



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(第2版)

下

大学物理

主编 罗益民 余燕 主审 叶善专



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理

(第2版)

(下)

主 编 罗益民 余 燕
主 审 叶善专



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内容简介

本书依据教育部颁布的“非物理类理工科大学物理教学基本要求”并结合编者多年的教学经验编写而成,2008年被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

全书分上、下两册。上册内容有质点运动学、质点动力学、刚体转动、狭义相对论、静电场、稳恒磁场、电磁场;下册内容包括振动、波动、波动光学、气体动理论、热力学基础、量子力学基础、原子核和基本核子简介。此外,为开阔学生的视野,书中选编了若干篇阅读材料,内容涉及物理学研究前沿、物理学最新研究成果及物理学应用等方面的知识。考虑到非物理专业的实际情况,全书着重于物理学基本概念、基本知识和思维方式介绍,尽量避免一些繁琐的数学运算,尽量使用通俗化的语言。书中插图由专业人员利用最新计算机软件绘制而成,表达准确、图像精美,因而可读性强。

为方便教师教学和学生自学,本套教材还配有学习指导书和电子教案。指导书针对学习大学物理的重点、难点问题,作出了更为详尽的阐述,并选编了相当数量的例题和自测题;电子教案融入了大量的动画和素材,使教学过程变得更为生动、有趣。

本书可作为高等学校非物理类专业大学物理课程教材。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理. 下/罗益民,余燕主编. —2版. —北京:北京邮电大学出版社,2008(2008.12重印)

ISBN 978-7-5635-1695-7

I. 大… II. ①罗… ②余… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第059995号

书 名	大学物理(下)
主 编	罗益民 余 燕
责任编辑	沙一飞 唐咸荣
出版发行	北京邮电大学出版社
社 址	北京市海淀区西土城路10号(100876)
电话传真	010-62282185(发行部) 010-62283578(传真)
电子信箱	ctrd@buptpress.com
经 销	各地新华书店
印 刷	北京忠信诚胶印厂
开 本	787mm×960mm 1/16
印 张	19.75
字 数	412千字
版 次	2008年6月第2版 2008年12月第2次印刷

ISBN 978-7-5635-1695-7

定 价(上、下册):58.00元

本册定价:29.00元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

序

物理学是研究物质的组成、性质、运动和相互作用,并以此阐明物质运动规律的科学.它是自然科学中最重要的基础学科之一.物理学的基本概念、方法和知识已被应用到所有的自然科学领域,因此,大学物理是一门不可替代的基础课.

大学生培养从应试教育向素质教育的转变,对大学物理课程提出了新的要求:在传授物理知识的同时,应特别注重向学生传授有关物理学的研究方法和思维方式,以提高学生的科学素质.

物理学内容广泛,难度不一.作为一名工科大学生,学习大学物理的时间和精力有限,要想在较短的时间内掌握尽可能多的物理知识,选择一本好的教材尤为重要.

这套教材将传统编写思路发扬光大,兼顾了科学发现的历史顺序和科学本身的逻辑关系.教材由浅入深地讲述了物理学基本概念,形象地描绘了物理模型,适当地介绍了物理学在其他学科和新技术领域的应用,特别是用普通物理的语言讲述了近代物理的内容,使得整套教材的可接受性突出;教材淡化了复杂的数学运算,突出了物理概念的重要性;阅读材料的选择兼顾了物理知识的应用,也反映了物理学发展的前沿动态.全套教材的编写紧扣教学大纲,密切联系了工科专业大学物理教学的实际,富有创意和特色.教材选材合理,理论严谨,内容深入浅出,语言通俗易懂,很适合于初学者阅读.

中南大学是全国工科物理教学基地之一,参加本书编写的教师多年来一直从事大学物理教学工作,有着丰富的教学经验,为基地建设作出过很大的贡献,对大学物理课程教学有深刻的认识.该套教材也是编者们对基地建设经验的总结,凝聚了编者多年的心血,是一本难得的好书.

本人有感于他们对物理教材建设和工科专业大学物理教育所作的努力和贡献,特为之序.



钱列加 谨识

2004年1月于复旦大学

前 言

为适应“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的需要,根据教育部颁布的“非物理类理工科大学物理课程教学基本要求”,编者结合自身多年的教学实践经验以及国家工科物理教学基地和国家精品课程建设的体会编写成了这套教材.

