2p^2+E_0^2$$

- 光子 $m_0=0$
- 光子能量 $E=pc$
- $p=\sqrt{2E_k(m_0+\frac{E_k}{2c^2})}$

[5]气体动理论

平衡态：在不受外界影响的条件下，系统的**宏观性质**不随时间变化的状态称为平衡态，否则就是非平衡态；平衡态是一个理想模型；从微观方面看，组成系统的分子的热运动是永不停息的，实质是**热动平衡状态**.

定常态：例如将一根金属棒的两端分别放在沸水和冰水混合物中，一段时间后棒上的温度不随时间变化，但这种状态不是平衡态，而是定常态，因为金属棒与外界有能量交换.

准静态过程：（平衡过程）过程进展十分缓慢，使所经历的一系列中间状态都无限接近平衡状态；准静态过程是一个理想模型.

气体的状态参量：

1. 气体所占的体积V：气体的体积是气体分子所能达到的空间，并非气体分子本身体积的总和；单位为m^3.
2. 压强p：气体的压强表现为气体作用在容器壁单位面积上的指向器壁的垂直作用力，是气体对器壁碰撞的结果；单位为Pa.
3. 温度T：温度的不同反映物质内部分子运动剧烈程度的不同；单位为K.

注意：热力学温度T和摄氏温度t的关系：$T/\mathrm{K}=t/^\circ\mathrm{C}+273.15$.

理想气体的物态方程：理想气体能无条件服从玻意耳定律、盖吕萨克定律和查理定律，即在密度不太高、压强不太大和温度不太低的试验范围内，有

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

普适气体常量：$R=8.31\ \mathrm{J/(mol\cdot K)}$.

分子热运动：即大量分子的无规则运动，它的特征是分子的**永恒运动**和**频繁的相互碰撞**.

理想气体的微观模型：

- 力学假设
  1. 分子线度与分子间距相比可忽略，分子被看作质点，
  2. 除分子碰撞的瞬间外，忽略分子间的相互作用力
  3. 气体分子在运动中遵守经典力学规律，假设碰撞为弹性碰撞
  4. 一般情况都忽略分子的重力

  理想气体可看作是自由运动的弹性质点群
- 统计假设
  1. 平衡态时，气体分子数密度n分布均匀
  2. 平衡态时，相同速率的分子沿各个方向运动的平均分子数（概率）相等，即

$$\overline{v_x^2}=\overline{v_y^2}=\overline{vz_z^2}=\frac{1}{3}\overline{v^2}$$

分子平动动能：

$$\overline{\epsilon_k}=\frac{1}{2}m_0\overline{v^2}=\frac{3}{2}kT$$

表明：**气体的温度是气体分子平均平动动能的量度.**

压强公式：

$$p=\frac{2}{3}n\overline{\epsilon_k}=nkT$$

玻尔兹曼常量：

$$k=\frac{R}{N_A}=1.38\times10^{-23}\mathrm{J/K}$$

气体分子的方根均速率：

$$v_{rms}=\sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\frac{3kT}{m_0}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

表明：在温度相同时，各分子的平均平动动能相等，但方根均速率不等.

分子的自由度：

分子	自由度
单原子气体分子	3个平动自由度
双原子分子	3个平动自由度和2个转动自由度
多原子分子	3个平动自由度和3个转动自由度

注意：

- CO_2有5个自由度
- 气体分子不完全是刚性的，内部会出现振动，但一般不考虑振动自由度
- 每一个振动自由度有$\frac{1}{2}kT$的平均振动动能和$\frac{1}{2}kT$的平均弹性势能
- t 个平动自由度，r 个转动自由度，s 个振动自由度，$\bar{\epsilon}=(t+r+2s)\frac{1}{2}KT$

能量按自由度均分定理：

- 在温度为T的**平衡态**下，气体分子任一自由度的平均动能都等于$\frac{1}{2}kT$.
- 如果气体分子共有i个自由度，则每个分子的平均总动能为$\overline{\epsilon_k}=\frac{i}{2}kT$

气体的内能：

- 气体分子的能量以及分子与分子之间的势能
- 对于理想气体来说不计分子与分子之间的相互作用力
- $1\ \mathrm{mol}$理想气体的内能是$E_0=N_A\left(\frac{i}{2}kT\right)=\frac{i}{2}RT$

