



司南

中学物理教材编写组

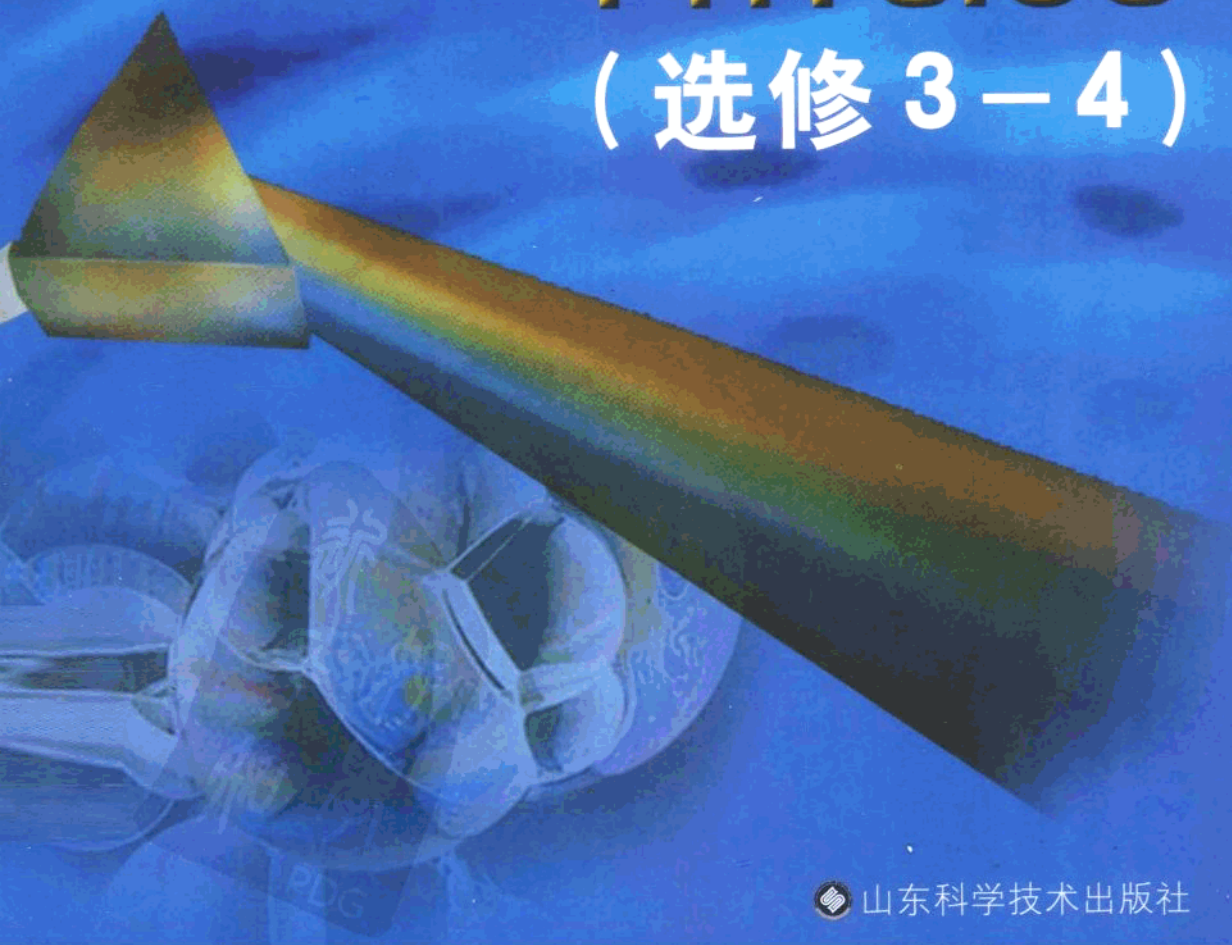
经全国中小学教材审定
委员会 2005 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

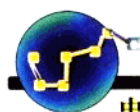
物理

PHYSICS

(选修 3-4)