本书融合了国内外众多优秀教材的优点,以现代教育理念和现代物理思想为指导,以基础教育和素质教育为双重目标来构建了教材的结构体系.整套教材既继承了传统教学内容的框架,又增加了反映现代科技发展方向的前沿内容,除介绍物理学基本内容外,还适当穿插了物理学发展历史及研究方法的介绍,内容由浅入深,重点、难点突出.既能满足大学物理教学的需要,又能为素质教育作出一定的贡献是编写本书的出发点;语言通俗易懂、读来生动有趣是编者追求的目标.

全套教材分为《大学物理》(上、下册)和《大学物理学习指导》,共三册并配有电子教案.

本书由中南大学和武汉理工大学的老师们共同编写,中南大学是全国工科物理教学基地之一,其大学物理课程是国家精品课程.参加本书编写工作的教师多年来一直从事大学物理教学工作,对基地建设和国家精品课程建设作出了很大的贡献,对工科物理教学积累了丰富的经验并有许多独到的见解,这些经验和体会已被融入教材之中.

教材第 1 版自 2004 年出版以来,受到了任课教师和学生的普遍好评,并于 2008 年被教育部列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材.现将第 1 版加以修改后作为第 2 版推出,主要将第 1 版的部分章节作了调整,使之更符合大多数学校的教学安排.

本书由罗益民、余燕主编.蔡建国编写第 1、2、3 章;雷杰编写第 4 章;罗益民编写第 5、6、7 章;廖红编写第 8、9 章;唐英编写第 10 章;周一平编写第 11、12 章;吴烨编写第 13、14 章.全套书最后由罗益民、余燕负责统稿和定稿.东南大学叶善专教授认真审查了全书,提出了宝贵的指导性意见;复旦大学钱列加教授审查了本书并为本书作序;中南大学的郑小娟老师制作了本书的电子教案并提供了全部习题答案;北京邮电大学出版社为本书的出版、发行和推广做了大量的工作.在此一并致谢.

由于编者水平有限,加之时间仓促,疏漏和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正.

编 者

2008 年 4 月

目 录

第 8 章 振 动	1
§ 8.1 简谐振动	1
8.1.1 简谐振动的方程、速度和加速度	1
8.1.2 描述简谐振动的特征量	3
8.1.3 旋转矢量法	5
8.1.4 简谐振动的实例	7
8.1.5 简谐振动的能量	10
§ 8.2 简谐振动的合成	11
8.2.1 两个同方向同频率简谐振动的合成	11
8.2.2 两个同方向不同频率的简谐振动的合成	14
8.2.3 相互垂直的简谐振动的合成	15
§ 8.3 阻尼振动 受迫振动 共振	17
8.3.1 阻尼振动	17
8.3.2 受迫振动 共振	18
* § 8.4 振动的分解	20
* § 8.5 非线性振动简介	21
本章提要	23
阅读材料(八)	25
思考题	29
习题	30
第 9 章 波 动	34
§ 9.1 机械波的产生和传播	34
9.1.1 机械波的形成	34
9.1.2 描述波动的物理量	35
§ 9.2 平面简谐波的波动方程	37
§ 9.3 波的能量	40
9.3.1 波的能量和能量密度	40
9.3.2 波的能流和能流密度	41

9.3.3 球面波 波的吸收	42
§ 9.4 波的衍射 干涉	43
9.4.1 惠更斯原理 波的衍射	43
9.4.2 波的叠加原理 波的干涉	44
§ 9.5 驻 波	46
9.5.1 驻波的形成	46
9.5.2 驻波的波动方程	48
9.5.3 半波损失	49
* 9.5.4 弦线振动的简正模式	50
§ 9.6 多普勒效应	51
§ 9.7 电磁波	52
* 9.7.1 电磁波的波动方程	53
9.7.2 电磁波的辐射	54
9.7.3 平面电磁波的传播	56
9.7.4 电磁波谱	57
9.7.5 电磁波的能量和动量	58
9.7.6 电磁波的动量	59
* § 9.8 非线性波简介	60
本章提要	61
阅读材料(九)	64
思考题	69
习题	70
第 10 章 光 学	74
§ 10.1 光的相干性	74
10.1.1 光源	74
10.1.2 光的相干性	75
10.1.3 光程 光程差	76
§ 10.2 分波面干涉	77
10.2.1 杨氏双缝干涉	77
10.2.2 菲涅耳双面镜 劳埃德镜	79
§ 10.3 分振幅干涉	81
10.3.1 薄膜干涉	81
10.3.2 薄膜的等厚干涉	83
10.3.3 薄膜的等倾干涉	87
10.3.4 迈克耳孙干涉仪	88

