

大学物理学

第三分册

波动学

何世湘 主编

重庆大学出版社

大学物理学

第三分册

波动学

何世湘 主编

重庆大学出版社

大学物理学

第三分册

波动学

何世湘 主编

责任编辑 黄开植

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆大学出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 10.25 字数: 230千

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数: 1—16000

标准书号: ISBN 7-5624-0030-X 统一书号: 13408·12
O·10 定 价: 1.40元

内 容 提 要

本书根据全国高等学校工科物理教学指导委员会修改审订的《大学物理课程教学基本要求（送审稿）》编写。全书分《力学分子物理和热力学》、《电磁学》、《波动学》和《近代物理基础》四个分册出版。除主要内容按照基本要求独立编写外，还有一定数量的拓宽和加深的內容，供各种不同类型的学校和专业选用。同时，还配有适量的思考题和习题。本分册包括振动、波、波动光学等内容。

本书可作为工科院校大学物理课程的教材，也可作为其它院校非物理专业和夜大学、职工大学各工科专业的教学参考书。

序 言

作为一门科学，物理学并不直接着眼于经济效益，而只从事各种物质最基本的运动现象和规律的探索，所以物理学是人类精神文明中文化科学知识的一个组成部分。但它一旦和其他科学或工程技术相结合，就可采取它的成果，开拓为各种应用，乃至掀起一次次工业革命的浪潮。因此，物理学又是创造物质文明的一个重要基础和源泉。尽管近代科学门类繁多，工程技术日新月异，物理学本身也在不断发展，但物理学仍继续保持着在精神和物质文明建设中既有的地位和作用。

文化革命以后，我国工科大学物理经过人们的再认识后，理所当然地比过去更为受到重视。现在工科大学物理教学改革已进入一个新的阶段。即以教材来说，大家都希望能在统一的基本要求下，有各种不同风格、不同重点和深度的教材，以供不同学校、不同专业选用。且自实行改革和开放政策以来，我国科学技术力争先进，为此，工科大学物理不仅要求确保必要的传统基本内容，尤其要求尽可能加强近代物理内容。这就在物理学教师们面前提出了编写新教材的任务。

教材编写是一件严肃而繁重的科学工作。由于课程内容和授课时数之间的~~矛盾~~十分突出，教材内容轻重繁简的布置，深浅难易的处理，都需要编写人的反复琢磨和实践。而如何在短时间内融汇教师们长期积累的经验，有效而又合理地纳入一部教材，显然又是一个重要的组织问题。西南地区

十一所有有关工科院校的教师同志们早有编印适用于本地区各学校的教材的愿望，所以一经倡议，就于1986年组织起来，合力编写并出版了这部《大学物理学》教材。这在西南地区算是一个创举。

这部教材最显著的特点就是切实加强了与近代工程技术密切相关的物理基础，但由于处理上花了很多功夫，即或是较深较难的内容，估计对大学一、二年级学生，接受起来也不会有大的困难。为了说明这点，可举教材中狭义相对论一章为例。此章从分析迈克尔逊—莫雷实验入手，先将光速不变、相对性原理和有关重要概念如同时性、时间膨胀和长度收缩等一一讲清。随之很自然地就得出洛仑兹时空变换式和速度合成法则，然后扩展去讨论相对论动力学和电磁规律，以及其他一些问题。由于前面基本概念垫底厚实，所以后面说明较难的问题，如双生子问题，也易于为人理解。

逐章读去，就可以知道，书中原理之所以易于接受，就在于各部分的关键性概念，如能量、动量、叠加原理，场的概念，波动的特征，统计行为、时空相对性和物理量的量子化，都在一开始就作为重点问题来讲述。

统观全书，不但重视传授物理知识，而且注意培养学生学习和工作的能力。在传授知识方面，除研究对象上的统一性（统一为物质运动）和多样性（分为力、热、电磁、波动等多种运动形式），规律上的概括性（能量守恒、叠加原理、时空相对性、量子规律等）和特殊性（统计规律、波动的特征、适用于低速运动的牛顿力学、宏观物体运动不显量子效应），都随课程进展，逐处指明以外，特别还强调了方法上的连贯性和应变性。例如力学中的一些处理问题的方法继续使用于电磁学，波动学以至量子力学。但各部分又因研

究对象的变化，所用的主要方法和观点又大不相同。这些关节在各部分开始都讲得十分清楚。学生掌握了这个纵横关系的脉络，就可了解关键性概念的基础上，把全部普通物理知识融会贯通起来。

