

高等学校统编教材

大学物理学

主 编 李慧娟 巩晓阳
副主编 贺 健 赵晓艳 郭惠芬

高等教育出版社

高等学校统编教材

大学物理学

D a x u e w u l i x u e

主 编 李慧娟 巩晓阳
副主编 贺 健 赵晓艳 郭惠芬

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是参照教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)修订而成的,全书共13章,涉及力学、热学、电磁学、振动与波、波动光学、相对论和量子物理基础等内容。每章除基本内容之外,还包括小结、习题和阅读材料,每节也附有与内容相关的思考与练习,便于学生及时巩固所学知识并对与物理学有关的交叉学科前沿热点课题有所了解。本书深浅适宜,讲解清晰,叙述引人入胜,例题指导详尽。全书力求基本理论联系实际,特别注意介绍物理知识、物理方法和物理思想在实际问题中的应用。

本书可作为高等理工科院校本科大学物理教材或教学参考书,也可用作高等专科学校和职业教育各专业的物理教材,还可以供其他相关专业参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学 / 李慧娟, 巩晓阳主编. -- 北京:
高等教育出版社, 2015.2
ISBN 978-7-04-042032-6

I. ①大… II. ①李… ②巩… 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(2015)第 019389 号

策划编辑 缪可可 责任编辑 高聚平 特约编辑 周鹏飞 封面设计 赵阳
版式设计 杜微言 插图绘制 杜晓丹 责任校对 刁丽丽 责任印制 韩刚

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	涿州市星河印刷有限公司	网上订购	http://www.landrac.com
开 本	787mm × 1092mm 1/16		http://www.landrac.com.cn
印 张	24	版 次	2015 年 2 月第 1 版
字 数	590 千字	印 次	2015 年 2 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	39.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 42032-00

前 言

随着物理学的发展和向其他学科的交叉渗透，并在高新技术应用等方面的开花结果，物理学的基础性和重要性日益得到体现，这就促使大学基础物理课程需要作相应的改革，以适应科学发展的新形势。大学物理学作为大学低年级学生的一门重要基础课，除了为学生打好必要的物理基础之外，对于培养学生科学的思维方法、开阔思路、激发探索和创新精神等科学素养有着重要的作用。我们按照教育部原物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》（2010年版），结合在大学物理教学第一线多年的教学经验和教学研究的成果，编写了这本大学物理教材。

本教材的主要目的是用物理学的发现激发学生的兴趣，并对理论和应用进行清晰易懂的阐述。为达此目的，本书尽可能通过常见的例子引入物理学新的概念和规律。通过这种从特殊到一般的方法，摆脱了学生一开始就陷入生涩而抽象地讨论不熟悉的问题的困境。各章的流程基本是：常见的例子→普遍原理→进一步的例子（应用）。同时，本书经常用物理模型解释物理现象，利用一切机会向学生阐释建构和使用模型的方法，这些模型对真实的物理过程提供近似的描述，是解决实际问题采用的重要方法。

多年的教学经验证明，一本优秀的基础物理学教材，应该是既新颖可喜，又脚踏实地的。如果一本教材陈意过高、语言晦涩，使得刚入大学的学生难以阅读、高不可攀，那就不是为学生而写的教材。作为教材，对学生来说要注意两个标准：一是可接受性，二是独创性。一本教材，虽然没有很高的独创性，但内容扎实全面，可接受性良好，同样会受到广大师生的青睐。如果作者追求革新性，既要适应科学发展的需要增添许多反映新的科学进展的内容，又要照顾传统的内容，结果就会使教材的内容臃肿、篇幅浩繁，不利于施教。我们多年讲授本科生物理课程的经验是：只有当学生理解了一个问题的本质时，他们才能真正理解问题是如何解决的。从更高一个层次上讲，学生在阅读教材时，对于基本物理定律的优美、简洁、和谐以及辉煌应该有所体会。基于以上认识，在编写本教材时，注意了以下几点：

(1) 结构和内容。结构上基本采用传统的：力学（第2—4章）、热学（第5、6章）、电磁学（第7—9章）、振动与波（第10章）、波动光学（第11章）和近代物理学（第12、13章）。考虑到一般院校大学物理课程的学时限制，本书主要将“基本要求”中的A类知识点的74条内容作为核心，同时对B类知识点的51条内容有选择性地介绍和拓宽。这样，既保证了课程体系的完整性，又能够拓展学生的知识面。为了让学生在开始学习大学物理的内容之前对物理学有个基本了解，并做好预备知识（我们认为学生已经掌握了微积分知识）的准备，我

