

顶尖系列

① ② ③ ④ ⑤
自 主 学 习 先 锋

高中步步高

顶尖物理

选修3-4

山东科技版

福建人民出版社

编写说明

“高中步步高”根据课程标准，配合各版本教材进行编写。丛书以课为训练单位，以单元为测试单位建构编写体系，符合教学规律，体现课改精神。丛书不仅关注学生夯实基础知识、基本技能，还关注学生学习的自主性、探究性、合作性；不仅关注培养学生学会学习、学会反思、学会自我激励，还关注培养学生学习过程中情感、态度和价值观的形成。

为了使本丛书在理念上与最新教改理念、精神相吻合，我们在本套丛书的编写过程中，坚持“三参与”原则，邀请有造诣的课程研究专家参与，深谙当前基础教育课程改革的教研员参与和具有丰富教学实践经验的一线特、高级教师参与，从而使本丛书在质量上得到充分保证。

“高中步步高”按章（或单元）进行编写，每一章（或单元）一般设：“学习目标”、“要点透析”、“方法指津”、“自我评估”、“探究应用”、“拓展视野”、“归纳整合”、“单元检测卷”等栏目。

“学习目标”是根据各章（或单元）应达到的目标提出具体要求。“要点透析”是以课程标准为基准，以相应版本的教材为落脚点，较详细地分析本章（或单元）内容的重点、难点。“方法指津”通过对精选的经典题目的解析和点拨，拓展学生的思路，提升发散思维能力，掌握科学的学习方法。“自我评估”在题目设计上，特别注重吸收全国各地出现的最新题型，同时注重知识的现代化，以激活学生已有的知识、经验和方法。题目既注重基础性，又强调自主性、参与性、实践性、合作性。“探究应用”特别注重吸收密切联系生产、生活实际的有趣题目，加强探究性习题的训练。“拓展视野”对本章（或单元）知识进行拓展，通过对一些典型的探究型、开放型的题目进行解析和点拨，使学生对章（或单元）内、学科内、学科间知识结构的关系得以把握和拓展。“归纳整合”以树形图、方框图或表格等形式对本章（或单元）知识进行梳理、归纳、整合，使学生对整章（或单元）知识间的逻辑关系有个清楚的认识。经过系统的训练后，通过“单元检测卷”与“模块检测卷”对所学内容进行评价与总结。由于不同学科及不同版本的教材各有特点，因此，上述栏目及其写法允许根据实际需要适当调整，灵活掌握。“检测卷”和“部分参考答案”一般做成活页的形式，以方便使用。

“高中步步高”实现了引导学生从预习到课外阅读全程自主学习的编写理念。我们在栏目设置上创设了科学的整合模式，将“知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观”三维目标层次地融入书中，激发学生的自主性，使学生的自主学习效果达到最优化，促进学生的全面发展。

本丛书在编写过程中引用了一些作者的作品，在此，对这些作者表示感谢，对一部分未署名的作品的作者表示歉意，并请与我们联系。由于编写时间仓促，书中难免存在不足之处，恳望读者不吝赐教，以便我们今后不断改进。

编者

目录

C O N T E N T S

第1章 机械振动

- 第1节 简谐运动/1
- 第2节 振动的描述/4
- 第3节 单摆/10
- 第4节 生活中的振动/14
- 归纳整合/18

第2章 机械波

- 第1节 波的形成和描述/23
- 第2节 波的反射和折射/29
- 第3节 波的干涉和衍射/32
- 第4节 多普勒效应及其应用/36
- 归纳整合/40

第3章 电磁波

- 第1节 电磁波的产生/45
- 第2节 电磁波的发射、传播和接收/51
- 第3节 电磁波的应用及防护/56
- 归纳整合/62

第4章 光的折射与全反射

- 第1节 光的折射定律/67
- 第2节 光的全反射/72
- 第3节 光导纤维及其应用/78
- 归纳整合/82

第5章 光的干涉 衍射 偏振

- 第1节 光的干涉/88
- 第2节 光的衍射/93
- 第3节 光的偏振/97
- 第4节 激光与全息照相/101
- 归纳整合/105

第6章 相对论与天体物理

- 第1节 牛顿眼中的世界/112
- 第2节 爱因斯坦眼中的世界/114
- 第3节 广义相对论初步/120
- 第4节 探索宇宙/120
- 归纳整合/124

活页部分

- 顶尖物理(选修3-4)检测卷(一) /1
- 顶尖物理(选修3-4)检测卷(二) /5
- 顶尖物理(选修3-4)检测卷(三) /9
- 顶尖物理(选修3-4)检测卷(四) /13
- 顶尖物理(选修3-4)检测卷(五) /17
- 顶尖物理(选修3-4)检测卷(六) /21
- 顶尖物理(选修3-4)检测卷(七) /25
- 顶尖物理(选修3-4)检测卷(八) /33

部分参考答案

第1章 机械振动

第1节 简谐运动

学习目标

- ▶ 了解什么是机械振动。
- ▶ 掌握简谐运动回复力的特征。
- ▶ 掌握在一次全振动过程中回复力、加速度、速度随偏离平衡位置的位移变化的定性规律。

要点透析

1. 怎样认识回复力？

振动的物体必定受到回复力，回复力是使振动物体回到平衡位置的力，是以效果命名的力，是振动物体在振动方向上的合外力。可能是几个力的合力，如重力和弹力的合力、重力和浮力的合力等；可能是某一个力，如弹力、静摩擦力等；还可能是某一个力的分力，如重力的分力等。