表明：

- 一定量的理想气体的内能完全取决于分子运动的自由度i和气体的热力学温度T，而与气体的体积与压强无关
- 理想气体的内能只是温度的单值函数

气体分子的速率分布函数：

$$f(v)=\lim_{\Delta v\to0}\frac{\Delta N}{N\Delta v}$$

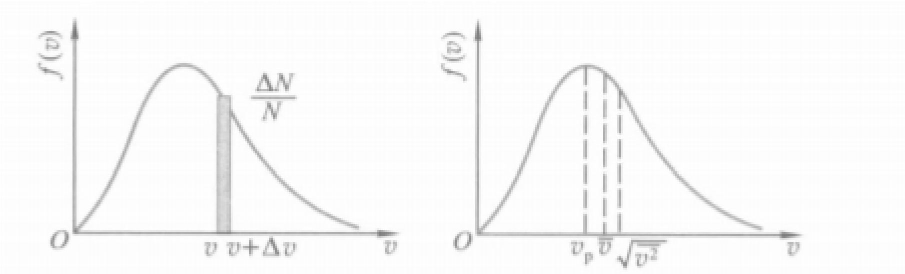
意为：

- 速率v附近的单位速率区间内分子数占总分子数的比率
- 对于单个分子来说，表示分子速率在v附近单位速率区间内的概率

归一化条件：

$$\int_0^\infty f(v)\mathrm{d}v=1$$

麦克斯韦速率分布曲线：



(a) 某一温度下速率分布曲线　(b) 某一温度下,分子速率的3个统计值

- 大分子速率的分子为数极少，但所起作用很大
- $v_p \ < \ \overline{v} \ < \ \sqrt{\overline{v^2}}$

$$\begin{array}{ll} \text{方均根速率} & \sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\dfrac{3RT}{M}}=\left[\displaystyle\int_0^\infty v^2 f(v)\,\mathrm{d}v\right]^{\frac{1}{2}} \\ \text{平均速率} & \overline{v}=\sqrt{\dfrac{8RT}{\pi M}}=\displaystyle\int_0^\infty vf(v)\,\mathrm{d}v \\ \text{最概然速率} & v_p=\sqrt{\dfrac{2RT}{M}} \end{array}$$

最概然速率：在一定温度下，速度大小与v_p相近的气体分子的百分率为最大，常用来反映分子速率的分布情况. 温度较低时，最概然速率较小，分子速率分布比较其中，无序性较小.

平均碰撞频率：$1\,s$内一个分子和其他分子碰撞的平均次数.

平均自由程：每两次连续碰撞间一个分子运动的平均路程.

假定每个分子都是直径为 d 的小球，一个分子以平均相对速率 $\overline{v_r}$ 运动，其他气体分子都静止不动，有

$$\overline{Z}=\pi d^2\overline{v_r}n=\sqrt{2}\,\pi d^2\overline{v}n$$
$$\overline{\lambda}=\frac{\overline{v}}{\overline{Z}}=\frac{1}{\sqrt{2}\,\pi d^2 n}=\frac{kT}{\sqrt{2}\,\pi d^2 p}$$

注意：分子有效直径 d 将随速度的增加而减小，所以当T与p的比值一定时，λ将随温度的升高而略有增加.

[6]热力学基础

热力学第零定律：如果两个物体都与确定状态的第三物体处于热平衡，则该两个物体彼此处于热平衡. 温度是决定一个物体是否与其他物体处于热平衡的宏观性质.

改变系统状态的方式：$\begin{cases}\text{做功} & \text{通过宏观的有规则运动交换能量} \\ \text{传热} & \text{通过分子的无规则运动交换能量}\end{cases}$

热力学内能：热力学系统在一定状态下具有的能量 E .

热力学第一定律：外界对系统传递的热量，一部分使系统的内能增加，另一部分是用于系统对外做功.

$$Q=E_2-E_1+A=E_2-E_1+\int p\,\mathrm{d}V$$

注意:

1. 系统由一个状态变化到另一状态时，内能的改变量只决定于初、末两个状态，而与所经历的过程无关，即**内能是系统状态的单值函数**
2. 系统由一个状态变化到另一状态时，所做的**功**与系统所经历的过程有关.
3. 热力学第一定律适用于**任何系统**的**任何过程**(非准静态过程亦成立)，是自然界的普遍规律.

