**总览：**

Ch.1 质点运动学

Ch.2 运动与力

Ch.3 动量和角动量

Ch.4 功和能

牛顿定律及其延伸的概念原理

---

Ch.5 刚体的转动

Ch.6 振动

Ch.7 波动

基本概念原理的应用

---

Ch.8 狭义相对论基础

高速宏观领域

---

Ch.9 温度和气体动理论

热学-冷热的宏观和微观理论

# Ch.1 质点运动学

1.1 参考系

1.2 质点的位矢、位移和速度

1.3 加速度

1.4 匀加速运动

1.5 抛体运动

1.6 圆周运动

1.7 相对运动

# Ch.1 质点运动学

## 1、位矢$\vec{r}$、速度$\vec{v}$、加速度$\vec{a}$

- 都是矢量
- 表达方式

$$\begin{cases} \vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} \\ \text{大小}\sqrt{x^2+y^2}\text{，方向。。。} \\ \text{X方向分量为。。，y方向分量为。。} \end{cases}$$

- 三者之间：导数关系
- 矢量不变：大小、方向，都不变

# Ch.1 质点运动学

## 2、抛体运动

- 是一种匀变速运动，加速度=g
- 初速度为0时，速度、位置、时间 $\mathrm{v} = \mathrm{gt}$ $\mathrm{y} = \frac{1}{2}gt^2$ $v^2 = 2gy$
- 初速度不为0时，速度、位置、射程（及某状态下）例1.3

$$\begin{cases} v_x = v_0 cos\theta \\ v_y = v_0 sin\theta - gt \end{cases} \quad \begin{cases} x = v_0 cos\theta \cdot t \\ y = v_0 sin\theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

## 3、圆周运动

- $a_t = R\alpha$，切向加速度，表示质点速率变化的快慢
- $a_n = \frac{v^2}{R}$，法向加速度，表示质点速度方向变化的快慢

# Ch.1 质点运动学

## 4、相对运动

- $\vec{v} = \overrightarrow{v'} + \vec{u}$
- 球、车、地

# Ch.1 质点运动学

**5、注意：**

（1）给出运动方程 $\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases}$ 或 $\vec{r} = \mathrm{x(t)}\vec{i} + y(t)\vec{j}$ 或某种运动

- 求位移、速度、加速度
- 求轨迹方程

（2）运动形式辨析

- 速率、速度、平均速度
- 加速度、切向加速度、法向加速度

例、已知一质量为2kg的质点的运动学方程为： $\vec{r}=4t^2\vec{i}+(2t+3)\vec{j}$

（国际单位制），试求：

（1）从t＝0秒到t＝2秒质点的位移。

（2）t＝2秒质点的速度与加速度。

（3）质点的运动轨迹方程。

解：（1）t＝0s，$\vec{r}_0=3\vec{j}$ (m)； t ＝2s，(m) $\vec{r}_2=16\vec{i}+7\vec{j}$ （3 分）

所以位移为：$\Delta\vec{r}=\vec{r}_2-\vec{r}_0=16\vec{i}+4\vec{j}$ (m) （2 分）

(2)速度为：$\vec{v}=\frac{d\vec{r}}{dt}=8t\vec{i}+2\vec{j}$（m/s），加速度为： $\vec{a}=\frac{d\vec{v}}{dt}=8\vec{i}$ m/s²） （3 分）

t=2s 时，$\vec{v}_2=16\vec{i}+2\vec{j}$（m/s），t=2s 时， $\vec{a}=8\vec{i}$ （m/s²） （2 分）

