大物A1

大学物理（上）知识点总结

> ♨ **总体建议**
>
> 本笔记已覆盖大物A1主要内容。建议复习时关注每章的重点、难点和易错点，注意公式的适用条件和物理意义。

> *本文由 简悦 SimpRead 转码，原文地址：blog.csdn.net*

> *期末，总结一下大学物理知识点。对于大学物理（以下简称大物）的知识点总结，采取以公式为主线的方式进行。*

目录

一、质点动力学

本章重点

速度、加速度、动能定理、动量定理、机械能守恒、碰撞问题。

易错点

动量定理和动能定理的适用条件不同，机械能守恒只适用于无非保守力做功的系统。

例题

一物体以初速度 v_0 沿直线运动，受恒定加速度 a，求 t 秒后的位移和速度。

解题思路：

1. 先写出基本公式 $v = v_0 + at$。
2. 位移 $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$。
3. 代入已知量即可。

- **速度**：
  $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$

  说明
  速度是描述位置变化快慢和方向的矢量。

  例题1（基础）
  一质点做匀速直线运动，初速度 $v_0 = 5\ m/s$，求 3 秒后的速度和位移。

  解题思路：速度 $v = 5\ m/s$，位移 $x = 5 \times 3 = 15\ m$。

例题2（进阶）

一质点初速度 $v_0 = 2\ m/s$，加速度 $a = 3\ m/s^2$，求 4 秒后的速度和位移。

解题思路：$v = 2 + 3 \times 4 = 14\ m/s$，
$x = 2 \times 4 + \frac{1/2}{\times} 3 \times 16 = 8 + 24 = 32\ m$。

例题3（综合）

一质点做变加速直线运动，加速度 $a = 2t\ m/s^2$，初速度 $v_0 = 1\ m/s$，求 $t = 3s$ 时的速度和位移。

解题思路：$v = 1 + \int_0^3 2tdt = 1 + 2 \times \frac{9/2}{=} 10\ m/s$，
$x = 1 \times 3 + \int_0^3 t^2 dt = 3 + 9 = 12\ m$。

- **加速度**：
$\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{d\vec{v}}{dt}$

说明

加速度反映速度变化的快慢和方向。

例题1（基础）

一物体速度从 0 增加到 $10\ m/s$ 用时 $5s$，求加速度。

解题思路：$a = \frac{10-0}{5} = 2\ m/s^2$。

例题2（进阶）

一物体做匀加速直线运动，初速度 $v_0 = 3\ m/s$，末速度 $v = 15\ m/s$，位移 $x = 36\ m$，求加速度。

解题思路：$v^2 - v_0^2 = 2ax$，$a = \frac{15^2-3^2}{2\times36} = 3\ m/s^2$。

例题3（综合）

一物体加速度 $a = 4 - 2t\ m/s^2$，初速度 $v_0 = 0$，求 $t = 2s$ 时的速度。

解题思路:
$v = \int_0^2 (4 - 2t)dt = 4 \times 2 - 2 \times 2^2/2 = 8 - 4 = 4\ m/s$。

- **圆周运动**:
$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau = \frac{\vec{v}^2}{R} \cdot \vec{n} + \frac{d\vec{v}}{dt}$

难点
切向加速度和法向加速度的物理意义要分清，法向加速度指向圆心。

例题1（基础）
一物体做半径 $R = 1\ m$ 匀速圆周运动，速度 $v = 2\ m/s$，求向心加速度。

解题思路：$a_n = \frac{v^2}{R} = 4/1 = 4\ m/s^2$。

例题2（进阶）
一物体做半径 $2\ m$ 匀速圆周运动，周期 $T = 4s$，求线速度和向心加速度。

解题思路：$v = \frac{2\pi R}{T} = \pi\ m/s$，$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{\pi^2}{2}\ m/s^2$。

例题3（综合）
一物体做变速圆周运动，$v = 3t\ m/s$，$R = 2\ m$，求 $t = 2s$ 时的切向和法向加速度。

解题思路：$a_\tau = \frac{dv}{dt} = 3\ m/s^2$，$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{36}{2} = 18\ m/s^2$。

- $\beta = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$
- $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau = r \cdot \vec{\beta} + r \cdot \vec{\omega}^2$

- **功**：

> **说明**
> 功是力沿某方向对物体做的"有用"推动。

  - 保守力做功仅与相对位置有关，存在保守力场，蕴含的能量称为势能，即保守力做功 = 势能的增量的负值，而势能只存在相对意义，即必须选取零势能面（点）。
  - 非保守力做功与相对移动有关。
    $A = \int_a^b \vec{F} d\vec{r}$
- **势能**：
  $E_p = \int_M^{参} \vec{F} dr$
  - 引力势能：
    $\int_r^{\infty} -G\frac{mM}{r^2} dr = -G\frac{Mm}{r}$

> **易错点**
> 势能的零点选择是相对的，计算时要统一。

- **功率**：
  $\overline{P} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$
  $P = \frac{dA}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} = Fv\cos\theta$

> **说明**
> 功率反映做功快慢，$\cos\theta$ 是力与速度夹角。

> **例题1（基础）**
> 一恒力 $F = 10\ N$ 作用在物体上，物体以 $v = 2\ m/s$ 匀速运动，求功率。
>
> **解题思路**：$P = Fv = 10 \times 2 = 20\ W$

> **例题2（进阶）**

一物体在恒力 F 作用下，速度与力夹角 60°，$F = 5\ N$，$v = 3\ m/s$，求功率。

解题思路：$P = Fv\cos\theta = 5 \times 3 \times \cos 60^\circ = 7.5\ W$

例题3（综合）

一物体在变力 $F = 2t\ N$ 作用下，速度 $v = 4t\ m/s$，求 $t = 2s$ 时的瞬时功率。

解题思路：$P = Fv = 2t \times 4t = 8t^2$，$t = 2$ 时 $P = 32\ W$

- **动能定理**（空间积累）：
  合外力做功 = 物体始末的动能变化量
  $A = \frac{1/2}{m}v_2^2 - \frac{1/2}{m}v_1^2$

例题

质量为 m 的小球从高 h 处自由下落，落地速度是多少？

解题思路：

1. 机械能守恒：$mgh = \frac{1/2}{m}v^2$
2. 解得 $v = \sqrt{2gh}$。

例题1（基础）

质量 $2\ kg$ 的物体静止受 $10\ N$ 恒力作用，沿直线移动 $5\ m$，求末速度。

解题思路：$A = Fs = 10 \times 5 = 50\ J$，$A = \frac{1/2}{m}v^2$，$v = \sqrt{2A/m} = \sqrt{50} = 7.07\ m/s$

例题2（进阶）

质量 $1\ kg$ 的物体以 $3\ m/s$ 速度运动，受 $-2\ N$ 恒力反向作用 $4\ m$，求末速度。

解题思路：$A = -2 \times 4 = -8\ J$，$\Delta E_k = A$，$\frac{1/2}{v}{}_2^2 - \frac{1/2}{\times}3^2 = -8$，$v_2 = \sqrt{3^2 + 2 \times (-8)} = 1\ m/s$

例题3（综合）

质量 m 的物体以 v_0 速度上斜面，斜面长 L，倾角 θ，摩擦系数 μ，求到顶端速度。

解题思路：$A = mgL\sin\theta - \mu mgL\cos\theta$，$\Delta E_k = A$，$\frac{1/2}{m}v^2 - \frac{1/2}{m}v_0^2 = A$，解 v。

- **功能原理**：
  $A_{外}$
  $A_{内} = A_{非} + A_{保}$
  机械能守恒为 $\sum A_{外} + A_{非} = 0$ 时刻满足。

例题1（基础）

物体仅受重力作用从高 h 处自由下落，机械能是否守恒?

解题思路：无非保守力做功，机械能守恒。

例题2（进阶）

物体下落过程中受空气阻力，机械能是否守恒?

解题思路：有非保守力（阻力）做功，机械能不守恒。

例题3（综合）

质量 m 的物体从高 h 处自由下落，落地速度 v，若有非保守力做功 $W_{非}$，求 v。

解题思路：$mgh + W_{非} = \frac{1/2}{m}v^2$，解 v。

- **动量定理**（时间积累）：
  条件：$\sum \vec{F}_{外} = 0$ 或内力远大于外力。

$\vec{I}=\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}dt=\int_{t_1}^{t_2}dm\vec{v}=mv_1-mv_2$

说明

动量定理适合分析"冲量"问题，如碰撞、爆炸。

例题1（基础）

质量 $2\ kg$ 的物体静止，受 $6\ N$ 恒力作用 $2\ s$，求末速度。

解题思路：$I=Ft=6\times2=12\ N\cdot s$，$mv=12$，$v=6\ m/s$

例题2（进阶）

质量 m 的物体以 v_0 速度运动，受恒力 F 反向作用 t 秒，求末速度。

解题思路：$I=-Ft$，$mv=mv_0-Ft$，$v=v_0-\frac{F}{m}t$

例题3（综合）

质量 m 的物体以 v_0 速度运动，受变力 $F=kt$ 作用 t 秒，求末速度。

解题思路：$I=\int_0^t ktdt=\frac{1/2}{k}t^2$，$mv=mv_0+\frac{1/2}{k}t^2$，$v=v_0+\frac{k}{2m}t^2$

