



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学基础物理学 (第2版) 上

University Fundamental Physics (2<sup>nd</sup> Ed.) Vol. I

## F2版

张三慧 编著

马颖 詹康生 徐丽琴  
梁鸿东 刘筱燕 贾兰伟 改编

清华大学出版社

F2版

# 大学基础物理学 (第2版) 上

University Fundamental Physics (2<sup>nd</sup> Ed.) Vol. I

张三慧 编著

马颖 詹康生 徐丽琴  
梁鸿东 刘筱燕 贾兰伟 改编

清华大学出版社  
北京

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

**图书在版编目(CIP)数据**

大学基础物理学: F2版. 上/张三慧编著;马颖等改编. --2版. --北京:清华大学出版社,2012.12  
ISBN 978-7-302-30555-2

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第260226号

责任编辑:朱红莲

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:22.5 字 数:461千字

版 次:2003年8月第1版 2012年12月第2版 印 次:2012年12月第1次印刷

印 数:1~2300

定 价:38.00元

---

产品编号:048552-01

# 改编说明

张三慧的《大学基础物理学》是一套经典的物理学教材。这套书在国内许多高校使用了多年,在大学物理教学领域受到广大师生们的好评。

随着时代变化,物理学的发展越来越快了,人类的知识积累也越来越多,学习者需要花费更多的时间和精力掌握已有的知识才能有所创新。大学物理学的内容是人类知识的精华所在,是自然科学和工程技术的基础,这就要求我们广大的教师要尽可能高效地完成教学基本内容。我们的这个改编版本《大学基础物理学》就是在此大环境下所做的一个尝试。

本版《大学基础物理学》内容涵盖了2010年我国教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会发布的“非物理类理工学科大学物理课程基本要求”,对张三慧的《大学基础物理学》(第2版)的内容结构进行了重新整合编排,不再延续传统的“力学、热学、电磁学、波动与光学”顺序。在力学知识之后,是振动和波动的内容,紧跟着就是波动光学,这样做可以使机械波的叠加和干涉的知识高效地应用在光波中。为了和中学课程衔接并保持知识的完整结构,增加了第12章“几何光学”的内容,介绍光以直线传播时的基本定律及反射镜和透镜的成像原理。热学内容放在后面,这种结构安排可以让学生在经过力、光、电的学习之后,对物理学的基本知识和方法有了多方面的认识,再借助热学这座联系宏观世界和微观世界的“桥梁”,去比较宏观方法和微观方法的特点。相比仅有力学知识就学习热学,改编者认为现顺序在能力培养方面更为高效。本版的最后是量子力学基础知识,为广大非物理专业的理工科学生开辟一个通向近代物理知识的窗口。

考虑到当前互联网时代的特点,新的研究成果和技术越来越快地广泛传播,师生获取信息便捷多样,改编者删去了原版《大学基础物理学》(第2版)中“今日趣闻”、“科学家介绍”部分。

本教材是我们进行大学物理教学改革的一个尝试,几位改编者都是长期从事大学物理教学工作的一线教师,近两年按照改编教材进行的教学实践效果良好。参加改编工作的有:马颖、詹康生、徐丽琴、梁鸿东、刘筱燕、贾兰伟,马颖为主(改)编,对全书进行了统稿和校核。

本改编版教材是我们进行大学物理教学改革工作的载体。教材能够正式出版,改编者衷心感谢所有给予热情支持的广大师生和清华大学出版社的诸位编辑,也诚恳希望藉此契机,与各位同仁就互联网信息化时代下的大学物理教学改革进行交流探讨。

改编者

2012.8

# 前言

## FOREWORD

大学物理课程是大学阶段一门重要的基础课,它将在高中物理的基础上进一步提高学生的现代科学素质。为此,物理课程应提供内容更广泛更深入的系统的现代物理学知识,并在介绍这些知识的同时进一步培养学生的科学思想、方法和态度并引发学生的创新意识和能力。

根据上述对大学物理课程任务的理解,本书在高中物理的基础上系统而又严谨地讲述了基本的物理原理。内容的安排总体上是按传统的力、热、电、光、量子物理的顺序。所以“固守”此传统,是因为到目前为止,物理学的发展并没有达到可能和必要在基础物理教学上改变这一总体系的程度。书中具体内容主要是经典物理基本知识,但同时也包含了许多现代物理,乃至一些物理学前沿的理论和实验以及它们在现代技术中应用的知识。