2. 怎样认识简谐运动？

(1) $F = -kx$ 或 $a = -k'x$ (其中 $k' = \frac{k}{m}$) 是判断一个物体是否做简谐运动的依据。

(2) 在简谐运动中，没有特别说明时，振动位移的起点都是指平衡位置，也就是说振动位移都是指从平衡位置到物体所处位置的有向线段。

(3) 在平衡位置， x (位移)、 a (加速度) 均为零，而 v (速度) 最大；在两“端点”， x 、 a 均最大，而 v 为零。

(4) 经过同一位置时，位移、回复力、加速度、速率各自相同，但速度不一定相同，因为方向可能相反。

(5) 对称性：经过与平衡位置距离相等的两个位置时，位移、回复力、加速度、速度等大小各自相等。

(6) 简谐运动中机械能守恒。

方法指津

例1 水平弹簧振子做简谐运动时，以下说法正确的是 ()。

- A. 振子通过平衡位置时，回复力一定为零
- B. 振子做减速运动时，加速度在减小

C. 振子向平衡位置运动时, 加速度与速度方向相反

D. 振子远离平衡位置运动时, 加速度与速度方向相反

解析 由于平衡位置是指物体所受回复力为零的位置, 所以选项 A 正确; 若振子做减速运动, 说明 a 、 v 方向相反, 而 a 方向始终指向平衡位置, 所以 v 方向是背离平衡位置即振子远离平衡位置运动, 位移 x 增大, 由 $a = -\frac{k}{m}x$ 可知, 加速度 a 在增大, 所以选项 D 正确、B 错误; 振子向平衡位置运动时, 速度、加速度方向都指向平衡位置, 所以选项 C 错误。故答案为 A、D。

评注 做简谐运动的弹簧振子远离平衡位置的过程中, x 增大, F 、 a 都增大 (由于 $F = ma = -kx$), 而 v 减小 (由于 a 与 v 反向); 靠近平衡位置的过程中, x 减小, F 、 a 都减小 (由于 $F = ma = -kx$), 而 v 增大 (由于 a 与 v 同向)。

例 2 一根粗细均匀的圆柱体竖直漂浮于水面上, 如果把它按一下再放手, 不计水的阻力, 证明圆柱体的振动是简谐运动。

证明 如图 1.1-1 所示, 取圆柱体的重心为原点 O , 竖直向下为正方向, 圆柱体的质量为 m , 水的密度为 ρ , 圆柱体的横截面积为 S 。

当圆柱体漂浮在水面上时, 圆柱体受到的重力 mg 与浮力 F_0 平衡, 即有 $F_0 = mg$ 。

若圆柱体偏离平衡位置的位移为 x 时, 圆柱体受到的合力提供回复力 F , 即 $F = mg - (F_0 + \rho x S g) = -\rho S g x$ 。令 $k = \rho S g$, 则 $F = -kx$, 即圆柱体受到的回复力与对平衡位置的位移大小成正比、方向相反, 所以圆柱体的振动是简谐运动。

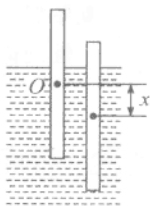


图 1.1-1

评注 要判断物体是否做简谐运动, 首先要列出在平衡位置时回复力为零的方程, 然后假设物体偏离平衡位置的位移为 x , 找出回复力 F 与 x 的关系式。若回复力 F 与偏离平衡位置的位移 x 大小成正比、方向相反, 则可判断该物体的振动是简谐运动。

自我评估

基础训练

- 做简谐运动的质点, 先后经过同一点时, 下列物理量哪些是不同的? ()
A. 速度 B. 加速度 C. 位移 D. 动能
- 某个弹簧振子在水平方向上做简谐运动, 下列说法中正确的是 ()。
A. 该振子的加速度和位移大小成正比、方向相反
B. 该振子的加速度和位移大小成正比、方向相同
C. 该振子做非匀变速运动
D. 该振子做匀变速运动
- 弹簧振子做简谐运动时, 下列说法中正确的是 ()。
A. 若位移为负值, 则速度一定为正值
B. 振子通过平衡位置时, 速度为零, 加速度最大
C. 振子每次通过平衡位置时, 加速度相同, 速度也相同

D. 振子通过同一位置时, 速度不一定相同, 但加速度一定相同

4. 如图 1.1-2 所示, 一水平弹簧振子, O 为平衡位置, 振子在 B 、 C 之间做简谐运动。设向右为正方向, 则振子 ()。

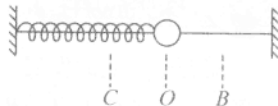


图 1.1-2

- A. 由 C 向 O 运动时, 位移为正值, 速度为正值, 加速度为正值
- B. 由 O 向 B 运动时, 位移为正值, 速度为正值, 加速度为负值
- C. 由 B 向 O 运动时, 位移为负值, 速度为正值, 加速度为负值
- D. 由 O 向 C 运动时, 位移为负值, 速度为负值, 加速度为正值
5. 水平方向做简谐运动的物体偏离平衡位置的位移为 x 、速度为 v 、加速度为 a , 则 ()。
- A. x 与 v 同向时, 物体加速
- B. x 与 v 反向时, 物体加速
- C. v 与 a 同向时, 位移变大
- D. v 与 a 反向时, 位移变大
6. 关于水平方向上做简谐运动的弹簧振子的位移、加速度和速度间的关系, 下列说法中正确的是 ()。
- A. 位移减小时, 加速度减小, 速度增大
- B. 位移的方向总是跟加速度的方向相反, 跟速度的方向相同
- C. 振子的运动方向指向平衡位置时, 速度的方向跟位移方向相同
- D. 振子的运动方向改变时, 加速度的方向也改变

