



上海科技教育出版社欢迎广大师生来电来函指出教材的差错和不足，提出宝贵意见。

上海科技教育出版社地址：上海市冠生园路 393 号。

邮政编码：200235。

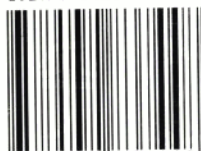
联系电话：021-64367970 转 202 分机。

传真电话：021-64702835。

网址：www.sste.com。

邮件地址：office@sste.com。

ISBN 7-5428-3744-3



9 787542 837448 >

此书如有印、装质量问题，请向本社调换
上海科技教育出版社 电话：64367970

普通高中课程标准实验教科书

物理 3-4

选修 3-4

世纪出版集团 出版发行
上海科技教育出版社

(上海冠生园路 393 号 邮政编码 200235)

各地新华书店经销 上海书刊印刷有限公司印刷

开本 890 × 1240 1/16 印张 6.75

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-5428-3744-3/G · 2189

定价：8.65 元

批准文号：沪价商专(2005)18 号 举报电话：12358

常用物理量的 SI 单位					
物理量		单位			备注
名称	符号	名称	中文符号	国际符号	
周期	T	秒	秒	S	
频率	f	赫[兹]	赫	Hz	
折射率	n				
临界角	C				
电场强度	E	伏[特]每米	伏/米	V/m	
磁感应强度	B	特[斯拉]	特	T	1T=1Wb/m ²
电容	C	法[拉]	法	F	1F=1C/V
电感	L	亨[利]	亨	H	1H=1Wb/A
电磁波在真空中的传播速度	c	米每秒	米/秒	m/s	

本书主要公式

胡克定律	$F = -kx$
单摆周期	$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
波速	$v = \lambda f$
LC 振荡周期	$T = 2\pi\sqrt{LC}$ (或 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$)
折射定律	$\frac{\sin i}{\sin r} = n$
临界角	$C = \arcsin \frac{1}{n}$
质能关系	$E = mc^2$



经全国中小学教材审定委员会 2005 年初审通过

选修 3-4

普通高中课程标准实验教科书

物理 3-4

PHYSICS

主 编 束炳如 何润伟

上海科技教育出版社

亲爱的同学：

欢迎你选择学习物理 3-4!

物理学的巨大魅力,可能早已让你深爱物理学!我们愿继续与你携手,迈向一座更加辉煌的物理学殿堂。

你正在跨入物理 3-4 的大门。在这里,你将与波同行、与光为伴,乘着电磁波的翅膀,穿越时空的隧道,领略物理世界的奇光异彩;在这里,惠更斯波动理论的形象直观,麦克斯韦电磁理论的优美简洁,赫兹捕捉电磁波时的欣喜惊叹,爱因斯坦时空观的卓越超凡……这一切都会让你流连忘返。

物理 3-4 将为你提供进一步探究的机会。你将通过实验和理论分析,探究振动、机械波、电磁波和光的有关现象和过程;这将使你充分发挥想象,尽情体验理想实验在研究时空问题中的作用,实现认识和观念的飞跃与发展。

为了在学习物理 3-4 的过程中获得更大的成功,请你浏览以下本书栏目介绍。



图 2-1 冲浪运动的原理

图 2-2 水面波动的原理

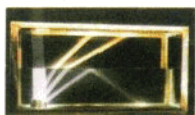
第 2 章 机械波

你知道冲浪运动吗?那浪涛的澎湃时而把人推向高峰,时而又将人卷入无底的深渊,让人们尽情享受冲浪的

每章的开头都有一些情景,都会提出一些问题,你知道怎样研究与解决这些问题吗?

分析论证

上述实验中,玻璃与空气相比较,玻璃是光密介质,空气是光疏介质。当光从光密介质进入光疏介质时,有可能发生全反射现象



分析论证

在这里,你将经历分析、综合,应用数学工具进行推理、得出物理学规律和公式的过程,体会到高中物理理论思维的魅力。

实验探究

这里将要求你提出问题,设计实验方案,动手做一些有趣的实验,进行科学探究。你得到的回报是探索科学奥秘的喜悦。

2.1

波的干涉与衍射

惠更斯-菲涅耳原理的数学表述,其目的是解释波的干涉现象(图 2-25)。

这些波在通过以及相遇的情况会怎样呢?



