



教材全析

“春雨奖学计划”指定用书

·配国标人教版·



物理

总主编 严 军 本册主编 张义勇

WULI

中国少年儿童新闻出版总社
中国少年儿童出版社



金四导

教材全析

“春雨奖学计划”指定用书
· 配国标人教版 ·

物理

选修 3-4

总主编 严军 本册主编 张义勇

图书在版编目(CIP)数据

金四导. 高中物理. 3-4: 选修/严军主编. 北京: 中国少年儿童出版社, 2009. 8

ISBN 978-7-5007-8959-8

I. 金… II. 严… III. 物理课-高中-教学参考资料 IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 066127 号



配国标人教版

“春雨奖学金计划”指定用书

金四导·教材全析

物 理

选修 3-4

出版发行: 中国少年儿童新闻出版总社

中国少年儿童出版社

出 版 人: 李学谦

执行出版人: 赵恒峰

总 主 编: 严 军

主 编: 张义勇

责任编辑: 赵海力

责任校对: 卞福根

封面设计: 春雨教育编辑部

美术编辑: 周建明

责任印务: 李建国

地 址: 北京市东四十二条 21 号

电 话: 010-64132053

E-mail: dakaiming@sina.com

邮政编码: 100708

传 真: 010-64132053

印刷: 郑州文华印务有限公司

开本: 880 × 1230 1/16

2009 年 9 月北京第 1 版

字数: 1680 千字

ISBN 978-7-5007-8959-8/G · 6486

经销: 新华书店

印张: 70

2009 年 9 月河南第 1 次印刷

印数: 7000 册

定价: 119.00 元(共 7 册)

图书若有印装问题, 请及时向印务部联系退换。

版权所有, 侵权必究。

09-3851

练习造就完美 熟练才能精通

明朝万历年间，中国北方的女真为患。皇帝为了要抗御强敌，决心整修万里长城。当时号称天下第一关的山海关，早已年久失修，其中“天下第一关”题字中的“一”字，已经脱落多时。万历皇帝募集各地书法名家，希望恢复山海关的本来面貌。各地名士闻讯，纷纷前来挥毫，但是依旧没有一人的字能够表达天下第一关的原味。皇帝于是再下昭告，只要能够确定中选的，就能够获得最大的重赏。经过严格的筛选，最后中选的，竟是山海关旁一家客栈的店小二，真是跌破大家的眼镜。

在题字当天，会场被挤得水泄不通，官家也早就备妥了笔墨纸砚，等候店小二前来挥毫。只见主角抬头看着山海关的牌楼，舍弃了狼毫大笔不用，拿起一块抹布往砚台里一蘸，大喝一声：“一！”十分干净利落，立刻出现绝妙的“一”字。旁观者莫不给予惊叹的掌声。有人好奇地问他为何能够如此成功的秘诀。他被问之后，久久无法回答。后来勉强答道：其实，我想不出有什么秘诀，我只是在这里当了三十多年的店小二，每当我在擦桌子时，我就望着牌楼上的“一”字，一挥一擦就这样而已。

原来这位店小二，他的工作地点，正好面对山海关的城门，每当他弯下腰，拿起抹布清理桌上的油污之际，刚好这个视

角正对准“天下第一关”中的“一”字。因此，他不由自主地天天看、天天擦，数十年如一日，久而久之，就熟能生巧、巧而精通，这就是他能够把这个“一”字临摹得炉火纯青，惟妙惟肖的原因。

其实，这个有趣的故事，正反映一个颠扑不破的道理：练习造就完美，熟练才能精通。举凡一些在各行各业出类拔萃的顶尖人士，尽管这些顶尖人物优点不一而足，成就也在不同领域开花结果，他们却都有一个共同也是最基本的特点：热忱、专注与精通。因为热忱，所以能够投入强大的动力与能量；因为专注，才能心无旁骛、勇往直前；也更因为热忱与专注，才能达到专业与精通的境界。

“一切的现在都孕育着未来
未来的一切都生长于它的昨天
希望，并且为它奋斗
请将这一切放在你的肩上……”

Contents 目录

● 第十一章 机械振动

- 1 简谐运动/1
- 2 简谐运动的描述/4
- 3 简谐运动的回复力和能量/7
- 4 单摆/10
- 5 外力作用下的振动/14

本章知识、能力提升平台/17

第十一章能力提升评估/19



● 第十二章 波

- 1 波的形成和传播/21
- 2 波的图象/24
- 3 波长、频率和波速/28
- 4 波的反射和折射/32
- 5 波的衍射/35
- 6 波的干涉/37
- 7 多普勒效应/40

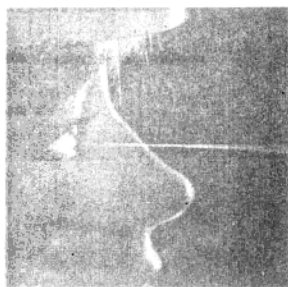
本章知识、能力提升平台/43

第十二章能力提升评估/46



● 第十三章 光

- 1 光的折射/48
- 2 光的干涉/51
- 3 实验:用双缝干涉测量光的波长/53
- 4 光的颜色 色散/55
- 5 光的衍射/58
- 6 光的偏振/60



7 全反射/62

8 激光/65

本章知识、能力提升平台/67

第十三章能力提升评估/70

● 第十四章 电磁波

1 电磁波的发现/72

2 电磁振荡/76

3 电磁波的发射和接收/79

4 电磁波与信息化社会/82

5 电磁波谱/84



本章知识、能力提升平台/89

第十四章能力提升评估/91

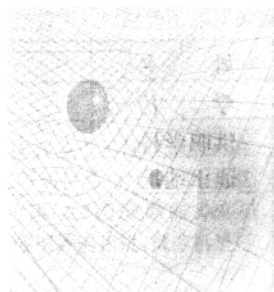
● 第十五章 相对论简介

1 相对论的诞生/93

2 时间和空间的相对性/93

3 狭义相对论的其他结论/96

4 广义相对论简介/96



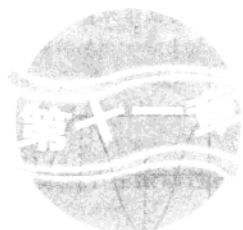
本章知识、能力提升平台/100

第十五章能力提升评估/101

综合能力提升评估(一)/102

综合能力提升评估(二)/106

参考答案与思路点拨(另册)



机械振动

本章学习

读完新知,乐趣从这开始。

我们生活在一个运动的世界里。大到宇宙天体,小到分子、原子,都处在永恒的运动中。我们知道,一个物体相对于另一个物体位置的变化叫做机械运动。在机械运动中,有平动、转动,还有这一章要学习的机械振动。振动现象是很普遍的。钟摆的摆动、浮标的上下浮动、树梢在微风中摇摆,都是振动。振动与我们的生活密切相关。琴弦的振动,让人们欣赏到优美的音乐;“5·12”汶川大地震却给中国带来了巨大的灾难。我们有必要具体认识振动这种运动形式,并让它为我们实际生活服务。但是,物体的振动往往是非常复杂的,认识振动不是一件容易的事。这一章我们将从最简单的振动模型——弹簧振子入手,认识机械振动中最简单、最基本的振动——简谐运动,了解机械振动的基本知识。

本章学习目标

1. 通过弹簧振子的运动情况分析,理解简谐运动的定义和条件。
2. 通过砂摆实验或分析频闪照片,理解简谐运动的位移-时间图象,能根据简谐运动的图象弄清各时刻质点的位移、路程及运动方向。
3. 理解描述简谐运动的物理量,能够用振幅、周期(或频率)和相位来描述质点的简谐运动。
4. 通过两个相同摆长的单摆振动情况的比较,了解初相和相位差概念。
5. 理解回复力的概念和简谐运动回复力的特点,了解简谐运动中能量的转化。
6. 知道单摆做简谐运动的条件,能够通过实验,探究单摆的周期与摆长的关系,知道单摆的周期公式,并能用来进行有关的计算,会用单摆测定重力加速度。
7. 通过实验,了解受迫振动的特点。
8. 了解共振的特点及其在生产和生活实际中常见的应用。

