

普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理教程

University Physics

上册

● 陈兰莉 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理教程（上）

主 编 陈兰莉

副主编 王生钊 石明吉

罗鹏晖 郭新峰

（以姓氏笔画为序）



机械工业出版社

本套教材依据教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会制定的《理工科类大学物理课程教学基本要求》编写而成。本套教材涵盖了《基本要求》的核心内容,并增加了部分拓展内容。本套教材分为上、下两册,共17章,包括力学、热学、电磁学、振动和波、波动光学、狭义相对论和量子力学基础、核物理和粒子物理等内容。除个别章外,每章包含基本内容、本章逻辑主线、扩展思维、习题,并在书后给出参考答案。此外,为了拓展读者的知识面,本套教材还增加了部分选学内容,这部分内容均标以“*”号。第1章及扩展思维部分,介绍了物理学在前沿科学和技术中的应用,选学内容和扩展思维都自成体系,教师可以选讲或指导学生阅读。

本套教材可作为理工科院校,尤其是应用型本科院校的大学物理教材,对物理专业学生也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程. 上/陈兰莉主编. —北京:机械工业出版社, 2015. 1
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-48741-8

I. ①大… II. ①陈… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①04

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第302771号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:张金奎 责任编辑:张金奎 李乐
版式设计:常天培 责任校对:张莉娟 任秀丽
责任印制:刘岚
北京京丰印刷厂印刷
2015年2月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·18.75印张·456千字
标准书号:ISBN 978-7-111-48741-8
定价:34.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前言

“杠杆轻撬，一个世界从此转动；王冠潜底，一条定理浮出水面。苹果落地，人类飞向太空；蝴蝶振羽，风云为之色变。三棱镜中折射出七色彩虹；大漠荒原上升腾起蘑菇烟尘。”这就是美妙的物理学——对称而又简洁，有趣而又深刻。

1. 物理学的研究对象

物理学是探讨物质结构、运动基本规律和相互作用的科学。

物理学是一门实验科学，物理学实验是物理学理论正确与否的仲裁者。

随着科学的发展，从物理学中不断地分化出诸如粒子物理、原子核物理、原子分子物理、凝聚态物理、激光物理、电子物理、等离子体物理等名目繁多的分支，以及从物理学和其他学科的交叉中生长出来的，诸如天体物理、地球物理、化学物理、生物物理等众多交叉学科。

物理学是一切自然科学的基础，也是当代工程技术的支柱。

2. 物理学对科学技术的推动以及在学生全面素质培养中的作用

现代科学技术正以惊人的速度发展。而物理学中每一项科学的发现都成为新技术发明或生产方法改进的基础。首先，物理学定律是揭示物质运动规律的，使人们在技术上运用这些定律成为可能；第二，物理学中的许多预言和结论，为开发新技术指明了方向；第三，新技术的发明、改进和传统技术的根本改造，无论是原理或工艺，还是试验或应用，都直接与物理学有着密切的关系。可以毫不夸大地说，若没有物理基本定律与原理的指导，就不可能有现代生产技术的大发展。

在18世纪以蒸汽机为动力的生产时代，蒸汽机的不断提高改进，物理学中的热力学与机械力学是起着相当重要的作用的。从19世纪中期开始，电力技术在生产技术中日益发展起来，这是与物理学中电磁学理论的建立与应用分不开的。现代原子能的应用、激光器的制造、人造卫星的发射、电子计算机的发明以及生物工程的兴起等，都与物理学理论有着千丝万缕的密切联系。物理学本身是以实验为基础的科学，物理学实验既为物理学发展创造了条件，同时也为现代工农业生产技术的研究打下了物质基础。从20世纪初开始，超高压装置、超低温设备、油扩散真空泵的先后发明，为现代创造极端物质材料提供了条件。随着电力和电子技术的广泛应用，出现了各种精确计量的电动装置和电子仪器。自伦琴发现X光、汤姆逊发现电子以后，相继又有阿普顿质谱仪的发明以及同位素测定、红外线光谱、原子光谱等仪器的产生。20世纪30年代发明的电子示波器、电子显微镜、20世纪40年代发明的电子计算机等，不但使物理学家可直接观察到电子运动规律和物质结构等微观现象，而且也为生产技术开拓了一条技术研究及自动化控制的新途径。