 山东科学技术出版社



司南

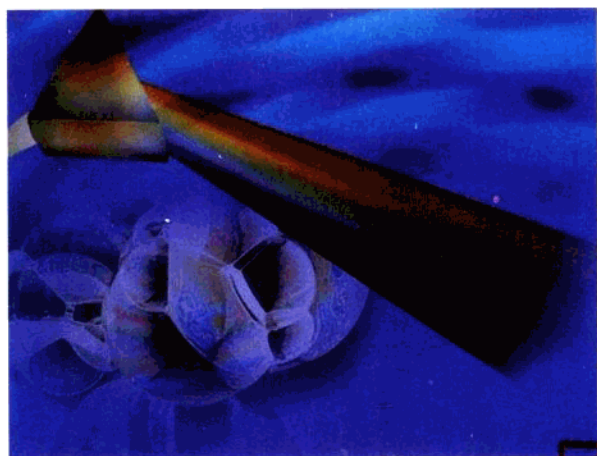
中学物理教材编写组

普通高中课程标准实验教科书

物理

PHYSICS

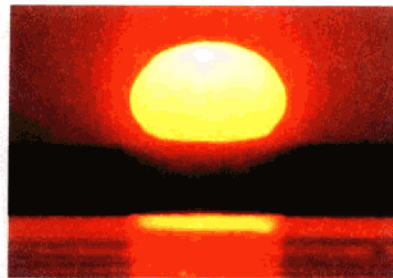
(选修 3-4)



山东科学技术出版社

目录

MULU



第1章 机械振动

导 入 从我国古代的“鱼洗”说起···	2
第1节 简谐运动·····	3
第2节 振动的描述·····	7
第3节 单 摆·····	12
第4节 生活中的振动·····	17

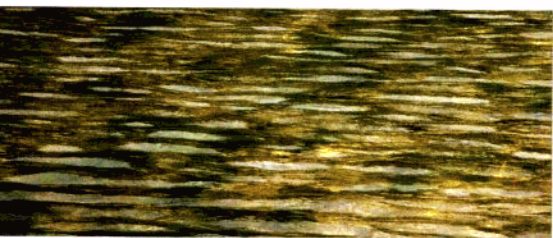
第2章 机械波

导 入 身边的波·····	23
第1节 波的形成和描述·····	24
第2节 波的反射和折射·····	31
第3节 波的干涉和衍射·····	37
第4节 多普勒效应及其应用·····	41

第3章 电磁波

导 入 无处不在的电磁波·····	46
第1节 电磁波的产生·····	47
第2节 电磁波的发射、传播和接收···	52
第3节 电磁波的应用及防护·····	58

专题探究 振动与波的实验与调研 ··· 64



第4章 光的折射与全反射

导 入 美妙的彩虹·····	67
第1节 光的折射定律·····	68
第2节 光的全反射·····	78
第3节 光导纤维及其应用·····	83

第5章 光的干涉 衍射 偏振

导 入 从五彩斑斓的肥皂泡说起·····	88
第1节 光的干涉·····	89
第2节 光的衍射·····	97
第3节 光的偏振·····	103
第4节 激光与全息照相·····	108

专题探究 光学部分的实验与调研 ··· 112

第6章 相对论与天体物理

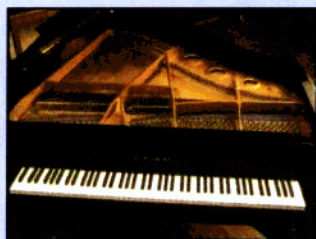
导 入 从双生子佯谬谈起·····	115
第1节 牛顿眼中的世界·····	116
第2节 爱因斯坦眼中的世界·····	120
第3节 广义相对论初步·····	126
第4节 探索宇宙·····	132

高中物理选修3-4

第1章

机械振动

- 导 入 从我国古代的“鱼洗”说起
- 第1节 简谐运动
- 第2节 振动的描述
- 第3节 单 摆
- 第4节 生活中的振动



高中物理选修3-4
PDG

导入

从我国古代的“鱼洗”说起

我国汉代有一种称为“鱼洗”的铜盆，盆的边缘有两只耳环，盆底有浮雕的鱼。在盆内注入适量清水，当用潮湿的双手来回摩擦铜盆两个耳环时，伴随着鱼洗发出的铮铮声，犹如泉涌的水柱从跃然欲出的鱼嘴中喷出，高数十厘米，令人惊叹不已。