§ 10.4 光的衍射	90
10.4.1 光的衍射现象及其分类	90
10.4.2 惠更斯-菲涅耳原理	91
10.4.3 单缝衍射	92
10.4.4 圆孔夫琅禾费衍射	96
10.4.5 光学仪器的分辨能力	97
§ 10.5 光 栅	99
10.5.1 光栅衍射现象	99
10.5.2 光栅衍射规律	100
10.5.3 光栅光谱	102
§ 10.6 X 射线衍射	103
§ 10.7 光的偏振	104
10.7.1 自然光 偏振光	104
10.7.2 偏振片的起偏与检偏	106
10.7.3 马吕斯定律	107
10.7.4 反射和折射光的偏振	108
10.7.5 晶体的双折射	109
§ 10.8 偏振光的干涉 人为双折射 旋光现象	111
10.8.1 偏振光的干涉	111
10.8.2 人为双折射	112
10.8.3 旋光现象	113
* § 10.9 现代光学简介	114
10.9.1 全息技术	114
10.9.2 非线性光学简介	117
10.9.3 光纤技术	119
本章提要	123
阅读材料(十)	125
思考题	129
习题	131
第 11 章 气体动理论	134
§ 11.1 平衡态 温度 理想气体状态方程	134
11.1.1 平衡态	134
11.1.2 温度	135
11.1.3 理想气体状态方程	136
11.1.4 统计规律的基本概念	136

§ 11.2 理想气体的压强	137
11.2.1 理想气体的微观模型 平衡状态气体的统计假设	138
11.2.2 理想气体压强公式及其统计意义	138
§ 11.3 温度的微观本质	140
11.3.1 温度的微观解释	140
11.3.2 方均根速率	141
§ 11.4 能量均分定理 理想气体的内能	142
11.4.1 分子的自由度	142
11.4.2 能量均分定理	143
11.4.3 理想气体的内能	144
§ 11.5 麦克斯韦速率分布	145
11.5.1 麦克斯韦速率分布律	145
11.5.2 三个统计速率	147
§ 11.6 玻耳兹曼分布	151
§ 11.7 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	153
* § 11.8 气体内的输运过程	155
11.8.1 内摩擦现象(粘滞现象)	155
11.8.2 热传导现象	156
11.8.3 扩散现象	157
本章提要	158
阅读材料(十一)	160
思考题	161
习题	162
第 12 章 热力学基础	164
§ 12.1 准静态过程	164
12.1.1 准静态过程	164
12.1.2 内能、功和热量	165
12.1.3 准静态过程的功和热量	165
§ 12.2 热力学第一定律	166
12.2.1 热力学第一定律	166
12.2.2 热力学第一定律对理想气体平衡过程的应用	167
§ 12.3 循环过程和卡诺循环	174
12.3.1 循环过程	174
12.3.2 卡诺循环	175
§ 12.4 热力学第二定律	179

12.4.1 热力学第二定律	179
12.4.2 热力学第二定律两种表述的等效性	180
12.4.3 可逆与不可逆过程	181
12.4.4 卡诺定理	183
§ 12.5 热力学第二定律的统计意义 熵	184
12.5.1 热力学第二定律的统计意义	184
12.5.2 熵 熵增原理	186
12.5.3 熵的热力学表示	187
* 12.5.4 熵与能量退化 开放系统熵变	193
本章提要	195
阅读材料(十二)	197
思考题	202
习题	203
第 13 章 量子力学基础	205
§ 13.1 黑体辐射和普朗克量子假设	205
13.1.1 黑体辐射	205
13.1.2 普朗克量子假设和普朗克公式	207
§ 13.2 光的量子性	210
13.2.1 光电效应	210
13.2.2 康普顿效应	213
§ 13.3 玻尔的氢原子理论	216
13.3.1 氢原子光谱	216
13.3.2 玻尔氢原子理论	217
§ 13.4 实物粒子的波粒二象性	220
13.4.1 德布罗意波	220
13.4.2 德布罗意波的实验证明	221
13.4.3 德布罗意波的应用	222
13.4.4 德布罗意波的统计解释	223
§ 13.5 不确定关系	224
§ 13.6 薛定谔方程	227
13.6.1 波函数 概率密度	227
13.6.2 薛定谔方程	229
13.6.3 一维无限深方势阱	231
13.6.4 一维方势垒 隧道效应	233
13.6.5 一维线性谐振子 * 字称	234