1 简谐运动

教材要点

锁定重难点,实现各个击破

要点一 弹簧振子

1. 弹簧振子模型:质量不计的弹簧一端固定,另一端固定小球,不计摩擦和其他阻力,这样的系统叫做弹簧振子,有

时也把该系统中的小球叫做弹簧振子。

弹簧振子有水平放置的,也有竖直放置的。

2. 机械振动:物体在平衡位置附近的往复运动叫机械振动——简谐振动。

3. 平衡位置:振动物体在振动方向上的合力为零的位置。

4. 振动的位移:振动物体相对于平衡位置的位移,即从平衡位置指向某时刻物体所在位置的有向线段。

关键提醒

1. 弹簧振子:小球和弹簧所组成的系统的名称。
2. 理想化的处理方法:不计阻力,弹簧的质量与小球相比可以忽略(轻质弹簧)。

【思考】 弹簧振子从最大位移处向平衡位置运动的过程中,位移逐渐_____,加速度逐渐_____,速度逐渐_____。

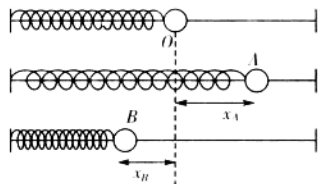
【聆听】 弹簧振子在运动过程中,振子离开平衡位置时,位移增大,加速度增大,速度减小;振子向平衡位置运动时,位移减小,加速度减小,速度增大。

【解答】 减小;减小;变大。

要点二 弹簧振子的位移-时间图象

1. 振动物体的位移 x 都是相对于平衡位置的位移。

如图所示,振子在 A、B 位置的位移是 x_A 和 x_B 。



2. 如何得到图象

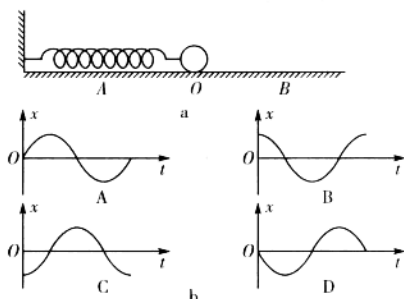
若用实验的方法记录振动物体在各个不同时刻质点离开平衡位置的位移,即可用描点法得到位移-时间图象,这就需要测量振动质点在各个时刻的位移,这对于通常的实验方法是比较困难的,当然用闪光照相或用数码相机、摄像机是可以做到的。

此外,用匀速运动的纸带可以直接方便描绘出其运动图象。在振子上固定一绘图笔,让振子振动,同时让纸带匀速运动,就可在纸上得到振动的位移-时间图象。

3. 图象的意义:表示振子离开平衡位置的位移随时间的变化关系。其横坐标表示时间,纵坐标表示相对平衡位置的位移。

4. 性质:通过探究发现,弹簧振子的位移-时间图象是一条正弦(或余弦)曲线。

【例题 2】一个弹簧振子在 A、B 间做简谐运动，O 为平衡位置，如图 a 所示，以某一时刻作计时起点 (t 为 0)，经 $\frac{1}{4}$ 周期，振子具有正方向最大的加速度，那么在下图 b 所示的几个振动图象中，正确反映振子振动情况 (以向右为正方向) 的是 ()。



【解析】振子具有正方向最大加速度的位置应该在 a 图中的 A 点处，因为该处合外力最大，且方向向右与规定的正方向相同为正。以 O 点 (平衡位置) 为计时起点经过 $\frac{1}{4}$ 周期向左到达 A 点，振子的位移为负的最大，所以答案 D 正确。

【解答】D。

顿有所悟 正确读取图象所含信息是解图象题的关键，不仅要复习好有关图象的知识，还要善于将图象与实际振动过程结合起来。

活动结论

思考与讨论 P₃

方法一：此线是正弦曲线。

方法二：可以用正弦函数表示。

要点三 简谐运动及其图象

1. 简谐运动的定义：如果质点的位移与时间的关系遵从正弦函数的规律，则它的振动图象 ($x-t$ 图象) 是一条正弦曲线，这样的振动叫做简谐运动。如弹簧振子的运动。

关键提醒

①简谐运动是最简单、最基本的振动。

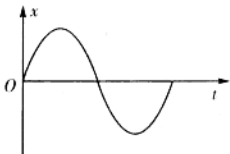
②简谐运动的位移与时间的关系遵从正弦函数的规律。

2. 简谐运动的图象

(1)意义：表示振动物体的位移随时间变化的规律，它并不是质点的运动轨迹。

(2)特点：只有简谐运动的图象才是正弦 (或余弦) 曲线。

(3)作图：以横轴表示时间，纵轴表示位移，用平滑曲线连接各时刻对应的位移末端即可。如图。



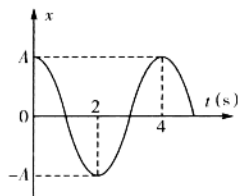
【例题 3】如图为一质点做简谐振动的振动图象，由图示可知 ()。

A. $t=4$ s 时质点的速度为零，加速度为正的最大值

B. $t=1$ s 时质点的速度为负的最大值，加速度为零

C. $t=3$ s 时质点的位移为零，加速度为负的最大值

D. $t=2$ s 时质点的位移为负的最大值，速度为正的最大值



【解析】 $t=1$ s 时质点正通过平衡位置向负方向运动，此时，合外力为零，速度最大。

【解答】B。

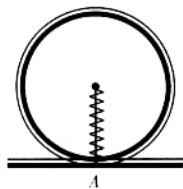
教材拓展

激活智慧，步入融会贯通佳境。

拓展点一 弹簧振子振动的动力学问题

弹簧振子在振动过程中，振子所受的合力为变力，振子做变加速运动，在任一时刻加速度与合外力仍遵守牛顿第二定律 $F = -kx$ ， $a = -\frac{k}{m}x$ 。解决此类问题，仍应按照牛顿定律解题的一般思路和解题方法进行。一般思路为：确定研究对象，进行受力分析和运动分析，建立坐标系，根据牛顿第二定律列方程，根据条件寻找其他辅助方程，最后解方程；常用的方法有隔离法、整体法、隔离法与整体法相结合等。

【例题 1】一质量为 M 的塑料球形容器，在 A 处与水平面接触。它的内部有一直立的轻弹簧，弹簧下端固定于容器内部底部，上端系一带正电、质量为 m 的小球在竖直方向振动，当加一向上的匀强电场后，弹簧正好在原长时，小球恰好有最大速度。在振动过程中球形容器对桌面的最小压力为零，求容器对桌面的最大压力。



【解析】由题意知弹簧正好在原长时小球恰好速度最大，所以，

$$\text{对小球} \quad qE = mg. \quad (1)$$

小球在最高点时有容器对桌面的压力最小，由题意可知，小球在最高点时，

$$\text{对容器有} \quad F_N = Mg - kx = 0. \quad (2)$$

此时小球受力如图，所受合力为



$$F = mg + kx - qE. \quad (3)$$

由以上三式得，

$$\text{小球的加速度为} \quad a = \frac{Mg}{m}.$$

由振动的对称性可知，

小球在最底点时， $kx' - mg + qE = ma$ 。

解以上式子得 $kx' = Mg$ 。

对容器 $F_N = Mg + kx' = 2Mg$ 。

【解答】 $2Mg$ 。

拓展点二 弹簧振子在振动过程中的能量的转化问题

水平放置的弹簧振子在振动中，只有弹簧的弹力做功，弹簧振子的动能和弹簧的弹性势能相互转化，机械能守恒；竖直放置的弹簧振子振动时，有重力和弹力做功，弹簧振子的动能、重力势能、弹簧的弹性势能相互转化，系统的机械能守恒，因此在求解振子的速度、位移等问题时，可以运用机械能守恒定律求解。

