高等学校试用教材

物理学 下册

南京工学院等七所工科院校 编　马文蔚 柯景凤 改编

人民教育出版社

高等学校试用教材

物理学

下册

南京工学院等七所工科院校 编
马文蔚 柯景凤 改编

人民教育出版社

本书是在南京工学院等七所工科院校编《物理学》(第一版)的基础上修订的. 修订时参照了 1980 年颁布的高等工科院校普通物理学教学大纲. 本书下册保持了第一版下册的精选内容、注意教法、循序渐进等特点。对振动、波与波动光学部分进行了改写,加强了旋转矢量、相位和光程等物理概念的阐述. 近代物理部分包括狭义相对论和量子物理两章,对狭义相对论作了较大的修改,将波和粒子、原子结构及量子力学简介合为量子物理一章,删去了第一版中的原子核和基本粒子部分.

本书仍分三册,上册为力学、气体分子运动论和热力学基础, 中册为电磁学,下册为波动过程和近代物理基础.

本书可作总学时为 200 学时,讲课时数为 130 学时的一般工科专业普通物理课程的教材.

责任编辑: 奚静平

高等学校试用教材

物理学

下 册

南京工学院等七所工科院校 编

马文蔚 柯景凤 改编

*

人民教育出版社出版

四川省新华书店重庆发行所发行

重庆新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 11.25 字数 270,000

1982 年 10 月第 2 版 1983 年 3 月第 1 次印刷

印数 00,001— 120,000

书号 13012·0792 定价 1.05 元

第二版下册前言

南京工学院等七所工科院校编写的《物理学》(简称第一版)，自1977年出版以来，已有四年多的时间了．在这段时间里，许多教师和读者通过各种方式对第一版的体系、内容、深广度以及文字表达等方面，提出了很多宝贵的意见和建议．我们谨向他们表示衷心感谢．

根据高等学校工科物理教材编审委员会1980年哈尔滨会议制定的教材规划，《物理学》第二版是在第一版的基础上，参照1980年颁布的高等工业学校普通物理学教学大纲进行修订的．本书仍分三册，上册为力学、气体分子运动论和热力学基础，中册为电磁学，下册为波动过程和近代物理．本书可作总学时为200学时，讲课时数为130学时的一般工科专业普通物理课程的教材．

本书下册从82年初开始修订，我们参照了81年12月工科物理教材编审委员会广州会议关于“采用工科普通物理教学大纲理论教学部分的参考意见”．机械振动、波动和波动光学等部分，在注意保持第一版的特点的同时，作了必要的增补和改写，更动了部分章节的顺序，加强了旋转矢量、相位和光程等物理概念的阐述．以小字形式排印了波的能量公式等的推导，偏振光干涉等则冠以*号，供教师选择．近代物理部分包括狭义相对论和量子物理两章．删去了第一版中的原子核和基本粒子部分．将狭义相对论、量子力学简介和激光移入正文，并增加了热辐射和半导体等内容．此外，在保持必要的系统性和科学性的前提下，便于教师根据实际情况组织近代物理部分的教学，在内容选取上有一定的灵活性，有些内容，如：洛仑兹变换式、质能关系和质速关系等公式的导出、薛

定谔方程在势垒和氢原子上的应用等，用小字排印.

在本书中，删去冠以*号和小字的内容，并不影响全书的系统性. 编者虽然做了这样一些考虑，但不一定能满足各方面的要求，请使用本书的教师，根据学生实际情况和专业特点，作进一步的增补和删节.

本书由北方交通大学佘守宪主审，佘守宪以及西北工业大学徐绪笃、北京工业学院陈广汉、上海铁道学院朱培豫、哈尔滨工业大学田恩瑞审阅了修订稿，并提出了较详细的具体修改意见和建议. 在下册修改过程中，曹恕和王明馨对全部书稿，兰信悌和周永平对近代物理部分，都提出了许多有益的建议.