们设置了第1章引言部分,介绍了物理学的一些标准、规范和矢量的运算方法。

(2) 经典物理与近代物理。我们认为,经典物理不仅是理工科学生学习各专业知识的理论基础,而且也是他们学习近代科学技术新理论、新知识的理论基础。不仅如此,经典物理在科学和技术领域仍然是应用最广泛的理论,而且其对训练大学低年级学生科学的思维方法、培养分析和解决问题的能力等方面的作用是其他课程所不能替代的,因此这部分内容必须切实保证。对于近代物理,着重介绍那些学习新理论、新知识过程中所必需的一些基本概念、基础理论,并在不影响教学负担情况下,适当加强近代内容。本书中经典物理和近代物理部分内容选择和相对比例是合适的,是符合当前教学实际的。所以,本书在尽可能拓宽近代物理内容的同时,没有压缩经典理论的知识内容,而是尽可能挖掘经典物理更深层次的含义和应用,使其与近代物理有机地联系起来。

(3) 章节设计。每章均以一段简短的引言作为开始,引导学生了解本章的核心内容,督促他们明确学习的方向,以达到本章的教学目标。每章内容结束,都有一个对核心知识内容和方法的小结,以使学生更好地把握本章的重点。另外,我们还在每章的后面设置了阅读材料,或是物理学史上一些著名的故事,或是当代极其重要且迅速发展的高新技术,抑或是某些有意义的科学与人文的哲学思考等。这样,通过精彩的物理学史话、高新技术领域的窗口和对哲学思辨的探讨,激发学生学习物理的兴趣,逐步形成科学的世界观。

(4) 练习设置。为了帮助读者正确、深入、灵活、及时地掌握新的教学内容,提高学习效率,也为了帮助读者进一步培养科学思维方法,提高分析和解决问题的能力,除了每章的习题由易到难、由浅入深编排外,我们还在每节内容的后面,编写了与该节核心内容密切相关的“思考与练习”。这部分的问题一般不复杂,但紧扣知识点,努力做到灵活生动并与学生的生活经验相关,以激发他们学习、探究物理的兴趣。

(5) 本书使用全国科学技术名词审定委员会审定公布的物理学名词。如果没有特别说明,书中物理量均采用国际单位制。

本书可作为一般理工科院校的大学本科物理教材,参考教学时数为不超过90学时;也可作为大学专科(包括高等专科学校、高等职业技术学院、电大、函授等)的物理教材。本书中加有“*”的内容是可以选讲或自学的内容。

本书由李慧娟、巩晓阳任主编,负责全书的设计和统稿工作;贺健、赵晓艳、郭惠芬任副主编。参加编写的人员有:李慧娟(第1—4章、前言、附录),巩晓阳(第7、8、12章),贺健(第5、6、10章),赵晓艳(第9、11章),郭惠芬(第13章)。

在本书的编写过程中,我们参考了一些国内外优秀的大学物理教材,并借鉴了其中的部分思想和内容,特别是赵凯华、罗蔚茵教授合写的《新概念物理教程》,张三慧教授主编的《大学物理学》,马文蔚教授改编的《物理学》,张庆国、尤景汉教授主编的《物理学教程》等。同时,我校物理工程学院的老师们提出了很多有益的建议。本书的出版工作得到了高等教育出版社和河南科技大学教务处的大力帮助和支持。在此,一并表示衷心的感谢。

