"十一五"国家课题·面向21世纪物理学课程与教学改革系列教材

JIANMING DAXUEWULI

简明大学物理

赵有伦 主编
罗春霞 林 纯 徐进霞 编

（下册）

科学出版社
www.sciencep.com

“十一五”国家课题·面向21世纪物理学
课程与教学改革系列教材

简明大学物理

下 册

赵有伦 主 编
罗春霞 林 纯 徐进霞 编

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是根据教育部非物理专业物理基础课程教学指导委员会最新制定的《理工科非物理专业大学物理课程教学基本要求(讨论稿)》编写而成的。书中包括了基本要求中的所有核心内容，可供不同专业选用。

全书分为上、下两册。上册包括力学和电磁学，下册包括振动、波动、光学、气体动理论、热力学基础、狭义相对论和量子物理简介等。和本书相配套的还有《简明大学物理习题精解》。

本书可作为高等学校理工科非物理专业的教材，也可供文科及专科的相关专业选用及物理爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

简明大学物理. 下册/赵有伦主编. —北京：科学出版社，2010. 7
(“十一五”国家课题・面向21世纪物理学课程与教学改革系列教材)
ISBN 978-7-03-028069-5

Ⅰ. ①简… Ⅱ. ①赵… Ⅲ. ①物理学-高等学校-教材 Ⅳ. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 116909 号

责任编辑：曾 莉 / 责任校对：董艳辉
责任印制：彭 超 / 封面设计：苏 波

科学出版社 出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com

武汉市新华印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年7月第 一 版 开本：B5(720×1 000)
2010年7月第一次印刷 印张：12 3/4
印数：1—4 000 字数：244 000

定价：22.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前　言

高等学校应用型本科院校、独立学院《大学物理》课程和教学改革方兴未艾，创建初具特色、适用于自己层次的大学物理教学体系，提高教学质量是教学改革的主要目的和意义所在。本书在“十一五”国家课题：“面向 21 世纪独立学院物理学课程改革和教学研究”的基础上总结应用型人才培养模式的大学物理教学体系，并结合编者多年的教学经验和国家对日益发展的普通高等院校的要求，编写了这套理工科非物理专业的《大学物理》课程的教材，含《简明大学物理》(上、下册)、《简明大学物理习题精解》。

本套教材特别注意简单明了和实用，从而使学生掌握较准确的物理思想、物理概念及物理模型，培养和提高学生的科学素养、科学思维方法和科学研究能力，提高学生的应用能力。该教材既适用于 144 学时、108 学时、90 学时，也适用于 72 学时；既适用于本科也适用于专科及成人教育。

本套教材分为上、下两册及习题精解辅导教材。上册主要内容包含力学、电磁学；下册包含波动及波动光学、分子物理学与热力学、近代物理。全书各章编者分别是：林纯(第 7、11、15 章)、罗春霞(第 9、10、13 章)、徐进霞(第 1、2、3、12 章)、赵有伦(第 4、5、6、8、14 章)。赵有伦任主编，负责大纲的拟定，全书统稿和定稿。

全书编写得到了武汉大学东湖分校、全国高等学校教学研究中心等单位领导的关心和支持，特别是得到了武汉大学石兢教授及东湖分校李吉星、陈冬梅、刘嘉、胡波等老师的大力支持和帮助，我们在此表示衷心的感谢。在编写过程中，我们参考了许多优秀的大学物理教材，在此不一一列出，一并深表谢意。