7. 如图 1.1-3 所示, 若水平弹簧振子在 B 、 C 间做简谐运动, O 点为平衡位置, 则 ()。

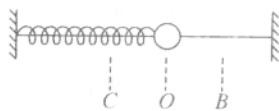


图 1.1-3

- A. 振子在经过 O 点时速度最大, 回复力也最大
- B. 振子在经过 O 点时速度最大, 回复力为零
- C. 振子在由 C 点向 O 点运动的过程中, 回复力逐渐减小, 加速度却逐渐增大
- D. 振子在由 O 点向 B 点运动的过程中, 弹性势能逐渐增大, 加速度却逐渐减小
8. 若做简谐运动的弹簧振子的振幅是 A , 最大加速度的值为 a_m , 则在位移 $x = \frac{1}{2}A$ 处, 振子的加速度值 $a = \underline{\hspace{2cm}} a_m$ 。

更进一步

9. 振子质量是 0.2 kg 的弹簧振子在水平方向上做简谐运动, 当它运动到平衡位置左侧 2 cm 时, 受到的回复力是 4 N , 当它运动到平衡位置右侧 4 cm 时, 它的加速度大小和方向分别是 ()。
- A. 20 m/s^2 , 向右
- B. 20 m/s^2 , 向左
- C. 40 m/s^2 , 向左
- D. 40 m/s^2 , 向右
10. 如图 1.1-4 所示, 一水平平台在竖直方向上做简谐运动, 一物体置于平台上一同振动, 当平台振动到什么位置时, 物体对平台的压力最小? ()
- A. 当平台振动到最低点时
- B. 当平台振动到最高点时
- C. 当平台向上振动经过平衡位置时
- D. 当平台向下振动经过平衡位置时

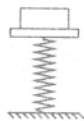


图 1.1-4



探究应用

随着电信业的发展,手机成为常用的通信工具。它可以用振动来提示来电。振动原理很简单,是一个微型电动机带动转轴上的叶片转动。当叶片转动后,电动机就跟着振动起来。其中叶片的形状你认为可能是图 1.1-5 中的 ()。



图 1.1-5



拓展视野

如果从东京挖一条隧道,把地球挖通,穿过地心,到达阿根廷的布宜诺斯艾利斯,又假设隧道中忽略摩擦力和地球自转,地球是一个质量分布均匀的球体,那么一块石头无初速度地落入隧道,之后是否做自由落体运动呢?它能从东京掉到布宜诺斯艾利斯吗?

如果地球半径为 R , 石头在距地心为 r 处 ($r \leq R$), 那么这时石头只会受到以地心为球心、以 r 为半径的那部分球体的万有引力,而距地心为 r 到 R 之间的物质对石头作用力的合力为零。

石头掉入隧道之后,不是做自由落体运动。因为

设石头的质量为 m , 地球密度为 ρ , 以半径为 r 的那部分球体的质量为 M , 距地心 r 处的重力加速度为 g , 则 $M = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$, $G \frac{Mm}{r^2} = mg$, 得 $g = \frac{GM}{r^2} = \frac{4}{3}\pi \rho Gr$ 。 ①

由于石头掉入隧道之后, r 在变化,由①式可知 g 也在变化,且离地心越近 g 越小,在地心处 $g=0$, 所以石头不是做自由落体运动。

考虑到方向,有 $g = -\frac{4}{3}\pi \rho Gr$, 即石头的加速度 g 与位移 r 大小成正比、方向相反,所以石头在隧道中的运动是简谐运动。

石头不可能从东京掉进隧道直至布宜诺斯艾利斯。因为石头做简谐运动,地球对石头的引力总是指向地心的,石头靠近地心的过程中,运动越来越快;过地心之后,石头则减速了。石头到出口时,速度刚好等于零。于是,在地球引力作用下,石头又向地心运动,它将永远在东京和布宜诺斯艾利斯之间做往返运动。

第2节 振动的描述



学习目标

- ▶ 知道什么是振幅、周期和频率。知道周期和频率的关系。
- ▶ 知道什么是振动物体的固有周期和固有频率。

- ▶ 知道做简谐运动图象的物理含义, 知道简谐运动的图象是一条正弦或余弦曲线。了解振动图象在实际生活中的应用。
- ▶ 知道简谐运动的公式表示 $x = A \sin \omega t$, 知道什么是简谐运动的圆频率, 知道简谐运动的圆频率和周期的关系。
- ▶ 了解相位的概念。

要点透析

1. 对振动的描述应注意哪些问题?

(1) 周期是指完成一次全振动经历的时间, 具体说来, 就是从某点开始计时, 第一次回复到原来同样运动状态 (加速度和速度的大小、方向均与原来的相同) 所需的时间。在自由状态下, 振动物体的周期与振幅的大小无关, 只由振动系统本身的性质决定。

(2) 位移、振幅都是相对平衡位置而言的, 位移是由平衡位置指向振动物体所在位置的有向线段, 是矢量, 而振幅是位移的最大值, 是标量。在简谐运动中, 位移在不断变化, 但振幅是不变的。

(3) 振动图象不是质点的运动轨迹, 而是反映质点的位移随时间变化的规律。

(4) 处理振动图象问题时宜将图象还原为质点的实际振动过程来分析, 即把振动图象和它们的物理意义联系起来, 就能想象出振动的情况和特点。

2. 若物体做简谐运动的周期为 T , 振幅为 A , 则经过时间 t 的路程一定是 $\frac{t}{T} \cdot 4A$ 吗?

