

高等学校教学参考书

普通物理学

(第五版)

思考题分析与拓展

胡盘新 孙 疆 黄颂翔 编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学(第五版)思考题分析与拓展/胡盘
新、孙疆、黄颂翔编. —北京:高等教育出版社.
2004.11

ISBN 7 - 04 - 015565 - 6

.普... . 胡... 孙... 黄... .普通物
理学 - 高等学校 - 解题 .O4 - 44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 092157 号

策划编辑 刘 伟 责任编辑 王文颖 封面设计 李卫青
责任绘图 黄建英 版式设计 王艳红
责任校对 王效珍 责任印制

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 58581000		http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷

开 本	850 × 1168 1/32	版 次	年 月 第 1 版
印 张	8.625	印 次	年 月 第 次印刷
字 数	220 000	定 价	12.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换.

版权所有 侵权必究

物料号:15565 - 00

内容简介

本书是为配合程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第五版)而编写的配套辅导书。本书按各章顺序对全部思考题在普通物理的范围内进行了尽可能详细的分析,除了主教材的思考题外还挑选了若干师生有兴趣的问题以专题的形式进行了拓展讨论。本书有助于学生掌握基本概念和基本规律,培养自学的能力和科学的思想方法,也有助于一线教师通过“讨论式教学”提高实际教学效果。

本书适合于高等学校工科各专业,特别是使用程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第五版)的师生作为参考书。

前 言

本书是程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第五版)的配套辅导书,对主教材中的全部思考题在普通物理的范围内,进行了尽可能详细的解答。

在物理课的学习过程中,不仅要求学生解答计算题,还要求解答思考题。这不仅能使学生自我检测对基本概念和基本规律的掌握情况,还能启发学生正确运用基本规律来解释物理现象和有关问题,这对训练和培养学生科学的思想方法以及分析问题和解决问题的能力是有一定帮助的。编写本书的目的是帮助学生在学習过程中能够正确地思考问题,避免得出错误的结论。

为了拓展学生的思路,除了主教材的思考题外,本书还挑选了若干学生在课余提出的或感兴趣的问题,以专题的形式作了较详细的解答。希冀学生能举一反三,积极思考,提出问题,从而提高教学效果。

本书由胡盘新、孙韃疆、黄颂翔主编。黄颂翔编写第一章至第七章,孙韃疆编写第八章至十八章,并对全书统稿;胡盘新教授审阅了全书。在编写本书的“专题讨论”时,从参阅的有关文献资料中得到很多启发和教益,在此向所有作者致以诚挚的谢意。本书为“高等教育百门精品课程教材建设计划”中,“大学物理课程立体化系列教材建设”项目(上海交通大学)之一,得到了“上海交通大学国家工科物理教学基地”、上海大学物理系的大力支持。高等教育出版社胡凯飞、刘伟同志为本书的出版付出了大量的劳动,在此也一并表示感谢。

由于编者的学识有限 ,难免有错误和不妥之处 ,恳请读者和同行、专家不吝赐教。

编者

2004 年 2 月

目 录

第一章	质点的运动	1
第二章	牛顿运动定律	12
第三章	运动的守恒定律	21
第四章	刚体的转动	31
第五章	相对论基础	37
第六章	气体动理论	44
第七章	热力学基础	54
第八章	真空中的静电场	65
第九章	导体和电介质中的静电场	73
第十章	恒定电流和恒定电场	87
第十一章	真空中的恒定磁场	95
第十二章	磁介质中的磁场	106
第十三章	电磁感应和暂态过程	112
第十四章	麦克斯韦方程组 电磁场	127
第十五章	简谐振动和电磁振荡	133
第十六章	机械波和电磁波	148
第十七章	波动光学	162
第十八章	早期量子论和量子力学基础	190
专题讨论	201
1.	雨中快跑能少淋雨吗	201
2.	地球卫星受阻后的动能会增大吗	204
3.	荡秋千的力学	206
4.	参考系与机械能守恒定律及其他	207

5 . 质点的角动量和刚体定轴转动的角动量	211
6 . 列车会被雷电击中吗	216
7 . 孪生子效应	219
8 . 最概然速率不对应最概然动能	221
9 . 单位时间内有多少分子碰撞了单位壁面	223
10 . 多方过程的热容量和热力学特征	225
11 . 冰箱可以替代空调降温吗	230
12 . 关于电势零点的选择	233
13 . 静电场系统的能量	239
14 . 磁悬浮列车	243
15 . 电磁感应的两个公式一致吗	246
16 . 如何通过地震波了解地球内部的构造	254
17 . 界面反射和“半波损失”	255
18 . 日光照射下薄膜的干涉	260
19 . 望远镜和显微镜的分辨率	263
20 . 光电效应中一个电子能吸引多个光子吗	266