- **碰撞（对心）**：
  - 完全非弹性碰撞：机械能损失最大

例题1（基础）

两质量均为 $1\ kg$ 的小球正对碰撞，$v_1=2\ m/s$，$v_2=-1\ m/s$，完全弹性，求碰后速度。

解题思路：动量守恒、动能守恒联立，$v_1'=-1\ m/s$，$v_2'=2\ m/s$

> **例题2（进阶）**
> 质量 $2\ kg$ 小球以 $3\ m/s$ 撞上静止 $1\ kg$ 小球，完全非弹性碰撞，求合体速度。
>
> **解题思路**：$v = \frac{2\times3+1\times0}{2+1} = 2\ m/s$

> **例题3（综合）**
> 质量 m_1、m_2 小球速度 v_1、v_2，斜碰后粘连，求合体速度方向与大小。
>
> **解题思路**：动量守恒，分解矢量，$\vec{v} = \frac{m_1\vec{v}_1+m_2\vec{v}_2}{m_1+m_2}$

- 弹性碰撞：动能增量为零
- 非弹性碰撞：动能增量不为零（一般不讨论）

> **例题**
> 两小球质量分别为 m_1、m_2，速度分别为 v_1、v_2，正对碰撞且完全弹性，求碰后速度。
>
> **解题思路**：
> 1. 写动量守恒 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$。
> 2. 写动能守恒 $\frac{1/2}{m}{}_1v_1^2 + \frac{1/2}{m}{}_2v_2^2 = \frac{1/2}{m}{}_1{v_1'}^2 + \frac{1/2}{m}{}_2{v_2'}^2$。
> 3. 联立解方程。

- **质心**：意会

> **说明**
> 质心是系统各部分质量加权平均的位置，常用于多物体系统分析。

二、刚体的定轴转动

本章重点

力矩、转动惯量、角动量守恒、平行轴定理。

难点

复杂物体转动惯量的计算，平行轴定理和垂直轴定理的灵活应用。

- **力矩**：
  $\vec{M}_0 = \vec{r} \times \vec{F}$

  说明
  力矩反映力使物体转动的"效果"，与力的大小、方向和力臂有关。

  例题1（基础）
  一根长 $2\ m$ 的细杆，一端固定，另一端施加 $10\ N$ 垂直向上的力，求力矩。

  解题思路：$M = rF = 2 \times 10 = 20\ N \cdot m$

  例题2（进阶）
  一根长 $1\ m$ 的杆，一端固定，另一端施加 $8\ N$ 与杆成 30° 的力，求力矩。

  解题思路：$M = rF \sin\theta = 1 \times 8 \times \sin 30^\circ = 4\ N \cdot m$

  例题3（综合）
  一根长 L 的杆，一端固定，另一端施加 F，与杆夹角 θ，求力矩表达式。

解题思路：$M = LF\sin\theta$

- **定轴转动定理**：
  $M = J\beta$

> 说明
> 类比牛顿第二定律 $F = ma$，J 类似"转动质量"。

> 例题1（基础）
> 质量 $2\ kg$ 的圆盘，半径 $0.5\ m$，受 $4\ N \cdot m$ 力矩作用，求角加速度。
>
> 解题思路：$J = \frac{1}{2}mr^2 = 0.25\ kg \cdot m^2$，$\beta = \frac{M}{J} = 16\ rad/s^2$

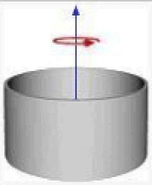
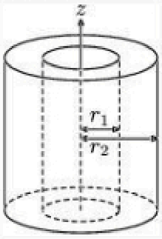
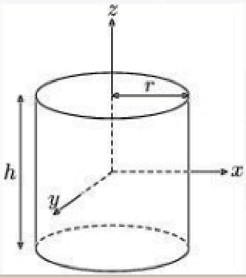
> 例题2（进阶）
> 质量 m 的圆环，半径 R，受 M 力矩作用，求角加速度。
>
> 解题思路：$J = mR^2$，$\beta = \frac{M}{mR^2}$

> 例题3（综合）
> 质量 m 的细杆，长 L，绕一端转动，受 F 垂直于杆的恒力作用，求角加速度。
>
> 解题思路：$J = \frac{1/3}{m}L^2$，$M = FL$，$\beta = \frac{FL}{\frac{1/3}{m}L^2} = \frac{3F}{mL}$

- **转动惯量**：
  $J = \sum \Delta m_i r_i^2$

> 难点

复杂物体的 J 需积分，常见几何体要记住公式。

描述	图形	转动惯量	注解
两端开通的薄圆柱壳，半径为r，质量为m		$I = mr^2$	此表示法假设了壳的厚度可以忽略不计。此为下一个物体，当其r_1=r_2时的特例。
两端开通的厚圆柱，内半径r_1，外半径r_2，高h，质量m		$I_z = \frac{1}{2}m\left(r_1{}^2 + r_2{}^2\right)$ $I_x = I_y = \frac{1}{12}m\left[3\left(r_1{}^2 + r_2{}^2\right) + h^2\right]$ or when defining the normalized thickness $t_n = t/r$ and letting $r = r_2$, then $I_z = mr^2\left(1 - t_n + \frac{1}{2}t_n^2\right)$	—
实心圆柱，半径为r，高h，质量m		$I_z = \frac{mr^2}{2}$ $I_x = I_y = \frac{1}{12}m\left(3r^2 + h^2\right)$	此为前面物体，当其r_1=0时的特例。

例题1（基础）

质量 $2\ kg$，半径 $0.2\ m$ 的圆盘，求转动惯量。

解题思路：$J = \frac{1/2}{m} r^2 = 0.04\ kg \cdot m^2$

例题2（进阶）

质量 m，半径 R 的圆环，求转动惯量。

解题思路：$J = mR^2$

例题3（综合）

均匀细杆长 L，质量 m，绕一端转动，求转动惯量。

解题思路：$J = \int_0^L x^2 \frac{m}{L} dx = \frac{1/3}{m} L^2$

- **平行轴定理**：
  $J_z = J_c + md^2$

⚠ 易错点

d 是新轴到质心轴的距离，单位要统一。

- **定轴转动刚体动能**：
  $E_k = \frac{1/2}{J}\omega^2$

> **说明**
> 与平动动能 $\frac{1/2}{m}v^2$ 类似，ω 是角速度。

- **力矩的功**：
  $A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} M d\theta$
- **定轴转动的动能定理**：
  $A = \int_{\omega_1}^{\omega_2} d(\frac{1/2}{J}\omega^2) = \frac{1/2}{J}\omega_2^2 - \frac{1/2}{J}\omega_1^2$
- **角动量**：
  $\vec{L}_0 = \vec{r} \times m\vec{v}$
- **角动量定理**：
  $\vec{M}_0 = \frac{d\vec{L}_0}{dt}$
- **角动量守恒定理**（有心力）：
  若 $M_0 = 0$ 则 $\vec{L} = 常矢量$

> **说明**
> 角动量守恒常用于无外力矩作用的系统，如花样滑冰转体。

- **定轴转动的角动量**：
  $\vec{L}_z = J_z\omega$
- **定轴转动的角动量定理**：
  若 J 为恒量
  $\vec{M}_z = J_z\frac{dw}{dt} = J_z\beta$
- **定轴转动的角动量守恒定理**（有心力）：
  若 $M_z = 0$ 则 $\vec{L}_z = J_z\omega = 常矢量$
- **进动**：选学

例题

均匀细杆长 l，质量 m，绕一端垂直轴转动，求转动惯量。

解题思路：

1. 取微元 dm，距离轴 x。
2. $J=\int_0^l x^2dm$，$dm=\frac{m}{l}dx$。
3. $J=\int_0^l x^2\frac{m}{l}dx=\frac{1/3}{m}l^2$。

三、机械振动基础

本章重点

简谐振动公式、能量分析、谐振动合成、拍现象。

易错点

拍频公式 $v=|v_2-v_1|$，注意不是两频率的平均值。

- **简谐振动**：
  $x(t)=Acos(\omega t+\phi)$
  其中，
  $\omega=\frac{2\pi}{T}$

  例题1（基础）
  一质点做简谐振动，振幅 $A=0.1\ m$，周期 $T=2\ s$，初相 $\phi=0$，写出其振动方程。

  解题思路：$\omega=\frac{2\pi}{2}=\pi$，$x=0.1\cos(\pi t)$

  例题2（进阶）

一质点做简谐振动，$x = 0.2\cos(4\pi t + \frac{\pi}{3})$，求振幅、周期、初相。

解题思路：振幅 $A = 0.2\ m$，$\omega = 4\pi$，$T = \frac{2\pi}{4\pi} = 0.5\ s$，初相 $\phi = \frac{\pi}{3}$

例题3（综合）

一质点做简谐振动，$x = 0.1\cos(2t + \phi)$，已知 $t = 0$ 时 $x = 0.05\ m$，$v = 0$，求初相 ϕ。

解题思路：$x(0) = 0.1\cos\phi = 0.05$，$v(0) = -0.2\sin\phi = 0$，得 $\phi = \frac{\pi}{3}$。

- **单摆**：
  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$
  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

例题1（基础）

长度 $l = 1\ m$ 的单摆，求周期。

解题思路：$T = 2\pi\sqrt{1/9.8} \approx 2.01\ s$

例题2（进阶）

单摆周期 $T = 2\ s$，求摆长。

解题思路：$l = \frac{gT^2}{4\pi^2} = \frac{9.8\times4}{4\pi^2} \approx 1\ m$

例题3（综合）

单摆长 l，周期 T，若摆长变为 $4l$，周期变为多少?