由于时间仓促，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请读者批评指正，以便再版时予以修正。

编　者

2010 年 3 月于武昌珞珈山

目　录

前言

第9章　振动 ········ 1

9.1　简谐振动　振幅　周期和频率　相位 ········ 1

9.1.1　简谐振动 ········ 1

9.1.2　描述简谐振动的物理量 ········ 3

9.2　旋转矢量 ········ 5

9.2.1　旋转矢量 ········ 5

9.2.2　简谐振动的旋转矢量表示法 ········ 5

9.2.3　旋转矢量法应用举例 ········ 6

9.3　单摆和复摆 ········ 8

9.3.1　单摆 ········ 8

9.3.2　复摆 ········ 9

9.4　简谐振动的能量 ········ 10

9.5　简谐运动的合成 ········ 12

9.5.1　两个同方向同频率的简谐运动的合成 ········ 12

9.5.2　两个同方向不同频率的简谐运动的合成　拍 ········ 13

9.5.3　两个相互垂直的同频率的简谐运动的合成 ········ 15

9.5.4　两个相互垂直的不同频率的简谐振动的合成 ········ 17

*9.6　阻尼振动　受迫振动　共振 ········ 17

9.6.1　阻尼振动 ········ 17

9.6.2　受迫振动 ········ 19

9.6.3　共振 ········ 21

9.7　电磁振荡 ········ 22

9.7.1　振荡电路　无阻尼自由电磁振荡 ········ 22

9.7.2 无阻尼电磁振荡的振荡方程 …… 23
9.7.3 无阻尼自由电磁振荡的能量 …… 24
习题 9 …… 26

第 10 章 波动 …… 30
10.1 机械波的几个概念 …… 30
10.1.1 机械波的形成 …… 30
10.1.2 横波与纵波 …… 30
10.1.3 波长 波的周期和频率 波速 …… 31
10.2 平面简谐波的波函数 …… 33
10.2.1 简谐波的波动方程 …… 33
10.2.2 波函数的物理意义 …… 34
10.3 波的能量 能量密度 …… 36
10.3.1 波的能量 …… 36
10.3.2 能流和能流密度 …… 38
10.4 惠更斯原理 波的衍射和干涉 …… 39
10.4.1 惠更斯原理 …… 39
10.4.2 波的衍射现象 …… 40
10.4.3 波的干涉 …… 41
10.5 驻波 …… 43
10.5.1 驻波 …… 43
10.5.2 驻波中需要注意的两个问题 …… 45
*10.6 多普勒效应 …… 46
10.7 平面电磁波 …… 48
10.7.1 电磁波的产生和传播 …… 49
10.7.2 电磁波的能量 …… 52
10.7.3 电磁波谱 …… 53
习题 10 …… 55

第 11 章 光学 …… 58
11.1 相干光 …… 58
11.1.1 光的电磁理论 …… 58

11.1.2 光波的叠加及相干条件 …… 60
11.1.3 相干光的获得 …… 62
11.2 杨氏双缝干涉 劳埃德镜 …… 63
11.2.1 杨氏双缝干涉 …… 63
11.2.2 劳埃德镜 …… 66
11.3 光程 薄膜干涉 …… 66
11.3.1 光程 …… 66
11.3.2 透镜不引起附加的光程差 …… 68
11.3.3 薄膜干涉 …… 68
*11.3.4 平行膜的应用——增反膜和增透膜 …… 71
*11.3.5 等倾干涉 …… 72
11.4 劈尖 牛顿环 …… 73
11.4.1 劈尖 …… 73
11.4.2 牛顿环 …… 75
11.5 迈克耳孙干涉仪 …… 77
11.6 光的衍射 …… 78
11.6.1 光的衍射现象 …… 78
11.6.2 惠更斯-菲涅耳原理 …… 79
11.6.3 菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射 …… 79
11.7 单缝衍射 …… 80
11.7.1 实验演示图 …… 80
11.7.2 光路分析 …… 81
11.7.3 单缝衍射光强分布特点 …… 83
11.8 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领 …… 84
11.9 衍射光栅 …… 86
11.9.1 光栅 …… 87
11.9.2 光栅衍射条纹的形成 …… 87
11.9.3 衍射光谱 …… 89
11.10 光的偏振 马吕斯定律 …… 90
11.10.1 光的偏振性 …… 91
11.10.2 偏振光与自然光 …… 91
11.10.3 偏振片 起偏和检偏 …… 93
11.10.4 马吕斯定律 …… 93
11.11 反射光和折射光的偏振 …… 94
11.12 双折射 …… 96

