大学物理（上）核心知识点总结

注：本文件只包括核心知识点，更全面的知识点总结见分章总结版！

第一章 质点动力学

§1.3 用**直角坐标**表示速度和加速度

一、位移

位矢：$\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}+z\vec{k}$

位移：$\Delta\vec{r}=(x_2-x_1)\vec{i}+(y_2-y_1)\vec{j}+(z_2-z_1)\vec{k}=\Delta x\vec{i}+\Delta y\vec{j}+\Delta z\vec{k}$

二、**速度**

$\vec{v}=v_x\vec{i}+v_y\vec{j}+v_z\vec{k}$， $v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t},v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t},v_z=\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$

三、**加速度**

$\vec{a}=a_x\vec{i}+a_y\vec{j}+a_z\vec{k}$， $a_x=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}$ ，$a_y=\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}=\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}$ ，$a_z=\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}=\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}$

☆质点运动学的计算题

两类：

（一）由位矢→速度→加速度

（1）根据质点动力学方程和导数关系求出速度和加速度沿各坐标轴的投影

$$v_i=\frac{dr_i}{dt},a_i=\frac{dv_i}{dt}=\frac{d^2r_i}{dt^2},i=x,y,z$$

或是根据题目给出的关系得出速度表达式。

（2）写出矢量表达式$\vec{v}=v_x\vec{i}+v_y\vec{j}+v_z\vec{k}$， $\vec{a}=a_x\vec{i}+a_y\vec{j}+a_z\vec{k}$

（二）由加速度→速度→位矢

（1）根据加速度表达式和积分关系求出速度和坐标沿各轴的投影

$$v_i=\int_{\min}^{\max}a_idt,r_i=\int_{\min}^{\max}v_idt$$

（2）写出矢量表达式$\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}+z\vec{k}$， $\vec{v}=v_x\vec{i}+v_y\vec{j}+v_z\vec{k}$

§1.4 用**自然坐标**表示平面曲线运动中的速度和加速度

一、自然坐标系中的**速度**

$$\boxed{\vec{v}=\frac{ds}{dt}\vec{\tau}}$$

二、圆周运动中的**加速度**

切向加速度：$\boxed{\vec{a}_\tau=a_\tau\vec{\tau}=\frac{dv}{dt}\vec{\tau}}$，其中$\vec{\tau}$为**切向单位矢量**，正方向为速度的方向，

沿运动轨迹切线方向。

法向加速度：$\boxed{\vec{a}_n = a_n\vec{n} = \frac{v^2}{r}\vec{n}}$，其中 $\vec{n}$ 为**法向单位矢量**，正方向与切向垂直，且指向运动弯曲的方向。

加速度大小：$a=|\vec{a}|=\sqrt{a_\tau^2+a_n^2}$。**法向加速度**反应速度**方向的变化**，**切向加速度**反应速度**大小的变化**。

☆自然坐标系的计算题：
两类：
由运动学方程→速度→加速度
根据质点运动学方程和导数关系求出速度和加速度

$$s(t) \Rightarrow v=\frac{ds}{dt} \Rightarrow \begin{cases} a_\tau=\dfrac{dv}{dt} \\ a_n=\dfrac{v^2}{r} \end{cases}$$

由加速度→速度→运动学方程
根据加速度表达式和积分关系求出速度和运动学方程
必要时灵活运用变量关系做代换。

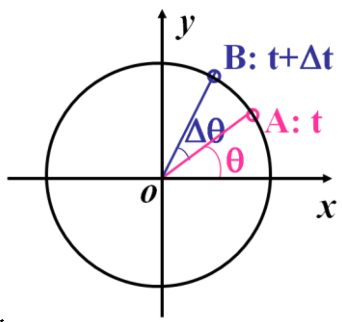
$$a_\tau \Rightarrow v=\int_{\min}^{\max} a_\tau dt \Rightarrow \begin{cases} s=\displaystyle\int_{\min}^{\max} v dt \\ a_n=\dfrac{v^2}{r} \end{cases}$$

§1.5　圆周运动的角量描述　角量与线量关系

一、圆周运动中的物理量

角位置 θ（单位为弧度 rad）；角位移 $\Delta\theta$；

运动方程：$\theta=f(t)$



角速度：$\boxed{\omega=\frac{d\theta}{dt}}$；**加速度：**$\boxed{\alpha=\frac{d\omega}{dt}=\frac{d^2\theta}{dt^2}}$

二、线量与角量之间的关系

速度与角速度的关系式：$\boxed{\boldsymbol{v=r\omega}}$，其中 r 为圆的半径。

切向加速度：$\boxed{a_\tau=\frac{dv}{dt}=r\alpha}$；法向加速度：$\boxed{a_n=\frac{v^2}{r}=r\omega^2}$