热容量：在一定条件下，温度改变1 K所吸收或放出的热量.

$$C=\lim_{\Delta T\to 0}\frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

摩尔定容热容：1 mol气体在体积不变的条件下，温度改变1 K所吸收或放出的热量.

$$C_{V,m}=\frac{i}{2}R$$

摩尔定压热容：1 mol气体在体积不变的条件下，温度改变1 K所吸收或放出的热量. (迈耶公式)

$$C_{p,m}=\frac{i+2}{2}R$$

摩尔热容比：$\gamma=\frac{C_{p,m}}{C_{V,m}}=\frac{i+2}{i}$.

注意：普适气体常量R等于1 mol理想气体在等压过程中温度升高1 K时对外所做的功.

等温过程：

$$Q_r=A=nRT\ln\frac{p_1}{p_2}$$

绝热过程：

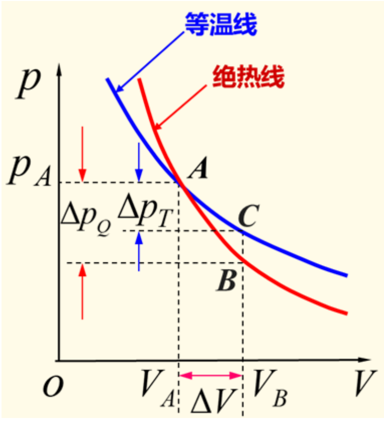
系统与外界无热交换

1. 无线缓慢的准静态过程或者进行飞快、热量来不及与四周交换的非准静态过程;
2. 对外做功等于内能消耗
   $A=-(E_2-E_1)=nC_{V,m}(T_2-T_1)=\dfrac{p_1v_1-p_2v_2}{\gamma-1}$
3. 绝热过程方程(泊松公式)

$pV^{\gamma}=C_1$
$V^{\gamma-1}T=C_2$
$p^{\gamma-1}T^{-\gamma}=C_3$

4. 绝热自由膨胀到真空气体分子对外不做功，即$A=0$.

绝热过程与等温过程的比较：



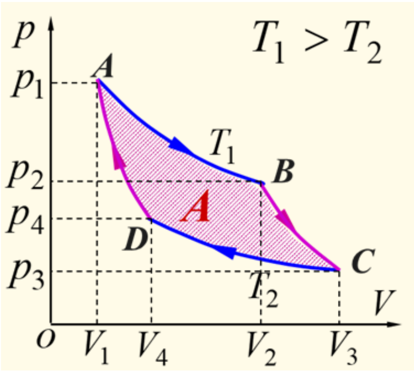
在两线交点处绝热线的斜率绝对值 $\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}V}\right)_Q=\gamma\frac{p_A}{V_A}$ 大于等温线的斜率绝对值 $\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}V}\right)_r\frac{p_A}{V_A}$.

循环过程：从某一状态出发经过一系列变化过程，最后又回到初始状态的过程；在 $p-V$ 图上沿闭合曲线顺时针方向为正循环，做正循环的设备称为**热机**，做你循环的设备称为**制冷机**；**特征**：经历一个循环后系统内能不变.

热机：

1. 定义：**工质**（即工作物质，表示做循环过程的热力学系统）从**高温热源**吸取热量 Q_1 ，其中一部分热量 Q_2 传给**低温热源**，同时工质对外做功 A .
2. 热机效率：系统对外做功与从高温热源吸热的比率.
3. 热泵应用：冷暖空调.

卡诺循环：工质只和高温热源或低温热源交换能量，没有散热漏气等因素存在.



- AB——等温膨胀

  吸收热量

$$Q_1=nRT_1\ln\frac{V_2}{V_1}$$

- BC——绝热膨胀

$$T_1V_2^{\lambda-1}=T_2V_3^{\lambda-1}$$

- CD——等温压缩

  放出热量

$$Q_2=nRT_2\ln\frac{V_3}{V_4}$$

- DA——绝热压缩

$$T_1V_1^{\lambda-1}=T_2V_4^{\lambda-1}$$

- 联立解得

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{T_1}{T_2}$$

注意：增大热源温度差，卡诺热机效率提高，实际中采用提高高温热源的方法，而不降低低温热源，因为若获得更低的低温热源必须使用制冷机，而制冷机要消耗外功，故此法不经济.

可逆过程：系统和外界都恢复原状的过程.

