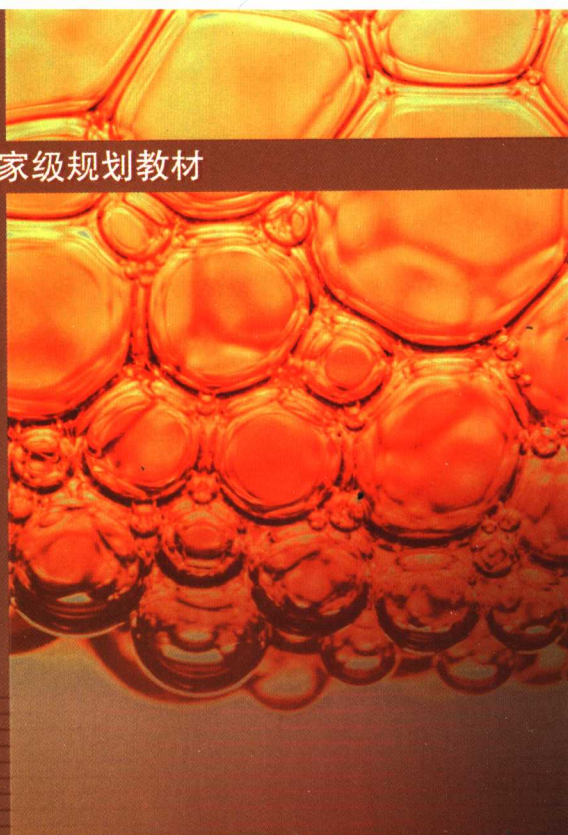




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



大学物理学 (下册)

■ 张铁强 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

04/331

:2

2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理学

(下册)

张铁强 主编

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。教材以近期制定的《理工科非物理类大学物理课程教学基本要求》为依据,在教材结构和编写内容上做了较大改革,形成了一个新的课程体系。在内容上充分体现近代科学技术的发展,一方面适度扩大近代物理的内容,并将现代科学与高新技术的物理基础内容引入到教材中;另一方面在经典物理内容中插入现代学科内容和引用现代科学技术的例子。设置前沿进展和科技博览等栏目,在内容正常论述处,适时的、有机的插入与该论述部分相关的物理前沿知识和应用技术。

在教材编写中,知识点按照模块化的方式进行编辑,不同学科专业的物理课程在保证 A 类基本知识点的前提下,选择适合的 B 类知识点和现代科学与高新技术的物理基础专题(用“*”标记),纳入教学知识体系。同时也为不同学时的大物理课程提供选择的余地,确保其满足理工科本科生基本物理素质的培养。

本书上册包括力学、流体力学、热学、电磁学,下册包括振动和波动、光学、相对论、量子物理和现代科学与高新技术的物理基础专题,可作为高等学校理工科非物理专业的大学物理课程教材,也可供电视大学、函授大学相关课程选用或作为其他读者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.下册/张铁强主编. —北京:高等教育出版社,
2007.12

ISBN 978 - 7 - 04 - 021962 - 3

I. 大… II. 张… III. 物理学 - 高等学校 - 教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 160498 号

策划编辑	高 建	责任编辑	高 建	封面设计	王凌波
责任绘图	朱 静	版式设计	余 杨	责任校对	姜国萍
责任印制	宋克学				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787 × 960 1/16
印 张 23.5
字 数 440 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 11 月第 1 版
印 次 2007 年 11 月第 1 次印刷
定 价 27.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 21962 - 00

目 录

第 10 章 振动	1
10.1 简谐振动	1
10.1.1 简谐振动方程	1
10.1.2 简谐振动的特征量	3
10.1.3 简谐振动的能量	5
10.1.4 简谐振动的旋转矢量表示法	6
10.2 几种简谐振动系统	9
10.2.1 单摆与复摆	9
10.2.2 LC 振荡电路	10
【前沿进展】	11
10.3 简谐振动的合成	12
10.3.1 同方向、同频率简谐振动的合成	12
10.3.2 同方向、频率相近的简谐振动的合成 拍	13
* 10.3.3 振动方向垂直、同频率简谐振动的合成	14
* 10.3.4 振动方向垂直、不同频率简谐振动的合成	15
* 10.4 振动的分解与频谱分析	17
* 10.5 阻尼振动 受迫振动 共振	18
10.5.1 阻尼振动	18
10.5.2 受迫振动	20
10.5.3 共振	21
【网络资源】	22
小结	22
习题与思考题	23
第 11 章 机械波	26
11.1 波动的基本概念	26
11.1.1 机械波的产生和传播	26
11.1.2 波的几何描述	27
11.1.3 描述波的物理量	28
11.2 平面简谐波 波动方程	29
11.2.1 平面简谐波的波函数	30
11.2.2 波动方程	32
11.3 波的能量 能流密度	33
11.3.1 波的能量	33