§ 13.7 算符与平均值	236
13.7.1 算符的本征值和本征函数	236
13.7.2 力学量的算符表示	237
13.7.3 态叠加原理	239
13.7.4 力学量测量结果概率,平均值	239
13.7.5 算符的对易和不确定关系	241
§ 13.8 氢原子的量子理论	243
13.8.1 氢原子的薛定谔方程	243
13.8.2 $\hat{L}_z$ 及 $\hat{L}^2$ 的本征值及本征函数	244
13.8.3 径向波函数的求解	246
13.8.4 三个量子数	247
13.8.5 氢原子的波函数	248
13.8.6 电子云	250
§ 13.9 多电子原子中的电子分布	253
13.9.1 电子自旋,自旋量子数	253
13.9.2 多电子原子中的电子分布	254
§ 13.10 激光原理	256
13.10.1 激光的特性	256
13.10.2 原子的激发、辐射与吸收	257
13.10.3 粒子数反转分布	259
13.10.4 光学谐振腔	261
13.10.5 激光器	262
本章提要	264
阅读材料(十三)	268
思考题	269
习题	270
第 14 章 原子核物理和粒子物理简介	274
§ 14.1 原子核的基本性质	274
14.1.1 原子核的组成	274
14.1.2 原子核的大小	275
14.1.3 核力	275
14.1.4 核的自旋与磁矩	276
§ 14.2 原子核的结合能 裂变和聚变	277
14.2.1 原子核的结合能	277
14.2.2 重核的裂变	278

* 14.2.3 轻核的聚变	279
§ 14.3 原子核的放射性衰变	281
14.3.1 放射性衰变	281
14.3.2 放射性衰变规律	282
* 14.3.3 放射性强度	283
* § 14.4 粒子物理简介	284
14.4.1 粒子的基本特征	284
14.4.2 粒子的相互作用及其统一模型	284
14.4.3 粒子的分类	285
14.4.4 夸克模型	287
本章提要	289
阅读材料(十四)	291
思考题	294
习题	295
习题答案	296

第 8 章 振 动

物体在其平衡位置附近作来回往复的运动,称为**机械振动**(mechanical oscillation). 振动是常见的自然现象,如钟摆的振动、乐器的弦振动、以及因风力、地震及机器设备等原因引起的振动等. 除了机械振动外,还有电磁振动,如交流电路中电流或电压的振动(又称振荡),无线电波中电场和磁场的振荡等.

一般说来,任何一个物理量随时间作周期性变化,都可称为振动. 振动现象多种多样,但遵从的基本规律却是相同的. 在振动中,最简单最基本的振动是简谐振动(又称自由振动),其它任何复杂的振动都可以分解为若干简谐振动的叠加. 而波是振动在空间的传播,所以振动学是波动学的基础.

本章主要讨论简谐振动和振动的合成,并简要介绍阻尼振动、受迫振动和共振现象以及非线性振动.

§ 8.1 简谐振动

简谐振动(simple harmonic motion)是振动中最简单最基本的振动形式,任何一个复杂的振动都可以看成是若干个简谐振动的叠加.

一个作往复运动的物体,如果在其平衡位置附近的位移按余弦函数(或正弦函数)的规律随时间变化,这种运动称为简谐振动. 其运动学方程(也称为简谐振动的振动表达式)为

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (8-1)$$

8.1.1 简谐振动的方程、速度和加速度

取一根弹簧,一端固定另一端系一物体组成系统,一旦受到扰动,物体将在弹性力作用下往复运动,为了简化问题,假设弹簧的质量忽略不计,并可将物体作质点处理,这样构成的质点—弹簧系统称之为**弹簧振子**(spring oscillator). 显然,这是一个理想模型,它在研究振动问题中具有普遍的代表性. 如图 8-1 所示,物体在光滑水平面上

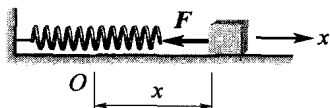


图 8-1 弹簧振子

与弹簧相连,弹簧长度为原长时,物体处于平衡状态,此时物体所在位置为系统平衡位置,而此时物体质心所在位置为坐标原点 O ;当物体离开平衡位置位移 x 时,受到弹簧的弹性力 F 作用,其关系为

$$F = -kx \quad (8-2)$$

其中 k 为弹簧的**劲度系数**(coefficient of stiffness). 若物体的质量为 m ,在不计摩擦和阻力的情况下,由牛顿第二定律

$$-kx = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

上式左边表示作用在物体上的合力在 x 轴上的投影,该力的大小与物体离开平衡位置的距离成正比,而它的方向始终指向平衡位置,这种有使物体回到平衡位置的趋势的力称为**回复力**(restoring force).

