



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理学

王国栋 主编



高等教育出版社  
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理学

王国栋 主编



高等教育出版社

## 内容提要

本书根据高等农林院校大学物理教学基本要求,结合农林院校物理教学内容和课程体系的研究与实践成果编写而成,力求突出两个有机结合,即近代物理与经典物理的有机结合;物理理论与生物实际的有机结合。

本书主要包括:物质的基本性质、流体力学基础、液体的表面现象、电场和磁场、生物电磁学基础、热力学基础、气体分子动理论、振动与波动、波动光学、光与物质的相互作用、量子物理基础、原子核及基本粒子简介等。全书采用国际单位制,所用名词术语以全国自然科学名词审定委员会 1996 年公布的物理学名词为准。

本书可作为高等农林院校农科类、生物类、化学类各专业的教材,也可作为综合大学生物类、化学类及医学类各专业的教材或教学参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理学/王国栋主编. —北京:高等教育出版社,2008. 6

ISBN 978 - 7 - 04 - 023919 - 5

I. 大… II. 王… III. 物理学 - 高等学校 - 教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 058344 号

策划编辑 郭亚螺      责任编辑 张海雁      封面设计 张志奇  
责任绘图 尹 莉      版式设计 余 杨      责任校对 王效珍  
责任印制 尤 静

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010 - 58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京铭成印刷有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787 × 960 1/16	版 次	2008 年 6 月第 1 版
印 张	26.5	印 次	2008 年 6 月第 1 次印刷
字 数	490 000	定 价	30.30 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 23919 - 00

# 前 言

在过去的 20 世纪,物理学理论及其在各个学科中的应用,为人类社会文明的进步做出了巨大贡献。物理学不仅在人类科技创新过程中起着举足轻重的作用,同时,它的基本理论、分析和解决问题的方法在强调素质教育的今天更有极其重要的地位和作用,是培养大学生科学精神、科学态度、科学思维方法的最好素材,也是大学生知识—能力—创新意识协调发展的催化剂。目前高等农林院校也在思考如何适应新形势,在本科生大幅度扩招的情况下加强和提高教学质量的问题。加强基础、拓宽专业口径、加强实践环节和突出创新已成为高等农林院校教学改革的主要课题,农林院校物理教学的现状也应适应这一教学改革的需要。创新教育已成为当前大学教育的重要命题,而物理学一直是自然科学的带头学科,它的理念和方法是创新教育的好素材。在与生命科学的结合中,物理学发挥着越来越重要的作用,这是农科物理教学的极好机遇。充分发挥物理学在人才培养中的基础和特殊作用是农林院校物理工作者的神圣使命。

在对大学物理的教学目的、任务和编写方案的研讨中,我们深切地感受到必须从人才的培养目标、培养规格、培养模式及方法等方面进行思考和定位。根据“厚基础、宽口径、通式教育”的人才培养模式以及注重学生“综合素质”和“创新能力”培养的教学规律,在整套教材的编写过程中力图遵循以下基本原则:

(1) 能够使学生对物理学的内容和方法、物理图像和概念、工作语言、历史、现状和前沿有一个比较全面的了解,力求将比较新的前沿学科和技术问题中的物理学原理反映在教学内容中。增加物理学在生命科学中应用的实例,既拓宽学生视野又可提高学生的学习兴趣,便于学生了解后续学习内容相关的知识。

(2) 注重基础物理学内容的两个“有机结合”。一是注重现代物理与经典物理的有机结合;二是注重物理学理论与生物类专业实际问题的有机结合。考虑到农林院校物理课学时的限制,对原有的经典物理内容做了大幅度的删减,对原有的物理学体系也做了整合与简化,淡化过渡内容,并突出主线。应用实例除有利于拓宽学生的视野外,应使学生体会到物理学对他们后续专业学习的重要性。针对某些与专业相关的问题实例只讲原理,不涉及具体的应用细节,避免无谓的重复。

(3) 在教材内容的处理上,加重了“物”的份额,调节“物”与“理”的平衡。以物质的结构、运动和能量为基础,力图构建物质世界新的理性框架,突出物理学研究方法与思想的描述和灌输。

(4) 注重对学生的科学素质培养,将科学方法论有机地融入教学内容中。培养学生的科学思维能力,使学生掌握正确的科学研究方法,具备发现问题、分析问题与解决问题的能力,具备探索自然规律的能力,并初步具备创新能力。