本书选编了大量联系实际的例题和习题,从光盘到打印机,从跳水到蹦极,从火箭到对撞机,从人造卫星到行星、星云等都有涉及。对这些例题和习题的分析与求解能使学生在更实在又深刻地理解物理概念和规律,了解物理基础知识的重要的实际意义,同时也有助于培养学生联系实际的学风,增强民族自信心。为了便于理解,本书取材力求少而精,论述力求简而明。

本书是在第1版(清华大学出版社2003年版)的基础上,参考老师和学生的意见和建议,并融入了笔者对教学内容的新体会重新修改而成。

本书分上下两册,共包括5篇:力学、波动与光学、电磁学、热学、量子物理基础。

力学篇完全按传统体系讲述。以牛顿定律为基础和出发点,引入动量、角动量和能量概念,导出动量、角动量和机械能等的守恒定律,最后将它们都推广到普遍的形式。守恒定律在物理思想和方法上讲固然是重要的,但在解决实际问题时经典的动力学概念与规律也常是不可或缺的。本书对后者也作了较详细的讲解。力学篇还强调了参考系的概念,说明了守恒定律

的意义,并注意到物理概念和理论的衍生和发展。

热学篇除了对系统——特别是气体——的宏观性质及其变化规律作了清晰的介绍外,大大加强了在分子理论基础上的统计概念和规律的讲解。除了在第20章温度和气体动理论中着重介绍了统计规律外,在其他各章对功、热的实质、热力学第一定律、热力学第二定律以及熵的微观意义和宏观表示式等都结合统计概念作了许多独特而清晰的讲解。

电磁学篇以库仑定律、毕奥-萨伐尔定律和法拉第定律为基础展开,直至麦克斯韦方程组。在讲解了电流的磁场之后,还根据相对论指出了电场和磁场的相对性,使学生对电磁场的性质有更深入的理解。在分析方法上,本篇强调了对称性的分析,如在求电场和磁场的分布时,都应用了空间对称性的概念。

波动与光学篇主要着眼于清晰地讲解波、光的干涉和衍射的基本现象和规律。

量子物理基础篇的重点放在最基本的量子力学概念方面,如波粒二象性、不确定关系等,至于薛定谔方程及其应用、原子中电子运动的规律、固体物理等只作了很简要的陈述。

本书内容概括了大学物理学教学的最基本要求。为了帮助学生掌握各篇内容的体系结构与脉络,每篇开始都编制了该篇内容及基本知识系统图。书末附有物理学常用数据的最新公认取值的“数值表”,便于学生查阅和应用。

诚挚地欢迎各位读者对本书的各种意见和建议。

张三慧

2011年11月于清华园

# 目 录

## CONTENTS

### 第 1 篇 力 学

<b>第 1 章 质点运动学</b> .....	3
1.1 匀变速直线运动 .....	3
1.2 参考系 .....	6
1.3 质点的位矢、位移和速度 .....	9
1.4 加速度 .....	12
1.5 匀加速运动 .....	15
* 1.6 抛体运动 .....	17
1.7 圆周运动 .....	20
1.8 相对运动 .....	24
提要 .....	26
思考题 .....	27
习题 .....	28
<b>第 2 章 牛顿运动定律</b> .....	31
2.1 牛顿运动定律 .....	31
2.2 常见的几种力 .....	35
* 2.3 基本的自然力 .....	39
2.4 应用牛顿定律解题 .....	41
* 2.5 非惯性系与惯性力 .....	46
* 2.6 混沌 .....	50



提要 .....	53
思考题 .....	53
习题 .....	55
<b>第3章 动量与角动量</b> .....	60
3.1 冲量与动量定理 .....	60
3.2 动量守恒定律 .....	63
3.3 火箭飞行原理 .....	67
3.4 质心 .....	68
3.5 质心运动定理 .....	71
3.6 质点的角动量和角动量定理 .....	74
3.7 角动量守恒定律 .....	77
提要 .....	79
思考题 .....	80
习题 .....	81
<b>第4章 功和能</b> .....	83
4.1 功 .....	83
4.2 动能定理 .....	87
4.3 势能 .....	90
4.4 引力势能 .....	92
* 4.5 由势能求保守力 .....	94
4.6 机械能守恒定律 .....	96
4.7 守恒定律的意义 .....	101
4.8 碰撞 .....	102
* 4.9 流体的稳定流动 .....	108
* 4.10 伯努利方程 .....	109
提要 .....	113
思考题 .....	115
习题 .....	117
<b>第5章 刚体的定轴转动</b> .....	121
5.1 刚体转动的描述 .....	121
5.2 转动定律 .....	123