20世纪以来，以相对论与量子力学的创立为标志的现代物理学研究工作，从理论和实践两个方面，对人类认识和社会发展起到了难以估量的作用。物理学理论的发展，正在从三个层次上把人类对自然界的认识推进到前所未有的深度和广度。首先，在微观领域内：已经深入到基本粒子的亚核世界（ 10^{-15} cm），并建立起统一描述电磁、弱、强相互作用的标准

模型,还引起了人们测量观、因果观的深刻变革。特别是量子力学的建立,为描述自然现象提供了一个全新的理论框架,并成为现代物理学乃至化学、生物学等学科的基础。其次,在宇观领域内:研究的探针已达到1028cm的空间标度和1017s的宇宙纪元;广义相对论的理论预言,在巨大的时空尺度上得到了证实,引起了人们时空观、宇宙观的深刻变革。再次,在宏观领域内:关于物质存在状态和运动形式的多样性、复杂性的探索,也取得了突破性的进展。

1999年3月,第23届国际纯粹物理与应用物理联合会(IUPAP)在美国亚特兰大举行,与会代表通过了题为“物理学对社会的重要性”的决议,认为:①物理学是一项激动人心的智力探险活动,它鼓舞着年轻人,并扩展着我们关于大自然知识的疆界。②物理学发展着未来技术进步所需的基本知识,而技术进步将持续驱动世界经济发动机的运转。③物理学有助于技术的基本建设,它为科学进步和发明的利用提供所需训练有素的人才。④物理学在培养化学家、工程师、计算机科学家,以及其他物理科学和生物医学科学工作者的教育中,是一个重要的组成部分。⑤物理学扩展和提高我们对其他学科的理解,诸如地球科学、农业科学、化学、生物学、环境科学,以及天文学和宇宙学——这些学科对世界上所有民族都是至关重要的。⑥物理学提供发展应用于医学的新设备和新技术所需的基本知识,如计算机层析术(CT)、磁共振成像、正电子发射层析术、超声波成像和激光手术等,改善了我们的生活质量。物理学探索视野的广阔性,研究层次的广谱性和理论适用的广泛性,决定了在今后很长时期内,物理学仍将发挥其中心科学和基础科学的作用。

可以说,物理学的基本原理已渗透进物质世界的方方面面,物理学“判天地之美,析万物之理”。物理学习的过程从某种意义上来说也是培养学生实用技能的过程,学好物理就为大学生更好地学好其他科学知识打下坚实的基础,有助于培养大学生严密的逻辑思维能力,并在这一过程中逐渐形成一种科学态度和科学精神。物理思想的强弱、物理基础的厚薄、物理兴趣的浓淡都直接影响着大学生的适应性、创造力和发展潜力。因此,大学物理是大学生应当学好的最重要的基础课之一,也是大学期间一门不可替代的素质教育课。

3. 本书的编写思想

本书是为适应当前形势的发展和大学物理教学改革的要求而编写的。科学技术的飞速发展,使人们对现代人才的素质要求有了新的认识,未来发展的核心是科学技术的竞争,是人才的竞争,高校作为培养未来社会现代化建设需要的高素质人才的重要基地,起着重要的作用。大学生能否适应社会的发展,成为对社会有用的人才,取决于高校的教育教学质量。因此,转变教育思想、更新教育观念、深化教育改革、培养高素质人才是我国高校面临的重要任务。本书的编写,着眼于培养大学生全面的素质与创新能力,具体特点如下:

(1) 注意物理与工程技术的联系。考虑到本书主要面对的是理工类各专业的学生,我们遵从了“从自然到物理、从物理到技术、从技术到生活”的原则,在各部分有意识地突出物理学原理对工程技术的引领作用,并专门设置“物理学的发展及其在高新技术中的应用”一章,用一定篇幅专门介绍物理与工程技术的紧密联系,从而使读者拓宽视野,加深其对物理学基本原理及物理学在工程技术领域重要作用的理解。本书从工程实际出发,避开技术细节,把实际问题抽象成物理模型,并用物理学原理进行分析,提出合理的解决方案,有利于提高读者分析和解决问题的能力,有利于提高各工程专业学生学习物理的兴趣。

(2) 注意科学与哲学的统一。本书的编写,旨在讲科学的同时,让学生从根本上把

握物理学原理的实质,提炼出其中的物理本原,包括其哲学意义。力图避免过去一些传统物理教材从头到尾的公式化,对学生缺乏必要的启发与引导,致使学生最终“不识庐山真面目,只缘身在此山中。”爱因斯坦说:“物理书都充满了复杂的数学公式。可是思想及理念,而非公式,才是每一物理理论的开端。”(爱因斯坦《物理学的进化》)苏东坡有诗云:“横看成岭侧成峰,远近高低各不同。”相对论中关于“相对”二字的理解,解释狭义相对论中的相对性原理,总把相对性说成是两个参考系在描述物理规律时是等价的。这话虽然不错,可既然参考系指的是坐标系加观察者,因此相对论中相对性原理的本质,首先在于作为认识主体的人与客体之间的相对性。一切物理理论,包括相对论和量子力学,既是对自然规律的发现,也是人的发明。爱因斯坦认为:不要去讨论绝对空间、绝对时间和绝对运动,而应该讨论相对空间、相对时间和相对运动。爱因斯坦的相对论是试图寻找这个世界最本源的理论,他把参考系从惯性系推广到非惯性系,把相对性原理从狭义讲到广义,提出了广义相对论。相对论成功的经验实际上告诉我们,空间和时间的概念不是属于客体的,而是主体为了描述客体的运动而引入的。一个粒子的空间和时间坐标是主体赋予它的,因此它们只能是相对的,而且只有当运动有所变化时才能真正(在严格意义下)被认识到。空间、时间坐标尚且如此,更不用说动量和能量了。简言之,没有变化就没有信息。信息并非客观存在,而是主体施变于客体时才共同创造出来的。物理作为“物”之“理”,只能是相对的道理,而不是绝对真理。有时我们觉得,有些物理理论如量子力学的某种解释不很清楚,其实很大程度上是由于我们自己早已进入了“理论”,却还以为我们正在讨论着纯客观世界。本书试图在相关物理学原理的讲述中,做到科学与哲学的统一,让科学印证哲学,让哲学指导科学。

(3) 妥善处理数学与物理的关系。物理与数学,的确有着千丝万缕的联系。但作为适用于工科学生的大学物理,数学公式过多就会难教、难学,甚至淹没了本质上的物理思想及理念。本书中对数学的分量和难度是注意控制的,但不回避。这是因为,重视数字和数学,正是西方哲学之所以能促进科学发展的精髓所在。没有数学就没有物理学。反过来,正因为物理学比其他任何自然科学都更成功地运用数学,学物理便成为学数学的捷径。我们在内容组织编排中注意做到循序渐进,把重点放在启发思考,引起同学兴趣上,对于繁杂的公式推导,不提出过高的要求,从而使部分数学基础稍差的同学能够克服讨厌或害怕数学的心理,转变为愿意学、能学会,进而喜欢学,这对他们将来的职业生涯会有深远的影响。

(4) 融入开放性思想,培养学生大胆质疑、深入思考的创新精神。经过多年的教学与思考,我们体会到:封闭式教学只能培养出书呆子。书当然不可不读,但“尽信书不如无书”。因此,本书在写法上作了一个新的尝试,即以介绍自然现象和实验事实为主,而避免把已有的理论当作是天经地义,必要时介绍理论曲折的发展过程,同时介绍不同的看法,力求反映科学的严谨性和科学发展中固有的大胆怀疑精神,提倡发散式思维。这一尝试集中地表现在第7章(相对论)和第16章(量子物理学基础)中。把现有理论讲得天衣无缝,推导得环环相扣、无懈可击,未必就是教材的最高境界,必要时,我们展现了理论的发展过程,甚至描述了这期间走过的弯路,这样对学生的启迪作用或许会更大。