【案例2】在光滑的水平面上有一弹簧振子，弹簧的劲度系数为 k ，振子质量为 M ，振子的最大速度为 v_0 ，如图所示，当振子运动到最大位移为 A 的时刻把质量为 m 的物体轻放其上，求：(1) 要保持物体和振子一起振动，两者间的动摩擦因数至少为多大？(2) 一起振动时，两者过平衡位置的速度多大？(最大静摩擦力等于滑动摩擦力)



【精析】物体 m 所受的静摩擦力是其振动的回复力，那么回复力的最大值应小于 m 和 M 之间的最大静摩擦力。物体 m 、 M 和弹簧组成的系统机械能守恒，就可算出经过平衡位置的速度。

由物体 M 和弹簧构成的系统能量守恒可知，系统的最大弹性势能等于振子的最大动能，即

$$\frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} Mv_0^2.$$

振子的最大位移 $x = \sqrt{\frac{M}{k}} v_0$ 。

振子和物体的合力

$$F = kx = \sqrt{Mk} v_0.$$

振子和物体的共同加速度

$$a = \frac{F}{M+m} = \frac{\sqrt{Mk} v_0}{M+m}.$$

物体所受的合力

$$F = ma = \frac{mv_0 \sqrt{Mk}}{M+m} \leq \mu mg.$$

$$\mu \geq \frac{\sqrt{Mk} v_0}{(M+m)g}.$$

由 M 、 m 和弹簧构成的系统能量守恒，可知

$$\frac{1}{2} Mv_0^2 = \frac{1}{2} (M+m) v^2.$$

$$v = \sqrt{\frac{M}{M+m}} v_0.$$

【解答】 (1) $\frac{\sqrt{Mk} v_0}{(M+m)g}$; (2) $v = \sqrt{\frac{M}{M+m}} v_0$ 。

课后习题精解

不要坐享其成哦！

1. 提示：可通过图书馆或者互联网查找相关信息，培养收集信息的能力。

2. (X) 坐标轴上的坐标代表时间，纵坐标代表偏离平衡位置的位移。因为要用相等的位移表示相等的时间，所以只有匀速拖动白纸，才能保证时间均匀变化。如拖动白纸的速度是 $5 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ ，则在 (X) 轴上可设 5 cm 一格，每格表示 1 s。

3. (1) 质点离开平衡位置的最大距离为 10 cm。(2) 在 1.5 s 和 2.5 s 时，质点的位置都在距离平衡位置约 7 cm 处，分别位于平衡位置两侧。(3) 在这两个时刻，质点都向 x 轴的反方向运动。

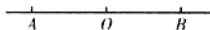
4. (1) 在第 1 s 和第 3 s 内，质点对平衡位置的位移方向跟瞬时速度的方向相同。在第 2 s 内和第 4 s 内，质点对平衡位置的位移方向跟瞬时速度的方向相反。

(2) 0 (3) 20 cm

考点闯关训练

长风破浪会有时。

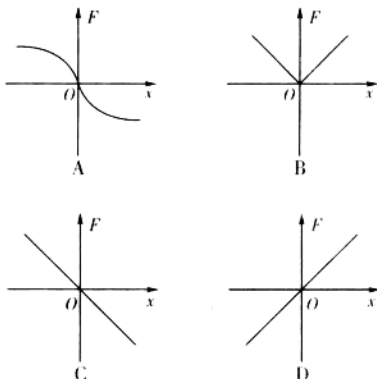
基础巩固题

- 简谐运动属于下列哪一种运动？()
A. 匀速运动 B. 匀变速运动
C. 非匀变速运动 D. 机械振动
- 下列运动属于简谐运动的是()
A. 活塞在气缸中的往复运动
B. 拍皮球时，皮球的上下往复运动
C. 音叉叉股的振动
D. 小球在左右对称的两个斜面上来回滚动
- 对做简谐运动的物体，则下列说法中正确的是()
A. 若位移为负值，则速度一定为正值，加速度也一定为正值
B. 通过平衡位置时，速度为零，加速度最大
C. 每次通过平衡位置时，加速度相同，速度也一定相同
D. 每次通过同一位置时，其速度不一定相同，但加速度一定相同
- 如图所示，弹簧振子以 O 点为平衡位置，在 A 、 B 间做简谐运动，下列说法中正确的是()。

A. 振子在 A 、 B 处的加速度和速度均为零
B. 振子通过 O 点后，加速度方向改变
C. 振子通过 O 点后，速度方向改变
D. 振子从 $O \rightarrow B$ 或从 $O \rightarrow A$ 的运动都是匀减速运动
- 一个弹簧振子在光滑水平面上做简谐运动，如果在 t_1 与 t_2 两个时刻弹簧长度相同，那么可肯定振子在这两个时刻()
A. 位移大小相等，方向相同
B. 速度大小相等，方向相同
C. 加速度大小相等，方向相同
D. 速度大小相等，方向相反

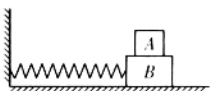
综合创新题

- 一质点做简谐运动，当位移为正的最大值时，其质点的()
A. 速度为正的最大值，加速度为零
B. 速度为负的最大值，加速度为零
C. 速度为零，加速度为正的最大值
D. 速度为零，加速度为负的最大值

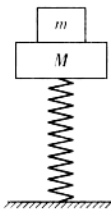
7. 对于弹簧振子的合力和位移的关系,图中正确的是()。



8. 如图所示,质量为 m 的物体 A 放在质量为 M 的物体 B 上, B 与弹簧相连,它们一起在光滑的水平面上做简谐运动,运动过程中 A、B 无相对运动,设弹簧的劲度系数为 k ,当物体离开平衡位置的位移为 x 时, A、B 间摩擦力的大小为()。



- A. 0
B. kx
C. $\frac{mkx}{M}$
D. $\frac{mkx}{M+m}$
9. 由轻质弹簧下面悬挂一物块组成一个沿竖直方向振动的弹簧振子,弹簧上端固定在天花板上,当物块处于静止状态时,取它的重力势能为零,现将物块向下拉一小段距离后放手,此后弹簧振子在平衡位置附近上下做简谐运动,不计空气阻力,则()。
- A. 弹簧振子速度最大时,振动系统的势能为零
B. 弹簧振子速度最大时,物块的重力势能与弹簧的弹性势能相等
C. 弹簧振子经过平衡位置时,振动系统的势能最小
D. 弹簧振子在振动过程中,振动系统机械能守恒
10. 如图所示,质量 $m=0.5\text{ kg}$ 的物体,放在 $M=64\text{ kg}$ 的平台上,平台跟竖立在地面上的轻弹簧相连接,弹簧的下端固定。若物体与平台一起上下振动,最大位移为 10 cm ,当物体运动到最高点时,对平台压力恰好为零,则:(g 取 10 m/s^2)
- (1) 弹簧的劲度系数为多大?
(2) 物体运动到最低点时,对平台压力多大?



