选修3-4

机械振动

1. 机械振动

基本概念：物体在某一中心位置附近所做的往复运动，简称振动.

特征：①有一个"中心位置"，即平衡位置

②往复性

2. 简谐振动

定义：振动图象($x-t$图)是一条正弦图象

特点：①简谐振动是特殊的机械振动

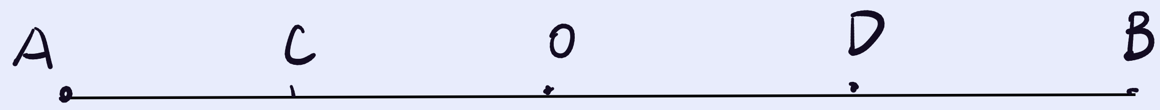
(弹簧振子中)

受力平衡的点，并不一定是原长。

②具有对称性。位移、速度、加速度都关于平衡位置对称.

回复力为0的位置.

③具有往复性和周期性.



物体在AB之间做简谐运动. O为平衡位置，C、D关于O对称：

(1) 时间对称. ① $t_{OC}=t_{CO}$ 、$t_{DC}=t_{CD}$ 等.

② $t_{OC}=t_{DO}$ ，$t_{OA}=t_{BO}$

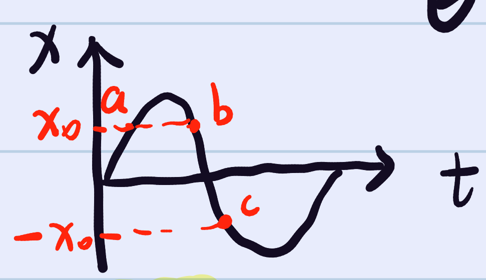
(2) 速度对称 ①连续两次经过同一点、速度大小相等. 方向相反

②经过关于O点对称的两点，速度大小相等，方向可能相同/相反

(3) 位移和加速度对称 ①经过同一点，位移和加速度均相同.

②经过关于O对称的两点，位移与加速度均是大小相等 方向相反.

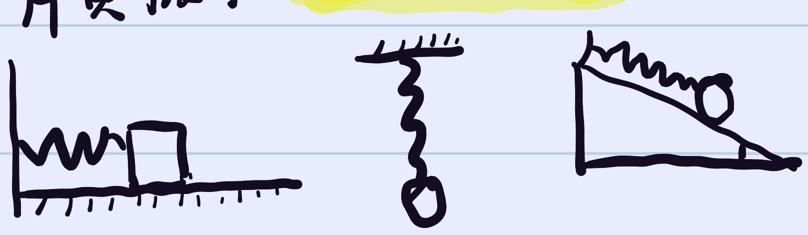
图象的应用：



b点：从正位移向平衡位置移动，速度为负且增大，位移、加速度↓

c点：从负位移远离平衡位置移动. 速度为负且减小. 位移、加速度↑

3. 弹簧振子 理想化模型.



4. 简谐运动的物理量

(1) 振幅：振动过程中离开平衡位置的最大距离，A，标量，只取正值.

对于一个稳定的简谐运动，物体的振幅不变，且与T、f无关.

(2) 全振动：振动物体以相同速度相继通过同一位置所经历的过程为一次全振动.

先后两次经过平衡位置(X)

5. 简谐运动的表达式

$x = A\sin(\overset{(等)}{\omega} t+\varphi)$ （非特殊点可使用公式求）

x：振动物体相对平衡位置的位移

t：振动时间

A：振幅

ω：物体振动的圆频率

φ：$t=0$时，振动物体的相位，称：初相位（*浙江省不考察）

6. 简谐运动的特征

动力学特征：回复力 $F=-kx$ （回复力可类比圆周运动的向心力：按效果命名）

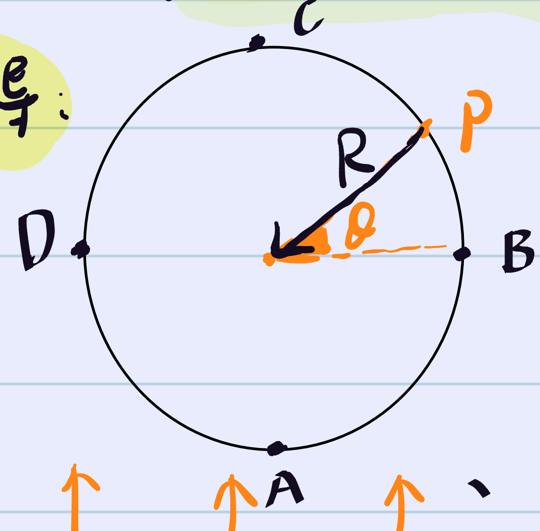
加速度 $a=\frac{F}{m}=-\frac{k}{m}x$

运动学特征：$x=A\sin(\omega t+\varphi)$

若一个振动系统，其回复力满足 $F=-kx$，则为简谐振动.