4. 本书的编写分工

本书由南阳理工学院的教师编写。陈兰莉教授担任主编,负责全书的设计、统稿和定稿。王生钊编写第2、3章;石明吉编写第1、4章;罗鹏晖编写第5、6章(思考题、习题除外);李梦硕编写第8、9章;郭新峰编写第5、6章思考题、习题,以及第2到第9章的

习题及部分思考题参考答案和附录部分；宋金璠、尹应鹏、于家辉等也参加了本书的编写工作。

编写适合教学改革需要的教材本身就是一种探索，加之编者水平所限，难免有不妥和疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

* 第 1 章 物理学的发展及其在高新技术中的应用

技术中的应用

- 1.1 物理学发展简史
- 1.2 物理学在生物医学中的应用
- 1.3 物理学在能源方面的应用——太阳电池
- 1.4 物理学在信息电子技术中的应用
- 1.5 物理学在航天航空中的应用
- 1.6 我国现代物理农业工程技术的应用
- 1.7 纳米材料与纳米技术
- 扩展思维 梦幻神奇的纳米技术

第 2 章 质点运动学

- 2.1 质点运动的描述
- 2.2 切向加速度和法向加速度 自然坐标系
- 2.3 圆周运动的角量描述 平面极坐标系
- 2.4 相对运动
- 本章逻辑主线
- 习题

第 3 章 质点动力学

- 3.1 牛顿运动定律
- 3.2 物理量的单位和量纲
- 3.3 自然力与常见力
- 3.4 牛顿运动定律的应用
- 3.5 非惯性系中的力学问题
- 3.6 动量
- 3.7 功与能
- 本章逻辑主线
- 习题

* 第 4 章 流体动力学基础

- 4.1 描述流体运动的基本概念
- 4.2 理想流体的伯努利方程及其应用
- 4.3 黏滞流体的运动
- 扩展思维 锥板黏度计
- 习题

第 5 章 刚体力学

- 5.1 刚体运动学
- 5.2 刚体定轴转动定理 转动惯量
- 5.3 力矩对时间和空间的累积效应
- 本章逻辑主线
- 扩展思维 陀螺在航空航天等领域中的应用
- 思考题
- 习题

第 6 章 机械振动与机械波

- 6.1 简谐振动的特征
- 6.2 简谐振动的特征量
- 6.3 简谐振动的合成
- 6.4 机械波的基本概念
- 6.5 平面简谐波
- 6.6 波的能量与能流
- 6.7 波的衍射、反射和折射
- 6.8 波的干涉和驻波
- 本章逻辑主线
- 扩展思维 多普勒效应
- 思考题
- 习题

第 7 章 相对论

- 7.1 相对论诞生的背景——经典物理学的危机
- 7.2 狭义相对论的基本原理及其数学工具
- 7.3 狭义相对论的时空观
- 7.4 狭义相对论动力学
- * 7.5 广义相对论
- 本章逻辑主线
- 扩展思维 现代宇宙学
- 思考题
- 习题

第 8 章 气体动理论

- 8.1 平衡态 温度 理想气体物态方程

8.2 理想气体的压强 温度的统计 意义	205	9.4 循环过程 卡诺循环	228
8.3 能量均分定理 理想气体的内能	207	9.5 热力学第二定律	232
8.4 麦克斯韦分子速率分布律	210	本章逻辑主线	238
8.5 玻耳兹曼分布律	213	扩展思维 热寂说	238
8.6 分子的平均碰撞次数和平均自由程	213	思考题	239
本章逻辑主线	215	习题	240
扩展思维 分子运动论与统计物理学	215	习题及部分思考题参考答案	246
思考题	216	附录	281
习题	217	附录 A 国际单位制 (SI)	281
第 9 章 热力学	220	附录 B 常用基本物理常量表	282
9.1 热力学第一定律	220	附录 C 物理量的名称、符号和单位 (SI) 一览表	283
9.2 热力学第一定律在理想气体等值 过程中的应用	222	附录 D 地球和太阳系一些常用数据	285
9.3 理想气体的热容 绝热过程	224	附录 E 历年诺贝尔物理学奖	286
		参考文献	292