习题 11 …… 97

第 12 章　气体动理论 …… 99
12.1　平衡态　理想气体物态方程　热力学第零定律 …… 99
12.1.1　状态参量 …… 99
12.1.2　平衡态 …… 100
12.1.3　理想气体的物态方程 …… 101
12.1.4　热力学第零定律 …… 102
12.2　分子热运动的无序性及统计规律性 …… 102
12.2.1　物质的微观模型 …… 102
12.2.2　分子热运动的无序性及统计规律性 …… 103
12.3　理想气体的压强公式 …… 104
12.4　理想气体分子的平均平动动能与温度的关系 …… 107
12.5　能量均分定理　理想气体的内能 …… 109
12.5.1　自由度 …… 109
12.5.2　能量均分定理 …… 111
12.5.3　理想气体内能 …… 112
12.6　麦克斯韦气体分子速率分布律 …… 113
12.6.1　速率分布概念 …… 114
12.6.2　麦克斯韦速率分布律 …… 115
12.6.3　三种统计速率 …… 116
12.7　分子平均碰撞次数和平均自由程 …… 119
12.7.1　分子间的碰撞 …… 119
12.7.2　平均碰撞次数和平均自由程 …… 119
习题 12 …… 121

第 13 章　热力学基础 …… 124
13.1　准静态过程　功　热量 …… 124
13.1.1　准静态过程 …… 124
13.1.2　功 …… 125
13.1.3　热量 …… 125
13.2　热力学第一定律　内能 …… 126
13.3　理想气体的等容过程和等压过程　摩尔热容 …… 127
13.3.1　等体过程　摩尔定体热容 …… 127
13.3.2　等压过程　摩尔定压热容 …… 128

13.4 理想气体的等温过程和绝热过程 …… 130
13.4.1 等温过程 …… 130
13.4.2 绝热过程 …… 131
13.5 循环过程 卡诺循环 …… 134
13.5.1 循环过程 …… 134
13.5.2 卡诺循环 …… 135
13.6 热力学第二定律 卡诺定理 …… 138
13.6.1 热力学第二定律 …… 138
13.6.2 卡诺定理 …… 139
习题 13 …… 139

第 14 章 狭义相对论 …… 143
14.1 伽利略变换式 经典力学的相对性原理 …… 143
14.2 迈克耳孙-莫雷实验 …… 145
14.3 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换 …… 147
14.3.1 狭义相对论的基本原理 …… 147
14.3.2 洛伦兹变换式 …… 148
14.3.3 洛伦兹速度变换式 …… 150
14.4 狭义相对论的时空观 …… 150
14.4.1 同时的相对性 …… 150
14.4.2 长度的收缩 …… 150
14.4.3 时间的延缓 …… 151
14.4.4 马赫、洛伦兹、庞加莱等人的贡献 …… 152
14.4.5 爱因斯坦的狭义相对论 …… 152
14.5 相对论动力学——相对论性动量和能量 …… 153
14.5.1 质量与速度的关系 …… 153
14.5.2 动量和速度的关系 …… 154
14.5.3 狭义相对论力学的基本方程 …… 154
14.5.4 质量与能量的关系 …… 154
14.5.5 动量和能量的关系 …… 155
习题 14 …… 157

第 15 章 量子物理简介 …… 159
15.1 黑体辐射 普朗克能量子假设 …… 159
15.1.1 黑体热辐射 …… 159

15.1.2 黑体热辐射的实验规律 …… 160
15.1.3 经典理论的困难 …… 161
15.1.4 普朗克的量子理论 …… 162
15.2 光电效应 光的波粒二象性 …… 163
15.2.1 光电效应 …… 163
15.2.2 光的波粒二象性 …… 166
15.3 康普顿效应 …… 167
15.4 氢原子的玻尔理论 …… 171
15.5 德布罗意波 …… 173
15.5.1 德布罗意波假设 …… 173
15.5.2 德布罗意波的实验证明 …… 174
15.6 不确定关系 …… 178
15.7 量子力学简介 …… 180
15.7.1 函数 概率密度 …… 180
15.7.2 薛定谔方程 …… 182
15.7.3 一维势阱问题 …… 184
习题 15 …… 187

习题答案 …… 189

第9章 振动

振动是自然科学和社会科学中的一种运动形式，如行星的运动、血液的循环，还有社会科学中的生态循环、消费指数的振荡等。这些运动共同的特点就是具有周期性，所谓周期性运动是指在时间上具有重复性或往复性的运动。在日常的生活中，也有很多的振动，如心脏的跳动、钟摆的摆动、活塞的往复运动等，这些运动具有自身的特点，我们称之为机械振动。