☆圆周运动计算题：利用运动方程 $\theta(t)$求出角速度和角加速度，再由线量和角量之间的关系求出速度和加速度；反之亦然。

速度变换：参考系 K'相对 K 的速度为$\vec{v}$，$\vec{v}_{AK}$ 和 $\vec{v}_{AK'}$ 分别是研究对象 A 在 K 和 K' 系中的速度，则三者的关系为：$\boxed{\vec{v}_{AK}=\vec{v}_{AK'}+\vec{v}}$

第二章　牛顿运动三定律

§2.1　牛顿运动三定律

牛顿第二定律： $\boxed{\vec{F}=\frac{d\vec{P}}{dt}=\frac{d}{dt}(m\vec{v})}$

其中 P 为**动量**，为运动物体的质量和速度的乘积$\boxed{\vec{P}\equiv m\vec{v}}$。当 $v >> c$ 时，m 是常

量，则有：$\boxed{\vec{F} = m\dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = m\vec{a}}$

§2.3 牛顿运动定律的应用

1.受力分析是关键：牛顿第一、第三定律为受力分析提供依据。

2.第二定律是核心：力与加速度的瞬时关系 $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$。

分量式：

直角坐标系：$$\boxed{\begin{aligned} F_x &= ma_x = m\frac{dv_x}{dt} \\ F_y &= ma_y = m\frac{dv_y}{dt} \end{aligned}}$$

自然坐标系：$$\boxed{\begin{aligned} F_\tau &= ma_\tau = m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \\ F_\mathrm{n} &= ma_\mathrm{n} = m\frac{v^2}{R} \end{aligned}}$$

★牛顿运动定律解题的基本思路

一般分为两类问题：瞬时问题的求解，过程问题的求解。

（一）瞬时问题（例 2.4）：是指在运动的某一时刻，通过受力分析结合牛顿定律，已知力求解加速度，或者已知加速度求解力的题目，求解过程**不需要使用微积分**。求解方法如下：

（1）取坐标系；

（2）确定研究对象，并对每一个研究对象单独进行受力分析；（隔离物体，画受力图）

（3）列方程（对于直角坐标系，写出在 x 轴和 y 轴上的分量式；对于自然坐标系，则写出在法向和切向上的分量式）；

（4）利用其它的约束条件（如牛顿第三定律，和其他题设条件）列补充方程；

（5）先用符号求解，后带入数据计算结果。

（二）**过程问题：**是指给出运动的初始条件，通过受力分析结合牛顿定律，求解运动过程以及另一时刻的状态量的题目，求解过程**需要使用微积分**。求解方法如下：

（1）**取坐标系**（对一般问题取直角坐标系，对圆周问题取自然或角坐标系），并写出**初始时刻** $t = 0$ 和题目**所求时刻** t 时物体的位置、速度和加速度，将作为积分的上下限；

（2）取任意时刻 t 对运动物体进行**受力分析**，并且写出在分量上的方程（注意判断分量与正轴方向是否一致，以确定正负号）；

（3）观察题目的问题，判断是否需要**变量代换**（上面给出的牛二分量式可以看出，直角坐标系和自然坐标系中给出的都是 $\mathrm{d}v/\mathrm{d}t$，也就是说如果题目问的是 t 时刻的速度，则不需要变量代换，若问的是某一位置 x 时的速度，则需要进行变量代换 $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx}\frac{dx}{dt} = v\frac{dv}{dx}$，对于其他坐标系的其他物理量同理（如对角坐标系则 $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{d\theta}\frac{d\theta}{dt} = \omega\frac{dv}{d\theta} = \frac{v}{R}\frac{dv}{d\theta}$）。

（4）根据题目所给出的**上下限**，对前面得到的等式进行积分，得出所求结果。

第三章 功和能

§3.1 功：$\boxed{A \equiv \int \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{r}}$

§3.2 几种常见力的功：重力的功：$A = mg(z_a - z_b)$；万有引力的功 $A = -G_0 mM\left(\dfrac{1}{r_a} - \dfrac{1}{r_b}\right)$；弹性力的功 $A = \dfrac{1}{2}kx_1^2 - \dfrac{1}{2}kx_2^2$

§3.3 动能定理

一、质点的动能定理：$\boxed{A = \dfrac{1}{2}mv_2^2 - \dfrac{1}{2}mv_1^2 = \Delta E_k}$

二、质点系动能定理：**多个质点组成的质点系**，既要考虑**外力**，又要考虑质点间的相互作用力（**内力**）。

$$\boxed{\sum_i A_i = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k}$$

§3.4 势能 机械能守恒定律

一、**保守力**：做功只与物体的始末位置有关，与路径无关。质点沿闭合路径一周保守力所做的功为零。

保守力：重力、万有引力、弹性力。非保守力：摩擦力。

二、 势能：蕴藏在**保守力场中的与位置有关的能量**称为**势能**，是一种潜在的能量，不同于动能。

$$\boxed{A_{保} = -\left(\Delta E_{\mathrm{bp}} - \Delta E_{\mathrm{ap}}\right) = -\Delta E_{\mathrm{p}}}$$

