



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

大学物理学

(第二版)(上册)

主编 吴 柳

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

013065366

04-43
20-2
V1



面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

大学物理学

Daxue Wulixue

(第二版)(上册)

主编 吴柳

副主编 刘爱红 唐莹



04-43
20-2
V1



北航 C1673020



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，是吴柳教授主编的“面向21世纪课程教材”和普通高等教育“十五”国家级规划教材《大学物理学》的第二版。修订工作依据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)开展，并充分考虑了与现行中学物理教学的衔接。

全书分上、下两册，共20章，涵盖了基本要求的核心类和大部分拓展类内容，每册教学内容大约对应64学时。上册包括绪论，质点运动学，动量守恒定律，能量守恒定律，角动量守恒定律，刚体力学基础，流体力学简介，相对论，静电场，磁场，变化的电磁场；下册包括气体动理论，热力学基础，振动，波动，几何光学，波动光学，量子物理基础，原子、分子与固体，原子核简介。

本书突出物理学的基本思想方法，反映科技发展前沿和物理学基本原理的应用实际，文字简洁，彩版印刷，图文并茂，贴近生活，版式新颖，使用方便。

本书可作为高等学校理工科类专业大学物理课程的教材或教学参考书，也可供其他学科专业的教师和学生及社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册/吴柳主编.—2版.—北京:
高等教育出版社,2013.8
ISBN 978-7-04-036873-4

I. ①大… II. ①吴… 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(2013)第013885号

策划编辑 张海雁 责任编辑 张海雁 封面设计 张楠 版式设计 张楠
插图绘制 尹莉 责任校对 刁丽丽 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京信彩瑞禾印刷厂		http://www.landaco.com.cn
开 本	850mm×1168mm 1/16	版 次	2003年10月第1版
印 张	19.5		2013年8月第2版
字 数	370千字	印 次	2013年8月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	41.70元
咨询电话	400-810-0598		

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 36873-00

本书第一版《大学物理学》作为“面向21世纪课程教材”和普通高等教育“十五”国家级规划教材出版已近十年。这期间，中学物理教学和大学物理教学都发生了很大变化。中学物理教学由执行《全日制普通高级中学物理教学大纲》，变为实施由两个必修模块和不同选修系列构成的《普通高中物理课程标准》(以下简称《新课标》)，而必修模块仅涉及牛顿运动定律和机械能；而大学物理教学按照新发布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)(以下简称《基本要求》)，则将教学内容分为核心类、扩展类和专题类，增加了流体力学和几何光学部分，不仅在知识层面与原基本要求有不小变化，还对学生能力和素质方面的培养做出了规定，对教学方法和手段等也提出了明确要求。本书正是在充分考虑这些变化和总结第一版教学实践经验的基础上修订而成的。

1. 体系安排。全书仍然分为上、下两册，上册包括绪论、力学、狭义相对论和电磁学，下册包括热学、振动、波动、光学和量子物理。每册对应大约64教学学时，以便与目前大多数理工科学校两个学期的大学物理教学实际相适应。修订时将热学提前，加写了流体力学、几何光学两章，但保留了第一版将大学物理课程教学内容用一些重要的物理思想贯穿起来的体系，这些重要思想和对应的内容分别是：“物理规律是普遍的”(绪论)；“相互作用遵从守恒定律”(力学)；“某些物理量是相对的，而物理规律是绝对的”(相对论)；“场具有动力学性质”(电磁学)；“能量流是不可逆的”(热学)；“物质具有波动性”(振动、波动、光学和量子物理)。

2. 教学内容。本书内容涵盖了新的《基本要求》所有核心类内容，对大部分扩展类内容作了介绍并用“*”注明以备选用，忽略这部分内容并不影响后续内容的学习。教学内容的介绍注意深“理”博“物”，反映现代物理学的研究成果，反映物理学在科技应用中的成就。例如，以守恒定律为中心而不是以力为中心来讲授力学，在相对论的基础上引入磁场，介绍负折射率，以量子霍尔效应为基础建立的电阻单位欧姆的国际标准，等等。

3. 与中学物理衔接。考虑到中学实施《新课标》和各地高考差异带来的学生中学物理知识基础不同、程度参差不齐的实际，本书修订时适当降低了起点，以适应不同学校多数学生的需要。同时注意避免与中学教学的重复，例如高中物理中动能定理是由牛顿定律导出的，本书则从守恒定律出发介绍动能定理。

4. 能力培养。本书在内容叙述中间插入一些思考题，有的特别指明通过网络

查找资料，目的在于培养学生良好的读书习惯和思考习惯，鼓励和引导学生利用互联网等资源进行自主学习。同时，为了给学有余力或愿意追根穷理的学生提供思考和学习空间，我们还以例题、习题或思考题等形式给出了一些超出《基本要求》的内容。此外，在课程教学中，应该鼓励学生通过演示实验学会观察和思考，体会“物理学本质上是一门实验的科学”，利用所学知识解释物理现象，通过定性分析培养学生提出问题、分析问题和解决问题的能力，学习“做物理”而不是“学物理，做习题”。