(5) 注重对知识的归纳总结,特别注重对实际问题的分析思路、解决途径的引导与训练。给出的同步测试能够帮助学生及时检查和巩固所学内容。

(6) 书中统一使用了国际单位制,所用名词术语以全国自然科学名词审定委员会 1996 年公布的物理学名词为准。

《大学物理学》的编写大纲和相关修订内容经中国物理学会教学委员会农林分会于 2006 年北京年会会议讨论和修订确定。本书由西北农林科技大学王国栋教授主编,张社奇教授和党亚爱讲师副主编。全书集中了全国农林院校物理工作者的心血和智慧。

全书由中国物理学会教学委员会农林分会主任委员王国栋教授统稿。原中国物理学会教学委员会农林分会副主任委员张振瀛教授主审,感谢他对本书提出了很多宝贵的意见。西北农林科技大学刘云鹏讲师和汪志庆博士绘制了本书的部分插图并提供了不少资料,在此一并致谢。

由于学识与教学经验有限,书中的缺点和错误在所难免,恳请使用本书的读者批评指正。

编者

2007 年 12 月

# 目 录

## 第 1 章 物质的基本性质 1

- § 1.1 物质的结构及形态 1
- § 1.2 实物的基本性质 8
- § 1.3 场与物质的相互作用 15
- § 1.4 物质的能量 17
- 本章提要 22
- 思考题 24

## 第 2 章 流体力学基础 25

- § 2.1 流体力学简介 25
- § 2.2 理想流体的定常流动 29
- § 2.3 伯努利方程及其应用 31
- § 2.4 黏性流体的定常流动 40
- § 2.5 泊肃叶定律 斯托克斯定律 43
- § 2.6 生物流体力学简介 49
- 本章提要 53
- 思考题 54
- 习题 54

## 第 3 章 液体的表面现象 58

- § 3.1 液体的表面张力 58

§ 3.2 弯曲液面的附加压强 62

§ 3.3 毛细现象 65

§ 3.4 蒸发与凝结 70

本章提要 73

思考题 73

习题 74

## 第 4 章 电场和磁场 76

§ 4.1 电场和磁场的描述 76

§ 4.2 高斯定理 85

§ 4.3 恒定电磁场环路定理 89

§ 4.4 电介质和磁介质 95

§ 4.5 带电粒子在电磁场中的运动 101

§ 4.6 非电学量电测技术基础 107

本章提要 113

思考题 115

习题 116

## 第 5 章 生物电磁学基础 120

§ 5.1 生物电阻抗与电介质 120

§ 5.2 生物电势 能斯特方程 126

§ 5.3 细胞电泳 131

§ 5.4 生物磁场和磁场生物效应简介 134

本章提要 145

思考题 146

习题 146

## 第 6 章 热力学基础 148

§ 6.1 热力学的基本概念 149

- § 6.2 热力学第一定律 154
- § 6.3 热力学第一定律在理想气体中的应用 158
- § 6.4 循环过程 169
- § 6.5 热力学第二定律 175
- § 6.6 热力学第二定律的统计意义 177
- § 6.7 熵 180
- § 6.8 耗散结构 187
- § 6.9 熵与自然观 191
- 本章提要 198
- 思考题 199
- 习题 200

## 第 7 章 气体分子动理论 204

.....

- § 7.1 分子动理论的基本概念 204
- § 7.2 理想气体的压强和温度 210
- § 7.3 能量均分定理 216
- § 7.4 麦克斯韦速率分布统计规律 218
- § 7.5 玻耳兹曼分布律 224
- § 7.6 气体分子的平均自由程 226
- § 7.7 热传导与热扩散 228
- § 7.8 真空技术 236
- 本章提要 242
- 思考题 243
- 习题 244

## 第 8 章 振动与波动 248

.....

- § 8.1 简谐振动 振动的合成 248
- § 8.2 相平面 相空间 259
- § 8.3 非线性振动 262
- § 8.4 波动方程 267
- § 8.5 波的干涉 273



§ 8.6 声波 超声波 275

§ 8.7 生物声学 280

本章提要 283

思考题 285

习题 285

## 第 9 章 波动光学 289

.....

§ 9.1 光的电磁理论 289

§ 9.2 光的干涉 292

§ 9.3 光的衍射 303

§ 9.4 光的偏振 318

本章提要 332

思考题 334

习题 335

## 第 10 章 光与物质的相互作用 339

.....