- 功热转换不可逆：热自动地转化为功的过程不可能发生
- 热传导不可逆：热量自动地从低温物体传向高温物体的过程不可能发生
- 气体绝热自由膨胀是不可逆过程
- 卡诺定理：
    1. 可逆机效率等于 $1-\frac{T_2}{T_1}$.
    2. 不可逆机效率小于可逆机

> **准静态过程和可逆过程的联系和区别**
>
> 准静态过程中，要求系统随时具有力、热和化学平衡，即处于完全平衡中；而可逆过程要求系统过程中没有任何不可逆损失。不可逆损失可分为非平衡损失和耗散损失两大类，其中非平衡损失是由系统非平衡态引起的。准静态过程没有非平衡损失，故**可逆过程一定是无摩擦的准静态过程，非准静态过程一定是不可逆过程**。

热力学第二定律：

在热力学循环中

- 开尔文叙述：不可能从单一热源吸热使之完全转化为功而不引起其他变化（第二类永动机不可制造）
- 克劳修斯叙述：热量不可能自发地从低温物体传向高温物体（零耗能制冷机不可制造）

注意：两条绝热线与两条等温线才可能能构成一个循环.

> **永动机**
>
> 第一类永动机：某物质循环一周回复到初始状态，不吸热而向外放热或做功，违背了能量守恒定律（热力学第一定律）.
>
> 第二类永动机：从单一热源吸热使之完全变为有用功而不产生其它影响的热机，违反了热力学第二定律.

熵：系统的状态函数，是热力学系统**无序性**的**定量量度**.

$$S_2-S_1=\int_1^2\left(\frac{\mathrm{d}Q}{T}\right)_{\text{可逆}}$$

- 可逆的绝热过程是个等熵过程
- 可逆循环中热温比的代数和为零
- 不可逆循环中热温比的代数和小于零

玻尔兹曼关系：W 表示系统宏观状态包含的微观状态数，即宏观状态出现的概率，则

$$S = k \ln W$$

熵增加原理：

- 定义：在**封闭系统（绝热过程）**中，任何不可逆过程都导致熵增加，系统总熵只可能在不可逆过程中保持不变.
- 实质：封闭系统内部发生的过程总是由概率小的状态向概率大的状态进行，由包涵微观状态数目少的宏观状态向包涵微观状态数目多的宏观状态进行.

> 热力学第二定律与熵之间的联系
>
> 热力学第二定律指出的是功热转换、热传导、气体绝热自由膨胀等过程不可逆性。熵增加原理是指在封闭系统中一切自发过程或不可逆过程总是向无序性增大的方向进行。热力学第二定律本质上是一条统计性的规律，也是熵增加原理的实质，即一个不受外界影响的封闭系统，期内部发生的过程，总是由概率小的状态向概率大的状态进行，由包涵微观状态数目少的宏观状态向包涵微观状态数目多的宏观状态进行。克劳修斯熵公式是对热学第二定律的一种数学表述。

[7]静止电荷的电场

> 解释冬季脱衣服放电声
>
> 毛衣是绝缘材料，摩擦时带有异号电荷在表面积聚，可快速与潮湿空气中的离子中和。而冬季干燥，集聚的电荷的场强大于空气的击穿电场，空气被击穿，发出响声。

电荷量：物体带电的多少. 电荷是**相对论不变量**，即电荷量与运动无关.

电荷守恒定律：在一个与外界没有电荷交换的系统内，无论进行怎样的物理过程，系统内正、负电荷量的代数和总是保持不变.

电荷的量子化：

- 电子或质子是自然界带有最小电荷量的自由粒子
- 元电荷 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C
- 任何带电体或其他微观粒子所带的电荷量都是 e 的整数倍
- 夸克理论认为夸克强子带有分数元电荷，但电荷量子化仍成立
- **电荷量只能取分立的、不连续的量值.**

点电荷：本身线度与所研究问题中涉及的距离相比可忽略的带电体.

库仑定律：真空中两个静止点电荷之间相互作用力（静电力）的大小与这两个点电荷所带电荷量 q_1 和 q_2 的乘积成正比，而与它们之间的距离 r 的平方成反比。作用力方向沿连线方向，同号电荷相斥，异号电荷相吸.

$$\boldsymbol{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\boldsymbol{e}_{r12} \xlongequal[\text{有理化}]{\text{单位制}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\boldsymbol{e}_{r12}$$

1. $\boldsymbol{F}_{12}$ 表示 q_2 对 q_1 的作用力
2. $\boldsymbol{e}_{r12}$ 是由点电荷 q_2 指向 q_1 的单位矢量
3. **真空电容率**（真空介电常量）：$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m

> 结合库仑定律分析之子结合在一起组成原子核的现象
>
> 原子核中质子相距很近，之间存在巨大静电排斥力，之所以能结合在一区组成原子核，说明核内除了静电斥力外还存在着比斥力更强的引力——核力.

