

大学物理通用教程

主编 钟锡华 陈熙谋

习题指导

周岳明

张瑞明

编著



北京大学出版社

大学物理通用教程
习题指导

周岳明 张瑞明 编著



北京大学出版社
· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

大学物理通用教程. 习题指导/周岳明,张瑞明编著. —北京:北京
大学出版社,2003.6

ISBN 7-301-06260-5

I. 大… I. ①周… ②张… III. 物理学-高等学校-解题
IV. 04-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 032043 号

书 名: 大学物理通用教程——习题指导

著作责任者: 周岳明 张瑞明 编著

责任编辑: 瞿 定

标准书号: ISBN 7-301-06260-5/O·0564

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村 北京大学校内 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn> 电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021

印 刷 者: 北京大学印刷厂

经 销 者: 新华书店

890 毫米×1240 毫米 A5 开本 14.125 印张 396 千字

2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 0001—3000

定 价: 22.00 元

大学物理通用教程

主编 钟锡华 陈熙谋

《习题指导》内容简介

全套教程包括《力学》《热学》《电磁学》《光学·近代物理》，并配有《习题指导》。

《习题指导》每一章都简要地概括了《大学物理通用教程》中各册相应部分的概念、规律、公式，通过精选的典型例题、参考例题的分析、解答、讨论帮助读者深入理解物理概念，提高解题能力。

本书中的习题，有的是为教学目的而设计的，有的是针对学生常遇到的困难而创设的，有的直接选用经多次使用的优秀试题。通用性较强，适合于理、工、农、医和师范院校使用。

序

概况与适用对象 这套大学物理通用教程分四册出版,即《力学》、《热学》、《电磁学》和《光学·近代物理》,共计约 130 万字. 原本是为化学系、生命科学系、力学系、数学系、地学系和计算机科学系等非物理专业的系科,所开设的物理学课程而编写的,其内容和分量大体上与一学年课程 140 学时数相匹配. 本教程还配有《习题指导》分册,旨在辅导学生准确地掌握基本规律并能正确地解决具体问题,包括某些技巧和方法. 这套教程具有较大的通用性,也适用于工科、农医科和师范院校同类课程. 编写此书是希望非物理专业的学生熟悉物理学,应用物理学,并对物理学原理是如何形成的有个较深入的理解,从而使他们意识到,物理学的学习在帮助他们提出和解决他们各自领域中的问题时所具有的价值. 为此,首先让我们大略地认识一下物理学.

物理学概述 物理学成为一门自然科学,这起始于伽利略-牛顿时代,经 350 多年的光辉历程发展到今天,物理学已经是一门宏大的有众多分支的基础科学. 这些分支是,经典力学、热学、热力学与经典统计力学、经典电磁学与经典电动力学、光学、狭义相对论与相对论力学、广义相对论与万有引力的基本理论、量子力学、量子电动力学、量子统计力学. 其中的每个分支均有自己的理论结构、概念体系和独特的数理方法. 将这些理论应用于研究不同层次的物质结构,又形成了原子物理学、原子核物理学、粒子物理学、凝聚态物理学和等离子体物理学,等等.

从而,我们可以概括地说,物理学研究物质存在的各种主要的基本形式,它们的性质、运动和转化,以及内部结构;从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律. 与自然科学的其他门

类相比较,物理学既是一门实验科学,一门定量科学,又是一门崇尚理性、注重抽象思维和逻辑推理的科学,一门富有想像力的科学。正是具有了这些综合品质,物理学在诸多自然科学门类中成为一门伟大的处于先导地位的科学。

在物理学基础性研究的过程中所形成和发展起来的基本概念、基本理论、基本实验方法和精密测试技术,越来越广泛地应用于其他学科,从而产生了一系列交叉学科,诸如化学物理、生物物理、大气物理、海洋物理、地球物理和天体物理,以及电子信息科学,等等。总之,物理学以及与其他学科的互动,极大地丰富了人类对物质世界的认识,极大地推动了科学技术的创新和革命,极大地促进了社会物质生产的繁荣昌盛和人类文明的进步。