由于水平有限,编写时间仓促,书中难免会出现不当之处,希望广大读者多提宝贵意见,以使本书更趋完善。

编者

2014年9月

目 录

第 1 章 引言	1
§ 1.1 标准、单位制和量纲	1
1.1.1 标准	1
1.1.2 单位制	3
1.1.3 量纲	4
1.1.4 解题方法	4
思考与练习	5
§ 1.2 矢量	5
1.2.1 标量与矢量	5
1.2.2 矢量加、减法作图法	6
1.2.3 单位矢量和矢量分量	7
1.2.4 矢量的加、减法	7
1.2.5 矢量的乘法	8
思考与练习	9
小结	9
习题	10
阅读材料	11
第 2 章 质点运动学	15
§ 2.1 质点位置的描述方法	15
2.1.1 质点的概念	15
2.1.2 质点位置的描述方法	16
2.1.3 运动方程	17
思考与练习	18
§ 2.2 质点的位移、速度和加速度	18
2.2.1 位移	18
2.2.2 速度和速率	19
2.2.3 加速度	21
思考与练习	23
§ 2.3 一维运动	23
2.3.1 一维运动中位移、速度和加速度的表示法	23
2.3.2 直线运动的规律	24
思考与练习	27
§ 2.4 二维空间运动	27
2.4.1 二维运动的运动学问题	27
2.4.2 抛体运动	28
2.4.3 圆周运动	30
思考与练习	35
§ 2.5 运动描述的相对性 伽利略变换	35
2.5.1 伽利略坐标变换	35
2.5.2 速度变换	36
2.5.3 加速度变换	36
思考与练习	37
小结	37
习题	39
阅读材料	41
第 3 章 质点动力学	42
§ 3.1 质量与力	42
3.1.1 质量	43
3.1.2 力学中几种常见的力	43
思考与练习	45
§ 3.2 牛顿运动定律	45
3.2.1 牛顿第一定律	45

3.2.2 牛顿第二定律	46	思考与练习	89
3.2.3 牛顿第三定律	47	§ 4.4 定轴转动刚体的角动量及其守恒定律	90
3.2.4 牛顿运动定律的应用	48	4.4.1 角动量	90
思考与练习	50	4.4.2 角动量定理	90
§ 3.3 功和能	50	4.4.3 角动量守恒定律	91
3.3.1 功和功率	50	思考与练习	92
3.3.2 动能和动能定理	52	小结	93
3.3.3 保守力的功 势能	54	习题	95
3.3.4 功能原理 机械能守恒定律	57	阅读材料	97
思考与练习	59	第 5 章 气体动理论	101
§ 3.4 动量及其规律	59	§ 5.1 气体动理论的基本观点	101
3.4.1 动量与冲量	59	5.1.1 物体由大量微观粒子组成	101
3.4.2 动量定理	60	5.1.2 分子在永不停息地作无规则热运动	101
3.4.3 动量守恒定律	62	5.1.3 分子间存在相互作用力	102
3.4.4 碰撞	63	思考与练习	102
思考与练习	68	§ 5.2 理想气体物态方程	102
§ 3.5 角动量及其规律	68	5.2.1 热力学系统的平衡态	103
3.5.1 质点的角动量及其规律	68	5.2.2 气体的状态参量	103
3.5.2 质点系的角动量及其规律	70	5.2.3 理想气体的物态方程	104
思考与练习	71	5.2.4 实际气体的物态方程	105
小结	72	思考与练习	105
习题	74	§ 5.3 压强和温度的微观解释	105
阅读材料	76	5.3.1 理想气体的微观模型	105
第 4 章 刚体	78	5.3.2 压强的微观本质	106
§ 4.1 刚体运动学	78	5.3.3 温度的微观意义	108
4.1.1 刚体的平动与转动	78	思考与练习	109
4.1.2 刚体定轴转动的描述	79	§ 5.4 能量均分定理 理想气体的热力学能	109
4.1.3 刚体定轴转动的运动学问题	80	5.4.1 自由度	109
思考与练习	81	5.4.2 能量均分定理	109
§ 4.2 刚体定轴转动的转动定律	81	5.4.3 理想气体的热力学能	110
4.2.1 力矩	82	思考与练习	111
4.2.2 刚体定轴转动定律	82	§ 5.5 麦克斯韦速率分布律	111
4.2.3 刚体的转动惯量	83	5.5.1 速率分布函数	112
思考与练习	86	5.5.2 麦克斯韦速率分布函数	113
§ 4.3 力矩的功及动能定理	86		
4.3.1 力矩的功和功率	87		
4.3.2 刚体的转动动能及动能定理	87		