2 简谐运动的描述

教材要点

锁定重难点, 实现各个击破。

要点一 振动的振幅

1. 定义: 振动物体离开平衡位置的最大距离, 叫做振动

的振幅, 用 A 表示。在国际单位制中振幅的单位是米(m)。

2. 意义: 振幅是表示振动强弱的物理量, 振幅越大, 表示振动越强。

3. 振幅和位移是两个不同的物理量。对于给定的振动, 振动的位移时刻在变, 但振幅是一定的, 位移是矢量, 振幅是标量, 它们仅在数值上满足振幅等于位移的最大值。

【例题】下列各种说法中正确的是()。

- A. 振幅是振子离开平衡位置的最大距离
B. 位移是矢量, 振幅是标量, 位移的值等于振幅
C. 振幅等于振子运动轨迹的长度
D. 振幅越大, 表示振动得越强, 周期越长

【解析】振幅等于位移的最大值。

【答案】A。

要点二 周期和频率

用两个不同的弹簧振子, 让它们在竖直方向上下振动, 比较它们振动的快慢。

1. 全振动: 振动物体往返一次(以后完全重复原来的运动)的运动叫一次全振动。例如水平方向运动的弹簧振子的运动, 从某点出发再次回到该点时所有物理量都相同。

2. 定义: 振动的物体完成一次全振动所需要的时间, 叫振动的周期, 用 T 表示, 在国际单位制中的单位是秒(s)。

振动物体在单位时间内完成全振动的次数, 叫做振动的频率, 用 f 表示, 在国际单位制中的单位是赫兹, 简称赫, 符号是 Hz。周期和频率的关系为

$$T = \frac{1}{f} \text{ 或 } f = \frac{1}{T}.$$

3. 意义: 周期和频率都是表示振动快慢的物理量。

【例题】一弹簧振子做简谐运动, 周期为 T , 则正确的说法是()。

- 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、方向相同, 则 Δt 一定等于 $\frac{T}{2}$ 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

【解析】从平衡位置出发 $\frac{T}{2}$ 后, 振子将又回到平衡位置, 所以 A 选项错误。当振子沿同一方向经过关于平衡位置对称的任意一对位置时, 其速度的大小、方向均一样, 所以 B 选项错误。根据简谐运动的对称性, C 选项正确。当振子先后出现在两个端点时, 恰相隔半个周期, 而弹簧长度不等, 所以 D 选项错误。所以选 C。

【答案】C。

【解析】C。

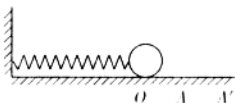
顿有所悟 做简谐运动的物体, 经过一个周期, 其速度、位移、加速度、回复力等都恢复原来的数值和方向, 而只经过半个周期, 一些物理量大小恢复, 但方向相反。如果不从平衡位置或端点处开始, 则一些物理量恢复原值未必需要半个或一个周期。

要点三 简谐运动的周期或频率都与振幅无关

1. 简谐运动的周期或频率由振动系统本身的性质决定,与振幅无关。

2. 固有周期(或固有频率):这种由振动系统本身的性质所决定的周期(或频率),称为振动系统的固有周期(或固有频率)。

【例题】如图所示,在光滑水平面上振动的弹簧振子的平衡位置为 O ,把 m 拉到 A 点, $OA=1\text{ cm}$,自由释放振子,经过 0.2 s 振子第一次到达 O 点,如果把 m 拉到 A' 点, $OA'=2\text{ cm}$,则自由释放振子后,振子第1次到达 O 点所需的时间为()。



- A. 0.2 s B. 0.4 s
C. 0.1 s D. 0.3 s

【解析】简谐运动的周期只跟振动系统本身的性质有关,与振幅无关,两种情况下振子第一次到达平衡位置所需的时间都是振动周期的 $\frac{1}{4}$,所以相等。

【解答】A.

活动结论

做一做 P₆

通过实验可以发现周期与振幅无关。

要点四 相位

1. 概念的引入:为了描述振动物体所处的状态和比较两振动物体的振动步调,引入了相位。

2. 相位决定了振动物体的振动状态,振动步调一致称为同相,步调完全相反称为反相。

【例题】已知两个简谐运动方程分别为 $x_1=4a\sin(4\pi bt+\frac{\pi}{2})$, $x_2=2a\sin(4\pi bt+\frac{3}{2}\pi)$,求它们的振幅之比、各自的频率以及它们的相位差。

【解析】振幅之比 $\frac{A_1}{A_2}=\frac{4a}{2a}=\frac{2}{1}$ 。

它们的频率相同,都是

$$f=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{4\pi b}{2\pi}=2b.$$

它们的相位差

$$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=\pi.$$

两振动为反相。

【解答】 $2:1$; $f_1=f_2=2b$; π 。

活动结论

思考与讨论 P₆

相位的单位是度。

教材拓展

激扬智慧,步入社会贯通境界

拓展点一 简谐运动的振动方程

简谐运动的位移和时间的关系可以用图象来表示为正弦或余弦曲线,如将这一关系表示为数学函数关系式应为

$$x=A\sin(\omega t+\varphi).$$

1. 简谐运动的振动方程:我们称简谐运动的位移随时间变化的关系式 $x=A\sin(\omega t+\varphi)$ 为振动方程(位移方程)。

2. 振幅:振动方程 $x=A\sin(\omega t+\varphi)$ 中的 A 代表简谐运动的振幅。

3. 圆频率:振动方程中的 ω 叫做圆频率(相当于匀速圆周运动中的角速度),它与周期或频率之间的关系为

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

4. 相位的定义:我们把振动方程中正弦或余弦函数符号后面相当于角度的量 $(\omega t+\varphi)$,叫做振动的相位。

5. 相位差:是指两个相位之差,在实际中经常用到的是两个具有相同频率的简谐运动的相位差,反映出两简谐运动的步调差异。

设两简谐运动 A 和 B 的振动方程

$$x_1=A_1\sin(\omega t+\varphi_1), x_2=A_2\sin(\omega t+\varphi_2).$$

它们的相位差

$$\Delta\varphi=(\omega t+\varphi_2)-(\omega t+\varphi_1)=\varphi_2-\varphi_1.$$

可见,其相位差恰等于它们的初相之差,因为初相是确定的,所以频率相同的两个简谐运动有确定的相位差。

若 $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1>0$,则称 B 的相位比 A 的相位超前 $\Delta\varphi$,或 A 的相位比 B 的相位落后 $\Delta\varphi$ 。

若 $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1<0$,则称 B 的相位比 A 的相位落后 $\Delta\varphi$,或 A 的相位比 B 的相位超前 $\Delta\varphi$ 。

(1)同相:相位差为零,一般认为

$$\Delta\varphi=2\pi n, (n=1,2,3\cdots)$$

(2)反相:相位差为 π ,一般认为

$$\Delta\varphi=(2k+1)\pi, (k=1,2,3\cdots)$$

关键提醒 比较相位或计算相位差时,要用同种函数来表示振动方程。

【例题】一物体沿 x 轴做简谐运动,振幅为 8 cm ,频率为 0.5 Hz ,在 $t=0$ 时,位移为 4 cm ,且向 x 轴负方向运动,试写出用正弦函数表示的振动方程。

【解析】简谐运动振动方程的一般表达式

$$x=A\sin(\omega t+\varphi).$$

根据题目所给条件有

$$A=0.08\text{ m}, \omega=2\pi f=\pi.$$

所以有 $x=0.08\sin(\pi t+\varphi)$ 。

将 $t=0$ 和 $x=0.04\text{ m}$ 代入得

$$0.04=0.08\sin\varphi.$$

解得 $\varphi=\frac{\pi}{6}$ 或 $\varphi=\frac{5\pi}{6}$ 。

因为 $t=0$ 时,速度方向沿 x 轴负方向,即位移在减小,所以取

$$\varphi=\frac{5\pi}{6}.$$

所求的振动方程为 $x=0.08\sin(\pi t+\frac{5\pi}{6})$ 。

【解答】 $x=0.08\sin(\pi t+\frac{5\pi}{6})$ 。

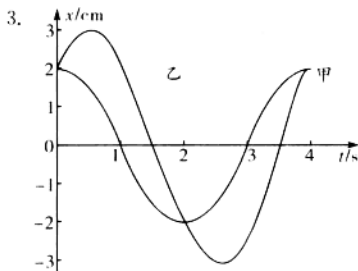
顿有所悟 本题主要运用数学知识解决物理问题,运用数学知识处理物理问题的能力是高考所考查的五大能力之一。

课后习题精解

不要它享其成哦!