解题思路：$T_2 = 2\pi\sqrt{4l/g} = 2T_1$

- **简谐振动的能量**:
  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \phi)$
  $E_p = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \phi)$
  $E = \frac{1/2}{k}A^2$

例题1（基础）

质量 $1\ kg$，振幅 $0.1\ m$，$k = 100\ N/m$ 的弹簧振子，求最大动能。

解题思路：$E = \frac{1/2}{k}A^2 = 0.5\ J$，最大动能等于总能量。

例题2（进阶）

上述弹簧振子，$t = 0$ 时刻动能为零，求此时位移。

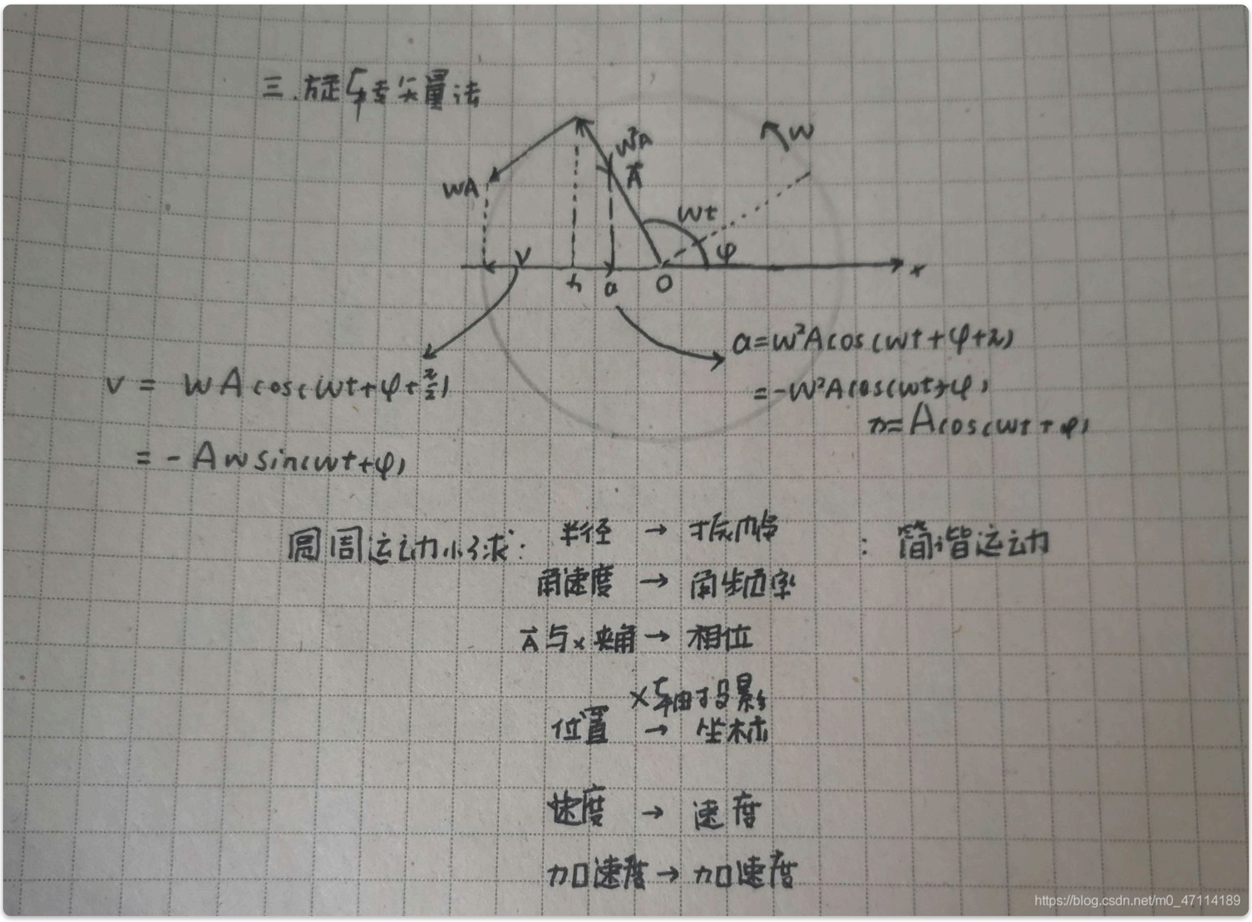
解题思路：动能为零，$\sin(\omega t + \phi) = 0$，$\cos(\omega t + \phi) = \pm 1$，$x = \pm A = \pm 0.1\ m$。

例题3（综合）

质量 m 的简谐振子，$x = \frac{A}{2}$ 时动能是多少?

解题思路：$E_k = E - E_p = \frac{1/2}{k}A^2 - \frac{1/2}{k}(\frac{A}{2})^2 = \frac{3/8}{k}A^2$

- **旋转矢量法**



- **单摆**:

  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$

  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

- **复摆**:

  $\omega = \sqrt{\frac{mgh}{J}}$ （$M = J\beta$）

- **简谐振动的能量**:
  - **动能**:

    $E_k = \frac{1/2}{m}v^2 = \frac{1/2}{m}\omega^2 A^2 sin^2(\omega t + \phi)$

    若

    $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

    则

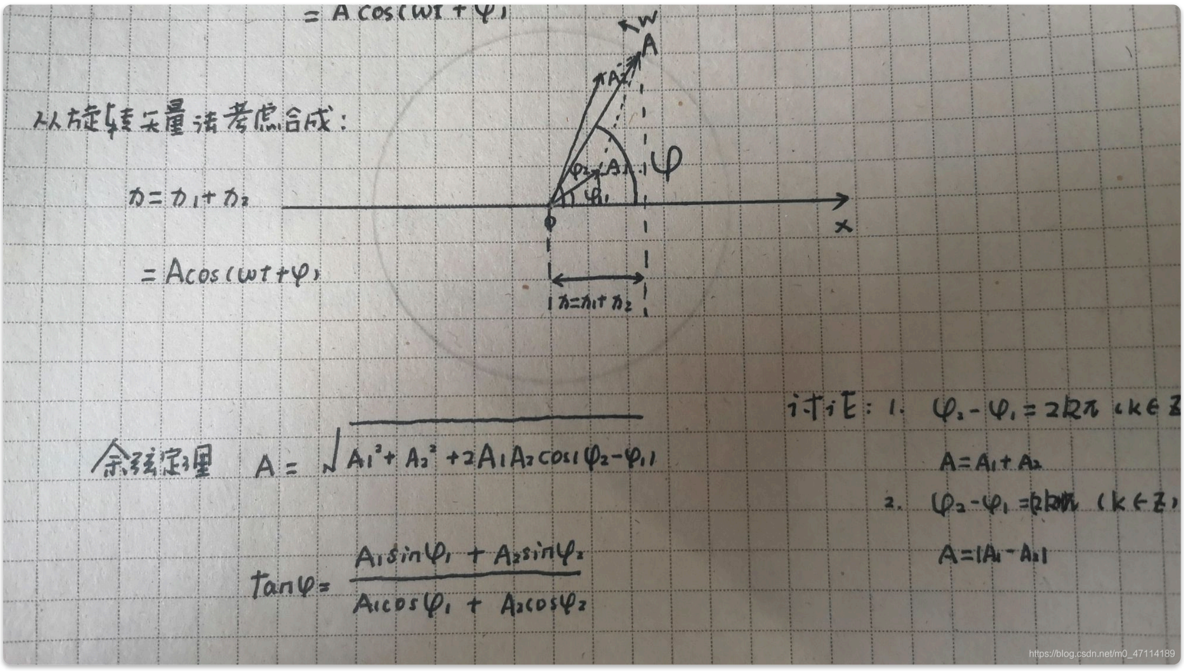
    $E_k = \frac{1/2}{k}A^2 sin^2(\omega t + \phi)$

  - **平均动能**:

    $\overline{E_k} = \frac{1/T}{\int}{}_{t}^{t+T} E_k dt = \frac{1/4}{k}A^2$

- **势能**：
  $E_p=\frac{1/2}{k}x^2=\frac{1/2}{k}A^2cos^2(\omega t+\phi)$
- **机械能**：
  $E=E_k+E_p=\frac{1/2}{k}A^2$

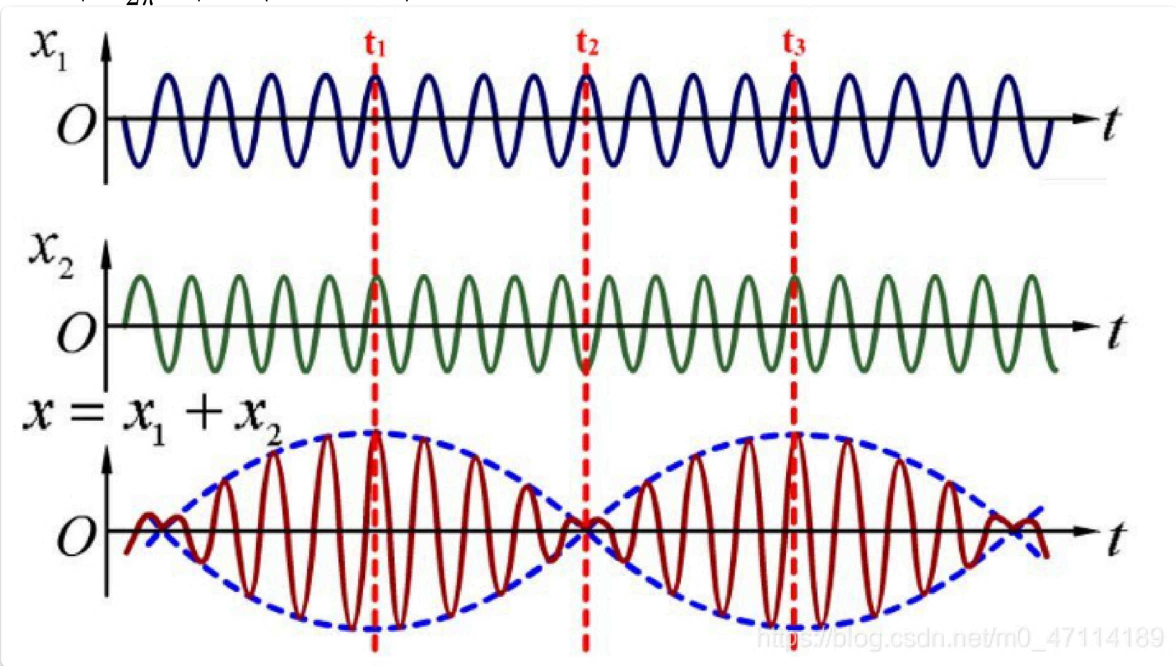
- **两个同频率振动的相位关系**：
  - 超前 or 落后
  - 同相 or 反相
- **谐振动的合成**：
  1. **同方向同频率谐振动的合成**：
     $x_1=A_1cos(\omega t+\phi_1)$
     $x_2=A_2cos(\omega t+\phi_2)$
     $x=x_1+x_2=\cdots=Acos(\omega t+\phi)$
     （用旋转矢量的方法思考问题）