* 第1章 物理学的发展及其在 高新技术中的应用

物理学是一门基础科学，它研究的是物质运动的基本规律。物理学又分为力学、热学、电磁学、光学和原子物理学等多个分支。由于物理学研究的规律具有很大的基本性与普遍性，所以它的基本概念和基本定律是自然科学的很多领域和工程技术的基础。物理学作为严格的、定量的自然科学的带头学科，一直在科学技术的发展中发挥着极其重要的作用。它与数学、天文学、化学和生物学之间有密切的联系，它们之间相互作用，促进了物理学及其他学科的发展。

现代社会已经进入知识经济的时代，而知识经济是高新技术经济、高文化经济、高智力经济，是区别于以前的以传统工业为产业支柱、以稀缺自然资源为主要依托的新型经济。在知识经济时代里，高新技术的创新对一个国家乃至一个民族来说，是关系其兴衰成败的关键问题，是一个民族乃至一个国家的生命力。

长期以来，在自然科学领域中，物理学一直是一门起着主导作用的学科。近代物理学的几次突破性进展对人类社会生产力的发展起到了巨大的推动作用。“科学技术是第一生产力”，展望21世纪，物理学正孕育着令人振奋的进展，并必将引起新的产业革命。

本章主要介绍物理学的发展历史，以及物理学在生物医学、能源方面、信息电子技术、航天航空、农业工程、纳米材料与纳米技术等领域中的应用。

1.1 物理学发展简史

物理学的发展经历了漫长的历史时期，可大致划分为三个阶段：古代物理学时期、近代物理学时期和现代物理学时期，每个时期都有自己的成就及特点。

1.1.1 古代物理学时期

古代物理学时期大约是从远古至公元15世纪，是物理学的萌芽时期（见图1-1）。

物理学的发展是人类发展的必然结果，也是任何文明从低级走向高级的必经之路。人类自从具有意识与思维以来，便从未停止过对于外部世界的思考，即这个世界为什么这样存在，它的本质是什么，这大概是古代物理学启蒙的根本原因。因此，最初的物理学是融合在哲学之中的，人们所思考的，更多的是关于哲学方面的问题，而并非具体物质的定量研究。这一时期的物理学有如下特征：在研究方法上主要是表面的观察、直觉的猜测和形式逻辑的演绎；在知识水平上基本上是现象的描述、经验的肤浅的总结和思辨性的猜测；在内容上主要有物质本原的探索、天体的运动、静力学和光学等有关知识，其中静力学发展较为完善；在发展速度上比较缓慢。在长达近八个世纪的时间里，物理学没有什么大的进展。