图 1-1 我国古代的鱼洗



图 1-2 为什么还不喷水呢

经验丰富者轻轻摩擦几下，鱼洗便能喷水；而初试者往往费尽九牛二虎之力也无法让鱼洗喷出水来。这是为什么呢？

铜盆为什么会发生剧烈的振动？铜盆中的水为什么能飞溅出来？大家可以进行探究。

本章要求

- 通过观察和分析，理解简谐运动的特征。能用公式和图象描述简谐运动的特征。
- 通过实验，探究单摆的周期与摆长的关系。
- 知道单摆周期与摆长、重力加速度的关系。会用单摆测定重力加速度。
- 通过实验，认识受迫振动的特点。了解产生共振的条件以及在技术上的应用。

第1节

简谐运动

1. 什么是机械振动

微风吹过，树上的枝条会左右摇摆；轻轻一推，激动人心的秋千就荡起来（图1-3）……这些常见的运动都有一个共同的特点：物体在平衡位置附近做往复运动。这种运动叫做**机械振动**（mechanical vibration），简称**振动**。

机械振动是自然界和生活中一种常见的周期性运动。一切发声物体都在振动，有的振动比较简单，如音叉的振动；有的振动比较复杂，如吉他、小提琴等乐器琴弦的振动。

振动是怎样产生的呢？我们以小提琴琴弦的振动为例进行定性分析（图1-4）。

演奏前，琴弦所受合力为零，静止于

平衡位置。演奏时，琴弓摩擦琴弦，使其偏离平衡位置。琴弦由于形变，产生一个指向平衡位置的弹力。如果琴弦在平衡位置的左方，则弹力的方向向右，指向平衡位置；如果琴弦在平衡位置的右方，则弹力的方向向左，也指向平衡位置。总之，只要琴弦偏离平衡位置，它所受弹力的方向总是指向平衡位置。这种总是指向平衡位置的力叫**回复力**。

回复力可以由振动物体受到的某一个力来提供，也可以由振动物体受到的几个力的合力来提供。回复力是产生振动的条件，它使物体总是在平衡位置附近振动。平衡位置是指物体所受回复力为零的位置。



图1-3 泸沽湖转山节的秋千荡起来



图1-4 琴弦的振动使我们听到了美妙的乐音

2. 弹簧振子的振动

为了进一步探究振动的特征,我们从最简单、最基本的振动——弹簧振子的振动入手。

弹簧振子是一种理想模型,由一个质量可以忽略不计的弹簧与一个质量为 m 的物体构成。弹簧的一端固定,另一端同物体连接。在不计摩擦力的情况下,物体沿直线做往复运动(图 1-5)。

弹簧振子水平放置,物体处于平衡位置 O 时,弹簧长度为原长,物体所受的弹力为零[图 1-6(a)];将物体向右拉至位置 B 后释放,由于弹簧被拉长,弹簧对物体施加指向平衡位置的力,使物体向平衡位置方向运动[图 1-6(b)];到达平衡位置时,虽然物体所受弹簧的作用力为零,但由于惯性,会继续向左运动;运动至平衡位置左边时,物体会挤压弹簧,弹簧对物体施加指向平衡位置的力,阻碍其运动,直至速度减小到零,到达位置 C 处[图 1-6(c)];此后,在弹力的作用下,物体改变运动方向,返回位置 B ,继续相似的运动。物体就这样在平衡位置附近来回运动,形成振动。

取平衡位置 O 为 x 轴的原点,设 x 轴的正方向向右。根据胡克定律,物体所受的弹力

$$F = -kx$$

式中, k 是弹簧的劲度系数,负号表示力与位移的方向相反。

像弹簧振子那样,如果物体所受回复力的大小跟位移大小成正比,并且总是指向平衡位置,物体的运动叫做简谐运动(simple harmonic motion)。

设物体的质量为 m , 根据牛顿第二定律, 它的加速度

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

式中, k 和 m 都是正数, 且为定值。弹簧振子加速度的大小与位移大小成正比, 方向与位移方向相反。我们也把这种具有“加速度的大小与位移成正比、加速度的方向与位移方向相反”特征的运动, 称为简谐运动。

