

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

WULI

选修

3-4



教育科学出版社

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

WULI

选修

3-4



教育科学出版社
·北京·

责任编辑 郑 军 莫永超
封面设计 侯 威
版式设计 侯 威
责任校对 刘永玲
责任印制 曲凤玲

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

教育出版社 出版发行

(北京·朝阳区安慧北里安园甲 9 号)

邮编: 100101

市场部电话: 010-64989009 010-64891796 (传真)

编辑部电话: 010-64989523 010-64989519 (传真)

网址: <http://www.esph.com.cn>

各地新华书店经销

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

开本: 890 毫米 × 1240 毫米 1/16 印张: 7.5

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-5041-3356-6

定价: 8.70 元

(如有印装质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换)

主 编 陈熙谋 吴祖仁

本册主编 张三慧

本册编者 邱小文 周昌鲜 王 平

王 磊 陈琪兮 谷丽雅



目录

第一章 机械振动



1. 简谐运动	2
2. 单摆	6
3. 简谐运动的图像和公式	9
4. 阻尼振动 受迫振动	13
5. 实验探究: 用单摆测定重力加速度	16
本章小结	19
习题	19

第二章 机械波



1. 机械波的形成和传播	22
2. 横波的图像	25
3. 波的频率和波速	29
4. 惠更斯原理 波的反射与折射	31
5. 波的干涉、衍射	35
6. 多普勒效应	40
本章小结	43
习题	44

第三章 电磁振荡 电磁波



1. 电磁振荡	46
2. 电磁场和电磁波	48
3. 电磁波谱 电磁波的应用	52
4. 无线电波的发射、传播和接收	55
本章小结	59
习题	59

第四章 光的折射



1. 光的折射定律	62
2. 实验探究: 测定玻璃砖的折射率	67
3. 光的全反射	69
本章小结	75
习题	75

第五章 光的波动性



1. 光的干涉	78
2. 实验探究: 用双缝干涉测光的波长	83
3. 光的衍射与偏振	85
4. 激光	89
本章小结	92
习题	93

第六章 相对论



1. 经典时空观	96
2. 狭义相对论的两个基本假设	98
3. 相对论时空观	100
4. 相对论的速度变换定律 质量和能量的关系	106
5. 广义相对论点滴	108
本章小结	113
习题	114

第一章 机械振动

- ◆ 简谐运动
- ◆ 单摆
- ◆ 简谐运动的图像和公式
- ◆ 阻尼振动 受迫振动
- ◆ 实验探究：用单摆测定重力加速度

我们的世界到处都有振动。从日常生活到生产技术，以及自然界中到处都存在着振动。一切发声体都在振动，机器的运转总伴随着振动，海浪的起伏以及地震也都是振动，就是晶体中的原子也都在不停地振动着。

研究振动，是我们认识世界的一个重要方面。



1 简谐运动



挂在弹簧中间的小球，
左右做往复运动。
(a)



树梢在微风中摇摆。
(b)

图 1-1-1

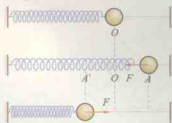


图 1-1-2 弹簧振子

● 机械振动



活动

如图 1-1-1 所示,请你描述小球和树梢的运动情况。

用手向左(或向右)拉图 1-1-1(a)中挂在弹簧中间的小球,放手后小球将以原来的位置为中心,左右做往复运动。物体(或物体的某一部分)在某一中心位置两侧所做的往复运动,叫做机械振动,通常简称为振动(vibration)。这个中心位置称为平衡位置(equilibrium position)。

振动现象在自然界中是广泛存在的。钟摆的摆动,水中浮标的上下浮动,挑着物体行走时扁担的颤动,树梢在微风中的摇摆,都是振动。一切发声的物体都在振动。

● 简谐运动

如图 1-1-2 所示,在光滑的水平杆上套着一个小球,弹簧一端固定,另一端连接在小球上,小球可以在杆上滑动。小球和水平杆之间的摩擦忽略不计,弹簧的质量比小球的质量小得多,也可忽略不计。这样的系统称为弹簧振子,其中的小球常称为振子。下面我们研究振子在 O 点附近的往复运动。



观察思考

振子静止在 O 点时,弹簧没有发生形变,长度为原长。把振子拉到平衡位置右方 A 点时,弹簧伸长量为 OA ,放开振子,观察振子的振动,并回答下列问题。

1. 弹簧伸长的长度 OA 和弹簧最大压缩的长度 OA' 有什么关系?

