

大学物理学

下 册

唐 南 王佳眉 主编



高等教育出版社

内容简介

本书是作者在多年讲授大学物理课程所用讲义的基础上,根据教育部 1995 年颁布的工科本科大学物理课程教学基本要求编写而成的。全书内容精练、概念清晰,力图在有限的课时内清晰准确地讲授完大学物理的基本内容。本书将能力培养与知识的传授有机地结合起来,全书涵盖了大学物理最基本、最重要的知识点,在保留经典物理基本框架的同时,对近代物理(相对论和量子物理)和新技术的基本物理原理的讲授有所加强和拓展。本书各章均有内容提要及丰富的例题和习题,并附有习题答案。全书共三册,上册为力学和热学,中册为电磁学,下册为波动学、相对论和量子物理。

本书可作为高等院校理工科非物理类专业大学物理课程的教材或参考书,也可供其它专业和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.下册/唐南,王佳眉主编. —北京:高等教育出版社,2004.8
ISBN 7-04-014435-2

I. 大... II. ①唐... ②王... III. 物理学 - 高等学校 - 教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 045989 号

策划编辑 庞永江 责任编辑 庞永江 封面设计 刘晓翔 责任绘图 朱 静
版式设计 张 岚 责任校对 胡晓琪 责任印制 陈伟光

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

购书热线 010 - 64054588
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 涿州市星河印刷有限公司

开 本 787 × 960 1/16
印 张 23
字 数 430 000

版 次 2004 年 8 月第 1 版
印 次 2004 年 9 月第 2 次印刷
定 价 24.10 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: 14435 - 00

目 录

第 4 篇 波动与光学

第十四章 振动	3
§ 14-1 简谐振动的描述	3
一 简谐振动的描述	3
二 同频率的简谐振动的相位差	8
三 简谐振动的速度和加速度	9
§ 14-2 简谐振动的动力学	11
一 简谐振动的微分方程	11
二 简谐振动的动力学特征	12
三 简谐振动的能量	17
§ 14-3 阻尼振动	19
§ 14-4 受迫振动 共振	21
§ 14-5 同方向同频率的简谐振动的合成	23
§ 14-6 同方向不同频率的简谐振动的合成	26
§ 14-7 谐振分析	28
内容提要	30
习 题	31
第十五章 机械波	37
§ 15-1 机械波的产生和传播	37
一 机械波产生的条件	37
二 机械波的传播	37
三 波速 横波和纵波	39
四 波阵面和波射线	40
五 波长和频率	40
六 弹性介质	41
§ 15-2 平面简谐波 波动方程	44
一 平面简谐波的波动方程	45
二 波动微分方程	48

三 波动微分方程的推导	49
§ 15-3 波的能量 波的强度	53
一 波的能量	53
二 波动能量的推导	55
三 波的强度	55
四 波的吸收	58
§ 15-4 声波	59
一 声压	60
二 声强 声强级	61
§ 15-5 惠更斯原理 波的衍射、反射和折射	63
一 惠更斯原理	63
二 波的衍射	64
三 波的反射和折射	64
§ 15-6 波的叠加原理 波的干涉	67
一 波的叠加	67
二 波的干涉	67
§ 15-7 驻波	70
一 驻波现象	70
二 驻波的产生	71
三 驻波方程	71
四 半波损失	74
五 弦线上的驻波	76
§ 15-8 多普勒效应	79
一 多普勒效应	79
二 冲击波	83
内容提要	84
习 题	85
 第十六章 电磁振荡和电磁波	 93
§ 16-1 电磁振荡	93
§ 16-2 电磁波的基本性质	96
一 电磁辐射	96
二 电磁波的基本性质	96
三 电磁波的能量	98
内容提要	100
习 题	100

第十七章 光的干涉	102
§ 17-1 光的相干性	102
一 光源	102
二 光波	102
三 相干光的获取方法	103
§ 17-2 光程 光程差	103
一 光程和光程差	104
二 薄透镜的等光程性	105
三 光的半波损失	106
四 光的干涉	107
§ 17-3 双缝干涉	108
一 杨氏双缝干涉	108
二 双缝干涉条纹的分布特征	110
三 洛埃镜干涉	111
四 菲涅耳干涉	112
§ 17-4 薄膜干涉	113
一 薄膜干涉	114
二 劈尖的等厚干涉	118
三 牛顿环干涉	121
四 迈克耳孙干涉仪	123
内容提要	126
习 题	127
第十八章 光的衍射	133
§ 18-1 单缝衍射	133
一 惠更斯-菲涅耳原理	133
二 单缝夫琅禾费衍射	134
§ 18-2 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	138
一 圆孔的夫琅禾费衍射	138
二 光学仪器的分辨本领	139
§ 18-3 光栅衍射	141
一 光栅方程	141
二 光栅衍射光强的分布特点	142
三 缺级现象	143
四 光栅光谱	144
§ 18-4 X 射线衍射	146
内容提要	148

