

高校经典教材同步辅导丛书

配套高教版·程守洙 江之永主编

九章丛书

Physics

普通物理学

(第六版·下册)

同步辅导及习题全解

主 编 黄淑森 焦艳芳



NLIC 2970645369

◆ 知识点窍 ◆ 逻辑推理 ◆ 习题全解
◆ 全真考题 ◆ 名师执笔 ◆ 题型归类



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

新版

高校经典教材同步辅导丛书

普通物理学（第六版·下册）

同步辅导及习题全解

主 编 黄淑森 焦艳芳



NLIC 2970645369



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内容提要

本书是为了配合高等教育出版社出版,程守洙、江之永主编,胡盘新、汤毓骏、钟季康修订的《普通物理学》(第六版)教材而编写的配套辅导书。

本书按教材内容,对各章的重点、难点进行较深刻的分析。针对各章节的全部习题给出详细的解题过程,并附以知识点窍和逻辑推理,思路清晰、逻辑性强,循序渐进地帮助读者分析并解决问题。

本书可作为高等学校理工科非物理学专业学生学习《普通物理学》(第六版)的教学辅导材料和复习参考用书,也可作为学生考研强化复习的指导书及授课教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学(第六版·下册)同步辅导及习题全解 / 黄淑森,焦艳芳主编. — 北京:中国水利水电出版社, 2011.3

(高校经典教材同步辅导丛书)

ISBN 978-7-5084-8437-2

I. ①普… II. ①黄… ②焦… III. ①普通物理学—高等学校—教学参考资料 IV. ①04

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第030735号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:宋俊娥 封面设计:李佳

书 名	高校经典教材同步辅导丛书 普通物理学(第六版·下册)同步辅导及习题全解
作 者	主 编 黄淑森 焦艳芳
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net(万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658(营销中心)、82562819(万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京正合鼎业印刷技术有限公司
规 格	170mm×227mm 16开本 9印张 230千字
版 次	2011年3月第1版 2011年3月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	12.80元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

目 录

第十章 机械振动和电磁振荡	1
本章知识要点	1
知识点归纳	1
复习思考题解答	4
习题全解	11
第十一章 机械波和电磁波	29
本章知识要点	29
知识点归纳	29
复习思考题解答	31
习题解答	35
第十二章 光学	58
本章知识要点	58
知识点归纳	58
复习思考题解答	61
习题全解	71
第十三章 早期量子论和量子力学基础	98
本章知识要点	98
复习思考题解答	100
习题全解	106
第十四章 激光和固体的量子理论	126
本章知识要点	126
复习思考题解答	127
习题全解	129
第十五章 原子核物理和粒子物理简介	133
本章知识要点	133
复习思考题解答	133
习题全解	135

第十章

机械振动和电磁振荡

本章知识要点

1. 谐振动的定义、运动特征及矢量图示法.
2. 一维谐振动的合成规律.
3. 物理量是否做谐振动的判定方法.
4. 阻尼振动、受迫振动及共振的定义和运动特点.
5. 电磁振荡的基本内容.

知识点归纳

一、谐振动

物体振动时, 决定其位置的坐标余弦(或正弦)函数规律随时间变化, 简谐振动常简称为谐振动. 谐振动是一种最简单、最基本的振动. 一切复杂的振动都可以看成由许多简谐振动合成的. 运动微分方程(动力学特征方程)为

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

式中

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

称为振动物体的固有频率, 运动微分方程解(运动学方程)可表示为

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

运动物体的速度和加速分别为

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi)$$

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

描述谐振动的三个特征量:

- (1) 振幅 A : 振动物体离开平衡位置的最大距离.

(2) 周期和(角)频率

角频率 ω : 单位时间内相位的变化, 或振动物体在 2π 秒内振动的次数.

频率 ν : 谐振动物体在 1s 内振动的次数.

周期 T : 谐振动物体重复运动一次所需的时间.

三者的关系可表示为
$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$$

(3) 相位 $\omega t + \varphi$: 决定了任意时刻 t 谐振动的运动状态.

初相(位) φ : 决定了零时刻谐振动的运动状态; 初相的数值决定于起始条件.