保守力做的功等于势能增量的负值。

令 $E_{\mathrm{pb}} = 0$，则 $E_{\mathrm{p}a} = A_{保} = \int_a^{"0"} \vec{F}_{保} \cdot \mathrm{d}\vec{r}$

质点在某处的势能，等于质点从该处移动至**零势能点**保守力所做的功。

三、 机械能守恒定律

1. 质点系的功能原理：$\boxed{A_{外} + A_{非保内} = \Delta E_k + \Delta E_p = \Delta E}$

2. 机械能守恒定律

由质点系的功能原理，当 $A_{外} + A_{非保内} = 0$，$\Delta E = 0, E = E_k + E_P =$ 常数。

机械能守恒定律：当作用于质点系的外力和非保守内力不作功，只有保守内力作功的情况下， 质点系的机械能保持不变。

★功和能计算题

动能定理/机械能守恒定理计算题解题步骤（例 3.4）：

（1）确定系统及研究对象。

（2）分析研究对象受力情况，以及各力的做功情况/设定零势能点，分析保守力势能变化。

（3）选定研究过程（初时刻、末态时刻的位置、速度）

（4）根据动能定理/机械能守恒定理列出方程并求解。

第四章 冲量和动量

§4.1 质点动量定理

一、动量和冲量：**动量** $\boxed{\vec{P} \equiv m\vec{v}}$；**冲量** $\boxed{\vec{I} \equiv \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\mathrm{d}t}$

二、质点的动量定理

$$\boxed{\vec{I} \equiv \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t)\mathrm{d}t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \Delta\vec{P}}$$

分量表示：

$I_x = \int F_x \mathrm{d}t = mv_{2x} - mv_{1x}$； $I_y = \int F_y \mathrm{d}t = mv_{2y} - mv_{1y}$； $I_z = \int F_z \mathrm{d}t = mv_{2z} - mv_{1z}$

某方向受到冲量，该方向上动量就增加。

微分形式： $\vec{F} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{P}}{\mathrm{d}t}$；积分形式： $\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t)\mathrm{d}t = \Delta\vec{P}$

§4.2 质点系动量定理：$\boxed{\vec{I}_{合外} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}_{合外}\mathrm{d}t = \Delta\vec{P}}$

§4.3 质点系动量守恒定律

一、**动量守恒定律**

由质点系的动量定理得，合外力为零时，$\dfrac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = 0$。

因此可得：一个质点系所受的合外力为零时，这个系统的总动量将保持不变。

在直角坐标系中的分量表示：

$p_x = \sum_i m_i v_{ix} = C_1$； $p_y = \sum_i m_i v_{iy} = C_2$； $p_z = \sum_i m_i v_{iz} = C_3$

动量守恒**可在某一方向上成立**（若 $F_x = 0$，则 $p_x = \sum_i m_i v_{ix} = C_1$）。

★动量计算题

（一）动量定理解题步骤：

（1）确定**研究对象**，建立坐标系，给定正轴方向，并确定**初时刻**（题目所给条件）和**末时刻**（题目所求条件）；

（2）对研究对象进行**受力分析**；

（2）写出研究对象在初时刻和末时刻的**动量**，并相减得出动量的变化量（包括质量和速度的变化），注意是**矢量式**！

（3）根据动量定理 $\vec{F} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{P}}{\mathrm{d}t}$ 列出方程，并将方程分解**在各轴上**进行求解。

（二）动量守恒定理解题步骤：

（1）确定**研究对象**，建立坐标系，给定正轴方向，并确定**初时刻**和**末时刻**；

（2）若研究对象在该过程中不受外力，则系统动量守恒；若**只在某个方向上**不受外力，则**该方向上动量守恒**；

（3）写出研究对象在初、末时刻的动量。这里注意速度一定是**对于同一惯性系的速度**！若题目给的是相对速度，则需利用 $\vec{v}_{AK} = \vec{v}_{A'K} + \vec{v}_{K'K}$ 把它换成绝对速度。

（4）在满足动量守恒的方向上列出方程，并求解。

第五章 刚体力学基础 动量矩

§5.1　刚体和刚体的基本运动

1. 刚体的**平动**：刚体运动时，在刚体内所作的任一条直线都始终保持和自身平行。刚体的平动可归结为质点运动，**各点运动状态一样**，如 $\boldsymbol{v}$ **和** $\boldsymbol{a}$ **都相同**。

2. 刚体的**定轴转动**：刚体内各点都**绕同一直线(转轴)作圆周运动**，$\boldsymbol{\omega}$ **和** $\boldsymbol{\alpha}$ **都相同**。