(3)由运动方程的分量形式：x=4t²，y=2t+3，消去时间 t，

轨迹方程为：$x=(y-3)^2$ （6 分）

# Ch.2 运动与力

2.1 牛顿运动定律

2.2 常见的几种力

*2.3 常见的自然力

2.4 应用牛顿定律解题

2.5 非惯性系和惯性力

瞬时关系

# Ch.2 运动和力

## 1、注意：两类问题

- 已知运动（运动方程），求力
- 已知力，求运动
- 认物体、看运动、建坐标、查受力、列方程

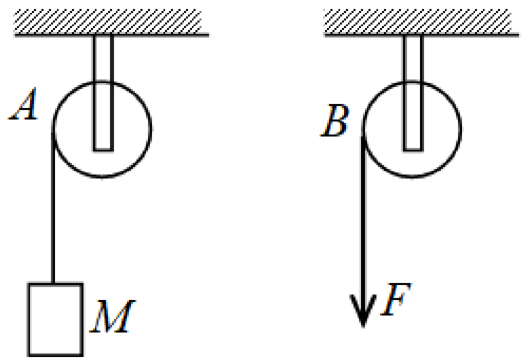
- ✓ **Ch.2和Ch.1运动学联合起来，比如：天体万有引力下圆周运动**
- ✓ **Ch.2常常和Ch.3动量或/和Ch.4能量联合起来**
- ✓ **常常，Ch.3动量和Ch.4能量联合起来**

# Ch.2 运动和力

## 2、作用力与反作用力

- 是一对平衡力，×
- 所作功的代数和为零，  ×

例、如图所示，$A$、$B$ 为两个相同的绕着轻绳的定滑轮。$A$ 滑轮挂一质量为 $M$ 的物体，$B$ 滑轮受拉力 $F$，而且 $F=Mg$。设 $A$、$B$ 两滑轮的角加速度分别为$\alpha_A$和$\alpha_B$，不计滑轮轴的摩擦，则有$\alpha$（　C　）




（A）$\alpha_A=\alpha_B$

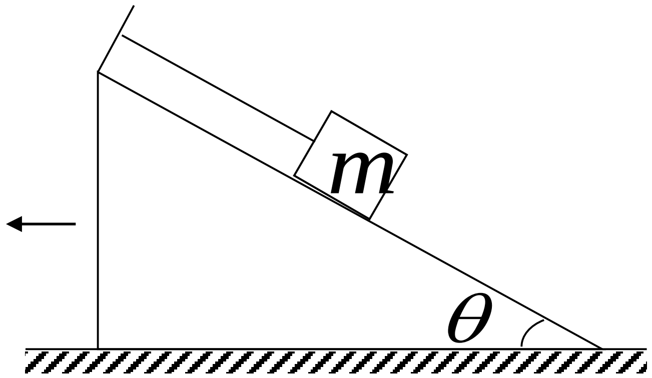
（B）$\alpha_A>\alpha_B$

（C）$\alpha_A<\alpha_B$

（D）开始时$\alpha_A=\alpha_B$，以后$\alpha_A<\alpha_B$

例、如图所示，一质量为***m***的物体**A**用轻绳拉着，置于光滑的斜面上，绳与斜面平行。若斜面向左作减速运动，当绳子中的拉力为零时，物体**A**的加速度大小为（**C**）

（A） $g\sin\theta$ （B） $g\cos\theta$ （C） $g\tan\theta$ （D） $g\cot\theta$



# Ch.3 动量和角动量

3.1 冲量和动量定理

3.2 动量守恒定律

3.3 火箭飞行原理

3.4 质心

3.5 质心运动定理

3.6 质点的角动量和角动量定理

3.7 角动量守恒定律

3.8 质点系的角动量定理

3.9 质心参考系中的角动量

力（力矩）对时间的累积

# Ch.3 动量和角动量

## 1、知识架构，归纳

| | 动量 | | | 角动量 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 定义 | 动量定理 | 守恒定律 | 定义 | 角动量定理 | 守恒定律 |
| 质点 | | | | | | |
| 质点系 | | | | | | |
| 质心系 | | | | | | |

# Ch.3 动量和角动量

## 2、动量

- 定义：$\vec{p} = m\vec{v}$
- 动量定理（冲量）：$\vec{I} = \overrightarrow{p'} - \overrightarrow{p_0} = \int_0^t \vec{F} dt$
- 动量守恒：合外力为零，总动量不变
  - ✓ 合外力为零
  - ✓ 某一方向合力为零
  - ✓ 外力远小于内力
  - ✓ 某一阶段合外力为零

