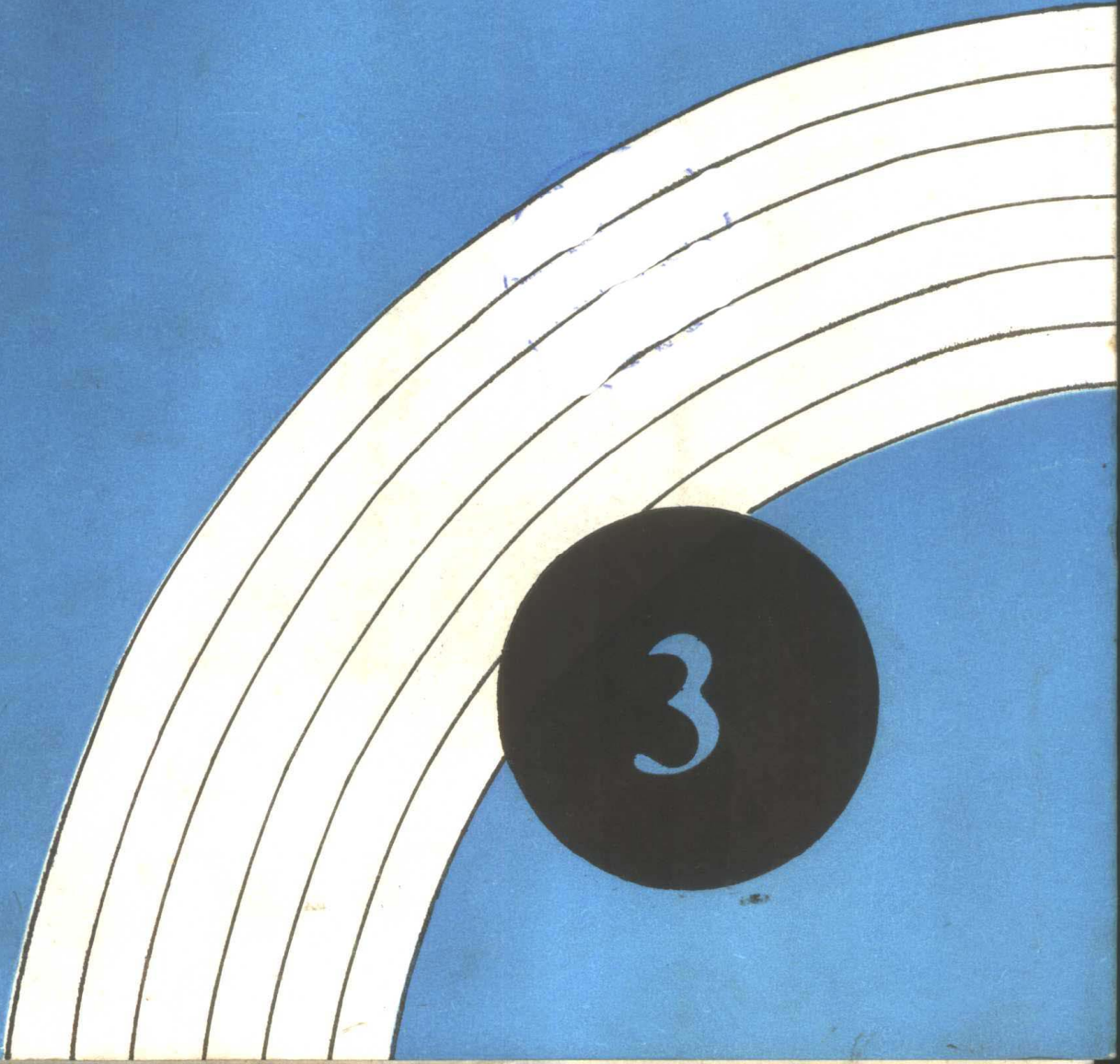


大学物理

江山 王志珪 主编



3

大学物理

第三册

江山 王志珪 主编

3

中国科学技术大学出版社

1988 · 合肥

主要编写人员

(以姓氏笔划为序)