静电力的叠加原理： 作用在某一点电荷上的总静电力等于其他各点电荷单独存在时对该点电荷所施静电力的矢量和.

$$\boldsymbol{F}=\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{F}_i=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{qq_i}{r^2}\boldsymbol{e}_{ri}$$

电场： 电荷周围存在的一种特殊物质. **静电场**即相对于观察者为静止的电荷在其周围所激发的电场.

电场力： 电场对处在其中的其他电荷的作用力.

- 电场对电荷有力的作用
- 电场力对电荷有做功的本领

试验电荷 (q_0)：

1. 电荷量充分小
2. 可视为点电荷
3. 带有正电荷

电场强度：

$$\boldsymbol{E}=\frac{\boldsymbol{F}}{q_0}$$

- 大小等于单位电荷在该点所受力的大小
- 方向为正电荷在该点受力的方向
- 单位：N/C 或 V/m

电场强度叠加原理： 点电荷系在空间任一点所激发的总电场强度等于各个点电荷单独存在时在该点各自所激发的电场强度的矢量和.

电场线： 描述电场分布的一系列有向曲线.

- 电场线的密度与该点场强的大小成正比，即场强大小等于通过垂直单位面积的电场线条数.

$$E=\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}S_\perp}$$

- 线上每一点切线方向表示该点电场强度的方向——电场线不相交
- 起止于正电荷，终止于负电荷
- 电场线不闭合
- 实际不存在

电场强度通量： 通过电场中任一曲面的电场线条数.

$$\boldsymbol{\Phi}_E=\boldsymbol{E}S=E\cos\theta\,S=\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{S}$$

- θ 是平面正法线方向与电场强度方向之间的夹角.
- **规定闭合曲面以外法线方向为正**

静电场的高斯定理： 静电场中通过任一闭合曲面 E 的通量等于该曲面内电荷量的代数和除以 ϵ_0

$$\oiint \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i$$

经电场力做功：与路径无关，只与路径起点和终点位置有关

静电力场的环路定理：电场强度 E 的环流等于零

电势能：

$$\begin{aligned} W_a - W_b &= A_{ab} = q_0 \int_a^b \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right) \\ W_a &= A_{a\infty} = q_0 \int_a^\infty \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} \end{aligned}$$

电势：

$$\begin{aligned} V_a &= \frac{W_a}{q_0} = \int_a^\infty \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} \\ U_{ab} &= V_a - V_b = \int_a^b \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} \end{aligned}$$

- 通常选定无限远处的静电势能为零，电势为零
- 电子伏 $1\ \mathrm{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$; $\quad 1\ \mathrm{Mev} = 10^6\ \mathrm{eV}$; $\quad 1\ \mathrm{Gev} = 10^9\ \mathrm{eV}$
- 点电荷电势 $V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$
- 连续分布电势 $V = \int \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\epsilon_0 r}$

电势梯度：静电场中各点的电场强度等于该点电势梯度的负值

$$\begin{aligned} \boldsymbol{E} &= -\mathrm{grad}\, V = -\frac{\mathrm{d}\, V}{\mathrm{d}\, n}\boldsymbol{e}_n \\ \mathrm{grad}\, V &= \frac{\partial\, V}{\partial\, x}\boldsymbol{i} + \frac{\partial\, V}{\partial\, y}\boldsymbol{j} + \frac{\partial\, V}{\partial\, z}\boldsymbol{k} \end{aligned}$$

等势面：

- 电势值相等的各点连起来所构成的曲面
- 电场强度与等势面处处正交
- 电场线的方向指向电势降落的方向
- 等势面愈密集处电场强度越大

导体导电：是因为导体内部存在可自由移动的电荷，在金属导体中的自由电荷是自由电子，电解液中是正负离子

静电感应：在外电场的作用下，导体内部自由电子定向移动引起正负电荷重新分布，使导体两端带上等量异号电荷

静电平衡：

- 导体中没有电荷作任何定向运动
- 导体内任一点的电场强度都等于零

静电平衡时导体的电荷分布：对于孤立导体

- 等势体
- 表面电场强度垂直于导体表面
- 内部没有净电荷存在，电荷只分布在导体的外表面上
- 表面附近的电场强度与该表面的电荷面密度成正比 $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$
- 电荷面密度和曲率半径成反比