  2. **同方向不同频率谐振动合成**：
     $x_1=A_1cos\omega_1t$
     $x_2=A_2cos\omega_2t$
     $x=x_1+x_2=A_1cos\omega_1t+A_2cos\omega_2t=2Acos(\frac{\omega_2-\omega_1}{2}t)\cdot 2Acos(\frac{\omega_2+\omega_1}{2}$
     和振动不再是简谐振动
     $A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2cos[(\omega_2-\omega_1)t]}$
     当
     $\omega_1\approx\omega_2$

时可以近似看作振幅缓慢变化的简谐振动，这就是“拍”，拍频指单位时间内合振动振幅强弱变化的次数，即

$v = |\frac{\omega_2-\omega_1}{2\pi}| = |v_2 - v_1|$

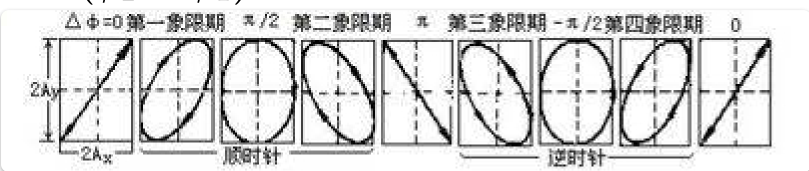


3. **两个同频率相互垂直谐振动的合成**

$x = A_1 cos(\omega t + \phi_1)$

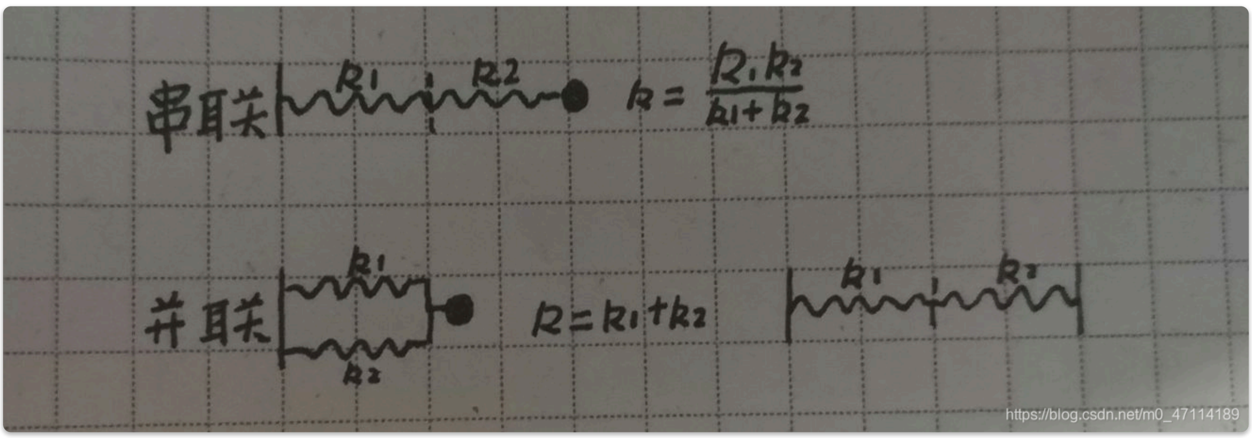
$y = A_2 cos(\omega t + \phi_2)$

$sin^2(\phi_2 - \phi_1)$



（李萨如图）

- **阻尼振动**：
  线形恢复力 + 阻尼力
- **受迫振动**：
  弹性力 + 阻尼力 + 周期性策动力



四、机械波

本章重点

波动方程、能流密度、干涉条件、驻波、拍、相干条件。

难点

干涉和衍射的物理本质，驻波的能量分布。

- **机械波的几个概念**：
  - 横波：质点振动方向垂直波传播的方向
  - 纵波：质点振动方向平行于波传播方向
  - 波面：在波传播过程中，振动相位相同的点联结成的面
  - 波线：沿波传播方向的直线
  - 波前：在某一时刻，波传播到最前面的波面
    在各向同性均匀媒质中，波线与波面相互垂直
  - 波长：同一波线上相差为 2π 的相邻两点间的距离
  - 周期：波前进一个周期的距离为一个波长
  - 频率：周期的倒数
  - 波速：振动状态在媒质中传播的速度
    $u = \frac{\lambda}{T} = v\lambda$
    其中，波速由媒质决定，频率与媒质无关，是波的特质
- **波动方程**：
  $o点振动方程：y_0 = Acos(\omega t + \phi_0)$
  经过
  $\Delta t = \frac{x}{u}(x为位移，u为光速)$
  传播到 p 点，则 p 点落后于 o 点，振动方程为：
  $y = Acos[\omega(t - \frac{x}{u}) + \phi_0]$

- **波函数的其他形式**：
  $y = Acos[2\pi(vt - \frac{x}{\lambda}) + \phi_0]$
  $y = Acos[2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}) + \phi_0]$
  $y = Acos[\frac{2\pi}{\lambda}(ut - x) + \phi_0]$

> Tip
> 小技巧：x,t 异号正向传播，x,t 同号逆向传播

- **平面简谐波的波动微分方程**：意会
- **波的能量**：
  - **动能**：
  - $\omega_k = \frac{1/2}{\Delta}mv^2 = \frac{1/2}{\mu}\Delta x\omega^2 A^2 sin^2(\omega[t - \frac{x}{u}) + \phi_0]$（$\mu$为线密度）
  - **势能**：
    $\omega_p = \frac{1/2}{\mu}\Delta x A^2\omega^2 sin^2[\omega(t - \frac{x}{u}) + \phi_0]$
    我们会发现势能等于动能，即机械能不守恒
  - **总能量**：
    $\omega = 2\omega = \mu\Delta x A^2\omega^2 sin^2[\omega(t - \frac{x}{u}) + \phi_0]$
  - **能量密度**（单位体积中波的能量）：
    设质元横截面为 S，体密度为 ρ，则单位线元中的机械能为：
    $\omega = \frac{W}{S\Delta x} = \rho A^2\omega^2 sin^2[\omega(t - \frac{x}{u}) + \phi_0]$
  - **一个周期内的平均能量密度**：
    $\overline{\omega} = \frac{1/T}{\int}{}_0^T \omega dt = \frac{1/2}{\rho}A^2\omega^2$
  - **一个周期内通过 S 的能量**：
    $\Delta w = \overline{w}uTS$
  - **能流密度**（波的强度）：
    $I = \frac{\Delta w}{TS} = \overline{w}u = \frac{1/2}{\rho}A^2 w^2 u$
    波的强度与振幅的平方成正比
- **球面波的振幅**：
  $A = \frac{A_0}{r}$
  则球面波的振幅随 r 增大而减小
- **惠更斯原理**：理解

- **波的干涉**：
  相干条件为频率相同，振动方向相同，相位差恒定
  $A^2=A_1^2+A_2^2+2A_1A_2cos\Delta\phi$
  $\Delta\phi=\phi_1-\phi_2-2\pi\frac{r_2-r_1}{\lambda}$
  $I=I_1+I_2+\sqrt{I_1I_2}cos\Delta\phi$
  强度分布显然可见
  - **干涉相长的条纹**：
    $\Delta\phi=\pm2k\pi$
    则
    $\delta=r_2-r_1=k\lambda$
  - **干涉相消的条纹**：
    $\Delta\phi=\pm(2k+1)\pi$
    则
    $\delta=r_2-r_1=(k+\frac{1/2}{)}\lambda$
- **驻波**：
  两列等振幅，传播方向相反的相干波叠加形成驻波
  波腹和波节
- **半波损失**：
  当波由波疏介质射入波密介质，再返回波疏介质时会产生半波损失，若反射时无能量损失，则形成驻波
  对于驻波，其能量在波节和波腹来回振动，势能和动能相互转化
- **多普勒效应**：

  v_s
  为波原始频率，

  v
  为波新的相对频率
  1. **波源静止，观察者运动**
     $v=\frac{u+v_0}{\frac{u}{v_s}}=(1+\frac{v_0}{u})v_s$
  2. **观察者静止，波源运动**
     $v=\frac{u}{u-v_s}v_s$

3. **波源和观察者同时运动**

$v = \frac{u+v_0}{\lambda - v_s T} = (\frac{u+v_0}{u-v_s})v_s$

注意：波源的运动与观察者运动不等价

- **机械波的基本性质**:

例题1（基础）

一列横波在绳上传播，波速 $u = 10\ m/s$，频率 $f = 2\ Hz$，求波长。

解题思路：$\lambda = \frac{u}{f} = 5\ m$

例题2（进阶）

一列波的波动方程为 $y = 0.05\cos[4\pi(t - \frac{x}{2})]$，求波速、波长、频率。

解题思路：$\omega = 4\pi$，$k = 2\pi/\lambda = 2$，$\lambda = \pi$，$u = \omega/k = 2\ m/s$，$f = \omega/2\pi = 2\ Hz$

例题3（综合）

一列波 $y = 0.1\cos(2\pi t - \pi x)$，求 $x = 1\ m$ 处 $t = 0.25\ s$ 时的位移。

解题思路：代入 x 和 t，

$y = 0.1\cos(2\pi \times 0.25 - \pi \times 1) = 0.1\cos(0.5\pi - \pi) = -0.1$

- **波的能量与能流密度**:

例题1（基础）

线密度 $\mu = 0.02\ kg/m$ 的绳上，简谐波振幅 $A = 0.05\ m$，角频率 $\omega = 10\ rad/s$，求单位长度平均能量。

解题思路：$\overline{w} = \frac{1}{2}\mu A^2\omega^2 = 0.0025\ J/m$

例题2（进阶）

上述波速 $u = 5\ m/s$，求能流密度。

解题思路：$I = \overline{w}u = 0.0025 \times 5 = 0.0125\ W/m$

例题3（综合）

若振幅加倍，能流密度变为多少?

