经全国中小学教材审定委员会
2005年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 3–4

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心 编著

人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 3–4

人民教育出版社　课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心　编著

人民教育出版社

经河北省教育厅推荐使用

总 主 编：张大昌
副总主编：彭前程
主　　编：张维善
执笔人员：谷雅慧　黄恕伯　彭　征　张　颖　周誉蔼
绘　　图：王凌波　张　良
责任编辑：彭　征
版式设计：马迎莺
审　　读：王存志

普通高中课程标准实验教科书
物　理
选修 3-4
人民教育出版社　课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心　编著
*
人民教育出版社出版
（联系地址：北京市海淀区中关村南大街 17 号院 1 号楼　邮编：100081）
网址：http://www.pep.com.cn
河北省出版总社有限责任公司代印
河　北　省　新　华　书　店　发　行
河北新华联合印刷有限公司印装
*
开本：890 毫米 × 1 240 毫米　1/16　印张：7.5　字数：135,000
2010 年 4 月第 3 版　2016 年 7 月第 13 次印刷
印数：933,226—1,024,675 册
ISBN 978-7-107-18672-1/G·11762（课）　定价：8.70 元
冀价管〔2016〕86 号　冀价审〔2016〕109174　全国价格举报电话：12358

目　录

科学是一种方法，它教导人们：一些事物是如何被了解的，不了解的还有些什么，对于了解的，现在了解到了什么程度……

——费恩曼[①]

第十一章 机械振动

琴弦的振动发出美妙的乐音

人类生活在运动的世界里，机械运动是最常见的运动。在机械运动中，除了平动和转动之外，振动也很常见。琴弦的振动，让人们欣赏到优美的音乐；地震则可能给人类带来巨大的灾难。然而，振动并不限制在机械运动范围之内，在交流电路中电流和电压的变化，也是一种振动。振动现象，比比皆是。

我们将从最简单的情况出发，学习怎样描述振动，振动有什么性质。

①理查德 · 费恩曼（R. P. Feynman, 1918—1988），美国物理学家，杰出的物理学教育家，由于在量子电动力学方面的贡献而获得1965年诺贝尔物理学奖。

1 简谐运动

振动现象在自然界中广泛存在。钟摆的摆动、水中浮标的上下浮动、担物行走时扁担下物体的颤动、树梢在微风中的摇摆……都是振动，一切发声的物体都在振动，地震是大地的剧烈振动，振动与我们的生活密切相关。

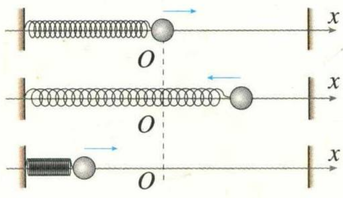


图 11.1-1 弹簧振子的振动

弹簧振子 如图11.1-1所示，把一个有孔的小球装在弹簧的一端，弹簧的另一端固定，小球穿在光滑的杆上，能够自由滑动，两者之间的摩擦可以忽略，弹簧的质量与小球相比也可以忽略。把小球拉向右方，然后放开，它就左右运动起来。小球原来静止时的位置叫做**平衡位置**（**equilibrium position**），小球在平衡位置附近的往复运动，是一种机械振动，简称**振动**（**vibration**）。这样的系统称为**弹簧振子**（**spring oscillator**）。

弹簧振子是小球和弹簧所组成的系统的名称，但有时也把这样的小球称做弹簧振子或简称振子。

本书研究振动时所说的位移，都是对于平衡位置的位移。因此，书中字母 x 具有双重意义：它既表示小球的位置（坐标），又表示小球的位移。

弹簧振子的位移—时间图象 为了研究弹簧振子的运动规律，我们以小球的平衡位置为坐标原点 O，沿着它的振动方向建立坐标轴。小球在平衡位置的右边时它对平衡位置的位移为正，在左边时为负。

图 11.1-2 是图 11.1-1 所示的弹簧振子的频闪照片。频闪仪每隔 0.05 s 闪光一次，闪光的瞬间振子被照亮。拍摄时底片从下向上匀速运动，因此在底片上留下了小球和弹簧的一系列的像，相邻两个像之间相隔 0.05 s。