9.1 简谐振动 振幅 周期和频率 相位

简谐振动是一种最简单、最基本的振动，任何复杂的振动都可以由简谐振动合成。因此，学习简谐振动的规律十分必要。

9.1.1 简谐振动

物体振动时，决定其位置的坐标是时间的正弦(或余弦)函数的运动，称为简谐振动。简谐振动是一种最简单、最基本的振动。下面以弹簧振子为例，研究简谐运动的基本规律。

如图9.1.1所示，将轻弹簧(质量忽略不计)的左端固定，右端连一质量为 m 的物体，放置在光滑的水平面上，物体所受阻力忽略不计。当物体在位置 O 时，弹簧具有自然长度，此时物体在水平方向所受的合外力为零，位置 O 称为平衡位置。取平衡位置 O 为坐标原点，水平向右 Ox 为正方向，现将物体向右移动到位置 A，然后放开，由于弹簧伸长而出现指向平衡位置的弹性力，在弹性力作用下，物体向左运动，当通过位置 O 时，作用在 m 上弹性力等于零，但是由于惯性作用，m 将继续向点 O 左边运动，使弹簧压缩。此时，由于弹簧被压缩，而出现了指向平衡位置的弹性力并将阻止物体向左运动，使 m 速率减小，直至物体静止于 B(瞬时静止)，之后物体在弹性力作用下改变方向，向右运动。这样在弹性力作用下物体左右往复运动，即为机械振动。

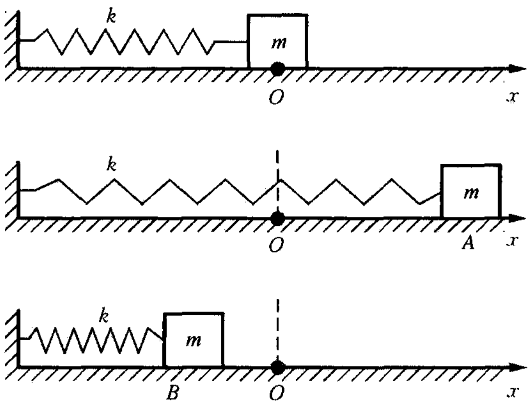

图 9. 1. 1

由胡克定律可知,物体所受的弹性力 F 与物体相对于平衡位置的位移 x 成正比,弹性力的方向与位移的方向相反,始终指向平衡位置,此力称为**回复力**。于是 $F=-kx$,其中 k 为弹簧的劲度系数,"$-$"表示力与位移的方向相反。由牛顿第二定律,物体的加速度为

$$a=\frac{F}{m}=-\frac{kx}{m} \tag{9.1.1}$$

又 $a=\dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$,所以

$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}+\frac{k}{m}x=0 \tag{9.1.2}$$

令 $\dfrac{k}{m}=\omega^2$,式(9. 1. 2)可以写成:

$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}+\omega^2x=0 \tag{9.1.3}$$

式(9. 1. 3)是**标准的简谐振动物体的微分方程**。它是一个常系数的齐次二阶的线性微分方程,它的解为

$$x=A\cos(\omega t+\varphi) \tag{9.1.4}$$

或
$$x=A\sin(\omega t+\varphi')$$

其中,
$$\varphi'=\varphi+\frac{\pi}{2} \tag{9.1.5}$$

式(9. 1. 4)、(9. 1. 5)**是简谐振动的运动方程**。因此,我们也可以说**位移是时**

间 t 的正弦或余弦函数的运动都是简谐运动。本书中用余弦形式表示简谐运动方程。

将式(9.1.4)对时间求一阶、二阶导数，可得到简谐运动物体的速度 v 与加速度 a 分别为

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-\omega A\sin(\omega t+\varphi) \qquad (9.1.6)$$

$$a=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}=-\omega^2A\cos(\omega t+\varphi) \qquad (9.1.7)$$