在培养能力方面，教材力求培养学生的物理思维能力。这包括观察和描述物理现象，进而抽象、概括物理本质的能力；自学和独立获取新知识的能力；用数学表述物理过程和规律的能力，计算解题的能力以及用数量级估算的能力。这在讲述的内容上，例题、习题的挑选和安排上，都显得费过很多心思，要求学生在听课和研习过程中，循序渐近，不断熏陶，在教学各环节的配合下，最后形成这些能力。

教材中还穿插若干物理学史的段落。这可以使学生活跃思想，扩大眼界，提高学习兴趣。也有利于他们在知识和能力增长的同时，养成辩证唯物主义世界观。

所有这些，对工程技术人员来说，都是到处需要，永不过时，终身发挥作用的。

选用这套教材的教师们，讲授中有了依据，自不碍其灵活使用，更好地临场发挥。因为编写人都在同一地区，教材使用几年以后，再商量修改，也是比较方便的。

虽然国内外工科大学物理教材迄今已为数不少，中国西南地区十一所工科院校的教师同志们合编的这部具有地区和时代特色的《大学物理学》，无疑是教材建设中一次很有意义的尝试，也是对工科大学物理教学改革的一项贡献。

当然，大而言之，这也绝不能说是与精神和物质文明建设无关的劳动成果罢！

刘之廉

1986年11月于重庆

引 言

在日常生活中，人们大量接触到水波、声波和电磁波这样一些常见的波动现象。描写物质运动形态的物理量在一定数值附近来回往复的变化过程，叫做振动。波就是振动的传播。波通常分为两大类：机械振动在弹性介质中的传播叫机械波，电磁振动（即变化的电磁场）在空间的传播叫电磁波。机械波和电磁波是本质上完全不同的两类波，产生的条件和产生的方法不同，与物质相互作用的规律也不一样。但是，作为波，它们又有许多共同的特征。例如，振动都是以一定的速度在空间传播，在波到达的地方，振动量的时、空分布都呈现一定的周期性，波动过程都伴随着能量传播等等。具有时空双重周期性的运动形式和能量传播，是一切波的基本特征。此外，各种波都能产生反射和折射，也都会出现干涉和衍射现象。不仅如此，机械波和电磁波还遵守一些共同的传播规律，能够用同样的数学方法进行研究 and 描述。

波动学主要讨论波的传播问题，因而认识波的共性就显得格外重要。然而，机械波和电磁波毕竟是两类完全不同性质的波，除了要充分认识它们的共性外，也要注意了解它们各自的一些特征。波动学是一门实用性很强的学科，在工程技术和近代科学研究中都有着广泛的应用。例如，产品机械加工质量的检验，长度等几何量的精密测量，零件内部受力情况的探测，物质结构的研究，以及无线电通讯，激光通讯，全息摄影和遥感遥测技术等等，它们都是以波动学

为理论依据的。波不仅广泛存在于我们周围的宏观世界，根据近代物理的研究，微观粒子也具有某种波动性。所以，波普遍存在于自然界，是物质的一种重要的，基本的运动形式。人们很难想象，离开振动和波，世界将会是个什么样子。

目 录

引 言

第一章 振 动

§ 1-1 简谐振动	(1)
一、简谐振动	(1)
简谐振动的特征量	(2)
二、简谐振动的微分方程	(7)
振幅和初位相的确定	(9)
§ 1-2 简谐机械振动	(11)
一、简谐机械振动的动力学特征	(12)
关于动力学特征的补述	(13)
微振动	(16)
二、简谐振动的能量	(19)
§ 1-3 电磁振荡	(24)
* § 1-4 阻尼振动和受迫振动	(29)
一、阻尼振动	(29)
二、受迫振动和共振	(33)
共振频率的定量讨论	(36)
受迫电磁振荡和电共振	(40)
§ 1-5 简谐振动的合成	(43)
一、叠加原理	(43)
叠加原理的适用范围	(44)
二、简谐振动的合成	(45)

*、** 为按《大学物理课程教学基本要求（送审稿）》拓宽、加深的内
容，以下同。

• § 1-6 振动的分解	(59)
**振动的付里叶分解与频谱	(60)

思考题

习题

第二章 波

§ 2-1 波的产生	(75)
一、机械波	(75)
二、电磁波	(78)
§ 2-2 描述波动过程的物理量	(81)
一、波前和波线	(81)
二、波长、周期、频率和波速	(82)
三、电磁波的特征和电磁波谱	(84)
§ 2-3 行波方程	(87)
一、平面简谐行波的表示	(87)
二、行波方程的物理意义	(89)
三、波动过程的微分方程	(94)
• § 2-4 波动方程的动力学推导	(95)
一、固体的弹性	(95)
二、机械波的波动方程	(96)
**三、平面电磁波的波动方程	(99)
§ 2-5 波的能量	(103)
一、机械波的能量和能流密度	(104)
二、电磁波的能量和能流密度	(108)
•三、波的吸收	(111)
•四、声强和声强级	(112)
§ 2-6 惠更斯原理	(113)
一、惠更斯原理	(113)
二、波的衍射	(114)
三、波的反射和折射	(115)