图 11.1-2 中的两个坐标轴分别代表时间 t 和小球位移 x，因此它就是小球在平衡位置附近往复运动时的位移—时间图象，即 x-t 图象。

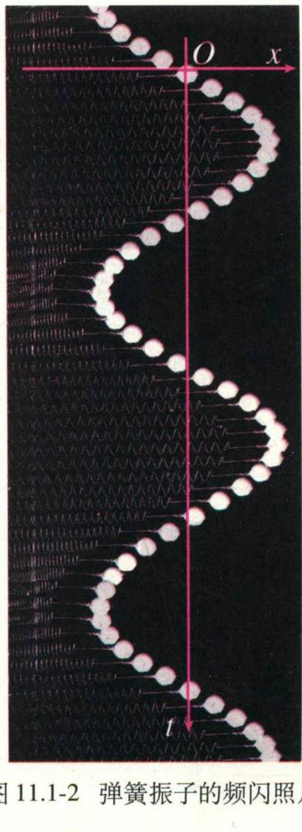


图 11.1-2 弹簧振子的频闪照片

做一做

用数码相机和计算机绘制小球运动的 x-t 图象

图 11.1-2 的照片是通过频闪摄影得到的。使用数码相机和计算机也能得到类似的图片。

弹簧的下端悬挂一个钢球，上端固定，它们组成了一个振动系统。

用手把钢球向上托起一段距离，然后释放，钢球便上下振动。钢球原来静止时的位置就是振动的平衡位置（图 11.1-3）。

用数码相机拍摄钢球的运动。大约每隔 0.04 s（这个时间间隔往往可以设定）数码相机就会拍摄一帧照片。拍摄时最好把钢球的位置放在取景框的最左侧。

在计算机中建立一个幻灯片的演示文稿，把这些照片插入文稿中的同一张空白幻灯片中，照片会按拍摄时间的先后一帧一帧自动向右平铺开来。把这些照片的上端对齐，便能得到与图11.1-2相似的画面。这样就可以在同一个画面上看到钢球在各个不同时刻的位置。

图 11.1-3 钢球释放后便上下振动

简谐运动及其图象 我们对弹簧振子的位移与时间的关系做些深入的研究。从图 11.1-2 可以看出，小球运动时的位移与时间的关系很像正弦函数的关系。是不是这样呢？

思考与讨论

确定弹簧振子的位移与时间的关系

方法一

数学课中我们已经学过正弦函数的振幅、周期（频率）等知识。假定图11.1-2中的曲线的确是正弦曲线，用刻度尺测量它的振幅和周期，写出具有这样振幅、周期的正弦函数的表达式。应该注意到，这个表达式中计时开始时位移应该是0，随后位移开始增加并为正值。

然后，在图11.1-2的曲线中选小球的若干个位置，用刻度尺在图中测量它们的横坐标和纵坐标，代入你所写出的正弦函数的表达式中进行检验，看一看这条曲线是否真的是一条正弦曲线。

方法二

在图11.1-2中，测量小球在各个位置的横坐标和纵坐标。把测量值输入计算机中，用数表软件作出这条曲线，看一看弹簧振子的位移—时间的关系可以用什么函数表示。

如果质点的位移与时间的关系遵从正弦函数的规律，即它的振动图象（x-t 图象）是一条正弦曲线①，这样的振动叫做简谐运动 (simple harmonic motion)。简谐运动是最简单、最基本的振动。图 11.1-1 中的弹簧振子的运动就是简谐运动。

①正弦函数的一般形式是 $y = A\sin(\omega x+\varphi)$，它的图象叫做正弦曲线，例如 $y = \sin x$、$y = \sin(x+\frac{\pi}{4})$ 的图象，都是正弦曲线。$y = \cos x$ 的图象也是一条正弦曲线，因为它可以写成 $y = \sin(x+\frac{\pi}{2})$。