思考与练习	115	小结	137
小结	115	习题	137
习题	116	阅读材料	139
阅读材料	117		
第 6 章 热力学	120	第 7 章 静电场	143
§ 6.1 准静态过程	120	§ 7.1 电场 电场强度	143
思考与练习	121	7.1.1 电荷	143
§ 6.2 热力学第一定律	121	7.1.2 库仑定律	144
6.2.1 准静态过程中的功	121	7.1.3 电场强度	145
6.2.2 热量	122	思考与练习	148
6.2.3 热力学能	123	§ 7.2 静电场的高斯定理	148
6.2.4 热力学第一定律	123	思考与练习	152
思考与练习	123	§ 7.3 静电场的环流定理 电势	153
§ 6.3 热力学第一定律对理想气体的		7.3.1 静电场力的功	153
应用	124	7.3.2 静电场的环流定理	153
6.3.1 等体过程	124	7.3.3 电势能与电势	154
6.3.2 等压过程	124	7.3.4 电势的计算	154
6.3.3 等温过程	126	7.3.5 电荷等势面 场强与电势的	
6.3.4 绝热过程	126	微分关系	156
思考与练习	128	思考与练习	157
§ 6.4 循环过程及其效率	129	§ 7.4 静电场中的导体和电介质	157
6.4.1 循环过程	129	7.4.1 导体的静电平衡	157
6.4.2 热机效率 卡诺循环	129	7.4.2 导体上电荷的分布	157
6.4.3 逆循环 制冷机	131	7.4.3 导体表面附近的场强	158
思考与练习	132	7.4.4 静电场中的电介质	159
§ 6.5 热力学第二定律	132	思考与练习	161
6.5.1 自然过程的方向性	132	§ 7.5 电容器 静电场的能量	161
6.5.2 热力学第二定律	133	7.5.1 电容器的电容	161
6.5.3 热力学第二定律的微观		7.5.2 电场的能量	163
意义	134	思考与练习	164
6.5.4 热力学第二定律的概率性		小结	164
表述	134	习题	166
思考与练习	135	阅读材料	167
§ 6.6 熵增加原理	136	第 8 章 恒定磁场	169
6.6.1 玻耳兹曼熵与熵增加原理	136	§ 8.1 磁场 磁感应强度 磁场的高斯	
6.6.2 耗散结构	136	定理	169
思考与练习	137	8.1.1 磁场和磁感应强度	169

8.1.2 磁感线	170	§ 9.2 动生电动势	198
8.1.3 磁通量	170	思考与练习	203
8.1.4 磁场的高斯定理	171	§ 9.3 感生电动势 感应电场	203
思考与练习	171	9.3.1 感应电场	203
§ 8.2 毕奥-萨伐尔定律及其应用	172	9.3.2 电子感应加速器的基本 原理	206
8.2.1 毕奥-萨伐尔定律	172	9.3.3 涡电流	207
8.2.2 毕奥-萨伐尔定律的应用	172	思考与练习	209
思考与练习	174	§ 9.4 自感应	209
§ 8.3 安培环路定理	175	思考与练习	211
8.3.1 安培环路定理	175	§ 9.5 磁场的能量	211
8.3.2 由安培环路定理求磁场	177	9.5.1 通电自感线圈的能量	211
思考与练习	178	9.5.2 磁场的能量	212
§ 8.4 磁场对运动电荷的作用	179	§ 9.6 互感应	213
8.4.1 洛伦兹力	179	思考与练习	216
8.4.2 洛伦兹力的应用	179	§ 9.7 电磁场理论的基本概念	216
思考与练习	181	9.7.1 电磁场规律总结	216
§ 8.5 磁场对电流的作用	181	9.7.2 位移电流	217
8.5.1 磁场对载流导线的作用 ——安培定律	181	9.7.3 电磁场 麦克斯韦方程组	220
8.5.2 安培定律的应用	182	思考与练习	221
思考与练习	183	§ 9.8 电磁波的产生及其性质	222
§ 8.6 磁介质	184	9.8.1 电磁波的产生	222
8.6.1 顺磁质和抗磁质的磁化 机制	184	9.8.2 平面电磁波的性质	222
8.6.2 有介质时的安培环路定理和 磁场强度	185	思考与练习	223
8.6.3 铁磁质	186	小结	223
思考与练习	187	习题	224
小结	187	阅读材料	228
习题	188	第 10 章 振动与波	232
阅读材料	190	§ 10.1 简谐振动的基本概念	232
第 9 章 电磁感应	192	思考与练习	235
§ 9.1 电磁感应定律	192	§ 10.2 振动的能量与振动的合成	235
9.1.1 电磁感应现象的发现	192	10.2.1 简谐振动的能量	235
9.1.2 电磁感应现象	193	10.2.2 同方向同频率简谐振动的 合成	236
9.1.3 法拉第电磁感应定律	194	思考与练习	238
思考与练习	198	§ 10.3 波动概念	238
		10.3.1 机械波的产生和传播	