角量与线量关系：$v = r_M\omega$；$a_n = r_M\omega^2$；$a_\tau = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = r_M\alpha$

刚体的一般运动可看作：**随质心的平动** ＋ **绕质心的转动**的合成。

§5.2 力矩 刚体绕定轴转动微分方程

一、**力矩**：$\boxed{\vec{M}_O \equiv \vec{r}\times\vec{F}}$

大小：$M_O = \left|\vec{r}\times\vec{F}\right| = Fr\sin\theta$

方向与 r 和 F 组成平面垂直，指向由**右螺旋法则**确定。

二、刚体绕定轴转动微分方程（**转动定律**）：$\boxed{M_z = J_z\alpha = J_z\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}}$

三、转动惯量

刚体质量不连续分布$\boxed{J \equiv \sum_i \Delta m_i r_i^2}$；刚体质量连续分布$\boxed{J \equiv \int r^2\mathrm{d}m}$

须记住的转动惯量：圆环绕中心 $J = mR^2$；圆盘绕中心 $J = \dfrac{1}{2}mR^2$；棒绕一端轴 $J_A = \dfrac{1}{3}mL^2$；棒绕中心轴 $J_C = \dfrac{1}{12}mL^2$。

§5.3　绕定轴转动刚体的动能 动能定理

一、　定轴转动刚体的动能：$\boxed{E_k = \dfrac{1}{2}J_z\omega^2}$

二、　力矩的功：$\boxed{A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} M_z\mathrm{d}\theta}$

刚体的机械能：刚体重力势能 $E_p = mgh_c$，其中 h_c 为**质心的位置**。定轴转动刚体的机械能 $E = \dfrac{1}{2}J_z\omega^2 + mgh_c$。

§5.4　动量矩和动量矩守恒定律

一、动量矩（角动量）：$\boxed{\vec{L} \equiv \vec{r}\times\vec{p} = \vec{r}\times m\vec{v}}$

大小：$L = rmv\sin\theta$

方向：符合右手螺旋法则。

刚体绕定轴转动的动量矩：$\boxed{L_z = J_Z\omega}$

二、 质点的动量矩定理和动量矩守恒定律

1. 质点的动量矩定理的**微分形式**：$\boxed{\vec{M}=\dfrac{\mathrm{d}\vec{L}}{\mathrm{d}t}}$

2. **质点动量矩守恒定律**：$\boxed{\text{若}\ \vec{M}=0,\text{则}\ \vec{L}=\textbf{常矢量}}$

(1) **守恒条件**：$M=|Fr\sin\theta|=0\Rightarrow\begin{cases}F=0\\ \theta=0,\text{力过O点}\end{cases}$

(2) 向心力的角动量守恒（力过 O 点）。

(3) 质点**对轴**的动量矩守恒定律：若 $M_z=0$，则 L_z =常数。即若力矩在某轴上的分量为零(或力对某轴的力矩为零)，则质点对该轴的动量矩守恒。

三、 刚体绕定轴转动下的动量矩定理和动量矩守恒定律

1. 动量矩定理：$\boxed{\dfrac{\mathrm{d}L_z}{\mathrm{d}t}=M_z}$ 或 $M_z\mathrm{d}t=\mathrm{d}L_z=\mathrm{d}(J\omega)$

刚体定轴转动中，动量矩定理与转动定律的关系：

$$M_z=\frac{\mathrm{d}L_z}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(J_z\omega)=J_z\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=J_z\alpha$$

2. 刚体绕定轴转动的动量矩守恒定律

对定轴转动刚体，若 $M_z=0$ 则 $\Delta L_z=0$， $J_z\omega=$ **常量** 。

★刚体力学解题步骤：

（一）**转动定律题目**（例 5.4）：由于转动定律是和牛二相对应的，因此这类题目解题步骤和牛二的解题步骤非常相似。通常都是先做受力分析，再利用 $M_z=J_z\alpha$（滑轮为 $Tr=\frac{1}{2}mr^2\alpha$）和 $F=ma$ 列方程（之间用 $a=r\alpha, v=r\omega$ 联系），最后联立求解。若是其他题型，则需灵活运用变量之间的关系，方法与线量中的变换相同。可以用角动量守恒求解的题目：先确定研究对象，分析可知**不受外力**，或**外力过旋转中心**，则角动量守恒。

