

高等学校教材

普通物理学

3

(第五版)

胡盘新 汤毓骏 宋开欣 修订



高等教育出版社

高等学校教材

普通物理学

第三册

(第五版)

程守洙 江之永 主编
胡盘新 汤毓骏 宋开欣 修订

高等教育出版社

(京)112 号

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学 第三册(第五版)/程守洙,江之永主编. —5
版. 北京:高等教育出版社,1998
高等学校教材
ISBN 7-04-006425-1

I. 普… I. ①程… ②江… II. 普通物理学-高等学
校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 04396 号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码:100009 传真:64014048 电话:64054588

新华书店总店北京发行所发行

中国青年出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 16 字数 410 000

1961 年 8 月第 1 版

1998 年 7 月第 5 版 1998 年 7 月第 1 次印刷

印数 0 001—30 107

定价 16.80 元

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换

版权所有,不得翻印

内 容 提 要

本书是修订者在程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第三版)基础上,根据 1995 年国家教委颁布的工科本科大学物理课程教学基本要求、结合读者多年使用此书的建议和意见,以及当前国内外同类物理教材改革的动态,并保持第三版教材的体系、风格、特色条件下修订而成。此次修订,改写了部分内容,调整了个别章节,增加了选读材料,充实了应用类题目,修订后的教材在内容现代化、加强应用性、扩大知识面和提高科学素养等方面均有进一步的增强。

本书可作为高等工业院校各专业的物理课程教材,也可供综合性大学、高等师范院校非物理专业以及各类成人高校、职工大学选用。

本书中物理量的符号及单位

量的名称	符号	单位名称	单位代号	量纲	备 注
振 幅	A	米	m	L	
周 期	T	秒	s	T	
频 率	ν, f	赫[兹]	Hz	T^{-1}	
角 频 率	ω	每秒	s^{-1}	T^{-1}	
相 位	ϕ	—	—	—	
波 长	λ	米	m	L	
波 数	$\bar{\nu}$	每米	m^{-1}	L^{-1}	主要用于光 谱学
波 速	u, c	米每秒	m/s	LT^{-1}	
角 波 数	k	每米	m^{-1}	L^{-1}	
波的强度	I	瓦[特]每平方米	W/m^2	MT^{-3}	
坡印廷矢量	S	瓦[特]每平方米	W/m^2	MT^{-3}	
声 压	p	帕[斯卡]	Pa	$L^{-1}MT^{-2}$	
声 强 级	L_I	贝	B	—	常用分贝 (dB)为单位
特性阻抗	Z	牛[顿]秒每米	$N \cdot s/m$		
折 射 率	n	—	—	—	
光 程 差	δ	米	m	L	
辐[射]出[射] 度	M	瓦[特]每平方米	W/m^2	MT^{-3}	
单色辐出度	M_λ	瓦[特]每立方米	W/m^3	$L^{-1}MT^{-3}$	
单色吸收比	a_λ	—	—	—	

(续)

量的名称	符号	单位名称	单位代号	量纲	备 注
斯特藩-玻尔兹曼常量	σ	瓦[特]每平方米四次方开[尔文]	$W/(m^2 \cdot K^4)$	$T^{-3}M\Theta^{-4}$	米·开
维恩常量	b	米开[尔文]	$m \cdot K$	$L\Theta$	
逸 出 功	ϕ, A	焦[耳]	J	L^2MT^{-2}	
康普顿波长	λ_c	米	m	L	常用电子伏特(eV)为单位
普朗克常量	$h, \hbar$	焦[耳]秒	$J \cdot s$	L^2MT^{-1}	
波 函 数	ψ				
概率密度	$\psi\psi^*$	每立方米	m^{-3}	L^{-3}	
主量子数	n	—	—	—	
副量子数	l	—	—	—	
磁量子数	m_l	—	—	—	
自旋量子数	s	—	—	—	
自旋磁量子数	m_s	—	—	—	
质 量 数	A	—	—	—	
电 荷 数	Z	—	—	—	
里德伯常量	R	每米	m^{-1}	L^{-1}	
玻尔磁子	μ_B	焦[耳]每特[斯拉]	J/T	L^2I	
核磁子	μ_N	焦每特[斯拉]	J/T	L^2I	
质量亏损	B	千克	kg	M	
核的结合能	E_B	焦[耳]	J	L^2MT^{-2}	
比结合能	ϵ	焦[耳]	J	L^2MT^{-2}	
衰变常数	λ	每秒	s^{-1}	T^{-1}	
半衰期	$T_{1/2}$	秒	s	T	
磁通量子	Φ_c	韦[伯]	Wb	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	