5.3 转动惯量的计算 .....	126
5.4 刚体的角动量和角动量守恒 .....	128
* 5.5 转动中的功和能 .....	132
提要 .....	136
思考题 .....	137
习题 .....	138
<b>第 6 章 相对论</b> .....	<b>142</b>
6.1 牛顿相对性原理和伽利略坐标变换 .....	142
6.2 爱因斯坦相对性原理和光速不变 .....	145
6.3 同时性的相对性和时间延缓 .....	147
* 6.4 长度收缩 .....	152
6.5 洛伦兹坐标变换 .....	154
6.6 相对论速度变换 .....	158
6.7 相对论质量 .....	161
6.8 相对论动能 .....	164
6.9 相对论能量 .....	166
* 6.10 动量和能量的关系 .....	169
* 6.11 广义相对论简介 .....	170
提要 .....	173
思考题 .....	174
习题 .....	174

## 第 2 篇 波动与光学

<b>第 7 章 振动</b> .....	<b>180</b>
7.1 简谐运动的描述 .....	180
7.2 简谐运动的动力学 .....	184
7.3 简谐运动的能量 .....	186
* 7.4 阻尼振动 .....	187
* 7.5 受迫振动 共振 .....	189
7.6 同一直线上同频率的简谐运动的合成 .....	190

7.7	同一直线上不同频率的简谐运动的合成 .....	192
* 7.8	谐振分析 .....	194
* 7.9	两个相互垂直的简谐运动的合成 .....	196
	提要 .....	197
	思考题 .....	199
	习题 .....	199
<b>第8章</b>	<b>波动</b> .....	<b>203</b>
8.1	行波 .....	203
8.2	简谐波的形成过程 .....	205
8.3	简谐波的波函数 波长 .....	206
* 8.4	物体的弹性形变 .....	210
* 8.5	弹性介质中的波速 .....	213
8.6	波的能量 .....	214
8.7	惠更斯原理与波的反射和折射 .....	217
8.8	波的叠加 驻波 .....	219
* 8.9	声波 .....	223
8.10	多普勒效应 .....	227
* 8.11	行波的叠加和群速度 .....	231
	提要 .....	234
	思考题 .....	236
	习题 .....	237
<b>第9章</b>	<b>光的干涉</b> .....	<b>242</b>
9.1	杨氏双缝干涉 .....	242
9.2	相干光 .....	246
9.3	光程 .....	249
9.4	薄膜干涉 .....	251
* 9.5	迈克耳孙干涉仪 .....	253
	提要 .....	254
	思考题 .....	255
	习题 .....	256

<b>第 10 章 光的衍射</b> .....	260
10.1 光的衍射和惠更斯-菲涅耳原理 .....	260
10.2 单缝的夫琅禾费衍射 .....	262
10.3 光学仪器的分辨本领 .....	267
* 10.4 细丝和细粒的衍射 .....	270
10.5 光栅衍射 .....	273
* 10.6 X 射线衍射 .....	278
提要 .....	280
思考题 .....	281
习题 .....	282
<b>第 11 章 光的偏振</b> .....	285
11.1 自然光和偏振光 .....	285
11.2 由介质吸收引起的光的偏振 .....	286
11.3 由反射引起的光的偏振 .....	289
* 11.4 由双折射引起的光的偏振 .....	291
* 11.5 由散射引起的光的偏振 .....	292
* 11.6 旋光现象 .....	294
提要 .....	295
思考题 .....	296
习题 .....	297
<b>第 12 章 几何光学</b> .....	298
12.1 光线 .....	298
12.2 光的反射 .....	299
12.3 球面反射镜 .....	301
12.4 光的折射 .....	304
12.5 薄透镜的焦距 .....	306
12.6 薄透镜成像 .....	309
12.7 人眼 .....	313
12.8 助视仪器 .....	315
提要 .....	318

---

思考题.....	320
习题.....	322
<b>数值表</b> .....	<b>325</b>
<b>习题答案</b> .....	<b>327</b>
<b>索引</b> .....	<b>336</b>