（二）**角动量守恒题目**（例 5.11、12）

1. 确定研究对象（行星运动的题目通常是一个动一个不动，则取动的为研究对象运用质点的角动量守恒求解；块撞杆的题目取块和杆为系统整体考虑）。

2. 根据初末时刻，列出角动量守恒方程 $L=mrv\sin\theta=J\omega, L_{初}=L_{末}$。

3. 若还需其他方程，则判断是否机械能守恒（系统不受外力和内非保守力作用），是的话再列出机械能守恒联立。或利用其他关系联立求解。

刚体力学的公式看着复杂，但和之前学过的线量公式都是一一对应的，因此对比着去记忆和理解就更省事些，具体见下表。

直线运动与定轴转动规律对照

质点的直线运动		刚体的定轴转动	
$v=\dfrac{dx}{dt}$	$a=\dfrac{dv}{dt}=\dfrac{d^2x}{dt^2}$	$\omega=\dfrac{d\theta}{dt}$	$\alpha=\dfrac{d\omega}{dt}=\dfrac{d^2\theta}{dt^2}$
$P=mv$	$E_K=\dfrac{1}{2}mv^2$	$L=J\omega$	$E_K=\dfrac{1}{2}J\omega^2$
F	m	M	J
$F=ma$		$M=J\alpha$	
$dA=F\,dx$	$F\,dt$	$dA=M\,d\theta$	$M\,dt$
$\int F\,dt=P-P_0$		$\int M\,dt=L-L_0$	
$\int F\,dx=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$		$\int M\,d\theta=\dfrac{1}{2}J\omega^2-\dfrac{1}{2}J\omega_0^2$	

第六章 机械振动基础

§6.1 简谐振动

（1）受力特点：线性恢复力 $F=-kx$

（2）动力学微分方程：简谐运动的微分方程：$\boxed{\dfrac{d^2x}{dt^2}+\omega^2x=0}$，其中$\boxed{\omega^2\equiv\dfrac{k}{m}}$。

简谐运动的运动方程：$\boxed{x=A\cos(\omega t+\varphi)}$。根据运动方程可求**速度**和**加速度**。

周期：$\boxed{T=\dfrac{2\pi}{\omega}}$；**频率：**$\nu=\dfrac{1}{T}=\dfrac{\omega}{2\pi}$；**角频率：**$\omega=2\pi\nu=\dfrac{2\pi}{T}$

相位差$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1$。如果$\varphi_2-\varphi_1>0$，则称第 2 个振动相位**超前**于第 1 个振动。

机械能：$E=E_k+E_p=\dfrac{1}{2}kA^2$，作简谐振动的系统机械能守恒。

§6.2 谐振动的合成

同方向同频率谐振动的合成：$x_1=A_1\cos(\omega t+\varphi_1)$；$x_2=A_2\cos(\omega t+\varphi_2)$

振幅：$A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos(\varphi_2-\varphi_1)}$

讨论：

（1）相位差$\varphi_2-\varphi_1=2k\pi\quad(k=0，\pm1,\cdots)$，$A=A_1+A_2$，相互加强；

（2）相位差$\varphi_2-\varphi_1=(2k+1)\pi\quad(k=0，\pm1,\cdots)$，$A=|A_1-A_2|$，相互削弱；

第七章 机械波

§7.1 机械波的产生与传播：**波长** λ、**波速** $\boxed{u=\lambda/T=\lambda\nu}$。

§7.2 平面简谐波

一、平面简谐波的**波函数**

介质中任一质点（坐标为 x）相对其平衡位置的位移（坐标为 y）随时间的变化关系：$\boxed{y_P = A\cos[\omega(t \pm \frac{x}{u}) + \varphi_0] = A\cos[2\pi(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}) + \varphi_0]}$

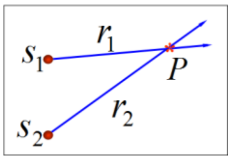
沿 x 轴正方向传播取“-”；沿 x 轴负方向传播取“+”。

§7.3 波的能量：**波的强度正比于振幅平方：**$\boxed{I \propto A^2}$。

§7.5　波的干涉

相干条件：频率相同、振动方向相同、相位差恒定。

干涉规律



波源振动方程：$y_1 = A_1\cos(\omega t + \varphi_1)$；$y_2 = A_2\cos(\omega t + \varphi_2)$

合振动的振幅：$\boxed{A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi}$，其中$\boxed{\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda}}$

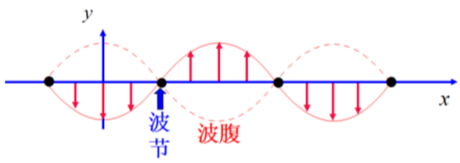
(1) **干涉相长：**$\boxed{\Delta\varphi = \pm 2k\pi \quad k = 0,1,2,\cdots}$，$A_{max} = A_1 + A_2$，$I_{max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$

(2) **干涉相消：**$\boxed{\Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi \quad k = 0,1,2,\cdots}$，$A_{min} = |A_1 - A_2|$，$I_{min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$