无论从哪一个位置开始计时, 做简谐运动的物体在一个周期内通过的路程都是 $4A$, $\frac{1}{2}T$ 内通过的路程都是 $2A$ 。但在 $\frac{1}{4}T$ 内通过的路程不一定是 A , 只有从物体振动到平衡位置或两个端点开始计时, $\frac{1}{4}T$ 内通过的路程才一定是 A , 而从其他位置开始计时, 在 $\frac{1}{4}T$ 内通过的路程一定不是 A 。因为做简谐运动的物体在平衡位置附近的速度比在两个端点附近的速度大, 物体向平衡位置方向运动并通过平衡位置的 $\frac{1}{4}T$ 内通过的路程大于 A , 而向端点方向运动并返回的 $\frac{1}{4}T$ 内通过的路程小于 A 。所以, 经过时间 t 的路程不一定是 $\frac{t}{T} \cdot 4A$ 。若从平衡位置或两个端点开始计时, 且 $\frac{t}{T}$ 是 $\frac{1}{4}$ 的自然数倍, 则经过时间 t 的路程一定是 $\frac{t}{T} \cdot 4A$ 。

方法指津

例1 如图 1.1-6 所示, 一个质点在平衡位置 O 点附近做简谐运动, B 、 C 两点分别为质点振动过程中的最大位移处。若从 O 点开始计时, 经过 3 s 质点第一次经过 M 点, 再继续运动, 又经过 0.3 s 它第二次经过 M 点, 则该质点第三次经过 M 点所需的时间是_____。

解析 由于开始时质点在 O 点的振动方向不明确, 所以要讨论。



图 1.1-6

如图 1.1-7 所示,若开始计时质点从 O 点向右运动,则 $O \rightarrow M$ 历时 3 s , $M \rightarrow C \rightarrow M$ 历时 0.3 s 。由图可以看出, $O \rightarrow M \rightarrow C$ 恰好历时 $\frac{T}{4}$, 有 $\frac{T}{4} = 3\text{ s} + \frac{1}{2} \times 0.3\text{ s}$, 得 $T = 12.6\text{ s}$ 。所以质点第三次经过 M 点所需时间 $t = 12.6\text{ s} - 0.3\text{ s} = 12.3\text{ s}$ 。

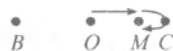


图 1.1-7

如图 1.1-8 所示,若开始计时质点从 O 点向左运动,则 $O \rightarrow B \rightarrow O \rightarrow M$ 历时 3 s , $M \rightarrow C \rightarrow M$ 历时 0.3 s 。由图可以看出, $O \rightarrow B \rightarrow O \rightarrow M \rightarrow C$ 历时恰好为 $\frac{3}{4}T$, 有 $\frac{3}{4}T = 3\text{ s} + \frac{1}{2} \times 0.3\text{ s}$, 得 $T = 4.2\text{ s}$, 所以质点第三次经过 M 点所需时间 $t = 4.2\text{ s} - 0.3\text{ s} = 3.9\text{ s}$ 。

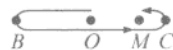


图 1.1-8

故答案为 12.3 s 或 3.9 s 。

评注 ①要注意简谐运动的对称性在解题中的应用;

②从平衡位置第一次运动到端点或从端点第一次运动到平衡位置所用的时间都是四分之一周期;

③要注意由于通过某一点振动方向的不确定性而造成的多解问题;

④要重视画出物理过程的草图,有利于解题。

例 2 一弹簧振子在一条直线上做简谐运动,第一次先后经过 M 、 N 两点时速度 v ($v \neq 0$) 相同,那么下列说法正确的是 ()。

- A. 振子在 M 、 N 两点所受回复力相同
- B. 振子在 M 、 N 两点对平衡位置的位移相同
- C. 振子在 M 、 N 两点加速度大小相等
- D. 从 M 点到 N 点,振子先做匀加速运动,后做匀减速运动

解析 设图 1.1-9 中 B 、 C 两点为振子振动过程中的最大位移处, O 点为平衡位置。由于振子第一次先后经过 M 、 N 两点时速度 v ($v \neq 0$) 相同,说明 M 、 N 两点是关于 O 点对称的,且由 M 运动到 N 。



图 1.1-9

因位移、速度、加速度和回复力都是矢量,它们要相同必须大小相等、方向相同。 M 、 N 两点关于 O 点对称,振子回复力、位移、加速度都是各自大小相等、方向相反。由此可知, C 选项正确, A、B 选项错误。振子由 $M \rightarrow O$ 回复力越来越小,加速度也越来越小,但速度与加速度方向相同,振子做加速度越来越小的加速运动,不是匀加速运动。振子由 $O \rightarrow N$ 回复力越来越大,加速度也越来越大,但速度与加速度方向相反,振子做加速度越来越大的减速运动,不是匀减速运动, D 选项错误,故答案为 C。

评注 ①注意领会“第一次先后经过 M 、 N 两点时速度 v 相同”是本题求解的关键;

②注意矢量要相同,必须大小相等、方向相同;

③注意简谐运动的对称性,经过与平衡位置距离相等的点时,振子的回复力、加速度、位移各自的大小一定都是相等的、方向一定都是相反的。

例 3 如图 1.1-10 所示,某同学看到一只鸟落在树枝上的 P 处,树枝在 10 s 内上下振动了 6 次。鸟飞走后,他把 50 g 的砝码挂在 P 处,发现树枝在 10 s 内上下振动了 12 次。将 50 g 的砝码换成 500 g 的砝码后,他发现树枝在 15 s 内上下振动了 6 次,你估计



图 1.1-10

鸟的质量最接近 ()。

- A. 50 g B. 200 g C. 500 g D. 550 g

解析 在一般情况下, 物理量之间的变化关系是符合数学上单调递增或单调递减关系的。从题中信息可以看出: 在完成相同振动次数时所用的时间随振动物体的质量的增大而增加。而 50 g 的砝码、小鸟、500 g 的砝码在完成 6 次全振动时所用的时间分别为 5 s、10 s、15 s。故小鸟的质量应在 50 g、500 g 之间。选项 B 正确。