本书在改编过程中得到王明馨、曹恕、兰信悌、胡美文、宋玉亭、黄秀清、陆雨时、方佩瑾、蒋福明、吴宗汉，以及南京工学院和兄弟院校许多老师的支持和帮助. 编者借此向他们致以谢意.

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中必定还有不少错误和不妥之处. 敬请使用本书的老师和同学们批评指正.

改编者

一九八二年七月于南京工学院

第一版编者的话

物理课是高等工科院校的一门重要基础理论课．通过本课程的学习，使学生较系统地掌握物质运动的基本规律，培养学生运用基本规律对一般问题进行理论分析和计算的能力．充分发挥物理学在培养学生辩证唯物主义世界观方面的作用．

在本书的编写过程中，我们努力运用辩证唯物主义观点来阐明物理学的基本规律；按照理论与实践相统一的原则，从学生易于理解的实际问题中提出问题，引出概念和规律，并指出应用这些概念和规律去解决问题的途径，同时注意培养学生抽象思维的能力；在经典物理与近代物理的关系方面，本书在系统地阐述经典物理的基本规律的同时，指出经典概念的局限性和近代物理的发展．

本书是在一九七三年江苏省工科院校《物理》编写组编写的《物理》的基础上改编成的．在改编中，注意了与现有高中水平相衔接，并作了必要的增补和修改．本书按讲授130—150学时编写，有些内容用小字排印，以供选择．

由于我们对马列著作和毛主席著作学习不够，业务水平有限，加之改编时间仓促，因此本书定有不少缺点和错误，衷心希望使用本书的教师和读者，多提出宝贵意见和建议．

参加本书编写工作的院校和人员有：南京工学院（柯景凤、马文蔚、曹恕、宋玉亭、李士澂）、南京航空学院（兰信悌、桂永蕃）、华东工程学院（张构）、华东水利学院（蒋澄华）、南京林产工业学院（王明馨）、无锡轻工业学院（葛元欣）、镇江农机学院（周遥生），并由张构、马文蔚、王明馨负责定稿．在编写过程中，兄弟院校也给予了大力的支持和帮助．

编　者

1977．12．

下册目录

第十五章　机械振动……1

15-1　谐振动……1

15-2　谐振动中的振幅、周期、频率和相位……5

15-3　旋转矢量……12

15-4　单摆和复摆……16

15-5　谐振动的能量……19

15-6　谐振动的合成……20

15-7　阻尼振动　受迫振动　共振……32

问题……39

习题……40

第十六章　机械波……46

16-1　机械波的产生和传播……46

16-2　波长　波的周期和频率　波速……52

16-3　简谐波的波动方程　波的能量……55

16-4　惠更斯原理　波的衍射……66

16-5　波的干涉……74

16-6　驻波……80

*16-7　声波　超声波……87

*16-8　多普勒效应……94

问题……98

习题……99

第十七章　电磁振荡和电磁波……103

17-1　电磁振荡……103

17-2　电磁波……110

问题……120

习题……120

第十八章　波动光学……122

18-1 相干光源……123
18-2 杨氏双缝实验 双镜 洛埃镜……127
18-3 光程 薄膜干涉……134
18-4 劈尖 牛顿环……141
18-5 迈克耳孙干涉仪……148
18-6 光的衍射……151
18-7 单缝衍射……154
18-8 圆孔衍射 光学仪器的分辨率……159
18-9 衍射光栅……163
18-10 X射线的衍射……170
18-11 自然光 偏振光……174
18-12 反射光和折射光的偏振……178
18-13 马吕斯定律……180
*18-14 旋光现象……181
18-15 双折射 偏振棱镜……183
*18-16 偏振光的干涉……187
问题……190
习题……194

第十九章 狭义相对论……198

19-1 伽利略变换式 牛顿的绝对时空观……198
19-2 迈克耳孙-莫雷实验……201
19-3 爱因斯坦假设 洛仑兹变换式……204
19-4 狭义相对论的长度和时间……211
19-5 相对论性动量和能量……218
问题……231
习题……232