11.3.2 波的能流 能流密度	35
11.3.3 声强 声强级	37
【科技博览】	38
11.4 惠更斯原理	38
11.4.1 惠更斯原理	38
11.4.2 波的衍射	39
11.4.3 波的反射与折射	40
11.5 波的叠加原理 波的干涉	41
11.5.1 波的叠加原理	41
11.5.2 波的干涉	42
11.6 驻波	44
11.6.1 驻波的形成	44
11.6.2 驻波的方程	45
11.6.3 半波损失	46
11.6.4 弦线上的驻波	47
【前沿进展】	48
11.7 多普勒效应	49
【科技博览】	51
【网络资源】	52
小结	52
习题与思考题	53
第12章 电磁波	57
12.1 电磁波	57
12.1.1 电磁波的预言	57
【著名实验】	58
12.1.2 平面电磁波的波动方程	59
12.1.3 平面电磁波的性质	61
12.1.4 电磁波的能量传播	62
12.2 电偶极子辐射电磁波	63
12.2.1 电磁波的产生与传播	63
12.2.2 电偶极子辐射电磁波	64
12.3 电磁波谱	65
【网络资源】	67
小结	67
习题与思考题	68
第13章 几何光学成像原理	70
13.1 光线及其传播的基本定律	70

13.1.1 光程与光线	70
13.1.2 几何光学基本定律	74
【科技博览】	76
13.2 成像基本概念与光路计算	77
13.2.1 物像的基本概念	77
13.2.2 实际光路计算	79
13.3 高斯光学	82
13.3.1 折射球面近轴成像光路	82
13.3.2 球面反射镜近轴成像光路	85
13.3.3 薄透镜近轴成像光路	86
* 13.4 典型光学仪器	88
13.4.1 眼睛与视觉放大率	89
13.4.2 显微镜	91
13.4.3 望远镜	92
【网络资源】	93
小结	93
习题与思考题	94
第 14 章 光的干涉	96
14.1 光的相干性	96
14.1.1 光的干涉 相干条件	96
14.1.2 光程差	98
14.1.3 获得相干光的方法	100
14.2 分波阵面干涉	102
14.2.1 杨氏双缝干涉	102
【著名实验】	102
14.2.2 劳埃德镜实验	105
* 14.2.3 空间相干性和时间相干性	107
14.3 分振幅干涉	109
14.3.1 薄膜干涉	109
14.3.2 劈尖干涉	112
14.3.3 牛顿环	114
【科技博览】	116
* 14.4 迈克耳孙干涉仪	117
【科技博览】	119
【网络资源】	119
小结	119
习题与思考题	120

第 15 章 光的衍射	123
15.1 光的衍射现象 惠更斯 - 菲涅耳原理	123
15.1.1 光的衍射现象	123
15.1.2 惠更斯 - 菲涅耳原理	124
15.2 夫琅禾费单缝衍射	125
15.2.1 夫琅禾费单缝衍射的实验装置	125
15.2.2 单缝衍射强度	126
15.2.3 单缝衍射条纹特点	130
15.3 夫琅禾费圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	132
15.3.1 夫琅禾费圆孔衍射	132
15.3.2 光学仪器的分辨本领	133
15.4 光栅衍射	135
15.4.1 衍射光栅	135
15.4.2 光栅衍射条纹的形成	136
15.4.3 光栅光谱	140
【科技博览】	144
* 15.5 伦琴射线的衍射 布拉格公式	145
15.5.1 伦琴射线	145
15.5.2 劳厄实验	146
15.5.3 布拉格公式	147
* 15.6 全息照相	148
15.6.1 全息照相	148
15.6.2 全息照相原理	148
15.6.3 全息照相的应用	151
【网络资源】	152
小结	152
习题与思考题	153
第 16 章 光的偏振	156
16.1 自然光和偏振光	156
16.1.1 自然光	157
16.1.2 部分偏振光	157
16.1.3 偏振光	158
16.2 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	159
16.2.1 偏振片	159
16.2.2 起偏和检偏 马吕斯定律	160
16.3 反射光和折射光的偏振 布儒斯特定律	163
16.3.1 反射起偏 布儒斯特定律	163