解题思路：$I \propto A^2$，振幅加倍，I 增加为原来的 4 倍。

- **波的干涉与驻波**：

例题1（基础）

两列同频同振幅的简谐波相遇，初相差 0，求合成波的最大振幅。

解题思路：最大振幅 $= 2A$

例题2（进阶）

两列简谐波初相差 π，振幅 A，合成波最大振幅是多少?

解题思路：最大振幅 $= |A - A| = 0$

例题3（综合）

一根长 L 的弦两端固定，波速 u，求基频和前两次谐振频率。

解题思路：$f_n = \frac{nu}{2L}$，$n = 1, 2, 3$，依次代入。

五、波动光学

本章重点

杨氏双缝干涉、薄膜干涉、光栅衍射、偏振现象。

⚠ **易错点**

干涉条纹的明暗条件、半波损失的判断。

- **光源**：
  1. 热辐射
  2. 电致发光
  3. 光致发光
  4. 化学发光
     以上属于自发辐射，初相不相关
     以下属于受激辐射，具有统一性
  5. 同步辐射光源
  6. 激光光源
- **光的干涉**：
  - **相长干涉**：
    $I_{max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$
  - **相消干涉**：
    $I_{min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$
    如果
    $\phi_! = \phi_2$
  - **相长干涉**：
    $\delta = r_2 - r_1 = \pm k\lambda$
  - **相消干涉**：
    $\delta = r_2 - r_1 = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}$
    其中，k 为干涉级
- **杨氏双缝干涉**：

  例题1（基础）

波长 $600\ nm$ 的单色光通过双缝实验，缝间距 $d = 0.5\ mm$，屏到双缝距离 $D = 1\ m$，求相邻明条纹间距。

解题思路：$\Delta x = \frac{D\lambda}{d} = 1.2\ mm$

例题2（进阶）
若将屏向远处移动 $0.5\ m$，明条纹间距变为多少？

解题思路：D 变为 $1.5\ m$，$\Delta x = 1.8\ mm$

例题3（综合）
若双缝间距减半，波长和 D 不变，明条纹间距变为多少？

解题思路：d 变为 $0.25\ mm$，$\Delta x = 2.4\ mm$

- **薄膜干涉**：

例题1（基础）
垂直入射单色光照射厚度 $d = 1\ \mu m$ 的空气膜，波长 $\lambda = 500\ nm$，求反射光是否为明纹。

解题思路：$2d = 2\mu m = 2000\ nm = 4\lambda$，有半波损失，$2d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$，$k = 3$，为明纹。

例题2（进阶）
若膜厚变为 $0.75\ \mu m$，其反射光为明纹还是暗纹？

解题思路：$2d = 1.5\mu m = 3\lambda$，有半波损失，$2d = k\lambda$，$k = 3$，为暗纹。

例题3（综合）
若入射角不为零，如何判断明暗？

解题思路：$2d\cos\theta = n\lambda$，需考虑光程差和半波损失。

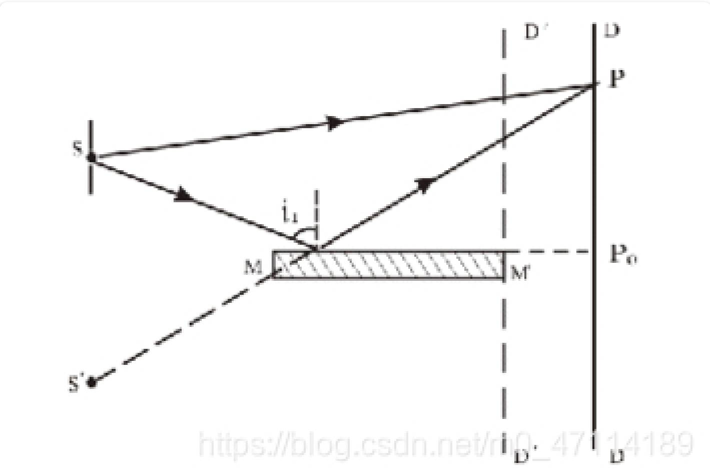
- **光栅衍射**：

> **例题1（基础）**
> 光栅常数 $d = 1\ \mu m$，入射光波长 $\lambda = 500\ nm$，求一级主极大衍射角。
>
> **解题思路**：$d\sin\theta = \lambda$，$\sin\theta = 0.5$，$\theta = 30^\circ$

> **例题2（进阶）**
> 若波长变为 $600\ nm$，求一级主极大衍射角。
>
> **解题思路**：$\sin\theta = 0.6$，$\theta \approx 36.9^\circ$

> **例题3（综合）**
> 若 $d = 2\ \mu m$，波长 $\lambda = 500\ nm$，求可见的主极大级数。
>
> **解题思路**：$k < \frac{d}{\lambda} = 4$，可见 $k = 0, 1, 2, 3$ 共 4 级。

- **洛埃镜**：



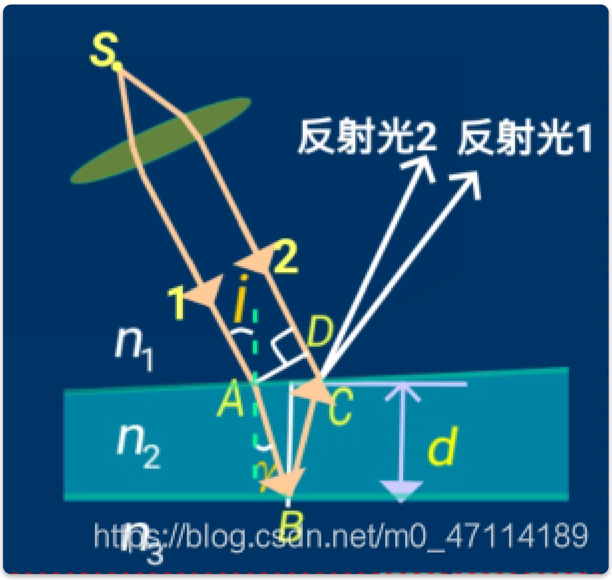
存在半波损失

$\delta = r_2 - r_1 + \frac{\lambda}{2}$

  - **明纹**：

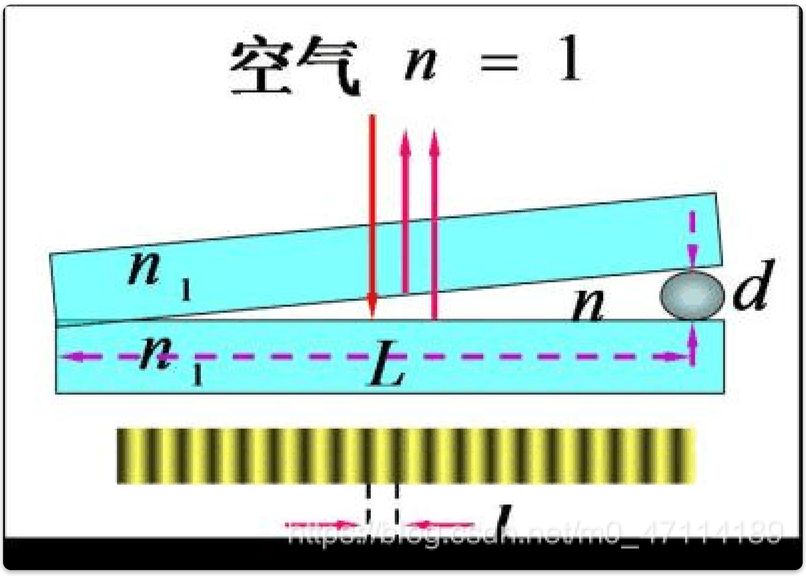
    $\delta = \pm k\lambda$

- **暗纹**:
  $\delta = \pm(k + \frac{1/2}{)}\lambda$

- **薄膜干涉**:
  

  光程差为
  $\delta = n_2(AB + BC) - n_1DC = \cdots = 2d\sqrt{n_2^2 - n1^2sin^2i}$
  若
  n_2
  最大或最小，则需要考虑半波损失，否则，不需要
  - **明纹**:
    $\delta = \pm k\lambda$
  - **暗纹**:
    $\delta = \pm(k + \frac{1/2}{)}\lambda$
    若从薄膜下方看，反射光干涉加强时，透射光干涉相消；反射光干涉相消时，透射光干涉加强
- **几种等厚干涉**:

1. **劈尖干涉**：



$\delta = 2d + \frac{\lambda}{2}$

相邻条纹之间的距离

$asin\theta = \frac{\lambda}{2}$

- **明纹**：

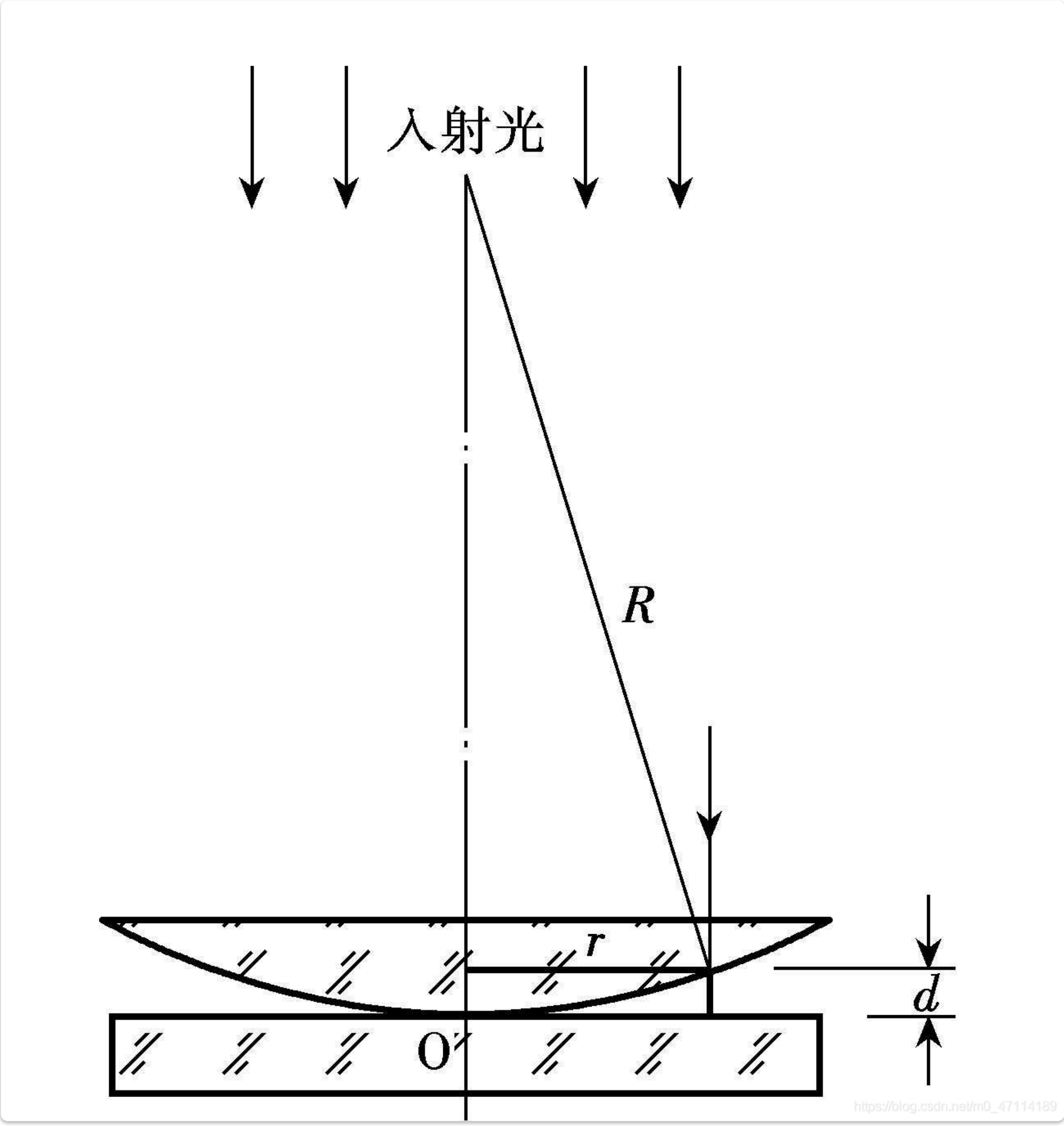
  $\delta = \pm k\lambda, d = \frac{2k-1}{4}\lambda$

- **暗纹**：

  $\delta = \pm(k + \frac{1/2}{)}\lambda, d = \frac{1/2}{k}\lambda$

  检测工件表面的不平整

- **牛顿环**：

  $\delta = 2d + \frac{\lambda}{2}$

  - **明纹**：

    $\delta = \pm k\lambda, d = \frac{2k-1}{4}\lambda$

  - **暗纹**：

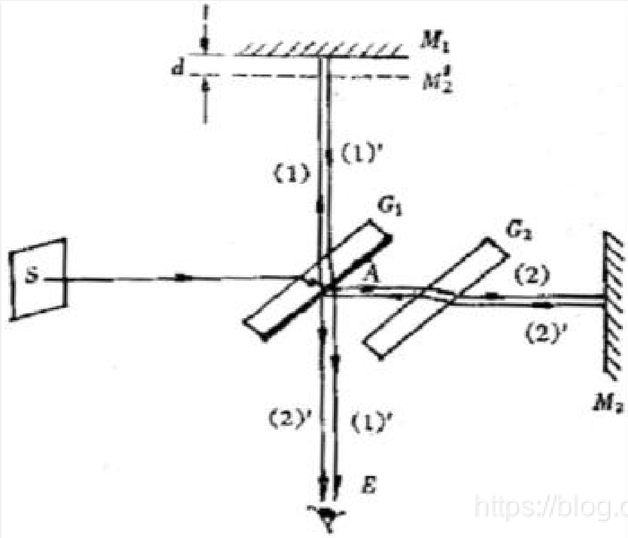
    $\delta = \pm(k + \frac{1/2}{)}\lambda, d = \frac{1/2}{k}\lambda$

- **增透膜**

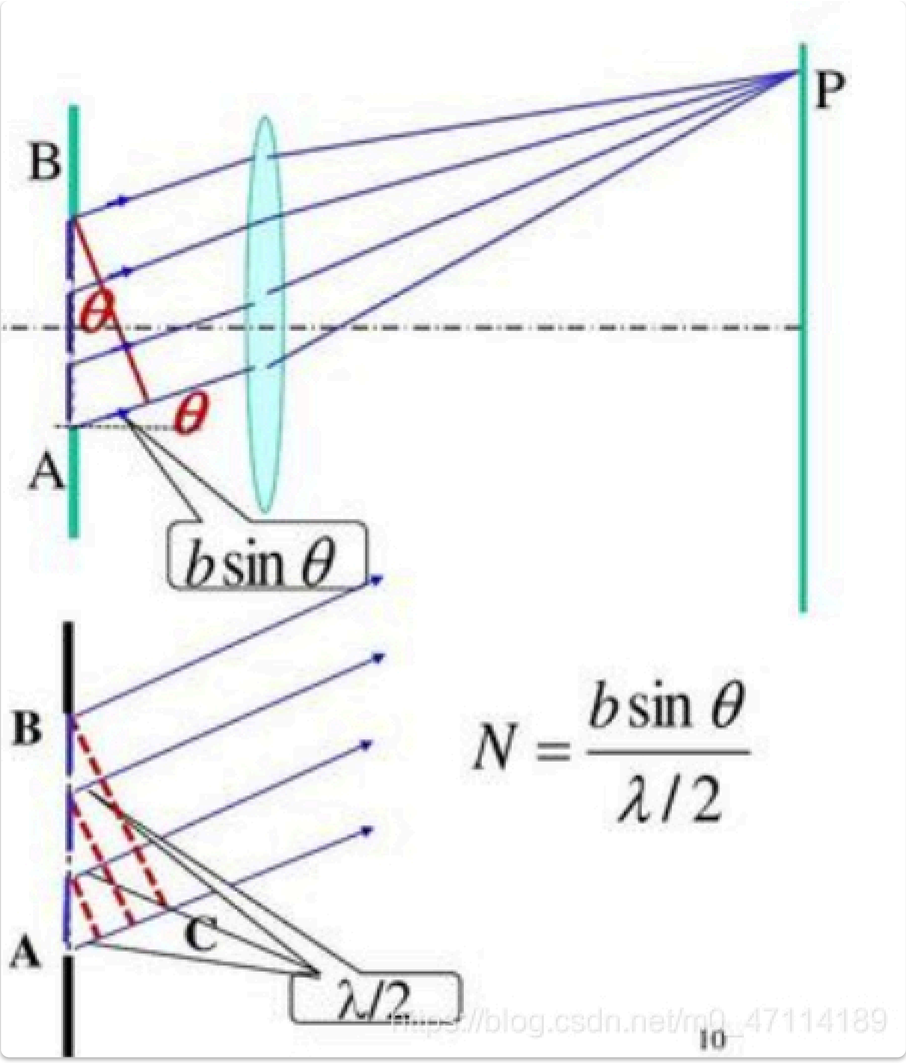
  原理为使反射光相消，则透射光加强（能量守恒）

  增反膜同理

- **麦克尔逊干涉仪**：



  - **明纹**：
    $\delta = \pm k\lambda$
  - **暗纹**：
    $\delta = \pm(k + \frac{1/2}{)}\lambda$
    条纹特点：
    当 M1 水平、M2 竖直时为等倾条纹（圆环）
    当 M1 和 M2 有小夹角时，会出现等厚条纹
    M1 移动
    λ
    ，光程差改变
    2λ
    ，视场中有两个条纹移动
- **惠更斯—菲涅尔原理**：
  光的衍射现象：
  当光遇到障碍物时，能够改变方向并绕过障碍物的边缘前进
  惠更斯菲涅尔原理：
  同一波前的各点发出的都是相干次波
  各次波在空间某点的相干叠加，就决定了该波的强度
- **单缝的夫琅禾费衍射**：
  菲涅尔半波带法：