横波和纵波	238	11.4.3 迈克耳孙干涉仪	270
10.3.2 波的几何描述	238	思考与练习	271
10.3.3 描述波动特征的物理量	239	§ 11.5 光的相干性	272
思考与练习	240	11.5.1 光的时间相干性	272
§ 10.4 波动方程	240	11.5.2 光的空间相干性	273
10.4.1 平面简谐波的波动方程	241	§ 11.6 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳	
10.4.2 波动方程的物理意义	241	原理	274
10.4.3 沿 x 轴负向传播的平面简谐波		11.6.1 光的衍射现象	274
的波动方程	242	11.6.2 惠更斯-菲涅耳原理	275
10.4.4 波的能量	243	11.6.3 衍射现象的分类	275
思考与练习	244	§ 11.7 夫琅禾费单缝衍射	276
§ 10.5 波的干涉	244	11.7.1 夫琅禾费衍射条纹	276
10.5.1 惠更斯原理	244	11.7.2 菲涅耳波带法	276
10.5.2 波的干涉	245	11.7.3 旋转矢量法	277
10.5.3 驻波	247	11.7.4 光强分布特征	278
思考与练习	248	11.7.5 条纹间距	279
§ 10.6 多普勒效应	248	思考与练习	280
思考与练习	250	§ 11.8 衍射光栅	280
小结	250	11.8.1 光栅的构成	280
习题	251	11.8.2 光栅衍射	281
阅读材料	253	思考与练习	284
第 11 章 波动光学	256	§ 11.9 圆孔衍射 光学仪器的分辨	
§ 11.1 单色光的波动表达式	256	本领	284
§ 11.2 相干光的获得	257	11.9.1 圆孔夫琅禾费衍射	285
11.2.1 相干光的获得	257	11.9.2 光学仪器的分辨本领	285
11.2.2 干涉加强或减弱的条件	258	思考与练习	287
思考与练习	259	§ 11.10 自然光与偏振光	287
§ 11.3 杨氏双缝干涉	259	§ 11.11 偏振片 马吕斯定律 布儒斯特	
11.3.1 实验装置	259	定律	289
11.3.2 双缝干涉的条纹分布及其		11.11.1 偏振片	289
特征	260	11.11.2 马吕斯定律	290
11.3.3 其他双缝型的干涉实验	261	11.11.3 光在反射和折射时的	
11.3.4 光程	262	偏振	291
思考与练习	264	11.11.4 布儒斯特定律	291
§ 11.4 薄膜干涉	264	11.11.5 光通过晶体时的偏振	
11.4.1 薄膜等倾干涉	264	现象	292
11.4.2 薄膜等厚干涉	267	思考与练习	293
		§ 11.12 偏振光的应用	294

11.12.1 偏振片的应用	294	第 13 章 量子理论基础	324
11.12.2 偏振光的干涉	294	§ 13.1 热辐射	324
11.12.3 克尔效应	295	13.1.1 单色辐出度	325
11.12.4 旋光效应	295	13.1.2 辐出度	325
思考与练习	296	13.1.3 单色反射率和单色吸收率	325
小结	296	13.1.4 绝对黑体	326
习题	297	思考与练习	326
阅读材料	300	§ 13.2 黑体热辐射的实验定律	326
第 12 章 相对论	304	13.2.1 斯特藩-玻耳兹曼定律	326
§ 12.1 力学的相对性原理 伽利略 变换	304	13.2.2 维恩位移定律	327
12.1.1 力学的相对性原理	304	13.2.3 基尔霍夫辐射定律	327
12.1.2 绝对时空观和伽利略变换	305	思考与练习	328
12.1.3 经典力学遇到的困难	306	§ 13.3 瑞利-金斯公式 经典物理的 困惑	328
思考与练习	308	§ 13.4 普朗克量子假说	329
§ 12.2 爱因斯坦的基本假设 狭义 相对论时空观	308	思考与练习	329
12.2.1 狭义相对论的两个基本 假设	309	§ 13.5 光电效应	329
12.2.2 狭义相对论时空观	309	13.5.1 光电效应的实验规律	330
思考与练习	312	13.5.2 光子 爱因斯坦方程	331
§ 12.3 洛伦兹变换	313	13.5.3 光电效应在近代技术中的 应用	331
12.3.1 洛伦兹变换	313	13.5.4 光的波粒二象性	332
12.3.2 时序的相对性	314	思考与练习	333
思考与练习	315	§ 13.6 康普顿效应	333
§ 12.4 狭义相对论的速度变换	315	13.6.1 康普顿效应及经典物理遇到 的困难	333
思考与练习	317	13.6.2 康普顿效应的光子理论 解释	334
§ 12.5 狭义相对论的动力学基础	317	思考与练习	335
12.5.1 相对论质量和动量	317	§ 13.7 氢原子光谱系和玻尔理论	335
12.5.2 相对论动能、质量能量 关系	318	13.7.1 氢原子光谱的规律性	335
12.5.3 动量和能量的关系	319	13.7.2 卢瑟福的原子有核模型	336
思考与练习	320	13.7.3 氢原子的玻尔理论	337
小结	320	13.7.4 玻尔理论的缺陷和意义	338
习题	321	思考与练习	339
阅读材料	322	§ 13.8 德布罗意波	339
		13.8.1 德布罗意假设	339