16.3.2 折射起偏 玻璃片堆	164
*16.4 光的双折射 尼科耳棱镜	165
16.4.1 光的双折射现象	165
16.4.2 尼科耳棱镜	168
16.4.3 波片	169
*16.5 偏振光的干涉	171
16.5.1 偏振光的干涉	171
16.5.2 人为双折射现象	173
【前沿进展】	176
*16.6 旋光现象	176
【网络资源】	178
小结	178
习题与思考题	179
第 17 章 相对论基础	181
17.1 迈克耳孙 - 莫雷实验与狭义相对论的基本假设	181
*17.1.1 迈克耳孙 - 莫雷实验	181
17.1.2 狭义相对论的基本假设	184
【前沿进展】	185
17.2 洛伦兹变换	185
17.2.1 洛伦兹坐标变换	185
17.2.2 洛伦兹速度变换	188
【著名实验】	189
17.3 狭义相对论的时空观	190
17.3.1 同时的相对性	190
17.3.2 运动的时钟变慢	191
17.3.3 运动的杆缩短	194
17.4 相对论质点动力学方程	196
17.4.1 质量和速度的关系	196
【科技博览】	197
17.4.2 相对论动力学基本方程	198
17.5 相对论能量	198
17.5.1 相对论能量	198
*17.5.2 能量和动量关系	200
*17.6 广义相对论基础	202
17.6.1 广义相对论的基本原理	202
17.6.2 相对论中的引力理论	204
17.6.3 广义相对论的时空性质	207

【网络资源】	210
小结	211
习题与思考题	212
第 18 章 波粒二象性	215
18.1 热辐射 普朗克能量量子假说	215
18.1.1 热辐射	215
18.1.2 黑体辐射的实验规律	216
18.1.3 普朗克能量量子假说	219
【科技博览】	221
18.2 光电效应 爱因斯坦光子假说	222
18.2.1 光电效应	222
18.2.2 爱因斯坦光子假说	224
【科技博览】	227
18.2.3 康普顿效应	227
18.3 原子光谱 玻尔原子理论	230
18.3.1 原子模型	230
【前沿进展】	232
18.3.2 原子光谱	233
* 18.3.3 玻尔的原子理论	234
18.4 实物粒子的波动性	238
18.4.1 德布罗意关系	238
18.4.2 电子衍射实验	240
18.4.3 不确定关系	242
【网络资源】	245
小结	245
习题与思考题	246
第 19 章 量子力学基础	249
19.1 波函数及其统计解释	249
19.1.1 波函数	249
19.1.2 波函数的统计解释	250
19.1.3 归一化与标准化条件	252
19.2 薛定谔方程	254
19.2.1 薛定谔方程的建立	254
19.2.2 本征值与本征值方程	256
19.2.3 定态薛定谔方程	259
19.3 一维无限深势阱	260
19.4 势垒 隧道效应	264

【科技博览】	266
* 19.5 线性谐振子	267
19.6 氢原子	268
19.6.1 氢原子中电子的薛定谔方程	268
19.6.2 氢原子中电子的状态描述	270
19.7 电子的自旋	273
19.7.1 斯特恩 - 格拉赫实验	273
19.7.2 电子的自旋	274
【前沿进展】	275
19.8 原子的电子壳层结构	276
19.8.1 泡利不相容原理	276
19.8.2 原子核外的电子排布	278
* 19.9 分子与分子光谱	282
19.9.1 氢分子 H_2	282
19.9.2 分子光谱	283
【网络资源】	285
小结	286
习题与思考题	288
* 第 20 章 激光的物理基础	289
20.1 自发辐射与受激辐射	289
20.1.1 自发辐射	290
20.1.2 受激辐射与受激吸收	291
20.1.3 三种作用过程的相互关系	293
20.2 激光形成的原理	294
20.2.1 粒子数反转原理	294
20.2.2 激光工作物质	296
20.2.3 光学谐振腔	298
【前沿进展】	299
20.3 激光的模式和高斯光束	302
20.3.1 激光的模式	302
20.3.2 激光束的传播	305
20.4 典型激光器	306
【前沿进展】	309
20.5 激光的特点与应用	310
20.5.1 激光的特点	310
20.5.2 激光应用	311
【网络资源】	313