质点系——

动量定理形式一样

守恒定律形式一样

内力不改变总动量

质心和质心系——

质心的质量和动量定义

质心运动定理：

$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = m\vec{a}_c$

质心系的特殊性——

与是否惯性无关

# Ch.3 动量和角动量

## 3、角动量

- 定义：$\vec{L}=\vec{r}\times\vec{p}$　　$\vec{M}=\vec{r}\times\vec{F}$
- 角动量定理：$\vec{M}=\dfrac{d\vec{L}}{dt}$
- 角动量守恒：合外力矩为零，总角动量不变
  - ✓ 比如：恒星运行

质点系——

定理定律形式一样

内力矩不改变总角动量

质心系下——略

质心系的特殊性——

与是否惯性无关

（包括定轴转动）

# Ch.3 动量和角动量

## 4、注意

- 冲量
- 动量与角动量及守恒
- 质心运动定理
- 角动量守恒：合外力矩为零，总角动量不变

  ✓ 比如：恒星运行

# Ch.4 功和能

4. 1 功

4. 2 动能定理

4. 3 势能

4.4 引力势能

4.5 由势能求保守力

4. 6 功能原理和机械能守恒

4.7 守恒定律的意义

4.8 碰撞

4.10 流体的稳定流动

4.11 伯努利方程

力（力矩）对空间的累积

# Ch.4 功和能

## 1、功的定义和应用

- 定义：$A = \int_{(A)}^{(B)} \vec{F} \cdot d\vec{r}$
- 功是标量，没有方向，但又正负
- 应用：
  - ✓ 给出 $\vec{r} = x\vec{\imath} + y\vec{\jmath}$，或F=f(x)
  - ✓ 摩擦力的功
  - ✓ 向心力的功
  - ✓ 弹簧：弹力的功、外力的功

# Ch.4 功和能

## 2、动能定理

- $A_{AB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$
- 过程量与状态量

质点系——

形式不一样

$A_{ex} + A_{in} = E_{kB} - E_{kA}$

内力能改变系统总动能

## 3、功能原理、机械能守恒

- 外力的功和非保守内力的功之和，等于机械能的增量
- 保守系统：外力的功，等于机械能的增量
- 封闭的保守系统：机械能守恒

# Ch.4 功和能

4、碰撞：动量守恒，动能不一定守恒（弹性、非弹性）

5、伯努利方程

- 连续性方程、伯努利方程
- 简单应用，比如书上例题4.19

6、注意：

- 作功的计算：功是标量，但有正负
- 和动力学动量联合，比如：弹簧质量，小球运动…

例、一质点在力的作用下沿光滑水平面上作直线运动，力$F=3x^2$（N），质点从$x_1 = 1\ \mathrm{m}$运动到$x_2 = 2\ \mathrm{m}$过程中，该力作功为________

答案：（7 J）

2、乒乓球赛事中常见的左旋球的弯曲轨道，是因为球表面空气流速大的一侧的压强__________另一侧的压强。（此空填：大于、等于或小于）

# Ch.5 刚体的转动

5.1 刚体转动的描述

5.2 转动定律

5.3 转动惯量的计算

5.4 转动定律的应用

5.5 转动中的功和能

# Ch.5 刚体的转动

## 1、角量与线量

$$\omega = \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} \qquad \alpha = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}^2 t}$$

$$\vec{v} = r\omega\vec{e}_\mathrm{t} \qquad a_\mathrm{t} = r\alpha \qquad \vec{a} = r\alpha\vec{e}_\mathrm{t} + r\omega^2\vec{e}_\mathrm{n}$$

$$a_\mathrm{n} = r\omega^2$$

## 2、刚体的转动定律（即质点系角动量定理的应用）（守恒）

- $M = J\alpha \qquad L = J\omega$
- 如：重力对整个棒的合力矩（等于全部重力作用在质心的力矩）

# Ch.5 刚体的转动

## 3、转动惯量

- 常见的：圆环$\mathrm{m}R^2$、细杆（$\frac{1}{3}\mathrm{m}L^2$、$\frac{1}{12}\mathrm{m}L^2$）、圆盘$\frac{1}{2}\mathrm{m}R^2$
- 具有可加性和可减性（对同一转轴），平行轴定理