将上式两边除以 m ,并令 $\omega^2 = k/m$,则得

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

即

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad (8-3)$$

(8-3)式就是物体的振动方程,它说明作简谐振动的物体,其加速度和位移成正比而方向相反,它描述了物体作简谐振动的普遍规律.

由微分方程理论知,(8-3)式的解具有如下形式:

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

可见弹簧振子中物体的运动是简谐振动. 其中 A, φ 为由初始条件决定的积分常数.(8-3)式称为简谐振动的微分方程. 将(8-1)式对时间求导数,得物体的速度表达式为

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi) \quad (8-4)$$

当 $t=0$ 时, $x=x_0, v=v_0$, 代入(8-1)式和(8-4)式,得

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

由此解得

$$\begin{cases} A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}} \\ \varphi = \arctan\left(-\frac{v_0}{\omega x_0}\right) \end{cases} \quad (8-5)$$

将(8-4)式对时间求导数,得物体的加速度为

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) \quad (8-6)$$

(8-6)式为简谐振动物体的加速度方程. 比较(8-1)式和(8-6)式也可得

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

通常将上式作为简谐振动的定义式,也就是说,如果一个物体的加速度与位移成正比且方向相反,我们就可据此判断该物体一定在作简谐振动.

8.1.2 描述简谐振动的特征量

一、振幅 A

由简谐振动运动学方程可知,物体的最大位移不能超过 A ,物体偏离平衡位置的最大位移的绝对值叫作振幅(amplitude).由(8-5)式知振幅 A 是由初始条件决定的,它给出了物体运动的范围.

二、周期 T 、频率 ν 和角频率 ω

作简谐振动的物体,其振动状态发生周而复始的一次变化称为一次全振动,完成一次全振动所需的时间称为振动的周期(period),用 T 表示. 因为

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

所以

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (8-7)$$

周期 T 的倒数 $\nu = 1/T$ 代表物体在单位时间内发生全振动的次数,称为振动的频率(frequency). 因为

$$\omega = 2\pi\nu \quad (8-8)$$

故称 ω 为振动的角频率(angular frequency),也称圆频率.

T 、 ν 和 ω 完全由简谐振动物体自身的性质决定,即由振动物体的质量和回复力系数决定,与运动的初始条件无关. 对于弹簧振子,有

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}, T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (8-9)$$

因此, T 、 ν 和 ω 分别称为简谐振动物体的固有周期、固有频率和固有角频率. 在国际单位制中, ν 的单位是 Hz(赫兹), ω 的单位是 $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ (弧度·秒⁻¹). T 、 ν 和 ω 都反映了简谐振动的周期性.

三、相位

频率或周期描述振动的快慢,振幅描述振动的范围. 此外还有一个重要的物理量($\omega t + \varphi$),称为相位(phase). 由(8-1)式和(8-4)式可知,在已知 A 和 φ 的情况下,相位确定了振动物体的位置和速度,即振动状态,即使不具体计算振动物体的位置和速度,仅由相位值也能大体上判断出物体的振动状态. 如当 $(\omega t + \varphi) = 0$ 时,则对应物体位于 x 正向最大值、速度

为零的状态. 不难看出, φ 是 $t=0$ 时的相位, 称为初相位或初相. 可见 φ 给出了物体初始时的振动状态. 由(8-5)式知 φ 也是由初始条件决定的.

例 8-1 一轻弹簧, 原长 l_0 , 上端固定, 下端悬挂一质量 $m=2\times 10^{-2}\text{kg}$ 的重物后伸长了 $\Delta l=9.8\text{cm}$, Δl 称为静止形变. 若手托重物使弹簧缩回原长, 然后放手, 则物体上下振动. (1) 求证该系统的振动是简谐振动, 并写出振动表达式(取开始振动时为计时零点); (2) 若取物体经平衡位置向下运动时刻开始计时, 写出简谐振动的运动学方程, 并计算振动频率.