§7.6 驻波

驻波：两列振幅、振动方向和频率都相同，而传播方向**相反**的同类波相干叠加的结果形成驻波。

驻波波函数：$y = (2A\cos 2\pi\frac{x}{\lambda})\cdot\cos\omega t$



(1) **振幅分布：**$A(x) = 2A\cos 2\pi\frac{x}{\lambda}$

a.**波节**：始终不动的点 $x_k = (2k+1)\frac{\lambda}{4}$　　$k = 0,\ \pm 1,\ \pm 2,\cdots$

b.**波腹**：振动最强的点 $x_k = k\frac{\lambda}{2}$　　$k = 0,\ \pm 1,\ \pm 2,\cdots$

(2) **半波损失**（相位跃变）：反射波在分界处产生 **π 的相位跃变**的现象。

反射点为自由端则无半波损失；为固定端则有半波损失。

★机械振动机械波计算题

（一）求解简谐振动的题目：进行受力分析，确定线性回复力，再将方程写成 $\ddot{x} = -\omega x$ 的形式，联合初始条件，则可得出运动方程 $x = A\cos(\omega t + \varphi)$。

（二）**求解简谐波函数、合成的题目**（例 7.1、7.2）：

求解波函数：利用题目给出的参量和波函数表达式 $A\cos[\omega(t \pm \frac{x}{u}) + \varphi_0]$，其中正负号由波传播方向决定；初相位由初始条件决定。

求解合成：计算出相位差，再根据上述条件判断相干相长、相干相消。若有反射，注意判断是否存在半波损失。

第八章 热力学

基本物理量：压强 p、体积 V、温度 T、热量 Q、内能 E、做功 A

一、理想气体物状态方程

$$\boxed{pV=\frac{m}{M}RT=\nu RT} \text{— 克拉珀龙方程}$$

m— 气体的质量；M— 气体的摩尔质量；

ν— 气体的摩尔数；R— 摩尔气体常量。

二、**热力学第一定律**：$\boxed{Q=\Delta E+A}$

系统从外界吸收的热量 Q，一部分使其内能增加 ΔE，另一部分则用以对外界做功 A。

（1）系统对外做功： $A>0$ ；外界对系统做功：$A<0$。

（2）系统吸热： $Q>0$ ；系统放热 ： $Q<0$。

功的计算：$\boxed{A=\int_{V_1}^{V_2} p\mathrm{d}V}$，功的大小等于 $p\sim V$ 图中过程曲线下的面积，**与过程的路径有关**。

§8.5 理想气体的内能和 C_V 、C_p

一、 理想气体的内能

气体的内能仅是其温度 T 的单值函数，与压强 p 或体积 V 无关。

在一般过程中（恒等式）$\boxed{\nu C_V\equiv\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}T}}$。

2. 定压摩尔热容 C_p ：

$\boxed{C_p=C_V+R}$，比热容比$\boxed{\gamma\equiv C_p/C_V}$

物理量 / 分子	定体摩尔热容	定压摩尔热容	比热容比
单原子分子	$3R/2$	$5R/2$	$5/3$
刚性双原子分子	$5R/2$	$7R/2$	$7/5$
刚性多原子分子	$3R$	$4R$	$4/3$

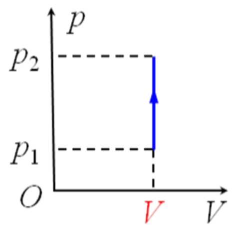
§8.6 **热力学第一定律对理想气体在典型准静态过程中的应用**

二、等体过程

特征：$V=\text{Const}$，$\mathrm{d}V=0$；过程方程：$\frac{p}{T}=\nu\frac{R}{V}=Const$

功：$A=0$；热量：$Q_V=\nu C_V(T_2-T_1)=\frac{V}{R}C_V(p_2-p_1)$

内能变化： $\Delta E=Q_V=\nu C_V(T_2-T_1)$

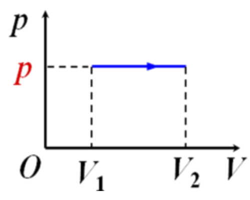


三、等压过程

特征：$p=\text{Const}$， $\mathrm{d}p=0$ ；过程方程：$\frac{V}{T}=\nu\frac{R}{p}=Const$

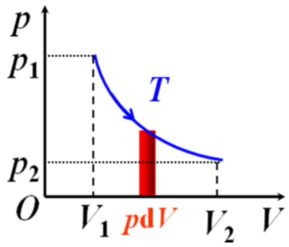
功(A 等于等压线下的面积)： $A=p(V_2-V_1)=\nu R(T_2-T_1)$

热量：$Q_p=\nu C_p(T_2-T_1)$；内能变化： $\Delta E=\nu C_V(T_2-T_1)$



四、等温过程

特征：$T = \mathrm{Const}$，　$\mathrm{d}T = 0$；过程方程：　$pV = Const$

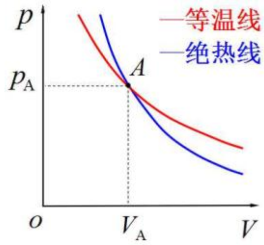


内能变化 $\mathrm{d}E = 0$；功：　$A = \nu RT\ln\dfrac{V_2}{V_1} = \nu RT\ln\dfrac{p_1}{p_2}$