王志珪	王育福	王国通	朱一龙	江山
汪曙光	周本莉	陈德宪	夏西平	路云峰
刘岳雄	齐传道	沈元信	吴衡坚	於定华
张遵林				

大学物理

第三册

江山 王志珪 主编

*

中国科学技术大学出版社出版

(安徽省合肥市金寨路96号)

合肥炮兵学院印刷厂印刷

安徽省新华书店发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092/20 印张 16.75 字数 250 千

1988年6月第1版 1988年6月第1次印刷

印数1—5000册

ISBN 7-312-00075-4/O·33

书号 13474·35 定价3.50元

物 理 基 本 常 数

光速	$c=3.00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
普朗克常数	$h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
	$\hbar=h/2\pi=1.05 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
万有引力常数	$G=6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
真空磁导率	$\mu_0=1.26 \times 10^{-6} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$
真空电容率	$\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
电子电量	$e=-1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
电子静质量	$m_e=9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
质子静质量	$m_p=1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
中子静质量	$m_n=1.68 \times 10^{-27} \text{ kg}$
阿伏伽德罗常数	$N_A=6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
气体普适常数	$R=8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
玻尔兹曼常数	$k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

原 子 物 理 常 数

电荷量子单位	$e=1.60219 \times 10^{-19} \text{ C}$
电子荷质比	$e/m_e=1.75880 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$
电子质量	$m_e=9.1096 \times 10^{-31} \text{ kg}=5.4859 \times 10^{-4} \text{ u}$
质子质量	$m_p=1.67261 \times 10^{-27} \text{ kg}=1.0072766 \text{ u}$
	$=1836.11 m_e$
中子质量	$m_n=1.64792 \times 10^{-27} \text{ kg}=1.0086652 \text{ u}$
	$=1838.64 m_e$
电子静能	$m_e c^2=0.51100 \text{ MeV}$
质子静能	$m_p c^2=938.26 \text{ MeV}$
中子静能	$m_n c^2=939.55 \text{ MeV}$

附表

里德堡常数

$$R_{\infty} = 1.0967758 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

玻尔半径

$$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} = 5.29177 \times 10^{-11} \text{ m} = 0.529177 \text{ \AA}$$

玻尔磁子

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9.2741 \times 10^{-24} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$$

电子的康普顿波长

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e c} = 2.42631 \times 10^{-12} \text{ m}$$

希腊字母

A	α	<i>alpha</i>
B	β	<i>beta</i>
Γ	γ	<i>gamma</i>
Δ	δ	<i>delta</i>
E	ϵ	<i>epsilon</i>
Z	ζ	<i>zeta</i>
H	η	<i>eta</i>
Θ	θ	<i>theta</i>
I	ι	<i>iota</i>
K	κ	<i>kappa</i>
Λ	λ	<i>lambda</i>
M	μ	<i>mu</i>

Φ	ϕ	<i>phi</i>
X	χ	<i>chi</i>
Ψ	ψ	<i>psi</i>
Ω	ω	<i>omega</i>

前 言

近年来,无论在工院校或军事院校,对物理教材进行改革的呼声愈来愈高,要求愈来愈迫切,中心问题是如何逐步实现教材的现代化,以适应教育“三个面向”的要求,本书就是在这种新形势的推动下所作的一种努力。

按照我们的理解,教材改革必须从我国的实际出发,首先应确保国家教委制定的对本课程的基本要求的贯彻落实,根据大学物理课程的性质和要求,改革并不意味着要在教材中加进更多艰深的近代物理和理论物理内容,而主要是,根据二十世纪以来物理学的发展,尽可能地用近代的物理思想和观点来充实和整理在本课程中必须着重讲解的那些基本内容,在编写本书时,我们力图贯彻物理学的统一性思想,不屈于对这门学科传统的划分,尽可能给出一幅简明、统一、内部充满联系、生动发展的当代物理世界的图象;突出守恒定律的地位和作用;加强场和量子观念以及物理学的近代应用,其中包括在军事上的应用,使教材具备应有的时代特