可知 $v_{\max}=\omega A$，$a_{\max}=\omega^2A$。

由式(9.1.4)、(9.1.6)、(9.1.7)，可以作出如图 9.1.2 所示的 $x-t$、$v-t$ 和 $a-t$ 图。

由图 9.1.2 可见，作简谐运动的物体的位移、速度、加速度均为周期性变化，运动的周期性为简谐振动的基本特性。

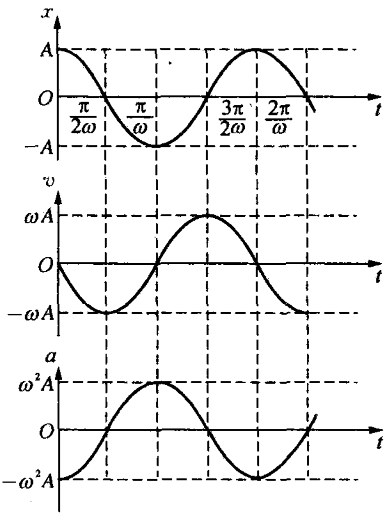

图 9.1.2

9.1.2 描述简谐振动的物理量

1. 振幅

由简谐运动方程 $x=A\cos(\omega t+\varphi)$ 可知，位移 x 的绝对值最大为 A。**A 是做简谐振动的物体离开平衡位置最大位移的绝对值，称为振幅。**A 反映了振动的强弱。

2. 周期和频率

物体做一次完全振动所经历的时间称为振动的周期，用 T 表示；在单位时间内物体所做的完全振动次数称为**频率**，用 ν 表示；ω 表示在 2π s 内物体所做的完全振动的次数，ω 称为**角频率**(或**圆频率**)。一般选取周期的单位为秒，频率的单位为赫兹，符号为 Hz，角频率的单位为弧度/秒。

其中，$\omega=\frac{2\pi}{T}$。对于弹簧振子，$\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$，所以弹簧振子的周期和频率分别为

$$T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (9.1.8)$$

$$\nu=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (9.1.9)$$

由于弹簧振子的角频率 ω 取决于 m 和 k，所以 T、ν 完全由弹簧振子本身的性质所决定，与其他因素无关。因此，这种周期和频率又称为**固有周期**和**固有频率**。

3. 相位和初相

由运动方程的位移和速度关系：$x = A\cos(\omega t+\varphi)$，$v = -\omega A\sin(\omega t+\varphi)$，可知物体在某一时刻的运动状态由位置坐标和速度来决定。振动中，当 A、ω 给定后，物体的位置和速度取决于 $(\omega t+\varphi)$，$(\omega t+\varphi)$ 称为**相位**(**或位相**)。

由上可见，相位是决定振动物体运动状态的物理量。φ 是 $t=0$ 时的相位，称为**初相**，它决定了初始时刻振动物体的运动状态。

4. A、φ 的确定

对于给定的系统，ω 已知，振幅 A 和初相 φ 取决于振动开始时物体的位移值 x_0 和速度值 v_0，x_0 和 v_0 称为**初始条件**。

初始条件：当 $t=0$ 时，$x=x_0$，$v=v_0$，代入式(9.1.4)和(9.1.6)得

$$x_0 = A\cos\varphi, \qquad v_0 = -\omega A\sin\varphi$$

两式联立得

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}} \tag{9.1.10}$$

$$\varphi = \arctan\frac{-v_0}{\omega x_0} \tag{9.1.11}$$

由于振幅为正，所以式(9.1.10)中的开方取正号。一般，在 $0\sim 2\pi$ 之间，有两个 φ 值的正切函数相同，由式(9.1.11)得出两个 φ 值，但两个中只有一个是正确的解，此解必须同时满足式(9.1.10)和式(9.1.11)。

一般约定：当 $x_0>0$、$v_0<0$ 时，φ 取第一象限的值；当 $x_0<0$、$v_0<0$ 时，φ 取第二象限的值；当 $x_0<0$、$v_0>0$ 时，φ 取第三象限的值；当 $x_0>0$、$v_0>0$ 时，φ 取第四象限的值。

例 9.1.1 一弹簧振子在光滑水平面上，已知 $k=1.60\ \mathrm{N/m}$，$m=0.40\ \mathrm{kg}$，根据下列两种情况求出物体的振动方程。