做一做

在弹簧振子的小球上安装一支绘图笔，让一条纸带在与小球振动方向垂直的方向上匀速运动，笔在纸带上画出的就是小球的振动图象（图 11.1-4）。

这种记录振动的方法在实际中有很多应用。医院里的心电图仪（图 11.1-5）、地震仪中绘制地震曲线的装置（图 11.1-6）等，都可以用类似的方法记录振动情况。

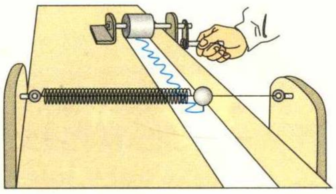


图11.1-4 绘制弹簧振子的振动图象（示意图）

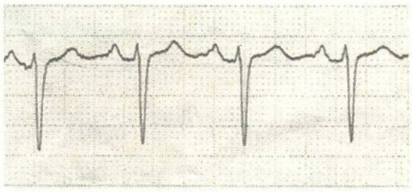


图 11.1-5 心电图

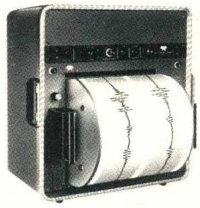
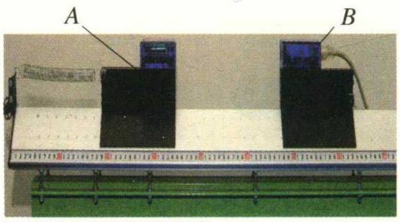


图 11.1-6 绘制地震曲线的装置

做一做

用传感器和计算机描绘简谐运动的图象

如图 11.1-7 甲，气垫导轨上的滑块 A 系在一端固定的弹簧上，可以沿导轨做简谐运动；滑块 B 静止地放在导轨上。位移传感器的两个小盒分别固定在两个滑块上。滑块 B 上的小盒通过数据采集器与计算机相连，把各个时刻滑块 A 的位置输入计算机。计算机对数据进行处理后在屏幕上作出滑块的 x-t 图象（图11.1-7乙）。



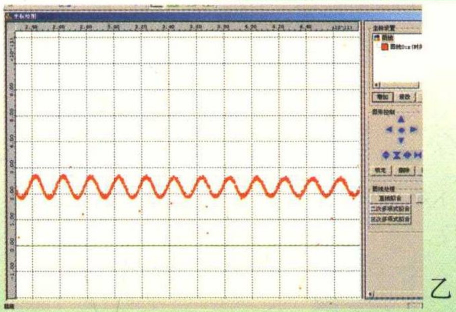


图 11.1-7 用传感器和计算机描绘简谐运动的图象

问题与练习

1. 如图 11.1-8，两人合作，模拟振动曲线的记录装置。先在白纸中央画一条直线 OO_1 使它平行于纸的长边，作为图象的横坐标轴。一个人用手使铅笔尖在白纸上沿垂直于 OO_1 的方向振动，另一个人沿 OO_1 的方向匀速拖动白纸，纸上就画出了一条描述笔尖振动情况的 x-t 图象。