小结	313
习题与思考题	315
* 第 21 章 固体物理基础	316
21.1 固体的能带结构	316
21.1.1 晶体的微观结构	316
21.1.2 晶体的结合	318
【前沿进展】	318
21.1.3 固体的能带结构	319
【前沿进展】	322
21.2 固体中的载流子及其统计分布	322
21.2.1 固体中的载流子	322
21.2.2 载流子的统计分布	326
21.3 半导体物理基础	329
21.3.1 半导体的电导和霍尔效应	329
21.3.2 p-n 结	331
21.3.3 半导体的光吸收与光辐射	332
【科技博览】	333
21.4 超导电性	333
21.4.1 超导基本现象	333
21.4.2 超导的微观理论	336
【前沿进展】	338
21.5 纳米材料简介	338
21.5.1 纳米材料的特性	338
21.5.2 纳米技术的应用	340
【网络资源】	341
小结	341
习题与思考题	343
习题答案	344
索引	350
参考文献	365

第10章 振 动

振动(vibration)是自然界中常见的现象,如钟摆的摆动、琴弦的颤动、心脏的跳动……,乃至晶体中原子的在格点附近的热运动等,均属于振动.我们把物体在其稳定的平衡位置附近所作的往复运动,称为机械振动(mechanical vibration).但振动并不仅限于此,在物理学的其它领域也存在着与机械振动相类似的振动现象.如交流电中电流和电压的往复变化,电磁波中电场和磁场的往复变化等.因此广义上讲,任何一个物理量,在某一定值附近作往复变化,都可以称之为振动.虽然它们与机械振动有本质差别,但理论和实验表明,一切振动现象都具有共同点,都遵循相同的数学规律.

振动有简单和复杂之分.最简单、最基本的振动是简谐运动.一切复杂的振动都可看成是诸多简谐振动的合成.所以本章我们主要以简谐振动为例,研究振动现象的一般规律.

通过本章的学习,理解简谐振动及其旋转矢量表示法;掌握简谐振动的规律;理解同方向同频率简谐振动的合成;了解阻尼振动、受迫振动及共振等现象.

10.1 简 谐 振 动

10.1.1 简谐振动方程

简谐振动(simple harmonic motion)可以用一弹簧振子来演示.一个轻质弹簧一端固定,另一端固结一个物体(视为质点),就构成一个弹簧振子(spring oscillator).如图 10.1 是一个安放在光滑水平面上的弹簧振子.当弹簧处于自然状态时,物体所在位置为平衡位置,以 O 点表示,且取作坐标原点.如果拉动物体,然后释放,物体将在弹性回复力的作用下,依靠其惯性在 O 点作往返运动,即形成简谐振动.

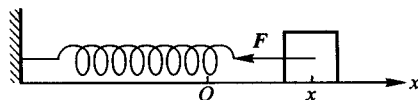


图 10.1 弹簧振子

设在任意时刻 t , 物体的位移为 x , 由胡克定律 (Hooke's law) 可知, 它所受的弹性力 F 为

$$F = -kx \quad (10.1)$$

式中, k 为轻质弹簧的劲度系数, 负号表示弹性力的方向与位移方向相反. 若物体的质量为 m , 根据牛顿第二定律, 物体的运动方程可表示为

$$F = ma = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (10.2)$$

将式(10.1)代入式(10.2)中, 得

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad (10.3)$$

将上式改写成

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x = -\omega^2x \quad (10.4)$$

式中

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (10.5)$$

ω 是由系统自身性质所决定的常量. 式(10.4)反映了简谐振动物体加速度的基本特征: 加速度的大小与位移大小成正比, 加速度方向与位移方向相反.

利用式(10.4)可进一步将振动的概念扩展, 任何物理量 y 若满足方程式

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2y$$

且 ω 是由系统自身性质所决定的常量, 则该物理量在作简谐振动. 该式称为简谐振动的微分方程.

式(10.4)的解为

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (10.6)$$

式中, A 和 φ 都是积分常数, 其物理意义将在以后讨论. 式(10.6)反映了简谐振动物体的运动特征: 振动物体的位移随时间按余弦(或正弦)规律变化. 反之, 具有这种运动特征的运动即为简谐振动. 故式(10.6)为简谐振动的运动学方程.

由简谐振动的运动学方程, 可求得任意时刻质点的振动速度和加速度

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi) = A\omega \cos\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (10.7)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) = \omega^2 A \cos(\omega t + \varphi + \pi) \quad (10.8)$$

式(10.6)、(10.7)、(10.8)的函数关系可用图 10.2 所示的曲线表示, 其中表示 $x-t$ 关系的曲线叫做振动曲线 (curve of oscillation).