二、振幅和初相的确定

根据初速度 v_0 、初位移 x_0 确定谐振动的振幅和初相

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}}, \quad \varphi = \arctan\left(-\frac{v_0}{x_0\omega}\right)$$

三、简谐振动的能量

动能

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi)$$

势能

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

总机械能

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}kA^2$$

一个周期 T 内动能 E_k 和势能 E_p 的平均值

$$\bar{E}_k = \frac{1}{T} \int_0^T E_k dt = \frac{1}{4}kA^2$$

$$\bar{E}_p = \frac{1}{T} \int_0^T E_p dt = \frac{1}{4}kA^2$$

四、谐振动的旋转矢量表示

绕坐标原点逆时针匀速率旋转的矢量 A 在 x 轴上的投影可用来表示谐振动, 旋转矢量的长度 $|A|$ 等于谐振动的振幅, 旋转矢量的角速度等于振动角频率, 旋转矢量在 $t=0$ 时刻与坐标轴 x 的夹角为谐振动的初相.

五、谐振动实际

1. 单摆

小角度摆动时, 运动微分方程可表示为

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l}\theta = 0$$

振动周期和角频率分别为

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

2. 复摆

小角度摆动时,运动微分方程可表示为

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgh}{J_z}\theta = 0$$

振动的周期和角频率分别为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_z}{mgh}}, \omega = \sqrt{\frac{mgh}{J_z}}$$

六、谐振动的合成

1. 两个同频平行谐振动的合成

合振动仍为简谐振动,合振动的振幅取决于两个分振动的振幅和初相差,即

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

2. 两个异频平行谐振动的合成

当两个分振动的频率都较大且两频率之差很小时,会产生拍的现象,拍频为

$$\nu = |\nu_2 - \nu_1|$$

3. 相互垂直的两个简谐振动的合成

若两分振动的频率相同,则合成振动的轨迹为椭圆;若两分振动频率之比为简单的整数比,则合成运动的轨迹为李萨如图形。

七、阻尼振动

运动方程为

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$$

其中, $\frac{\gamma}{m} = 2\delta$, δ 为阻尼系数, $\frac{k}{m} = \omega_0^2$ 。

(1) 小阻尼 ($\delta < \omega_0$)

$$x = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega' t + \varphi'_0)$$

式中 $\omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$, 而 A_0 、 φ_0 为由起始条件决定的积分常数。

(2) 过阻尼 ($\delta > \omega_0$) 和临界阻尼 ($\delta = \omega_0$)

这两种情况,弹簧振子的运动都是非周期性的,即振子开始运动后,随着时间的增长,振子都逐渐返回平衡位置。与大阻尼情况相比,作临界阻尼运动的振子一般将更快地返回平衡位置。

八、受迫振动

1. 位移共振

当驱动力角频率 $\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$ 时,振幅达到极大值的现象叫做位移共振。

2. 速度共振

当驱动力角频率 $\omega_f = \omega_0$ 时, 受迫振动速度振幅具有极大值, 此时称系统发生速度共振, 速度共振时, 系统的动能具有极大值, 因此速度共振也称能量共振。

九、电磁振荡

电路中电压和电流的周期性变化称为电磁振荡, 电磁振荡与机械振动的形式类似(如表 10-1)。最简单的振荡电路为 LC 电路: 使电容先带电, 接通电路后, 电容器一直处于放电 \leftrightarrow 充电的周期变化状态, 整个电路中的电荷、电流、电场能量和磁场能量都作周期性变化。

十、简谐振动与电磁振荡的比较

表 10-1

	电磁振荡	简谐振动
方程	$\frac{d^2 q}{dt^2} = -\frac{1}{LC}q$	$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x$
频率	$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$
解	$q = Q_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$, Q_0 为电荷极大值	$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$, A 为离开平衡位置位移最大值
能量	电场能量 $\frac{q^2}{2C} = \frac{Q_0^2}{2C} \cos^2(\omega t + \varphi_0)$ 磁场能量 $\frac{1}{2} Li^2 = \frac{L\omega^2 Q_0^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0)$ 总能量 $\frac{Q_0^2}{2C}$	动能 $\frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0)$ 热能 $\frac{1}{2} kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0)$ 总能量 $\frac{1}{2} kA^2$

类似地, LC 电路中加入电阻 R , 则为阻尼振荡, 再加上一个电动势作周期性变化的电源, 则为受迫振荡, 当外加电动势的频率与无阻隔尼振荡的频率相等时, 发生电共振。