征和风貌,此外,还注意避免与中学的简单重复,阐述问题考虑到已有的中学物理基础,以上也就是我们编写本书时遵循的指导思想和基本原则。

本书分为四册,前三册为物理学基本理论,第四册为若干专题,包括激光、红外、核能利用、半导体、光导纤维和宇宙学简介等,供各校选用。

本书是二十余所军事院校通力合作的结晶,在编写过程中,始终得到总参军训部、炮兵部和海军军校部的指导和关怀,合肥炮兵学院、蚌埠地区军校协作中心以及许多院校的领导和领导给予了巨大支持和鼓励,葛旭初教授为本书写了绪论,一并在此志谢。

编写一套适应我国国情的、现代化的大学物理教材实非易举,不可能一蹴而就,我们希望本书成为引玉之砖,尽管我们的工作是很重的,在统一编写思想和编写大纲基础上写出的初稿,都经过反复讨论、修改、统稿、定稿等步序,但由于时间仓促,经验和水平有限,错误和缺点在所难免,恳请广大

教师和读者提出批评和改进意见，以便进行修订。

参加本书编写和初稿讨论的单位有：合肥炮兵学院、大连舰艇学院、空军气象学院、电子工程学院、装甲兵工程学院、海军潜艇学院、信阳陆军学院、长沙工程兵学院、昆明陆军学院、张家口通信学院、蚌埠

坦克学院、汽车管理学院、桂林陆军学院、运输工程学院、南昌陆军学院、南京炮兵学院、重庆通信学院、沈阳炮兵学院、长沙炮兵学院、国防科工委指挥技术学院、工程兵工程学院、空军高炮学院、第二炮兵指挥学院、陆军船艇学校。

编 者

• • • • •

本书第三册包括振动、波的产生和传播、波的干涉、波的衍射、波的偏振、量子物理基础、量子力学的基本概念、原子核物理、基本粒子物理等九章。参加编写的有胡厚其、吴衡坚、路云峰、马仁、王言福、汪曙光、陈德宪、王志珪、刘岳雄。由江山、王志珪执笔统稿，并由江山、王志珪、夏西平、朱一龙、王国通、王言福、周本莉讨论定稿。夏西平审核了插图，王国通、周本莉、王言福审核了习题。青岛潜艇学院承办了本册初稿讨论会。

责任编辑 朱一龙

目 录

第十二章 振动

§ 12-1 振动的一般概念..... (1)

§ 12-2 谐振动..... (2)

一 机械谐振动 (2) 二 电路中的谐振动 LC 电
路的无阻尼自由振荡 (14) *三 双原子分子内原
子的振动 (16)

§ 12-3 谐振动的合成..... (24)

一 同方向同频率谐振动的合成 (24) 二 两个振动
方向相同、频率相差不大的谐振动的合成 拍 (26)
*三 相互垂直谐振动的合成 (28)

* § 12-4 阻尼振动 受迫振动 共振..... (33)

一 阻尼振动 (33) 二 强迫振动 共振 (35)

* § 12-5 振动的频谱..... (38)

第十三章 波的产生和传播

§ 13-1 机械波的产生和传播..... (46)

一 机械波的产生 (46) 二 波动方程 (48)
三 简谐波的波动方程 (49) 四 波动方程的
微分形式 (52) 五 波动方程的动力学推导
波速 (54) 六 波在空间的传播 (58)

§ 13-2 电磁波的产生和传播..... (61)

一 电磁波的产生 (61) *二 电磁波波动方程的推
导 (61) 三 电磁波的波源 (62) 四 电磁波的
性质 (66) 五 电磁波谱 (67) 六 电磁波在物