1. 它们的振幅分别为 $3a$ 和 $9a$, 比值为 $1:3$, 频率分别为 $2b$ 和 $4b$, $t=0$ 时相位差为 $\frac{\pi}{4}$.

2. 由于甲、乙两个运动中 x 随 t 变化的关系式分别为 $x=2\sin\left(\frac{\pi}{2}t+\frac{\pi}{4}\right)$ 和 $x=2\sin\left(\frac{\pi}{2}t+\frac{3\pi}{4}\right)$, 所以它们的相位差为 $\frac{\pi}{2}$.



4. $A: x=0.5\sin(5\pi t+\pi)$ cm

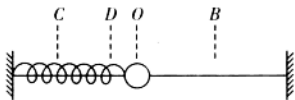
$B: x=0.2\sin\left(2.5\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$ cm

考点闯关训练

长绳短汲会有时.

基础巩固题

- 某质点做简谐运动, 从质点经过某一位置时开始计时, 则 ().
A. 当质点再次经过此位置时, 经历的时间为一个周期
B. 当质点的速度再次与零时刻的速度相同时, 经过的时间为一个周期
C. 当质点的加速度再次与零时刻的加速度相同时, 经过的时间为一个周期
D. 以上三种说法都不对
- 如图所示, 弹簧振子以 O 为平衡位置在 B 、 C 间做简谐运动, 若 $BC=5$ cm, 则下列说法中正确的是 ().



- 振幅是 5 cm
 - 振幅是 2.5 cm
 - 经 3 个全振动时振子通过的路程是 30 cm
 - 不论从哪个位置开始振动, 经两个全振动, 振子的位移都是零
- 下列关于简谐运动的周期、频率、振幅的说法中正确的是 ().
A. 振幅是矢量, 方向是从平衡位置指向最大位移处
B. 周期和频率的乘积是个常数
C. 振幅增大, 周期也必然增大, 而频率减小
D. 弹簧振子的频率只由弹簧的劲度系数决定
 - 一弹簧振子的振动周期为 0.20 s, 当振子从平衡位置开始向右运动, 经过 1.78 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

- 一个做简谐运动的物体, 频率为 25 Hz, 那么它从一侧最大位移的中点 D , 振动到另一侧最大位移的中点 C 所用的最短时间, 下面说法中正确的是 ().

A. 等于 0.01 s

B. 小于 0.01 s

C. 大于 0.01 s

D. 小于 0.02 s 大于 0.01 s

- 弹簧振子在振动过程中, 振子经 a 、 b 两点的速度相等, 且从 a 点运动到 b 点最短历时为 0.2 s, 从 b 点再到 b 点最短历时 0.2 s, 则这个弹簧振子的振动周期和频率分别为 ().

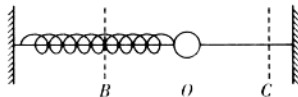
A. 0.4 s, 2.5 Hz

B. 0.8 s, 2.5 Hz

C. 0.4 s, 1.25 Hz

D. 0.8 s, 1.25 Hz

- 如图所示, 弹簧振子在 B 、 C 间做简谐运动, O 为平衡位置, B 、 C 间距离为 10 cm, $B \rightarrow C$ 运动时间为 1 s, 则 ().



A. 从 $O \rightarrow C \rightarrow O$ 振子做了一次全振动

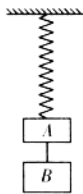
B. 振动周期为 1 s, 振幅为 10 cm

C. 经过两次全振动, 通过的路程为 20 cm

D. 从 B 开始经过 3 s, 振子通过的路程是 30 cm

综合创新题

- 在竖直悬挂的弹簧下端系 A 、 B 两个物体, $m_A=200$ g, $m_B=800$ g, 当 A 、 B 两物体都静止时, 弹簧伸长 20 cm, 如图所示. 若剪断连接 A 、 B 的细线, 则 A 将做简谐运动, 它振动的振幅为 _____ cm. (g 取 10 m/s²)



- 一质点做简谐运动, 其振动方程为 $x=0.60\sin\left(5t+\frac{3}{2}\pi\right)$ m, 则振动的振幅为 _____, 周期为 _____, $t=0$ 时质点的位移为 _____, 振动的初相为 _____.

- 一简谐运动的振动方程 $x=A\sin\omega t$, 则:

(1) 该运动的初相是多少?

(2) 如果用余弦函数表示振动方程, 请写出这一振动方程, 并指出初相是多少?

3 简谐运动的回复力和能量

教材要点

锁定重难点，实现各个击破。

要点一 简谐运动的回复力

1. 定义：做简谐运动的物体受到的指向平衡位置的力。
2. 公式： $F = -kx$ 。

公式中的位移 x 都是以平衡位置为起点的，方向由平衡位置指向末位置，大小为这两个位置之间的直线距离。式中的 k 仅对弹簧振子而言是弹簧的劲度系数，一般称为比例系数或者回复系数。

【案例 1】下列有关回复力的说法中正确的是()。

- A. 回复力是指物体受到的指向平衡位置的力
- B. 回复力是指物体受到的合力
- C. 回复力是从力的作用效果命名的，可以是重力、弹力或摩擦力，也可以是几个力的合力
- D. 回复力实质上是向心力

【解析】回复力是使物体回到平衡位置的力，和向心力均属效果力，向心力的方向是始终指向圆心，回复力的方向始终是指向平衡位置的，二者的实质是不一样的；回复力不一定是物体所受的合力，它可以是物体受到的一个力，也可以是几个力的合力，还可以是物体所受力中一个力的分力，所以正确的答案是 A、C。

【解答】A、C。

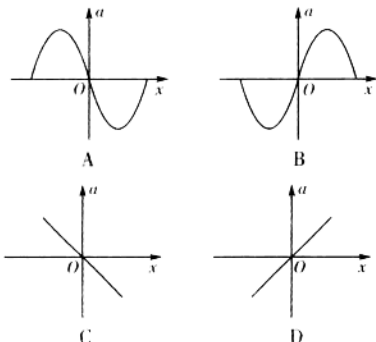
顿有所悟 比较是最好的学习方法之一，我们在学习概念规律时要习惯把有联系但本质不同的进行比较，以明确它们的区别和联系。

要点二 回复力的特点

1. 它是根据力的作用效果来命名的，是物体受到的指向平衡位置的合力，与向心力一样，可以是各种性质的力及其合力或某个力的分力。
2. 回复力的作用效果是使物体回到平衡位置。
3. 回复力是变力，弹簧振子做的是变加速运动，在任一时刻加速度与合外力仍遵守牛顿第二定律。

$$a = -\frac{k}{m}x.$$

【案例 2】如图所示，做简谐运动的质点，表示加速度与位移的关系的图线是()。



【解析】图象问题首先看横、纵坐标的物理意义，然后

找对应的坐标 a 和 x 的函数关系式 $a = -\frac{kx}{m}$ ，再通过关系式判断正确的答案应该是 C。

【解答】C。

要点三 简谐运动的运动学特征

1. 加速度的变化：振子离平衡位置越远，所受到的回复力越大，对应的加速度也就越大，远离平衡位置时，做加速度越来越大的减速运动；靠近平衡位置时，做加速度越来越小的加速运动。