习 题	149
第十九章 光的偏振	153
§ 19-1 自然光和偏振光	153
§ 19-2 起偏和检偏 偏振片	154
一 偏振片的起偏和检偏	154
二 马吕斯定律	155
§ 19-3 反射和折射时光的偏振	157
§ 19-4 光的双折射	158
一 双折射现象	158
二 惠理斯原理对双折射现象的解释	159
内容提要	162
习 题	162

第5篇 近代物理

第二十章 狭义相对论	169
§ 20-1 经典力学与经典时空观	169
一 伽利略变换与经典时空观	169
二 经典力学的伽利略不变性与伽利略相对性原理	171
§ 20-2 狭义相对论原理	172
一 电磁理论的相对性讨论	172
二 关于“以太”模型	173
三 迈克耳孙-莫雷实验	174
四 光行差实验	175
五 爱因斯坦狭义相对论原理	176
§ 20-3 相对论时空观	178
一 同时性的相对性	178
二 时间延缓效应	180
三 长度收缩效应	182
§ 20-4 洛伦兹变换	183
一 洛伦兹坐标变换与洛伦兹坐标差变换	183
二 洛伦兹变换与相对论时空观	186
三 时空的运动相关性与对应原理	190
四 相对论速度变换与光速不变	191
§ 20-5 光的多普勒效应	193
§ 20-6 相对论动力学基础	194

一 相对论动力学方程、质速关系	195
二 相对论能量	198
三 相对论能量动量关系	199
四 结合能与质量亏损	200
§ 20-7 广义相对论简介	201
一 引力质量与惯性质量	202
二 等效原理	202
三 广义相对性原理	203
四 广义相对论的实验检验	203
内容提要	205
习 题	206
 第二十一章 电磁辐射的量子理论	211
§ 21-1 黑体辐射 普朗克能量量子假设	211
一 热辐射	211
二 黑体辐射的规律	212
三 经典理论的困难	214
四 普朗克能量量子假设	214
§ 21-2 爱因斯坦光子理论	215
一 爱因斯坦光子理论	215
二 光的波粒二象性	216
§ 21-3 电磁辐射与物质相互作用时的量子效应	218
一 光电效应	218
二 康普顿散射	222
三 电子对效应	227
四 光子的吸收	228
§ 21-4 玻尔的氢原子理论	230
一 氢原子光谱的实验规律	230
二 玻尔假设	232
三 玻尔的氢原子理论	233
内容提要	237
习 题	238
 第二十二章 量子力学基础知识	241
§ 22-1 波粒二象性	241
一 德布罗意假设	241
二 物质波的实验验证	242

三 物质波的统计诠释——概率波	244
§ 22-2 波函数	247
§ 22-3 不确定关系	249
§ 22-4 薛定谔方程	255
§ 22-5 一维无限深势阱中的粒子	256
一 势阱	256
二 一维无限深势阱中运动粒子的波函数	257
三 能量量子化 概率密度函数	258
§ 22-6 势垒 隧道效应	261
一 单壁势垒的情况	261
二 势垒贯穿 隧道效应	263
三 扫描隧道显微镜	263
§ 22-7 谐振子	265
内容提要	266
习 题	267
 第二十三章 原子中的电子	270
§ 23-1 氢原子	270
一 氢原子的量子力学处理	270
二 电子云与电子的径向密度函数	273
§ 23-2 电子自旋	275
§ 23-3 施特恩-格拉赫实验	277
§ 23-4 原子中电子的排布	278
一 电子的量子态——四个量子数	278
二 原子中电子的排布	279
三 元素周期律的理论说明	282
内容提要	283
习 题	283
 第二十四章 原子核	285
§ 24-1 原子核的基本性质	285
一 原子核的电荷和质量	285
二 原子核的组成	286
三 原子核的大小	287
四 原子核的自旋和磁矩	287
五 原子核的能量	288