责任编辑	杨 祥
封面设计	季思九
责任绘图	孟庆祥
版式设计	周顺银
责任校对	贾 健
责任印制	宋克学

目 录

第四篇 振动和波动

第十五章 机械振动和电磁振荡	2
§ 15-1 简谐振动	2
§ 15-2 阻尼振动	24
§ 15-3 受迫振动 共振	27
§ 15-4 电磁振荡	32
§ 15-5 同方向的简谐振动的合成	38
§ 15-6 相互垂直的简谐振动的合成	45
思考题	49
习题	54
阅读材料 M 谐振分析和频谱	61
第十六章 机械波和电磁波	68
§ 16-1 机械波的产生和传播	68
§ 16-2 平面简谐波 波动方程	77
§ 16-3 波的能量 波的强度	87
§ 16-4 声波	94
§ 16-5 电磁波	99
§ 16-6 惠更斯原理 波的衍射、反射和折射	116
§ 16-7 波的叠加原理 波的干涉 驻波	125
§ 16-8 多普勒效应	138
思考题	146
习题	149
阅读材料 N 超声、次声和噪声	157

第十七章 波动光学	167
一、光的干涉	168
§ 17-1 光源 单色光 相干光	168
§ 17-2 双缝干涉	173
§ 17-3 光程与光程差	180
§ 17-4 薄膜干涉——等倾条纹	185
§ 17-5 薄膜干涉——等厚条纹	190
§ 17-6 迈克耳孙干涉仪	198
* § 17-7 干涉条纹的可见度	204
二、光的衍射	211
§ 17-8 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	211
§ 17-9 单缝的夫琅禾费衍射	214
§ 17-10 圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	223
§ 17-11 光栅衍射	230
§ 17-12 X射线的衍射	242
三、光的偏振	245
§ 17-13 自然光和偏振光	245
§ 17-14 起偏和检偏 马吕斯定律	247
§ 17-15 反射和折射时光的偏振	250
§ 17-16 光的双折射	253
§ 17-17 椭圆偏振光和圆偏振光 偏振光的干涉	261
§ 17-18 人为双折射	268
* § 17-19 旋光现象	272
思考题	277
习题	282
阅读材料 O 全息照相技术	293
阅读材料 P 液晶的光学性质	304

第五篇 量子物理

第十八章 早期量子论和量子力学基础	314
§ 18-1 热辐射 普朗克的量子假设	314

§ 18-2	光电效应 爱因斯坦的光子理论	327
§ 18-3	康普顿效应	335
§ 18-4	氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	340
§ 18-5	德布罗意波 粒波-二象性	348
§ 18-6	不确定度关系	357
§ 18-7	波函数 薛定谔方程	361
§ 18-8	势阱中的粒子 势垒 谐振子	367
§ 18-9	量子力学中的氢原子问题	378
§ 18-10	电子的自旋 原子的电子壳层结构	384
思考题		392
习题		393
阅读材料 Q	红外技术	398
第十九章	激光和固体的量子理论	408
§ 19-1	激光	408
§ 19-2	固体的能带结构	418
§ 19-3	半导体的导电机构	425
§ 19-4	超导电性	431
思考题和习题		442
阅读材料 R	宏观量子现象	443
* 第二十章	原子核物理和粒子物理简介	451
§ 20-1	原子核的基本性质	451
§ 20-2	原子核的结合能 裂变和聚变	463
§ 20-3	原子核的放射性衰变	470
§ 20-4	粒子物理简介	476
思考题和习题		489
习题答案		491
附录	常用基本物理常量表	500

第四篇 振动和波动

振动是自然界中最常见的运动形式之一. 从狭义上说, 通常把具有时间周期性的运动称为振动, 但从更广泛的意义上说, 任何复杂的非周期性运动, 也属于振动的研究范围, 因为这种运动可以分解为频率连续分布的无限多个简谐振动的叠加. 振动也不仅限于机械运动中的振动过程, 分子热运动、电磁运动、晶体中原子的运动等虽然属于不同的运动形式, 各自遵循不同的运动规律, 但是, 就其中的振动过程来说, 具有共同的物理特征.