第十五章 简谐振动和电磁振荡

15 - 1 试说明下列运动是不是简谐振动：

- (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：简谐振动的运动学特征是：振动物体的位移(角位移)随时间按余弦或正弦函数规律变化；动力学特征是：振动物体所受的合力(合力矩)与物体偏离平衡位置的位移(角位移)成正比而反向。

从能量角度看，物体在系统势能最小值附近小范围的运动是简谐振动，所以：

- (1) 不是简谐振动。小球始终受重力，不满足上述线性回复力特征。
- (2) 是简谐振动。小球只有在“小幅度”摆动时才满足上述特征。
- (3) 不是简谐振动。活塞所受的力与位移成非线性关系，不满足上述动力学特征。
- (4) 是简谐振动。小磁针只有在“小幅度”摆动时才满足上述特征。

15 - 2 简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？加速度为正值时，振动质点的速率是否一定在增加？反之，加速度为负值时，速率是否一定在减小？

答：简谐振动物体速度的相位超前加速度 $\pi/2$ ，加速度与位移反向。利用旋转矢量法分析，图像更为直观。

当振动物体沿位移的正方向向平衡位置运动时，对应的旋转矢量位于第一象限，振动物体的速度和加速度同号，都为负；当振动物体沿位移的负方向向平衡位置运动时，对应的旋转矢量位于第三象限，振动物体的速度和加速度同号，都为正。

加速度为正值时，对应的旋转矢量位于第二象限和第三象限。当物体由平衡位置沿位移的负方向运动（第二象限）时，振动物体的速率在减小；当物体沿位移的负方向向平衡位置运动（第三象限）时，振动物体的速率在增大。

加速度为负值时，对应的旋转矢量位于第一象限和第四象限。当物体由平衡位置沿位移的正方向运动（第四象限）时，振动物体的速率在减小；当物体沿位移的正方向向平衡位置运动（第一象限）时，振动物体的速率在增大。

15 - 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，但不一定是简谐振动。

(2) 简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简谐振动。

答：(1) 正确。当该合力的方向总是指向平衡位置，并且其大小总是正比于位移的大小时，物体所作的周期运动是简谐振动；当该合力的方向总是指向平衡位置，但合力的大小并不仅仅正比于位移的大小时，物体所作的振动就不一定是简谐振动，比如阻尼振动、受迫振动等。

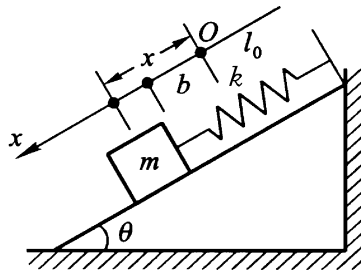
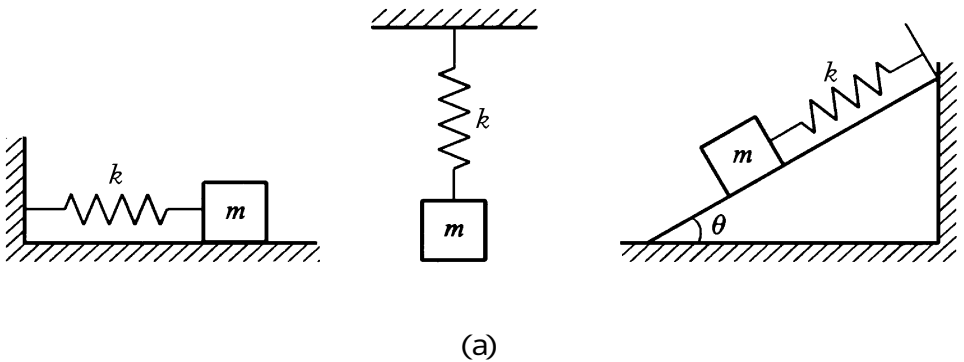
(2) 不正确。简谐振动是一种无阻尼的理想的可逆过程，振动过程中没有机械能的耗散，能量是守恒的。而有阻尼的振动，总能量虽守恒，但振动的机械能并不守恒。

15 - 4 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.在如题 15 - 4(a)图所示的三种情况中,振动周期是否相同.