# 第

# 1

# 篇

# 力 学

---

力学是一门古老的学问,其渊源在西方可追溯到公元前 4 世纪古希腊学者柏拉图认为圆运动是天体的最完美的运动和亚里士多德关于力产生运动的说教,在中国可以追溯到公元前 5 世纪《墨经》中关于杠杆原理的论述。但力学(以及整个物理学)成为一门科学理论应该说是从 17 世纪伽利略论述惯性运动开始,继而牛顿提出了后来以他的名字命名的三个运动定律。现在以牛顿定律为基础的力学理论叫牛顿力学或经典力学。它曾经被尊为完美普遍的理论而兴盛了约 300 年。在 20 世纪初虽然发现了它的局限性,在高速领域为相对论所取代,在微观领域为量子力学所取代,但在一般的技术领域,包括机械制造、土木建筑,甚至航空航天技术中,经典力学仍保持着充沛的活力而处于基础理论的地位。它的这种实用性是我们要学习经典力学的一个重要原因。

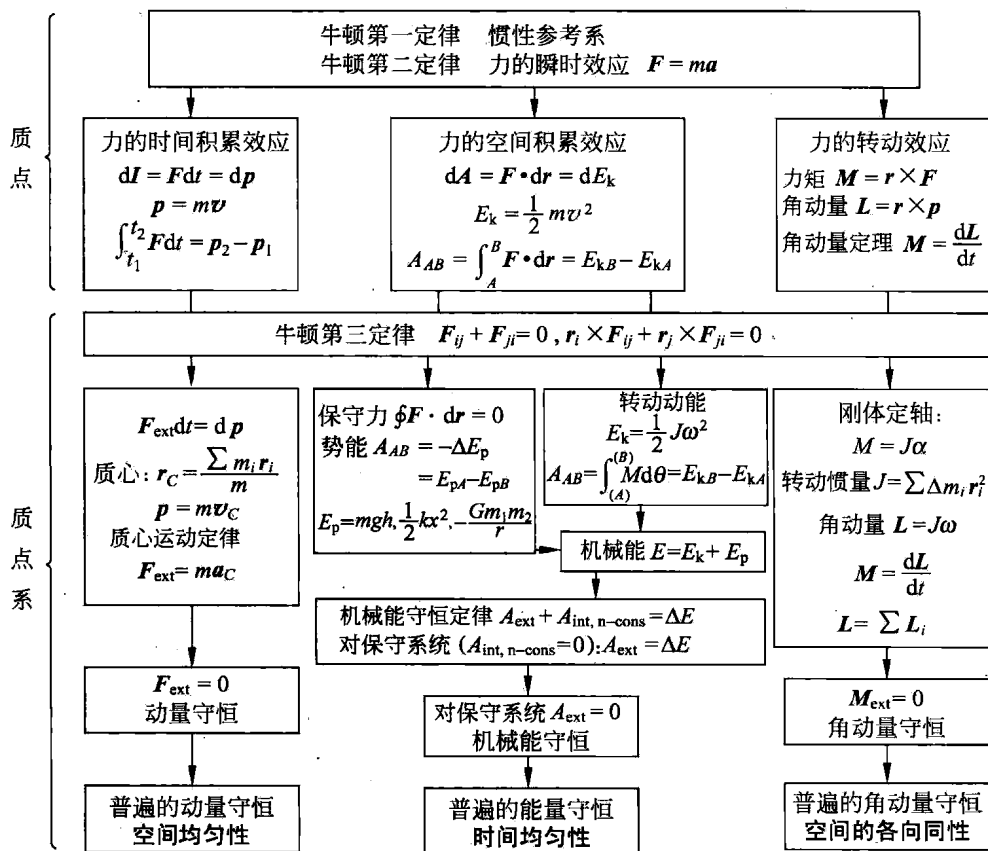
由于经典力学是最早形成的物理理论,后来的许多理论,包括相对论和量子力学的形成都受到它的影响。后者的许多概念和思想都是经典力学概念和思想的发展或改造。经典力学在一定意义上是整个物理学的基础,这是我们要学习经典力学的另一个重要原因。

本篇要讲述的内容包括质点力学和刚体力学基础。着重阐明动量、角动量和能量诸概念及相应的守恒定律。狭义相对论的时空观已是当今物理学的基础概念,它和牛顿力学联系紧密,可以归入经典力学的范畴。第 6 章介绍狭义相对论的基本概念和原理。