请完成这个实验，并解释：白纸上 OO_1 轴上的坐标代表什么物理量？纵坐标代

表什么物理量？为什么必须匀速拖动白纸？如果拖动白纸的速度是 5×10^{-2} m/s，在 OO_1 坐标轴上应该怎样标出时间的坐标刻度？

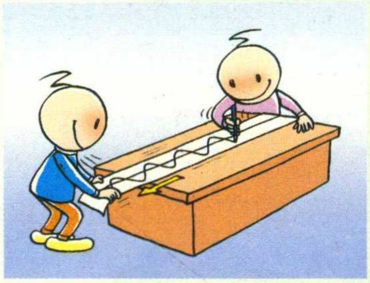


图 11.1-8 两人合作绘制振动图象

2. 图 11.1-9 是某质点做简谐运动的振动图象。根据图象中的信息，回答下列问题。

(1) 质点离开平衡位置的最大距离有多大？

(2) 在 1.5 s 和 2.5 s 这两个时刻，质点的位置各在哪里？

(3) 在 1.5 s 和 2.5 s 这两个时刻，质点向哪个方向运动？

3. 如图 11.1-9，在 $t=0$ 到 $t=4$ s 的范围内回答以下问题。

(1) 质点相对平衡位置的位移的方向在哪些时间内跟它的瞬时速度的方向相同？在哪些时间内跟瞬时速度的方向相反？

(2) 质点在第 2 s 末的位移是多少？

(3) 质点在前 2 s 内走过的路程是多少？

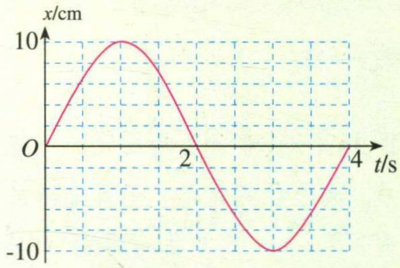


图 11.1-9 某质点的振动图象

2 简谐运动的描述

描述简谐运动的物理量 我们以弹簧振子为例来研究描述简谐运动的物理量。

● 振幅

如图 11.2-1，振子在水平杆上的 M 点和 M' 点之间往复振动，O 为它的平衡位置。图中 $OM=OM'$，它们是振动物体离开平衡位置的最大距离，叫做振动的**振幅**（**amplitude**）。振幅的两倍表示的是做振动的物体运动范围的大小。

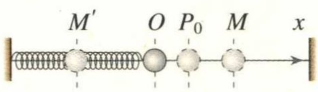


图 11.2-1 弹簧振子的简谐运动

● 周期和频率

简谐运动是一种周期性运动。图 11.2-1 中，如果从振子向右通过 O 点的时刻开始计时，它将运动到 M，然后向左回到 O，又继续向左运动到达 M'，之后又向右回到 O。这样一个完整的振动过程称为一次**全振动**。不管以哪里作为开始研究的起点，例如从图中的 P_0 开始运动，弹簧振子完成一次全振动的时间总是相同的。

做简谐运动的物体完成一次全振动所需要的时间，叫做振动的**周期**（**period**），单位时

间内完成全振动的次数，叫做振动的**频率（frequency）**。周期和频率都是表示物体振动快慢的物理量，周期越小，频率越大，表示振动越快。用 T 表示周期，用 f 表示频率，则有

$$f=\frac{1}{T} \tag{1}$$

在国际单位制中，周期的单位是秒。频率的单位是**赫兹（hertz）**，简称**赫**，符号是 Hz。$1\ \text{Hz}=1\ \text{s}^{-1}$。

我们用周期和频率描述简谐运动，实际上，描述任何周期性过程时，即使不是简谐运动，也要用到这两个概念。它们的应用范围已经扩展到物理学以外的领域了。

做一做

如图 11.2-2，弹簧上端固定，下端悬吊钢球。把钢球从平衡位置向下拉下一段距离 A，放手让其运动，A 就是振动的振幅。用秒表测出钢球完成 n 个全振动所用的时间 t，$\frac{t}{n}$ 就是振动的周期。n 的值取大一些可以减小周期的测量误差。

再把振幅减小为原来的一半，用同样的方法测量振动的周期。

通过这个实验你有什么发现？由此你对简谐运动的周期与振幅的关系有什么猜想？

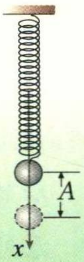


图 11.2-2 测量小球振动的周期

● 相位

除了振幅、周期和频率外，要完整地描述简谐运动以及任何周期性运动，还需要另一个物理量。

实验

有并列悬挂的两个小球，悬线的长度相同。把它们拉起同样的角度后同时放开。可以看到，它们的振幅、周期（频率）也都相同。

但是如果先把第一个小球放开，然后再放第二个，这种情况下尽管两个小球运动的振幅和周期还都是相同的，但它们运动的步调不再一致了。例如，当第一个小球到达平衡位置时再放开第二个，那么当第一个到达另一方的最高点时，第二个刚刚到达平衡位置；而当第二个到达另一方的最高点时，第一个小球已经返回平衡位置了。与第一个小球相比，第二个总是滞后 $\frac{1}{4}$ 个周期，或者说总是滞后 $\frac{1}{4}$ 个全振动。