2. 速度的变化：向平衡位置靠近时，速度越来越大，在平衡位置处速度最大；远离平衡位置时，速度越来越小，在最大位移处速度为零。

【案例 3】一个质点做简谐运动时，则()。

- A. 速度方向有时与位移方向相同，有时相反
- B. 加速度方向有时与速度方向相同，有时相反
- C. 回复力方向有时与速度方向相同，有时相反
- D. 回复力方向有时与位移方向相同，有时相反

【解析】可以结合课堂上的实验去分析，质点在最大位移处向平衡位置移动时及质点从平衡位置向最大位移处移动时，位移如何变？回复力如何变？加速度如何变？速度如何变？

【解答】A、B、C。

要点四 简谐运动的能量

1. 对于给定的振动系统，振动的动能由振动的速度决定，振动的势能由振动的位移决定，振动的能量就是振动系统在某个状态下的动能与势能的总和。

2. 振动系统的机械能大小由振幅决定，同一系统振幅越大，机械能就越大。

3. 能量变化规律：只有动能和势能相互转化，机械能才守恒。

简谐运动的能量：要紧紧抓住振动过程中机械能守恒这一条件来解决问题。

$$E = E_k + E_p = \text{恒量}.$$

(1) 若选平衡位置处为零势能点，则弹簧振子在最大位移处的弹性势能就等于在整个振动过程中的机械能。

(2) 振幅越大，弹簧振子的机械能就越大， $E = \frac{1}{2}kA^2$ 。

(3) 弹簧振子在平衡位置的动能最大，势能为零；在最大位移处的动能为零，势能最大。

(4) 振子向平衡位置运动时，势能转化为动能；远离平衡位置时，动能转化为势能。

【案例 1】如图所示，质量为 m 的小球放在劲度系数为 k 的轻弹簧上，使小球上下振动而又始终未脱离弹簧，则()。



- A. 小球的最大振幅为 $\frac{mg}{k}$
 B. 在最大振幅下弹簧对小球的最大弹力是 mg
 C. 小球在振动过程中机械能守恒
 D. 弹簧的最大弹性势能为 $\frac{2m^2g^2}{k}$

【解析】最大振幅满足 $kA = mg$, 所以 $A = \frac{mg}{k}$, 故 A 正

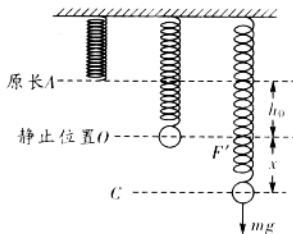
确; 在 $A = \frac{mg}{k}$ 的条件下小球在最高点和最低点所受回复力大小相同, 所以 $F_m - mg = mg$, 得 $F_m = 2mg$, 所以 B 错; 小球和弹簧组成的系统机械能守恒, 所以 C 错; 当小球到达最低点时弹簧的形变量最大, 所以弹性势能最大, 根据机械能守恒或动能定理得最大弹性势能为 $2mgA = \frac{2m^2g^2}{k}$, 所以 D 答案正确.

【答案】A、D.

活动结论

做一做 P₁₂

如图所示, 平衡状态时有 $mg = kh_0$.



当小球向下偏离平衡位置 O 拉动 x 长度到 C 时, 弹簧的弹力

$$F' = k(x + h_0).$$

规定向下为正方向, 则振子所受的回复力为

$$\begin{aligned} F &= mg - F' = mg - k(x + h_0) \\ &= mg - kx - kx_0 \\ &= -kx. \end{aligned}$$

回复与位移的关系符合简谐运动的定义.

教材拓展

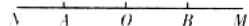
激法智慧, 步入融会贯通境界.

拓展点一 弹簧振子振动的动力学问题

弹簧振子在振动过程中, 振子所受的合力为变力, 弹簧振子做变加速运动, 在任一时刻加速度与合外力仍遵守牛顿第二定律. 解决此类问题, 仍应按照牛顿定律解题的一般思路和解法进行. 一般思路为: 确定研究对象, 进行受力分析和运动分析, 建立坐标系, 根据牛顿第二定律列方程, 根据条件寻找其他辅助方程, 最后解方程. 常用的方法有隔离法、整体法、隔离法与整体法相结合等.

1. 分析简谐运动的运动学特征时, 要依题意正确作出物体的运动路径草图, 还要注意除了两个“端点”外任意一个位置的速度方向都有两种可能.

2. 简谐运动的对称性: 做简谐运动的物体, 在通过对于平衡位置的 A、B 两个位置时一些物理量具有对称性:



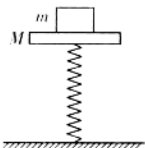
(1) 相对于平衡位置的位移大小相等, 方向相反.

(2) 速度大小相等, 方向可以相同也可以不同.

(3) 加速度、回复力的大小相等, 方向相反.

(4) 从位置 A 点直接到达平衡位置 O 点的时间与从平衡位置 O 点直接到达 B 点的时间相等.

【例题 1】如图所示, 一个竖直弹簧连着一个质量 M 的薄板, 板上放着一个木块, 木块质量为 m . 现使整个装置在竖直方向上做简谐运动, 振幅为 A . 若要求在整个过程中小木块 m 都不脱离木板, 则弹簧劲度系数 k 应为多大?



【解析】木板运动到最高点又不脱离, 弹簧可能处于两种状态: 无形变状态和压缩状态.

若恰好脱离, 则弹簧此时无形变, m 、 M 的加速度均为 g , 此时, 系统回复力为

$$F = (M + m)g.$$

所以弹簧在平衡位置时的弹力为

$$kA = (M + m)g.$$

$$k = \frac{M + m}{A}g.$$

若弹簧处于压缩状态, 则系统在最高点的回复力为

$$F' < (M + m)g.$$

则弹簧在平衡位置时的弹力为

$$F'' = kA < (M + m)g.$$

则

$$k < \frac{M + m}{A}g.$$

所以

$$k \leq \frac{M + m}{A}g.$$

【解答】见解析.

顿有所悟 解题的关键是判断清楚木块与板脱离的临界条件: 相互之间无弹力, 且加速度都等于 g . 还要注意最高点与平衡位置间的距离就是振幅.

拓展点二 弹簧振子振动中能转化问题

水平放置的弹簧振子在振动时, 只有弹簧的弹力做功, 振子的动能和弹簧的弹性势能相互转化, 机械能守恒; 竖直放置的弹簧振子振动时, 有重力和弹力做功, 振子的动能、重力势能、弹簧的弹性势能相互转化, 系统的机械能守恒. 因此在求解振子的速度、位移等问题时, 可以运用机械能守恒定律求解.

【例题 2】关于弹簧振子从平衡位置向最大位移处运动过程的分析, 下列说法中正确的是().

- A. 弹簧的弹力越来越大, 弹簧的弹性势能也越来越大
 B. 弹簧振子的机械能逐渐减少
 C. 弹簧的弹力做负功
 D. 弹簧振子做加速度越来越大的加速运动

【解析】弹簧振子从平衡位置向最大位移处运动的过程中, 弹簧的弹力为阻力, 弹簧的动能逐渐减少而势能逐渐增大, 但系统机械能守恒.

【解答】A、C.