波动是振动在空间的传播、声波、水波、地震波、电磁波和光波等都是波. 各种各样信息的传播几乎都要借助于波. 如果没有波, 我们将处于寂静黑暗的世界. 尽管各类波有各自的特性, 但它们都具有类似的波动方程, 都有干涉、衍射等波动特有的性质.

光是一定波段的电磁波, 光的干涉、衍射和偏振现象表明光具有波动性, 并且光是横波. 这些现象在现代科学技术中已有了广泛的应用. 因此, 在本篇中, 除讨论机械波和电磁波的基本规律外, 还对光的干涉、衍射和偏振作较详细的讨论.

第十五章 机械振动和电磁振荡

物体在一定位置附近所作的来回往复的运动称为机械振动。这种振动现象在自然界是广泛存在的。例如，摆的运动，一切发声体的运动，机器开动时各部分的微小颤动等都是机械振动。在不同的振动现象中，最基本最简单的振动是简谐振动。一切复杂的振动都可以分解为若干个简谐振动，这就是说，可把复杂的振动看作若干个简谐振动的合成。本章从讨论简谐振动的基本规律入手，进而讨论振动的合成与分解问题。

振动是声学、地震学、建筑力学、机械原理、造船学等所必需的基础知识，也是光学、电学、交流电工学、无线电技术以及原子物理学等所不可缺少的基础。这是因为除机械振动外，自然界中还存在很多类似于机械振动的现象。广义地说，任何一个物理量（如物体的位置矢量、电流、电场强度或磁场强度等）在某个定值附近反复变化，都可称为振动。为此，我们在本章中还讨论了电磁振荡，以便突出振动的共性。

§ 15-1 简谐振动

物体运动时，如果离开平衡位置的位移（或角位移）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，简称谐振动。在忽略阻力的情况下，弹簧振子的小幅度振动以及单摆的小角度振动都是简谐振动。简谐振动是一种最简单和最基本的振动，一切复杂的振动都可以看作是由若干个简谐振动合成的结果。下面以弹簧振子为例讨论简谐振动的特征及其运动规律。

1. 简谐振动的特征及其表式

质量为 m 的物体系于一端固定的轻弹簧(弹簧的质量相对于物体来说可以忽略不计)的自由端,这样的弹簧和物体系统就称为弹簧振子. 如将弹簧振子水平放置,当弹簧为原长时,物体所受的合力为零,处于平衡状态,此时物体所在的位置就是平衡位置,如果把物体略加移动后释放,这时由于弹簧被拉长或被压缩,便有指向平衡位置的弹性力作用在物体上,迫使物体返回平衡位置. 这样,在弹性力的作用下,物体就在其平衡位置附近作往复运动(图 15-1).

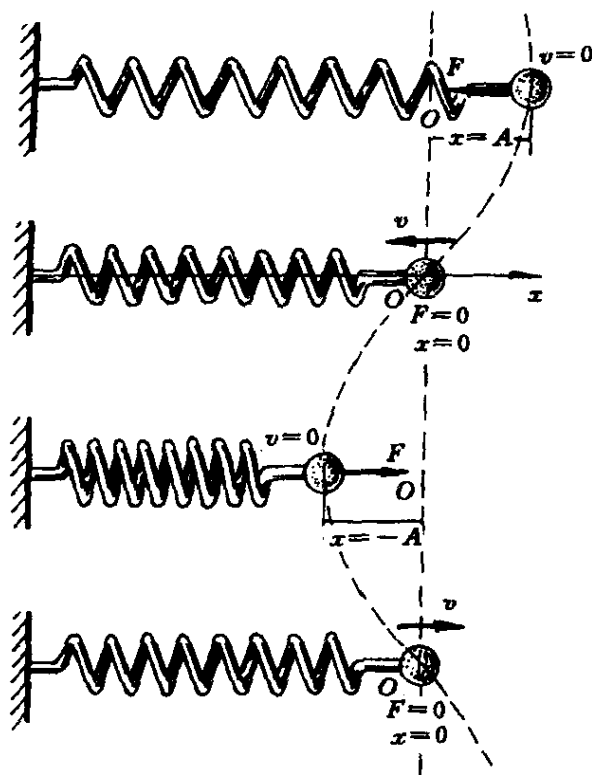


图 15-1 弹簧振子的振动

取物体的平衡位置为坐标原点,物体的运动轨道为 x 轴,向右为正向. 在小幅度振动情况,按照胡克定律,物体所受的弹性力 F 与弹簧的伸长即物体相对平衡位置的位移 x 成正比,即

$$F = -kx$$

式中 k 是弹簧的劲度系数, 负号表示力和位移的方向相反.