§ 10.1 光的波粒二象性 339

§ 10.2 光的发射 激光原理 343

§ 10.3 光的吸收 吸收光谱 350

§ 10.4 光的散射 356

§ 10.5 光的色散 359

§ 10.6 激光的生物学效应 362

§ 10.7 激光在现代农业与生物科学中的应用 365

§ 10.8 同步辐射及其应用 369

本章提要 375

思考题 377

习题 378

## 第 11 章 量子物理基础 379

.....

§ 11.1 德布罗意波 380

- § 11.2 不确定关系 381
- § 11.3 波函数 薛定谔方程 383
- § 11.4 无限深方势阱中的粒子 385
- § 11.5 势垒 隧道效应 387
- § 11.6 氢原子 390
- 本章提要 393
- 思考题 394
- 习题 394

## 第 12 章 原子核及基本粒子简介 396

.....

- § 12.1 原子核的基本性质 396
- § 12.2 原子核的放射性衰变 398
- § 12.3 辐射生物物理学基础 402
- 本章提要 406
- 思考题 407
- 习题 407

## 附录 物理量的名称、单位和量纲 408

.....

## 参考文献 413

.....

# 第1章

## 物质的基本性质

物理学的英文词 physics 来源于希腊文,其原意是指自然。古希腊人把所有对自然界的所有观察和思考,全部包含在一门学问里,那就是自然哲学。科学划分为物理学、化学、生物学、地质学等只是最近几百年的事,这也说明在最近几百年自然科学发展非常快速。而中文“物理学”的字面含义是:“物”是指客观存在物质的结构和性质,“理”则指物质的运动和变化规律。因此,物理学就是研究自然界物质存在的基本形式,物质的性质、物质的运动规律、物质之间如何相互作用、相互转化以及各种物质形态内部结构等基本规律的学科。与其他学科相比,物理学更着重于研究物质世界普遍而基本的规律。所以物理学就是自然科学的基础,它的研究范围十分广泛。

天地造化,层出不尽;自然世界,气象万千。在自然科学中,宇宙万物的存在形式被分成两类:物质和能量,且二者是相互依存的。按唯物论的观点,宇宙里除了物质和能量以外,也许还有某种东西存在,但到目前为止,人们还未发现第三种成分。物质和能量亦是物理学的主要研究对象和研究内容。物质是万物的存在形式,能量是物质相互作用与转化的量度。在此,我们以物质的基本性质作为学习大学物理学的开始,一则是为了较全面地反映和了解自然界物质存在形态、性质及其与能量的关系,二则是为在以后的学习中始终以物质和能量的观点与方法作为我们分析和解决物理问题的出发点。

### § 1.1 物质的结构及形态

物质的本原问题的探索,即我们所处的物质世界是由什么构成的?它们有没有共同的本原?因为日常经验告诉我们,物体是有大小的,而且它们似乎总是可以分解为更小的部分,像一块石头可以被砸碎可以得到许多与这块石头相似的碎块,这些石头还可以被进一步砸碎:只要用足够大的力和合适的方法,我们

可以把石头粉碎成肉眼几乎不能分辨的粉末。问题是我们原则上能够把物体粉碎到多小的程度？也就是说，物质的存在有没有统一的基础呢？另一方面，宇宙万物的组成的疆界在何处？除了我们已知的存在形式，是否还有更多的我们还没有认识到的结构和形态？这些问题无论是在哲学中，还是在物理学中，从古到今一直吸引着众多的自然科学工作者在不断的探索着。

对于物质结构及形态，早在远古时期我们的祖先就提出“金、木、水、火、土”五行学说，认为世上万物皆由这五种要素组合而成。公元前五百年，古希腊哲学家断言，我们周围这个错综复杂的世界是由土、水、空气和火这四种基本的物质相互交叉渗透而构成的。早在我国战国时期就有“至大无外，至小无内”之说，随着现代科学的发展，人们对物质的结构层次及形态有一个逐渐深入的认识。