(1) 将物体从平衡位置向右移到 $x_0=0.10\ \mathrm{m}$ 处由静止释放并开始计时；

(2) 在 $x_0=0.10\ \mathrm{m}$ 处并给物体一个向左的初速度 $v_0=0.20\ \mathrm{m/s}$。

解 m 的运动方程为 $x = A\cos(\omega t+\varphi)$。由题意知

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1.60}{0.40}}\ \mathrm{s^{-1}} = 2\ \mathrm{s^{-1}}$$

(1) 初始条件：当 $t=0$ 时，$x_0=0.10\ \text{m}$，$v_0=0$，得

$$A=\sqrt{x_0^2+\frac{v_0^2}{\omega^2}}=\sqrt{0.10^2+0}\ \text{m}=0.10\ \text{m}$$

$$\varphi=\arctan\frac{-v_0}{\omega x_0}=\arctan 0$$

因为 $x_0>0$，$v_0>0$，所以 $\varphi=0$，得

$$x=0.10\cos(2t)$$

(2) 初始条件：当 $t=0$ 时，$x_0=0.10\ \text{m}$，$v_0=-0.20\ \text{m/s}$。

$$A=\sqrt{x_0^2+\frac{v_0^2}{\omega^2}}=\sqrt{0.10^2+\frac{(-0.20)^2}{2^2}}\ \text{m}=0.1\sqrt{2}\ \text{m}$$

$$\varphi=\arctan\frac{-v_0}{\omega x_0}=\arctan\left(-\frac{-0.20}{2\times 0.10}\right)=\arctan 1$$

因为 $x_0>0$，$v_0<0$，所以 $\varphi=\pi/4$，得

$$x=0.1\sqrt{2}\cos\left(2t+\frac{\pi}{4}\right)$$

可见，对于给定的系统，如果初始条件不同，则振幅和初相就有相应的改变。

9.2 旋 转 矢 量

为了更直观、更方便地研究简谐振动，我们引进旋转矢量的图示法。通过这种方法，可以形象地理解简谐振动的各个物理量。

9.2.1 旋转矢量

如图 9.2.1 所示，自 Ox 轴的原点 O 作一矢量 $\boldsymbol{A}$，其模为简谐振动的振幅 A，并使 $\boldsymbol{A}$ 在图面内绕点 O 逆时针转动，角速度大小为简谐振动角频率 ω，矢量 $\boldsymbol{A}$ 称为**旋转矢量**。

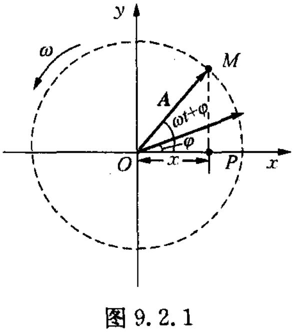

图 9.2.1

9.2.2 简谐振动的旋转矢量表示法

在图 9.2.1 中，旋转矢量 $\boldsymbol{A}$ 的矢端 M 在 x 轴上的投影点 P 可表示为 x 轴上的

简谐振动,振幅为 A,旋转矢量 $\boldsymbol{A}$ 以角速度 ω 旋转一周,相当于简谐振动物体在 x 轴上做一次完全振动,即旋转矢量旋转一周,所用时间与简谐振动的周期相同。$t=0$ 时刻,旋转矢量与 x 轴夹角 φ 为简谐振动的初相,t 时刻旋转矢量与 x 轴夹角 $(\omega t+\varphi)$ 为 t 时刻简谐振动的相位,这时矢量 $\boldsymbol{A}$ 的末端在 x 轴上的投影点 P 的位移为 $x=A\cos(\omega t+\varphi)$。由此可见,旋转矢量 $\boldsymbol{A}$ 绕点 O 转动时,其端点 M 在 x 轴上的投影点 P 的运动是简谐振动。在矢量 $\boldsymbol{A}$ 的转动过程中,点 M 做圆周运动。矢量 $\boldsymbol{A}$ 旋转一周所需要的时间等于相应的简谐振动的周期。图 9.2.2 显示了旋转矢量与简谐振动 $x-t$ 曲线的对应关系。