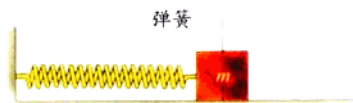


图 1-5 弹簧振子

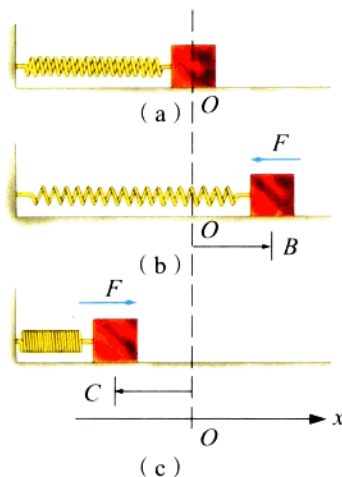


图 1-6 弹簧振子的振动

讨论与交流

图1-7是做简谐运动的小球在一次全振动过程中间隔相等的8个相继时刻的位置。试根据图示判断小球在一次全振动中位移大小和方向是怎样变化的,所受回复力、加速度又是如何变化的。并根据加速度与速度二者方向的关系,分析振子速度大小的变化情况。将你的判断填入表1-1空格中。

表1-1

小球位置	位移	弹力	加速度	速度
$O \rightarrow A$				
$A \rightarrow O$				
$O \rightarrow -A$				
$-A \rightarrow O$				

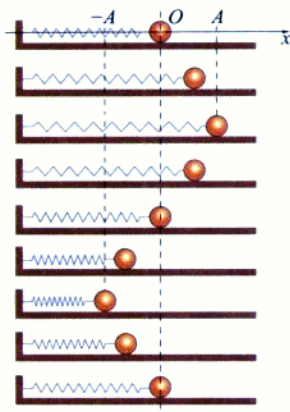


图1-7 小球的简谐运动

将你的结论与其他同学的结论比较,找出小球的位移、弹力、加速度以及速度何时最大,何时最小。

拓展一步

竖直方向的弹簧振子

如图1-8所示,在弹簧下端挂一重物,上端固定在支架上,组成竖直方向的弹簧振子。重物在竖直方向上受到弹力和重力的作用,这两个力的合力充当弹簧振子的回复力。当重物处于O点时,重力和弹力相互平衡,因此O点是弹簧振子的平衡位置。向下拉动重物,重物便在平衡位置附近振动起来。

竖直方向的弹簧振子所做的运动是否为简谐运动呢?

假设重物所受的重力为 G ,弹簧的劲度系数为 k ,重物处于平衡位置时弹簧的伸长量为 l_1 ,则

$$G = kl_1$$

设重物偏离平衡位置的位移为 l 时,弹簧的伸长量为 l_2 ,则

$$l = l_2 - l_1$$

取竖直向下的方向为正方向,则此时弹簧振子的回复力

$$F_{\text{回}} = G - kl_2 = kl_1 - kl_2 = k(l_1 - l_2) = -kl$$

所以,竖直方向弹簧振子的运动是简谐运动。

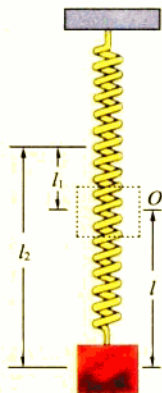


图1-8 竖直方向的弹簧振子



作业

1. 小鸟从树枝上飞走后，树枝会上下抖动，是什么力使树枝在某一位置附近振动呢？
2. 滑板运动为青少年所喜爱。滑板上装有4个轮子，踩着滑板可以在碗形滑道的内壁来回滑行。这种滑板运动可以看成振动吗？它的平衡位置在哪里？



(第1题)



(第2题)

3. 简述简谐运动物体的受力特点。
4. 关于简谐运动，下列说法错误的是
 - (A) 振动物体所受的回复力方向不变，永远指向平衡位置
 - (B) 振动物体如果速度越来越大，加速度一定越来越小
 - (C) 在恒力的作用下，物体不可能做简谐运动
 - (D) 物体的加速度和速度有时方向相同，有时方向相反
5. 做简谐运动的质点通过平衡位置时，具有最大值的物理量是
 - (A) 加速度
 - (B) 速度
 - (C) 位移
 - (D) 回复力
6. 在图1-6所示的弹簧振子中，设物体的质量为 m ，试证明振子的加速度 $a = -\frac{k}{m}x$ 。即振子的加速度与振子偏离平衡位置的位移大小成正比，方向与此位移的方向相反。



第2节

振动的描述

1. 振动特征的描述

说话或唱歌时，用手摸喉部，能感觉到声带的振动（图1-9）。声音大小发生变化，声带的振动也有变化。一般情况下，女生的声音比男生的声音“高”。这些都表明振动具有不同的特征。如何科学地描述振动呢？这就需要引入新的物理量。