## 4、转动中的功和能

- 转动动能：$E_k = \frac{1}{2}J\omega^2$（也就是质点的动能之和）
- 势能：$E_p = mgh_c$
- 只有保守内力做功，机械能守恒

# Ch.5 刚体的转动

## 5、质心系

- 与过质心的转轴，是否惯性运动无关

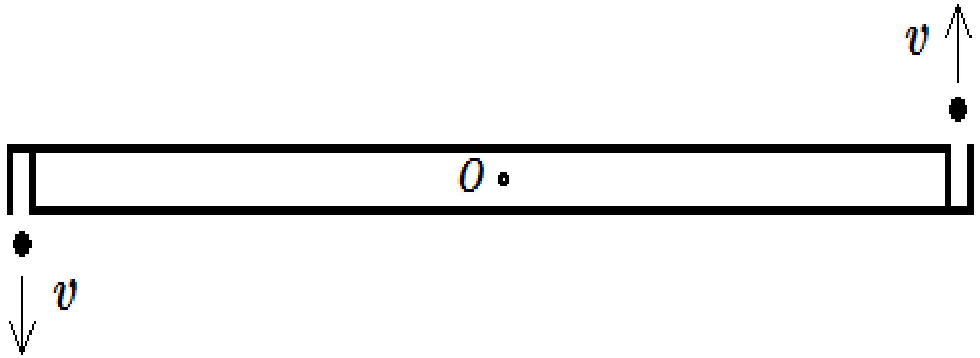
## 6、注意——

- 定轴转动和动力学的综合性（3~5章）
- 速度/角速度；转动惯量；角动量/角动量守恒；
- 动能/势能/机械能守恒

3、一个人每只手各持一个哑铃，两臂平伸坐在转椅上。起初人和转椅以角速度$\omega_0$旋转，且摩擦力可忽略不计。现突然将手臂收回，使总转动惯量变为原来的 1/3。则收臂后的转动动能是收臂前的__________倍。

例、光滑的水平桌面上，有一长为2L、质量为m的匀质细杆，可绕过其中点且垂直于杆的竖直光滑固定轴O自由转动，其转动惯量为mL2/3，起初细杆静止。突然细杆两端同时以速度v、且垂直于细杆的方向上发射出两个质量均为m的小球，其俯视图如图所示。由此引起了细杆的转动，其转动角速度为 (  )

（A）v/L　（B）3v/L　（C）6v/L　（D）9v/L

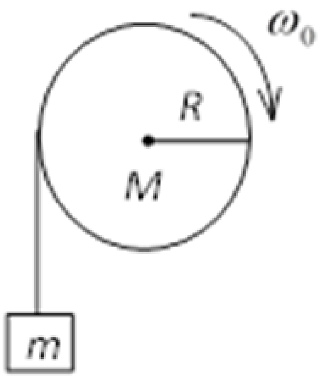



答案：C

**例：** 一轴承光滑的定滑轮，质量为 $M$=2.00 kg，半径为 $R$=0.100 m，一根不能伸长的轻绳，一端固定在定滑轮上，另一端系有一质量为 $m$=5.00 kg 的物体，如图所示。已知定滑轮的转动惯量为 $J=\frac{1}{2}MR^2$，其初始角速度 $\omega_0$ =10.0 rad/s，方向垂直纸面向里。求：

(1) 定滑轮的角加速度的大小和方向；

(2) 定滑轮的角速度变化到 $\omega$ =0 时，物体上升的高度；



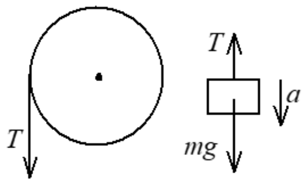

解：(1) ∵ $mg-T=ma$ ----------------2 分

$TR=J\alpha$ ------------------2 分

$a=R\alpha$ -----------------2 分

∴ $\alpha = mgR/(mR^2+J) = \dfrac{mgR}{mR^2+\frac{1}{2}MR^2} = \dfrac{2mg}{(2m+M)R}$ =81.7 rad/s² ----------------4 分