在物理学中，我们用不同的**相位（phase）**来描述周期性运动在各个时刻所处的不同状态。例如，对于同时放开的两个小球，我们说它们的相位相同，而对于上面说的不同时放开的两个小球，我们说第二个小球的相位落后于第一个的相位。

科学漫步

月 相

描述自然界的许多周期性变化都会用到相位的概念。例如，从地球上看，月亮从圆到缺，又从缺到圆，这是一种周期性的变化（图 11.2-3）周期为 29.5 天。月亮的这种圆缺变化叫做月相变化。为了便于记忆，人们还给几个特殊的月相起了特殊的名称：

望 ——满月

下弦——恰好有半个月面是亮的

朔 ——这时实际上看不见月亮

上弦——恰好另半个月面是亮的

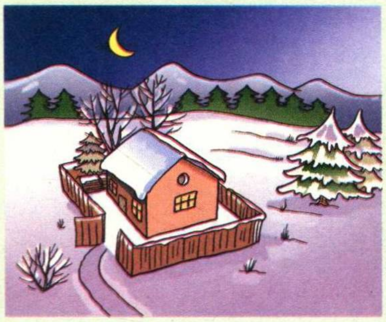


图11.2-3 如果平时注意观察月亮的圆缺变化，你就能判断这张照片是在黄昏拍摄的还是在黎明拍摄的！

在望和下弦之间的“月芽”称为残月；在朔和上弦之间的“月芽”称为新月。

你是否注意观察过，上弦时月面的弧线是在月面的东侧还是在西侧？上弦月出现在黄昏还是出现在黎明？

简谐运动的表达式 在数学课中我们学习过正弦函数 $y = A\sin(\omega x + \varphi)$ 的图象。在上节我们已经得知，正弦函数可以描述简谐运动，那么用位移 x 表示函数值，用时间 t 表示自变量，这个正弦函数式便写为

请大家复习高中数学必修 4 中的相关知识。

$$\boxed{x = A\sin(\omega t + \varphi)} \qquad (2)$$

因此，要描述简谐运动的位移 x 与时间 t 之间的定量关系，必须知道物理量 A 、ω、φ。它们是描述简谐运动的基本的物理量。

● **哪个量代表简谐运动的振幅？**

因为 $|\sin(\omega t + \varphi)| \leqslant 1$，所以 $|x| \leqslant A$，也就是说，位移大小的最大值是 A，所以 (2) 式中的 A 代表了图 11.2-1 中的 OM，A 代表简谐运动的振幅。

● **哪个量代表简谐运动的频率？**

在数学课中我们学过，对于 $\sin(\omega t+\varphi)$ 来说，$(\omega t+\varphi)$ 这个量在从 0 增加到 2π 的过程中，$\sin(\omega t+\varphi)$ 的值先从 0 增加到极大值 1，又从极大值 1 经过 0 减小到极小值 -1，然后又回到 0，这样循环变化一次。现在的问题是，时间 t 每增加多少，$\sin(\omega t+\varphi)$ 这个量循环变化一次？

设时间从 t_1 增加到 t_2 的过程中 $\sin(\omega t+\varphi)$ 循环一次，即周期为

$$T = t_2 - t_1$$

于是有

$$(\omega t_2+\varphi)-(\omega t_1+\varphi)=2\pi$$

由此解出

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

把（1）式代入，得

$$\omega=2\pi f \tag{3}$$

可见，（2）式中的 ω 是一个与频率成正比的量，叫做简谐运动的“圆频率”。它也表示简谐运动的快慢。

● **哪个量代表简谐运动的相位？**

数学课中我们学过，当 $(\omega t+\varphi)$ 确定时，$\sin(\omega t+\varphi)$ 的值也就确定了。所以 $(\omega t+\varphi)$ 代表了做简谐运动的质点此时正处于一个运动周期中的哪个状态，可见 $(\omega t+\varphi)$ 代表简谐运动的相位。φ 是 $t=0$ 时的相位，称做初相位，或初相。