复习思考题解答

10-1-1 判断一个物体是否作谐振动有哪些方法? 试说明下列运动是不是谐振动: (1) 小球在地面上作完全弹性的上下跳动。(2) 小球在半径很大的光滑凹球面底部作小幅度的摆动。(3) 曲柄连杆机构使活塞作往复运动。(4) 小磁针在地磁的南北方向附近摆动。

答: (1) 小球除了与场面接触时, 所受力均为 mg , 不是简谐振动。

(2) 由答 10-1-1 图知, 在凹球面底的小球和单摆的小球受力情况一样, 所以此球的摆动是简

谐振动。

(3) 上述机构图如答 10-1-1 图(c)所示。

曲柄 AB 绕 A 点转动时

$$AC = AB\cos\theta + BC\cos\varphi$$

因为 $AB\sin\theta = BC\sin\varphi$

所以 $\cos\varphi = \sqrt{1 - \frac{AB^2}{BC^2}\sin^2\theta}$

$$AC = AB\cos\theta + BC\sqrt{1 - \frac{AB^2}{BC^2}\sin^2\theta}$$

由运动方程看, 活塞不做简谐运动。

(4) 把小磁针简化成电流环, 磁矩为 IS

电流环(磁针)所受力矩为

$$\mathbf{M} = \mathbf{P}_m \times \mathbf{B} = IS \times \mathbf{B} = ISB\sin\theta$$

因为小磁针在地磁南北方向附近摆动,

所以 θ 很小, 所以 $\sin\theta = \theta$ 得 $J \frac{d^2\theta}{dt^2} = ISB\theta$

此为角位移微分方程, 是简谐运动。

10-1-2 谐振动的速度和加速度在什么情况下是同号的? 在什么情况下是异号的? 加速为正值时, 振动质点的速率是否一定增加? 反之, 加速度为负值时, 速率是否一定在减小?

答: 当运动方程的相角 φ 在二、四象限时同号, 在一、三象限时异号。当 a 为正, v 为负时, 速率减小; 当 a 为负, v 也为负时, 速率会增加。

10-1-3 分析下列表述是否正确, 为什么?

(1) 若物体受到一个总是指向平衡位置的合力, 则物体必然作振动, 但不一定是谐振动。

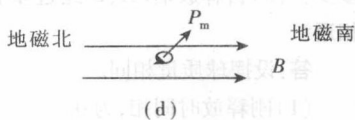
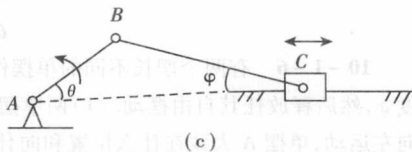
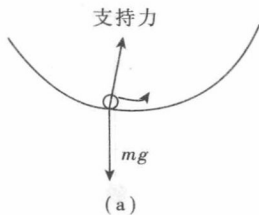
(2) 谐振动过程是能量守恒的过程, 因此, 凡是能量守恒的过程就是谐振动。

答: (1) 正确。当物体离开平衡位置时, 在受指向平衡位置的合力作用下总会回到原来位置, 然后偏离, 再回到平衡位置, 这样产生振动。只有当所受合力与位移成正比时, 振动才是简谐振动。

(2) 错误。谐振动过程能量守恒, 但是能量守恒的过程不一定是谐振动, 例如自由落体运动、匀速圆周运动、匀速直线运动等都是能量守恒, 但不是谐振动。

10-1-4 在单摆实验中, 如把摆球从平衡位置拉开, 使悬线与竖直方向成一小角 φ , 然后放手任其摆动。若以放手之时为计时起点, 试问此 φ 角是否就是振动的初相位? 摆球绕悬点转动的角速度是否就是振动角频率?

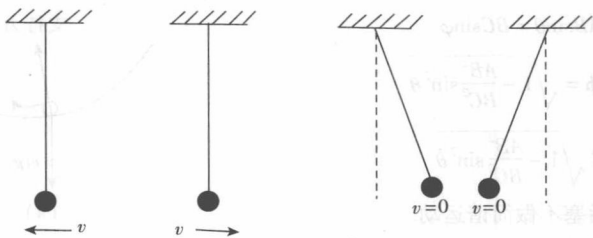
答: 单摆运动方程是用单摆的角位移表示的, 而 φ 正好是零时刻的角位移而不是初相位, 初相位应该为 0。



答 10-1-1 图

摆球绕悬点转动的角速度 $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ 是变化的, 而角频率 $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ 是定值。

10-1-5 周期为 T 、最大摆角为 θ_0 的单摆在 $t=0$ 时分别处于如图所示的状态. 若以向右方向为正, 写出它们作振动的表达式.