根据牛顿第二定律, 物体的加速度为

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

对于一个给定的弹簧振子, k 和 m 都是正值常量, 我们取

$$\boxed{\frac{k}{m} = \omega^2} \quad (15-1)$$

代入上式得

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2x \quad (15-2a)$$

或

$$\boxed{\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2x = 0} \quad (15-2b)$$

这一微分方程的解为

$$\boxed{x = A\cos(\omega t + \phi_0)} \quad (15-3a)$$

因为 $\cos(\omega t + \phi_0) = \sin\left(\omega t + \phi_0 + \frac{\pi}{2}\right)$, 可令 $\phi'_0 = \phi_0 + \frac{\pi}{2}$, 于是有

$$\boxed{x = A\sin(\omega t + \phi'_0)} \quad (15-3b)$$

也是微分方程(15-3a)的解, 式中 A 和 ϕ_0 (或 ϕ'_0) 为积分常数, 它们的物理意义和确定方法将在后面讨论. 由上可见, 弹簧振子运动时, 物体相对平衡位置的位移按余弦(或正弦)函数关系随时间变化, 所作的正是简谐振动.

由弹簧振子的振动可知, 如果物体受到的力的大小总是与物体对其平衡位置的位移成正比、而方向相反, 那么, 该物体的运动就是简谐振动. 这种性质的力称为线性回复力. 这是物体作简谐振动的动力学特征, 式(15-2b)就叫做简谐振动的运动方程, 这种形式的运动微分方程也就是简谐振动的特征式. 从式(15-2a)还可以看出, 作简谐振动物体的加速度大小总是与其位移大小成正比、而方向相反, 这一结论通常作为简谐振动的运动学特征. 式(15-3)常

称为简谐振动表式.

简谐振动表式也可以用指数形式表示,

$$x = Ae^{i(\omega t + \phi_0)} \quad (15-4)$$

式(15-3a)和(15-3b)实际上就是上式的实数部分和虚数部分,用复指数形式表示振动式,其优点是运算比较方便.

应该指出,在上述弹簧振子的例子中,如果振动幅度过大,回复力不再遵从胡克定律,回复力(或加速度)与位移就没有简单的线性正比关系,显然,这时弹簧振子的运动将不是简谐振动.

根据速度和加速度的定义,我们可以得到物体作简谐振动时的速度和加速度:

$$\begin{aligned} v &= \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \phi_0) \\ &= -v_m \sin(\omega t + \phi_0) \end{aligned} \quad (15-5)$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi_0) \\ &= -a_m \cos(\omega t + \phi_0) \end{aligned} \quad (15-6)$$

式中 $v_m = \omega A$ 和 $a_m = \omega^2 A$ 称为速度幅值和加速度幅值. 由此可见,物体作简谐振动时,其速度和加速度也随时间作周期性的变化. 图 15-2 画出了简谐振动的位移、速度、加速度与时间的关系.

如果在振动的起始时刻,即在 $t=0$ 时,物体的初位移为 x_0 、初速度为 v_0 ,代入式(15-3a)和(15-5),得

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= A \cos \phi_0 \\ v_0 &= -\omega A \sin \phi_0 \end{aligned} \right\} \quad (15-7)$$

由此两式可求得两个积分常数

$$\left. \begin{aligned} A &= \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}} \\ \phi_0 &= \arctg\left(-\frac{v_0}{\omega x_0}\right) \end{aligned} \right\} \quad (15-8)$$

振动物体在 $t=0$ 时的位移 x_0 和速度 v_0 常称为振动的初始条件.