5. 版面设计。“兴趣是最好的老师”。本书吸收国外教材的版面设计特点，采用彩版印刷，留出标注空间，文字叙述力求简洁，增加亲切感，方便学生使用。同时，选取大量接近生活的物理现象或反映物理学在科技中应用的插图，图文并茂，以期体现物理学是一门“活”的科学，激发学生主动学习的兴趣。

本书由吴柳负责文字修订和统稿，刘爱红绘制插图，唐莹选配习题。本书初稿曾由北京交通大学出版社出版，并在校内经过三年试用。参加初稿编写的有刘爱红、唐莹、蔡天芳、杨甦、范玲和吴柳。除上述教师外，王玉凤、王波波、王瑞峰、赵红娥、李云白、章晓丽、刘岚岚、滕峰、侯延冰、衣立新、张福俊、胡易、牛原、刘斌、郑凯、滕小瑛等提出了很好的修改建议。编者十分感谢北京交通大学参与大学物理课程教学的同事们长期以来的支持和帮助，感谢本书第一版的所有参编人员，感谢使用过本教材的所有教师和学生。在修订过程中，参考了国内外许多大学物理教材，使用了许多网络图片，恕不一一列出，在此谨向这些专家和作者表示由衷的谢意。编者还要感谢北京交通大学理学院、物理系的支持，感谢高等教育出版社的大力支持，特别感谢陈小平主任、刘伟分社长以及张海雁编辑付出的辛苦劳动。

由于学识所限，本书不妥之处在所难免，希望读者和同行专家不吝赐教。

吴 柳

2012年10月于红果园

目 录

第1章 绪论		
1-1	物质世界	2
1-1-1	物质	2
1-1-2	数量级的概念	2
1-1-3	空间尺度	3
1-1-4	时间尺度	4
1-1-5	质量范围	5
1-2	物理学	6
1-2-1	物理学的对象和方法	6
1-2-2	物理量与国际单位制	7
1-2-3	量纲	9
1-3	物理学与科学技术	11
1-3-1	物理规律的普适性	11
1-3-2	自然科学的基础	11
1-3-3	技术革命的源泉	12
1-3-4	物理学与社会和社会科学	13
	习题	14
第2章 质点运动学		
2-1	直角坐标系中质点运动的描述	16
2-1-1	参考系 质点模型	16
2-1-2	位置矢量与运动方程	16
2-1-3	位移与路程	17
2-1-4	速度	19
2-1-5	加速度	20
2-1-6	质点运动学的两类问题举例	21
2-2	自然坐标系中质点运动的描述	26
2-2-1	切向加速度与法向加速度	26
2-2-2	圆周运动及其角量描述	27
*2-2-3	角速度矢量和角加速度矢量	30
2-3	相对运动	31
2-3-1	运动的相对性	31
2-3-2	伽利略变换与绝对时空观	32
	习题	34
第3章 动量守恒定律		
3-1	动量及动量守恒定律	38
3-1-1	惯性定律和惯性参考系	38
3-1-2	动量和动量守恒定律	38
3-1-3	力 牛顿第三定律	40
3-2	动量定理	43
3-2-1	动量定理	43
3-2-2	用冲量表述的动量定理	46
*3-2-3	变质量系统	50
3-3	牛顿运动定律	51
3-3-1	牛顿力学的三个定律	51
3-3-2	质心运动定理	55
*3-3-3	非惯性系 惯性力	57
*3-3-4	科里奥利力	59
	习题	60
第4章 能量守恒定律		
4-1	功与能	64

4-1-1	能量守恒定律	64
4-1-2	功和功率	65
4-1-3	一对力的功	67
4-2	动能定理	68
4-2-1	质点的动能定理	68
4-2-2	质点系的动能定理	69
4-3	机械能守恒定律	71
4-3-1	保守力与势能	71
4-3-2	机械能守恒定律	74
*4-3-3	质心系中的动能定理和功能原理	78
*4-3-4	经典力学中的内在随机性与混沌	80
	习题	82

第5章 角动量守恒定律

5-1	角动量守恒定律	86
5-1-1	角动量	86
5-1-2	角动量守恒定律	88
5-1-3	力矩	88
5-2	角动量定理	90
5-2-1	质点的角动量定理	90
5-2-2	质点系的角动量定理	91
5-2-3	角动量守恒的条件	92
*5-2-4	质心系中的角动量定理	95
*5-3	守恒定律与对称性	97
5-3-1	基本粒子与相互作用	97
5-3-2	相互作用遵从守恒定律的约束	99
5-3-3	对称性	101
5-3-4	对称性与守恒定律	102
	习题	104