### 1.1.1 物质世界的结构层次

关于物质世界的结构与层次，在我国历史上曾召引了许多古圣先哲的遐想和理论。战国时代的一位名家惠施说：“至大无外，谓之大一；至小无内，谓之小一。”所谓“至大无外”，就是说宇宙是无边界的。“至小无内”，就是说没有内部结构的物质最小单元。物质世界的层次跨度是非常之大的，现代物理学把物质划分为不同层次，各个层次的物质有其特殊的组分、结构与性能。对每一个层次的探索与研究，形成了一个物质科学研究体系（见表 1.1）。按物质大小的数量级顺序，现代科学涉及的空间尺度范围从小到  $10^{-18} \text{ m} \sim 10^{-17} \text{ m}$  的亚原子粒子到大至  $10^{26} \text{ m}$  的宇宙半径，跨越了大约 42 个数量级，涉及大到天体物理学至小到粒子物理学的所有领域。现代物理学依照物质的运动规律做了系统性划分，把原子尺度数量级的物体，称为微观系统（microsystem），用量子力学处理；把接近人体尺度附近几个数量级的物体叫做宏观系统（macrosystem），用经典力学处理。近年来，随着纳米科学的发展，人们把由十几个到数百个原子组成的团簇及同量级的物体叫介观系统（mesocsystem）。虽然介观系统从空间范围上更接近宏观系统，但在低温条件下，会表现出电子的量子干涉效应，呈现微观系统的特征和效应。此外还有人把比微观系统更小的物体叫做渺观系统，把比宏观系统更大物体叫做宇观系统。但这两种提法还不属于规范化的名称。

应该指出，表 1.1 中动植物等的生命现象是宇宙中最为复杂的物质存在和运动形式，而人体更是复杂的生命现象之一。人体大约由  $10^{16}$  个细胞组成，细胞是一个基本的生理学单位，一个细胞大约含有  $10^{12} \sim 10^{14}$  个原子。由人体大小的实物起向非常大和非常小的两个方向去考察，物质世界的结构变得逐渐简单起来，至今还未发现比生物体中所见的那种复杂的组织更复杂的物质存在形式和结构层次。由此使人们认识到生命科学在 21 世纪将会成为热门学科。而从物理学的观点来看，虽然物质的结构层次和存在形式的复杂程度不同，但在微观世

界和介观世界乃至宏观世界所用的基本理论和研究方法,在一定层次和形式上是相通的。

表 1.1 物质世界的层次

层次名称	空间尺度数量级/m	质量数量级/kg	相关的专业学科分支
宇宙半径	$10^{26}$ (已知部分)	$10^{56}$	宇宙学
银河星团	$10^{23}$	$10^{40}$	
星系	$10^{20}$	$10^{30}$ (太阳)	天文学
星球	$10^7 \sim 10^{12}$		天体物理学
地球	$10^7$	$10^{24}$	地质学
地上物体 (包括动植物)	$10^0 \sim 10^5$	$10^2$	地球物理学
		$10^{-12}$ (红血球细胞)	生物学
			生物物理学
凝聚态物质	$10^{-3} \sim 10^6$		凝聚态物理学
介观物质	$10^{-8} \sim 10^{-6}$		介观物理学
气体			空气动力学
液体			液体动力学
固体			固体物理学
等离子体			等离子体物理学
巨大分子	$10^{-7}$		生物化学
分子	$10^{-9}$	$10^{-26}$ (氧分子)	高分子化学
原子	$10^{-10}$		分子物理学
原子核	$10^{-14}$		化学物理
			化学
基本粒子	$10^{-15}$ 以下	$10^{-30}$ (电子)	原子物理学
			原子核物理学
			粒子物理学

人类是认识自然界的主体,我们以自身的大小为尺度规定了长度的基本单位——米(meter)。与此尺度相当的研究对象为宏观物体,物理学的早期研究就是从这个层次上开始的,即所谓宏观物理学(macroscopic physics)。从 19 世纪

末起物理学家开始深入到物质的分子、原子层次( $10^{-9} \sim 10^{-10} \text{ m}$ ),在这个尺度上物质运动服从的规律与宏观物体有本质的区别,物理学家把分子、原子,以及后来发现更深层次物质客体(各种粒子,如原子核、质子、中子、电子、中微子、夸克)称为微观物体。微观物理学的前沿是高能或粒子物理学(high-energy physics),研究对象的尺度在 $10^{-15} \text{ m}$ 以下,是物理学的带头学科。