	质中的传播 (69)	
§ 13-3	波的能量.....	(71)
	一 机械波的能量和能流密度 (71) 二 电磁波的能量和能流密度 (75) 三 波的吸收 (77)	
§ 13-4	多普勒效应.....	(78)
	一 机械波的多普勒效应 (79) *二 电磁波的多普勒效应 (82)	
* § 13-5	声学基础.....	(85)
	一 声速 (86) 二 声压 (88) 三 声强及声强级 (88)	
第十四章	波的干涉	
§ 14-1	波的叠加原理.....	(95)
	一 波的叠加原理 (95) 二 相干波 双波干涉 (95)	
§ 14-2	驻波 半波损失.....	(98)
	一 驻波 (98) 二 半波损失 (103)	
§ 14-3	相干光的获得.....	(105)
	一 相干光的获得 (105) *二 空间相干性 (110)	
§ 14-4	薄膜干涉.....	(113)
	一 光程 光程差 (113) 二 薄膜干涉 (115)	
	三 劈尖干涉 (119)	
§ 14-5	迈克尔逊干涉仪 相干长度.....	(124)
	一 迈克尔逊干涉仪 (124) *二 时间相干性 (126)	
	*三 相干长度与光的单色性 (127)	
第十五章	波的衍射	
§ 15-1	惠更斯-菲涅耳原理.....	(131)
	一 衍射现象 (131) 二 惠更斯-菲涅耳原理 (133)	
	三 菲涅耳衍射和夫琅和费衍射 (134)	
§ 15-2	单缝衍射.....	(135)
	一 单缝衍射 (135) *二 单缝衍射图样的定量分析 (140)	

§ 15-3	衍射光栅.....	(145)
	一 光栅的构造 (145) 二 光栅的衍射条纹 (146)	
	三 衍射光谱 (149)	
§ 15-4	圆孔衍射 分辨本领.....	(152)
	一 夫琅和费圆孔衍射 (152) 二 分辨本领 (153)	
§ 15-5	伦琴射线的衍射.....	(157)
第十六章	波的偏振	
§ 16-1	横波的偏振 自然光和偏振光.....	(163)
§ 16-2	起偏和检偏.....	(166)
	一 起偏和检偏 (166) 二 马吕斯定律 (167)	
	三 反射和折射起偏 (169)	
§ 16-3	双折射现象.....	(171)
	一 双折射现象 (171) 二 尼科耳棱镜 (173)	
第十七章	量子物理基础	
§ 17-1	热辐射 普朗克能量子假说.....	(178)
	一 热辐射 (178) 二 黑体辐射的实验规律 (179)	
	三 紫外灾难 (182) 四 普朗克能量子假说 普朗克公式 (183) *五 对普朗克公式的进一步讨论 (185)	
	附录 瑞利-金斯公式的推导 (187)	
§ 17-2	光的粒子性.....	(190)
	一 光电效应 (190) 二 康普顿效应 (195)	
	*三 电磁相互作用和引力多普勒效应 (198)	
§ 17-3	氢原子光谱和玻尔理论.....	(200)
	一 氢原子光谱 (201) 二 玻尔氢原子理论 (201)	
	*三 对应原理 (205)	
§ 17-4	实物粒子的波动性.....	(206)
	一 德布罗意波 (206) 二 电子衍射实验 (208)	
§ 17-5	物质的波粒二象性 几率波.....	(211)
	一 物质的波粒二象性 (211) 二 几率波 (214)	

§ 17-6 测不准关系	(215)
--------------	---------

一 测不准关系 (215) *二 零点能量 (219)

阅读材料: 物理学界一场划时代的大论战——爱因斯坦-玻尔之争简介 (221)

第十八章 量子力学的基本概念

§ 18-1 波函数	(230)
------------	---------

§ 18-2 薛定谔方程	(235)
--------------	---------

§ 18-3 薛定谔方程的简单应用	(237)
-------------------	---------

一 一维矩形势阱 (237) *二 一维势垒 隧道

效应 (242)

§ 18-4 氢原子	(244)
------------	---------

一 能量量子化 (245) 二 角动量量子化 (245)