13.8.2 德布罗意波的实验验证	340	§ 13.12 原子的壳层结构	352
思考与练习	341	13.12.1 原子的壳层模型	352
§ 13.9 微观粒子的状态描述	341	13.12.2 泡利不相容原理	353
13.9.1 波函数	341	13.12.3 能量最小原理	353
13.9.2 波函数的统计意义	341	思考与练习	357
13.9.3 波函数满足的条件	342	小结	357
13.9.4 不确定关系	343	习题	360
思考与练习	345	阅读材料	362
§ 13.10 薛定谔方程	345	附录 1: 常用物理常量表	365
13.10.1 定态薛定谔方程	345	附录 2: 我国法定的计量单位和国际	
13.10.2 一维无限深势阱	347	单位制 (SI) 单位	367
13.10.3 势垒 隧道效应	348	附录 3: 空气、水、地球、太阳系的一些	
思考与练习	349	常用数据	370
§ 13.11 氢原子 电子自旋 四个量		参考文献	371
子数	349		
13.11.1 氢原子的量子特性	350		
13.11.2 电子自旋	351		
13.11.3 四个量子数	352		
思考与练习	352		

物理学主要包括经典物理学和近代物理学。经典物理学是以经典力学、经典电磁场理论和经典统计力学为三大支柱的经典物理体系。19世纪，理论与实验的完美结合，推动了科学技术迅猛的发展并产生了广泛的社会影响，是经典物理学的辉煌时代。然而，此刻在物理学的万里晴空中却飘来了两朵乌云，使经典物理学陷入了危机，这两朵乌云导致了相对论和量子力学的建立，这就是近代物理学。从20世纪初至今，物理学的研究对象由低速到高速，由宏观到微观，深入广垠的宇宙深处和物质结构的内部，对宏观世界的结构、运动规律和微观物质的运动规律的认识，产生了重大的变革。

物理学主要研究经抽象化了的简单模型系统，如质点、单摆、单个原子等模型，科学方法在这些简单物理系统中常比在许多其他学科中清晰得多，正是这一点，物理学常被认为是“科学方法”的典范。

要学好物理学，必须先做好预备工作。除了微积分的数学基础外还要掌握本章的基本内容，即物理学的一些标准、规范和矢量的运算方法。

§1.1 标准、单位制和量纲

物理学作为一门定量科学，是由物理量和物理量间的内在关系组成的。物理量的测量有确定的标准，测量结果的表达由数据和单位组成；其内在关系遵循严格的运算规范，它需要单位制和量纲。

1.1.1 标准

在物理学中，待测量的量值是有严格要求的，不仅测量数字必须精确，而且测量结果必须通过一个公认的单位来表示，如时间用秒、小时等，长度单位用米、千米等。测量结果往往含有不止一个这样的标准，如速度以米每秒为单位来测量，而米和秒的值则来源于标准米和标准秒。

在国际单位制中，力学部分只需要三个标准——时间、长度和质量，以后在热学、电磁学和光学中，还需要其他标准。在力学中，其他量都可以用时间、长度和质量的标准来建立，而这三个标准量不能根据任何其他量来定义，因此，这三个标准量叫做**基本物理量**（简称**基本量**），其他量则叫做**导出物理量**（简称**导出量**）。时间、长度和质量的标准是按这样的要求设

置的，既能设法加以复制又能将它与待测量加以比较。

一个标准应有如下特征：

- (1) 具有不变性，以便今天的测量能与若干年后的测量比较；
- (2) 容易获得，以便多数实验室能够复制；
- (3) 应当精确，以便在技术上可达到的任何精度下都能使用；
- (4) 应当在世界范围内保持一致，以便不同国家所获得的结果都是可比的。