（回复力与位移大小成正比，方向相反）

推导：



圆周：$F_{合}=m\omega^2R=-kx$

P点：$F_{回}=m\omega^2R\cos\theta$

位移 $x=R\cos\theta$

$k=m\omega^2$ 不变，∴k是常数.

$\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$，$T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ ★

简谐运动周期的通解.

匀速圆周运动，竖直向上看，周期性往复，若是简谐，满足 $F_{合}=-kx$

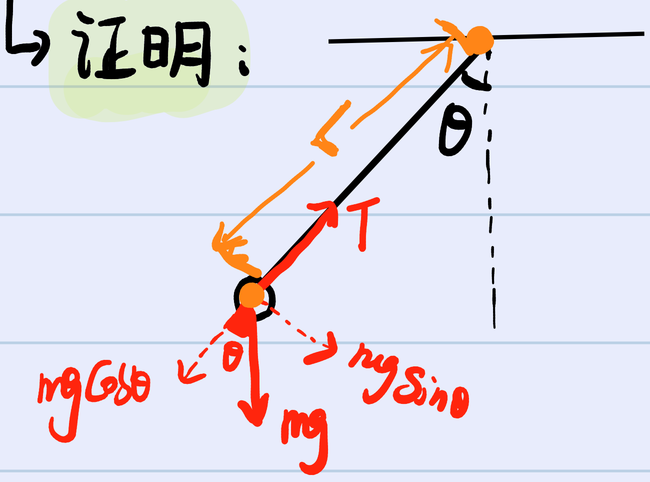
单摆

1. 实际摆看成单摆的条件：①摆线的形变量与摆长相比小很多.
②摆线的质量比摆球小很多.
③摆球的直径比摆线小很多.
④忽略空气阻力.

2、单摆是理想模型

3、当摆角小于5°时，单摆可看作简谐运动

证明：



回复力由重力沿圆弧切向的分力 $F_{回}=mg\sin\theta$ 提供.

$$\left.\begin{aligned} mg\sin\theta &= kx \\ x &= L\tan\theta \end{aligned}\right\} \Rightarrow k=\frac{mg\sin\theta}{L\tan\theta}$$

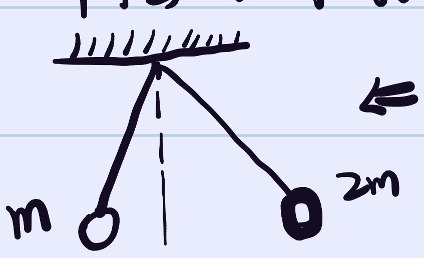
θ很小，$\Rightarrow k=\frac{mg}{L}$（不变）⇒ 是简谐运动

由(上一张笔记已推导) $T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 代入 $k=\frac{mg}{L}$

单摆周期：$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{mg}{L}}}=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 平衡位置：最低点

① L为悬点到摆球球心的距离，g为所在地的加速度.

② 单摆周期与质量m无关. 与摆长L，当地g有关. 与振幅无关



⇐ 最低点相遇.

4. 等效摆长：

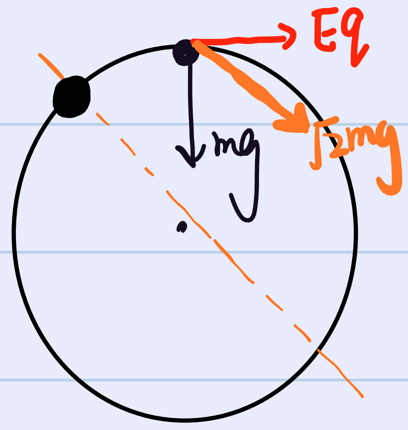
左右对称，给垂直纸面的初速度.