答:对如题 15 - 4(a)图所示的三种情况分别对 m 作受力分析可知:振动系统的平衡位置不同,振动周期相同(系统固有性质不变, $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$).

以图示斜面上的弹簧振子为例作受力分析.取坐标 Ox 沿斜面向下为正,坐标原点取在弹簧原长处,设连接物体后弹簧的净伸长量为 b , t 时刻物体的位移为 x .如题 15 - 4(b)图所示,有

$$mgsin\theta - kb = 0, \quad mgsin\theta - kx = m \frac{d^2 x}{dt^2},$$



题 15 - 4 图

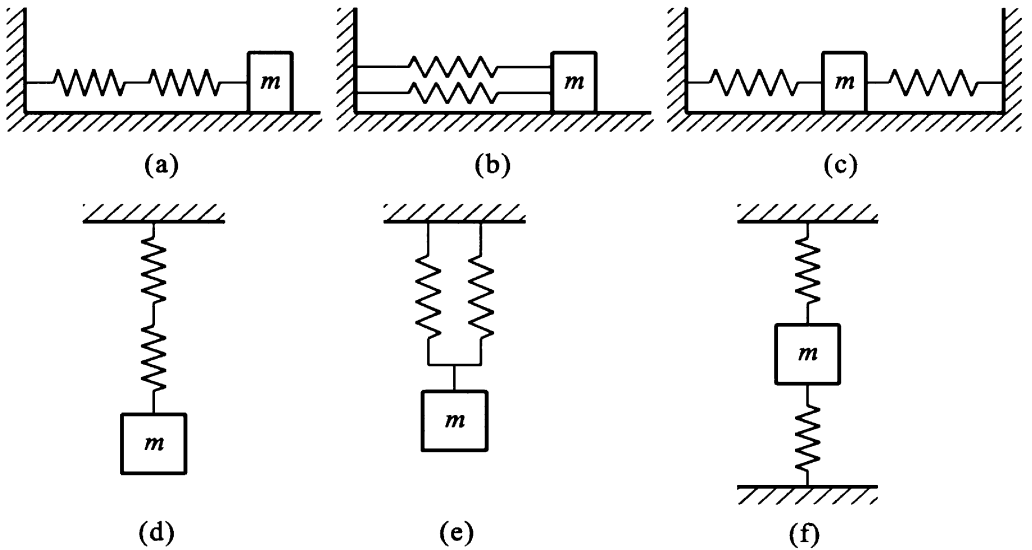
得
$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{k}{m}(x - b) = -\omega^2(x - b),$$

其中 $\omega^2 = \frac{k}{m}$ 为振动的角频率. 令 $x = x - b$ 即有

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

可见, 斜面上弹簧振子系统的平衡位置相对弹簧的原长有一平移 b , 而作简谐振动的角频率不变.

15 - 5 两个劲度系数均为 k 的相同弹簧, 按题 15 - 5 图所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简谐振动. 如是简谐振动, 比较它们的周期.



题 15 - 5 图

答: 图示各系统受到沿弹簧长度方向的初始扰动后是否作简谐振动, 可根据对系统作动力学的受力分析所得到的微分方程来判断. 若不计物体与平面间的摩擦和空气的阻尼, 各弹簧的弹性力

都满足胡克定律,则各系统振动的机械能守恒,物体偏离位置后的运动都是简谐振动。

设各振子的惯性质量均为 m ,不计弹簧的质量,不同连接方式的等效单个弹簧的劲度系数为 k 。对图示各系统作物体偏离平衡位置时的受力分析,可得到各系统的 k 。

图(a) $f = f_1 = f_2 = -k \frac{x}{2} = -kx$,得 $k = \frac{k}{2}$ 。其中 x 为弹簧的伸长量。

图(b) $f = f_1 + f_2 = -kx - kx = -2kx$,得 $k = 2k$ 。

图(c) $f = f_1 + f_2 = -kx - kx = -2kx$,得 $k = 2k$ 。

图(d) $f = f_1 = f_2 = -k \frac{x}{2} = -kx$,得 $k = k/2$ 。其中 $x = (x - b)$, b 为弹簧连接 m 后的净伸长量, $kb = mg$ 。