思考题 10-1-5 图

答: 它们的振动表达式如下:

$$\theta_1 = \theta_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\theta_2 = \theta_0 \cos\left(\omega t + \frac{3\pi}{2}\right)$$

$$\theta_3 = \theta_0 \cos(\omega t)$$

$$\theta_4 = \theta_0 \cos(\omega t + \pi)$$

10-1-6 有两个摆长不同的单摆作谐振动, 设 $l_A = 2l_B$. 把这两单摆向右拉开一个相同的小角度 φ , 然后释放任其自由摆动. (1) 两单摆在刚释放时相位是否相同? (2) 当单摆 B 到达平衡位置并向左运动, 单摆 A 大致在什么位置和向什么方向运动? A 比 B 的相位超前还是落后? 超前或落后多少? (3) 自释放后, A、B 经过多长时间后以相反的相位相遇? A、B 经过多长时间后以同相位相遇?

答: 设摆球质量相同.

(1) 刚释放时同相, 为 0.

$$(2) T_B = \sqrt{2}T_A$$

当 B 第一次到达平衡位置时,

$$t = \frac{T_B}{4} = \frac{\sqrt{2}}{4}T_A$$

$$\theta_A = \varphi \cos\left(\frac{2\pi}{T_A}t\right) = \varphi \cos\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\pi\right)$$

因为 $\frac{\sqrt{2}}{2}\pi < \frac{3}{4}\pi$, 所以 A 运动到平衡位置左边并向左运动

A 超前 B $\frac{\sqrt{2}}{2}\pi - \frac{\pi}{2} \approx 0.207\pi$

(3) B 相位为 $\frac{2\pi}{T_B}t = \frac{2\pi}{\sqrt{2}T_A}t$, A 相位为 $\frac{2\pi}{T_A}t$

当 $\cos\left(\frac{2\pi}{\sqrt{2}T_A}t\right) = \cos\left(\frac{2\pi}{T_A}t\right)$ 时相遇

得 $\frac{2\pi}{\sqrt{2}T_A}t + 2n\pi = \frac{2\pi}{T_A}t$ (同相) ($n=0, 1, 2, \dots$)

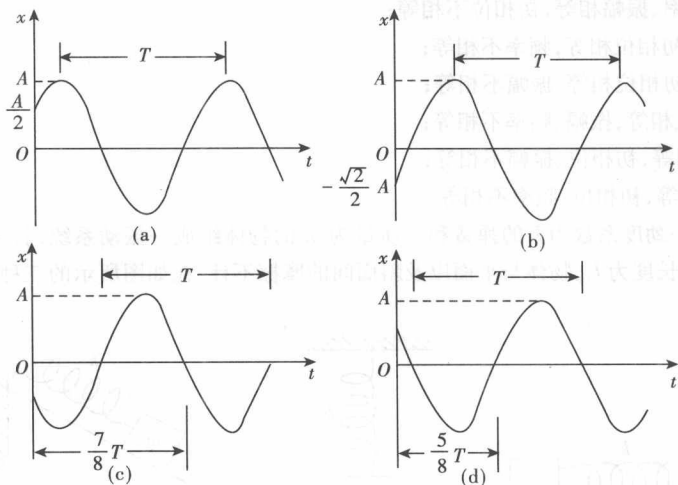
$2n\pi - \frac{2\pi}{\sqrt{2}T_A}t = \frac{2\pi}{T_A}t$ (反相) ($n=0, 1, 2, \dots$)

于是可得

当 $t = \frac{n\sqrt{2}T_A}{\sqrt{2}-1}$ 时, 同相相遇 ($n=0, 1, 2, \dots$)

当 $t = \frac{n\sqrt{2}T_A}{\sqrt{2}+1}$ 时, 反相相遇 ($n=0, 1, 2, \dots$)

10-1-7 物体作谐振动的 $x-t$ 图如图所示; 分别写出这些谐振动的表达式.