解 (1) 如图 8-2 所示, 设弹簧劲度系数为 k , 重物质量为 m , 物体未开始振动时处于 O 位置, 此时物体所受重力和弹力平衡, 可见 O 位置为其平衡位置. 取平衡位置为坐标原点, 向下为 x 轴正方向, 则有

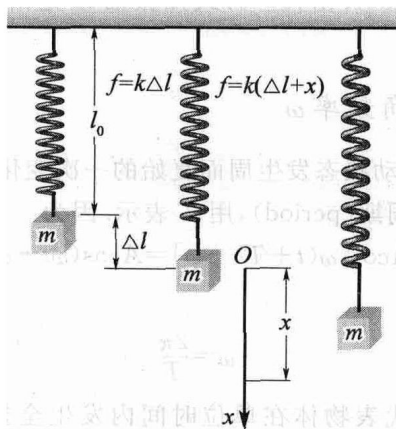


图 8-2 例 8-1 用图

$$mg = k(\Delta l)$$

当物体运动至某一位置 x 时, 弹簧的总伸长量为 $\Delta l + x$, 故物体位移为 x 时所受的合外力为

$$F = mg - k(\Delta l + x) = -kx$$

根据牛顿第二定律, 有

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg - k\Delta l - kx = -kx$$

于是

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

若令

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

则上式可改写为

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

此为简谐振动的微分方程, 故可判断物体的振动是简谐振动, 其振动的角频率为

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{g}{\Delta l}} = \sqrt{\frac{9.8}{0.098}} = 10 (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$$

按题意给出的初始条件: $t=0$ 时, $x_0 = -\Delta l$, $v_0 = 0$, 可求出振幅为

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}} = 0.098(\text{m})$$

$$\varphi = \arctan\left(-\frac{v_0}{\omega x_0}\right) = 0, \pi$$

利用 $x_0 = A\cos\varphi < 0$, 故取 $\varphi = \pi$, 所以物体振动的运动学方程为

$$x = 9.8 \times 10^{-2} \cos(10t + \pi)(\text{m})$$

(2) 按题意 $t=0$ 时, $x_0 = 0$, $v_0 > 0$, 可求得

$$\varphi = \arctan\left(-\frac{v_0}{\omega x_0}\right) = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$$

根据 $t=0$ 时, $v_0 > 0$ 条件, 故取 $\varphi = \frac{3\pi}{2}$, 因此, 物体振动方程为

$$x = 9.8 \times 10^{-2} \cos\left(10t + \frac{3\pi}{2}\right)(\text{m})$$

通过上述分析可知, 同一简谐振动, 若取不同的计时起点, 则有不同的初相位, 但简谐振动的角频率和振幅不变. 若取向上为 x 轴的正方向, 则振动方程为

$$x = 9.8 \times 10^{-2} \cos\left(10t + \frac{\pi}{2}\right)(\text{m})$$

弹簧振子的固有频率为

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = 1.6(\text{Hz})$$

8.1.3 旋转矢量法

在研究简谐振动问题时, 常采用被称为旋转矢量(rotational vector)法的方法来描述简谐振动, 这是一种振幅矢量旋转投影的几何方法, 直观简捷. 现介绍如下:

从坐标原点 O (平衡位置) 画一矢量 A , 其长度等于振幅 A , 并以 A 为半径, 画一参考圆. 在 $t=0$ 时, A 与 x 轴夹角等于初相位 φ_0 , 然后使 A 以角频率 ω 为角速度作逆时针匀速旋转, 如图 8-3 所示. 显见, 在任一时刻 t , 旋转矢量 A 与 x 轴的夹角 $(\omega t + \varphi_0)$ 就是简谐振动的相位, 此时矢量 A 在 x 轴上的投影坐标为

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$$

这正是简谐振动的运动学方程(8-1)式; 矢量端点沿圆周运动的速度大小等于 ωA , 其方向与 x 轴的夹角等于

$(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2})$, 在 x 轴上的投影为

$$v = \omega A \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

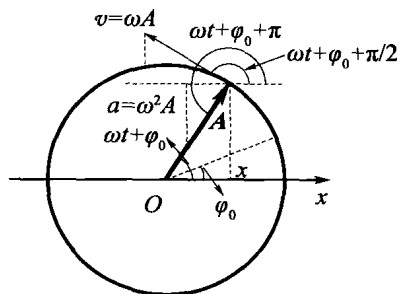


图 8-3 旋转矢量