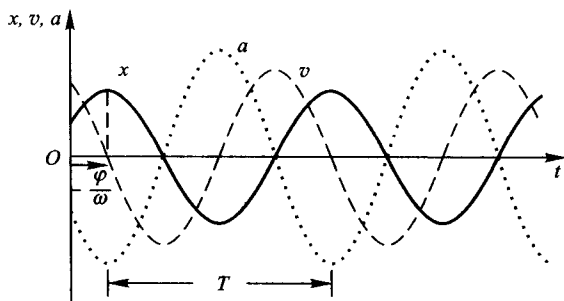


图 10.2 简谐振动的 x 、 v 、 a 随时间变化的关系曲线

10.1.2 简谐振动的特征量

由简谐振动方程 $x = A\cos(\omega t + \varphi)$ 可知, 决定简谐振动物体运动特征的物理量是其中的 A 、 ω 和 φ , 它们是描述简谐振动的特征量.

一、振幅

式(10.6)中, A 表示振动物体离开平衡位置的最大距离, 称为振幅 (amplitude). 它恒为正. 在国际单位制中, 振幅的单位为米 (m).

二、周期和频率

正弦、余弦函数均为周期性函数, 因此简谐振动也是周期性的, 即每隔一定时间 T , 运动就重复一次, 这个固定的时间间隔 T 就是周期 (period). 于是有

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) = A\cos[\omega(t + T) + \varphi]$$

因余弦函数的周期是 2π , 所以有

$$\omega T = 2\pi$$

即

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (10.9)$$

物体在 1 s 内完成全振动的次数, 称为振动频率 (frequency), 用 ν 表示. 显然

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (10.10)$$

m 、 k 都是谐振子系统的固有性质, 所以 T 和 ν 均由系统自身性质决定, 故又分别叫做固有周期 (natural period) 和固有频率 (natural frequency). 在国际单位制中, 周期的单位为秒 (s), 频率的单位为赫兹 (Hz).

由式(10.10)可知

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

或

$$\omega = 2\pi\nu \quad (10.11)$$

这说明 ω 是 2π s 内物体振动的次数,称之为圆频率(circular frequency)或角频率(angular frequency). 国际单位制中,圆频率的单位为弧度每秒($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$).

三、相位与初相位

振动方程中的 $(\omega t + \varphi)$ 称为简谐振动的相位(phase),有时也简称为相. 相位的单位为弧度(rad). 在振幅一定,圆频率已知的情况下,相位决定任意时刻振动系统的运动状态(位置和速度). 例如,当用余弦函数表示简谐振动时, $\omega t + \varphi = 0$, 即相位为零的状态,表示质点在正的最大位移处而速度为零; $\omega t + \varphi = \pi/2$, 即相位为 $\pi/2$ 的状态,表示质点正越过原点并以最大的速率向 x 轴负向运动; $\omega t + \varphi = 3\pi/2$ 的状态,表示质点也正越过原点并以最大的速率向 x 轴正向运动.

$t=0$ 时刻的相位 φ 称为初相位(initial phase),简称初相. 在振幅一定、圆频率已知的情况下,它决定于振动系统的初始运动状态. 反之,振动系统的初始运动状态亦决定系统的振幅和初相位.

设 $t=0$ 时刻,物体的位移和速度是 x_0 、 v_0 . 利用式(10.6)、(10.7)得出

$$\begin{cases} x_0 = A \cos \varphi \\ v_0 = -A\omega \sin \varphi \end{cases} \quad (10.12)$$

从中解出振幅和初始相位

$$\begin{cases} A = \sqrt{x_0^2 + v_0^2 / \omega^2} \\ \varphi = \arctan \frac{-v_0}{x_0 \omega} \end{cases} \quad (10.13)$$

例 10.1 一物体沿 x 轴作简谐振动,其振动规律为 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$, 设 $\omega = 10 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, 且当 $t=0$ 时,物体的位移为 $x_0 = 1 \text{ m}$, 速度为 $v_0 = -10\sqrt{3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 求该物体的振幅和初相位.