图 2-25 波的干涉现象

波的叠加原理

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

波的叠加原理是指:当两列波在同一介质中传播时,它们的位移在任何时刻、任何位置都满足叠加原理。

课题研究

这里提供了一些课题供你选择研究,这种研究将让你经历激动人心的探索,使你的才智得到充分的展示。

课题名称

研究声音的共鸣

如图 1-31 所示,取一只盛水的量筒,将一根内径比一半的玻璃管插入,使管内水面与量筒口相平。敲一下量筒底,使它发出空气柱的声音,可以听到嗡嗡的声音。上下移动玻璃管,观察有什么情况?换用不同频率的声音,情况又会有什么变化?请查找资料并完成实验,探究所发出空气柱的长度跟声音波长之间的关系。



图 1-31 研究声音的共鸣

多学一点

这里有更多的奥秘,你愿意去探索吗?

多学一点 分析电磁振荡过程

为讨论方便,可将上面的振荡电路简化为图 3-12 所示的电路。

先接通电源,给电容器充电;然后,将电容器与线圈接通,这样,图 3-13 所示的电路中就会产生电磁振荡。下面结合图 3-14,把电磁振荡过程中能量的转化过程同单摆摆球的能量转化过程作类比分析。



图 3-12 给电容器充电

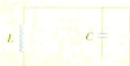


图 3-13 电容器放电

家庭作业与活动

这里为你提供了丰富多彩的学习活动,让你通过回顾进行自我评价,使你体验到成功的喜悦。

家庭作业与活动

- 把两张十瓦的两个刀口充分靠近,通电,组成电磁铁吸引铁钉,记录所看到的。
- 下列现象属于光的衍射现象的是:
 - 太阳光通过透明玻璃的窗缝后在地面上形成彩色光带
 - 通过缝衣板上的小孔观察远处明亮的电灯,看到电灯周围有一圈彩色光环
 - 雨滴落在潮湿水泥路面上形成涟漪,在阳光照射下路面上一圈圈的彩色光环
 - 城市的高楼面上出现彩色条纹
- 某物理学习小组用圆孔光栅射圆孔和不透明圆板后,分别得到如图 4-20 所示的衍射图样,据此可以判断:
 - a、b 都是光线射到圆孔后的衍射图样, a 中孔的直径较大
 - a、b 都是光线射到圆板后的衍射图样, b 中板的直径较大
 - a 是光线射到圆孔后的衍射图样, b 是光线

射到圆板后的衍射图样



图 4-20

- X 射线是一种波长约在 $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-8} \text{ m}$ 的电磁波。早在 20 世纪初,人们就发现 X 射线是电磁波争论较多。为什么用通常的光学光栅观察不到 X 射线的衍射现象?泊·劳厄的 X 射线衍射实验起到了“一箭双雕”的作用,被爱因斯坦称为“物理学最美的实验”。你认为他的实验初步解决了哪两个问题?

STS

利用超声波的多普勒效应,可以测定血流速度的快慢。如图 2-43 所示,超声探头发出频率为 f_0 的超声波,超声波遇到运动着的血细胞(相当于声源),沿反射光返回,再经探头所接收。由于血细胞相对于细胞的数量会改变,因此,大部分反射信号来自红细胞,其次来自白细胞和血小板。

如果探头发出的超声波频率为 f_0 ,接收器接收到的超声波频率为 f_1 ,声波在人体组织中的传播速度为 v ,则可测定血流速度 v_1 。若进行多普勒超声心动图检查时,只要声波与血流平行即可进行分析,只要测得频率 $f_0 = f - f_1$,就可知道血流速度。