第6章 刚体力学基础

6-1	刚体运动的描述	108
6-1-1	刚体的平动和转动	108
6-1-2	刚体定轴转动的描述	109
*6-1-3	刚体定点转动的描述	110
6-2	刚体定轴转动的基本规律	111
6-2-1	刚体对定轴的角动量和转动惯量	111
6-2-2	刚体定轴转动定理	113
*6-2-3	刚体定轴转动的功和能	116
*6-3	回转运动与平面平行运动	120
6-3-1	回转运动	120
6-3-2	刚体的平面平行运动	121
	习题	124

*第7章 流体力学简介

7-1	流体静力学	128
7-1-1	静止流体中的压强	128
7-1-2	表面张力与毛细现象	131
7-2	理想流体的流动	133
7-2-1	理想流体	133
7-2-2	流量 流体的连续性原理	133
7-2-3	伯努利方程	135
7-2-4	流体力学的基本方程	137
7-3	黏性流体	138
7-3-1	流体的黏性	138
7-3-2	泊肃叶公式和斯托克斯公式	139
7-3-3	湍流	140
	习题	141

第8章 相对论

8-1	狭义相对论时空变换	144
8-1-1	伽利略时空变换的基础	144
8-1-2	爱因斯坦的两个基本假设	146
8-1-3	洛伦兹变换	147
8-1-4	相对论速度变换	150
8-2	相对论时空观	152
8-2-1	同时的相对性	152
8-2-2	时间延缓	153
8-2-3	长度收缩	155
*8-2-4	间隔不变性与因果律	157
8-3	相对论动力学基础	159
8-3-1	相对论质量和动量	160
8-3-2	相对论能量	161
*8-3-3	动量、能量和力的相对论变换	164
*8-3-4	四维矢量表示	167
*8-4	广义相对论简介	169
8-4-1	广义相对论基本原理	169
8-4-2	广义相对论的一些结论	171
8-4-3	宇宙 黑洞	174
	习题	175

第9章 静电场

9-1	电相互作用 电场强度	178
9-1-1	电荷的基本性质	178
9-1-2	库仑定律	179
9-1-3	电场强度	180
9-1-4	场的叠加原理和电场强度计算	181
9-2	静电场的高斯定理	185
9-2-1	矢量场的场线与通量	185

9-2-2	静电场的通量和高斯定理	185
9-2-3	应用高斯定理求某些对称带电体的电场	188
9-3	静电场的环路定理 电势	190
9-3-1	静电场的环路定理	190
9-3-2	电势	191
9-3-3	电势的计算	193
9-3-4	电场强度与电势的关系 等势面	195
9-3-5	静电场中的带电粒子	196
9-4	静电场中的导体	198
9-4-1	导体的静电平衡条件	198
9-4-2	静电平衡时导体上的电荷分布	199
9-4-3	空腔导体与静电屏蔽	201
9-5	静电场中的电介质	203
9-5-1	电介质的极化	203
9-5-2	极化强度和极化电荷	205
9-5-3	有电介质时的静电场 环路定理和高斯定理	206
*9-5-4	压电效应 铁电体 驻极体	208
9-6	电容	209
9-6-1	电容器的电容	209
9-6-2	电容器的连接	211
9-6-3	电容器的储能	212
9-6-4	电场的能量	214
	习题	215

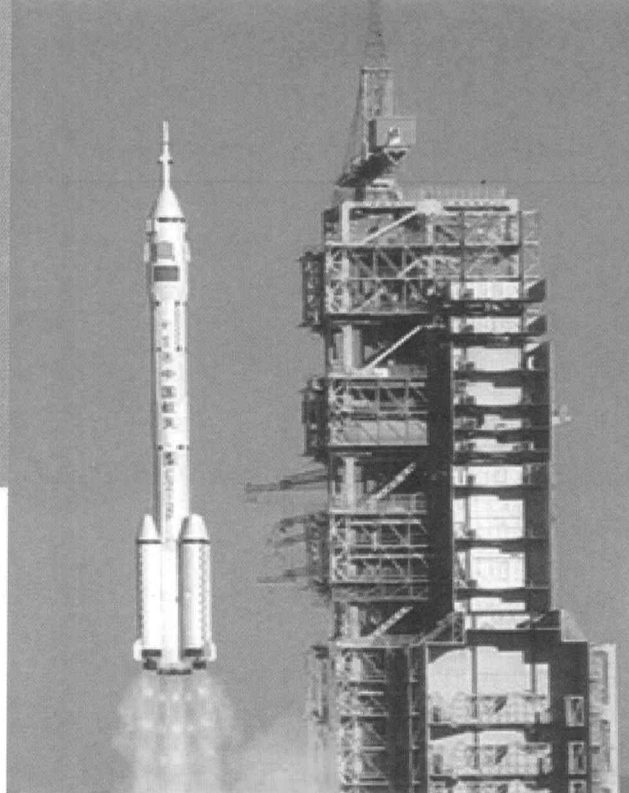
第10章 磁场

10-1	运动电荷的电场和磁场	222
10-1-1	运动电荷间的相互作用力	222
*10-1-2	运动点电荷的电场与磁场	225
*10-1-3	磁矢势 A	228