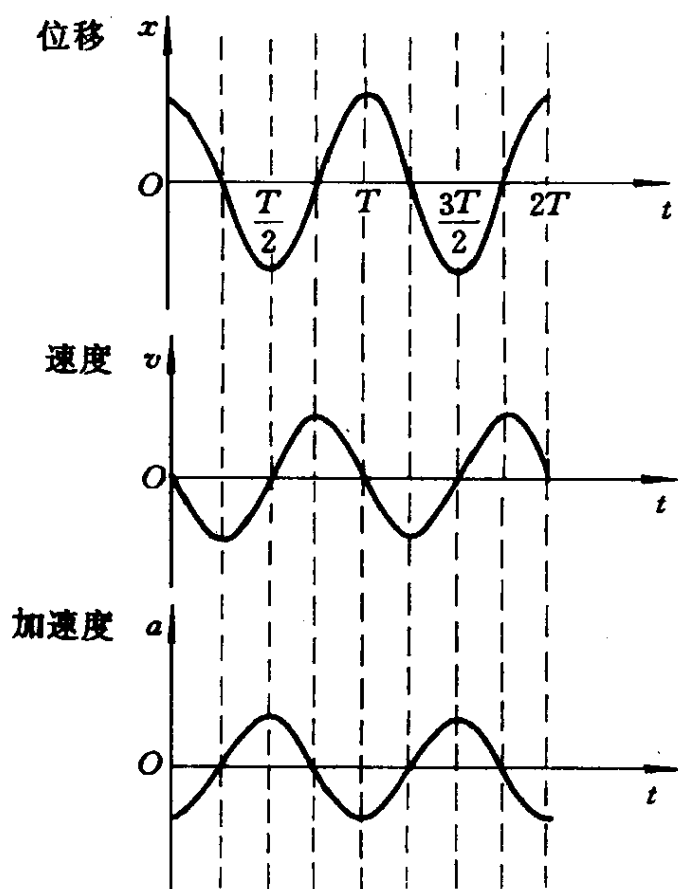


图 15-2 简谐振动中的位移、速度、加速度与时间的关系

由初始条件可以确定简谐振动表式的两个积分常数. 因为在 0 和 2π 之间有两个 ϕ_0 值的正切函数值相同, 所以由式(15-8)得到的 ϕ_0 值, 还须代回式(15-7)中以判定取舍.

2. 简谐振动的振幅、周期、频率和相位

(1) **振幅** 在简谐振动表式中, 因余弦(或正弦)函数的绝对值不能大于 1, 所以物体的振动范围在 $+A$ 和 $-A$ 之间, 我们把作简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.

(2) **周期和频率** 振动的特征之一是运动具有周期性, 我们把完成一次完整振动所经历的时间称为周期, 用 T 来表示. 因此, 每隔一个周期, 振动状态就完全重复一次, 即

$$x = A\cos[\omega(t + T) + \phi_0] = A\cos(\omega t + \phi_0)$$

满足上述方程的 T 的最小值应为 $\omega T = 2\pi$, 所以

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega}} \quad (15-9)$$

单位时间内物体所作的完全振动的次数称为振动频率, 用 ν 或 f 表示, 它的单位名称是赫[兹], 符号是 Hz. 显然, 频率与周期的关系为

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

或 $\boxed{\omega = 2\pi\nu} \quad (15-10)$

所以 ω 表示物体在 2π s 时间内所作的完全振动次数, 称为振动的角频率, 也称圆频率, 它的单位是 rad/s.

对于弹簧振子, $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, 所以弹簧振子的周期和频率为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

由于弹簧振子的质量 m 和劲度系数 k 是其本身固有的性质, 所以周期和频率完全决定于振动系统本身的性质, 因此常称之为固有周期和固有频率.

利用 T 和 ν , 谐振动表式可改写为

$$x = A \cos \left(\frac{2\pi}{T} t + \phi_0 \right)$$

$$x = A \cos (2\pi \nu t + \phi_0)$$

(3) **相位和初相** 在角频率 ω 和振幅 A 已知的谐振动中, 由(15-3)和(15-5)两式可知, 振动物体在任一时刻 t 的运动状态(指位置和速度)都由 $(\omega t + \phi_0)$ 决定. $(\omega t + \phi_0)$ 是决定简谐振动运动状态的物理量, 称为振动的相位. 显然, ϕ_0 是 $t=0$ 时的相位, 称为初相位, 简称初相. “相”是“相貌”的意思, 即相位决定了谐振动的“相