图 2-43

信息浏览

考夫曼实验

1901 年,德国物理学家考夫曼(Kaufmann)在研究阴极射线的过程中,发现电子不仅具有质量,而且具有动量。他通过实验,证明了电子的动量与速度的平方成正比。如果设 m_0 表示电子的静止质量, m 表示运动电子的质量, v 表示速度,则动量 p 与速度 v 的关系为 $p = mv$ 。这一实验结果与经典力学的动量守恒定律相符合,成为验证相对论的一个重要实验。

证明

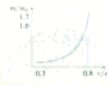
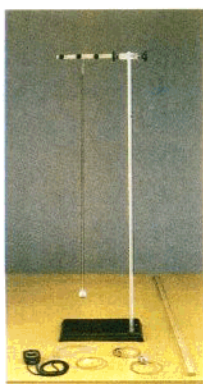


图 5-8 考夫曼实验数据

信息浏览、STS 栏目

这里为你提供了各种有趣、有用的资料,包括物理学史上的经典事例、科学家小故事等,它们反映了物理学与科学、技术、社会的紧密联系。你的视野将更开阔,你会更加热爱科学。

目 录



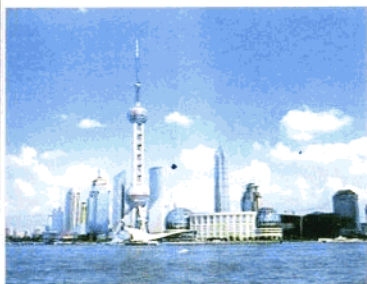
第 1 章 机械振动 6

- 1.1 研究简谐运动 7
- 1.2 探究摆钟的物理原理 12
- 1.3 探究单摆振动的周期 15
- 1.4 受迫振动与共振 19



第 2 章 机械波 24

- 2.1 机械振动的传播 25
- 2.2 有关机械波的案例分析 29
- 2.3 惠更斯原理 波的反射与折射 32
- 2.4 波的干涉与衍射 35
- 2.5 多普勒效应 40



第 3 章 电磁场与电磁波 46

- 3.1 麦克斯韦的电磁场理论 47
- 3.2 电磁波的发现 50
- 3.3 无线电通信 56
- 3.4 电磁波家族 61

第 4 章 光的波动性

4.1 光的干涉

4.2 光的衍射

4.3 光的偏振与立体电影

4.4 光的折射

4.5 全反射与光导纤维

4.6 激光

66

66

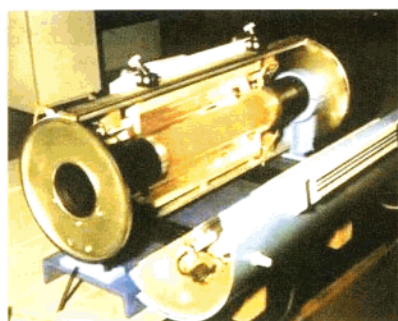
72

74

78

82

86



第 5 章 新时空观的确立

5.1 电磁场理论引发的怪异问题

5.2 狭义相对论的基本原理

5.3 奇特的相对论效应

5.4 走近广义相对论

5.5 无穷的宇宙

90

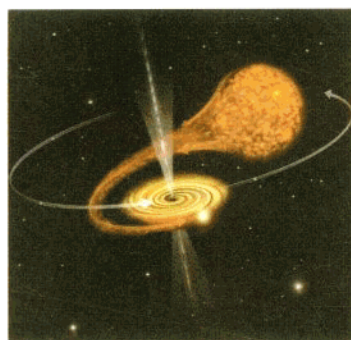
91

93

97

101

104



总结与评价 课题研究成果报告会

106



图 1-1 交响乐团演出

第 1 章 机械振动

大型交响乐团的演奏总会给我们留下深刻的印象,各种乐器(如锣、鼓、琴弦等)都在和谐地振动,不禁使人产生奇妙的遐想。其实,在我们的周围,“振动”无处不在。例如,钟摆的运动、微风中树枝的摆动、水面上漂浮物的浮动、车辆行进时车身的振动、大地的抖动等。可以说,在这个世界上,几乎所有物体都在振动。

大弦嘈嘈如急雨
小弦切切如私语
嘈嘈切切错杂弹
大珠小珠落玉盘

——白居易《琵琶行》

振动是什么样的运动?