第 11 章 变化的电磁场

10-2	恒定电流	229	11-1	电磁感应	268
10-2-1	电流密度	229	11-1-1	法拉第电磁感应定律	268
10-2-2	电源电动势	231	11-1-2	动生电动势	270
*10-2-3	欧姆定律和焦耳定律的 微分形式	232	11-1-3	感生电动势 涡旋电场	272
*10-2-4	基尔霍夫电路方程	234	11-2	自感与互感	277
10-3	恒定电流的磁场	238	11-2-1	自感	277
10-3-1	磁场的基本性质	238	11-2-2	互感	279
10-3-2	毕奥-萨伐尔定律	240	11-2-3	磁场的能量	281
10-3-3	恒定电流磁场的安培环路定理	244	*11-2-4	互感磁能	283
10-4	恒定磁场中带电粒子的运动	247	11-3	麦克斯韦方程组	284
10-4-1	磁场对带电粒子的作用力	247	11-3-1	位移电流	285
10-4-2	霍尔效应	249	11-3-2	麦克斯韦方程组	287
10-4-3	载流导线在磁场中所受的力	250	*11-3-3	麦克斯韦方程组与狭义相对论 的协调一致	289
10-4-4	磁场对载流线圈的力矩	252		习题	289
*10-4-5	磁力的功	254			
10-5	物质的磁性	255			
10-5-1	磁场中介质的磁化	255			
10-5-2	有磁介质时磁场的 安培环路定理	256			
*10-5-3	铁磁质	259			
	习题	261			

习题参考答案



图为我国首次载人航天飞船“神舟”五号由“长征2号F”火箭发射升空的照片。这里从火箭发射、飞船通信、导航和轨道定位控制到微重力环境、地球磁场和宇宙射线等，都离不开物理学。

1

绪 论

- 1-1 物质世界
- 1-2 物理学
- 1-3 物理学与科学技术

物理学是研究物质、能量和它们的相互作用的学科。

——第23届国际纯粹物理与应用物理联合会(IUPAP)大会决议

物理学是我们认识世界的基础……是其他科学和绝大部分技术发展的直接的或不可缺少的基础，物理学曾经是、现在是、将来也是全球技术和经济发展的主要驱动力。

——第三次世界物理学会大会决议

本章简单介绍物质世界的层次范围、物理学的对象和方法以及物理量的单位和量纲、物理学与科学技术的关系三部分内容，以期对物理学的内涵和物理学的意义有初步认识。

自然界是由物质构成的，一切物质都处于运动之中。这里的“运动”是指物质的变化，这种变化是物质的固有属性，是物质存在的形式。物质运动有各种各样的形式和层次，从电子跃迁、核的裂变聚变到星系演变、日月经天，乃至沧海桑田、生物进化，无一不是物质运动的结果，无一不是由运动着的物质组成的。整个世界就是永恒运动着的物质世界。

1-1-1 物质

物理学所研究的物质 (matter) 大致可以分为“实物”和“场”两类。

物质世界是分层次的。我们知道，物体由原子、分子组成，而原子由原子核和电子构成，原子核则由更小的粒子——质子和中子构成。它们都属于实物 (object)。对于原子层次以上的实物，习惯上又常分为固态、液态、气态和等离子态。图 1-1 中，冰雪、水和云是水常见的固、液和气态。固态和液态统称为凝聚态 (condensed state)。固态里有晶态和非晶态之分，液态里有液晶态和非晶液态之分。今天，凝聚态物理已经发展成为现代物理学最大的分支学科。

思考题 1.1：玻色-爱因斯坦聚集质 (Bose-Einstein condensate) 是一种什么样的物质形态？请通过互联网查找有关它的知识。

实物之间的相互作用是通过场 (field) 来实现的。人们习惯于按照相互作用的类型来划分场，如电磁场、引力场，等等。实物之间可以存在多种相互作用场。作为物质的存在形式，场具有质量、动量和能量。对粒子和场的本质的认识，属于量子场论等现代物理学的任务，本书不做深入讨论。

如图 1-2 所示，手机作为实物能被握住，说明实物具有空间排斥性（即实物不能进入已经被其他实物占据的空间）；手机具有重量同时还能接收信号，说明引力场和电磁场可以共处于手机所在空间，即与实物具有的空间排斥性不同，场可以在同一时空内共存。

1-1-2 数量级的概念

物质世界是一个丰富多彩的统一体。为了便于描述物质世界的不同层次和尺度，常引入数量级的概念。

通常把 10 的幂指数称为数量级 (order of magnitude)，简称量级。例如人的平均身高为 1.7 m 左右，数量级为 0；原子直径约 10^{-10} m，比人的身高小 10 个数量级；地



图 1-1 冰雪、水和云是水常见的固、液和气态



图 1-2 手不能进入手机所在的空间所以能握住它，电磁场和引力场可以同时存在于手机空间

球直径约 $1.2 \times 10^7 \text{ m}$, 比人的身高大7个数量级. 可见, 有了数量级的概念, 便于定性或半定量地描述和讨论不同层次的物理图像, 避免拘泥于冗繁的数字计算.