思考题 10-1-7 图

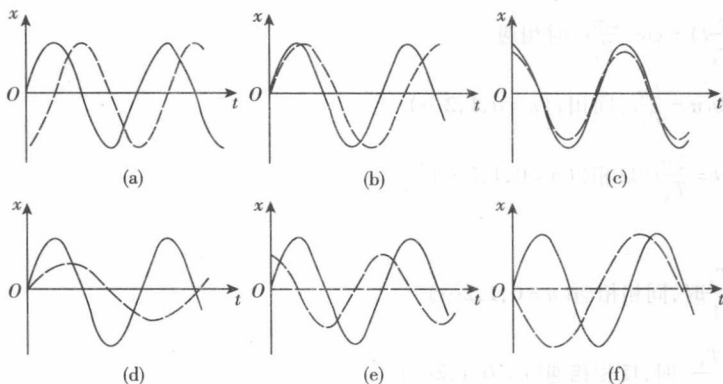
答: 图(a): $x = A\cos(\omega t - \frac{\pi}{3})$

图(b): $x = A\cos(\omega t - \frac{3\pi}{4})$

图(c): $x = A\cos(\omega t - \frac{5\pi}{4})$

图(d): $x = A\cos(\omega t + \frac{\pi}{4})$

10-1-8 对于频率不同的两个谐振动, 初相位相等, 能否说这两个谐振动是同相的? 如图中各图内的两条曲线表示两个谐振动, 试说明其频率、振幅、初相位三个量中哪个相等, 哪个不相等.



思考题 10-1-8 图

答:(a)中频率、振幅相等,初相位不相等;

(b)中振幅、初相位相等,频率不相等;

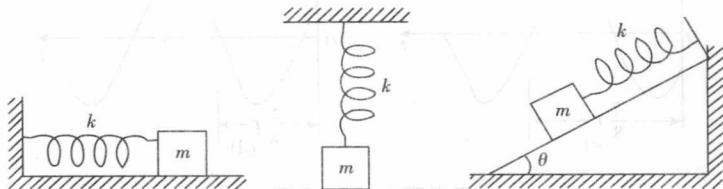
(c)中频率、初相位相等,振幅不相等;

(d)中初相位相等,振幅、频率不相等;

(e)中频率相等,初相位、振幅不相等;

(f)中振幅相等,初相位、频率不相等。

10-1-9 一劲度系数为 k 的弹簧和一质量为 m 的物体组成一振动系统,若弹簧本身的质量不计,弹簧的自然长度为 l_0 ,物体与平面以及斜面间的摩擦不计.在如图所示的三种情况中,振动周期是否相同.



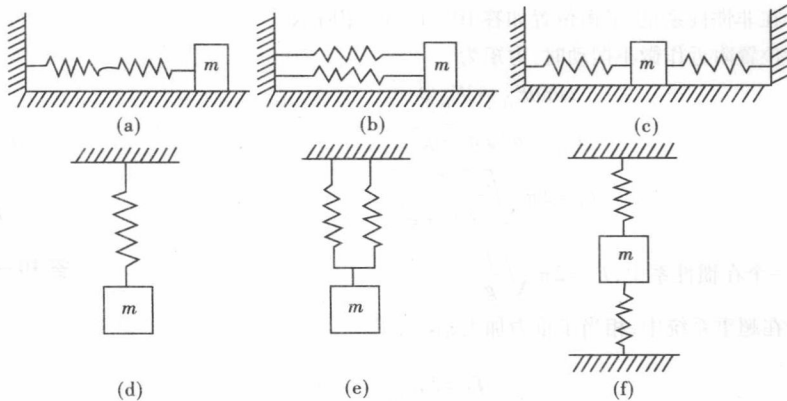
思考题 10-1-9 图

答:简谐运动周期计算公式为: $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$. 因为上述三种情况中, m 和 k 都不发生变化,是相同的常量,所以周期相同.

10-1-10 两个劲度系数均为 k 的相同弹簧,按图示的不同方式连接一质量为 m 的物体,组成一振动系统.试分析物体受到沿弹簧长度方向的初始扰动后是否作谐振动.如是谐振动,比较它们的周期.

答:设物体向右(向下)偏离平衡位置 x 的距离,那么物体受力如下:

图(a)每个弹簧伸长 $\frac{x}{2}$,所受力 F ,向左 $F_1 = \frac{kx}{2}$



思考题 10-1-10 图

所以 $k_1 = \frac{k}{2}, T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{2m}{k}}$.