第二十章 量子物理……234

20-1 黑体辐射 普朗克量子假设……235
20-2 光电效应 光子……245
20-3 康普顿效应……257
20-4 德布罗意波……264

20-5 不确定关系……271
20-6 氢原子光谱的规律性……274
20-7 原子的核型结构 玻尔氢原子理论……279
20-8 原子能级的实验证明 佛兰克-赫兹实验……292
20-9 多电子原子中的电子分布……294
20-10 量子力学简介……303
*20-11 激光……319
20-12 半导体……329
问题……342
习题……343
习题答案……347

第十五章 机械振动

振动是一种很普遍的运动形式．所谓机械振动，是指物体在一定位置附近所作的周期性往复运动．例如，钟摆的来回摆动，活塞的往复运动等，都是机械振动．但是振动并不限于机械振动，自然现象中存在着各式各样的振动．广义地说，凡描述物质运动状态的物理量，在某一数值附近作周期性的变化，都叫做振动．例如，交流电路中的电流在某一电流值附近作周期性的变化；光波、无线电波传播时，空间某点的电场强度和磁场强度随时间作周期性的变化等．虽然这些振动在本质上和机械振动不同，但是在对它们的描述上却有着许多共同之处．所以，机械振动的基本规律是学习和研究其他形式的振动以及波动、波动光学、无线电技术等的基础，在生产技术中也有着广泛的应用．

本章主要研究谐振动，并简要介绍阻尼振动、受迫振动和共振现象等．

15-1 谐振动

振动的形式是多种多样的，情况大多比较复杂．简谐振动(也叫谐振动)是最简单、最基本的振动．下面以弹簧振子为例，研究谐振动的运动规律．

如图 15-1 所示，把轻弹簧(质量可以忽略不计)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．当物体在位置O时，弹簧具有自然长度(图 15-1a)．此时，物体在水平方向不受力，即物体所受的合外力为零．位置O叫做平衡位置．为了描述物体的运动，取平衡位置O为坐标原点，取水平向右为Ox轴的

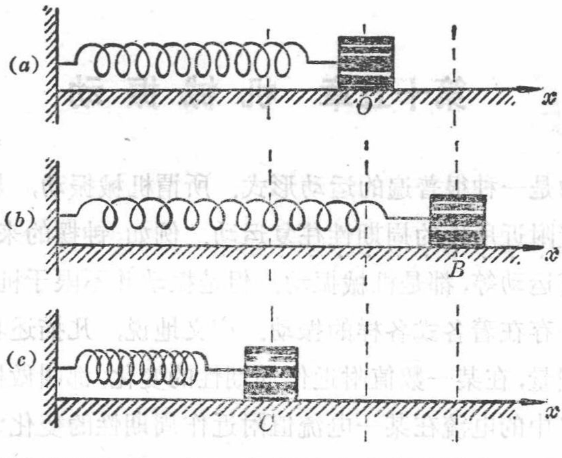

图 15-1　弹簧振子的振动

正方向．现将物体略为向右移到位置 B，然后放开 (图 15-1b)．此时，由于弹簧被伸长而出现指向平衡位置的弹性力．在弹性力的作用下，物体向左运动．当通过平衡位置时，作用在物体上的弹性力减小到零，但是由于物体具有一定的运动速度，所以物体并不停止在平衡位置，而是继续向左运动，从而压缩弹簧．此时，由于弹簧被压缩而出现的指向平衡位置的弹性力将阻止物体向左运动，使物体的运动速度减小，直到物体到达位置 C，速度减小到零为止 (图 15-1c)．物体到达 C 点后也不可能静止下来，物体又将在弹性力的作用下改变方向，向右运动．这样，在弹性力作用下，物体就在平衡位置附近作往复运动．这一振动系统叫做**弹簧振子**．