评注 新课改注重探究性学习, 本题是一道考查自主学习和创新能力的新情景试题, 可用比例法进行探究。 $m_1=50\text{ g}$ 的砝码挂 P 处, 振动周期 $T_1=\frac{10}{12}\text{ s}=\frac{5}{6}\text{ s}$, $m_2=500\text{ g}$ 的砝码挂在 P 处, 振动周期 $T_2=\frac{15}{6}\text{ s}$, 得 $\frac{T_2}{T_1}=3$, $\frac{m_2}{m_1}=10$, 对以上观察的数据进行探究, 在忽略观察和记录的误差的情况下, 有 $\frac{m_2}{m_1}=\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2$, 即 $m\propto T^2$, 设鸟的质量为 m_0 , 其振动周期 $T_0=\frac{10}{6}\text{ s}$, 因此 $\frac{m_0}{m_1}=\left(\frac{T_0}{T_1}\right)^2=4$, 得 $m_0=4m_1=200\text{ g}$ 。也可以用 $\frac{m_0}{m_2}=\left(\frac{T_0}{T_2}\right)^2=\frac{4}{9}$, 得 $m_0=\frac{4}{9}m_2\approx 222\text{ g}$ 。所以选项 B 正确。

自我评估

基础训练

1. 关于简谐运动的周期、频率、振幅, 下列说法中哪些是正确的? ()

- A. 振幅是矢量, 方向从平衡位置指向最大位移处
B. 周期和频率的乘积是一个常数
C. 振幅增加, 周期也必然增加, 而频率减小
D. 频率与振幅有关

2. 如图 1.1-11 所示的是某质点的振动图象, 从图中可以知道 ()。

- A. t_1 和 t_3 时刻, 质点的速度相同
B. t_1 到 t_2 时间内, 速度与加速度方向相同
C. t_2 到 t_3 时间内, 速度变大, 而加速度变小
D. t_1 和 t_3 时刻, 质点的加速度相同

3. 如图 1.1-12 所示的是一个质点做简谐运动的振动图象, 从图中可以知道 ()。

- A. 在 $t=0$ 时, 质点位移为零, 速度和加速度也为零
B. 在 $t=4\text{ s}$ 时, 质点的速度最大, 方向沿 y 轴的负方向

- C. 在 $t=3\text{ s}$ 时, 质点振幅为 -5 cm , 周期为 4 s
D. 无论何时, 质点的振幅都是 5 cm , 周期都是 4 s

4. 如图 1.1-13 所示的是一弹簧振子在水平面内做简谐运动的振动图象, 则振动系

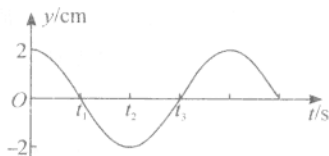


图 1.1-11

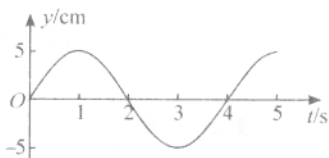


图 1.1-12

统在()。

- A. t_3 和 t_4 时刻, 振子具有不同的动能和速度
 B. t_3 和 t_5 时刻, 振子具有相同的动能和不同的速度
 C. t_1 和 t_4 时刻, 振子具有相同的加速度
 D. t_2 和 t_5 时刻, 振子所受的回弹力大小之比为 2:1

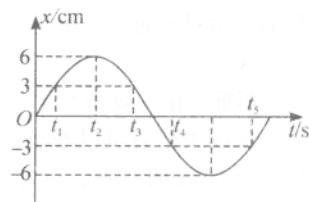


图 1.1-13

5. 有两个简谐运动的振动方程: $x_1 = 6\sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{6}\right)$ m,

$x_2 = 6\sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$ m。则下列说法中正确的是()。

- A. 它们的振幅相同
 B. 它们的周期相同
 C. 它们的相差恒定
 D. 它们的振动步调一致
6. 一个弹簧振子做简谐运动的周期是 0.025 s, 当振子从平衡位置开始向右运动, 经过 0.17 s 时, 振子的运动情况是()。
- A. 正在向右做减速运动
 B. 正在向右做加速运动
 C. 正在向左做减速运动
 D. 正在向左做加速运动
7. 甲、乙两物体做简谐运动, 甲振动 20 次时, 乙振动了 40 次, 则甲、乙振动周期之比是_____, 若甲的振幅减小了 2 倍而乙的振幅不变, 则甲、乙周期之比是_____。

8. 如图 1.1-14 所示的是一简谐运动图象, 由图可知, 振动质点的频率是_____ Hz, 质点需经过_____ s, 通过的路程为 0.84 m; 在图中画出 B、D 时刻质点的运动方向。

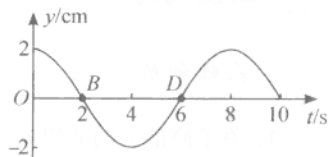


图 1.1-14

9. 一个质点经过平衡位置 O, 在 A、B 间做简谐运动如图 1.1-15, 设向右为正方向, 它的振动图象如图 1.1-16 所示, 则 $OB =$ _____, 第 0.2 s 末质点的速度方向_____, 加速度大小为_____; 第 0.4 s 末质点的加速度方向_____; 质点从 O 运动到 B 再到 A 需时间 $t =$ _____, 在 4 s 内完成_____次全振动。



图 1.1-15

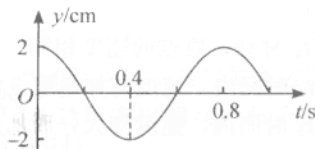


图 1.1-16

更进一步

10. 某一弹簧振子做简谐运动, 若从振子经过某一位置 A 开始计, 则()。
- A. 当振子再次与零时刻的速度相同时, 经过的时间一定是半周期
 B. 当振子再次经过 A 时, 经过的时间一定是半周期
 C. 当振子的加速度再次与零时刻的加速度相同时, 一定又到达位置 A
 D. 一定还有另一个位置跟位置 A 有相同的位移