图(b): 每个弹簧伸长 x , 所受力 F_2 , 向左 $F_2 = 2kx$

所以 $k_2 = 2k, T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}}$.

图(c): 左边弹簧伸长 x , 右边弹簧压缩 x , 所受力 F_3 , 向左 $F_3 = 2kx$

所以 $k_3 = 2k, T_3 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}}$.

图(d): 弹簧伸长 x , F_4 向上, $F_4 = kx$

所以 $k_4 = k_1, T_4 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$.

图(e): 每个弹簧伸长 x , F_5 向上, $F_5 = 2kx$

所以 $k_5 = 2k, T_5 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}}$.

图(f): 上边弹簧伸长 x , 下边弹簧压缩 x , F_6 向上, $F_6 = 2kx$

所以 $k_6 = 2k, T_6 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}}$.

10-1-11 三个完全相同的单摆, 在下列各种情况, 它们的周期是否相同? 如不相同, 哪个大, 哪个小?

(1) 第一个在教室里, 第二个在匀速前进的火车上, 第三个在匀加速水平前进的火车上.

(2) 第一个在匀速上升的升降机中, 第二个在匀加速上升的升降机中, 第三个在匀减速上升的升降机中.

(3) 第一个在地球上, 第二个在绕地球同步卫星上, 第三个在月球上.

答: (1) 前两个在惯性系里, 所以周期相同为

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

第三个在非惯性系里,平衡位置如答 10-1-11 图所示.

在平衡位置附近作微小摆动时,力矩为

$$l \sin \theta F_{\text{合}} \approx l F_{\text{合}} \theta$$

$$F_{\text{合}} = m \sqrt{a^2 + g^2}$$

所以

$$T_3 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\sqrt{a^2 + g^2}}}$$

(2) 第一个在惯性系中, $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

第二个在超重系统中,相当于重力加大, $g_2 > g$

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_2}} < T_1$$

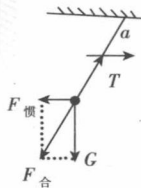
第三个在失重系统中,相当于重力减小, $g_3 < g$

$$T_3 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_3}} > T_1$$

(3) $g_1 = g$, 所以 $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$; 卫星完全失重, 所以 $g_2 \rightarrow T_2 \rightarrow \infty$;

$g_{\text{月}} < g$, 所以

$$T_3 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_{\text{月}}}} > T_1.$$



答 10-1-11 图

10-1-12 在上题中,如把单摆改为悬挂着的弹簧振子,其结果又如何?

答:在不同的系统中,在振子的平衡位置处,弹簧的长度有所不同,弹簧的伸长或压缩已经把系统中其余力对振子的影响消除,振子在振动过程中所受恢复力永远是 $-kx$, 与其他因素无关,所以周期依然是 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$.

10-1-13 在电梯中并非悬挂一弹簧振子和一单摆,在它们的振动过程中,电梯突然从静止开始自由下落.试分别讨论两个振动系统的运动情况.

答:弹簧振子:如果振子振动到弹簧原长的地方,电梯自由下落,那么振子不再振动.如果不是这种情况,振子的振幅会改变,具体变化情况要视电梯刚下落时振子的状态而定.

单摆:单摆的恢复力由拉力和重力的合力提供,在自由下落的电梯中,摆球不受拉力作用,所以电梯下落时单摆就停止摆动了.

10-2-1 阻尼的存在对谐振动有哪些影响? 试以小阻尼情况讨论之.

答:在小阻尼情况下,由于阻尼的存在,谐振的振幅不断减小,振动周期变长.

10-2-2 两个机械振动系统作阻尼振动,问下列哪种情况下位移振幅衰减较快?

(1) 物体质量 m 不变,而阻尼系数 δ 增大;(2) 阻尼系数 δ 相同,而 m 增大.

答:(1) 衰减比较快.

10-3-1 弹簧振子的无阻尼自由振动是谐振动,同一弹簧振子在简谐策动力持续作用下的稳态受迫振动也是谐振动,这两种谐振动有什么不同?