古代物理学发展缓慢的另一个原因，是欧洲黑暗的教皇统治，教会控制着人们的行为，禁锢人们的思想，不允许极端思想的出现，从而威胁其统治权。因此，在欧洲最黑暗的教皇

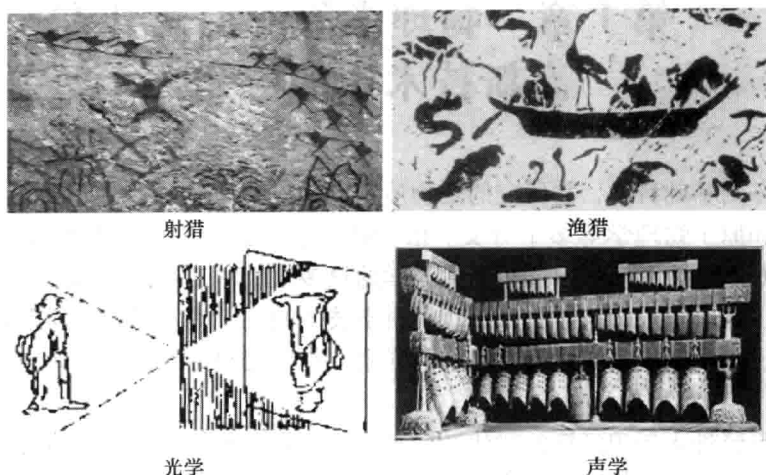


图 1-1 物理学的萌芽时期

统治时期，物理学几乎处于停滞不前的状态。

直到文艺复兴时期，这种状态才得以改变。文艺复兴时期人文主义思想广泛传播，与当时的科学革命一起冲破了经院哲学的束缚，使唯物主义和辩证法思想重新活跃起来。文艺复兴导致科学逐渐从哲学中分裂出来，这一时期，力学、数学、天文学、化学得到了迅速发展。

1.1.2 近代物理学时期

近代物理学时期又称经典物理学时期，这一时期是从 16 世纪至 19 世纪，是经典物理学的诞生、发展和完善时期。

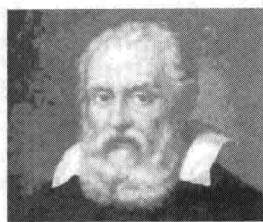
近代物理学是从天文学的突破开始的。早在公元前 4 世纪，古希腊哲学家亚里士多德就已提出了“地心说”，即认为地球位于宇宙的中心。公元 140 年，古希腊天文学家托勒密发表了其 13 卷巨著《天文学大成》，在总结前人工作的基础上系统地确立了地心说。根据这一学说，地为球形，且居于宇宙中心，静止不动，其他天体都绕着地球转动。这一学说从表观上解释了日月星辰每天东升西落、周而复始的现象，又符合上帝创造人类、地球必然在宇宙中居有至高无上地位的宗教教义，因而流传时间长达 1300 余年。

公元 15 世纪，哥白尼经过多年关于天文学的研究，创立了科学的日心说，写出“自然科学的独立宣言”——《天体运行论》，对地心说发出了强有力的挑战。16 世纪初，开普勒通过从第谷处获得的大量精确的天文学数据进行分析，先后提出了行星运动三定律。开普勒的理论为牛顿经典力学的建立奠定了重要基础。从开普勒起，天文学真正成为一门精确科学，成为近代科学的开路先锋。

近代物理学之父伽利略，用自制的望远镜观测天文现象，使日心说的观念深入人心。他提出落体定律和惯性运动概念，并用理想实验和斜面实验驳斥了亚里士多德的“重物下落快”的错误观点，发现自由落体定律。他提出惯性原理，驳斥了亚里士多德外力是维持物

体运动的说法,为惯性定律的建立奠定了基础。伽利略的发现以及他所用的科学推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学真正的开端。

16世纪,牛顿总结前人的研究成果,系统地提出了力学三大运动定律,完成了经典力学的大一统。牛顿在16世纪后期创立万有引力定律,树立起了物理学发展史上一座伟大的里程碑。之后两个世纪,是电学的大发展时期,法拉第用实验的方法,完成了电与磁的相互转化,并创造性地提出了场的概念。19世纪,麦克斯韦在法拉第研究的基础上,凭借其高超的数学功底,创立了电磁场方程组,在数学形式上完成了电与磁的完美统一,完成了电磁学的大一统。与此同时,热力学与光学也得到迅速发展,经典物理学逐渐趋于完善。