§ 2-7 波的干涉·····	(118)
-----------------	-------

§ 2-8 驻波·····	(124)
---------------	-------

·驻波方程·····	(128)
------------	-------

§ 2-9 多普勒效应·····	(131)
------------------	-------

一、机械波的多普勒效应·····	(131)
------------------	-------

·二、光波的多普勒效应·····	(136)
------------------	-------

思 考 题

习 题

第三章 波动光学

§ 3-1 光源 光的相干性·····	(155)
---------------------	-------

一、光源·····	(155)
-----------	-------

二、光波的叠加和干涉·····	(157)
-----------------	-------

三、相干光的获得·····	(161)
---------------	-------

✓ § 3-2 光程 光程差·····	(162)
---------------------	-------

一、光程和光程差·····	(162)
---------------	-------

二、相干长度和相干时间·····	(165)
------------------	-------

三、薄透镜的等光程性·····	(166)
-----------------	-------

四、光反射时的位相突变和额外光程·····	(167)
-----------------------	-------

··五、关于位相突变和额外光程差的进一步说明·····	(169)
-----------------------------	-------

§ 3-3 分波前方法的几个干涉实验·····	(171)
-------------------------	-------

一、杨氏双缝实验·····	(171)
---------------	-------

✓ 二、分波前干涉的其它一些实验·····	(177)
-----------------------	-------

· § 3-4 干涉条纹的反衬度·····	(179)
-----------------------	-------

一、相干光强度的影响·····	(180)
-----------------	-------

二、光源大小的影响·····	(180)
----------------	-------

三、光源单色性的影响·····	(181)
-----------------	-------

四、空间相干性和时间相干性·····	(185)
--------------------	-------

··五、由光单色性所限制的最大光程差与波列长度的 关系·····	(185)
-------------------------------------	-------

§ 3-5 薄膜干涉.....	(188)
一、干涉条纹的位置.....	(188)
二、等厚干涉.....	(190)
*三、干涉的应用.....	(198)
*四、等倾干涉.....	(209)
*五、光源大小对干涉条纹的影响.....	(212)
§ 3-6 迈克耳孙干涉仪.....	(213)
*迈克耳孙干涉仪中的等倾干涉条纹.....	(216)
§ 3-7 惠更斯-菲涅耳原理	(217)
一、惠更斯-菲涅耳原理	(217)
二、夫琅和费衍射和菲涅耳衍射.....	(219)
§ 3-8 单缝衍射.....	(220)
一、菲涅耳半波带法.....	(222)
*二、单缝衍射条纹的光强分布.....	(227)
**菲涅耳衍射积分公式在单缝衍射中的应用.....	(233)
§ 3-9 光栅衍射.....	(235)
*光栅的分辨本领.....	(242)
§ 3-10 光学仪器的分辨本领.....	(243)
§ 3-11 X射线的衍射.....	(247)
§ 3-12 自然光和偏振光.....	(252)
§ 3-13 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律... (255)	
一、偏振片的起偏和检偏.....	(255)
二、马吕斯定律.....	(257)
§ 3-14 反射和折射时光的偏振.....	(258)
§ 3-15 光的双折射.....	(265)
一、双折射现象.....	(265)
二、人为双折射现象.....	(267)
*三、双折射现象的解释.....	(268)
*四、尼科耳棱镜和渥拉斯顿棱镜.....	(272)

•五、四分之一波片和二分之一波片.....	(274)
* § 3-16 偏振光的干涉.....	(276)
一、椭圆偏振光和圆偏振光.....	(276)
二、偏振光的干涉.....	(278)
* § 3-17 偏振光的应用.....	(284)

思 考 题

习 题

习题答案

后 记

第一章 振 动

§ 1-1 简 谐 振 动

在我们日常生活和多变的自然现象中，诸如打秋千、放哨巡逻、杂技节目空中飞人中演员的运动以及海潮涨落、季风风向变换过程中的海水、空气的运动……，存在着许多这样的物体来回往返的运动。物体在一定位置附近来回往返的运动，叫做**机械振动**，简称**振动**。从广义上讲，描写物质运动形态的任何其它物理量，如交流电中通过导体截面的电量、电流、导体两端的电压、交变电磁场中的电场强度和磁感应强度等，凡在一定量值附近来回往复的变化，也都叫**振动**。振动过程中变化的物理量称为**振动量**。这些振动，本质上虽然和机械振动不同，但它们有着和机械振动类似的运动规律和相同的研究方法，因此，常把它们和机械振动一起，作为一种共同的运动形式来进行讨论。