物理学中一般采用国际单位制(见1-2-3小节)来表示物理量. 为了方便, 人们还规定了一些词头(prefix)并赋予特定的名称和符号, 将国际单位制的基本单位(如米、秒等)和这些词头结合起来表示不同的数量级. 表1-1是国际单位制里从 10^{-24} 到 10^{24} 这48个量级之间的20个词头. 其中一些词头和物理量的基本单位组合在一起, 已经成为物理学名词的一部分, 比如纳米材料、飞秒光谱, 等等.

表 1-1 国际单位制词头

因数	英文名	符号	中文名	因数	英文名	符号	中文名
10^1	deca	da	十	10^{-1}	deci	d	分
10^2	hecto	h	百	10^{-2}	centi	c	厘
10^3	kilo	k	千	10^{-3}	milli	m	毫
10^6	mega	M	兆	10^{-6}	micro	μ	微
10^9	giga	G	吉[咖]	10^{-9}	nano	n	纳[诺]
10^{12}	tera	T	太[拉]	10^{-12}	pico	p	皮[可]
10^{15}	peta	P	拍[它]	10^{-15}	femto	f	飞[母托]
10^{18}	exa	E	艾[可萨]	10^{-18}	atto	a	阿[托]
10^{21}	zetta	Z	泽[它]	10^{-21}	zepto	z	仄[普托]
10^{24}	yotta	Y	尧[它]	10^{-24}	yocto	y	幺[科托]

思考题 1.2: 什么叫太赫兹技术? 请通过互联网查找有关它的知识.

1-1-3 空间尺度

“四方上下曰宇, 古往今来曰宙”. 从当代的认识来看, 时间、空间、物质和运动其实是相互联系的. 按照大爆炸理论模型, 宇宙是从“大爆炸”中诞生的. 伴随着宇宙的创生, 才有物质存在和运动, 也才有时间和空间. 所以, 时间和空间本身就是物质世界的组成部分.

空间(space)是表征物质及其运动的广延性及物质彼此间的排列顺序的概念. 现代科学研究涉及的空间尺度从小至 10^{-17} m 的亚原子粒子到大至 10^{26} m 的宇宙半径, 跨越了大约43个数量级, 参见表1-2. 在物理学上, 把大小接近或小于原子尺度数量级的研究客体称为微观系统(microscopic system); 与之对应, 大的一端涉及星系尺度的客体称为宇观系统(cosmological system); 而把大小在人体尺寸上下几个数量级范围内的客体称为宏观系统(macroscopic system). 近年来, 随着纳米科学的

表 1-2 空间尺度举例 (单位: m)

已观测到的宇宙范围 极限	10^{26}
超星系团	10^{24}
银河系半径	7.6×10^{22}
光一年内走的距离 (1 光年)	10^{16}
日地距离	1.5×10^{11}
太阳半径	7×10^8
地球半径	6×10^6
无线电中波波长	10^3
核动力航空母舰长度	3×10^2
人类身高	~ 1.5
灰尘线度	10^{-3}
人类红血球细胞直径	10^{-6}
细菌线度	10^{-9}
原子线度	10^{-10}
原子核线度	10^{-15}
基本粒子线度	10^{-17}
普朗克长度 (理论极限值)	10^{-35}

发展,人们把由十几个到数百个原子组成的团簇及同量级大小的客体称为介观系统 (mesoscopic system)。一般而言,宏观系统和微观系统服从的规律是不同的,而介观系统虽然从空间范围上更接近宏观系统,它们却常常表现出微观系统的特征和效应。

人们感觉到的空间是三维的。前面所说空间尺度包含的43个数量级,只是目前认识能力所能达到的界限。从大的一端说,宇宙是否无限大、为什么空间是三维的至今还没有定论。空间有限和无限的问题实际上和空间的维数有关。举例来说,一个球面上的蚂蚁,无论它怎样爬行都不会受到限制,它自然“认为”这世界(二维球面)是无限的;但对观察它的人来说,这个球面是有界的,换句话说,蚂蚁的“宇宙”是有界无限的。现实的宇宙是否也是有界无限的呢?这需要得到证实或证伪才行。