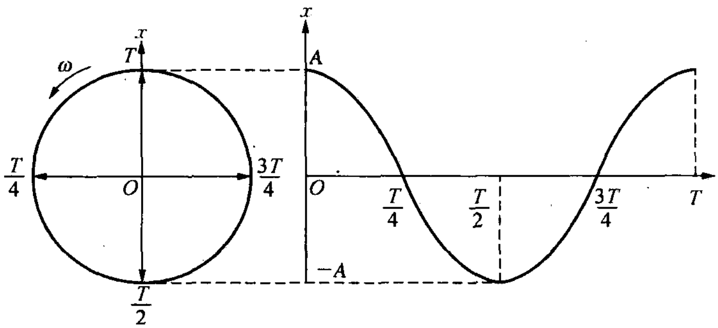

图 9.2.2

旋转矢量是研究简谐振动的一种直观、简便的方法。但是必须注意,旋转矢量本身并不是做简谐振动,而是它的矢端 M 在 x 轴上的投影点在 x 轴上做简谐振动。大家可以看到,旋转矢量图不仅为我们提供了一幅直观而清晰的简谐运动图像,而且使我们一目了然地弄清相位的概念和作用,对进一步研究振动问题十分有益。

9.2.3 旋转矢量法应用举例

例 9.2.1 一物体沿 x 轴做简谐振动,振幅为 0.12 m,周期为 2 s。当 $t=0$ 时,位移为 0.06 m,且向 x 轴正向运动。

(1) 求物体振动方程;

(2) 设 t_1 时刻为物体第一次运动到 $x=-0.06$ m 处,求物体从 t_1 时刻运动到平衡位置所用最短时间。

解 (1) 设物体简谐振动方程为 $x=A\cos(\omega t+\varphi)$。由题意知

$$A=0.12\,\mathrm{m},\qquad \omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{2}\,\mathrm{s}^{-1}=\pi\,\mathrm{s}^{-1}$$

方法一 用数学公式求 φ。

$$x_0=A\cos\varphi$$

因为 $A=0.12\ \text{m}$，$x_0=0.06\ \text{m}$，得 $\cos\varphi=\frac{1}{2}$，则 $\varphi=\pm\frac{\pi}{3}$。由于 $v_0=-\omega A\sin\varphi>0$，所以 $\varphi=-\frac{\pi}{3}$，故

$$x=0.12\cos\left(\pi t-\frac{\pi}{3}\right)$$

方法二 用旋转矢量法求 φ。

根据题意，旋转矢量如图 9.2.3 所示，可得 $\varphi=-\frac{\pi}{3}$，则

$$x=0.12\cos\left(\pi t-\frac{\pi}{3}\right)$$

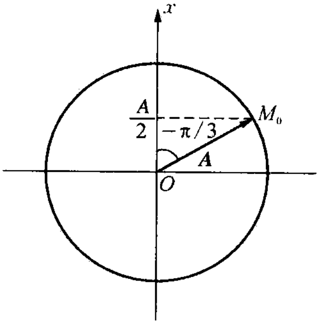

图 9.2.3

由上可见，方法二较简单。

(2) **方法一** 用数学式子求 Δt。

由题意有

$$-0.06=0.12\cos\left(\pi t_1-\frac{\pi}{3}\right)$$

由于 $\omega t_1<\omega T=2\pi$，得 $\omega t_1-\frac{\pi}{3}<2\pi$，所以

$$\omega t_1-\frac{\pi}{3}=\frac{2}{3}\pi \quad 或 \quad \omega t_1-\frac{\pi}{3}=\frac{4}{3}\pi$$

此时

$$v_1=-A\omega\sin\left(\pi t_1-\frac{\pi}{3}\right)<0$$

则 $\pi t_1-\frac{\pi}{3}=\frac{2}{3}\pi$，得到 $t_1=1\ \text{s}$。

设 t_2 时刻物体从 t_1 时刻运动后首次到达平衡位置，有

$$0=0.12\cos\left(\pi t_2-\frac{\pi}{3}\right)$$

得

$$\pi t_2-\frac{\pi}{3}=\frac{\pi}{2}\ 或\ \frac{3}{2}\pi$$

由于 $\omega t_2<2\pi$，所以 $\omega t_2-\frac{\pi}{3}<2\pi$。因为

$$v_2=-A\omega\sin\left(\pi t_2-\frac{\pi}{3}\right)>0$$