§ 24-2 核力	289
§ 24-3 原子核的结合能	291
§ 24-4 原子核的放射性衰变	293
一 放射性衰变的基本规律	293
二 α 衰变	296
三 β 衰变	299
四 γ 衰变	301
§ 24-5 核反应	302
一 核反应	302
二 反应道和反应截面	303
三 反应能和阈能	304
四 核反应的过程及机制	305
§ 24-6 核裂变	306
一 核裂变	306
二 裂变的液滴模型理论	307
三 裂变能量	308
四 链式反应	308
§ 24-7 核聚变	310
内容提要	312
习 题	313
 第二十五章 激光	 315
§ 25-1 光放大和粒子数反转	315
一 光的自发辐射、受激辐射和受激吸收	315
二 光放大和粒子数反转	317
三 能级的寿命	317
四 抽运过程	319
§ 25-2 激光的产生	320
一 光的增益和损耗	320
二 激光振荡和光学谐振腔	321
三 谐振腔对激光方向、频率和偏振态的选择	322
§ 25-3 激光器	325
一 氦-氖(He-Ne)激光器	325
二 红宝石($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$)激光器	327
三 半导体激光器	328
四 染料(液体)激光器	329
§ 25-4 激光的特点	329

§ 25-5 激光的应用	330
一 激光加工	330
二 激光测量	331
三 激光通讯	332
§ 25-6 光学全息	333
一 光全息的基本思想	333
二 光全息的实现	334
三 光全息的应用	334
习 题	336
 第二十六章 半导体	 338
§ 26-1 固体的能带结构	338
§ 26-2 导体、绝缘体和半导体	340
一 固体中的电子运动	341
二 导体、绝缘体和半导体	341
§ 26-3 本征半导体和杂质半导体	342
§ 26-4 半导体应用简介	344
一 pn 节	344
二 半导体传感元件	344
习 题	345
 习题答案	 347

第4篇

波动与光学

振动是物质的一种非常普遍的运动形式. 广义地说, 如果一个物理量在某一定值附近来回变化, 则我们说这个物理量在振动. 振动无处不在, 大到地球和太阳的运动, 小到原子、分子的运动. 在这一篇中, 我们主要讨论机械振动(即力学量的振动)和电磁振荡(即电学量或磁学量的振动).

波动是振动的传播过程, 在自然界和人类生活中几乎无处不在, 在科学技术中也有极其广泛的应用. 波的传播伴随着能量的流动, 自然界中很多能量的传递都依赖于波的传播. 能量的流动伴随着信号的传递, 科学技术中很多信号的传输, 也都是通过波的传播实现的. 我们主要讨论机械波(即机械振动)在介质中的传播和电磁波——变化电磁场的传播.

光属于电磁波, 我们常说的光是指可见光, 可见光在真空中的波长大约在 $0.77\ \mu\text{m}$ 到 $0.35\ \mu\text{m}$ 之间. 光的独特之处是能引起人的视觉, 因而具有很强的实用性. 本篇我们重点讨论光波的干涉、衍射和偏振现象, 这些现象所呈现的规律在科学研究和工程技术中有广泛的应用.

在本篇我们先讨论机械振动和机械波(第十四、十五章), 然后讨论电磁振荡和电磁波(第十六章), 随后讨论光波, 包括光的干涉(第十七章)、光的衍射(第十八章)和光的偏振(第十九章).

第十四章 振动

最常见的振动是力学量和电学量或磁学量的振动. 位移、速度、加速度等力学量的振动统称为**机械振动**; 电流、电压、电场强度和磁感应强度的振动, 统称为**电磁振荡**. 机械振动比较直观, 易于理解, 我们先讨论机械振动. 从振动的形式来看, 有连续振动和非连续(脉冲)振动, 有周期振动和非周期振动等等, 其中最简单的是简谐振动. 可以证明, 一切复杂的振动都可以看作是许多简谐振动的合成, 因而简谐振动理论是一般振动理论的基础, 所以我们先讨论简谐振动.

本章先介绍简谐机械振动的描述及其动力学方程, 然后介绍阻尼振动和受迫振动, 最后说明振动合成的规律.