从小的一端说,物质是否无限可分?古人说“一尺之棰,日取其半,万世不竭”,哲学上也有“物质无限可分”的命题。虽然atom(原子)按希腊文ατομος的原意是“不可分割的”,但后来的事实证明原子是有结构的,它由原子核和核外电子组成。再深入下去,就会发现并不这么简单。粒子物理的实验结果表明,组成质子、中子、介子等微观粒子的“夸克”,被“禁闭”在一个很小的区域内,各个夸克之间的相互作用随距离的增加而增加,要“分”出夸克似乎是不可能的——当用于“分割”的能量达到足够大时,又会产生出新的粒子!事实上,至今也没有直接观察到单独存在的自由夸克。因此,现在只能说这些粒子是有内部结构的复合粒子,“可分”的说法似乎失去了原意。可见,物质结构有层次与物质不可分是两回事。

上述大与小两个极限方向的研究属于现代物理学的前沿,但在二者之间的整个空间范围,一直也是物理学研究极为重要和活跃的领域。

1-1-4 时间尺度

时间是与空间平行的另一个基本概念。没有物质的存在就没有空间,而没有物质的运动就没有时间。物质运动是按照一定规律或因果关系进行的,这种因果序列构成了时间。可见,时间(time)是表征物质存在及其运动变化持续性和顺序性的概念。与空间是三维的不同,时间是一维的,而且沿着从过去到未来单向均匀地流逝。

现代科学研究涉及的时间尺度,从寿命约为 10^{-25} s的 Z^0 粒子到宇宙年龄(约 10^{18} s)跨越了大约43个数量级,参见表1-3。对于宇宙的年龄,理论和实验观测的推算值还比较粗糙。以宇宙大爆炸开始作为时间的起点,可以推算出宇宙的年龄在150亿年左右。由哈勃望远镜的最新观测数据推算的结果也在这个数量级范围内。

绝大多数微观粒子是有寿命的,它们经过一定时间后就会衰变成为其他粒子。粒子的寿命是粒子从产生到衰变所存在的平均时间。多数粒子的寿命都比较短,

但电子、质子等粒子的寿命被认为是无限长或接近无限长。

顺便指出，时空概念的存在是有条件的。理论上时间和空间存在各自的最小极限值 t_p 和 l_p (参见 1.2 节例题 1-1)，分别称为普朗克 (M. Planck) 时间和普朗克长度。在时间 $t < t_p$ 、空间限度 $l < l_p$ 的情况下，时空就会失去原来的含义，即没有过去、现在和未来，也没有上下、左右、前后，因果律自然也就失效了。

1-1-5 质量范围

在 17 世纪的牛顿 (I. Newton) 时代，质量曾用于表示“物质的量”。但实际上“质量”与“物质的量”是有区别的。物质的量在今天用于表示原子数目的多少，其单位为摩尔 (mole)，并在 1971 年被正式确认为国际单位制的七个基本单位之一。而质量 (mass) 的概念要复杂得多，有引力质量和惯性质量之分。在现代物理学中，质量还与物质的运动状态有关，并与能量相联系。本节讨论的质量是指物体的静止质量。

物理学所涉及的质量范围参见表 1-4。按照现代物理学观点，光子和所有以光速运动的粒子具有的静止质量为零，这无疑是质量范围的下限。质量的上限应是宇宙的总质量。目前根据星体发光的光度学理论得到的宇宙总质量比动力学理论的结果要小 1 或 2 个数量级，由此人们推测宇宙中还存在所谓暗物质 (dark matter)。在现有理论中，暗物质的存在与否具有特别的意义，由此可以给出宇宙是有限还是无限的理论判断。因此，物理学和天文学都极为关心寻找暗物质的工作。有意思的是，暗物质的存在可能与中微子这种极微小的粒子是否有不为零的静止质量有关。也就是说，对尺度极小的微观粒子的研究结果可能决定着大尺度宇宙的图像，而且也许还是关于宇宙有限还是无限的关键性问题！这似乎也说明，整个物质世界是既分层次又属于一个和谐和统一的整体。图 1-3 形象地说明了这点。

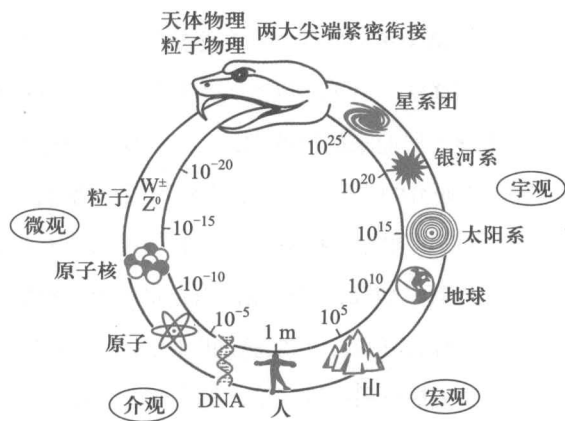


图 1-3 宇宙是和谐和统一的
图中数字是空间尺度

表 1-3 时间尺度举例 (单位:s)