近几年来由于生命科学和材料科学的发展,在介于宏观与微观的尺度之间发展出应用物理学的手段和方法研究生命科学的生物物理学(biophysics)和研究宏观量子现象的介观物理学(mesoscopic physics),也可归属于凝聚态物理学(state of aggregation physics)的范畴。因为生物界最小的哺乳动物和鸟类的体长不到 $10 \text{ cm}$ ,昆虫的典型大小为 $\text{cm}$ 或 $\text{mm}$ 的数量级。细胞是生命的基本单位,直径一般在 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ m}$ 之间,细菌或典型的真核细胞的直径就在 $10^{-5} \text{ m}$ 的数量级,细胞的最小直径为 $10^{-7} \text{ m}$ ,这比原子的尺度 $10^{-10} \text{ m}$ 还大三个数量级,而细胞内必须包含足够数量的生物大分子,否则它就不可能有比较完整的结构和功能。生命的物质基础是生物大分子(如图1.1),如蛋白质、DNA,其中包含的原子数多达几十万,它们排成长长的链状,链子再盘成螺旋状,形成二级结构,且蛋白质分子在二级结构之上还可能有更高的复杂结构。如果把缠绕盘旋的分子链拉直,长度可达 $10^{-4} \text{ m}$ 。由于生命物质结构和功能的复杂性,需要多学科协同、交叉联合攻关对其进行研究。从物理学的角度研究生命现象,就形成了目前最活跃的交叉学科——生物物理学的研究领域。

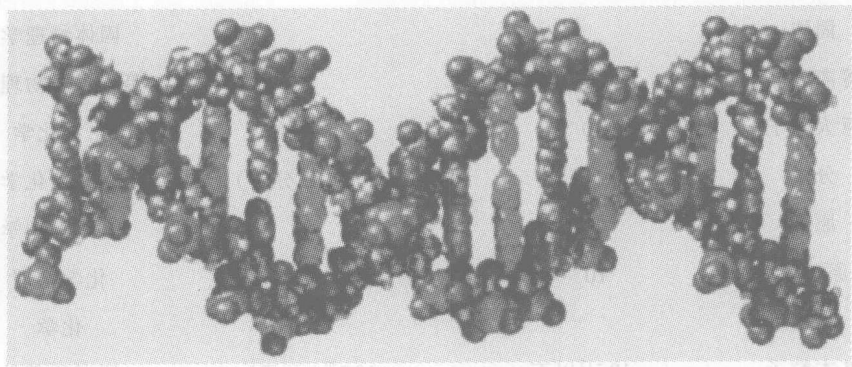


图 1.1 生物大分子结构

再从图1.2中把目光转向大尺度。离我们最近的研究对象是山川地体、大气海洋,尺度的数量级在 $10^3 \sim 10^7 \text{ m}$ 范围内,如最大的动物(鲸)体长数十米,最大的植物(红杉树)高达百米以上。最高的山(珠穆朗玛峰)海拔 $8.844 \text{ km}$ ,最深的海(马里亚纳海沟)深 $11.022 \text{ km}$ 。月球的半径为 $1738 \text{ km}$ ,地球的半径是 $6371 \text{ km}$ ,其周长约为 $4 \times 10^7 \text{ m}$ ,从物理学角度看,这些都属于地球物理学的研