方向垂直纸面向外----------------2 分




(2) ∵ $\omega^2=\omega_0^2-2\alpha\theta$

当□=0 时， $\theta=\dfrac{\omega_0^2}{2\alpha}=0.612\ \text{rad}$

物体上升的高度 $h=R$□□□=6.12×10⁻² m----------------2 分

# Ch.6 振动

6.1 简谐运动的描述

6.2 简谐运动的动力学

6.3 简谐运动的能量

6.4 阻尼振动

6.5 受迫振动 共振

6.6 同一直线上相同频率的简谐运动的合成

6.7 同一直线上不同频率的简谐运动的合成

# Ch.6 振动

## 1、运动学（简谐运动）

- 一般形式： $x = A\cos(\omega t + \varphi)$

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -\omega A\ \sin(\omega t + \varphi) = \omega A\ \cos\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$a = \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} = -\omega^2 A\ \cos(\omega t + \varphi) = \omega^2 A\cos(\omega t + \varphi + \pi) \qquad a = \frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega^2 x$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad \omega = 2\pi f$$

- 相位（物体经一周期的振动，相位改变 2π）

初相判断：根据余弦函数的波形；根据位移、速度、加速度

# Ch.6 振动

## 2、动力学

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x$$

$$F = m\frac{d^2x}{dt^2} = -m\omega^2 x$$

$$F = -kx$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x$$

## 3、能量

$$E = \mathrm{E}_K + E_P = \frac{1}{2}kA^2$$

$$\mathrm{E}_P = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2cos^2(\omega t + \varphi)$$

$$\mathrm{E}_K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2sin^2(\omega t + \varphi)$$

总能量不随时间变化（机械能守恒）

与振幅平方成正比

动能势能周期是振动周期的一半

# Ch.6 振动

## 4、受迫振动　共振

- 受迫稳定后：角频率是驱动力的角频率
- 共振的条件：驱动力的频率等于系统固有频率

## 5、振动的合成（同向同频）

- 仍是同频率简谐振动
- 同相
- 反相（合振动的振幅和相位）

# Ch.6 振动

## 6、注意：

- 运动学参数及特征等（位移/速度/加速度；能量）

- 振动表达式（振幅/周期/相位/初相；相位差/时间差）

# Ch.7 波动

7.1 行波

7.2 简谐波

7.3 物体的弹性形变

7.4 弹性介质中的波速

7.5 波的能量

7.6 惠更斯原理与波的反射和折射

7.7 波的叠加  驻波

7.11多普勒效应

# Ch.7 波动

## 1、波函数（运动学）

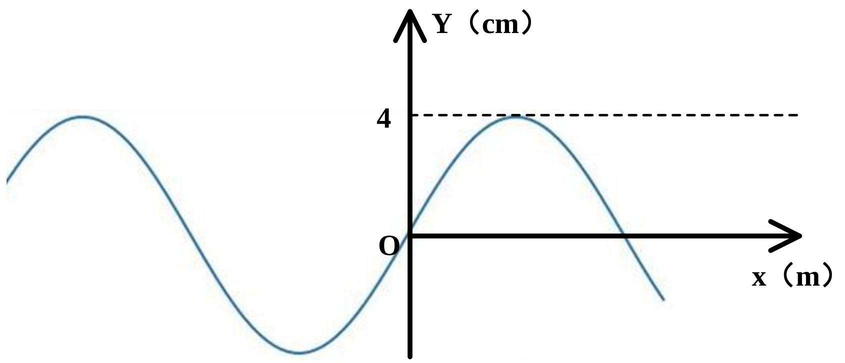
- **一般形式：向+x传播** $x = A\cos(\omega t - kx + \varphi)$