宇宙年龄	10^{18}
太阳系年龄	1.4×10^{17}
原始人的出现	10^{13}
最早的文字记录	1.6×10^{11}
人类平均寿命	2.2×10^9
地球公转 (一年)	3.2×10^7
地球自转 (一天)	8.6×10^4
太阳光到地球的传播时间	5×10^2
人类心脏跳动周期	1
声波的周期	10^{-3}
无线电波的周期	10^{-6}
π^+ 介子的平均寿命	10^{-9}
分子振动周期	10^{-12}
原子振动周期 (光波周期)	10^{-15}
光穿越原子的时间	10^{-18}
最短的粒子寿命	10^{-25}
普朗克时间 (理论极限值)	10^{-43}

表 1-4 质量范围举例 (单位:kg)

银河系	2.2×10^{41}
太阳	2.0×10^{30}
地球	6.0×10^{24}
月亮	7.4×10^{22}
地球上的海洋	1.4×10^{21}
远洋轮船	10^8
大象	10^3
人	$\sim 6.0 \times 10^1$
葡萄	10^{-3}
灰尘	10^{-10}
烟草花叶病毒	2.3×10^{-13}
青霉素分子	5.0×10^{-17}
铀原子	4.0×10^{-26}
质子	1.7×10^{-27}
电子	9.1×10^{-31}
中微子	$< 2.0 \times 10^{-35}$

1-2-1 物理学的对象和方法

物理学是探索万“物”之“理”的学科，也可简单地理解为关于探索物质结构（“物”）及其运动基本规律（“理”）的学科。具体而言，物理学研究物质的结构、相互作用及其运动规律。著名物理学家费曼（R.F.Feynman）说过：“物理学家有个习惯，对任何一种现象，只研究它们最简单的例子，把这叫做‘物理’，而把更复杂的情况看作其他领域的事”。可见，物理学是关于自然界最基本形态的科学，它研究物质世界的一些最简单、最基本因而也是最普遍的运动形式，包括机械运动、电磁运动、热运动和微观粒子运动等，这些运动构成了更高级运动形式（如生命、遗传、思维，等等）的基础。

物理学的历史可以上溯到古希腊的自然哲学。事实上，英文物理学一词“physics”源于希腊文“φυσικα”，其含义是“自然”，这表明它早期是广泛研究自然界的一切事物并对它们的演化、发展以及所伴随的各种现象加以探讨的学科。现代意义上的物理学，可以说始于牛顿1687年发表的《自然哲学的数学原理》（*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*）。如果说17—19世纪发展起来的、以牛顿力学和麦克斯韦（J.C.Maxwell）电磁理论为代表的经典物理学，主要还限于研究宏观现象与机械、热和电磁等较简单的运动形式的话，那么以20世纪初开始建立的相对论和量子理论为代表的近代物理学，则把物理学推向了研究微观和宇观现象以及生命、材料、大气、信息乃至社会等复杂的运动形态的新阶段。

爱因斯坦（A.Einstein）在一封信中指出：“西方科学的发展是以两个伟大成就为基础的，即希腊哲学家发明的形式逻辑体系（在欧几里得几何学中），以及有可能通过系统的实验找出因果关系的发现（在文艺复兴时期）。前者是“从一般到特殊”的（理论上的）演绎法，后者是以实验为基础的“从特殊到一般”的分析和归纳方法。从自然哲学发展而来的物理学，正是自觉运用这些基本科学方法的典范。具体说来，物理学研究的步骤和方法，大致可以概括为：① 从新观察到的事实、实验结果或已有的原理出发，提出命题；② 建立物理模型，对现象进行定性解释，经过逻辑推理与数学演算，对现象做出定量解释以检验、纠正或改进新的假设和原理；③ 进行理论的预言，用实验加以检验，对与实验事实不符合或不完全符合的理论进行修改或提出另一种理论，直到理论结果与实验事实完全符合，从而确立理论的正确性及其适用范围。综观物理学的发展史，多数情况下，物理学的发展进程是按照实验事实→理论模型→实验检验和理论预言→实验检验→修

改理论两种模式的循环往复中，逐步发展深化并最终由实验检验确立的。由此也决定了物理学本质上是一门实验的科学。理论与实验的紧密结合，集中体现了物理学所具有的科学性、精确性和普遍性的特点。

物理学以探索自然界的最终奥秘、建立关于自然界的统一理论为自己的追求。今天已经很难再从研究对象来区分什么是物理学。不论什么问题，当用物理学的方法去研究时，就是物理学问题。物理学是一门理论和实验高度结合的精密科学，它有一套行之有效的科学方法。把这套方法运用于自然科学乃至社会科学的许多领域都是卓有成效的。今天物理学已经成为整个自然科学和各种工程技术学科的基础，成为人类打开自然奥秘之门的总钥匙和促进人类社会发展的动力。