§ 14-1 简谐振动的描述

一 简谐振动的描述

如果一个物体对于平衡位置的位移按余弦函数的规律随时间变化, 我们说物体的运动是**简谐振动**. 例如弹簧振子的无阻尼振动就是简谐振动. 如图 14-1 所示, 一个轻质弹簧的一端固定, 另一端联结一个可以在水平光滑面上自由运动的物体, 若所有的摩擦阻力都可以忽略, 这就是一个无阻尼的弹簧振子. 在弹簧处于自然长度时, 物体处于平衡位置 O , 以 O 为原点设立 Ox 坐标轴. 如果移动物体到 $x = A$ 处然后释放, 则物体会在 Ox 坐标轴上 O 点两侧作往复运动. 把物体当作质点来讨论, 可以证明(见下一节), 物体对于平衡位置的位移(如果选取平衡点为坐标轴的原点, 也可以称为位置) x 将按余弦函数的规律随时间 t 变化, 因此, 物体的这种振动就是简谐振动. 它的数学表达式是

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (14-1)$$

其中 A 、 ω 和 φ 为常量. 式(14-1)称为简谐振动的运动方程, 简称为**谐振方程**.

式(14-1)中的 A 表示质点可能离开原点的最大距离, 它给出了质点运动的范围. 这个量叫做振动的**振幅**.

由于振幅 A 是一个常量, 因而简谐振动的全部变化都反映在余弦函数的变化之中. 式(14-1)中余弦函数的变量 $(\omega t + \varphi)$ 叫做振动的**相位**(简称为**相**), 记作

$$\Phi = \omega t + \varphi \quad (14-2)$$

简谐振动的状态仅随相位的变化而变化, 因而相位是描述简谐振动的状态的物

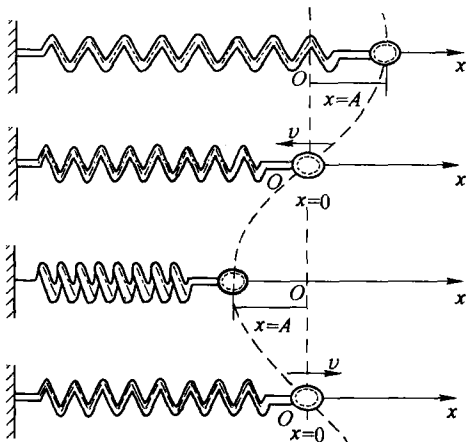


图 14-1 弹簧振子的简谐振动

理量.

式(14-2)中的 ω 叫角频率, 由于

$$\omega = \frac{d\Phi}{dt}$$

故角频率表示相位变化的速率, 是描述简谐振动状态变化快慢的物理量. 若 ω 是一个常量, 则表示相位是匀速变化的.

式(14-1)中的 φ 叫初相, 即 $t=0$ 时的相, 初相描述简谐振动的初始状态.

在时间从 t_1 到 t_2 的过程中, 相位从 $\Phi_1 = \omega t_1 + \varphi$ 变化到 $\Phi_2 = \omega t_2 + \varphi$, 相位变化 $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ 和相应的时间变化 $\Delta t = t_2 - t_1$ 的关系为:

$$\Delta\Phi = \omega\Delta t$$

此式直观的物理意义是: 相位变化等于相位变化的速率与变化的时间之积.

余弦函数是周期函数, 相位每变化 2π , 即 $\Delta\Phi = 2\pi$ 时运动状态将重复一次, 称为物体进行了一次全振动. 以 T 表示一次全振动所需要的时间即振动的周期, 带入上式有

$$2\pi = \omega T$$

得到

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

以 ν 表示振动的频率, 即单位时间内全振动的次数, 它显然是周期 T 的倒数即

$$\nu = \frac{1}{T}$$

将 T 值代入, 则有

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

由于 ω 和 ν 成正比, 所以把它叫做振动的角频率, ω , T 或 ν 都描述简谐振动的周期性. 为了方便, 我们把以上 ω , T 和 ν 的关系一并记作

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \quad (14-3)$$

显然, ω , T 和 ν 这三个量中, 只要有一个知道了, 其余两个也就很容易得到. 在国际单位制中, T 的单位是 s, ν 的单位是 Hz (或 s^{-1}), ω 的单位是 rad/s (或 s^{-1}).