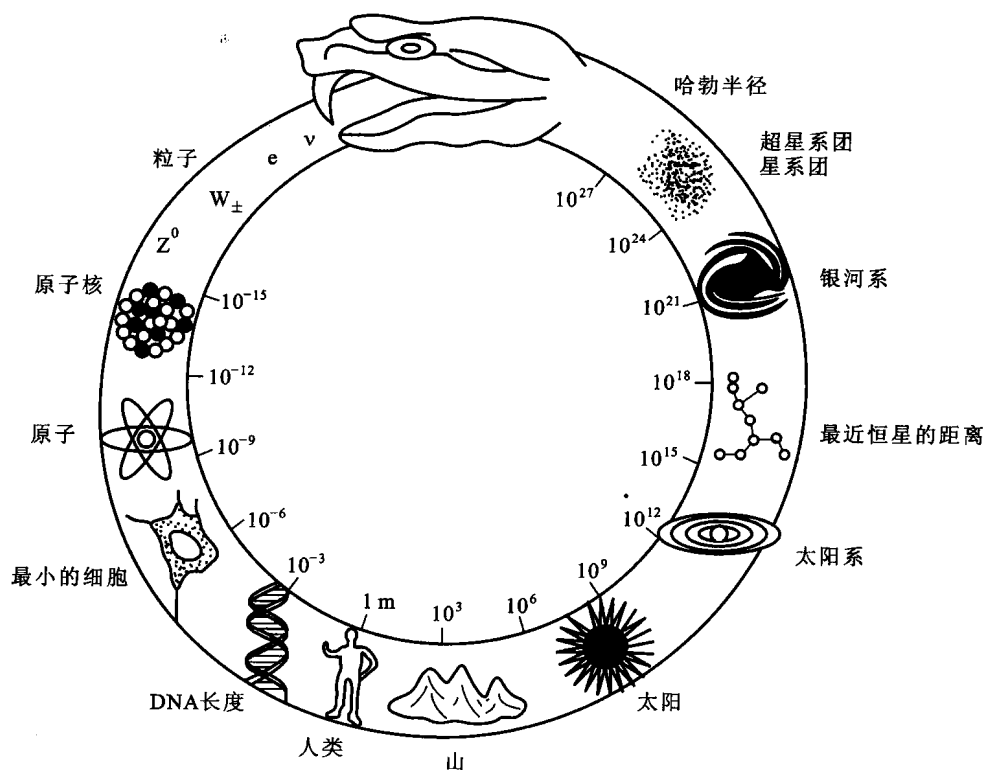


图 1.2 蛇吞尾图

形象地表示了物质空间尺度的层次和宏观系统、微观系统的联系

究领域。扩大到日月星辰,日距地球的距离是地球半径两万多倍,定义为1 AU (天文单位),AU 是太阳系内表示天体距离的常用单位,其精确值为

$$1 \text{ AU} = 1.495\,978\,92 \times 10^{11} \text{ m}$$

太阳系的直径约 80 AU,即  $10^{13} \text{ m}$ 。

太阳系外的天体距离通常不再用 AU,而是用“光年”(light year,单位符号为 l. y.),它是光在 1 年里走过的距离:

$$1 \text{ l. y.} = 9.460\,530 \times 10^{15} \text{ m} \approx 10^{16} \text{ m}$$

最近的恒星是半人马座内的比邻星,距太阳系约 4.21 l. y.。而我们的太阳系是银河系(Galaxy)中的很小一部分。银河系直径为  $7.5 \times 10^4 \text{ l. y.}$ ,在此之间广阔数量级范围内是恒星的世界。离我们银河系最近的星系(galaxies)叫小麦哲伦云,距离有  $1.5 \times 10^5 \text{ l. y.} = 1.5 \times 10^{21} \text{ m}$ ,远的距离可达  $10^{22} \sim 10^{23} \text{ m}$ 。更大的天体系统是星系团,其中包含上千个星系,尺度大约在  $10^{23} \text{ m}$  的数量级。尺度再大的结构就是超星系团,数量级为  $10^{24} \text{ m}$ 。这些都属于天文学和天体物理学(astronomy and astrophysics)的研究范围,从最近的恒星到超星系团,尺度跨越了

十几个数量级。物理学最大的研究对象是整个宇宙,最远的观察极限是哈勃半径,尺度达  $10^{26} \sim 10^{27}$  m 的数量级。宇宙学实际上是物理学的一个分支,当代宇宙学的前沿课题是宇宙的起源和演化,20 世纪后期这方面的巨大成就是建立了大爆炸标准宇宙模型。根据这个模型,宇宙是在 100 多亿年前的一次大爆炸中诞生的,起初物质的密度和温度都极高,那时既没有原子和分子,更谈不到恒星与星系,只有极高温的热辐射和在其中隐现的高能粒子。于是,早期的宇宙成了粒子物理学研究的对象。粒子物理学界也希望从宇宙早期演化的观测中获得一些信息和证据来检验极高能量下的粒子理论。就这样,物理学中研究最大对象和最小对象的两个分支——宇宙学和粒子物理学,竟奇妙地衔接在一起,结成为密不可分的姊妹学科,犹如一条怪莽咬住自己的尾巴。

同时,从图 1.2 中可以看出,物质世界中的许多层次研究,属于物理学的范畴,而另一些层次则属于物理学的分支,或是几个学科交叉的边缘学科。特别是与生物学科的交叉、渗透形成的生物物理学和分子生物学,在现代生物学研究中起到愈来愈重要的作用。物理学不仅为生命科学研究提供了新的理论和方法,并且提供了许多必不可少的分析、测试手段。因此,物理学对其他学科影响之深远,由此可见一斑。同时,可以看到物质世界的层次中存在着“大中有小,小中见大”的现象。