思考题 1.3：现代科学的产生为什么是在西方而不是在中国？这是英国科学家李约瑟（J. Needham）提出的所谓“李约瑟难题”。如何理解科学方法的重要性？

最后，作为一门科学理论，还必须要求物理学的基本规律是可以重复的。也就是说，不论在什么时间、什么地点和朝向什么方位、由什么观察者来做实验，在相同的条件下都应该得到相同的结果。科学理论的这些基本要求，实质上是物质世界基本对称性的反映。所谓对称性（*symmetry*），是指事物在某些操作下保持不变的性质。按照对称性的概念，我们也可以说科学理论是建立在时间的均匀性、空间的均匀性和各向同性以及相对论不变性（相对性原理）这样一些基本对称性的假设基础上的，即应该满足：

（1）不因时而异，即不依赖于观测的时间起点（时间的均匀性）；

（2）不因地而异，即不依赖于观测的空间位置和方位（空间的均匀性和各向同性）；

（3）不因观察者而异，即不依赖于所采用的参考系（相对性原理）。

这样，科学理论才是经得起时间考验的、普遍适用的、客观的、可认知的规律。

在现代宇宙观中，对称性的概念十分重要，它甚至有可能取代物质概念的中心地位。不少物理学家相信，物质世界很可能就是起源于对称性的破缺。

1-2-2 物理量与国际单位制

为了对物理现象和物理过程进行定量描述，需要一系列物理量，有时简称为量。物理量的种类很多，同一类物理量能够相互比较，比如长度、直径、波长等都属于描述空间距离的量。对每一类量，可以选出一个称为单位（*unit*）的参考量，这类量的其他量就可以用这个单位和一个纯数的乘积来表示。这个数称为这个量的数值，数值和单位一起合称为量。

物理测量是为确定被测物理量的数值而进行的一系列操作。为了定义一个物理量，不仅需要规定单位，还要规定一套测量程序（或方法）。用于定义物理量的

测量程序一般由国际标准确定，而物理实验中测量某一物理量的方法却往往千变万化，视需要而定。

由于存在误差，一个物理量的测量结果通常表示为（可靠的数值 \pm 不确定度），例如 0.0627 ± 0.0005 。我们把从第1位非零数字起到不确定的最后1位数字为止的全部数字称为有效数字。示例中有3位有效数字，通常按科学计数法写为 $(6.27 \pm 0.05) \times 10^{-2}$ 。在不需要进行误差分析时，不确定度部分往往略去不写，本书以后也依此惯例。于是示例结果可以写为 6.27×10^{-2} 。但须注意有效数字的最后一位是不准确的，它含有的误差会在运算中传递到结果中，所以应该注意有效数字的运算。表示运算结果时并非有效数字越多越好，有效数字中只保留最后一位是不准确的就可以了。

物理量之间也不都是相互独立的，相关的物理量通过描述物理规律的特定方程相互联系。因此，在确定物理量的标准时，方便的做法是从众多物理量中挑选出几个称为基本量的物理量，并规定相应的标准——单位和测量方法，同时通过这几个基本量又可以推导出其余的物理量从而确定其标准。建立在这样一套基本量之上的单位体系称为单位制（unit system）。

对于基本量的选择方案不是唯一的。显然，应该选尽量少的物理量并用最简单的表述对它们进行定义，同时也应该兼顾测量程序的精确性和易得性。历史上由于各种原因曾经有过多种单位制。目前世界上通用的是1960年国际计量大会开始确定的国际单位制，缩写为SI（法文：Le Système International d'Unités）。在国际单位制中，选择了七个基本量，规定了它们的基本单位。但1971年以来随着科学技术的进步，七个基本量的定义也有所改变。表1-5给出的定义来自1990年国际计量大会的规定。除个别声明外，本书一般均采用国际单位制。

由于历史的原因，还有一些单位制仍在一定范围内使用着。高斯单位制目前还广泛应用于物理文献中，英制也还在英美和部分英语国家中使用着。另外，在不同的物理分支，人们还习惯使用其他一些单位制，例如粒子物理学中常常使用所谓的自然单位制，力学以前多用厘米·克·秒制（CGS制）。除此之外，有些物理量也常用一些不属于国际单位制但被保留下来的单位。

在物理学中，物理常量具有特别重要的意义。表1-6列出了几个最基本的物理学常量。其中 c 是标志时空关系的基本常量； h （或 \hbar ）是统治量子世界的基本常量； e 和 m_e 表示电子的特征，它们和 G 一起可以反映电磁与引力相互作用的特征；阿伏伽德罗常量 N_A 与物质之量有关，它建立起宏观量与微观量的联系；玻耳兹曼常量 k 则是温度与能量间的换算系数。