用式 (14-3) 可把相位变化与时间变化之间的关系 $\Delta\Phi = \omega\Delta t$ 进一步记作

$$\Delta\Phi = \omega\Delta t = \frac{2\pi}{T}\Delta t \quad (14-4)$$

此式表示, 时间每过一个周期 $\Delta t = T$, 则相位增加 $\Delta\Phi = 2\pi$. 谐振方程式 (14-1) 也可进一步记作

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) = A\cos(2\pi\nu t + \varphi) = A\cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (14-5)$$

对于一个简谐振动, 如果 A , ω 和 φ 都知道了, 这个振动也就完全清楚了. 因此, 这三个量叫做描述简谐振动的三个特征量.

简谐振动也可以用振动曲线来描述, 称为谐振曲线, 见图 14-2. 图中振动的振幅 $A = 0.02 \text{ m}$, 周期 $T = 0.4 \text{ s}$, 一目了然. 振动的相位也可以在图中大致读出. 如果把距离原点最近的一个位移极大即 $x = A$ 的状态选作零相位, 图中是 $t = 0.1 \text{ s}$ 时的相位为零 (图中 a 点所表示的状态). 按照时间每过一个周期, 相位增加 2π 的规律, 一个周期以后 (如 b 点所示) 的下一个位移极大状态的相位应为 2π , 图中是 $t = 0.5 \text{ s}$ 时的相位为 2π ; 一个周期前的那个位移极大状态 (c 点) 的相位为 -2π . 图中还可以读出, $t = -0.1 \text{ s}$ 时 (d 点) 的相位为 $-\pi$, $t = 0.3 \text{ s}$ 时的相位 (e 点) 为 π . 由于相位是匀速变化的, 在图中还容易读出 $\pm\pi/2$ 、 $\pm 3\pi/2$ 等特殊相位. 振动的初相, 即 $t = 0$ 时的相位, 在图中是 $\varphi = -\pi/2$.

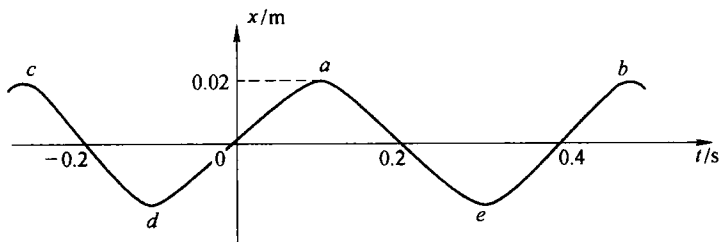


图 14-2 简谐振动的振动曲线

简谐振动除了用谐振方程和谐振曲线来描述以外, 还有一种很直观, 因而很

方便的描述方法,称为**矢量图示法**.该方法很像三角函数中用到的单位圆法.如图 14-3 所示在一个平面上作一个 Ox 坐标轴,以原点 O 为起点作一个长度为 A 的矢量 $\mathbf{A}$, $\mathbf{A}$ 绕原点 O 以匀角速度 ω 沿逆时针方向旋转,称为**旋转矢量**,矢量端点在平面上将画出一个圆,称为**参考圆**.设 $t=0$ 时矢量 $\mathbf{A}$ 与 x 轴的夹角即初角位置为 φ ,则任意 t 时 $\mathbf{A}$ 与 x 轴的夹角即角位置为 $\Phi = \omega t + \varphi$,矢量的端点 M 在 x 轴上投影点 P 的坐标为

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

这与式(14-1)所表示的简谐振动定义式相同.由此可知,旋转矢量的端点在 x 轴上的投影的运动就是简谐振动.显然,一个旋转矢量与一个简谐振动相对应,其对应关系是:旋转矢量的长度就是振动的振幅,因而旋转矢量又称为**振幅矢量**;矢量的角位置就是振动的相位,矢量的初角位置就是振动的初相,矢量的角位移就是振动相位的变化;矢量的角速度就是振动的角频率;矢量旋转的周期和频率就是振动的周期和频率.我们在讨论一个简谐振动时,用上述方法作一个旋转矢量来帮助分析,可以使运动的各个物理量表现得直观,运动过程显示得清晰,有利于问题的解决.