国际上公认的定义单位的权威机构是国际计量大会（CGPM）（图片 1-1）。目前 CGPM 对时间、长度和质量的标准定义如下：

时间：1 秒是 Cs¹³³原子的 9 192 631 770 个特定振动周期。

长度：1 米是光在真空中（1/299 792 458）s 时间间隔内所经路径的长度。注意，米的定义依赖于秒的定义和光速恒定的假设。

质量：1 千克是保存在法国巴黎附近的一特定铂铱圆柱（即国际千克原器）的质量。这是 CGPM 在 1889 年的第一次会议上决定的。

CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures) 是国际计量大会 (General Conference of Weights & Measures) 的法文简称，它是最高的权力机构，每四年召开一次大会，由各会员国的政府派代表参加，听取国际计量委员会 (CIPM) 的工作报告，并讨论国际单位制 (Le Système International d'Unités) 的改进及推展等事项，及审查会员国最新研究发展出来的量测标准。第一届国际计量大会召开于 1889 年。



图片 1-1

在热学、电磁学和光学中还有其他的标准，表 1-1 列出了国际单位制的基本量及其对应的单位。基本量的单位称为**基本单位**，导出量的单位称为**导出单位**。

表 1-1 国际单位制的基本物理量和基本单位

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
长度	l	米	m
质量	m	千克	kg
时间	t	秒	s
电流	I	安 [培]	A
热力学温度	T	开 [尔文]	K
物质的量	ν	摩 [尔]	mol
发光强度	I	坎 [德拉]	cd

1.1.2 单位制

物理量的表达是由数值和单位构成的，一个物理量可以有多个单位，不同国家的单位也可能不同，这就需要一种单位体系，即单位制。一个单位制包括：(1) 标准；(2) 构成更大和更小单位的方法；(3) 导出量的定义。例如，一些国际贸易中常使用英制，其中距离的单位为英寸（定义为 0.025 4 标准米），质量的单位为磅（定义为 0.435 923 7 标准千克质量）；其更大或更小的单位，如 1 英尺 = 12 英寸，1 盎司 = 1/16 磅也是英制的一部分；此外还定义了导出单位，如马力（550 平方英尺磅每三次方秒）。但在科学技术中，这些单位几乎不用，国际上统一采用国际单位制（SI）。

国际单位制（SI）是由 CGPM 于 1960 年制定的。是世界上大多数国家使用的体系，也是科技领域里最广泛使用的体系。国际单位制的力学部分，使用米（m）、千克（kg）和秒（s）为基本单位，并有一套通用的方法构成更大和更小的单位。更大和更小的单位由原来的单位加上词头构成，这些词头使原来的基本单位或导出单位的大小改变 10 的若干次幂。表 1-2 列出了这些词头的符号及其简称。基本单位加上词头构成更大或更小的单位，如千米（1 km = 10^3 m）、纳米（1 nm = 10^{-9} m）；导出单位，如功率的单位瓦特（定义为千克平方米每三次方秒，即 $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$ ），用同样的方法通过这些词头构成更大或更小的单位，例如 1 微瓦是 1 瓦的百万分之一（1 $\mu\text{W} = 10^{-6}$ W），而 1 千瓦为 1 000 瓦（1 kW = 10^3 W）。

表 1-2 SI 词头

符号	名称	数量级
Y	尧	10^{24}
Z	泽	10^{21}
E	艾	10^{18}
P	拍	10^{15}
T	太	10^{12}
G	吉	10^9
M	兆	10^6
k	千	10^3
m	毫	10^{-3}
μ	微	10^{-6}
n	纳	10^{-9}
p	皮	10^{-12}
f	飞	10^{-15}
a	阿	10^{-18}
z	仄	10^{-21}
y	幺	10^{-24}

表 1-2 描绘了目前物理学涉及的测量范围. 即使超出这些范围的物体的行为也有某些规律可循, 物理学就是要力图描述这些规律.

1.1.3 量纲

一个量的量纲是该量所描述的物理特性. 如国际单位制力学部分的基本量——时间、长度和质量的量纲分别为 T、L 和 M, 而一个导出量的量纲是用若干个基本量的量纲相乘之积表示出来的, 这种表达式称为该物理量的量纲式, 简称量纲. 按国标的规定, 物理量 Q 的量纲记为 $\dim Q$, 如速度 v 是长度除以时间, 其量纲为

$$\dim v = \frac{L}{T}$$

而加速度 a 的量纲为

$$\dim a = \frac{L}{T^2}$$

显然, 导出量的量纲是在选定了单位制之后, 由基本物理量的量纲表达的式子.

量纲是检查公式在推导过程中是否准确的判据, 虽然不能保证准确, 但可以找出错误.