编写方针 一本教材,在内容选取、知识结构和阐述方式上与作者的学识——科学观、知识观和教学思想,是密切相关的。我们在编写这套以非物理专业的学生为对象的大学物理通用教程时,着重地明确了以下几个认识,拟作编写方针。

1. 确定了以基本概念和规律、典型现象和应用为教程的主体内容;对主体内容的阐述应当是系统的,以合乎认识逻辑或科学逻辑的理论结构铺陈主体内容。知识结构,如同人体的筋骨和脉络,是知识更好地被接受、被传承和被应用的保证,是知识生命力之本源,是知识再创新之基础。知识的力量不仅取决于其本身价值的大小,更取决于它是否被传播,以及被传播的深度和广度。而决定知识被传播的深度和广度的首要因素,乃是知识的结构和表述。

2. 然而,本课程学时总数毕竟也仅有物理专业普通物理课程的40%,故降低教学要求是必然的出路。我们认为,降低要求应当主要体现在习题训练上,即习题的数量和难度要降低,对解题的熟练程度和技巧性要求要降低。降低教学要求也体现在简化或省略某些定理证明、理论推导和数学处理上。

3. 重点选择物理专业后继理论课程和近代物理课程中某些篇章于这套通用教程中,以使非物理专业的学生在将来应用物理学于本专业领域时,具有更强的理论背景,也使他们对物理学有更为全面和深刻的认识。《力学》中的哈密顿原理,《热学》中的经典统计和量子

统计原理,《电磁学》中的电磁场理论应用于超导介质,《光学·近代物理》中的变换光学原理、相对论和量子力学,均系这一选择的结果。

4. 积极吸收现代物理学进展和学科发展前沿成果于这套通用教程中,以使它更具活力和现代气息.这在每册书中均有不少节段给予反映,在此恕不一一列举,留待每册书之作者前言中明细.值得提出的是,本教程对那些新进展新成果的介绍或论述是认真的,是充分尊重初学者的可接受性而恰当地引入和展开的。

应当写一套新的外系用的物理学教材,这在我们教研室已闲散地议论多年,终于在室主任舒幼生和王稼军的积极策划和热心推动下,得以起动并实现.北大出版社编辑周月梅和瞿定,多次同我们研讨编写方针和诸多事宜,使这套教材得以新面貌而适时面世.北大出版社曾于1989年前后,出版了一套非物理专业用普通物理学教材共四册,系我教研室包科达、胡望雨、励子伟和吴伟文等编著,它们在近十年的教学过程中发挥了很好的作用.现今这套通用教程,在编撰过程中作者充分重视并汲取前套教材的成功经验和学识.本套教材的总冠名,经多次议论最终赞赏陈秉乾教授的提议——大学物理通用教程。

一本教材,宛如一个人.初次见面,观其外表和容貌;接触多了,知其作风和性格;深入打交道,方能度其气质和品格.我们衷心期望使用这套教程的广大师生给予评论和批判.愿这套通用教程,迎着新世纪的曙光,伴你同行于科技创新的大道上,助年轻的朋友茁壮成长。

钟锡华 陈熙谋

2000年8月8日于北京大学物理系

作者前言

本书是《大学物理通用教程》的配套教材,重点是以讨论习题的方式,加深对大学物理基本理论和科学方法的理解.

北京大学在物理学基础课程中设置习题课或讨论课,有悠久的历史,已成为通用的教学措施,并且在长期的实践中积累了丰富的经验和大量有价值的资料.本书中的这些习题,有的是为教学目的而设计的,有的是针对学生常遇到的困难和提出的问题而创设的,有的直接选用经多次使用的优秀试题.随着教学对象的变化,也随着教学要求的变迁和教学观念的更新,特别是随着科学的发展,这些素材是要不断新陈代谢的.但那些饱含经验和智慧、经过千锤百炼的命题,却一直代代相沿,其中凝聚了教师们的心血,也反映了优良学风的传承.