由胡克定律可知，在弹性限度内，物体在任意位置所受的弹性力 f，与物体相对于平衡位置的位移 x 成正比，而且弹性力的方向始终与位移的方向相反，总是指向平衡位置．故有

$$f=-kx$$

式中比例常数 k 为弹簧的倔强系数，它由弹簧本身的性质(材料、形状、大小等)所决定，负号表示力与位移的方向相反．因为摩擦阻

力和弹簧的质量都忽略不计,所以根据牛顿第二定律,可得物体在弹性力的作用下所获得的加速度为

$$a=\frac{f}{m}=-\frac{k}{m}x \tag{15-1}$$

对于一个给定的弹簧振子,k 与 m 都是常量,而且都是正值,所以它们的比值可用另一个常量 ω 的平方表示,即

$$\frac{k}{m}=\omega^2 \tag{15-2}$$

把上式代入式(15-1),有

$$a=-\omega^2 x \tag{15-3}$$

上式说明,弹簧振子的**加速度 a 与位移 x 成正比,而方向相反**. 我们把具有这种特征的振动叫做**谐振动**.

由于加速度 $a=\frac{d^2x}{dt^2}$,故式(15-3)可改写成

$$\frac{d^2x}{dt^2}=-\omega^2 x \tag{15-4}$$

或

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\omega^2 x=0 \tag{15-5}$$

上式为谐振动运动方程的微分形式,它的解是

$$x=A\cos(\omega t+\varphi) \tag{15-6}$$

式中 A 和 φ 是积分常量,它们的物理意义将在节 15-2 中讨论. 由上式可知,当物体作谐振动时,位移是时间的余弦函数. 所以也可以说,具有这种形式的运动方程的振动叫做谐振动①.

把式(15-6)对时间分别求一阶、二阶导数,可得谐振动物体的速度和加速度

---

① 因为 $\cos(\omega t+\varphi)=\sin(\omega t+\varphi+\pi/2)$,若令 $\varphi'=\varphi+\pi/2$,则式(15-6)可写成

$$x=A\sin(\omega t+\varphi')$$

所以也可以说,物体作谐振动时,位移是时间的正弦函数. 为确定起见,本书采用余弦函数.

$$v=\frac{dx}{dt}=-\omega A\sin(\omega t+\varphi) \tag{15-7}$$

$$a=\frac{d^2x}{dt^2}=-\omega^2 A\cos(\omega t+\varphi) \tag{15-8}$$

由式(15-6)、(15-7)、(15-8)，可作出如图 15-2 所示的 x-t、

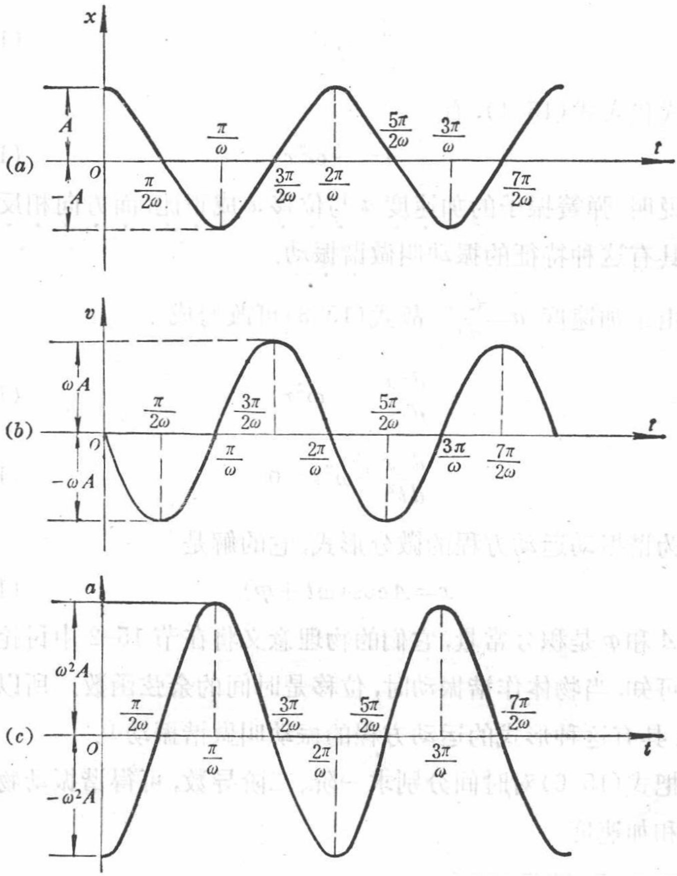

图 15-2　谐振动图解($\varphi=0$)