2. 振子从 A 经 O 到 A' 和振子从 A' 经 O 到 A 所用的时间有什么关系?

3. 振子为什么能以 O 点为中心在水平杆上做往复运动?

如图 1-1-3 所示, 以平衡位置 O 为坐标原点, 建立 Ox 轴, 向右为 x 轴的正方向. 振子在任意时刻相对于 O 点的位移可用 x 表示, x 值的大小表示振子相对于 O 点的距离, 也是弹簧的伸长 (或压缩) 量; x 值的正负表示振子在 O 点的右侧还是左侧, 振子所受的弹力的大小和方向可用胡克定律 $F = -kx$ 来表示.



活动

在图 1-1-3 (a) 中, 振子的位移 $x_1 =$ _____ cm, 相对于平衡位置的距离为 _____ cm, 位移的方向是 _____; 在图 1-1-3 (b) 中, 振子的位移 $x_2 =$ _____ cm, 相对于平衡位置的距离为 _____ cm, 位移的方向是 _____.

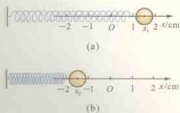


图 1-1-3 振子的位移

振子在振动过程中受到三个力的作用: 重力、杆的支持力和弹簧的弹力. 竖直方向所受的重力和支持力平衡, 对振子的运动没有影响. 理想情况下可忽略杆与振子间的摩擦力, 只有弹簧的弹力改变振子的运动状态. 在图 1-1-2 中, 当振子运动到 O 点右侧时, 弹簧伸长, 给振子一个向左的弹力; 当振子运动到 O 点左侧时, 弹簧压缩, 给振子一个向右的弹力. 总之, 当小球偏离平衡位置时, 都会受到一个指向平衡位置的力, 这种力叫做回复力 (restoring force).

根据胡克定律 $F = -kx$, 弹簧振子所受的力 F 正比于振子偏离平衡位置的距离 x , 力的方向跟振子的位移方向相反, 总指向平衡位置, 在它的作用下, 振子在平衡位置周围做往复运动.

如果物体所受的力与它偏离平衡位置的位移大小成正比, 并且总指向平衡位置, 则物体所做的运动叫做简谐运动 (simple harmonic motion) 或谐振动. 弹簧振子的振动是简谐运动. 做简谐运动的振子称为谐振子. 简谐运动是最简单、最基本的振动. 一切复杂的振动都可看成是若干简谐运动的叠加.



(a) 音叉叉股的振动是简谐运动.



(b) 摆锤的振动是简谐运动.

图 1-1-4 简谐运动的实例

● 振幅、周期和频率

我们已经学习过用位移、速度、加速度等物理量来描述匀变速直线运动的特征；用角速度、周期、转速等物理量来描述匀速圆周运动的特征。我们用哪些物理量来描述简谐运动的特征呢？

在图 1-1-2 中，振子在光滑水平杆上的 A 点和 A' 点之间往复运动， $OA = OA'$ ，OA 是振动物体离开平衡位置的最大距离，叫做振动的振幅 (amplitude)。振幅是表示振动强弱的物理量。

如果振子由 A 点经 O 点运动到 A' 点，又由 A' 点经 O 点回到 A 点，我们就说振子完成了一次全振动。振子每完成一次全振动所用的时间是相同的，这个时间叫做振动的周期 (period)。单位时间内完成的全振动的次数，叫做振动的频率 (frequency)。

周期和频率都是表示振动快慢的物理量。用 T 表示周期，用 f 表示频率，则有 $f = \frac{1}{T}$ 。在国际单位制中，周期的单位是秒，符号是 s。频率的单位是赫兹，简称赫，符号是 Hz。1 Hz = 1 s⁻¹。