答:自由振动的振幅和初相位只与初态有关,频率是系统的固有频率,在振动过程中不发生

变化。

稳态受迫振动的振幅与策动力频率、策动力幅度、系统固有频率和阻尼因子 β 都有关, 频率是策动力的频率 ω , 初相位基本不能确定。

10-3-2 有人说:“稳态受迫振动 $x = A\cos(\omega_d t + \varphi)$ ”中 φ 就是振动的初相位. 因为相位为 $(\omega_d t + \varphi)$, $t=0$ 时的相位即为起始时刻的相位, 也就是初相位.”这种说法对吗?

答: 不正确. 稳态受迫振动的表达式 $x = A\cos(\omega_d t + \varphi)$ 与自由振动表达式相同, 但实质是不同的. φ 是稳态受迫振动的位移与驱动力的相位差, 与初始条件无关。

10-3-3 产生共振的条件是什么? 在共振时, 物体作什么性质的运动?

答: 产生共振的条件是: 驱动力的频率等于系统固有频率. 在共振时物体做受迫振动。

10-5-1 什么是拍的现象? 产生拍的条件是什么? 如果两振动的振幅不等, 即 $A_1 \neq A_2$, 是否也有拍现象?

答: 拍现象是合振动的振幅存在时强时弱的周期性变化. 产生拍的条件是两个振动的频率相差不多, 即使是两个振动的振幅不相等, 也会产生拍现象。

10-6-1 两个相互垂直的同频率谐振动合成的运动是否还是谐振动?

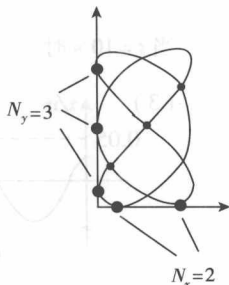
答: 两个相互垂直的同频率合成的运动不一定是谐振动。

10-6-2 如何从李萨如图形来确定两谐振动的频率比.

答: 把两个正弦分别加到垂直与水平偏转板, 则荧光屏上光点的轨迹是两个互相垂直的谐振动的合成. 当两个正弦信号频率之比为整数之比时, 其轨迹是一个稳定的闭合曲线. 这种曲线称为李萨如图形. 封闭的李萨如图在水平方向的切点数目 N_x 与垂直方向的切点数目 N_y 之比与两信号频率之比有如下关系:

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_x}{N_y}$$

利用这一关系可以测量正弦信号频率. 如果其中一信号频率已知且连续可调, 则把两个正弦信号分别输入 X 轴与 Y 轴, 调出稳定的李萨如图形, 从李萨如图上数出切点数 N_x 、 N_y , 并记下已知信号的频率, 即可由上式算出待测正弦信号的频率。



答 10-6-2 图

习题全解

10-1 一小球与轻弹簧组成的系统, 按

$$x = 0.05 \times \cos\left(8\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$$

的规律振动, 式中 t 以 s 为单位, x 以 m 为单位. 试求:

(1) 振动的角频率、周期、振幅、初相、速度及加速度的最大值; (2) $t = 1 s, 2 s, 10 s$ 等时刻的相位各为多少? (3) 分别画出位移、速度、加速度与时间的关系曲线。

解: (1) 由振动方程 $x = 0.05\cos(8\pi t + \frac{\pi}{3})$ 得

$$\omega = 8\pi \text{ rad/s}, T = \frac{2\pi}{\omega} = 0.25 \text{ s}, A = 0.05 \text{ m}, \varphi_0 = \frac{\pi}{3}$$

速度最大值

$$v_{\max} = \omega A = 1.26 \text{ m/s}$$

加速度最大值

$$a_{\max} = \omega^2 A = 31.6 \text{ m/s}^2$$

(2) 相位 $\varphi = 8\pi t + \frac{\pi}{3}$, 得当 $t = 1 \text{ s}$ 时,

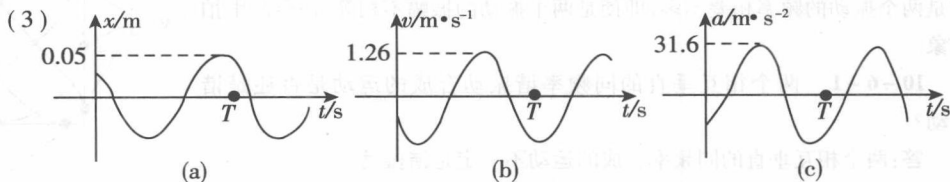
$$\varphi = 8\pi + \frac{\pi}{3} = \frac{25}{3}\pi$$