乐器怎么会发出动听的声音?

摆钟为什么能正确计时?

怎样利用振动的规律来为人类服务?

如何避免振动可能带来的危害?

.....

你想知道这些问题的答案吗?让我们从探究简谐运动的规律开始。



图 1-2 艺术家在演奏竖琴

1.1

研究简谐运动

机械振动(vibration)是物体以某一位置为中心的周期性往复运动。这种运动比以前研究过的直线运动、圆周运动等复杂。

本节先来研究最简单、最基本的简谐运动。

什么是简谐运动

实验探究 研究位移跟时间的关系

研究一个物体的运动,常用的方法之一是探究它的位移跟时间的关系。

实验装置如图 1-3 所示。系着弹簧的物块(弹簧振子)被气垫导轨托起,物块上固定一白色小球,拨动物块,小球便随物块以某一位置为中心做简谐运动。图 1-4 是小球运动的频闪照片。根据照片所提供的信息,可以研究它的位移跟时间的关系。

振动有一个中心位置。在研究振动时,为了确定振动物体某一时刻的位置,可将坐标的原点取在中心位置。

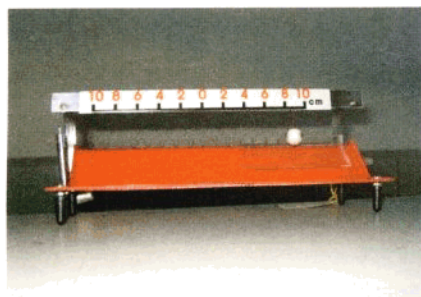


图 1-3 弹簧振子在气垫导轨上振动

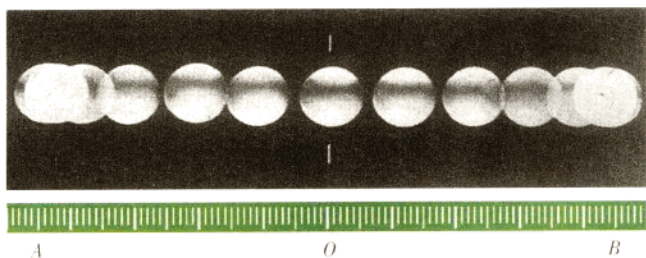
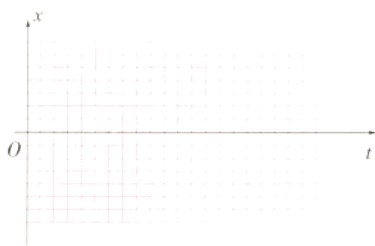


图 1-4 弹簧振子运动的频闪照片

在图 1-4 所示的频闪照片中,取小球在中心位置 O (平衡位置) 时为 $t=0$, 水平向右的位移为正, 水平向左的位移为负, 每次曝光的时间间隔为 Δt 。请你用刻度尺测量小球在不同时刻的位移, 并记录在你设计的表格中。

在坐标纸上以纵轴表示位移 x , 横轴表示时间 t , 每格表示一个 Δt 。根据表中的数据在坐标平面上标出相应的点, 用平滑的曲线将各点连接起来。

小球从 O 到 B , 再从 B 到 A , 最后回到 O 的过程, 叫做一次全振动。请在坐标平面上画出一个全振动的图像。



互相交流一下, 看看得到了怎样的图像?

理论和实验表明, 弹簧振子做简谐运动时, 其位移-时间图像是一条正弦曲线(或余弦曲线)。

我们用音叉、话筒、示波器再来做一个实验: 用橡皮锤敲打音叉, 音叉的振动通过空气传递给话筒, 话筒再把这种振动转化为音频电压输入示波器(图 1-5), 示波器上就显示出这个振动的位移-时间图像。它说明音叉的振动是什么运动?