● 简谐运动的能量

? 观察思考

观察图 1-1-2 中振子运动速度的变化及弹簧长度的变化，由此分析系统能量的变化。

设 E_k 、 E_p 分别为弹簧振子在任一时刻 (或任一位置) 的动能和势能，当振子在平衡位置时，弹簧伸长量 (或缩短量) 为零，振子速度最大，此时弹性势能为零，动能有最大值为 $E_{km} = \frac{1}{2}mv_m^2$ ；振子相对平衡位置位移最大时，弹簧伸长量 (或缩短量) 最大，振子速度为零，此时弹性势能达最大值为 E_{pm} ，动能为零。弹簧的势能和振子的动能之和就是振动系统的总机械能 E ，如果不考虑摩擦和空气阻力，振动系统的总机械能守恒，即在任一时刻 (或任一位置) 系

统的总机械能都是相等的,等于振子处于平衡位置时或在离开平衡位置最大位移处的总机械能.

$$\begin{aligned}
 E &= E_p + E_k \\
 &= E_{pm} \\
 &= E_{km} \\
 &= \frac{1}{2}mv_m^2
 \end{aligned}$$

讨论交流

根据简谐运动的特征,分析图 1-1-2 中,振子在一次全振动过程中,与弹簧振子有关的各物理量的变化.

以平衡位置 O 点为原点,水平向右为 x 轴的正方向,填写表 1-1-1.

表 1-1-1

振子位置 物理量	A 点	A → O	O 点	O → A'	A'	A' → O	O	O → A
位移的方向	正	正	—	负	负	负	—	正
位移的大小	最大	减小	零	增大	最大	减小	零	增大
回复力的方向								
回复力的大小								
加速度的方向								
加速度的大小								
速度的方向								
速度的大小								
动能								
弹性势能								

练习与评价

1. 一个质点做简谐运动,振幅为 4 cm,频率为 2.5 Hz. 设从该质点某次经过平衡位置时开始计时,求此后 2.5 s 末质点位移的大小和在此 2.5 s 内质点通过的路程.
2. 一个弹簧振子,第一次在弹簧被压缩 x 后开始振动,第二次在弹簧被压缩 $2x$ 后开始振动,求两次振动的振幅之比.

发展空间

1. 对图 1-1-2 中弹簧振子的简谐运动, 下列说法中正确的是()

- A. 振子在振动过程中, 速率相同时, 弹簧的长度一定相同
- B. 振子从左端点向平衡位置运动的过程中, 弹簧弹力始终做负功
- C. 振子在振动过程中的回复力由弹簧的弹力提供
- D. 振子在振动过程中, 系统的机械能守恒

2. 一质点做简谐运动, 先后以相同的速率依次经过 A 、 B 两点, 历时 1 s , 质点通过 B 点后再经过 1 s 又第二次经过 B 点. 在这两秒内, 质点通过的总路程为 12 cm , 则质点的振动周期和振幅分别为多少?

2 单摆

● 单摆的简谐运动



活动

在图 1-2-1 的装置中, 若忽略悬挂小球的细线的伸缩和质量, 且线长比球的直径大得多, 这样的装置就叫做单摆 (simple pendulum). 如果拉开摆球, 使它偏离平衡位置一个小角度, 然后放开, 摆球将沿着以平衡位置 O 为中点的一段圆弧 AOA' 做往复运动, 这就是单摆的振动 (图 1-2-2). 请讨论下列问题.

1. 单摆振动过程中, 摆球在任意点 P 受几个力作用? 分别是什么力?

2. 若摆球在 P 点时, 悬线与竖直方向的夹角为 θ , 则重力沿切线方向的分力为多大?



图 1-2-1 悬线下小球的摆动

为了研究摆球的运动, 我们来分析摆球在 P 点所受的力. 摆球所受重力 G 可分解为沿圆弧切线方向上的分量 G_1 和沿摆线方向的分量 G_2 ; 摆球所受悬线的拉力 T 在圆弧切线方向上没有分力, 如图 1-2-2 所示.