实际上经常用到的，是两个具有相同频率的简谐运动的**相位差（phase difference）**，如果两个简谐运动的频率相等，其初相分别是 φ_1 和 φ_2，当 $\varphi_2>\varphi_1$ 时，它们的相位差是

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

此时我们常说 2 的相位比 1 超前 $\Delta\varphi$，或者说 1 的相位比 2 落后 $\Delta\varphi$。

综上所述，做简谐运动的质点在任意时刻 t 的位移是

$$x=\underbrace{A}_{\text{振幅}}\sin\overbrace{\left(\frac{2\pi}{\underbrace{T}_{\text{周期}}}t+\underbrace{\varphi_0}_{\text{初相}}\right)}^{\text{相位}}$$

思考与讨论

从表达式 $\omega t+\varphi$ 看，相位的单位应该是怎样的？

科学漫步

乐音和音阶

在音乐理论中，把一组音按音调高低的次序排列起来就成为音阶，也就是大家都知道的 do, re, mi, fa, sol, la, si, do（简谱记做“1”、“2”、“3”、“4”、“5”、“6”、“7”、“$\dot{1}$”）。下表列出了某乐律 C 调音阶中各音的频率①。

①表中所列各唱名的频率组成了“自然音阶”。研究乐理时还常用到“等程音阶”，其中各唱名的频率与表中数值略有差异，人耳很难分辨。

唱 名	do	re	mi	fa	sol	la	si	do(高)
该唱名的频率与do的频率之比	1:1	9:8	5:4	4:3	3:2	5:3	15:8	2:1
f/Hz（C调）	264	297	330	352	396	440	495	528

有趣的是，高音do的频率正好是中音do频率的2倍，而且音阶中各音的频率与dou的频率之比都是整数之比。

还有更有趣的事情。喜欢音乐的同学都知道，有些音一起演奏时听起来好听，有些音一起演奏时听起来不好听；前者叫做谐和音，后者叫做不谐和音。著名的大三和弦do、mi、sol的频率比是4:5:6；而小三和弦re、fa、la的频率比是10:12:15。大三和弦听起来更为和谐，那是因为三个音的频率比是更小的整数之比。随便拼凑在一起的三个音听起来不和谐，有兴趣的同学可以算一算它们的频率比，一定是三个大得惊人的整数。

从这个例子可以看到艺术后面的科学道理，但是，艺术远比1＋1＝2复杂。从上表中看出，频率增加一倍，音程高出8度。实际上这只对于中等音高是正确的。人的感觉十分复杂，对于高音段来说，频率要增加一倍多，听起来音高才高出一个8度。如果一个书呆子调律师按照“频率翻倍”的办法调钢琴，那就要砸饭碗了。

尽管如此，科学家们还是可以通过音乐家的实际测听，确定音高与频率的对应关系，并且据此设计出优美动听的电子乐器。

做一做

用计算机观察声音的波形

绝大多数计算机的操作系统都有录音、放音的功能，并能在放音时显示声振动的图象。

用计算机的录音功能录制两个乐音，例如笛声，一个是do，另一个是sol，把它们保存起来。用媒体播放软件复现这个声音，并把播放软件界面中“条形与波浪”的选项设为“波形”。这样可以从电脑屏幕上看到播放声音时的振动图象。按下“暂停”键得到静止图象。

把do和sol这两个声音的振动图象复制

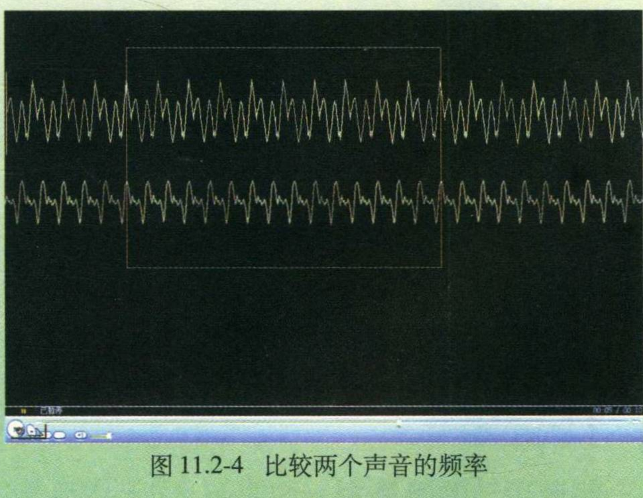


图11.2-4 比较两个声音的频率

到同一张空白幻灯片上，并把图象以外多余的区域剪裁掉，就得到图11.2-4所示的图形。在屏幕上作出矩形框，调节框的宽度，使框内包含“do”的10个周期。在屏幕上观察，多少个“sol”的周期与“do”的10个周期的时间相等？由此可以得到“sol”和“do”的频率之比。