> 尖端放电
>
> 尖端处电荷面密度极高，其周围电场强度极强，使空气中残留离子与其他分子剧烈碰撞而产生大量离子，使得空气被击穿。
>
> 应用：避雷针、静电喷器、除尘器

静电屏蔽：在静电平衡状态下

- 空腔内带电体的移动只改变导体内表面的电荷分布，不改变外表面上的电荷分布和腔外电场分布
- 空腔导体外带电体不影响空腔内部电场分布
- 接地的空腔导体，空腔内带电体对腔外物体不产生印象
- 应用：避免外界电场干扰，设备安装有接地的金属制外壳，导线外包金属制屏蔽线层

电容：表征物体储电能力的物理量

- 单位法拉：$1\ \mu\text{F} = 10^{-6}\ \text{F};\quad 1\ \text{pF} = 10^{-12}\ \text{F}$
- 孤立导体电容：$C = 4\pi\epsilon_0 R$
- 电容器电容：$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$
- 圆柱形电容：$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\frac{R_b}{R_a}}$
- 球形电容：$C = 4\pi\epsilon_0\frac{R_a R_b}{R_b - B_a}$
- 介质的相对电容率：$\epsilon_r = \frac{C}{C_0}$
- 串联电容：$\frac{1}{C} = \sum\frac{1}{C_i}$

  每个电容分压减少
- 并联电容：$C = \sum C_i$

  每个电容分压不变

电介质：电阻率很大、导电能力很差的物质

电介质的极化：静电平衡时，电介质表面层或体内出现极化电荷

电位移：$D = \epsilon E$

有电介质时的高斯定理：通过电介质中任一闭合曲面的电通量等于该面所包围的自由电荷量的代数和

$$\oiint_S \boldsymbol{D}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S} = q_0$$

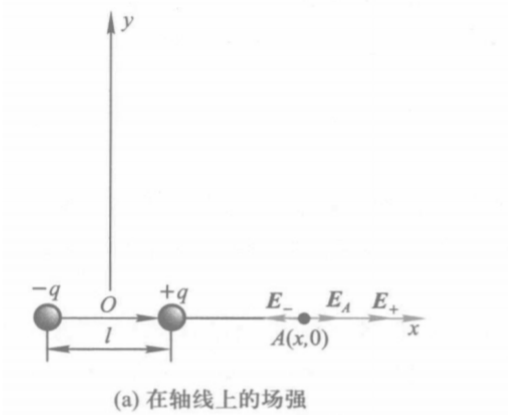
电场能量：

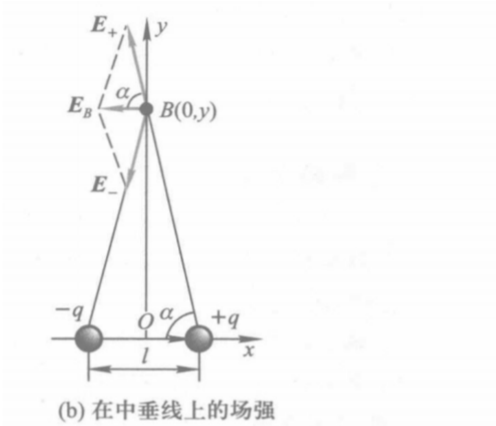
$$W_e = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\epsilon E^2 V$$

电场能量密度：

$$w_e=\frac{W_e}{V}=\frac{1}{2}\epsilon E^2=\frac{1}{2}\boldsymbol{D}\cdot\boldsymbol{E}$$

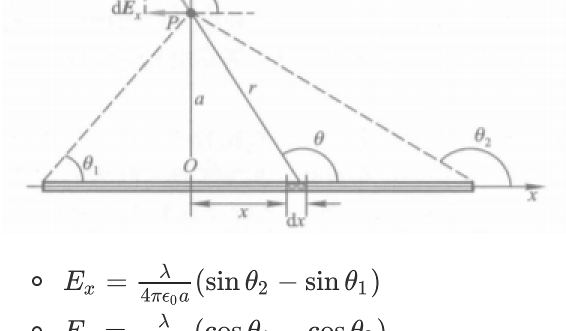
电偶极子：大小相等、符号相反并有一微小间距的两个点电荷构成的复合体.