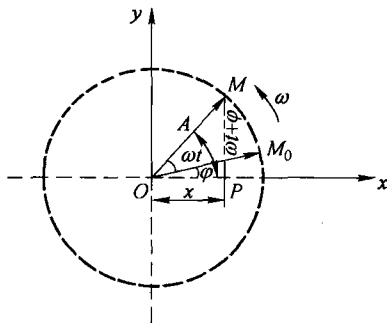


图 14-3 简谐振动的矢量图

例 14.1 一质点沿 x 轴作简谐振动,振幅为 A ,周期为 T ,

(1) 当 $t=0$ 时,质点对平衡位置的位移 $x_0 = A/2$,质点向 x 轴正方向运动,求质点振动的初相;

(2) 质点从 $x=0$ 处运动到 $x=A/2$ 处最少需要多少时间?

解 (1) 当 $t=0$ 时,质点的位移 $x_0 = A/2$,故 $t=0$ 时的矢量图中的旋转矢量应与 x 轴构成 60° 角,即与 x 的夹角为 $\varphi = \pi/3$ 或 $\varphi = -\pi/3$,见图 14-4(a).若 $\varphi = \pi/3$,注意到矢量的转动方向是沿逆时针方向的,所以此时矢量端点的投影正向 x 轴负方向运动,这不合题意;若 $\varphi = -\pi/3$,此时矢量端点的投影正向 x 正方向运动,合题意.故质点振动的初相应为 $\varphi = -\pi/3$.

(2) 质点从位移为 $x=0$ 处运动到 $x=A/2$ 处的过程,在图 14-4(b)中即为质点从 O 点运动到 a 点的过程.由于质点的运动不是匀速运动,所以运动时间在 x 轴上不能直接判断出

来.在矢量图中,质点从 $x=0$ 处运动到 $x=A/2$ 处,旋转矢量是从 $\Phi=-\pi/2$ 处转动到 $\Phi=-\pi/3$ 处,转过了 $\pi/6$ 的角度.由于矢量的转动是匀角速转动,转动一周的时间是 T ,故转过 $\pi/6$ 的时间应为 $T/12$,这也就是质点从 $x=0$ 处运动到 $x=A/2$ 处所需要的最短的时间.

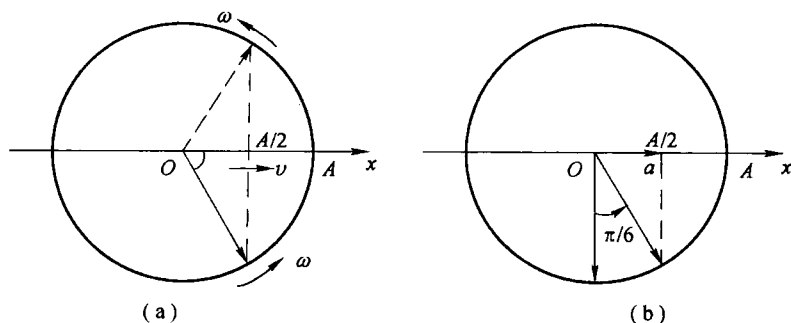


图 14-4 例 14.1 图

例 14.2 一质点作简谐振动的振动曲线如图,求质点的振动方程.

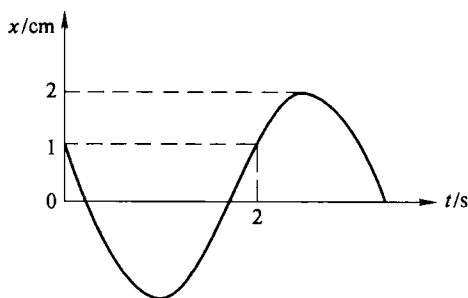


图 14-5 例 14.2 图

解 从图中可以直接看出质点振动的振幅为 $A=2$ cm.

在 $t=0$ 时,质点的位移 $x_0=A/2$,而质点的速度(曲线的斜率)为负值,参见例 14.1 问题(1)中的分析,可知质点振动的初相为 $\varphi=\pi/3$.

在 $t=2$ s 时,质点的位移 $x_0=A/2$,而质点的速度为正值,从矢量图分析可知,质点振动的相位应该为 $\Phi=5\pi/3$ (注意此处不能取 $\Phi=-\pi/3$,因为相位是随时间单调增加的).在 $t=0$ 到 $t=2$ s 的过程中,相位从 $\varphi=\pi/3$ 变化到 $\Phi=5\pi/3$,经历的时间为 $\Delta t=2$ s,相位的改变为 $\Delta\Phi=4\pi/3$.振动的角频率 ω ,即相位变化的速率为

$$\omega = \Delta\Phi / \Delta t = 2\pi/3$$

故质点的振动方程为

$$x = 2\cos\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ cm}$$