图(e) $f = f_1 + f_2 = -kx - kx = -2kx$,得 $k = 2k$ 。

图(f) $f = f_1 + f_2 = -kx - kx = -2kx$,得 $k = 2k$ 。

15 - 6 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) 教室和匀速运动的火车都可认为是较好的惯性参考系,匀加速水平运动的火车则是非惯性参考系。单摆的运动周期与惯性系的相对运动无关,但在非惯性参考系中应用牛顿运动定律分析摆球的受力来求得单摆的运动周期时,须附加惯性力。因此,在匀加速水平运动火车上单摆的运动周期将不同于教室里的和匀

速运动火车上的单摆运动周期。

在教室里的第一个和在匀速前进的火车上的第二个单摆的周期 T 相同,都为 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ 。

设火车相对地面惯性系的加速度为 a , a 的方向与 g 的方向垂直。处于匀加速水平前进火车中的第三个单摆在平衡时,有 $f - ma = f - m \sqrt{a^2 + g^2} = 0$ 。式中 f 为摆球受到摆线的拉力的大小,其方向沿 a 方向,因 $a = \sqrt{a^2 + g^2}$,所以,周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{a}}$ 将变小。

(2) 匀速上升的升降机是惯性参考系,所以第一个单摆的周期 T 不变。

匀加速上升的升降机是非惯性参考系,惯性力向下,与重力加速度方向相同。第二个单摆在平衡时,有

$$f - mg - ma = f - m(g + a) = 0,$$

因 $g = g + a$,所以,周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ 将变小;

匀减速上升的升降机也是非惯性参考系,惯性力向上,与重力加速度方向相反。第三个单摆在平衡时,有

$$f - mg + ma = f - m(g - a) = 0,$$

因 $g = g - a$,所以,周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ 将变大。

(3) 在地球上的单摆的周期为 $T_e = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_e}}$, $g_e = G \frac{m_e}{r_e^2}$ 。 m_e 、 r_e 分别为地球的质量和半径, g_e 为地球表面重力加速度的大小。

在月球上的单摆的周期为 $T_m = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_m}}$, $g_m = G \frac{m_m}{r_m^2}$ 。 m_m 、 r_m 分别为月球的质量和半径, $m_m = 0.012 m_e$, $r_m = 0.273 r_e$, $g_m = 0.16 g_e$,所以 $T_m = 2.5 T_e > T_e$ 。

设同步卫星在距地心半径为 r 的圆轨道上绕地球飞行,并且具有与地球自转角速度相同的角速度.卫星的飞行速率应满足关系: $v^2 = G \frac{m_e}{r}$, 即 $r^3 = G \frac{m_e}{\omega^2}$; r 处的重力加速度 g 为 $g = G \frac{m_e}{r^2}$. 代入有关数据可估算得 $r = 4.2 \times 10^4 \text{ km}$, $g = 0.023 g_e$. 所以,同步卫星上单摆的周期 $T_s = 6.6 T_e > T_e$.

综上所述,三个单摆周期的关系为: T_s (卫星上) $> T_m$ (月球上) $> T_e$ (地球上).

15-7 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:参照上题分析.弹簧振子的周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$, m 为振子质量,与参考系的运动无关, k 为轻弹簧的劲度系数.

(1) 三个弹簧振子的周期相同,第三个弹簧振子沿 a 方向振动,平衡位置不在弹簧原长处.

(2) 三个弹簧振子的周期相同,因参考系的加速度不同,它们的平衡位置不同.

(3) 三个弹簧振子的周期相同,因重力加速度大小不同,它们的平衡位置不同.

15-8 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,然后放手任其摆动.若以放手之时为记时起点,试问此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的角频率?

答:单摆系统作简谐振动时,其角位移随时间作周期性变化,可表示为

$$\theta = \theta_0 \cos(\omega t + \phi_0).$$

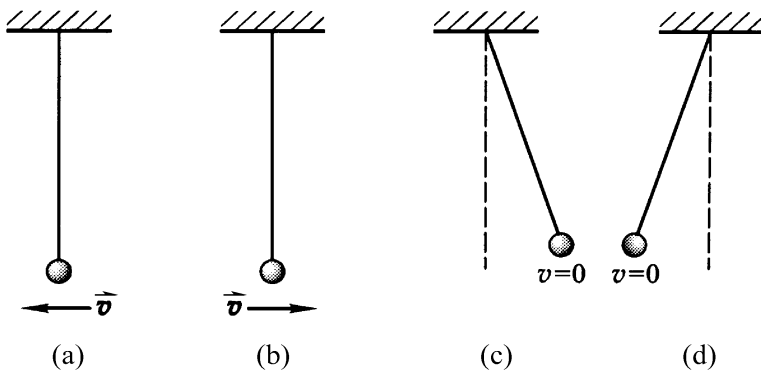
式中 A 是角位移的最大值的绝对值, 即振幅, 而 ϕ_0 是谐振动的初相位, $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ 是单摆系统的固有角频率, 其中 l 是摆长.