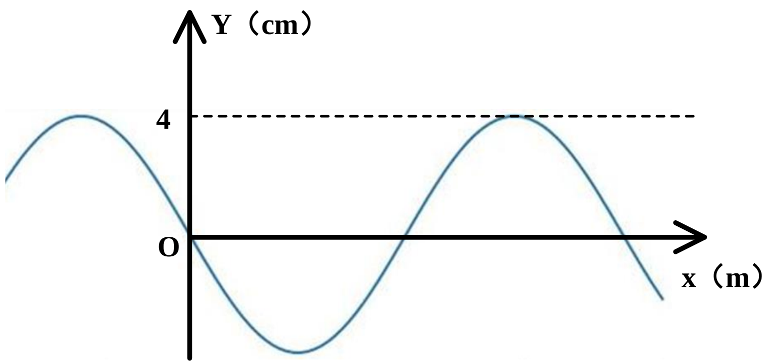
$T = \frac{2\pi}{\omega}$ $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ $\lambda = uT = \frac{2\pi u}{\omega}$ $u = \lambda f$ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

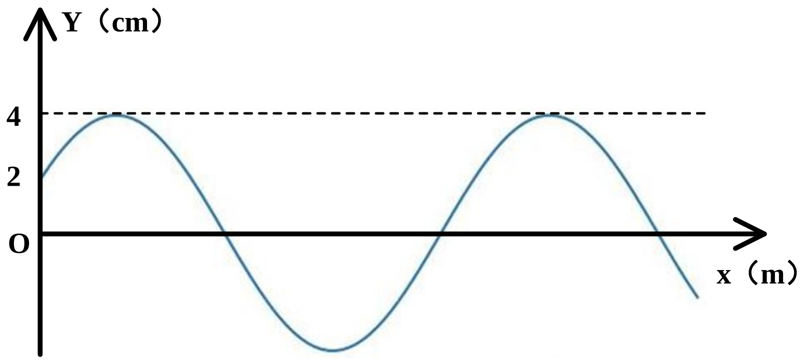
$$y = A\cos[\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) + \varphi] = A\cos[\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right) + \varphi]$$

- **传播方向：向正方向、向负方向**
- **相位**

初相判断：根据余弦函数的波形




向左传播←

$$y_0 = A\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$y_0 = A\sin\omega t$$

向左传播←

$$y_0 = A\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$y_0 = A\sin(\omega t + \pi)$$

向左传播←

$$y_0 = A\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right)$$

$$y_0 = A\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

向右传播→

$$y_0 = A\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$y_0 = A\sin(\omega t + \pi)$$

向右传播→

$$y_0 = A\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$y_0 = A\sin\omega t$$

向右传播→

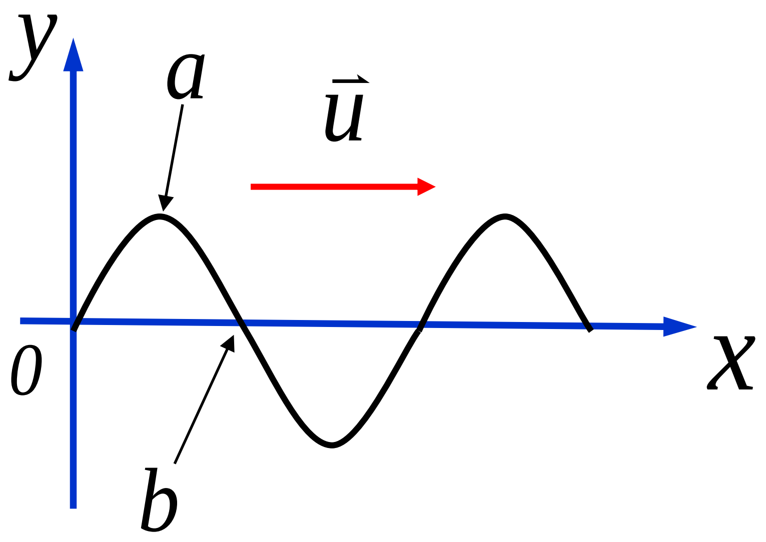
$$y_0 = A\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right)$$