对着话筒说话, 再观察示波器上的图像, 你又看到什么情况? 声带的振动是简谐运动吗?



图 1-5 用示波器研究声振动

用图像描述简谐运动

振动的位移-时间图像通常叫做振动图像, 它是对振动的一种形象描述。

我们知道, 研究不同形式的运动, 常需要用不同的物理量来描述。由于简谐运动是周期性的往复运动, 可用周期、频率等物理量来描述。下面通过一个案例来进行分析。

案例分析1

案例 图 1-6 是物体做简谐运动的振动图像。请根据图像回答

下列问题:(1)在图中 t_1 时刻和 t_2 时刻,物体的位移各是多少?(2)这个物体的振幅是多大?(3)这个振动的周期是多少?频率是多大?

分析 (1)从图中直接读出 t_1 时刻的位移为 -3cm ; t_2 时刻的位移为 2cm 。

(2)振幅指振动物体偏离平衡位置的最大位移。从图中读出位移最大值为 5cm ,因此振幅为 5cm 。

(3)振动是一个周期性往复运动,图中 a 到 b 表示物体完成了一次全振动又回到原来的状态,经历的时间即周期。可见,这个振动的周期为 2s ,频率为 0.5Hz 。

假如在弹簧振子上固定一枝笔,沿着垂直于振子振动方向匀速拉动一条纸带,笔就会在纸带上描出一幅振动图像,如地震仪和心电图仪等描绘的都是振动图像(图 1-7)。振动图像在生产、科研等方面具有实际意义。

探究产生简谐运动的原因

分析论证

图 1-3 所示的实验中,振子为什么做往复运动?显然,这是由于它受到弹簧弹力作用的缘故。在振子运动的全过程中,弹簧弹力的方向始终指向平衡位置。物理学中,把振动物体受到的总是指向平衡位置的力,叫做回复力。

在这个实验中,根据胡克定律,振子受到的弹力在任一时刻都为

$$F = -kx$$

式中的比例系数 k 是弹簧的劲度系数。因此,振子所受到的回复力的大小跟振子的位移 x 成正比,方向始终指向平衡位置。

物理学中,把物体在跟位移的大小成正比,方向总是指向平衡位置的力作用下的振动,叫做简谐运动(simple harmonic motion)。

案例分析2

案例 对于图 1-6 所描述的简谐运动,试问:(1)在 t_1 时刻,振

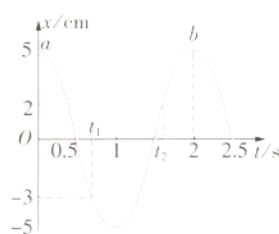
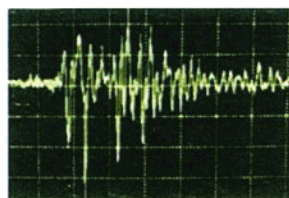
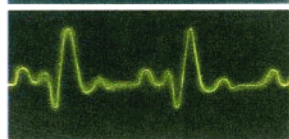
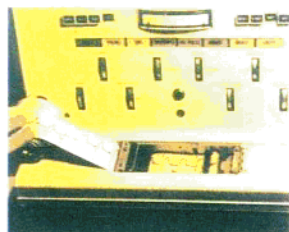


图 1-6 用图像分析简谐运动



a. 地震仪描绘的地震图像



b. 心电图仪及其描绘的心脏振动图像

图 1-7

动物体所受到的回复力和加速度的方向如何？(2)在 t_2 时刻，振动物体的速度方向如何？

分析 (1) 回复力与位移的方向总是相反，因此，此时回复力的方向为正，指向平衡位置；加速度方向与回复力一致，也指向平衡位置。

(2) t_2 时刻处在正方向位移增大的阶段，此时速度为正方向，物体正远离平衡位置。

信息浏览

复杂振动可以看成是由简谐运动合成的

在图 1-5 所示的实验中，如果使两个频率不同的音叉同时振动发声，观察示波器上的位移-时间图像，可以发现图像不再是正弦或余弦曲线，而显得比较复杂。这是由两个简谐运动共同引起的振动。假如一个物体同时参与两个简谐运动 A 和 B。A 的位移-时间图像如图 1-8a 所