$L'=L\cos\theta$

$T=2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta}{g}}$

5. 等效重力：

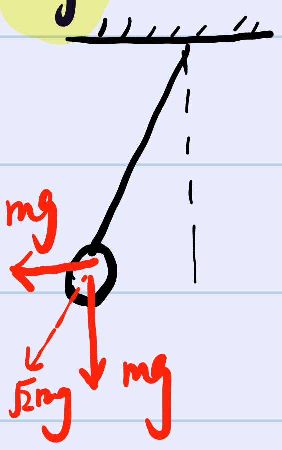
类似电场：



$\longrightarrow Eq = mg$

$$g' = \frac{\sqrt{2}mg}{m} = \sqrt{2}g$$

eg:



$\longleftarrow Eq = mg$

等效重力 $g' = \sqrt{2}g$

解题步骤：① 分析摆球受力，即回复力为0的位置

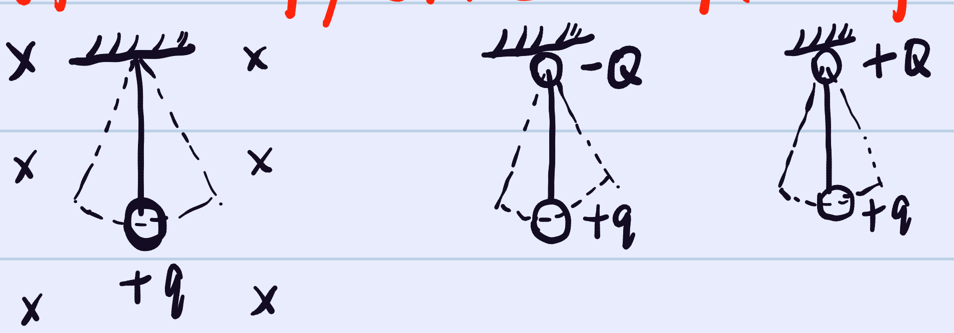
② 计算摆球视重F：一般情况下，视重大小为摆球相对于悬点静止在平衡位置摆线拉力

③ 由 $g' = \frac{F}{m}$，求视重加速度。

Q: 加上向左电场后，周期如何变化？

A: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g\uparrow}}$ $\downarrow$

* 置于匀强磁场中 / 悬点处放一个点电荷，不论正负，都不影响单摆的振动周期。



6.用单摆测重力加速度

① 原理：$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \rightarrow g=\frac{4\pi^2 L}{T^2}$

测L、T

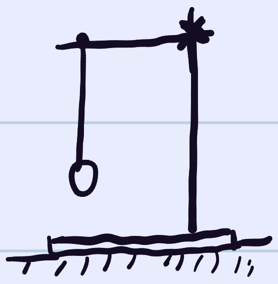
② 器材：秒表 → 测时间（不估读）

米尺 → 测线长

游标卡尺 → 测球直径

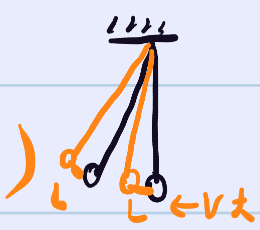
铁架台 → 稳定、减小误差

③ 装置：



*注意悬点的固定方式及摆球摆动平面.

④ 步骤：1)从平衡位置开始计时（最低点速度大，时间占比短、误差较小）



2)50次左右全振动时间t，周期$T=\frac{t}{n}$

3)改变摆长，重复

⑤ 注意事项：①摆角小，由静止释放 ②摆长多次求平均值，为线长+r.

⑥ 数据处理：

公式：$g=\frac{4\pi^2 L}{T^2}$ L_1 . T_1 . g_1 ; L_2 . T_2 . g_2 …… $\Rightarrow \bar{g}=\frac{1}{n}(g_1+g_2+\cdots+g_n)$

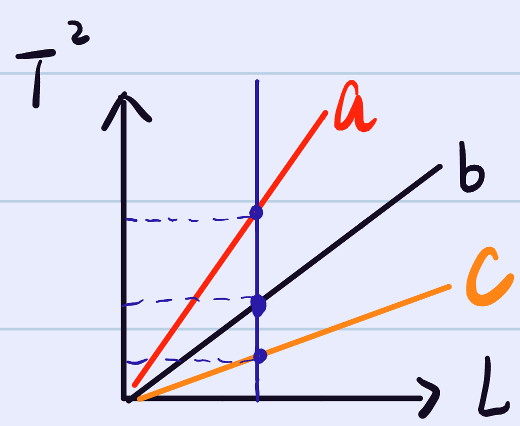
图像：$T^2=\frac{4\pi^2}{g}L$

(1)

$k=\frac{4\pi^2}{g}$

★摆长测错(a,c)，不影响斜率k

$T^2=\frac{4\pi^2}{g}(L\pm\Delta L)$



★周期测错，影响斜率k

机械波

1. 定义：机械振动在介质中传播而形成.