量子力学是一门全新的理论,不可能归入经典力学,也就不包括在本篇内。尽管如此,在本篇适当的地方,还是插入了一些量子力学概念以便和经典概念加以比较。

经典力学一向被认为是决定论的。但是,在 20 世纪 60 年代,由于电子计算机的应用,发现了经典力学问题实际上大部分虽是决定论的,但是是不可预测的。为了使同学们了解经典力学的这一新发展,2.6 节“混沌”中简单介绍了这方面的基本知识。

### 本篇所采用的牛顿力学基本知识系统图



# 质点运动学

**经**典力学是研究物体的机械运动的规律的。为了研究,首先描述力学中描述物体运动的内容叫做运动学。实际的物体结构复杂,大小各异,为了从最简单的研究开始,引进质点模型,即以具有一定质量的点来代表物体。本章讲解质点运动学。相当一部分概念和公式在中学物理课程中已学习过了,本章在简要复习的基础上,对它们进行了更严格、更全面也更系统化的讲解。例如强调了参考系的概念,速度、加速度的定义都用了导数这一数学运算,还普遍加强了矢量概念。又例如圆周运动介绍了切向加速度和法向加速度两个分加速度。最后还介绍了同一物体运动的描述在不同参考系中的变换关系——伽利略变换。

## 1.1 匀变速直线运动<sup>①</sup>

在高中课程<sup>②</sup>中同学们已学习了如何描述质点的匀变速(或称匀加速)直线运动。以质点运动所沿的直线为  $x$  轴,质点在各时刻  $t$  的位置以坐标值  $x$  表示,则质点的运动就表示为  $x$  随  $t$  的变化,如图 1.1 所示。在时刻  $t$  前后  $\Delta t$  时间内质点运动的快慢用平均速度  $\bar{v}$  表示,

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1.1)$$

如果  $\Delta t$  非常小, $\bar{v}$  即是时刻  $t$  质点的瞬时速度或速度,以  $v$  表示,其大小称为速率。速率的单位常用 m/s。

① 本节可不再讲解,由同学们自学复习。

② 涉及高中物理课程的内容,可参看《普通高中物理课程标准实验教科书:物理》(简称《普高物理》)各分册,人民教育出版社,2004。此处参看其“必修 1”分册。



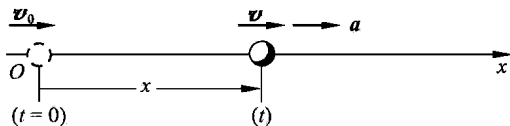


图 1.1 直线运动图示

质点在运动中其速度可能随时间改变,此改变的快慢称为**加速度**。 $\Delta t$  时间内的**平均加速度**用  $\bar{a}$  表示,为

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.2)$$

如果  $\Delta t$  非常小, $\bar{a}$  即是时刻  $t$  质点的**瞬时加速度**或**加速度**,以  $a$  表示。加速度的单位常用  $\text{m/s}^2$ 。

如果在运动中,质点的速度均匀变化,即加速度  $a$  不随时间改变而为一常量,这种运动称为**匀变速运动**。关于**匀变速直线运动**,有下列基本关系式:

速度和时间(初速度为  $v_0$ ):

$$v = v_0 + at \quad (1.3)$$

位置和时间(初位置在原点):

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (1.4)$$

上两式中消去  $t$ , 还可得

速度和位置的关系:

$$v^2 = v_0^2 + 2ax \quad (1.5)$$

实际上常见的匀变速直线运动有沿竖直方向的**自由落体运动**,它的加速度竖直向下,称**自由落体加速度**或**重力加速度**。值得强调的是,实验证明在地球上同一地点,不同的物体的重力加速度都相同。通常以  $g$  表示重力加速度的大小。地面上各处不太高的范围内, $g$  一般就在  $9.8 \text{ m/s}^2$  左右。一般计算就取

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

对于由静止自由下落( $v_0=0$ )的物体,以  $t$  表示下落的时间, $h$  表示下落的高度,并以向下为坐标正方向,则式(1.3)到式(1.5)转化为

$$v = gt \quad (1.6)$$

$$h = \frac{1}{2} gt^2 \quad (1.7)$$

$$v^2 = 2gh \quad (1.8)$$

**例 1.1 电子加速。**在电视机的电子枪内一电子被电场均匀加速沿直线前进,如图 1.2 所示,经过  $2.00 \text{ cm}$  距离后其速率由  $2.80 \times 10^4 \text{ m/s}$  增大为  $5.20 \times 10^6 \text{ m/s}$ ,求此