重力沿圆弧的分力

$$G_1 = mgsin\theta$$

正是这个力提供了使摆球振动的回复力, 选平衡位置为坐标原点, 水平线为 x 轴, 当偏角 θ 很小时 ($\theta < 5^\circ$) 弧线与 x 轴近似重合, $\sin \theta \approx x/l$, 所以单摆的回复力为

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

其中 l 为摆长, x 为摆球偏离平衡位置的位移, 负号表示回复力 F 与位移 x 的方向相反。由于 m 、 g 、 l 对一个单摆都有确定的数值, mg/l 可以用一个常数 k 表示。因而上式可以写成

$$F = -kx$$

可见, 在偏角很小的情况下, 单摆摆球所受的回复力与偏离平衡位置的位移成正比, 这与弹簧振子所受的回复力形式相同, 因而单摆在偏角很小时的振动是简谐运动。

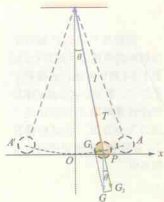


图 1-2-2 单摆的振动

● 单摆做简谐运动的周期



实验探究

单摆的周期和摆长的关系

1. 测量单摆周期

(1) 猜测单摆的周期与哪些因素有关。

(2) 如何测出单摆的周期?

把单摆从平衡位置拉开一个很小的角度释放, 使单摆做简谐运动。以摆球通过平衡位置时开始计时, 用停表记下摆球通过平衡位置 n 次所用的时间 t , 因为单摆完成一个周期的振动, 经过平衡点两次, 所以有 $t = \frac{n}{2}T$, $T = \frac{2t}{n}$ 。

用米尺量出悬线长度 l' , 用游标卡尺量出摆球的直径 d , 则摆长 $l = l' + \frac{d}{2}$ 。

2. 探究单摆周期 T 与摆长 l 的关系

(1) 改变单摆的摆长, 测出不同摆长单摆的周期, 自己设计一个表格, 把所测数据填入表中。

(2) 根据表中数据, 在坐标纸上描点, 以 T 为纵轴, l 为横轴, 画出 $T-l$ 图像。



惠更斯

(Christiaan Huygens, 1629—1695)

荷兰物理学家惠更斯在 1656 年左右, 利用摆的等时性原理, 制成第一座摆钟。惠更斯还发现了土星的卫星和光环, 以及猎户星云等。他提出了光是一种波动的观点。



根据理论可以计算出不同摆角的单摆振动周期 T_0 ，从表1-2-1可以看出，当摆角小于 5° 时，单摆的实际周期 T 与理论计算周期 T_0 比较相差不超过万分之五。在这种情况下，它与简谐运动规律符合得相当好。

(3) 根据表中数据，在坐标纸上描点，以 T 的平方为纵轴， l 为横轴，画出 T^2-l 图像。

分析 T^2-l 图像，你得到的周期和摆长的关系是什么？

表 1-2-1 不同摆角下单摆实际周期 T 与理论计算周期 T_0 的比较

θ	5°	10°	15°	20°	30°	45°	60°
T/T_0	1.0005	1.0019	1.0043	1.0077	1.0174	1.0369	1.0719

惠更斯研究了单摆的振动，发现在偏角很小的情况下，单摆做简谐运动的周期 T 跟摆长 l 的二次方根成正比，跟重力加速度 g 的二次方根成反比，跟振幅、摆球的质量无关，并且确定了如下的单摆周期的公式

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1-1)$$

练习与评价

1. 什么是单摆？
2. 为什么在偏角很小的情况下，单摆的摆动是简谐运动？
3. 单摆的周期与哪些量有关？
4. 频率为0.5 Hz的摆称为秒摆。在 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 的地点，用小硬木球做的秒摆的摆长应是多少？把木球换成钢球，并把摆长缩短到原摆长的 $\frac{1}{4}$ ，则此单摆的频率又是多少？
5. 一物体在某行星表面受到的万有引力是它在地球表面受到的万有引力的 $\frac{1}{4}$ ，在地球上走时正确的摆钟（摆钟的周期公式与单摆简谐运动的周期公式相同）搬到此行星上，此钟分针走一整圈所经历的时间实际上是（ ）

- A. $\frac{1}{4} \text{ h}$ B. $\frac{1}{2} \text{ h}$ C. 2 h D. 4 h

发展空间



走向社会

通过查阅资料或上网等方式，了解荷兰物理学家惠更斯的研究成果，讨论这些成果对科学发展和人类进步的重大意义。



实验室

自制一个单摆，观察单摆以不同振幅摆动时，周期有无变化？想想单摆的能量与什么量有关？

3 简谐运动的图像和公式

● 简谐运动的图像

图1-3-1所示的装置是一个悬挂在固定的支架上盛沙的漏斗. 用细线悬挂的漏斗可看作是单摆, 漏斗相当于摆球. 让它在一个固定的竖直平面做小角度摆动, 这个摆动是简谐运动. 在漏斗的下方水平放置一张中央画有直线 OO' 的薄板, 静止时漏斗位于 OO' 正上方