三 电子的波函数 (246)

§ 18-5 电子的自旋	(250)
--------------	---------

一 斯特恩-盖拉赫实验 (250) 二 电子的自旋 (251)

§ 18-6 多电子原子系统 元素周期表	(253)
----------------------	---------

一 泡利不相容原理 (253) 二 电子壳层的填充 (255)

*第十九章 原子核物理

§ 19-1 原子核的基本性质和组成	(261)
--------------------	---------

一 原子核的成份与电荷 (261) 二 原子核的大小与

密度 (262) 三 原子核的自旋与磁矩 (264)

§ 19-2 原子核的结合能与核力	(267)
-------------------	---------

一 原子核的质量亏损与结合能 (267) 二 原子核的

平均结合能 (267) 三 核力 (270)

§ 19-3 原子核的衰变	(271)
---------------	---------

一 α 、 β 和 γ 衰变 (271) 二 原子核的衰变规律 (275)

*第二十章 基本粒子物理

§ 20-1 基本粒子谱系	(281)
---------------	---------

§ 20-2 基本粒子的相互作用	(289)
------------------	---------

一 引力相互作用 (290) 二 电磁相互作用 (291)

	三 强相互作用 (291)	四 弱相互作用 (292)
§ 20-3	对称性与守恒定律.....	(294)
§ 20-4	强子的夸克模型.....	(300)
§ 20-5	基本粒子和力的统一.....	(306)
	一 基本粒子家族 (306)	二 基本相互作用的统一 (308)
习题答案	 (312)	

第十二章 振 动

§ 12-1 振动的一般概念

物体在一定位置附近作来回往复的运动称为机械振动。机械振动是一种十分普遍的运动形式。例如，一切发声体的运动，机器开动时各部分的微小颤动，舰艇在水中纵向、横向的摇摆，都是振动。人体内也有许多振动现象：如心脏的跳动、耳的鼓膜和声带的振动等。就连组成我们身体各部分的那些原子，都在不停地振动。

机械振动

振动并不限于上述的机械振动，从广义上来说，若描述物体状态的某个物理量在某一值附近反复变化，我们就称这个物理量在作振动。例如，电荷、电流、电磁场、温度、脉冲星的亮度和体积等，都可能在某个值附近作振动。因此，振动现象广泛存在于各种自然现象之中。各种振动的物理本质往往并不相同，但在数学表述上却是相同的，本章我们着重研究机械振动和电磁振荡。

广义的振动

常见的机械振动往往是周期性的，也就是说，每隔一固定的时间 T ，运动状态就完全重复一次，这固定的时间 T 称为振动的周期。图 12-1 画出了两条振动曲线。图 12-1a 是一只猫心脏内压力变化的情形，横轴代表时间，纵轴代表压力，这是一种较为复杂的振动；图 12-1b 是音叉的振动图形，横轴表示时间，纵轴表示音叉的位移。

周期性振动

振动曲线呈余弦（或正弦）状的振动称为谐振动。本章我们重点讨论谐振动，这不仅因为在日常生活或科学实验中存在着大量近似的谐振动，而且因为谐振动是构成一切复杂振动的基础，即