### 1.1.2 物质存在的时标

时空为世间万物的存在、演化提供舞台。对空间的探索也是人类从远古就不断追求的目标之一。中文里“宇宙”中的“宇”就是指上下四方的空间,“宙”的含意是古往今来的时间。对宇宙及世间万物的认识便构成了人们的世界观。

时间表征物质运动的持续性。时间的计量主要是一个计数的过程。凡已知其运动规律的物理过程,都可以用来作时间的计量。通常采用能够重复的周期现象来计量时间。如太阳的升落表示天,四季的循环计为年,月亮的盈亏是农历的月等。像人体脉搏、地球的自转、单摆的摆动也可作为计时的标准,只是计时的误差大小不同而已。

时间的计量要用钟或表,它实质上就是指一种计时标准。随着人们对自然世界的不断认识和科学技术的发展,计量时间的仪器也由古代的“圭表”和“刻漏”发展到近代才使用的齿轮转动的机械表。但是机械表的精度不高,日差可达数秒。近年来,基于晶体振荡和电子技术的电子钟表得到广泛的应用。这是因为晶体振荡器具有较高的稳定性,使得电子钟表的计时准确度大大提高到日差不到一秒。同时这种电子振荡器,可使振荡周期非常小,与恰当的计数技术相配合,还可以对比秒小得多的时间进行计量,并使计时数字化。

现代的标准宇宙模型告诉我们,宇宙是在大约  $(1.0 \sim 2.0) \times 10^{10}$  年前的一



次大爆炸中诞生的。用秒来表示,宇宙的年龄就有  $10^{18}$  的数量级。根据估计,太阳的寿命可以达  $10^{10}$  年,而太阳现在的年龄约  $5 \times 10^9$  年,说明它正处在中年时期。按放射性同位素  $^{238}\text{U}$  和  $^{235}\text{U}$  之比估计,地球的年龄为  $4.6 \times 10^9$  年,即  $10^{17}$  s 的数量级。在距今  $(3.1 \sim 3.2) \times 10^9$  年前,地球上出现了能够进行光合作用的原始藻类,距今  $(7 \sim 8) \times 10^8$  年前形成了富氧的大气层。大约距今  $4 \times 10^8$  年前出现鱼类和陆生植物,  $3 \times 10^8$  年前出现爬行类动物,不到  $2 \times 10^8$  年前出现鸟类,  $6.7 \times 10^7$  年前恐龙绝灭,随后哺乳类兴起。古人类出现在距今  $(2.5 \sim 4) \times 10^6$  年前,而人类的文明史只有 5 000 年。古树的年龄上千年,人的寿命不到一百岁。地球的公转周期为一年,月球的公转周期 30 天,地球的自转周期为一天。百米赛跑的世界纪录为 9 秒多,钟摆的周期是 1 秒,市电的周期为  $2 \times 10^{-2}$  秒。而在微观世界,粒子的寿命就要短得多,最短的仅有  $10^{-25}$  秒。

因此,现代科学研究涉及的时间尺度从寿命约为  $10^{-25}$  s 的 Z 粒子到宇宙年龄(约  $10^{18}$  s)跨越了大约 43 个数量级(见表 1.2)。而上述对于宇宙的年龄,理论值和天文观测推算值还比较粗糙。

表 1.2 物质世界的时间尺度数量级 (单位:s)

宇宙年龄	$10^{18}$
地球年龄	$10^{17}$
形成富氧的大气层	$10^{16}$
人类文明史	$10^{11}$
古树的年龄	$10^{10}$
人类的寿命	$10^9$
地球公转周期	$10^7$
月球公转周期	$10^6$
地球自转周期	$10^4$
中子的寿命	$10^2$
钟摆的周期	$10^0$
市电的周期	$10^{-2}$
超快摄影曝光时间	$10^{-4}$
$\pi^+$ 介子的寿命	$10^{-8}$
$\tau$ 子的寿命	$10^{-13}$
$\pi^0$ 介子的寿命	$10^{-17}$
$\Sigma^0$ 超子的寿命	$10^{-20}$
共振态的寿命	$10^{-23} \sim 10^{-20}$
$Z^0$ 粒子的寿命	$10^{-25}$