11. 一弹簧振子做简谐运动, 周期为 T , 则下列说法中正确的是 ()。

- A. 若 t 时刻和 $(t+\Delta t)$ 时刻振子运动位移的大小相等、方向相同, 则 Δt 一定等于 T 的整数倍
 B. 若 t 时刻和 $(t+\Delta t)$ 时刻振子运动速度的大小相等、方向相反, 则 Δt 一定等于 T 的整数倍
 C. 若 $\Delta t = T$, 则在 t 时刻和 $(t+\Delta t)$ 时刻振子运动的加速度一定相等
 D. 若 $\Delta t = \frac{T}{2}$, 则在 t 时刻和 $(t+\Delta t)$ 时刻弹簧的长度一定相等



探究应用

取一根轻质弹簧, 上端固定在铁架台上, 下端系一金属小球, 如图 1.1-17 所示。把小球沿竖直方向拉离平衡位置后释放, 小球将在竖直方向做简谐运动 (此装置也称竖直弹簧振子)。一位同学用此装置研究竖直弹簧振子的周期 T 与小球质量 m 的关系。他多次换用不同质量的小球并测得相应的周期, 现将测得的 9 组数据, 用 “ $\cdot$ ” 表示在以 m 为横坐标、 T^2 为纵坐标的坐标纸上, 如图 1.1-18 所示。

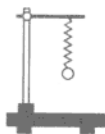


图 1.1-17

(1) 在图 1.1-18 中作出 T^2 与 m 的关系图线;

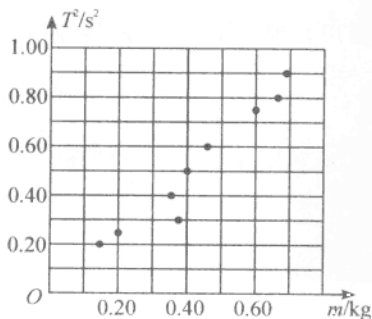


图 1.1-18

(2) 假设图中图线的斜率为 b , 写出 T 与 m 的关系式为 _____;

(3) 求得斜率 b 的值是 _____ s^2/kg 。(保留两位有效数字)



拓展视野

简谐运动周期公式的推导

利用简谐运动与匀速圆周运动的联系可以推出简谐运动的周期公式。在图 1.1-19 中, 质量为 m 的质点在半径为 A 的圆周上从 M 点出发顺时针做匀速圆周运动, 其角速度为 ω , 则质点到达 N 点时在 x 轴上的投影点 P 的位移为 $x = A \sin \omega t$ 。可见, 匀速圆周运动的质点在 x 轴上的投影点 P 是在平衡位置 (圆心) O 点附近做简谐运动, 质点沿圆周每转一圈, 投影点 P 完成一次全振动, 故匀速圆周运动的周期恰好等于 P 做简谐运动的周期 T 。

已知做匀速圆周运动质点的向心加速度 $a_0 = \omega^2 A$, 其在 x 轴上的投影的加速度为

$$a = -a_0 \sin \omega t = -\omega^2 A \sin \omega t = -\omega^2 x, \text{ 方向指向平衡位置。}$$

根据牛顿第二定律, $F = ma = -m\omega^2 x$ 。

又质点做简谐运动, 有 $F = -kx$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$,

所以, 简谐运动的周期 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ 。

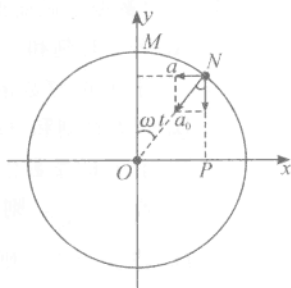


图 1.1-19

相关链接 <http://dq66.bokee.com/inc/zqgs.doc>

第3节 单 摆

学习目标

- ▶ 能使学生从理想化的角度去理解单摆的结构。
- ▶ 从力的作用效果的观点去分析回复力, 并能用物理学中常用的处理问题的方法——近似法表达回复力 $F = -\frac{mg}{l}x$ 。
- ▶ 通过猜想和实验, 培养探究物理问题的能力。能利用 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ 解释常见的涉及单摆的现象。学会用 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 测重力加速度。

要点透析

1. 如何理解单摆的物理模型?

- (1) 摆线是不能伸长、又没有质量的;
- (2) 摆锤是一个“质点”, 因而必须没有大小, 但有质量;
- (3) 以上两点都是理想化的, 实际的单摆与这个理想化模型总有差异。

为此, 应尽量接近于理想化的要求, 如摆线尽量做到细长而无伸缩, 摆锤的大小远小于摆线长度, 这样就可以把摆锤看做是一个质量集中在重心处的质点。因此测量单摆的摆长应从悬点开始量到摆锤的重心处。

2. 如何理解单摆的回复力?

正确理解单摆振动的回复力是什么力, 关键是分清它与水平弹簧振子振动的区别。水平弹簧振子振动所需的回复力是由合外力(弹力)提供的。而单摆是在一个圆弧上来回运动, 摆球做圆周运动时需要向心力来改变摆球运动的方向, 这个向心力是拉力 T 与重力 G 沿摆线方向的分力 $mg \cos \theta$ 的合力, 向心力是不会改变速度大小的, 它的方向沿着摆线指向圆心

(悬挂点);重力沿圆弧切线方向的分力 $mg\sin\theta$, 会改变摆球在弧线上运动的快慢, 它的方向始终指向平衡位置 (摆角很小的情况下), 使摆球沿圆弧在平衡位置两侧往复运动。因此, 在研究摆锤沿圆弧运动的位置变化时, 不需要考虑向心力, 而只考虑重力沿圆弧切线方向的分力 $F=mg\sin\theta$, 所以, 单摆的回复力是由重力沿着切线方向的分力提供的, 向心力是由沿着半径方向的合力提供的。

3. 如何理解和运用单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$?