采用这种方法可以比较两个声音的频率之比。如果已知其中一个声音的频率，还可以推知另一个声音的频率。

问题与练习

1. 有两个简谐运动：$x_1 = 3a\sin\left(4\pi bt + \frac{\pi}{4}\right)$ 和 $x_2 = 9a\sin\left(8\pi bt + \frac{\pi}{2}\right)$，它们的振幅之比是多少？它们的频率各是多少？$t = 0$ 时它们的相位差是多少？

2. 图11.2-5是两个简谐运动的振动图象，它们的相位差是多少？

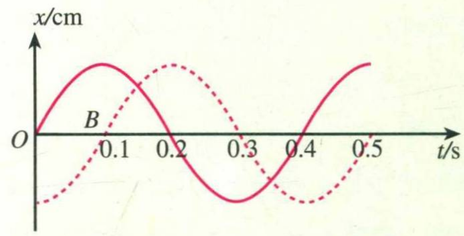


图11.2-5 求两个简谐运动的相位差

3. 有甲、乙两个简谐运动：甲的振幅为2 cm，乙的振幅为3 cm，它们的周期都是4 s，当 $t = 0$ 时甲的位移为2 cm，乙的相位比甲落后 $\frac{\pi}{4}$。请在同一坐标系中作出这两个简谐运动的位移—时间图象。

4. 图11.2-6为A、B两个简谐运动的位移—时间图象。请根据图象写出这两个简谐运动的位移随时间变化的关系式。

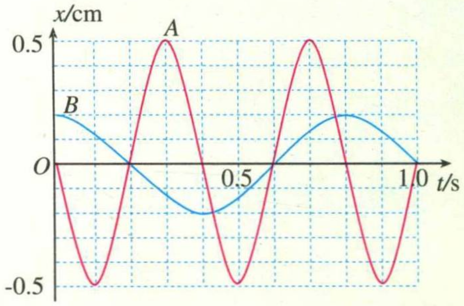


图11.2-6 两个简谐运动的振动图象

3 简谐运动的回复力和能量

我们已经学过，物体做匀变速直线运动时，所受合力的大小、方向都不变；物体做匀速圆周运动时，所受的合力大小不变、方向与速度方向垂直并指向圆心。那么，物体做简谐运动时，所受的合力有什么特点？

前两节只研究做简谐运动的质点的运动的特点，不涉及它所受的力，是从运动学的角度研究的。本节要讨论它所受的力，是从动力学的角度研究的。

简谐运动的回复力 如图11.3-1，在弹簧振子的例子中，

小球所受的力F与弹簧的伸长量成正比。由于坐标原点就是平衡位置，弹簧的伸长量与小球位移x的大小相等，因此有

$$F = -kx \tag{1}$$

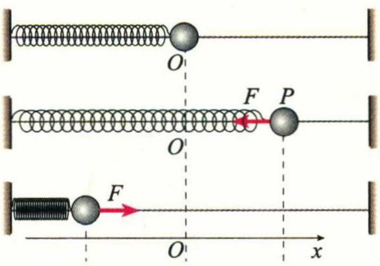


图 11.3-1 弹簧对小球的力的大小与弹簧的伸长量成正比，方向总是指向平衡位置。

式中k是弹簧的劲度系数。因为当x在原点的左侧，即x取负值时，力F沿坐标轴的正方向；而x在原点右侧，取正值时，力F沿坐标轴的负方向；即力F总与位移x方向相反，所以式中有负号。