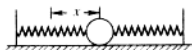
拓展点三 简谐运动的判定

经常会遇到许多不同的机械振动，要判断其是否为简谐运动要根据其所受到的合外力是否满足回复力公式

$$F = -kx$$

只要满足这一点，就可判断其为简谐运动。

【例题3】如图所示，在光滑水平面上，用两根劲度系数分别为 k_1 与 k_2 的轻弹簧系住一个质量为 m 的小球。开始时，两弹簧均处于原长，现使小球向左偏离 x 后放手，小球将在水平面上做往复运动，试证明小球的振动是简谐运动。



【解析】此时，左右弹簧对小球的弹力大小分别为 $F_1 = -k_1x$ (方向向右) 和 $F_2 = -k_2x$ (方向向右)，则小球所受的合外力为 $F = F_1 + F_2 = -(k_1 + k_2)x$ ，满足简谐运动的条件。

【解答】见精析。

课后习题

不致空手而归哦！

1. 证明：小球静止时受到重力、斜面的支持力和弹簧的拉力三个力的作用。平衡时弹簧伸长了 x_0 ，则 $mg \sin \theta = kx_0$ 。弹簧伸长拉长后，设离开平衡位置的位移为 x ，规定 x 方向为正方向，则弹簧的拉力

$$F' = -k(x_0 + x)$$

小球沿斜面方向受的合力即为小球的回复力。

$$F = F' + mg \sin \theta = -k(x_0 + x) + kx_0 = -kx$$

这个力与偏离平衡位置的位移成正比且方向相反，所以小球做简谐运动。

2. (1) 如不考虑水的黏滞阻力，木筏受到重力和浮力作用。重力恒定，浮力与排开水的体积成正比。将木筏静止时的位置看做平衡位置，以平衡位置为坐标原点，如果木筏所受的合力与其偏离平衡位置的位移成正比，且方向相反，则可以判定木筏做简谐运动。证明如下：

设水的密度为 ρ ，横截面积为 S ，静止时浸入水中的深度为 h_0 ，则

$$mg = \rho g S h_0$$

木筏离开平衡位置的位移为 x ，木筏所受的浮力

$$F' = \rho g S (x + h_0)$$

规定向下方向为正方向，则木筏所受的回弹力

$$F = mg - F' = -\rho g S x = -kx$$

所以木筏的运动是简谐运动。

(2) 小球受到重力和圆弧面的支持力。重力恒定不变，支持力始终与运动方向垂直。当小球运动到某点时，小球所在处的半径偏离竖直方向的角度为 θ 。小球在圆弧方向上受到的只是重力沿圆弧方向的分力，为 $F = mg \sin \theta$ ，此为回复力。

当偏角 θ 很小时，小球对最低点 O 的位移 x 的大小与 θ 所对的弧长和弦近似相等，因而 $\sin \theta \approx \frac{x}{l}$ ，所以回复力为

$$F = -\frac{mg}{l}x = -kx$$

可见，当小球的偏角很小时，其运动可以视为简谐运动。

3. 由 $F = -kx$ 和 $F = ma$ 可知，以 AB 方向为正方向，

$$\text{在 A 点 } F_A = -kx_A = ma_A$$

$$\text{在 B 点 } F_B = -kx_B = ma_B$$

且 A, B 在平衡位置两侧，故 $x_B - x_A = 10 \text{ cm}$ 。

带入数据解得 $x_A = -4 \text{ cm}$ ， $x_B = 6 \text{ cm}$ 。

即平衡位置在 A, B 之间，距 A 点 4 cm ，距 B 点 6 cm 。

4. (1) $0.6 \text{ s}, 1.2 \text{ s}, 1.4 \text{ s}$

(2) $0.2 \text{ s}, 1.0 \text{ s}, 1.2 \text{ s}$

(3) $0.2 \text{ s}, 0.6 \text{ s}, 0.8 \text{ s}, 1.0 \text{ s}, 1.2 \text{ s}, 1.4 \text{ s}$

(4) $0.1 \text{ s} \sim 0.3 \text{ s}, 0.5 \text{ s} \sim 0.7 \text{ s}, 0.9 \text{ s} \sim 1.1 \text{ s}, 1.3 \text{ s} \sim 1.5 \text{ s}$

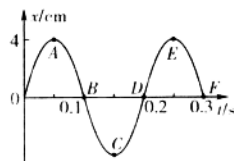
(5) $0 \sim 0.1 \text{ s}, 0.3 \text{ s} \sim 0.5 \text{ s}, 0.7 \text{ s} \sim 0.9 \text{ s}, 1.1 \text{ s} \sim 1.3 \text{ s}$

考点闯关

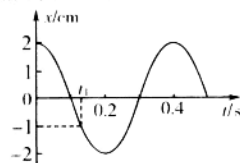
长风破浪会有时。

基础巩固题

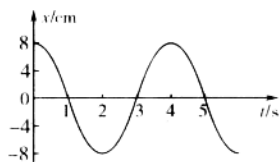
- 使物体产生振动的必要条件是()。
A. 物体所受到的各个力的合力必须指向平衡位置
B. 物体受到的阻力等于零
C. 物体离开平衡位置后受到回复力的作用，物体所受的阻力足够小
D. 物体离开平衡位置后受到回复力的作用，且 $F = -kx$ (x 为相对平衡位置的位移)
- 关于简谐运动的有关物理量，下列说法中错误的是()。
A. 回复力方向总是指向平衡位置
B. 向平衡位置运动时，加速度越来越小，速度也越来越小
C. 加速度和速度方向总是跟位移方向相反
D. 速度方向有时跟位移方向相同，有时相反
- 做简谐运动的物体每次通过同一位置时，都具有相同的()。
A. 加速度
B. 速度
C. 动能
D. 位移
E. 回复力
- 如图所示，



- (1) 小球受到回复力最大的位置是_____；
- (2) 小球加速度最大的位置是_____；
- (3) 速度最大的位置是_____；
- (4) 小球在位置 A 的加速度方向_____；
- (5) 小球在位置 D 的速度方向_____。
- 弹簧振子振动过程中的某段时间内，其加速度数值越来越大，则在这段时间内()。
A. 振子的速度越来越大
B. 振子正向平衡位置运动
C. 振子的速度方向与加速度的方向一致
D. 以上说法都不正确
- 如图所示为质点做简谐运动的图象，从图象中可看出()。



- A. 质点振动的频率为 2.5 Hz
 B. 质点振动的振幅为 4 cm
 C. t_1 时刻质点的加速度方向沿 x 轴正方向
 D. t_1 时刻质点的速度方向沿 x 轴正方向
7. 如图为一物体做简谐运动的图象, 根据图象判定下列哪个时刻物体的加速度为零, 而速度最大, 方向沿 x 轴反方向? ()

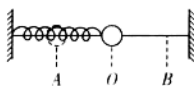


- A. 1 s 末
 B. 2 s 末
 C. 3 s 末
 D. 4 s 末
8. 如图所示, 是竖直弹簧振子的示意图, 下列说法正确的是 ()。
- A. 经平衡位置 O 振子的动能和势能均达到最大值
 B. 在最大位移处, 总势能最大, 而动能最小
 C. 经平衡位置时, 动能最大, 弹性势能最小
 D. 振子由 A 到 O 的过程中, 动能变大, 总势能变小



综合创新题

9. 一个弹簧振子, 第一次把弹簧压缩 x 后开始振动, 第二次把弹簧压缩 $2x$ 后开始振动, 则两次振动的周期之比和最大加速度的大小之比分别为 ()。
- A. 1:2, 1:2
 B. 1:1, 1:1
 C. 1:1, 1:2
 D. 1:2, 1:1
10. 弹簧振子在光滑的水平面上做简谐运动, 在振子向平衡位置靠近的过程中 ()。
- A. 振子所受的回复力逐渐增大
 B. 振子的位移逐渐增大
 C. 振子的速度逐渐减小
 D. 振子的加速度逐渐减小
11. 上端固定的竖直弹簧下端挂一托盘, 在盘中放一砝码, 使其沿竖直方向振动, 当托盘运动到什么位置时, 砝码对托盘的压力最大? ()。
- A. 当托盘运动到最低点时
 B. 当托盘运动到最高点时
 C. 当托盘向上运动经过平衡位置时
 D. 当托盘向下运动经过平衡位置时
12. 如图所示, 把一个小球套在光滑的细杆上, 球与轻弹簧相连组成弹簧振子, 小球沿杆在水平方向做简谐运动, 它围绕平衡位置 O 在 A 、 B 间振动, 下列说法中正确的是 ()。