- 电偶极距：$\boldsymbol{p}=q\boldsymbol{l}$.
- 选取电偶极子轴线中心 O 为原点，取从负电荷指向正电荷的矢量 $\boldsymbol{l}$ 的方向为正方向
- 

(a) 在轴线上的场强
- $\boldsymbol{E}_a=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2\boldsymbol{p}}{x^3}$
- 

(b) 在中垂线上的场强
- $\boldsymbol{E}_B=-\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\boldsymbol{p}}{y^3}$
- 能够表征电偶极子性质的特征量是他的电偶极距 $\boldsymbol{p}=q\boldsymbol{l}$
- 电偶极子在电场中收到力矩作用 $\boldsymbol{M}=\boldsymbol{p}\times\boldsymbol{E}$
- $V_p=\frac{ql\ \cos\theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}=\frac{\boldsymbol{p}\cdot\boldsymbol{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$

重要结论：

- 

    - $E_x=\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a}(\sin\theta_2-\sin\theta_1)$
    - $E_y=\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a}(\cos\theta_1-\cos\theta_2)$

- 均匀带电直棒附近某点 $P(0,a)$ 的电场强度

  无限长

$$E=\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a}$$

  半无限长

$$E_x=E_y=\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a}$$

- 带电圆环

$$E=\frac{qx}{4\pi\epsilon_0(x^2+R^2)^{\frac{2}{3}}}$$
$$V=\frac{q}{4\pi\epsilon_0\sqrt{R^2+x^2}}$$

- 带电圆盘

$$E=\frac{\sigma}{2\epsilon_0}\left(1-\frac{x}{\sqrt{x^2+R^2}}\right)$$
$$V=\frac{\sigma}{2\epsilon_0}\left(\sqrt{R^2+x^2}-x\right)$$

  当 $x\gg R$ 时，$\boldsymbol{E}=\frac{q}{4\pi\epsilon_0 x^2}\boldsymbol{i}$，可看作电荷量 q 集中在圆盘中心

  当 $x\ll R$ 时，$E=\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$，为匀强电场，方向垂直于圆盘平面

- 电荷均匀分布球面

$$E=\begin{cases}0 & r<R\\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} & r\geq R\end{cases}$$
$$V=\begin{cases}\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} & r<R\\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} & r\geq R\end{cases}$$

- 点电荷均匀分布球体

$$E=\begin{cases}\frac{qr}{4\pi\epsilon_0 R^3} & r<R\\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} & r\geq R\end{cases}$$

- 无限大平面电场

$$E=\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$
$$V=\frac{\sigma}{2\epsilon_0}(r_c-r)$$

[8]恒定电流的磁场

电流： 单位时间内通过导体横截面的电荷量；规定正电荷定向运动的方向为电流的方向

$$I=\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}=\int_S\boldsymbol{j}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S}$$

电流密度： 垂直于电流方向的单位面积的电流

$$\boldsymbol{j}=\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}S_\perp}=\gamma\boldsymbol{E}$$

电源： 提供非静电力，把正电荷从电势低移向电势高的装置

电动势： 把单位正电荷从负极移到正极所做的功，方向为负极到正极

$$\mathscr{E}=\frac{\mathrm{d}\,A}{\mathrm{d}\,q}$$

磁感应强度：

- $B=\frac{F_m}{qv}=\frac{\mathrm{d}\,\phi}{\mathrm{d}\,S_\perp}$
- 单位特斯拉：$1\ \mathrm{Gs}=10^{-4}\ \mathrm{T}$

磁通量：

- $\boldsymbol{\phi}=\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{S}$
- 单位韦伯：Wb

比奥-萨法尔定律：

$$\mathrm{d}\,\boldsymbol{B}=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\,\boldsymbol{l}\times\boldsymbol{e}_r}{r^2}$$

- 电流元：$I\mathrm{d}\,\boldsymbol{l}$
- 真空磁导率：μ_0
- $\boldsymbol{e}_r$ 从电流元指向场点
- $\mathrm{d}\,B=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\,l\ \sin\alpha}{r^2}$
- 其中 α 为 $\boldsymbol{l}$ 与 $\boldsymbol{r}$ 之间小于 $180°$ 的夹角