(1) 振幅

做往复运动的物体，有一个最大位移。我们把振动物体离开平衡位置的最大位移叫做**振幅**（amplitude），用 A 表示。如图1-10所示，做简谐运动的物体，它的振幅就是线段 OB 或 OC 的长度。振幅是表示振动幅度大小或振动强弱的物理量。

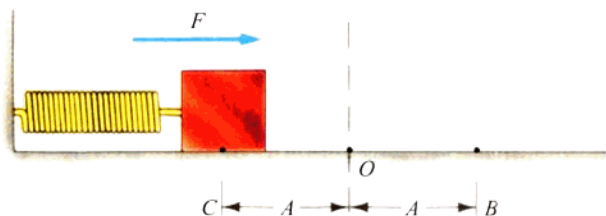


图 1-10 物体以 O 点为平衡位置在 B 、 C 间做简谐运动

声音大小就是由声带振动的振幅决定的，振幅越大，发出的声音就越大。当声音增大时，用手摸着喉部，就能感觉到声带振动加强。日常生活中，我们也常常利用增大振幅的方法来增大声音（如扩音器，图1-11）。

(2) 周期和频率

振动的最大特点是周期性。所谓周期性，就是振动物体经过一定时间之后又重新回到原来的状态。例如，图1-10中，做简谐运动的物体由 B 点经过 O 点到达 C 点，再由 C 点经过 O 点返回 B 点，我们就说物体完成了一次**全振动**，重新回到原来的



图 1-9 感受声带的振动

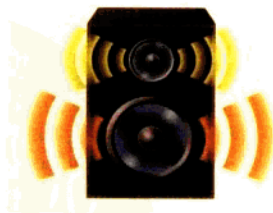


图 1-11 喇叭通过纸盆的振动发出声音，纸盆振动的振幅越大，音量越大

状态。完成一次全振动经历的时间叫做**周期** (cycle)。周期是表示振动快慢的物理量。

振动的快慢也可以用频率表示。振动物体在 1s 内完成全振动的次数叫做**频率** (frequency)。频率的单位是 Hz。

我们常用 T 表示周期, 用 f 表示频率。周期和频率之间的关系为

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

物体振动越快, 周期越短, 频率越高; 物体振动越慢, 周期越长, 频率越低。

物体振动的振幅反映了振动的强弱, 周期、频率反映了振动的快慢。那么, 在自由状态下 (振动系统不受外界作用), 物体振动的振动周期或频率与其振幅有关吗?

大量研究发现, 在自由状态下, 振动物体的周期 (或频率) 与振幅的大小无关, 只由振动物体本身的性质决定。物体在自由状态下的振动周期 (或频率), 叫做**固有周期** (或**固有频率**)。固有周期 (或固有频率) 是物体本身的属性, 与物体是否振动无关。如一面锣、一根绷紧的弦、一座桥梁、一栋建筑都具有各自的固有周期和固有频率, 一旦它们在自由状态下振动起来, 就会以固有周期或固有频率振动。

物体的固有频率不同, 发出的声音也不同。例如, 一般情况下, 女生声带振动的固有频率比男生大, 因此女生声音比男生声音“高”。钢琴能够发出高低不同的声音, 是因为钢琴每根弦的固有频率不同, 弹奏时键槌击打不同的弦, 就发出高低不同的声音 (图 1-12)。



图 1-12 钢琴的键槌击打长短、粗细不一的弦, 发出高低不同的声音

2. 简谐运动的图象描述

用振幅、周期和频率来描述简谐运动, 只能从整体上把握振动的强度和快慢程度。做简谐运动的物体, 运动情况每时每刻都在变化, 用图象的方法可以形象地描述这种变化。

迷你实验室

描绘简谐运动的图象

如图1-13所示,把一小棍压在桌面上,将拴毛笔的绳子套在小棍上,并在毛笔杆上绑上一小重物。毛笔下放一标有 x 轴、 y 轴的白纸,当毛笔沿 y 轴摆动时,操作者沿 x 轴拖动白纸,分析毛笔在白纸上画出的图象。

在矿泉水瓶的底部打一小洞,并装满浸有红颜料的水,用它替换毛笔做相似的摆动,分析矿泉水瓶摆动形成的图象。这两种图象哪种更接近简谐运动图象?为什么?