当 $t = 2 \text{ s}$ 时,

$$\varphi = 16\pi + \frac{\pi}{3} = \frac{49}{3}\pi$$

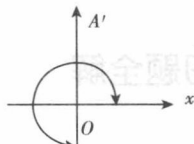
当 $t = 10 \text{ s}$ 时,

$$\varphi = 80\pi + \frac{\pi}{3} = \frac{241}{3}\pi$$



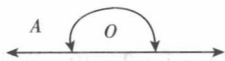
解 10-1 图

10-2 有一个和轻弹簧相联的小球,沿 x 轴作振幅为 A 的谐振动,周期为 T . 运动方程用余弦函数表示. 若 $t=0$ 时,球的运动状态为:(1) $x_0 = -A$; (2) 过平衡位置向 x 正方向运动; (3) 过 $x = \frac{A}{2}$ 处向 x 负方向运动; (4) 过 $x = \frac{A}{\sqrt{2}}$ 处向 x 正方向运动. 试用矢量图示法确定相应的初相位的值,并写出振动表达式.

解:(1) $x = A\cos(\omega t + \pi)$ (2) $x = A\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$ 

$$\varphi = \frac{3\pi}{2}$$

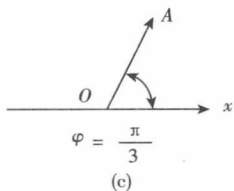
(b)



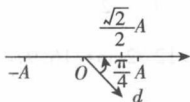
解 10-2 图 (a)

解 10-2 图 (b)

(3) $x = A\cos(\omega t + \frac{\pi}{3})$ (4) $x = A\cos(\omega t - \frac{\pi}{4})$



解 10-2 图 (c)



解 10-2 图 (d)

10-3 一振动质点的振动曲线如图所示,试求:

(1)运动学方程;(2)点P对应的相位;(3)从振动开始到过点P相应位置所需的时间.

解:(1)设振动运动方程为 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ 由图可知 $A = 0.10 \text{ m}$, $x_0 = 0.05 \text{ m}$, 有

$$0.05 = 0.10 \cos \varphi$$

$$\text{得 } \varphi = \pm \frac{\pi}{3}$$

由 $v_0 = -A\omega \sin \varphi > 0$, 有 $\varphi = -\frac{\pi}{3}$, $\varphi = \frac{\pi}{3}$ 舍去

由图中 $t = 1.0 \text{ s}$ 时, $x = 0$, 有

$$0 = 0.10 \cos(\omega - \frac{\pi}{3})$$

得

$$\omega - \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{2}$$

$$\omega = \frac{5}{6}\pi$$

所以,运动学方程为

$$x = 0.10 \cos(\frac{5}{6}\pi t - \frac{\pi}{3})$$

(2)由图中可知,P点对应正方向最大位移处,有

$$\varphi_p = \frac{5}{6}\pi t_p - \frac{\pi}{3} = 0$$

(3)由P点相位 $\varphi_p = 0$, 有

$$t_p = \frac{\pi}{3} \times \frac{6}{5\pi} = \frac{2}{5} \text{ s}$$

10-4 一质量为 10 g 的物体作谐振动,其振幅为 24 cm ,

周期为 4.0 s , 当 $t = 0$ 时, 位移为 $+24 \text{ cm}$. 求:(1) $t = 0.5$ 时, 物

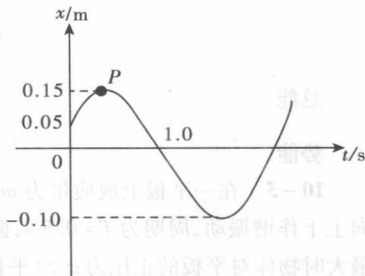
体所在位置;(2) $t = 0.5$ 时, 物体所受力的大小与方向;(3)由起始位置运动到 $x = 12 \text{ cm}$ 处所需的最少时间;(4)在 $x = 12 \text{ cm}$ 处, 物体的速度、动能以及系统的势能和总能量.

$$\text{解:(1)} t = \frac{T}{8}$$

由 $t = 0$ 时 $A = 24 \text{ cm}$ 知 $\varphi_0 = 0$

当 $t = \frac{T}{8}$ 时,

$$\varphi = \frac{2\pi}{T}t + \varphi_0 = \frac{\pi}{4}$$



习题 10-3 图