理论上可以证明，如果质点所受的力具有(1)式的形式，质点就做简谐运动。也就是说：**如果质点所受的力与它偏离平衡位置位移的大小成正比，并且总是指向平衡位置，质点的运动就是简谐运动。**由于力的方向总是指向平衡位置，它的作用总是要把物体拉回到平衡位置，所以通常把这个力称为**回复力（restoring force）**。

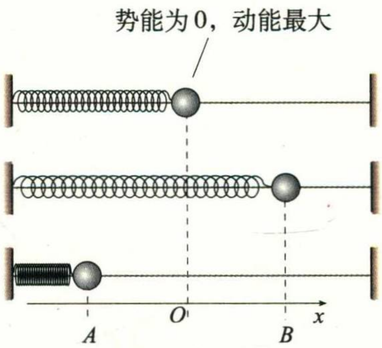


图 11.3-2 弹簧振子的运动和它的能量

简谐运动的能量 弹簧振子的速度在不断变化，因而它的动能在不断变化；弹簧的伸长量或压缩量在不断变化，因而它的势能也在不断变化。它们的变化具有什么规律？

思考与讨论

作为一个振动系统，弹簧振子的势能与弹簧的伸长量有关，动能与小球的速度有关。请在下表中填出图 11.3-2 中的弹簧振子在各位置的能量。某量取最大值、最小值用文字表示，某量为零用数字0表示，增加和减少分别用斜向上的箭头和斜向下的箭头表示。

位置	A	$A \to O$	O	$O \to B$	B
位移的大小					
速度的大小					
动能					
势能					
总能					

理论上可以证明，如果摩擦等阻力造成的损耗可以忽略，在弹簧振子运动的任意位置，

系统的动能与势能之和都是一定的，这与机械能守恒定律相一致。

实际的运动都有一定的能量损耗，所以简谐运动是一种理想化的模型。

做一做

弹簧下面悬挂的钢球，它所受的力与位移之间的关系也具有（1）式的形式吗？由于平衡时弹簧已经有了一个静伸长量 h，问题稍稍麻烦一点。这时仍要选择钢球静止时的位置为坐标原点，而小球所受的回复力实际上是弹簧的弹力与重力的合力。

请你试着导出小球所受的合力与它的位移的关系。

问题与练习

1. 一个振动，如果回复力与偏离平衡位置的位移成正比而且方向与位移相反，就能判定它是简谐运动。请你据此证明：把图11.3-3中倾角为 θ 的光滑斜面上的小球沿斜面拉下一段距离，然后松开，小球的运动是简谐运动。

2. 某人想判定以下振动是不是简谐运动，请你陈述求证的思路（可以不做定量证明）：

(1) 粗细均匀的一条木筷，下端绕几圈铁丝，竖直浮在较大的筒中（图11.3-4）。把木筷往上提起一段距离后放手，木筷就在水中上下振动；

(2) 光滑圆弧面上有一个小球，把它从最低点移开一小段距离，放手后，小球以最低点为平衡位置左右振动（图11.3-5）。

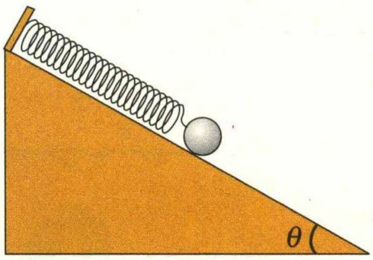


图11.3-3 斜面上小球—弹簧振动系统


图11.3-4 均匀木筷在水中的上下振动

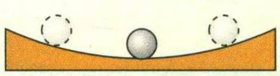


图11.3-5 圆弧面上小球的左右振动

3. 做简谐运动的物体经过 A 点时，加速度的大小是 $2\ m/s^2$，方向指向 B 点；当它经过 B 点时，加速度的大小是 $3\ m/s^2$，方向指向 A 点。若 AB 之间的距离是 10 cm，请确定它的平衡位置。

4. 图11.3-6为某物体做简谐运动的图象，在所画曲线的范围内回答下列问题。

(1) 哪些时刻物体的回复力与0.4 s时刻的回复力相同？