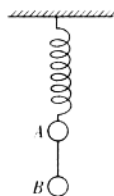


- A. 小球在 O 位置时, 动能最大, 加速度为零
 B. 小球在 A 、 B 位置时, 动能最大, 加速度最大
 C. 小球从 A 经 O 到 B 的过程, 回复力一直做正功
 D. 小球从 B 到 O 的过程中, 振动的能量不断增加

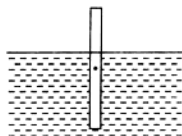
13. 如图所示, 一个做简谐运动的质点, 先后以同样大小的速度通过相距 10 cm 的 A 、 B 两点, 历时 0.5 s, 过 B 点后再经过 $t=0.5$ s, 质点以方向相反、大小相同的速度再次通过 B 点, 则质点振动的周期是多少?



14. 如图所示, 竖直悬挂的轻弹簧下端系着 A 、 B 两球, 其质量 $m_A=0.1$ kg, $m_B=0.5$ kg. 静止时弹簧伸长 15 cm, 若剪断 A 、 B 间的细线, 则 A 做简谐运动时的振幅和最大加速度为多少? (g 取 10 m/s²)



15. 如图所示, 横截面积为 S , 长度为 l 的均匀木棒竖直漂浮在水面上, 现用手将棒略向下压一段后释放, 木棒在竖直方向上下振动, 水的密度为 ρ , 证明木棒的振动是简谐运动。



4 单 摆

教材要点 研习

锁定重难点, 实现各个击破

重点一 单摆的构造

1. 单摆是一种理想化的模型, 理想的单摆是用不可伸缩且没有质量的细线一端固定在悬点, 另一端拴一个视为质点的小球。
2. 对于实际的单摆, 如果摆球直径远小于摆线长度, 线的形变极小且可以忽略不计, 线的质量远小于摆球质量, 那么就可以将它看做理想的单摆, 若摆球直径不可忽略, 则摆长应该为线长加球的半径。

【案例 1】制作一个单摆, 合理的做法是 ()。

- A. 摆线细而不太短且形变极小
 B. 摆球小而不太重
 C. 摆球外表面光滑且密度大
 D. 线的形变极小且端点固定不松动

【精析】细线的一端固定,另一端悬挂小球,当细线的伸缩和质量可以忽略,线长又比小球的直径大的多,这样的装置就叫做单摆。由定义可知正确的答案是 A、C、D。单摆是理想化的模型,实际的单摆的摆球质量是相对于绳的质量而言的,只要满足 $m_{\text{球}} \ll m_{\text{线}}$ 即可,所以 B 不对。

【解答】A、C、D。

重点二 单摆做简谐运动

当摆角小于 5° 时,对振动进行受力分析,回复力为摆球重力沿切线方向的分量 $mg\sin\theta$ 。在摆角很小时($\theta < 5^\circ$),

$$\sin\theta \approx \frac{x}{l}.$$

所以单摆的回复力

$$F = -mg \frac{x}{l} = -kx.$$

x 为摆球偏离平衡位置的位移,单摆做简谐运动。需要强调的是,在摆角较大的情况下,摆球的回复力并不与位移成正比,所做的摆动并不是简谐运动。

关键提醒 单摆是理想化的模型,但不一定做简谐运动。要做简谐运动,必须满足一定的条件,摆球在运动过程中只有当摆角小于 10° 时,摆球受到的重力沿切向分力可近似看做指向平衡位置,单摆的运动才是简谐运动。

【案例 2】关于单摆,下面说法正确的是()。

- A. 摆球运动的回复力是由摆线的拉力和重力的合力提供的
B. 摆球运动过程中,经过同一点的速度是不变的
C. 摆球运动过程中,加速度方向始终指向平衡位置
D. 摆球经过平衡位置时,加速度不为零
E. 摆球的运动是简谐运动

【精析】摆球回复力是重力的切向分力,重力的另一个分力和绳子的拉力提供摆球做圆周运动的向心力,所以 A 不对;摆球运动过程中,经过同一点的速度大小不变,方向会发生变化,B 不对;摆球在运动过程中只有当摆角小于 10° 时,摆球受到的重力沿切向分力可近似看做指向平衡位置,单摆的运动才是简谐运动,另外摆球经过平衡位置时虽然回复力为零,但有最大的向心加速度,所以 C、E 不对,D 正确。

【解答】D。

顿有所悟 前面我们在必修一中学习的“平衡位置”是指物体所受合外力为零的位置,而本章中的“平衡位置”指的是物体在振动方向上的合外力(回复力)为零的位置,但其总合外力不一定为零。

活动结论

演示 P₁₃

注射器的摆动不是简谐运动。

重点三 单摆的振动周期

单摆的周期:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (\text{惠更斯发现的})$$

1. 周期 T 与振幅、摆球质量均无关,只与摆长 l 和所处地点的重力加速度 g 有关(等时性)。
2. 单摆的摆长 l 是指悬点到摆球的球心的距离。

【案例 3】有人利用安装在气球载人舱内的单摆来确定气球的高度。已知该单摆在海平面处的周期是 T_0 。当气球停在某一高度时,测得该单摆周期为 T 。求该气球此时离海平面的高度 h 。(把地球看做质量均匀分布的半径为 R 的球体)

【精析】设单摆的摆长为 l ,地球的质量为 M ,则据万有引力定律可得地面的重力加速度和高山上的重力加速度分别为

$$g = G\frac{M}{R^2}, g_h = G\frac{M}{(R+h)^2}.$$

据单摆的周期公式可知

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_h}}.$$

由以上各式可求得

$$h = \left(\frac{T}{T_0} - 1\right)R.$$

【解答】 $h = \left(\frac{T}{T_0} - 1\right)R.$

活动结论

实验 P₁

2. 为了尽量忽略空气阻力的影响。
3. 乙更好,悬点位置固定。
5. 乙更好,时间测量更准确,多次测量求平均值可减小误差。

顿有所悟 简谐运动具有周期性,其运动周期 T 的大小由振动系统本身的性质决定。理解了这一点,在解决相关问题时就不易出错。

重点四 单摆的应用

测定当地的重力加速度。

把单摆的周期公式变形为

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} l.$$

由此可知,只要测出单摆的摆长和振动周期,就可以测出当地的重力加速度 g ,摆长用刻度尺测量,周期用秒表进行测量。

【案例 4】用单摆测定重力加速度时,某同学测得的数值大于当地重力加速度的真实值,引起这一误差的可能原因是()。

- A. 摆球在水平面内做圆锥摆运动
B. 测量摆长时,漏测摆球直径
C. 测量周期时,当摆球通过平衡位置时启动停表并数下“1”,直到 30 次通过平衡位置时制动停表,读出经历时间 t ,则周期 $T = \frac{t}{30}$
D. 单摆振动的振幅偏小
E. 摆球的质量偏大
F. 摆球质量的测量值不够准确

【精析】摆球在水平面内做圆锥摆运动时,周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos\theta}{g}}$ (θ 为偏角),它小于同样摆长的单摆的振动周期,用它代入单摆振动周期公式 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 得出的 g 值偏大,A 正确。漏测摆球直径,会使得 g 的测量值偏小,B 错。振幅偏小、摆球的质量偏大不但不影响测量反而是实验原理的要求,只