(a) x-t 图　　(b) v-t 图　　(c) a-t 图

v-t 和 a-t 图．从图上可以看出，物体作谐振动时，它的位移、速

度和加速度都是周期性变化的，即每隔一定的时间重复一次．运动的周期性乃是振动的基本性质．

15-2 谐振动中的振幅、周期、频率和相位

振幅、周期、频率和相位等都是描述谐振动的物理量，现在结合谐振动方程(15-6)来说明这些量的物理意义．

一 振幅

在谐振动方程 $x=A\cos(\omega t+\varphi)$ 中，因 $\cos(\omega t+\varphi)$ 的绝对值最大等于 1，所以物体的位移 x 的绝对值最大为 A，我们把作谐振动的物体离开平衡位置的最大位移的绝对值 A，叫做振幅．

二 周期

物体作一次完全振动所经历的时间叫做振动的周期，用 T 表示，通常以秒为单位．例如在图 15-1 中，物体自位置 B 经 O 到达 C，然后再回到 B；或者物体自位置 O 到达 B，经过 O 到达 C，然后再回到 O，作了一次完全振动，所经历的时间就是一个周期．所以物体在任意时刻 t 的位置和速度，应与物体在时刻 $t+T$ 的位置和速度完全相同．因此有

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

而余弦函数是以 2π 为周期的，即

$$\cos(\omega t+\varphi)=\cos(\omega t+\varphi+2\pi)$$

对比以上两式可得

$$\omega T=2\pi$$

所以

$$T=\frac{2\pi}{\omega} \tag{15-9}$$

对于弹簧振子，由式(15-2)有 $\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$，所以弹簧振子的周期为

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \tag{15-10}$$

频率和角频率：单位时间内物体所作的完全振动的次数叫做频率，用 ν 表示．它的单位名称是赫兹，代号是赫 (Hz)．当物体每秒钟振动一次时，振动频率为 1 赫兹．显然，频率等于周期的倒数，即

$$\nu=\frac{1}{T}=\frac{\omega}{2\pi} \tag{15-11}$$

有

$$\omega=2\pi\nu \tag{15-12}$$

所以 ω 表示物体在 2π 秒时间内所作的完全振动的次数，叫做角频率(或圆频率)，单位是弧度·秒$^{-1}$($\mathrm{rad\cdot s^{-1}}$)．弹簧振子的频率为

$$\nu=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \tag{15-13}$$

由于弹簧振子的角频率 $\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$ 是由表征弹簧振子性质的物理量——质量 m 和倔强系数 k 所决定的，所以周期和频率只和振动系统本身的性质有关．这种由振动系统本身的性质所决定的周期和频率叫做固有周期和固有频率．

三　相位和初相

在力学中，物体在某一时刻的运动状态，可以用位置和速度来描述．但对角频率和振幅都已给定的谐振动，它的运动状态可用“相位”这一物理量来表示．由谐振动的位移和速度方程(15-6)和(15-7)可看出，当振幅 A 和角频率 ω 一定时，振动物体在任一时刻相对平衡位置的位移和速度都决定于物理量($\omega t+\varphi$)．也就是说，当物体以一定的振幅和角频率作谐振动时，($\omega t+\varphi$)既决定了振