本问题中, $t=0$ 时, 摆球由静止释放, 即摆球角速度的初始值 $\left. \frac{d}{dt} \right|_{t=0} = 0$, 角位移的初始值 $\left. \theta \right|_{t=0} = \theta_0$. 利用旋转矢量法可以判断: 单摆谐振动的振幅 $A = \theta_0$ (设 $\theta_0 > 0$), 初相位 $\phi_0 = 0$. 简谐振动表达式为

$$\theta = \theta_0 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t \quad (\text{rad}).$$

所以, 把摆球从平衡位置拉开并静止释放的小角 θ_0 不是振动的初相位而是谐振动的振幅, 摆球绕悬点转动的角速度是 $\frac{d\theta}{dt}$, 而振动的角频率是 $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$.

15 - 9 周期为 T 、最大摆角为 θ_0 的单摆在 $t=0$ 时分别处于如题 15 - 9 图所示的状态. 若以向右方向为正, 写出它们的振动表达式.



题 15 - 9 图

答：图(a) 摆球在平衡位置向角位移 的负方向运动 ,对应的初相位为 $\frac{\pi}{2}$,所以

$$= A_0 \cos \left(\frac{2\pi}{T} t + \frac{\pi}{2} \right) ;$$

图(b) 摆球在平衡位置向角位移 的正方向运动 ,对应的初相位为 $\frac{3\pi}{2}$ 或 $-\frac{\pi}{2}$,所以

$$= A_0 \cos \left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{\pi}{2} \right) ;$$

图(c) 摆球在角位移 正方向的最大值 ,对应的初相位为 0 ,所以

$$= A_0 \cos \frac{2\pi}{T} t ;$$

图(d) 摆球在角位移 负方向的最大值 ,对应的初相位为 π ,所以

$$= A_0 \cos \left(\frac{2\pi}{T} t + \pi \right) .$$

15 - 10 有两个摆长不同的单摆作简谐振动 ,设 $l_A = 2l_B$.把这两单摆向右拉开一个相同的小角度 ,然后释放任其自由摆动 . (1) 这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时 ,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：作简谐振动单摆的周期为 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$,因 $l_A = 2l_B$,所以

$$T_A = 2 T_B .$$

(1) 两单摆的初始状态相同 ,故两简谐振动系统的初相位相

同.设角位移向右为正,并以释放之时为计时起点,则初相位均为0.

(2) 单摆 B 由右向左运动到平衡位置时,需时 $t = \frac{T_B}{4} = \frac{2}{8} T_A$, 单摆 B 的相位变化了 $\frac{\pi}{2}$, 而单摆 A 的相位变化为 $\frac{\pi}{4}$, 小于 B 的相位变化. t 时刻, 单摆 A 由右向左运动, 尚未到达平衡位置. 随着时间的推移, A 的相位将越来越落后于 B 的相位.

(3) 设 A、B 以相反的相位相遇, 需时为 t_1 , 有

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} t_1 = \pi,$$

可得 $t_1 = \frac{2+1}{2} T_A = (2+1) \frac{T_A}{2}.$

同理, 设 A、B 以同相位相遇, 需时为 t_2 , 则有

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} t_2 = 2\pi,$$

可得 $t_2 = (2+1) T_A = 2(2+1) \frac{T_A}{2}.$

15 - 11 物体作简谐振动的 $x - t$ 图如题 15 - 11 图所示. 分别写出这些简谐振动的表达式.

答: 振动曲线已给出振幅 A 和周期 T , 根据某时刻的振动状态可得到振动初相位, 从而写出这些简谐振动的表达式.

图(a)

$$t=0, \quad x_0 = \frac{A}{2}, \quad v_0 > 0. \quad \phi_0 = -\frac{\pi}{3}.$$

$$x = A \cos \left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{\pi}{3} \right).$$

图(b)