2. 条件：①有波源
   ②介质

3. 波的分类：按介质质点的振动方向与波的传播方向的关系.

   横波：振动与传播方向垂直，只能在固体中传播.

   纵波：× × × 平行，能在固、液、气中传播

4. 实质：①传播能量，

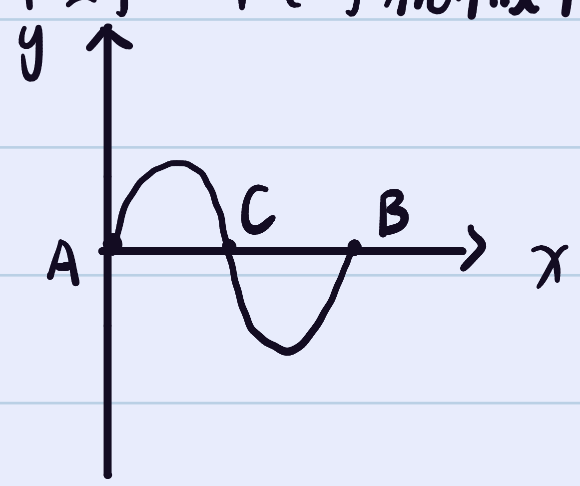
   ②形式 { 起振方式相同
   振动周期和波(T)相同
   振幅一致

   ③各质点依次绕平衡位置振动，质点本身并不随波迁移.

5. 波长 λ

   波速：$v=\frac{x}{t}=\frac{\lambda}{T}$ 由介质决定

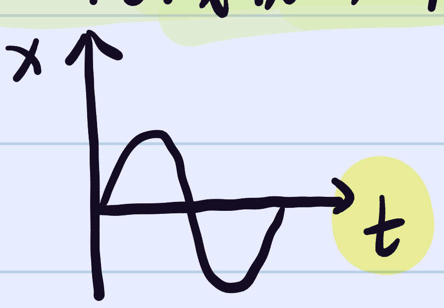
   周期：T（与机械振动的周期相同）由波源决定

6. 

两质点间 $\Delta x=n\lambda$，振动情况相同.

相隔半波长奇数倍，振动情况相反.

区分机械振动和机械波

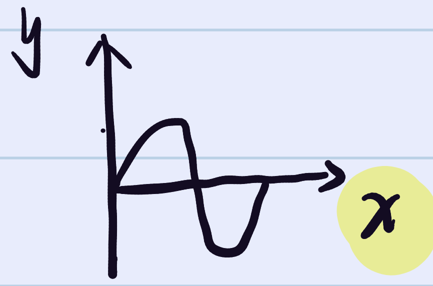


①由纵坐标知振幅A.

②由横坐标知周期T

③由斜率可知速度大小/方向变化

④由位移变化可知质点加速度大小/方向变化.



①由纵坐标知振幅A

②由横坐标知波长 λ

③由波传播方向知各质点各时刻的运动方向
（互推）

④由位移情况可确定各质点在某刻 a 的大小/方向

★两图结合，找时间t，确定振动方向，再由波动图判断传播方向.