图1-3-1 演示简谐运动图像的装置



观察思考

如图1-3-2所示, 使漏斗在一个固定的竖直平面内摆动, 沿垂直于该平面的 OO' 方向匀速拉动薄板, 观察从摆动漏斗中流出的细沙在板上形成的曲线, 并思考以下问题.

1. 落在纸板上的细沙的位置和各时刻摆球(漏斗)的位置有什么关系?
2. 细沙在纸板上形成什么形状的曲线?

匀速拉动纸板, 因为每一时刻都有细沙从漏斗中漏出, 所以落在纸板上的细沙就记录下各个时刻摆球(漏斗)的位置. 以 OO' 表示时间轴, 以垂直于 OO' 的坐标 x 表示摆球相对于平衡位置的位移, 薄板上细沙形成的曲线就是单摆做简谐运动时, 位移 x 随时间 t 变化的图像, 称为简谐运动的图像(或称振动图像). 可以看出, 简谐运动图像是一条正弦(或余弦)曲线. 严格的理论和实验也都证明所有简谐运动的振动图像都是正弦(或余弦)曲线.

图1-3-3是用特殊的相机拍摄的一个由竖直弹簧吊着的弹簧振子振动的照片. 这种相机能使底片在相等的时间间隔内水平移动相等的间距并多次曝光. 因此, 照片能显示出振子的位移随时间变化的图像. 由照片可看出振子做简谐运动的图像是一条正弦(或余弦)曲线.

由简谐运动图像, 可找出物体振动的周期和振幅.

物体振动的位移—时间
图像称为振动图像

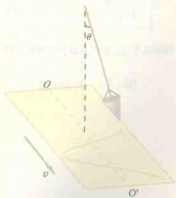


图1-3-2 单摆的振动图像



图1-3-3 弹簧振子的振动图像

讨论交流

图1-3-4为简谐运动图像,你能从图像中找出振动的周期和振幅吗?

简谐运动的表达式

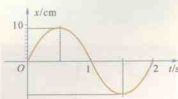
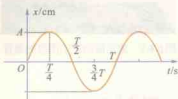
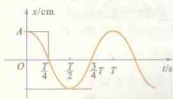


图1-3-4 简谐运动的图像



摆球在平衡位置时开始计时

(a)



摆球离平衡位置距离最大时开始计时

(b)

图1-3-5 振动图像

简谐运动的图像为正弦(或余弦)曲线,也就是说振动物体离开平衡位置的位移 x 与时间 t 的关系可用正弦函数(或余弦函数)来表示。

图1-3-5(a)所示的振动图像表示了物体(如振子或摆球)离开平衡位置的位移 x 和时间 t 的函数关系为

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) = A \sin(2\pi ft)$$

同理,图1-3-5(b)所示的振动图像表示了 x 和 t 的函数关系为

$$x = A \sin\left(2\pi ft + \frac{\pi}{2}\right)$$

简谐运动的表达式一般可以写成

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \phi\right) \text{ 或 } x = A \sin(2\pi ft + \phi) \quad (1-2)$$

式中 A 表示振动的振幅, T 和 f 分别表示了物体振动的周期和频率。物体在不同的初始位置开始振动, ϕ 值不同。从 $t=0$ 到 $t=T$,振动物体经历时间为一个周期,它来回振动了一次,位置和运动状态复原,这段时间内的运动在图像中表示为一段完整的正弦图形。

简谐运动的相位、相位差

在上面的公式 $x = A \sin(2\pi ft + \phi)$ 中,“ $2\pi ft + \phi$ ”这个量称为简谐运动的相位。 $t=0$ 时的相位 ϕ 叫做初相位,简称初相。

观察思考

1. 将两个摆长相同的单摆向同一方向拉开相同的角度,然后同时释放。观察两个单摆所做的简谐运动。

2. 将两个摆长相同的单摆向同一方向拉开相同的角度, 先释放其中的一个, 当它摆到平衡位置时, 再释放另一个. 观察两个单摆所做的简谐运动; 观察两个单摆同一时刻所处的位置.