本书作者曾编写过《大学物理解题方法》一书,于1984年由电子工业出版社出版,当时在社会上反响较大,使用多年.当年较多地为自学读者考虑,并没有明确与哪一套教材相配套,通用性较强.这次为配合《大学物理通用教程》教学编写的《习题指导》,其中包含了以前那本《解题方法》的部分内容.本书也是通用性较强的,不采用与主教材中习题一一对应解答的方式,而是着重于帮助读者深入理解物理概念、提高解题能力,使读者能举一反三,教材中的习题自然迎刃而解了.

为了便于读者更好地使用《大学物理通用教程》这套教材,本书章节安排及公式中所用的符号基本上与《教程》中保持一致.第一篇力学共10章,第二篇热学共5章,第三篇电磁学共8章,第四篇光学和近代物理共4章(本书中光学的第一章相应于主教材的第二章,其他各章也顺延),全书共27章.在主教材中,力学的哈密顿原理,热学的单元系相变与复相平衡,光学的费马原理,近

代物理的量子物理基础及以下各章,不适宜作过高要求,因而没有列入本书.

本书每一章有内容提要,以及基本要求、复习题、典型例题和参考例题等部分.

内容提要部分扼要列出该章的主要概念、规律及公式,是《大学物理通用教程》各册相应部分的概括.但那些属于更高要求的内容,例如傅里叶光学大意、广义相对论等,则不列入内容提要.

基本要求中简要提出应着重理解的内容及重点掌握的方法,通常,它既是重点又是难点.复习题的内容是提出概念性、理解性的问题,通过复习加深理解.既体现基本要求,又为典型例题的讨论作准备.

典型例题和参考例题都是经过精选的.典型例题是围绕基本要求,由易到难安排.题目之后的“说明”指出应着重理解的概念和重点掌握的方法,包括某些评述和如何学习提出参考意见.参考例题讨论一些更难更综合性的习题,介绍一些更灵活的方法和进一步要求的内容.参考例题不是每章都有,也不作为基本要求,可供教员或有兴趣的读者参考和练习.

本书第一、第二篇由张瑞明撰写,第三、第四篇由周岳明撰写.编写过程中,参考了陈秉乾、林旋英、张之翔等各位教授的著作,全书经主编钟锡华教授审阅.编者谨致衷心感谢.书中错误和不妥之处,欢迎读者批评指正.

周岳明 张瑞明

2003年4月于北京大学物理学院

目 录

第一篇 力 学

第 1 章 质点运动学	(2)
1.1 内容提要	(2)
1.2 直线运动	(3)
1.3 曲线运动和相对运动	(11)
第 2 章 牛顿力学的基本定律	(19)
2.1 内容提要	(19)
2.2 牛顿定律的应用	(21)
参考例题	(35)
第 3 章 动量变化定理与动量守恒	(42)
3.1 内容提要	(42)
3.2 动量变化定理和动量守恒定律	(43)
第 4 章 动能与势能——机械能变化定理与机械能守恒	(52)
4.1 内容提要	(52)
4.2 动能变化定理和机械能变化定理	(53)
4.3 机械能守恒定律和动量守恒定律	(63)
参考例题	(71)
第 5 章 角动量变化定理与角动量守恒	(76)
5.1 内容提要	(76)
5.2 角动量变化定理和角动量守恒定律	(77)
参考例题	(85)
第 6 章 质心力学定理	(92)
6.1 内容提要	(92)
6.2 质心力学定理	(93)

第 7 章 刚体力学	(102)
7.1 内容提要	(102)
7.2 刚体定轴转动	(104)
7.3 刚体平面平行运动	(113)
第 8 章 振动	(125)
8.1 内容提要	(125)
8.2 简谐振动	(129)
8.3 简谐振动与简谐振动的合成	(140)
第 9 章 波动	(147)
9.1 内容提要	(147)
9.2 波动(一)	(151)
9.3 波动(二)	(155)
第 10 章 流体力学	(161)
10.1 内容提要	(161)
10.2 流体静力学和理想流体的定常流动	(163)
10.3 黏性流体的运动	(171)