一、简谐振动

自然界中大量的振动是周期性的，即振动量每隔一段固定的时间就完全重复一次。其中，最简单的周期性振动是**简谐振动**，亦称**谐振动**，振动量按余弦规律（或正弦规律）随时间变化。如果用 x 表示简谐振动的振动量，它随时间 t 的变化关系，即振动方程，可以表示为

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

或 $x = A \sin(\omega t + \varphi')$ (1-1-1)

简谐振动是一种理想的振动，产生简谐振动的理想模型叫做**简谐振子**，例如后面将要讨论的单摆、弹簧振子和LC振荡电路。可以证明（本章§1-6节），任何复杂的振动都可分解成若干个简谐振动，亦即该振动可以看成是这些简谐振动的合成结果。因此，简谐振动不仅是一种最简单的振动，而且又是一种最基本的振动。任何复杂的振动过程，都可以从研究简谐振动入手。

图1-1-1是简谐振动的 $x \sim t$ 曲线，亦称振动曲线。

用旋转矢量法表示简谐振动是十分直观而且非常方便的，具有很大的实用意义。在 XY 平面内，以 X 轴的原点 O 为起点，作一个长度为 A 的矢径 $\vec{A} = \overline{OM}$ ，在 $t = 0$ 的开始时刻与 X 轴的夹角为 φ （图1-1-2），当矢径 $\vec{A}$ 以匀角速度 ω

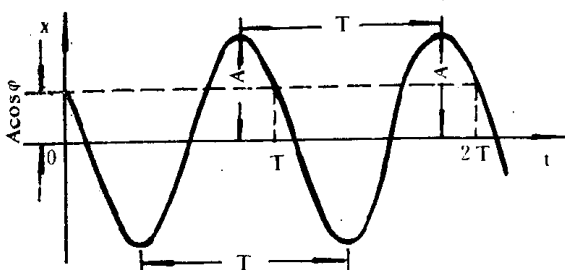


图1-1-1 简谐振动的振动曲线

沿逆时针方向绕 O 点旋转时，其矢端 M 在 X 轴上投影点 P 的位移就遵循 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ 的规律，可以用来表示某个物理量的简谐振动。

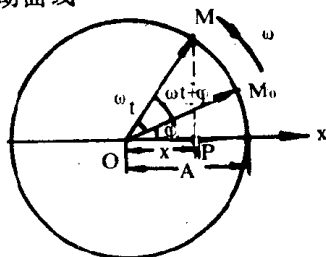


图1-1-2 简谐振动的旋转矢量表示法

简谐振动的特征量

(a) 振幅 振动量偏离零值或平衡数值的最大值，即式(1-1-1)中的 A ，称为简谐振动的**振幅**。振幅即振动的幅度，表征振动的强弱。

(b) 周期 频率和圆频率 振动量完全重复一次所需要的时间，叫做振动的**周期**，常用 T 表示。根据(1-1-1)式很容易得到简谐振动的周期

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1-1-2)$$

单位时间内振动量重复的次数，叫做振动的**频率**。显然，周期和频率互为倒数。因此，简谐振动的频率

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (1-1-3)$$

$\omega = 2\pi f$ 叫做振动的**圆频率**，亦称**角频率**。它表示 2π 时间内振动量重复的次数。频率和圆频率的单位叫赫芝，记作 Hz。

周期、频率和圆频率表征振动的快慢。

(c) 位相和初位相 在简谐振动 $x = A\cos(\omega t + \varphi)$ 中，振动量按余弦规律随时间变化，当振幅和圆频率给定以后，振动状态（振动量的量值及其变化情况）就由时间 t 或 $\omega t + \varphi$ 完全确定。 $\omega t + \varphi$ 作为一个整体，具有角度的量纲，在旋转矢量法中为旋转矢量 A 与 X 轴的夹角，称为简谐振动的相角，亦称简谐振动的**位相或周相**。位相是决定简谐振动振动状态的一个重要物理量。由于位相每变化 2π ，振动状态就作一次完全的重复，所以，用位相表征振动状态，能够反映出简谐振动的周期性特征。

$x = A\cos(\omega t + \varphi)$ 中的 φ ，是 $t = 0$ 时刻，即开始观察时刻的位相，叫做**初位相**，简称**初相**。