热量：　$Q_T = A_T = \nu RT\ln\dfrac{V_2}{V_1} = \nu RT\ln\dfrac{p_1}{p_2}$

§8.7　**绝热过程**：$\mathrm{d}Q = 0$，　$\boldsymbol{p}$，$\boldsymbol{V}$，$\boldsymbol{T}$ **均为变量。**

过程方程：$\boxed{pV^{\gamma} = 常数}$；$\boxed{TV^{\gamma-1} = 常数}$；$\boxed{p^{\gamma-1}T^{-\gamma} = 常数}$

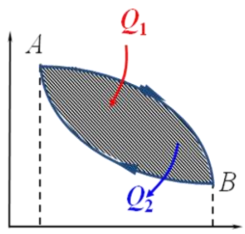


内能变化：　$E = \nu C_V(T_2 - T_1)$；

绝热功：$\boxed{A = \dfrac{p_1V_1 - p_2V_2}{\gamma - 1} = -\nu C_V(T_2 - T_1)}$

绝热线比等温线陡。

§8.8　循环过程



$\Delta E = 0$，内能不改变；$\boxed{A = Q_1 - Q_2}$，

其中 Q_1 为总吸热，Q_2 为总放热。

(1) **热机：正循环，顺时针**

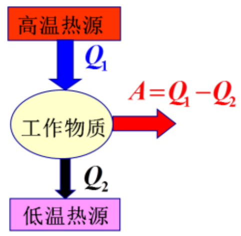
工质从高温热源吸收热量，一部分用于对外做工，一部分向低温热源释放热量。

(2) **制冷机：逆循环，逆时针**

外界对工质作功，工质从低温热源吸热，向高温热源放热。

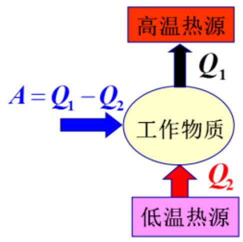
1. 热机效率

热机效率：$\boxed{\eta = \dfrac{A}{Q_1} = 1 - \dfrac{Q_2}{Q_1}}$，如图所示。



2. 制冷系数

制冷系数：$\boxed{w = \dfrac{Q_2}{A} = \dfrac{Q_2}{Q_1 - Q_2}}$，如图所示。



对于过程吸热或者放热的判断：

（1）等体过程：压强增大为吸热，减小为放热；

（2）等压过程：体积增大为吸热，减小为放热；

（3）等温过程：体积膨胀压强减小为吸热，体积收缩压强增大为放热。

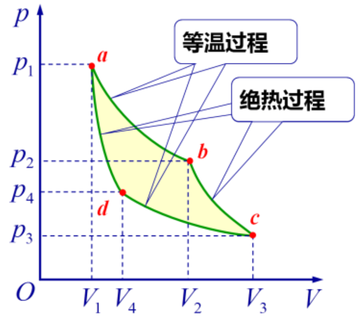
§8.11 卡诺循环

一、卡诺循环

卡诺循环：**由两个可逆等温过程和两个可逆绝热过程组成的循环**。

正向卡诺循环及其效率

卡诺热机效率：$\boxed{\eta = 1 - \dfrac{Q_2}{Q_1} = 1 - \dfrac{T_2}{T_1}}$



逆向卡诺循环的致冷系数：$\boxed{w = \dfrac{T_2}{T_1 - T_2}}$

★不同过程中内能、功和热量的计算

	变量关系	内能增量 ΔE	热量 Q	功 A
等体过程 $dV = 0$	$\dfrac{p}{T} = Const$	$\nu C_V \Delta T$	$\nu C_V \Delta T$	0
等压过程 $dp = 0$	$\dfrac{V}{T} = Const$	$\nu C_V \Delta T$	$\nu C_p \Delta T$	$\nu R \Delta T$
等温过程 $dT = 0$	$pV = Const$	0	$\nu RT \ln \dfrac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \dfrac{p_1}{p_2}$	
绝热过程 $dQ = 0$	$pV^{\gamma} = const$ $TV^{\gamma-1} = const$ $p^{\gamma-1}T^{-\gamma} = const$	$\nu C_V \Delta T$	0	$\dfrac{p_1V_1 - p_2V_2}{\gamma - 1}$ $= -\nu C_V \Delta T$

★热力学计算题：

（一）**循环类型**的题目解题步骤（例 8.4）：

（1）首先判断是正循环（顺时针）还是逆循环（逆时针），正循环求解的是效率，逆循环求解的是制冷系数。

（2）根据状态图，判断每一个过程的类型（等体、等压、等温或者绝热）。

（3）根据题目的问题，利用上表，计算相关过程中的内能增量、热量或功，并注意根据题目给出的已知量利用状态方程进行变量代换。热量注意区分吸热（$Q > 0$）和放热（$Q < 0$），功则需计算出净功。