3. 将两个摆长相同的单摆, 向相反方向拉开相同的角度, 然后同时释放. 观察两个单摆所做的简谐运动.

两个摆长相同的单摆, 周期相同, 把它们向同一方向拉开相同的角度, 然后同时放开, 将看到它们同时到达同侧的位移最大处, 也同时经过平衡位置, 它们总是“步调一致”地运动, 两个单摆在任一时刻都处于相同的状态. 这样在 x 的表达式中, 相位一定相同, 我们说它们的振动同相.

把两个摆长相同的单摆, 向相反方向拉开相同的角度, 然后同时放开, 则将看到它们在各时刻的位移总是相反, 同时到达相反一侧的位移最大处, 也同时经过平衡位置. 这样在 x 的表达式中, 相位一定相差 π , 我们说它们的振动反相.

当两个摆长相同的单摆, 从平衡位置拉开后, 相隔不同时间放开, 它们的振动步调将不相同, 即它们各时刻的相位也就不同, 或者说二者振动具有相位差.

频率相同、初相不同的两个振动物体的相位差是

$$(2\pi ft + \phi_2) - (2\pi ft + \phi_1) = \phi_2 - \phi_1$$

讨论交流

1. 齐步走时, 两手摆动的相位差是多少?
2. 在图 1-3-5 (a) (b) 中所表示的简谐运动, 两简谐运动的初相分别是多少? 相位差是多少?

练习与评价

1. 质点做简谐运动的振动图像如图 1-3-6 所示, 则下述说法中正确的是 ().
- A. 4 s 时速度为 0, 加速度为正向最大
- B. 10 s 时振子的位移为 -5 cm
- C. 前 10 s 内振子通过的路程为 50 cm
- D. 5 s 时振子的速度方向为 $-x$ 方向

2. 一质点做简谐运动的图像如图 1-3-7 所示, 分析在 0.2 s 到 0.3 s 这段时间内质点的运动情况 (包括向哪个方向运动, 速率、加速度如何变化等)。

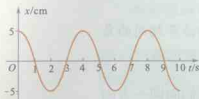


图 1-3-6

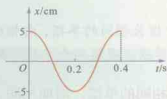


图 1-3-7

3. 一质点做简谐运动的振动图像如图 1-3-8 所示, 则下列结论中, 正确的是 ()。

A. 质点速度最大而加速度为零的时刻分别是 0.1 s、0.3 s

B. 质点速度为零而加速度为负方向最大值的时刻分别是 0 s、0.4 s

C. 质点所受的回复力方向由正变负的时刻是 0.3 s

D. 振动系统势能最大而加速度为正方向最大值的时刻是 0.3 s

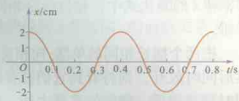


图 1-3-8

发展空间

1. 卡车在水平道路上行驶, 货物随车厢做上下方向的简谐运动而不脱离车厢底板。设向上为正方向, 其振动图像如图 1-3-9 所示。从图像中找出货物对底板的压力小于货物重力的时间段。

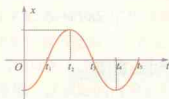


图 1-3-9

2. 两个质量相同的弹性小球 1 和 2 分别挂在轻线上。开始时, 两线平行, 两球的重心在同一水平线上, 且两球相接触, 线长分别为 $L_1 = 0.25 \text{ m}$ 和 $L_2 = 1 \text{ m}$ 。把小球 1 拉开一小偏角 (小于 5°) 后释放, 如图 1-3-10 所示。则它在 6 s 的时间内与小球 2 共碰撞多少次? (取 $g = \pi^2 \text{ m/s}^2$)

[提示: 理论上可证明, 质量相同的两球相碰时, 两球速度进行交换, 本题可利用此条件进行求解。]

走向社会

记录振动的方法在实际生活中有很多应用, 如医院里的心电图仪, 监测地震的地震仪等。查找资料了解记录振动的方法在实际中的应用。



图 1-3-10