恒定磁场的高斯定理：通过任何闭合曲面的磁通量为零

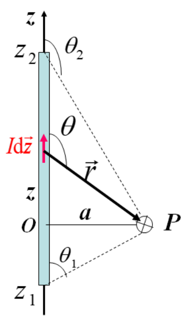
$$\oiint_s\boldsymbol{B}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S}=0$$

- 磁感线是无头无尾的闭合线
- 恒定磁场是无源场
- 自然界无磁单极子

磁场安培环路定理：真空中的恒定磁场内，磁感应强度矢量沿任何闭合曲线的环流等于**穿过**曲线回路所有<u>传导电流</u>代数和的 μ_0 倍

$$\oint_L\boldsymbol{B}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}=\mu_0\sum I$$

重要结论：

- 

$$B=\frac{\mu_0 I}{4\pi a}(\cos\theta_1-\cos\theta_2)$$

- 无限长导线

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

- 半无限长导线

$$B=\frac{\mu_0 I}{4\pi a}$$

- 均匀带电圆环

$$B=\frac{\mu_0 I}{2R}$$

- 均匀带电圆盘

$$B=\frac{\mu_0 \omega q}{2\pi R}$$

- 无限长载流圆柱形导体

$$B=\begin{cases}\frac{\mu_0 I}{2\pi R^2}r & r\le R\\ \frac{\mu_0 I}{2\pi r} & r>R\end{cases}$$

- 长直螺管

$$B=\mu_0 nI=\mu_0\frac{N}{l}I$$

- 载流螺绕环

$$B=\frac{\mu_0 NI}{2\pi R}$$

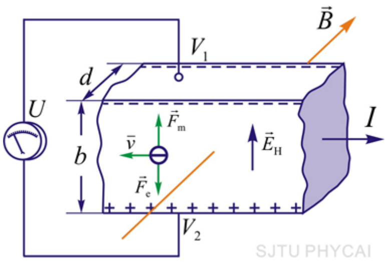
洛伦兹力：

$$\boldsymbol{F}=q\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}$$

- 运动方向与磁场方向平行：带电粒子做匀速直线运动
- 运动方向与磁场方向垂直：

$$R=\frac{mv}{qB}$$
$$T=\frac{2\pi m}{qB}$$

霍尔效应：



$$U=V_1-V_2=R_H\frac{BI}{d}$$

其中 R_H 为霍尔系数，仅与材料有关

安培定律：

$$\mathrm{d}\boldsymbol{F}=I\mathrm{d}\boldsymbol{l}\times\boldsymbol{B}$$

弯曲载流导线所受磁场力等效于弯曲导线起点到终点一段长直等量电流导线所受磁场力

磁矩：

$$\vec{m} = NIS\overrightarrow{e_n}$$
$$\boldsymbol{M} = NBIS\sin\varphi = \boldsymbol{m} \times \boldsymbol{B}$$

磁场力的功：

- 回路电流恒定：$A = I\Delta\Phi$
- 力矩的功：$A = -\int \boldsymbol{M} \cdot \mathrm{d}\varphi = I(\Phi_2 - \Phi 1)$

[9]电磁感应 电磁场理论

楞次定律： 感应电动势产生的感应电流方向，总是使其激发的磁场**阻碍**原磁通量的变化

法拉第电磁感应定律： 感应电动势与磁通量对时间的变化率成正比

$$\varepsilon_i = -N\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$$

- 磁通链数：$\Psi = N\Phi$
- 感应电荷：$q = \int I\mathrm{d}t = \frac{1}{R}(\Psi_1 - \Psi_2)$

动生电动势： 在恒定磁场中运动着的导体内产生的感应电动势

$$\varepsilon_i = \int_L (\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}) \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l}$$

感生电动势： 导体不动，因磁场的变化产生的感应电动势

$$\varepsilon_i = \oint_L \boldsymbol{E}_i \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = -\iint_s \frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}$$

自感： 由于回路中电流产生的磁通量发生变化，而在自己回路中激起感应电动势的现象

$\varepsilon_L = -L\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{t}}$

- 线圈的自感系数：$L = \mu_0\frac{N^2}{l}\pi R^2$
- 自感系数：$L = \frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}I}$
- 单位：亨利(H)

互感： 记 I_1 在 I_2 电流回路中所产生的磁通量为 $\Phi_{21} = M_{21}I_1$

磁场能量：

$W_m = \frac{1}{2}LI^2$
$W_m = \frac{1}{2}L_1I_1^2 + \frac{1}{2}L_2I_2^2 \pm ML_1L_2$