示；B 的位移-时间图像如图 1-8b 所示。我们就得到物体合振动的位移-时间图像(图 1-8c)。这就是说，一个比较复杂的振动的图像，可以由几个简谐运动的图像合成得到。所以，简谐运动虽然最简单，但却是最基本的、最重要的振动，是学习其他振动的基础。

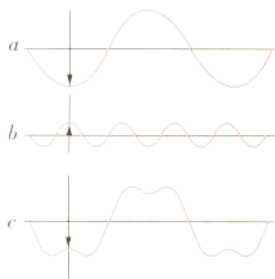


图 1-8 振动合成示意图

多学一点 推导简谐运动的位移公式

先来做如图 1-9 所示的实验。在可调转速的电动机的转动轴上固定一根细杆，杆的一端装一小塑料球。电动机通电后，从侧面用灯光照射，在墙壁上观察小球影子的运动。然后，在小球和墙壁之间放一个竖直方向的弹簧振子，调节电动机的转速，可以使小球与振子的影子的运动始终重合。

这个实验表明：做匀速圆周运动的质点在直径上的投影的运动是简谐运动。

由于简谐运动与匀速圆周运动存在上述关系，我们可以借用匀速圆周运动来推导简谐运动的位移公式。如图 1-10 所示，设质点 P 以原点为圆心，以简谐运动的振幅 A 为半径，在圆周上以角速度 ω 做匀速圆周运动。当 $t = 0$ 时，它的投影在 O 点，在任一时刻 t，质点到了 P' 点，它的投影 a 的位移为

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

上式中的 ω 叫做简谐运动的圆频率。质点做匀速圆周运动的

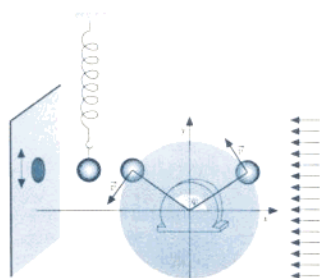


图 1-9 匀速圆周运动的小球在墙壁上的影子的运动是简谐运动

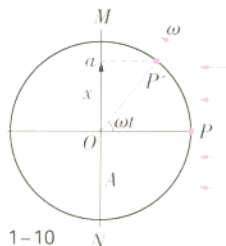


图 1-10

周期,就是其影子做简谐运动的周期,因此, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ 。则简

谐运动的位移跟时间的关系便为

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

可见,简谐运动的位移跟时间的关系是正弦函数,它的图像是正弦曲线。

如果将匀速圆周运动的向心力投影到直径上,就可以得到简谐运动回复力大小的表达式。如图 1-11 所示,由相似三角形的关系,有 $\frac{F}{F_{\text{向心}}} = \frac{x}{A}$, 则 $F = \frac{F_{\text{向心}}}{A} x$ 。因为 $F_{\text{向心}}$ 、 A 都是常量, $\frac{F_{\text{向心}}}{A}$ 可用常数 k 表示,考虑到力和位移的方向关系,于是有

$$F = -kx$$

有兴趣的同学可以用上面介绍的“参考圆”的思想方法推导简谐运动的速度、加速度跟时间的关系,以加深你对简谐运动的理解。



图 1-11

家庭作业与活动

1. 请根据已经学过的知识,说明图 1-3 所示的水平弹簧振子在振动过程中机械能是否守恒? 并分析弹簧振子的动能和弹性势能的变化情况,将结果填入下表。
2. 有一个物体在做简谐运动,它的振幅是 4cm,频率是 3Hz,这个物体在 2s 内一共通过了多少路程?
3. 水平弹簧振子的质量是 0.1kg,运动到平衡位

振子运动的范围	A	A 到 O	O	O 到 B	B	B 到 O	O	O 到 A
动能的变化情况								
动能最大的位置								
动能为零的位置								
势能的变化情况								
势能最大的位置								
势能为零的位置								

置左侧 2cm 处时,受到的回复力是 4N,那么,当它运动到平衡位置右侧 1cm 处时,它的加速度大小为多少? 方向如何?