动物体在任意时刻相对平衡位置的位移，也决定了振动物体在该时刻的速度．量值$(\omega t+\varphi)$就叫做振动的**相位**，它是决定谐振动物体运动状态的物理量．例如图 15-1 中作谐振动的弹簧振子，当相位$(\omega t_1+\varphi)=\frac{\pi}{2}$时，$x=0, v=-\omega A$，说明这时物体在平衡位置，并以速率 ωA 向左运动；而当相位$(\omega t_2+\varphi)=\frac{3}{2}\pi$ 时，$x=0$，$v=\omega A$，说明这时物体虽也在平衡位置，但却以速率 ωA 向右运动．可见，在 t_1 和 t_2 两时刻，谐振动的相位是不同的．虽然在这两时刻它们都位于平衡位置，速度的大小也相等，但运动方向不同，因此它们的运动状态也不同．

常量 φ 是 $t=0$ 时的相位，叫做振动的**初相位**，简称**初相**．它是决定在起始时刻（又叫计时起点）振动物体运动状态的物理量．例如，若 $\varphi=0$，则在 $t=0$ 时，由式(15-6)和式(15-7)可分别得出 $x_0=A$ 及 $v_0=0$，这表示在计时起点，物体位于距离平衡位置的正最大位移处，速率为零；又如若 $\varphi=\frac{\pi}{2}$，则在 $t=0$，由式(15-6)和式(15-7)可分别得 $x_0=0$ 及 $v_0=-A\omega$，这表示在计时起点，物体位于平衡位置处，并以速率 $A\omega$ 向 x 轴负方向运动．

四　常数A和φ的确定

如上所述，谐振动方程 $x=A\cos(\omega t+\varphi)$ 中的ω（或T和ν）是由振动系统本身的性质所决定．在角频率已经确定的条件下，如果我们知道物体的初位移 x_0 和初速度 v_0，就可确定谐振动的振幅A和初相φ，从而确定该谐振动．因为把 $t=0$ 代入式(15-6)和(15-7)则有

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

从上两式即可求得 A、φ 的唯一解为

$$A=\sqrt{x_0^2+\frac{v_0^2}{\omega^2}} \tag{15-14}$$

$$\varphi=\operatorname{arctg}\frac{-v_0}{\omega x_0} \text{①} \tag{15-15}$$

初位移 x_0 和初速度 v_0 叫做起始条件. 上述结果说明, 对一定的弹簧振子(即 ω 为已知量), 它作谐振动的振幅 A 和初相 φ, 是由起始条件决定的. 由于谐振动的振幅不随时间而变化, 故谐振动是等幅振动.

总之, 对于给定的谐振动系统, 周期(或频率)由振动系统本身的性质决定, 振幅和初相则由初始条件决定.

例 1 如图(15-1)所示, 一轻弹簧的左端固定, 其倔强系数 $k=1.60\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$, 弹簧的右端系一质量 $m=0.40\text{kg}$ 的物体, 并放置在水平光滑的桌面上. 今将物体从平衡位置沿桌面向右拉长到 $x_0=0.20\text{m}$ 处释放, 试求: (1)谐振动方程; (2)物体从初位置运动到第一次经过 $\frac{A}{2}$ 处时的速度.

解 (1) 要确定一个物体的谐振动方程式, 需要确定角频率 ω(或频率 ν)、振幅 A 和初相 φ 三个物理量.

角频率 $\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}=\sqrt{\frac{1.60}{0.40}}=2.0\text{s}^{-1}$

振幅和初相由起始条件 x_0 及 v_0 决定, 已知 $x_0=0.20\text{m}$, $v_0=0$, 故由式(15-14)和(15-15)可求得

---

① $\varphi=\operatorname{arctg}\left(\frac{-v_0}{\omega x_0}\right)$ 的正负号决定于 $(-v_0)$ 和 (ωx_0) 的符号, 规定如下:

若 v_0 为负, 则 $(-v_0)$ 为正; 而 x_0 又为正. φ 在第一象限.
若 v_0 为正, 则 $(-v_0)$ 为负; 而 x_0 又为正. φ 在第四象限.
若 v_0 为负, 则 $(-v_0)$ 为正; 而 x_0 又为负. φ 在第二象限.
若 v_0 为正, 则 $(-v_0)$ 为负; 而 x_0 又为负. φ 在第三象限.