第二篇 热 学

第 1 章 平衡态和状态方程	(176)
1.1 内容提要	(176)
1.2 平衡态和状态方程	(178)
第 2 章 平衡态的统计分布律	(186)
2.1 内容提要	(186)
2.2 平衡态的统计分布律	(188)
附录 高斯积分表	(200)
第 3 章 近平衡态中的输运过程	(201)
3.1 内容提要	(201)
3.2 气体内分子的碰撞和输运过程	(202)
第 4 章 热力学第一定律	(210)
4.1 内容提要	(210)

4.2 热力学第一定律	(212)
第5章 热力学第二定律	(224)
5.1 内容提要	(224)
5.2 热力学第二定律	(227)

第三篇 电 磁 学

第1章 静电场	(238)
1.1 内容提要	(238)
1.2 库仑定律和电场强度	(239)
1.3 静电场的高斯定理	(244)
1.4 电势差和电势	(249)
第2章 静电场中的导体和电介质	(260)
2.1 内容提要	(260)
2.2 静电场中的导体	(262)
2.3 静电场中的电介质	(271)
参考例题	(279)
第3章 直流电	(285)
3.1 内容提要	(285)
3.2 直流电路的电压、电流和功率	(287)
参考例题	(295)
第4章 恒定磁场	(299)
4.1 内容提要	(299)
4.2 电流的磁场和磁场的基本规律	(300)
4.3 安培力和洛伦兹力	(307)
参考例题	(314)
第5章 磁介质	(317)
5.1 内容提要	(317)
5.2 磁介质中的磁场	(318)
参考例题	(325)

第 6 章 电磁感应	(331)
6.1 内容提要	(331)
6.2 动生电动势和感生电动势	(333)
6.3 线圈的电感和暂态过程	(341)
参考例题	(347)
第 7 章 交流电	(351)
7.1 内容提要	(351)
7.2 矢量图解法	(354)
7.3 复数解法 交流电功率	(359)
参考例题	(366)
第 8 章 麦克斯韦电磁场理论	(372)
8.1 内容提要	(372)
参考例题	(373)

第四篇 光学·近代物理

第 1 章 光的干涉	(380)
1.1 内容提要	(380)
1.2 杨氏干涉和薄膜干涉	(383)
参考例题	(391)
第 2 章 光的衍射	(396)
2.1 内容提要	(396)
2.2 夫琅禾费衍射和衍射光栅	(399)
参考例题	(406)
第 3 章 光的偏振	(411)
3.1 内容提要	(411)
3.2 光的偏振态和双折射	(413)
参考例题	(421)
第 4 章 相对论	(426)
4.1 内容提要	(426)
4.2 洛伦兹变换	(427)

第一篇

力学



质点运动学

1.1 内容提要

1. 质点运动学的任务是描述质点的机械运动. 所谓质点, 是指具有质量而忽略其大小和形状的一种物体点模型. 为了描述质点的运动, 需要有参考系和坐标系.

(1) 具体研究物体运动时选作为依据的物体或物体群, 称为参考系.

(2) 为了定量地解析描述质点运动, 需要在参考系上建立坐标系. 常用的坐标系有直角坐标系、自然坐标系和极坐标系. 它们都是正交坐标系.

2. 描述质点的运动状态, 需要位置矢量和速度两个物理量.

(1) 由参考系上某一参考点引向质点的矢量称为位置矢量, 简称位矢, 记为 $\boldsymbol{r}(t)$, 用以表征任一时刻质点的空间位置. 质点在空间实际的路径称为轨道.

(2) 某一时刻 t 附近无限小的时间间隔内平均速度的极限定义为该时刻的瞬时速度, 简称速度, 即

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}.$$

速度是矢量, 其大小称为速率, 即

$$v = |\boldsymbol{v}| = \frac{|d\boldsymbol{r}|}{dt} = \frac{ds}{dt}.$$

速度的方向沿轨道上该点的切线方向. 速度是描述质点运动快慢和运动方向的物理量.