4. 一根弹簧的上端固定,下端系一小球,将小球向下拉开一点距离后放手,小球便上下振动起来,试证明小球做简谐运动。(提示:使小球振动的回复力是小球所受到的重力和弹簧弹力的合力)
5. 学习了简谐运动的规律之后,请你谈一谈为什么最好用气垫导轨来做图 1-3 所示的实验。

1.2

探究摆钟的物理原理

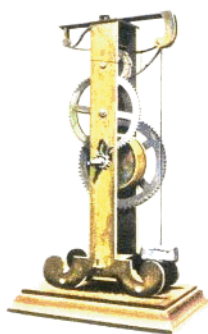


图 1-12 最早的摆钟模型

惠更斯的这个思想，不论在理论上，还是在实验方法上，都是一个独到的创见。

你仔细观察过摆钟吗？它为什么能够准确地计时？怎样调节它走时的快慢？伽利略(G. Galileo)最早发现了教堂里吊灯摆动的等时性。1641年，惠更斯(C. Huygens)按照伽利略的构想，发明制作了一个摆钟(图 1-12)。

惠更斯的科学抽象——单摆

惠更斯分析了钟摆摆动过程及其特性后指出，任意形状的物体在重力作用下摆动时，其质量可视为集中在悬挂点到物体重心的连线的某一点，这一点叫做摆动中心。于是，一个有复杂形体的摆，就可以简化为一个简单模型——一根很轻的细线系着一个有质量的质点，这个模型叫做单摆(simple pendulum)，如图 1-14 所示。质点的质量即单摆的质量，摆线的长度叫做单摆的摆长。

在实验室里，如果悬挂小球的细线的伸缩和质量可以忽略，细线的长度比小球直径大得多，这样的装置就可看成单摆。



图 1-13 摆钟



图 1-14 钟摆被抽象为单摆

探究单摆做简谐运动的条件

分析论证

单摆静止时摆球所处的位置 O 是单摆的平衡位置(图 1-15)。将摆球从平衡位置拉开一定距离后再释放，摆球就以平衡位置为中心沿着一段圆弧来回往复运动。

当摆球运动到图 1-15 中的任意位置 P 时，摆球受到的回复力是其重力 G 沿着圆弧切线方向的分力 G_1 。

$$F = G_1 = mg \sin \theta$$

若摆角 θ 很小(图 1-16), 则有 $\sin\theta \approx \theta = \frac{\widehat{OP}}{l}$, 并且位移 $x \approx \widehat{OP}$, 考虑了位移和回复力的方向后, 有

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

请思考: 上式中“-”号表示的物理意义是什么?

上式中, m 是摆球的质量, l 是摆长, g 是重力加速度, 都有确定的数值, $\frac{mg}{l}$ 可以用一个常数 k 来表示, 则上式又可以写成

$$F = -kx$$

这就是说, 在摆角很小时, 单摆所受到的回复力跟位移成正比而方向相反, 所以单摆做简谐运动。

你能设计一个实验, 描绘出单摆的振动图像吗?



图 1-15 单摆的受力分析



图 1-16 单摆做简谐运动的条件

研究振动的步调问题

利用单摆模型, 我们来探究描述振动的另一个重要的物理量。

实验探究 比较两个振动的“步调”

1. 在铁架台上悬挂两个相同的单摆, 若将两个摆球拉离平衡位置, 使两摆线跟竖直方向有相同的角度, 然后同时放开, 这两个单摆的运动应该是完全一样的。那么, 当先、后放开它们, 这两个单摆的运动情况一样吗?

请仔细观察, 两者的运动究竟有什么不同?

2. 再将两个单摆的摆球拉开到相同位置, 先放开一个, 等它摆动到另一边最大位移处时, 再放开第二个。

请仔细观察, 这两个单摆的运动又有什么不同?