例题 1-1 假定在工程实践中得到方程 $x = x_0 + vt + \frac{1}{2}a^2t^3$, 这里 x 为长度, v 为速度, t 是时间, a 为加速度. 用量纲分析检查此方程是否正确?

解: 等式左边的量纲为

$$\dim x = L$$

等式右边各量的量纲分别为

$$\dim x_0 = L, \quad \dim vt = \frac{L}{T} \cdot T = L, \quad \dim \frac{1}{2}a^2t^3 = \left(\frac{L}{T^2}\right)^2 T^3 = \frac{L^2}{T}$$

可见, 右边最后一项的量纲为 $\frac{L^2}{T}$ 与其他项的量纲 L 不同, 所以此方程不正确.

1.1.4 解题方法

在物理学课程的学习中, 学生的进步是用解题的好坏程度来评价的. 一套标准的解题步骤能很快提高学生的解题能力, 因为它有助于理清思路并能指明从哪里下手. 下列步骤是多年教与学的过程中总结出来的解题技巧的精华.

根据题意画示意图 用示意图表明问题的情况, 以此作为记忆的延伸, 写出已知条件和待求量.

选择规律列方程 根据问题中给出的条件, 找到适用的规律或概念, 列出方程. 通常, 根据一个规律可得一个含有一个或多个未知量的方程. 若有多个未知量, 则要根据规律或概念列出与未知量相当的多个方程.

解方程 通过数学的方法, 将未知量分离到方程的左边. 一个通用的技巧是, 先解方程得到用已知符号表示的未知量, 再代入已知数值进行运算, 这样一般会使代数运算更加简单. 切记, 代入数值运算时要带上单位.

检查答案 检查答案的量纲和单位；用示意图核查答案的合理性；根据直觉和常识估算答案。

思考与练习

1. 量纲和单位有何不同？试写出速度 v 的量纲和单位。
2. 判断下列方程哪些是可能正确的（ x 为长度， v 为速度， t 是时间， a 为加速度）：
(A) $x=v/a$ ； (B) $v=3at+x/t$ ； (C) $v^2=2ax$ ； (D) $x=vt+at^2$ 。
3. 把速率由千米每小时转换为米每秒需乘什么转换因子？

§1.2 矢 量

对风速的测量和对温度的测量是不同的。风速是矢量，而温度是标量。你已经熟悉了数学上标量的运算方法，本节将建立处理矢量的框架，并用此框架表明如何进行矢量运算。

1.2.1 标量与矢量

在大学物理课程中，我们会遇到许多的物理量，这些量可分为两类：一类是标量，另一类是矢量。

标量 可用一个数字和适当的单位来表示的量。它只有大小，没有方向特性。例如，长度：身高 1.75 m；质量：体重 56 kg；温度：室温 25 °C 等。标量运算遵循代数法则，如箱子的质量是 30 kg，箱子里物体的质量是 50 kg，它们的总质量是 80 kg。

矢量 既有大小又有方向特性的物理量。矢量用黑体字母或带箭头的字母表示，如速度用符号 \boldsymbol{v} 或 \vec{v} 表示；加速度用符号 \boldsymbol{a} 或 \vec{a} 表示。本书中矢量统一用黑体字母表示。可见，要确定一个矢量，只有数字和单位是不够的，还必须指明它的方向。例如， $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的北风是指风的大小是 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，风向由北向南。矢量运算遵循平行四边形法则。

矢量的表示 用有方向的线段来表示矢量，线段的长短表示该矢量的大小，箭头的方向表示该矢量的方向。

如图 1-1 (a) 所示，由 O 点指向 P 点的有向线段表示一个矢量，线段的长短表示矢量的大小，线段上箭头的指向即箭头的方向表示矢量的方向。图 1-1 (a) 中这个有向线段表示的可以是一段位移、一个速度或者是一个加速度。但需注意的是，如图 1-1 (b) 所示， OP 和 OQ 虽然长度相等，但方向不同，所以是两个不相等的矢量。而如图 1-1 (c) 所示， OP 和 $O'P'$ 是长度相等、方向相同的两个矢量，如果它们表示的是同一物理量（如都是力），那么这两个矢量相等。

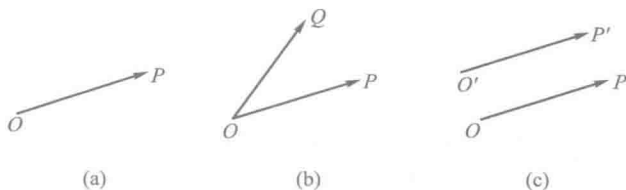


图 1-1