$$y_0 = A\sin\left(\omega t + \frac{5\pi}{6}\right)$$

# Ch.7 波动

## 2、能量

- 动能和势能：同相位




—**a**点：动能为零、势能为零（形变为零）

—**b**点：动能最大，势能最大（斜率最大）

—跟孤立的谐振子不同。动能跟谐振子是一样，但势能不同。

# Ch.7 波动

## 3、驻波的概念（波节、波腹及其位置）

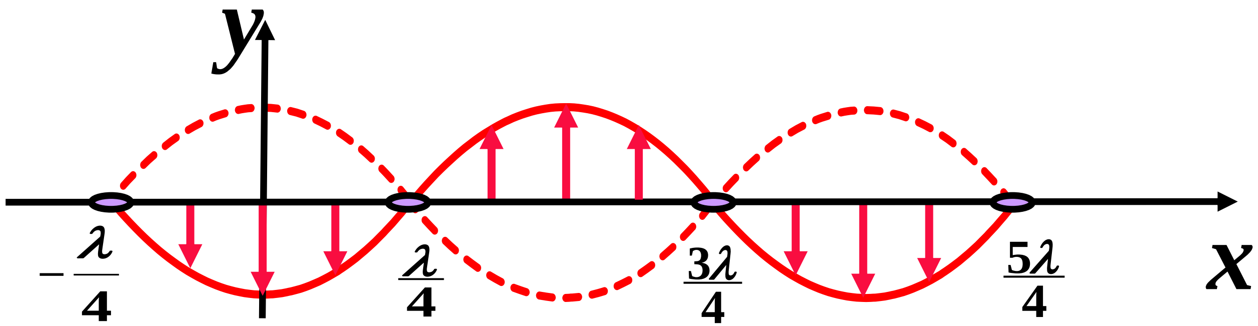
- 同频率、同振动方向、同振幅、同一直线反方向传播

$$y_1 = A\cos(\omega t - kx) \qquad y_2 = A\cos(\omega t + kx) \qquad y = y_1 + y_2 = 2A\cos kx\cos\omega t$$

当： $\cos\dfrac{2\pi x}{\lambda} = 0 \qquad \dfrac{2\pi x}{\lambda} = (2n+1)\dfrac{\pi}{2} \qquad x = (2n+1)\dfrac{\lambda}{4}$

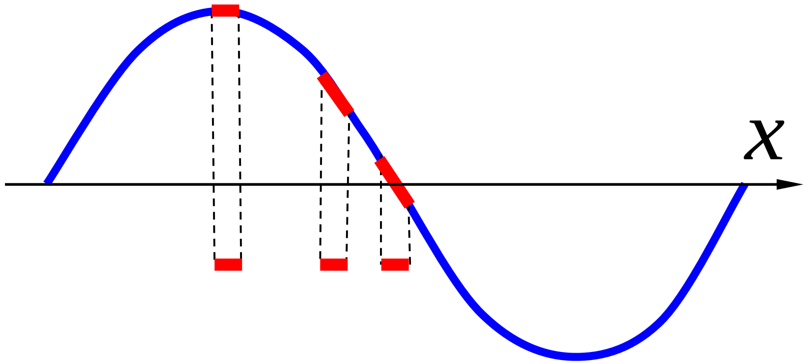
$$\cos\frac{2\pi x}{\lambda} = \pm 1 \qquad \frac{2\pi x}{\lambda} = n\pi \qquad x = n\frac{\lambda}{2}$$

# Ch.7 波动




## 3、驻波

- □ 分段振动
  - 两个波节之间一段中的各点振动位相相同
  - 在波节两侧的点（邻近两段）振动位相相反




- □ 驻波不传播能量
  - 驻波的能量在相邻的波腹和波节间往复变化，动能主要集中在波腹，势能主要集中在波节，无能量定向传播
  - 驻波不是波动，而是一种特殊形式的振动
- □ 半波损失（相位跃变）
  - 入射波在反射时发生反向（π的相跃变、半个波长的波程差）
  - 垂直入射：由波疏介质　到　波密介质，有半波损失

# Ch.7 波动

## 4、多普勒效应

- 源不动，接收动 $f_R=\frac{u+v_R}{u}f_0$ $f_R=\frac{u-vR}{u}f_0$
- 源动，接收不动 $f_R=\frac{u}{u-v_s}f_0$ $f_R=\frac{u}{u+vs}f_0$