谐振动

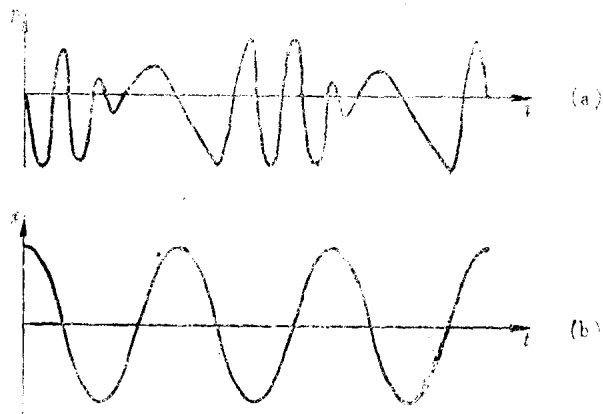


图 12-1 (a) 心脏内压力的变化 (b) 音叉的振动

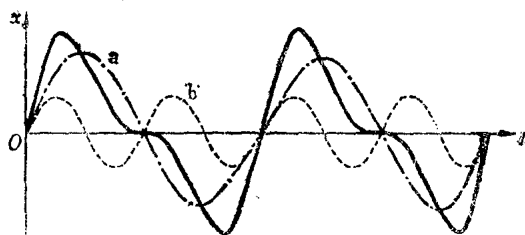


图 12-2 两个谐振动的叠加

任何复杂的周期性振动都可看成是若干个（或无限多个）谐振动的叠加，如图 12-2 所示，由实线所表示的较复杂的振动可分解为由图中 a 和 b 两条曲线所表示的两个谐振动的叠加。对于更为复杂的周期性振动则可分解为更多的谐振动，所以研究谐振动是研究复杂振动的基础，谐振动又称简谐振动。

§ 12-2 谐 振 动

一 机械谐振动

弹簧振子 如图 12-3 所示，将一遵从胡克定律的理想轻弹簧（即不计质量的弹簧）的一端固定，另一端系一物体，并限制在光滑水平面上运动，这样的系统称为弹簧振子或谐振子。当不考

虑空气阻力或其它阻力时，系统称为无阻尼的。现将物体向左或向右略加移动后放开，物体将在弹簧的弹性恢复力作用下作左右往复的运动。

谐振子是一种重要的物理模型。许多物理系统的运动用数学描述时都相当于谐振子，例如单摆、音叉、单簧管中的空气、分子中的原子就是这类系统，它们的弹性恢复力的数学表示式和谐振子类似，因而它们的运动的数学表述也相同。

谐振动的微分方程和运动方程 为导出谐振子的运动方程，我们来分析图 12-3 中物体 m 的运动过程。设物体的平衡位置为 O ，当物体在平衡位置右边（或左边）时，弹簧被拉长（或压缩），相应地有指向左方（或右方）、即指向平衡位置的弹性力作用在物体上。取平衡位置 O 为原点，通过 O 点的水平线为 x 轴，其正方向指向右方。按胡克定律，物体所受弹性力 F 与弹簧的形变、即与物体对平衡位置的位移 x 的关系为

$$F = -kx$$

式中 k 是弹簧的倔强系数，它由弹簧本身特性（材料、形状、大小）所决定，负号表示力与位移的方向相反。

根据牛顿第二定律，质量为 m 的物体在弹性力作用下所获得的瞬时加速度为

$$a = \frac{F}{m} = -\frac{k}{m}x \quad (12-1)$$

对于一个给定的弹簧振子， k 与 m 均为恒量，且均为正值，所以它们的比值可用另一个恒量 ω 的平方表示，即

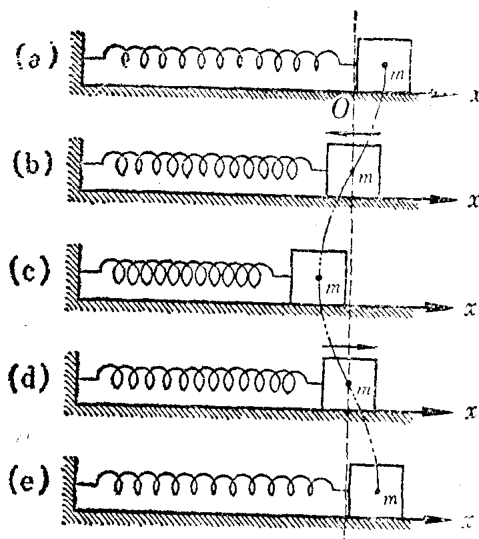


图 12-3 弹簧振子的振动

$$\frac{k}{m} = \omega^2 \quad (12-2)$$

把上式代入式(12-1), 有

$$a = -\omega^2 x \quad (12-3)$$

谐振动的特征

上式说明, 弹簧振子的加速度 a 的大小与位移 x 成正比, 但方向相反. 我们把具有这种特征的振动叫谐振动.