解 由式(10.13), 将 $\omega = 10 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, $x_0 = 1 \text{ m}$, $v_0 = -10\sqrt{3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 代入, 可得

$$A = 2 \text{ m}$$

$$\tan \varphi = \sqrt{3}$$

即

$$\varphi = \frac{\pi}{3} \quad \text{或} \quad \varphi = \frac{4}{3}\pi$$

但因

$$v_0 = -A \sin \varphi = -10\sqrt{3} < 0$$

可知

$$\sin \varphi > 0$$

所以

$$\varphi \neq \frac{4}{3}\pi, \varphi = \frac{\pi}{3}$$

四、相位差

设有两个做简谐振动的物体,其振动方程分别为

$$x_1 = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$

$$x_2 = A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$

它们的相位之差称为相位差 (phase difference), 简称相差. 以 $\Delta\varphi$ 表示, 有

$$\Delta\varphi = (\omega_2 t + \varphi_2) - (\omega_1 t + \varphi_1) = (\omega_2 - \omega_1)t + \varphi_2 - \varphi_1$$

若 $\omega_2 = \omega_1$, 则两者是同频率的简谐振动, 有

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

即同频率的两个简谐振动, 其相位差等于它们的初相差. 由这个相差的值可以方便地比较两个做谐振动的物体“步调”的差异情况.

如果 $\Delta\varphi = 0$ (或者 2π 的整数倍), 称两个简谐振动同相. 此时, 两个简谐振动的“步调”完全一致. 即两个振动质点同时过平衡位置, 同时到达正的最大位移处.

如果 $\Delta\varphi = \pi$ (或者 π 的奇数倍), 称两个简谐振动反相. 此时两个简谐振动的“步调”完全相反. 如两振动质点中的一个到达正最大位移处时, 另一个将到达负最大位移处.

当 $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 > 0$ 时, 称 x_2 的相位超前 x_1 的相位 $\Delta\varphi$, 或者说 x_1 的相位落后于 x_2 的相位 $\Delta\varphi$. 而当 $\Delta\varphi < 0$ 时, 称 x_1 的相位超前 x_2 的相位 $|\Delta\varphi|$. 注意在这种说法中, 由于相差的周期是 2π , 所以常把 $|\Delta\varphi|$ 的值限在 π 以内. 例如, 当 $\Delta\varphi = 3\pi/2$ 时, 不说 x_2 的相位超前 x_1 的相位 $3\pi/2$, 而改写成 $\Delta\varphi = 3\pi/2 - 2\pi = -\pi/2$, 且说 x_2 的相位落后于 x_1 的相位 $\pi/2$.

相位差不但能用来表示两个同作简谐振动的物体“步调”的差异, 而且还可以表示不同的物理量变化的“步调”. 例如从式 (10.6)、(10.7)、(10.8) 中的相位可看出作简谐振动的物体, 其加速度 a 和位移 x 反相, 速度 v 的相位超前位移的相位 $\pi/2$, 而落后于加速度的相位 $\pi/2$.

10.1.3 简谐振动的能量

以弹簧振子为例, 由简谐振动的运动方程及速度方程, 可求出任意时刻弹簧振子系统的弹性势能和动能

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi)$$

由

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

可得到

$$E_k = \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \varphi)$$

因此,系统的机械能为

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}kA^2 \quad (10.14)$$

可见简谐振动系统的机械能不随时间改变,即其能量守恒.这是因为无阻尼自由振动的弹簧振子是一个孤立系统,在振动过程中没有外力对它做功的缘故.

同时可看出,弹簧振子的总能量与振幅的平方成正比,这说明振幅不仅能描述简谐振动的运动范围,而且还能反映振动系统能量的大小,表征振动的强度.

把动能和势能的表达式改写为

$$E_p = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{4}kA^2 [1 + \cos 2(\omega t + \varphi)]$$

$$E_k = \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{4}kA^2 [1 - \cos 2(\omega t + \varphi)]$$

可见简谐振动系统的动能和势能都在谐振,其谐振频率均为位移振动频率的两倍,且二者振动的相位相反,因而它们的总和,即机械能守恒,如图 10.3 所示.动能和势能谐振的平衡点在系统总机械能一半的地方.

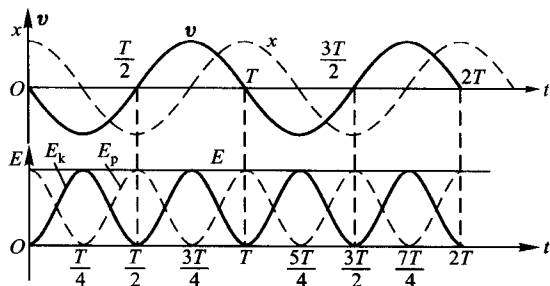


图 10.3 简谐振动的能量对时间的曲线

10.1.4 简谐振动的旋转矢量表示法

图 10.4(a)中 $\overrightarrow{OM}$ (也常用 A 表示) 为一始点在 x 轴原点处的矢量. 设 $t=0$