## 5、注意：

- 波函数（振幅/周期/相位；波速/传播方向）、振动方程
- 驻波：概念

**例：**

一个质点同时参与两个在同一直线上的简谐振动，其振动表达式分别为$x_1 = 5.0\cos(5\pi t + \frac{5}{6}\pi)$，$x_2 = 3.0\cos(5\pi t - \frac{1}{6}\pi)$。

则合振动的振幅为（　），初相为（　）。

## 例：

一个沿y方向振动的平面简谐波，沿X轴正方向传播，振幅为2cm，频率为50Hz，波速为200m/s。在t=0时，X=0处的质点正在平衡位置向y轴正方向运动。

求：

（1）波动方程。

（2）x=4m处介质的振动表达式及该点在t=2s时的振动速度。

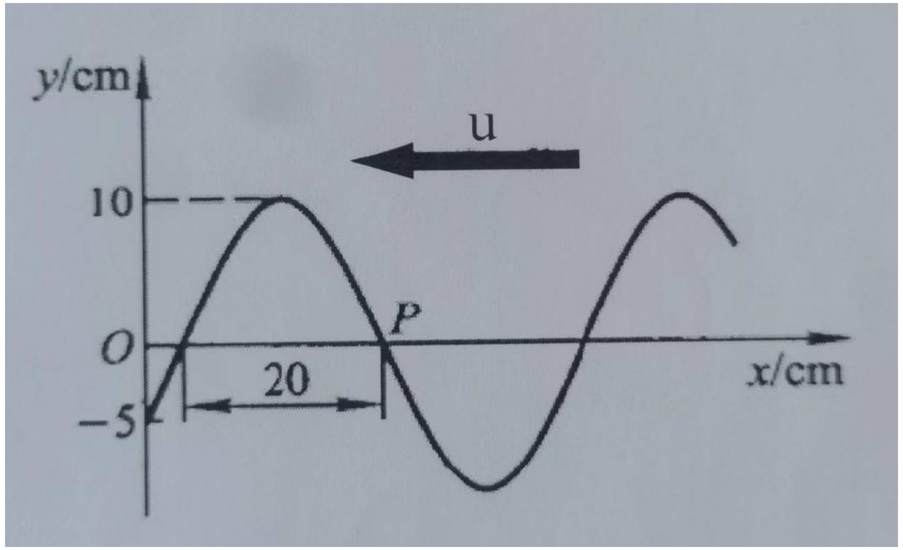
**例：**

已知一沿X轴负方向传播的平面余弦波在t=1/3s时的波形如图示，且周期为2s。

（1）写出O点和P点的振动表达式。

（2）写出该波的波动表达式。

（3）求P点距O点的距离。



# Ch.8 狭义相对论

# Ch.8 狭义相对论

## 1、基本概念

- 绝对时空观、相对性原理、伽利略变换及其关系
- 狭义相对论的两个基本假设（。。。、。。。）
- 时间空间的测量是相对的，时空一体互相不能分离
- 绝对时空观是相对论时空观在参考系相对速度很小时的近似

# Ch.8 狭义相对论基础

## 2、动钟变慢

- **固有时：同一地点先后发生的两个事件之间的时间间隔**
- **固有时最短**

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}$$

## 3、动尺变短

- **固有时：棒相对观察者静止时，测得的它的长度**
- **固有长度最长**

$$l = l'\sqrt{1 - u^2/c^2}$$

# Ch.9 温度和气体动理论

9.1 平衡态

9.2 温度的概念

9.3 理想气体温标

9.4 理想气体状态方程

9.5 气体分子的无规则运动

9.6 理想气体的压强

9.7 温度的微观意义

9.8 能量均分定理

9.9 麦克斯韦速率分布律

注意：

- ✓ 理想气体状态方程
- ✓ 内能（平均动能、平均平动动能）

世上几百年旧家无非积德

天下第一件好事还是读书

——清 ·帝师翁同龢

世间上百年名校无非育人

天下第一等职业还是教书

——清华大学原校长邱勇

大学千余日光阴无非多读

人生多少次登攀还是喜欢

——大物 ·丁延卫

就此别过，江湖再见！