(1) 公式中的 L 为等效摆长, 是悬点到摆球重心的距离。要确定等效摆长, 找悬点是关键。对如图 1.1-20 所示的双线摆来说, 悬点应在 O 点而不是 A 点或 B 点, 所以 $L=L_0\sin\theta$ 。

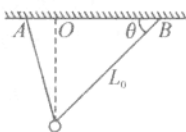


图 1.1-20

(2) 公式中的 g 为等效重力加速度, 与单摆所在的空间位置和单摆系统的运动状态有关。

在地球上, 由 $mg=G\frac{Mm}{(R+h)^2}$ 得 $g=G\frac{M}{(R+h)^2}$, g 随地球表面不同位置、不同高度而变化, 在不同的星球上也不相同, 因此 g 不一定为 9.8 m/s^2 。

在地球表面附近, 若表面的重力加速度为 g_0 , 单摆在竖直方向上做加速度大小为 a 的匀变速直线运动, 则等效重力加速度 $g=g_0\pm a$ (若超重, 等效重力为 mg_0+ma , 取“+”;若失重, 等效重力为 mg_0-ma , 取“-”); 在绕地球的圆轨道上运行的航天飞机里, 摆球处于完全失重状态, 等效重力加速度为零, 所以周期为无穷大, 即不摆动。



方法指津

例 某一单摆做简谐运动, 若单摆的摆长不变, 摆球质量增加为原来的 4 倍, 摆球经过平衡位置时速度减小为原来的 $\frac{1}{2}$, 则单摆的振动 ()。

- A. 频率不变, 振幅不变
- B. 频率不变, 振幅改变
- C. 频率改变, 振幅改变
- D. 频率改变, 振幅不变

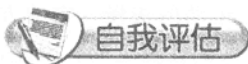
解析 由 $\frac{1}{f}=T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 可知, 频率 f 与摆球质量、振幅、速度无关, 只与摆长 L 和重力加速度 g 有关。当摆长 L 和重力加速度 g 不变时, f 也不变, 所以选项 C、D 错误; 如图 1.1-21 所示, 单摆振动过程中机械能守恒, $mgL(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2$, 解得摆球经过平衡位置的速度 $v=\sqrt{2gL(1-\cos\theta)}$ 。



图 1.1-21

当 v 减小为 $\frac{1}{2}v$ 时, $\cos\theta$ 增大, θ 减小, 振幅 $A=\theta L$ 也减小, 所以选项 B 正确、A 错误。故答案为 B。

评注 单摆具有等时性, 即在摆角 θ 很小的条件下 (通常 $\theta<5^\circ$), 单摆做简谐运动, 其振动周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 与摆球的质量、振幅、速度无关。



自我评估

基础训练

- 提供单摆做简谐运动的回复力的是 ()。
 - 摆球的重力
 - 摆球重力沿圆弧切线的分力
 - 摆线的拉力
 - 摆球重力与摆线拉力的合力
- 某一单摆的周期为 2 s。现要将该摆的周期变为 4 s, 下面措施中正确的是 ()。

- 将摆球质量变为原来的 $\frac{1}{4}$
- 将振幅变为原来的 2 倍
- 将摆长变为原来的 2 倍
- 将摆长变为原来的 4 倍

- 某一单摆在地球表面某处的振动图象如图 1.1-22 所示, 则 ()。

- 单摆振动的周期为 2 s
- 单摆的摆长大约是 1 m
- 在 0.5 s 和 1.5 s 时摆球动能最大
- 单摆振动的振幅是 5 m

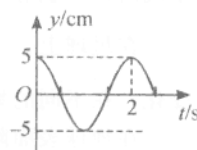


图 1.1-22

- 为了使单摆周期变小, 可采用的方法是 ()。
 - 把单摆从赤道移到北极
 - 减小摆长
 - 把单摆从地面移到月球表面
 - 把单摆从山脚下移到山顶上
- 某单摆摆长为 98 cm, 开始计时时摆球经过平衡位置向右运动, 则当 $t=1.2$ s 时, 下列关于单摆运动的描述正确的是 ()。

- 正在向左做减速运动, 加速度正在增大
- 正在向左做加速运动, 加速度正在减小
- 正在向右做减速运动, 加速度正在增大
- 正在向右做加速运动, 加速度正在增大

- 如图 1.1-23 所示, AB 为半径 $R=2$ m 的一段光滑圆槽, A、B 两点在同一水平高度上, 且 AB 弧长为 10 cm。将一小球从 A 点由静止开始释放, 则它第一次运动到 B 点所用时间为 ()。

- $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{R}{g}}$
- $\sqrt{\frac{2\pi R}{g}}$
- $\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$
- $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$

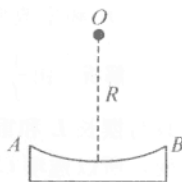


图 1.1-23

- 甲、乙两单摆, 同时同地做简谐运动, 甲完成 10 次全振动时, 乙完成 25 次全振动, 若乙的摆长为 1 m, 则甲的摆长为 _____。
- 某学生利用单摆测定重力加速度, 测得摆球的直径是 2.0 cm, 悬线长是 99.0 cm, 振动 30 次所需时间为 60.0 s, 则测得的重力加速度值等于 _____ m/s^2 。
- 某单摆的摆长为 0.981 m, 当地的重力加速度为 9.81 m/s^2 , 则这个单摆的周期为 _____。如果将这个单摆放到月球上, 月球的重力加速度是地球的 0.160 倍, 其他条件不变, 那么这个单摆在月球上的周期变为 _____ (取 $\sqrt{10}=3.16$)。