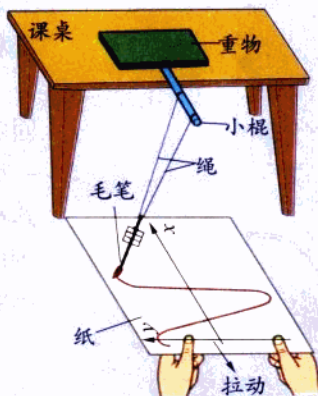


图1-13 哪种更接近简谐运动

实验和理论都表明,简谐运动的图象是一条正弦(或余弦)曲线,这一图线直观地表示了做简谐运动物体的位移随时间按正弦(或余弦)规律变化。在振动图象上还可以表示出振幅 A 和周期 T 。曲线在纵轴方向上的最大值等于振幅,相邻两个相同状态[图1-14中两个正(或负)的最大值]之间的时间间隔等于周期 T 。

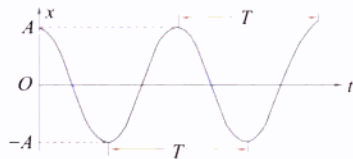


图1-14 简谐运动的图象

3. 简谐运动的公式表达

简谐运动的图象是一条正弦(或余弦)曲线,说明简谐运动的位移随时间按正弦(或余弦)规律变化。如何用公式来定量地表示这种变化呢?

如果以平衡位置为坐标原点,用 x 代表振动物体的位移, t 代表时间,将振动物体向坐标正方向运动至平衡位置的时刻取为计时零点(图1-15),则物体位移 x 与时间 t 之间的关系就可表述为

$$x = A \sin \frac{2\pi}{T} t$$

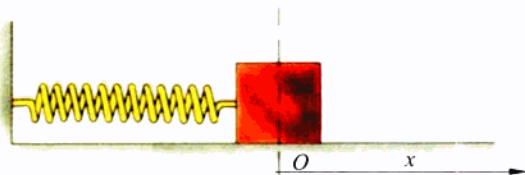


图1-15 弹簧振子做简谐运动

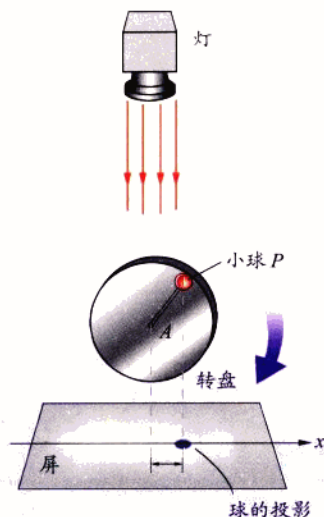


图 1-16 实验装置

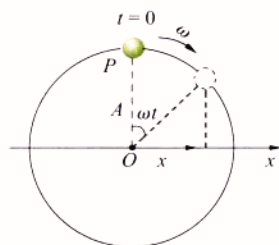


图 1-17 小球顺时针旋转示意图

上式称为简谐运动公式。为了更好地理解简谐运动公式，我们来观察这样一个实验。

图1-16是演示匀速圆周运动与简谐运动关系的实验装置。固定在竖直圆盘上的小球P随着圆盘以角速度 ω 做圆周运动，一束平行光自上而下照射小球，在圆盘下方的屏上可以观察到小球的投影。以圆盘圆心在屏上的投影为平衡位置，以小球到圆心的距离为振幅， A 为小球到圆心的距离，小球在屏上投影的运动可以等效为振动。

若以圆盘圆心 O 为坐标原点，建立图1-17所示坐标系，小球P在顶点的时刻作为计时零点， A 为小球到圆心的距离，则小球P在 x 轴上的投影随时间的变化关系为

$$x = A \sin \omega t$$

将此公式与简谐运动公式对比可知，小球在屏上投影的运动可视为简谐运动。因此，角速度 ω 也常被称为简谐运动的圆频率，它与简谐运动周期之间的关系为

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

该函数关系式进一步表明简谐运动的位移随时间按正弦或余弦规律变化。

拓展一步

将两个相同的弹簧振子拉离平衡位置，距离相同，然后同时释放。两个振子总是同时到达平衡位置和位移最大处，即总是步调一致（同步）。

将一个振子拉伸，另一个振子推压相同的距离，然后同时释放，此时，两个弹簧振子运动的步调正好相反（图1-18）。因此，要详细地描述简谐运动，除了振幅和周期外，还需要引入“相位”的概念。 $t=0$ 时对应的相位，叫做初相位。当简谐运动的初相位不为零时，位移与时间的关系式可写成