半波带数

$N = \frac{bsin\theta}{\frac{\lambda}{2}}$

- **暗纹条件**:

  $N = \pm 2k, bsin\theta = \pm k\lambda$

- **明纹条件**:

  $N = \pm(2k+1), bsin\theta = \pm(k + \frac{1/2}{)}\lambda$

  明纹强度来自于一个半波带的贡献

- **中央明纹**:

  $bsin\theta = 0$

  条纹在屏上的位置为（f 为透镜的焦距）

  $x = ftan\theta \approx fsin\theta$

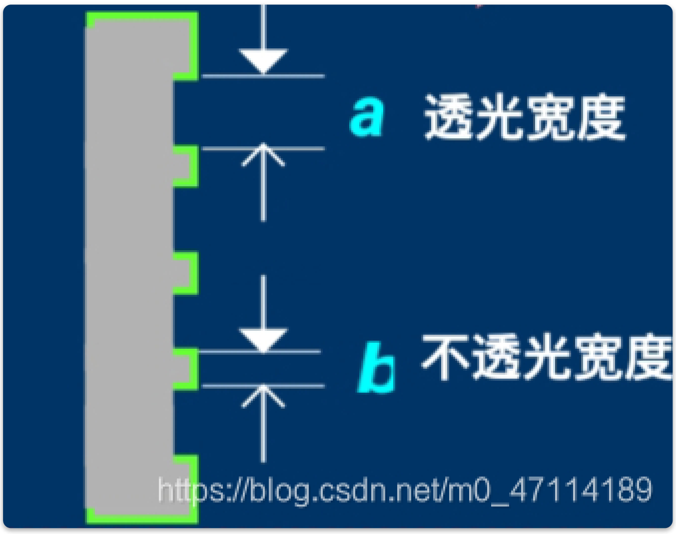
- **暗纹坐标**:

  $x = \pm k\frac{f\lambda}{a}$

- **明纹坐标**:

  $x = \pm(2k+1)\frac{f\lambda}{2a}$

- **中央明纹宽度**:
  $\frac{2f\lambda}{a}$
- **k 级明纹宽度**:
  $\frac{f\lambda}{a}$
  注:
  θ 增加，半波带面积减小，明纹强度减弱
  狭缝上下移动条纹不动
  透镜上下移动，条纹跟着移动

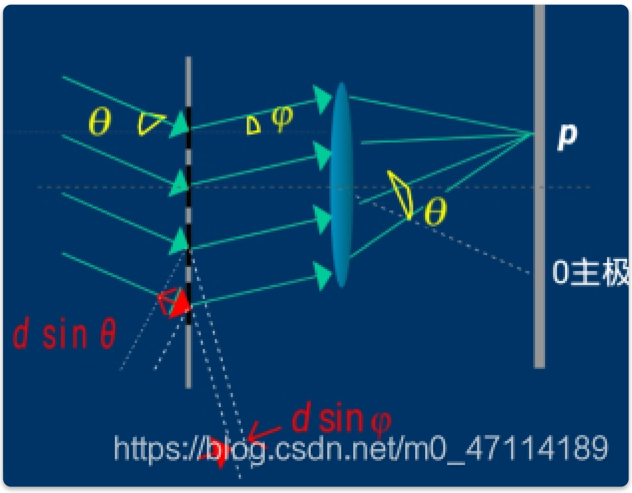
- **瑞利判据**:
  对于两个等光强的非相干点，如果一个像斑中心恰好落在另一个像斑边缘，则认为这两个像恰好可辨
- **衍射光栅**:
  

  光栅常数
  $d = a + b$
  狭缝数目 N
  - **主极大级数**:
    $dsin\phi = \pm k\lambda(k = 0, 1, 2 \ldots)$
    其中
    $|sin\phi| \leq 1, k < \frac{d}{\lambda}$
  - **暗纹条件**:
    非主极大就是暗纹
    若 N 为狭缝数目，则两主极大之间有 N-1 个极小，N-2 个次级大
    随着 N 增大，主极大更为尖锐

主极大强度正比于
N^2

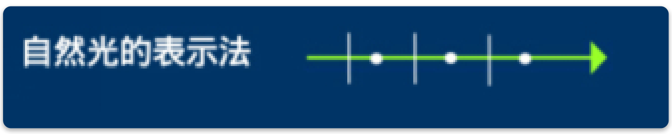
- **缺级**：
  主极大明纹位置与单缝衍射暗纹位置重合
  主极大明纹：
  $dsin\phi=\pm k\lambda$
  单缝衍射暗纹：
  $asin\phi=\pm k'\lambda$
  则，
  $k=\frac{d}{a}k'$
  (k 为整数即可)
- **主极大条纹的坐标**：
  $x=\pm kf\frac{f\lambda}{d}$
- **间距**：
  $\Delta x=\frac{f\lambda}{d}$

- **斜入射光栅方程**：

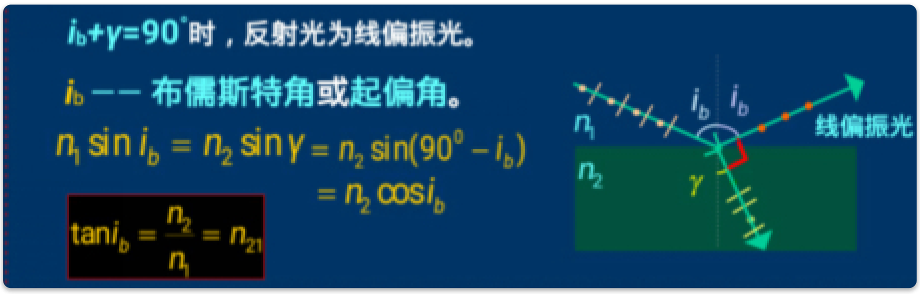


光程差：
$\delta=d(sin\theta+sin\phi)$
剩余与正射无异

- **偏振光的表示**：

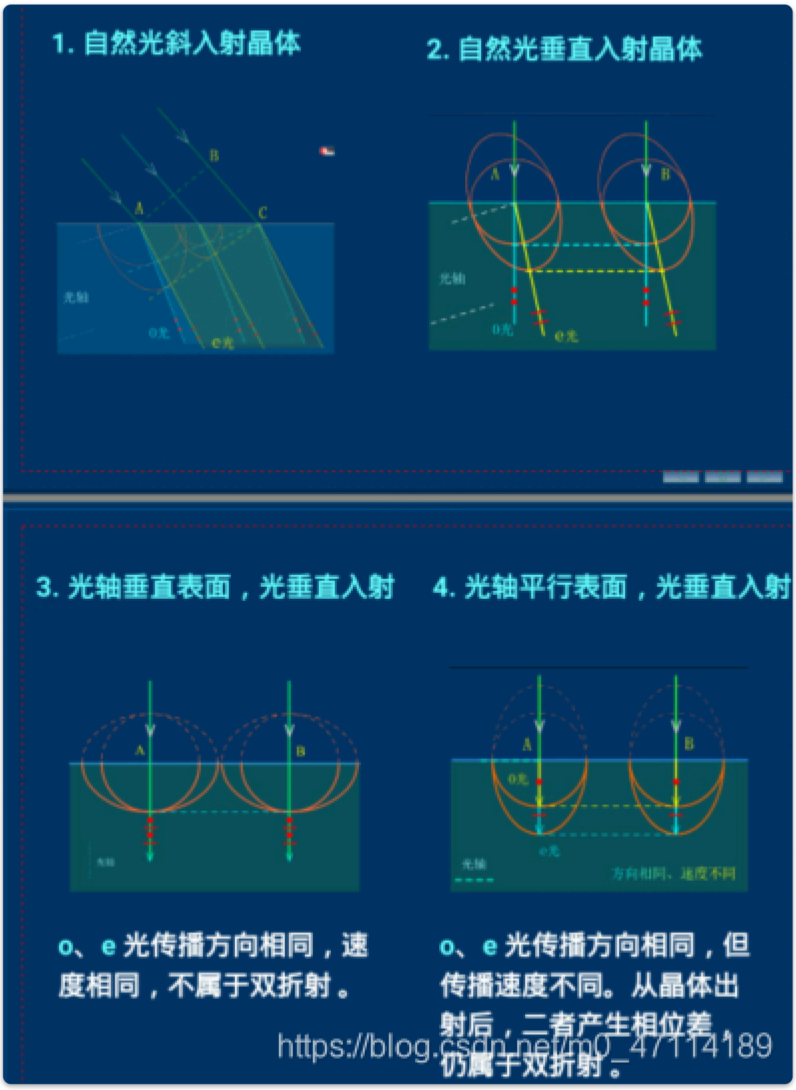


自然光转化为偏振光：
$I = \frac{1/2}{I}{}_0$

- **马吕斯定律**：
  线偏振光通过一个偏振片后，透射光强
  I
  与入射光强
  I_0
  之间满足：
  $I = I_0 cos^2\alpha(\alpha\text{为入射光与偏振化方向的夹角})$
- **布儒斯特定律**：
  自然光反射后，垂直振动对于平行振动
  自然光折射后，平行振动多于垂直振动
  