更进一歩

10. 盛沙的漏斗下边放一木板, 让漏斗摆起来, 同时其中的细沙匀速流出, 经历一段时间后, 观察木板上沙子的堆积情况, 则沙堆的剖面应是图 1.1-24 中的 ()。

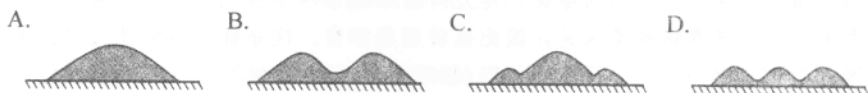


图 1.1-24

11. 某秒摆 (周期为 2 s) A 的旁边, 挂一个摆长为 A 摆摆长四分之一的 B 摆, 如图 1.1-25 所示, 两摆球是相同的弹性小球 (碰后两球速度交换), 互相接触, 且位于同一水平线上, 今把 B 球拉开 (使其摆角小于 5°) 后由静止开始释放, 从此刻起 3 s 内可与 A 球发生碰撞的次数是 ()。



图 1.1-25

- A. 2 次 B. 3 次 C. 4 次 D. 5 次
12. 若将单摆摆球拉到悬点后由静止释放, 到摆线伸直的时间为 t_1 ; 若将摆球拉开使摆线与竖直方向的夹角为 3° , 并由静止释放, 摆球第一次回到平衡位置的时间为 t_2 。不计空气阻力, 则 $t_1 : t_2 =$ _____。
13. 如图 1.1-26 所示, 一块涂有炭黑的玻璃板, 其质量 $m=2\text{ kg}$, 在竖直向上的恒力 F 的作用下, 由静止开始竖直向上做匀变速运动, 一个装有指针的振动频率 $f=5\text{ Hz}$ 的电动音叉在玻璃板上画出如图所示的曲线, 若量得 $OA=1\text{ cm}$, $OB=4\text{ cm}$, $OC=9\text{ cm}$, 则力 F 为多大? ($g=10\text{ m/s}^2$)

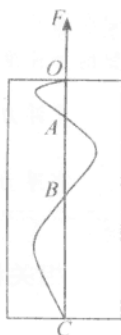


图 1.1-26

探究应用

有几名登山运动员登上一无名高峰, 但不知此峰的高度。他们想测出高峰的海拔高度, 但是他们只带了一些不伸缩的细线、小刀、小钢卷尺以及可当秒表用的手表和一些食品, 附近还有石头、树木等。请你帮他们设计一个测量方案, 要求测出高峰的海拔高度, 并写出测量方法, 需要记录的数据。已知地球半径为 R , 地球表面的重力加速度为 g , 试推导出计算海拔高度的计算式。



拓展视野

两名同学在设计用单摆测重力加速度时,由于摆球受空气浮力而对单摆周期产生影响的问题。甲同学说:空气对摆球的浮力与重力方向相反,浮力对摆球的作用相当于重力加速度变小,因此振动周期变大。乙同学说:浮力对摆球的影响好像用一个轻一些的摆球做实验,由于单摆振动周期与摆球质量无关,因此振动周期不变。试分析这两种说法的正误。

如图 1.1-27 甲所示,无空气浮力时,摆球做简谐运动的回复力是重力的切向分量 G_1 ,即

$$F_{\text{回}} = G_1 = mg \sin \theta, \theta \text{ 是摆角。}$$

有空气浮力时,如图 1.1-27 乙所示,摆球受重力和浮力的合力 $F = mg - F_{\text{浮}}$,方向竖直向下,摆球做简谐运动的回复力是 F 的切向分量 F_1 ,

$$F'_{\text{回}} = F_1 = F \cdot \sin \theta = (mg - F_{\text{浮}}) \cdot \sin \theta,$$

$$F'_{\text{回}} = m \left(g - \frac{F_{\text{浮}}}{m} \right) \cdot \sin \theta = mg' \cdot \sin \theta, g' = g - \frac{F_{\text{浮}}}{m}.$$

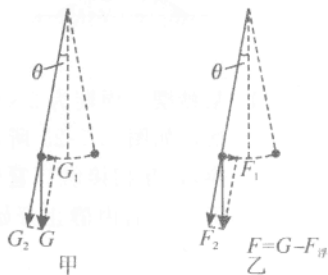


图 1.1-27

可见,摆球的质量不变,但回复力减小,相当于重力加速度减小,周期 T 增大,所以甲同学说得对。

乙同学说法的错误在于没有正确理解周期与摆球质量无关的特点,单摆周期与质量无关的原因是:回复力 $F_{\text{回}} = mg \cdot \sin \theta$, $F_{\text{回}}$ 与质量 m 成正比。回复力 $F_{\text{回}}$ 产生的是指向平衡位置的加速度。

无浮力时, $a = \frac{F_{\text{回}}}{m} = g \cdot \sin \theta$ 与质量无关,所以 T 与 m 无关。

有浮力时, $F'_{\text{回}} = (mg - F_{\text{浮}}) \cdot \sin \theta$, $a' = \left(g - \frac{F_{\text{浮}}}{m} \right) \cdot \sin \theta$, 显见 $a' < a$ 。所以, T 增大。

相关链接 <http://popul.jqcq.com/extend/fanss/1160961381.shtml>

第4节 生活中的振动



学习目标

- ▶ 知道什么是阻尼振动,知道实际的振动过程是阻尼振动,了解阻尼振动的图象。
- ▶ 知道什么是受迫振动。理解受迫振动的周期取决于驱动力的周期,而与系统的固有周期无关。
- ▶ 知道什么是共振。理解共振产生的条件。
- ▶ 知道在生活中共振有有利的一面,也有有害的一面。知道如何应用有利的共振和如何防止有害的共振。