分析论证

从上面的实验可知, 先后放开的两个单摆的振幅、频率是一

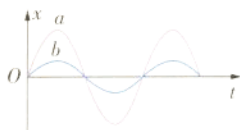


图 1-17 两个同相振动的图像

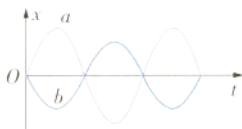


图 1-18 两个反相振动的图像

样的,但它们振动的“步调”是不一样的。为了描述这种区别,物理学中引入“相”(或相位、位相、周相)这个概念来描述振动的步调。在上述第一个实验中,两个单摆振动步调一致,就说它们的“相”是相同的,简称同相;当两个振动的“步调”不一致时,就说它们振动的“相”不同,或者说它们存在着相差。在第二个实验中,它们的振动“步调”正好相反,叫做反相。

用振动图像可以直观地表示不同振动的相。图 1-17 是在同一个坐标系里画出的两个同相振动的图像;图 1-18 是在同一个坐标系里画出的两个反相振动的图像。

相和相差在波的研究中是很重要的,在那里你将体会到它们的作用。

家庭作业与活动

- 关于单摆,下列认识中正确的是
 - 一根线系着一个球悬挂起来,这样的装置就是单摆
 - 可以看成单摆的装置中,细线的伸缩和质量忽略不计,线长比小球直径大得多
 - 单摆的振动总是简谐运动
 - 两个单摆只要结构相同,它们的振动步调便相同
- 对单摆的运动过程中所受到的力(不计阻力),有以下几个认识,正确的是
 - 受三个力,重力、线的拉力、回复力
 - 受四个力,重力、拉力、回复力、向心力
 - 只受两个力,重力和线的拉力
 - 视具体情况而定
- 对于单摆做振动的回复力,下列各项认识中正确的是
 - 它是重力和线的拉力的合力
 - 它是重力沿着运动圆弧切线方向的分力
 - 在平衡位置处,摆球受的回复力为零,而合力不为零
 - 在平衡位置处,摆球受力平衡而回复力仍然存在
- 一个单摆摆长为 L 、摆球的质量为 m ,单摆做简谐运动。当摆角为 θ 时,摆球振动的加速度为多少? 当它摆动到平衡位置时,若速度为 v ,那么,它振动的加速度又为多少? 此时的实际加速度是多少?

1.3

探究单摆振动的周期

单摆的周期跟哪些因素有关

提出问题

如果摆钟走时不准,修理钟表的师傅会拧一拧钟摆摆锤下方的螺母,调整其走时的快慢。他这样做的依据是什么呢?

猜想与假说

根据单摆的结构和单摆做简谐运动的条件,猜想一下,单摆做简谐运动的周期可能跟哪些因素有关?

制定计划与设计实验

根据图 1-19 给出的器材,再给一把游标卡尺,请制定一个实验方案来验证你的猜想是否正确。

交流与合作

请与同学讨论以下问题:

1. 怎样用米尺和游标卡尺测单摆的摆长?
2. 单摆在什么情况下才做简谐运动? 在实验中对单摆的摆角有什么限制?
3. 测定单摆的周期,可以取平衡位置为计时的起点,也可以取摆球到达最大位移处时为计时的起点,你觉得哪个办法较好?
4. 单摆的周期比较短,要用怎样的方法才测得更准确?

进行实验与收集证据

根据以上研究,逐一改变影响单摆振动周期的因素,完成实验测量工作,将实验数据填入你设计的表格中。

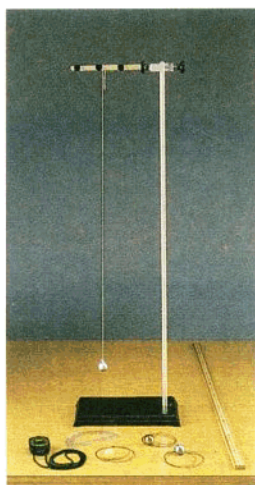


图 1-19 探究单摆周期的装置

在这里,测量周期的方法常用微小量累积法