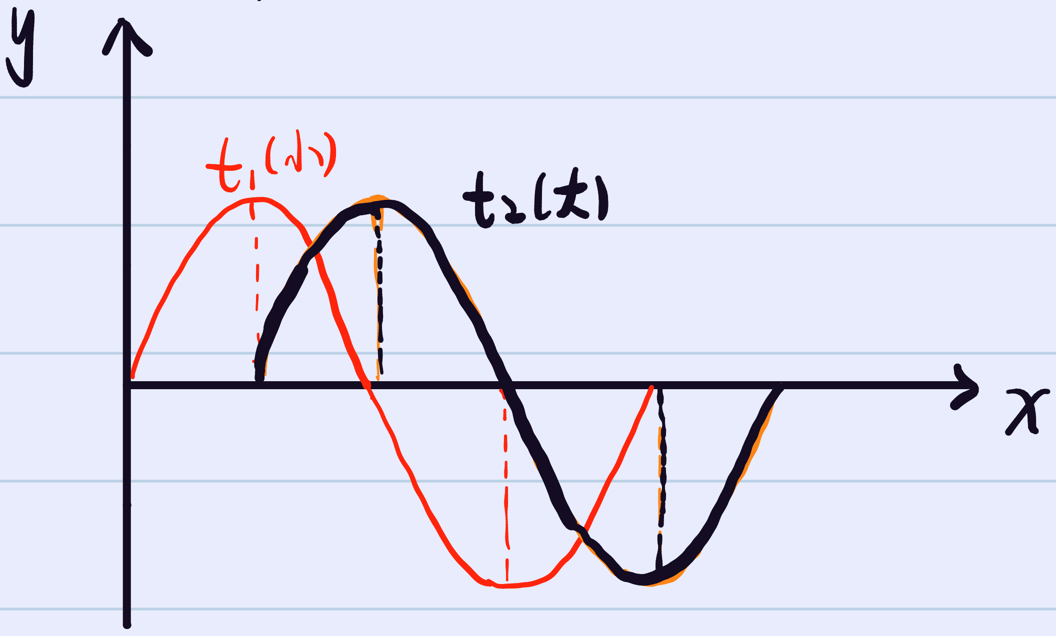
质点的振动方向与波的传播方向的相互判断

(1). 平移

(2). 同侧法(常用)

振动与传播方向在波形图的同侧.

波的多解问题



多解原因：未告知传播方向/周期

① 向右：(至少 $\frac{1}{4}T$) + nT

$\frac{1}{4}T + nT = t_2 - t_1$

② 向左：(至少 $\frac{3}{4}T$) + nT

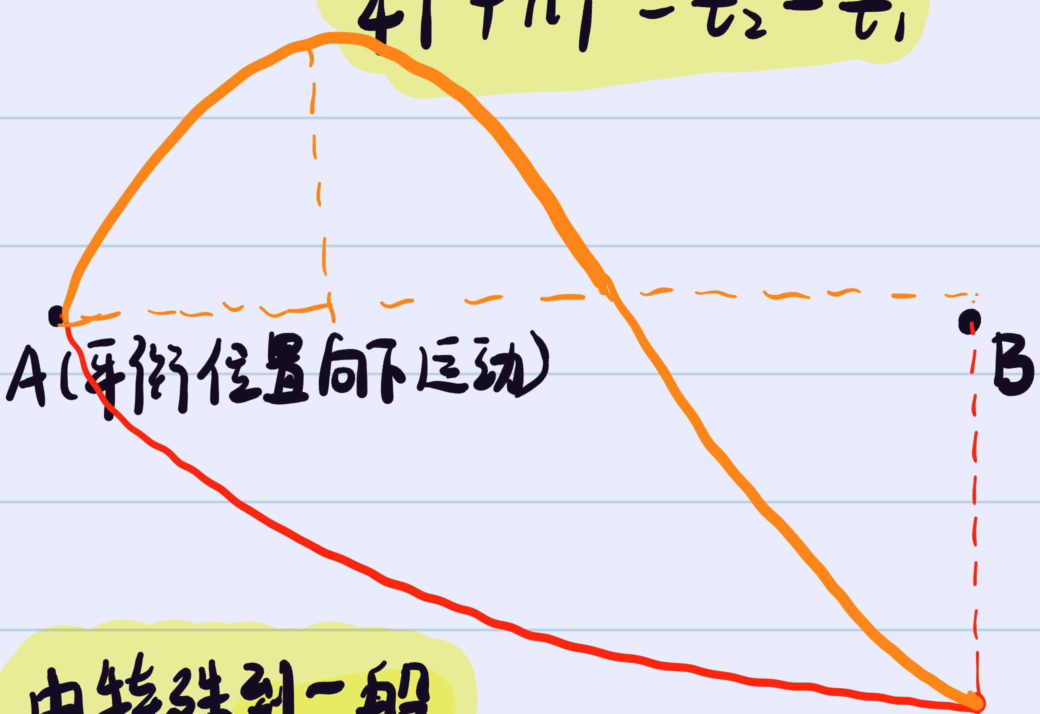
$\frac{3}{4}T + nT = t_2 - t_1$

① T 多解

② v 多解

③ λ 无多解(可直接看)

AB间距：x (m)



(波谷、向上运动)

$\frac{1}{4}\lambda + n\lambda = x$ (向左传播)

$\frac{3}{4}\lambda + n\lambda = x$ (向右传播)

由特殊到一般