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

式中， $(\omega t + \varphi_0)$ 是简谐运动的相位， φ_0 是简谐运动的初相位。

我们常通过计算两个简谐运动的相位差，来比较两个振动的先后顺序。当两个振动的相位差是 2π 的整数倍时，两个振动的步调一致；当两个振动的相位差为 π 的奇数倍时，两个振动的步调正好相反。

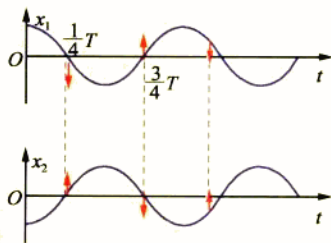
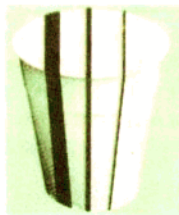


图 1-18 两个振动步调相反的简谐运动图象对比

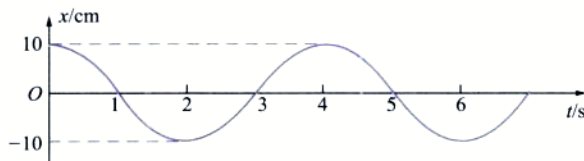


作业

1. 一弹簧振子的振幅是 2 cm, 振子完成一次全振动通过的路程是多少?
如果频率是 5 Hz, 振子每秒钟通过的路程是多少?
2. 将 3 根粗细不同的橡皮筋绕到杯子上, 做成一个弦乐器。橡皮筋不要相互接触, 分别拨动每根橡皮筋, 找出哪一根发出的声音最低, 哪一根发出的声音最高。
3. 关于固有频率, 以下说法正确的是
(A) 固有频率是由物体本身决定的 (B) 物体不振动时固有频率为零
(C) 振幅越大, 固有频率越小 (D) 所有物体固有频率都相同
4. A 、 B 两个物体同时振动。振动时, 在 A 完成 18 次全振动的时间内, B 恰好完成 15 次全振动, 求 A 、 B 两物体振动周期及振动频率之比。
5. 一个如图 1-6 所示的弹簧振子, 振幅为 3 cm, 周期为 2 s。取水平向右的方向为振子离开平衡位置的位移的正方向, 振子向右运动到最大距离处开始计时, 用适当的标度画出该弹簧振子的振动图象。
6. 下图是一个简谐运动的图象, 根据图象确定它的振幅和周期, 并判断出计时开始时振子处于什么位置。



(第2题)



(第6题)

7. 弹簧振子是研究简谐运动的一种理想模型吗? 为什么?



第3节

单摆

1. 单摆的运动



图 1-19 吊灯可以在平衡位置附近做周期性摆动

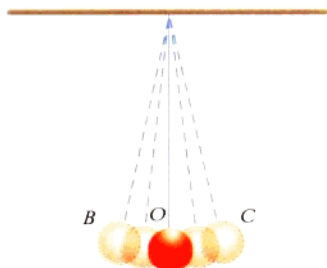


图 1-20 单摆做小角度的往复运动

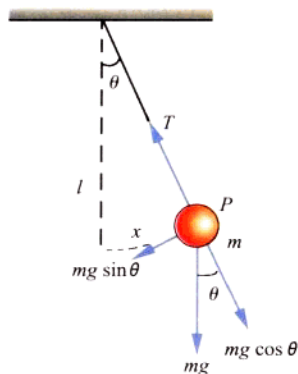


图 1-21 单摆受力分析

除了弹簧振子的运动可以看成简谐运动外，秋千、机械钟的钟摆、吊灯（图 1-19）等所做的小振幅摆动，也可以近似看成简谐运动。

为什么这些振动可以近似看成简谐运动呢？我们先来分析一个简化模型的振动。把一根细线上端固定，下端拴一个小球，线的质量和球的大小可以忽略不计，这种装置叫做**单摆**（simple pendulum）。单摆是一种理想模型（图 1-20），当摆球静止于 O 点时，摆线竖直下垂，摆球所受重力和摆线拉力彼此平衡， O 点是单摆的平衡位置。把摆球拉离平衡位置释放，摆球所受的重力和拉力不再平衡，在这两个力的共同作用下，摆球沿着以平衡位置 O 为 midpoint 的一段圆弧 $\widehat{BC}$ 做往复运动。