（4）利用公式求出效率或制冷系数。

（二）其他类型题目：灵活运用状态方程 $pV = \nu RT$、热力学第一定律 $Q = \Delta E + A$、功的计算公式 $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$ 和内能与温度关系 $\nu C_V \Delta T$ 求解。

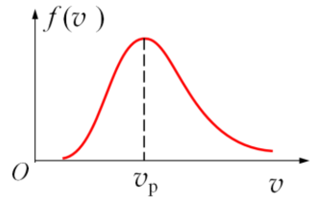
第九章 气体动理论

§9.2 气体分子的热运动

平衡状态时，气体分子沿各方向运动的概率相等，则：$\overline{v_x^2}=\overline{v_y^2}=\overline{v_z^2}=\frac{1}{3}\overline{v^2}$

§9.4　理想气体的压强公式

理想气体的**压强公式**：$\boxed{p=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_k}$，其中 $\bar{\varepsilon}_k=\frac{1}{2}\mu\bar{v}^2$ 为分子平均平动动能，n 为分子数密度，μ 为单个分子质量。



§9.5 麦克斯韦速率分布定律

$\boxed{f(v)\mathrm{d}v=\frac{\mathrm{d}N}{N}}$

物理意义：为**在速率 v ~ v+dv 区间内的分子数占总分子数的比率**。

归一化：**曲线下面的总面积等于 1**

§9.6　温度的微观本质

理想气体平均平动动能与温度关系：$\boxed{\bar{\varepsilon}=\frac{3}{2}kT}$，其中 $\boldsymbol{k=R/N_A}$

$\boxed{p=nkT}$：阿伏加德罗定律，与状态方程等价。

§9.7 能量按自由度均分原理

自由度：确定一个物体在空间的位置所必需的独立坐标数目。　自由度数目（平动+转动+振动）：$i=t+r+v$

单原子分子：*i* =3；刚性双原子分子：*i* = 5；刚性多原子分子：*i* = 6

能量按自由度均分定理：在温度为 *T* 的平衡态下，物质分子的每个自由度都具有相同的平均动能，其大小等于 $\frac{1}{2}kT$ ：$\boxed{\overline{\varepsilon_k}=\frac{1}{2}(t+r+v)kT=\frac{i}{2}kT}$

理想气体的内能：$\boxed{E=\frac{i}{2}\frac{m}{M}RT}$

气体的摩尔热容：$\boxed{C_\mathrm{v}=\frac{i}{2}R}$，$\boxed{C_\mathrm{p}=\frac{i+2}{2}R}$，摩尔热容比：$\boxed{\gamma=\frac{C_\mathrm{p}}{C_\mathrm{v}}=\frac{i+2}{i}}$

第十四章 狭义相对论力学基础

§14.2　狭义相对论的两个基本假设

假设 I：**在所有惯性系中，一切物理学定律都相同**。这也称为**相对性原理**。

假设 II：在所有惯性系中，**真空中光沿各个方向传播的速率都等于同一个恒量**。这也称为**光速不变原理**。

§14.3　狭义相对论的时空观

一、“同时性”的相对性：只有在 S′ 系中**同一地点**又**同时发生**的两件事件，在 S 系看来两事件才是**同时**发生的。

二、**时间延缓**：$\boxed{\tau=\dfrac{\tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}}=\gamma\tau_0}$，其中$\boxed{\beta\equiv\dfrac{u}{c},\gamma\equiv\dfrac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}}$

其中**原时** τ_0 为发生在该惯性系中**同一地点**的两个事件之间的时间间隔。

三、**长度收缩**：$\boxed{L=L_0\sqrt{1-\left(u/c\right)^2}}$

其中**原长** L_0 为较相对尺**静止**的观测者所测得的长度。

记忆方法：只要知道洛伦兹因子$\gamma=\dfrac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\geq1$，以及时间延缓，长度收缩，就能记住公式了。

§14.4　洛伦兹变换

一、洛伦兹坐标和时间变换式

$$x'=\frac{x-ut}{\sqrt{1-\beta^2}}\text{，}\quad t'=\frac{t-\dfrac{u}{c^2}x}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

§14.5　狭义相对论质点动力学简介

一、相对论质量和动量

1. 质速关系：$\boxed{m\left(v\right)=\dfrac{m_0}{\sqrt{1-\left(v/c\right)^2}}}$，$m_0$ 为**静止质量**。

二、**质能关系式**：$\boxed{E_{\mathrm{k}}=mc^2-m_0c^2=E-E_0}$，式中 E_0 为静止能量，E_{k} 为动能，E 为总能量。