3. 加速度定义为某一时刻 t 附近无限小的时间间隔内平均加速度的极限, 即

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2}.$$

加速度是矢量,它在轨道切线方向的分量称为切向加速度 a_t ,法线方向的分量称为法向加速度 a_n ,则有

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n, \\ a_t &= \frac{dv}{dt}, \quad a_n = \frac{v^2}{\rho}. \end{aligned}$$

4. 当一个参考系 K' 相对于另一个参考系 K 以速度 \mathbf{u} 运动时,质点相对于 K 系的速度 \mathbf{v} 等于它相对于 K' 系的速度 \mathbf{v}' 与 K' 系相对于 K 系的牵连速度 \mathbf{u} 的矢量和,即

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}' + \mathbf{u}.$$

由速度合成公式,可得质点相对于 K 系的加速度 \mathbf{a} 等于它相对于 K' 系的加速度 \mathbf{a}' 与 K' 系相对于 K 系的加速度 \mathbf{a}_0 的矢量和,即

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}' + \mathbf{a}_0.$$

5. 如图 1-1,角位移 $\Delta\varphi$ 与时间间隔 Δt 比值的极限,称为角速度,即

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}.$$

角速度 ω 是矢量,其方向与转轴重合,指向按右手螺旋法则规定.

线速度 \mathbf{v} 与角速度 ω 的关系为

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \omega \times \mathbf{r}.$$

速度的大小,即速率为

$$v = |\omega \times \mathbf{r}| = \omega r \sin\theta = R\omega.$$

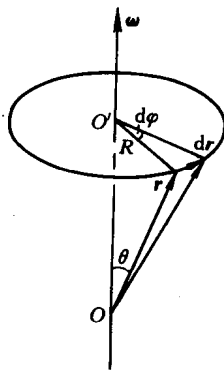


图 1-1

1.2 直线运动

一、基本要求

1. 确切理解瞬时速度和瞬时加速度概念;
2. 掌握求解直线运动的各种方法.

二、复习题

1-1 什么叫匀速直线运动? 它的速度是怎样定义的? 什么叫变

速直线运动,它的平均速度和瞬时速度是怎样定义的?

1-2 应用 $x-t$ 图,说明变速直线运动的平均速度和瞬时速度的几何意义.

1-3 图 1-2 是 $x-t$ 图,图中 a, b, c 三条线表示三个速度不同的运动.问它们属于什么类型的运动?哪一个速度大?哪一个速度小?

答 它们都是匀速直线运动.设 a, b, c 三条线所表示的运动的速度的分别是 v_a, v_b, v_c , 则

$$v_a > v_b > v_c.$$

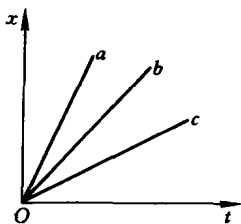


图 1-2

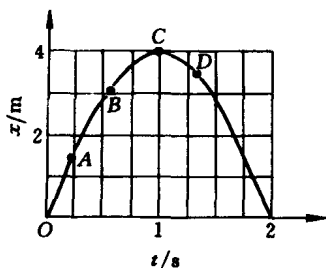


图 1-3

1-4 一质点做直线运动,其 $x-t$ 图如图 1-3 所示.问曲线上 A, B, C, D 各点的速度是正的、负的,还是零?并比较 A 与 B 两点速度的大小.

答 设 A, B, C, D 各点的速度分别为 v_A, v_B, v_C, v_D , 则 $v_A > 0$, $v_B > 0$, $v_C = 0$, $v_D < 0$. $v_A > v_B$.

1-5 已知质点在 t_1, t_2 两时刻的速度分别为 v_1, v_2 .问是否能求出 t_1 到 t_2 这段时间内的平均速度.

答 平均速度定义为

$$\bar{v} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} v(t) dt}{t_2 - t_1}.$$

由上式可知,若只给出 t_1, t_2 两时刻的速度,而未具体给出速度表达式 $v(t)$ 时,是不能应用 \bar{v} 的定义式求出这段时间内的平均速度的.

本题还可应用 $v(t)$ 曲线讨论.为此作图 1-4. $t_2 - t_1$ 这段时间内的平均速度,就是 t_1 到 t_2 时间内 $v-t$ 曲线下的面积 ΔS 与时间间隔