- **晶体的双折射现象**：
  遵循折射定律的叫做 o 光，反之叫做 e 光
  一般情况下，认为 o 光和 e 光的振动相互垂直
  o 光与 e 光传播速度不同，o 光波面为球面，e 光波面为椭球面，沿光轴方向，o 光和 e 光速度相同，垂直光轴方向，o 光和 e 光速度

相差最大



六、热力学

本章重点

热力学第一、第二定律，卡诺循环，理想气体状态方程。

难点

各种热力学过程的能量转化，循环过程的效率计算。

- **符号规定**：
  - V: 体积

    - P: 压强
    - T: 温度
    - ν: 摩尔数
    - R: 普适气体常数 = 8.31 (J·mol^{-1}·K^{-1})
    - A: 功
    - Q: 热量
    - E: 内能
    - γ: 热容比 $\frac{C_p}{C_v}$
- **平衡态**：在没有外界影响的情况下，系统各部分的宏观性质在长时间内不发生变化的状态
- **准静态过程**：热力学过程中，系统从某一状态开始经历一系列的中间状态达到另一状态的过程，如果过程进行的无限缓慢，则在这个过程中系统经历的每一个中间态都可以看作平衡态
- **理想气体状态方程**：
  $PV = \nu RT$

例题1（基础）

$1\ mol$ 理想气体，$T = 300\ K$，$V = 24.6\ L$，求压强。

解题思路：$P = \frac{\nu RT}{V} = \frac{1 \times 8.31 \times 300}{24.6} = 101.4\ kPa$

例题2（进阶）

$2\ mol$ 理想气体，$P = 2 \times 10^5\ Pa$，$T = 400\ K$，求体积。

解题思路：$V = \frac{\nu RT}{P} = \frac{2 \times 8.31 \times 400}{2 \times 10^5} = 0.0332\ m^3$

例题3（综合）

$1\ mol$ 理想气体，初态 $P_1 = 1\ atm$，$V_1 = 22.4\ L$，等温膨胀到 $V_2 = 44.8\ L$，求末态压强。

解题思路：等温过程 $P_1V_1 = P_2V_2$，$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = 0.5\ atm$

- **热力学第一定律**：
  $Q = \Delta E + A$

  例题1（基础）
  1 mol 理想气体等体加热，T 升高 50 K，$C_v = 12.5\ J/(mol \cdot K)$，求吸收热量。

  解题思路：$Q = \nu C_v \Delta T = 1 \times 12.5 \times 50 = 625\ J$

  例题2（进阶）
  2 mol 理想气体等压膨胀，T 升高 30 K，$C_p = 20.8\ J/(mol \cdot K)$，求吸收热量。

  解题思路：$Q = \nu C_p \Delta T = 2 \times 20.8 \times 30 = 1248\ J$

  例题3（综合）
  1 mol 理想气体等温膨胀，$V_1 = 10\ L$，$V_2 = 20\ L$，$T = 300\ K$，求气体对外做的功。

  解题思路：$A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = 1 \times 8.31 \times 300 \times \ln 2 = 1728\ J$

- **热机效率与卡诺循环**：

  例题1（基础）
  热机吸收 $Q_1 = 1000\ J$，放出 $Q_2 = 400\ J$，求效率。

  解题思路：$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 0.6$

  例题2（进阶）
  卡诺热机高温 $T_1 = 500\ K$，低温 $T_2 = 300\ K$，求最大效率。

  解题思路：$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0.4$

例题3（综合）

若卡诺热机每吸收 $2000\ J$，高温 $T_1 = 600\ K$，低温 $T_2 = 300\ K$，求做功和放热量。

解题思路：$\eta = 0.5$，做功 $A = 2000 \times 0.5 = 1000\ J$，放热 $Q_2 = 2000 - 1000 = 1000\ J$

七、气体动理论

本章重点

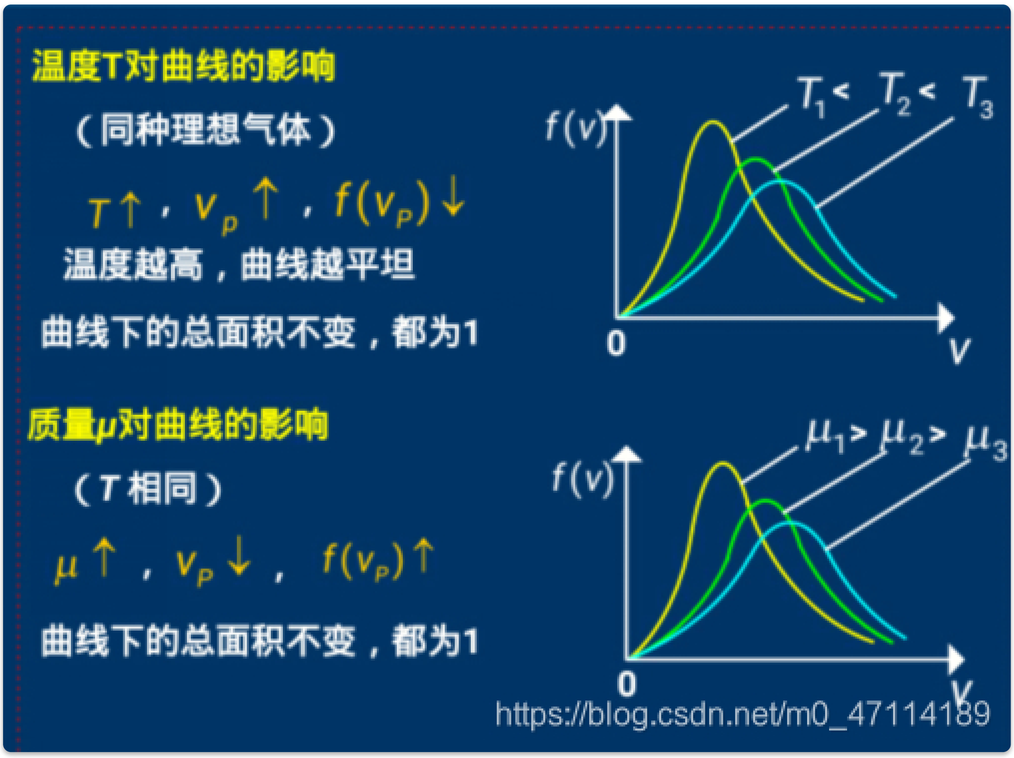
麦克斯韦分布、分子平均动能、自由程、熵的概念。

易错点

各种速率的物理意义和公式，熵变的判断。

- **符号规定**:
  - V: 体积
  - p: 压强
  - T: 温度
  - μ: 分子质量
  - R: 普适气体常数 = 8.31(J·mol^{-1}·K^{-1})
  - N: 分子总数
  - n: 分子密度
  - K: 波尔兹曼常数 1.38 \times10^{-23}J/K 其中 $K = \frac{R}{N_0}$
  - N_0: 阿伏伽德罗常数 6.02 \times 10^{23}
  - M: 摩尔质量
  - Ω: 各部分微观状态数之积

- S: 熵
  标准状态: 0 摄氏度, 101kpa
  0 摄氏度 = 273.15 开尔文
- **平衡状态时**，气体分子沿各个方向的运动概率相等，则
  `\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} =\overline{v_z^2} = \frac{`
- **理想气体的微观模型**:
  1. 忽略分子大小
  2. 除碰撞一瞬间外，分子间作用力忽略不计，分子做自由运动
  3. 分子与分子之间，分子与容器之间的碰撞为完全弹性碰撞
     `p = n\mu \overline{v_x^2} = n\mu(\frac{1/3}\overline{v^2})`
     分子平均动能为:
     $\overline{\varepsilon} = \frac{1/2}{\mu}\overline{v^2}$
- **麦克斯韦速率分布规律**:
  $f(v)dv = \frac{dN}{N}$
  曲线下面积表示该区间的分子数比率
- **分子速率的三种统计平均值**:
  1. **平均速率**:
     $\overline{v} = \int_0^\infty vf(v)dv = \sqrt{\frac{8KT}{\mu\pi}} = \sqrt{\frac{8RT}{M\pi}}$
  2. **方均根速率**:
     $\overline{v^2} = \frac{1}{N}\int_0^\infty v^2dv = \int_0^\infty v^2f(v)dv = \frac{3KT}{\mu}$
     $\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3KT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$
  3. **最概燃速率**:
     $v_p = \sqrt{\frac{2KT}{\mu}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$



- **温度的微观本质**：
  理想气体的平均平动动能：
  $\overline{\varepsilon}=\frac{1/2}{\mu}\overline{v^2}=\frac{3/2}{K}T$
  温度是分子热运动剧烈程度的度量，反映了分子无规则热运动的剧烈程度
  由
  $p=\frac{2/3}{n}\overline{\varepsilon}$
  和
  $\overline{\varepsilon}=\frac{3/2}{K}T$
  得
  $p=nKT$
- **能量按自由度均分原理**：
  - 单原子分子：3 个平动自由度
  - 双原子分子：5 个平动自由度
  - 多原子分子：6 个平动自由度
    温度为 T 的平衡状态下，在分子的每个自由度上的平均的分配有
    $\frac{KT}{2}$
    的能量

- **理想气体的内能**：

  $E=\frac{i}{2}RT$

- **分子平均碰撞频率**：

  $\overline{Z}=\sqrt{2}n\pi d^2\frac{8RT}{M\pi}$

- **分子的平均自由程**：

  $\overline{\lambda}=\frac{\overline{\nu}}{\overline{Z}}=\frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}=\frac{KT}{\sqrt{2}nd^2p}$

- **熵**：

  $S=Kln\Omega$

  - **可逆过程**：

    $\Delta S=0$

  - **熵增原理**：

    $\Delta S\geq 0$