由于加速度 $a = d^2x/dt^2$, 故式(12-3)可改写成

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x \quad (12-4)$$

或

谐振动的微分方程

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad (12-5)$$

上式称为谐振动的微分方程, 它的解是

谐振动的运动方程

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (12-6)$$

式中 A 和 φ 是积分常量, 分别称为振幅和初位相, ω 称为圆频率, 其物理意义将在以后讨论. 上式是谐振动的运动方程. 可见, 当物体作谐振动时, 位移是时间的余弦函数. 所以也可以说, 具有如上形式的运动方程的运动叫谐振动.

因为 $\cos(\omega t + \varphi) = \sin(\omega t + \varphi + \pi/2)$, 若令 $\varphi' = \varphi + \pi/2$, 则式(12-6)可写成 $x = A \sin(\omega t + \varphi')$, 即物体作谐振动时, 位移也可写成时间的正弦函数, 为确定起见, 本书一般采用余弦函数的形式.

将式(12-6)对时间分别求一阶、二阶导数, 可得作谐振动的物体的速度和加速度为

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi) \quad (12-7)$$

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) \quad (12-8)$$

由式(12-6)、(12-7)、(12-8), 可作出如图12-4所示的关于谐振动的 $x-t$ 、 $v-t$ 和 $a-t$ 图。由图可看出, 物体作谐振动时, 它的位移、速度和加速度都作周期性变化。

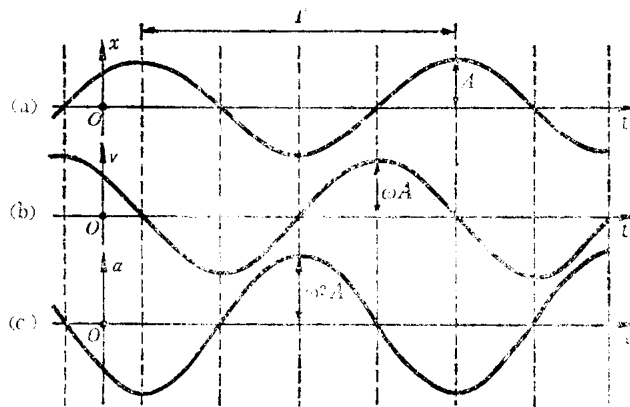


图 12-4 谐振动的 $x-t$ 、 $v-t$ 、 $a-t$ 图

谐振动的旋转矢量表示 为了直观地领会谐振动表示式中 A 、 ω 、 φ 三个物理量的意义, 并为后面讨论振动合成提供简明的方法, 现介绍谐振动的旋转矢量表示法。

如图12-5, 在纸平面内作坐标轴 Ox , 由原点 O 作一矢量 OM , 用 A 表示, 其长度等于振动物体位移的最大值(绝对值), 当 $t=0$ 时, A 与 x 轴夹角为 φ 。现使矢量 A 以恒定角速度 ω 在图平面内绕 O 点作逆时针匀速转动, 在时刻 t , 其端点 M 在 x 轴上的投影点 P 的坐标是

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

上式与式(12-6)相同, 可见, 当旋转矢量 A 作匀

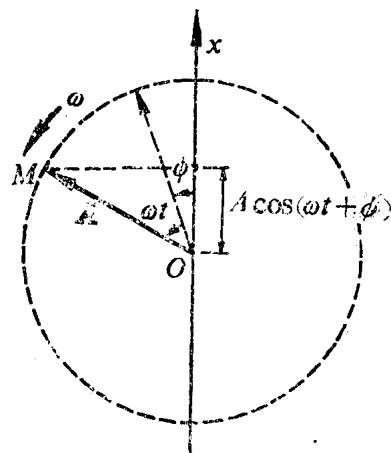


图 12-5 谐振动旋转矢量表示法