在研究摆球沿圆弧的运动情况时，与摆球运动方向垂直的力只改变摆球运动的方向，不改变摆球运动速度的大小，可不予考虑，只考虑沿摆球运动方向的力。如图 1-21 所示，当摆球沿圆弧运动到某点 P 时，重力沿圆弧切线方向的分力 $F = G_1 = mg \sin \theta$ ，使摆球在平衡位置 O 两侧振动。

在摆角很小的情况下（通常 $\theta < 5^\circ$ ）， $\sin \theta \approx \frac{x}{l}$ ， F 可进一步表示为

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

式中， l 为摆长， x 为摆球离开平衡位置的位移，负号表示 F 的方向与位移 x 方向相反。

对一个确定的单摆来说， m 、 l 、 g 是一定的， $\frac{mg}{l}$ 是一个常数。上式表明：在摆角很小的情况下，单摆所受回复力的大小与摆球位移的大小成正比，方向与摆球位移的方向相反。由此可知，在摆角很小的条件下，单摆的振动可近似看成简谐运动。



讨论与交流

在摆角很小的情况下,单摆的运动可近似看成简谐运动,而简谐运动可以用振动图象描述。你能用简单可行的实验方法画出单摆的振动图象吗?试自己设计方案,与同学讨论交流可行性,再动手做一做。

2. 单摆的周期

单摆的振动周期是由哪些因素决定的呢?要研究影响单摆振动周期的因素,可能要涉及单摆装置本身及单摆在振动过程中的一些因素。我们可以这样猜想:

(1) 单摆装置中,摆球的质量(体积不计)、摆长等因素可能会影响单摆的振动周期。

(2) 描述振动的物理量主要是振幅和周期,二者之间可能有联系。

(3) 单摆的回复力由重力的一个分力来提供,因此重力加速度可能会影响单摆的周期。

下面我们采用控制变量法,探究其中部分因素对单摆周期的影响。



实验与探究

探究影响单摆振动周期的因素

考虑到各种可能的因素,需要准备若干单摆[能够满足实验对摆球(铁球)质量大小和摆长的要求]和测量单摆振动周期的计时器。

(1) 取两个摆长和摆球质量都相等的单摆 a 和 b (图1-22),将两个摆球拉离平衡位置,其中一个摆球拉到摆角约 4° 处,另一个摆球拉到摆角约 2° 处,由静止释放,分别测定两个单摆在相同时间内完成全振动的次数。

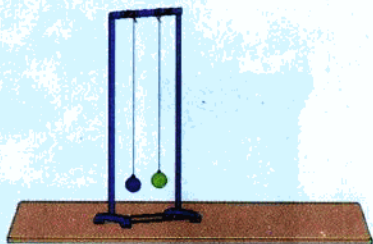


图 1-22 单摆实验装置

表 1-2 两个相同单摆的数据

单 摆	摆 角	摆动时间	全振动次数	结 论
<i>a</i>	约 4°			
<i>b</i>	约 2°			

(2) 取两个摆长相同、摆球质量不同的单摆 *c* 和 *d*, 将两摆拉至相同的摆角, 进行上述实验, 分别测量两个单摆在相同时间内完成全振动的次数。

表 1-3 两个质量不同单摆的数据

单 摆	质 量	摆动时间	全振动次数	结 论
<i>c</i>	大			
<i>d</i>	小			

(3) 取两个摆长不同、摆球质量相等的单摆 *e* 和 *f*, 将两摆拉至相同的摆角, 再进行上述实验, 记录下两个单摆在相同时间内完成全振动的次数。

表 1-4 两个摆长不同单摆的数据

单 摆	摆 长	摆动时间	全振动次数	结 论
<i>e</i>	长			
<i>f</i>	短			

【结论】通过探究得出的结论是: _____。

进一步的研究表明, 单摆的振动周期 T 与摆长 l 的平方根成正比, 与重力加速度 g 的平方根成反比, 即

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



图 1-23 摆钟

上式称为单摆周期公式, 是荷兰物理学家惠更斯首先发现的。

通过对单摆振动周期的研究我们发现, 单摆的振动周期是由单摆振动系统本身性质(摆长和当地的重力加速度)决定的。在一定地点, 重力加速度的值一定, 一定摆长的单摆就有恒定不变的周期。人们利用摆的这个性质来计量时间, 制成了摆钟(图 1-23)。当然, 如果能够测出单摆的摆长和周期, 也可以利用单摆的周期公式计算出当地的重力加速度。