伽利略



牛顿



法拉第



麦克斯韦

图 1-2 近代物理学的部分代表人物

图 1-2 列出了近代物理学的部分代表人物。

1.1.3 现代物理学时期

现代物理学时期,即从19世纪末至今,是现代物理学诞生和取得革命性发展的时期。

19世纪末,当力学、热力学、统计物理学和电动力学等取得一系列成就后,许多物理学家都认为物理学的大厦已经建成,后辈们只要做一些零碎的修补工作就行了。然而,两朵乌云的出现,打破了物理学平静而晴朗的天空。第一朵乌云是迈克尔逊-莫雷实验:在实验中没测到预期的“以太风”,即不存在一个绝对参考系,也就是说光速与光源运动无关,光速各向同性。第二朵乌云是黑体辐射实验:用经典理论无法解释实验结果。这两朵在平静天空出现的乌云最终导致了物理学的天翻地覆的变革。

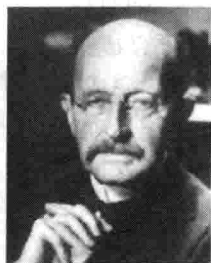
20世纪初,爱因斯坦大胆地抛弃了传统观念,创造性地提出了狭义相对论,永久性地解决了光速不变的难题。狭义相对论将物质、时间和空间紧密地联系在一起,揭示了三者之间的内在联系,提出了运动物质长度收缩、时间膨胀的观点,彻底颠覆了牛顿的绝对时空观,完成了人类历史上一次伟大的时空革命。十年之后,爱因斯坦提出等效原理和广义协变原理的假设,并在此基础上创立了广义相对论,揭示了万有引力的本质,即物质的存在导致时空弯曲。相对论的创立,为现代宇宙学的研究提供了强有力的武器。

物理学的第二朵乌云——黑体辐射难题,则是在普朗克、爱因斯坦、玻尔等一大批物理学家的努力下,最终导致了量子力学的诞生与兴起。普朗克引入了“能量子”的假设,标志着量子物理学的诞生,具有划时代的意义。爱因斯坦,对于新生“量子婴儿”,表现出热情支持的态度,并于1905年提出了“光量子”假设,把量子看成是辐射粒子,赋予量子的实在性,并成功地解释了光电效应实验,捍卫和发展了量子论。随后玻尔在普朗克和爱因斯坦“量子化”概念和卢瑟福的“原子核核式结构”模型的影响下提出了氢原子的玻尔模型。德布罗意把光的“波粒二象性”推广到了所有物质粒子,从而朝创造描写微观粒子运动的

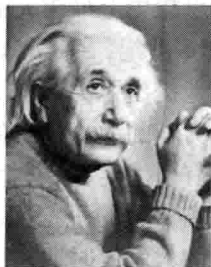
新的力学——量子力学迈进了革命性的一步。他认为辐射与粒子应是对称的、平等的,辐射有波粒二象性,粒子同样应有波粒二象性,即对微粒也赋予它们波动性。薛定谔则用波动方程完美解释了物质与波的内在联系,量子力学逐渐趋于完善。

相对论与量子力学的产生成为现代物理学发展的主要标志,其研究对象由高速运动的宏观物体到微观粒子,深入到宇宙深处和物质结构的内部,使人类对宏观世界的结构、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,其发展导致了整个物理学的革命性大变化,奠定了现代物理学的基础。随后的几十年即从1927年至今,是现代物理学的飞速发展阶段,这期间产生了量子场论、原子核物理学、粒子物理学、半导体物理学、现代宇宙学等分支学科,物理学日渐趋于成熟。

现代物理学的部分代表人物如图1-3所示。



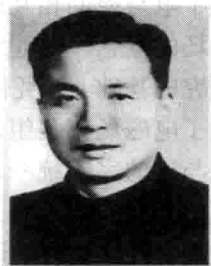
普朗克



爱因斯坦



玻尔



邓稼先

图1-3 现代物理学的部分代表人物

1.2 物理学在生物医学中的应用

物理学在生物学发展中的贡献体现在两个方面:一是为生命科学提供现代化的实验手段,如电子显微镜、X射线衍射、核磁共振、扫描隧道显微镜等;二是为生命科学提供理论概念和方法。从19世纪起,生物学家在生物遗传方面进行了大量的研究工作,提出了基因假设。在20世纪40年代,物理学家薛定谔对生命的基本问题颇感兴趣,提出了遗传密码存储于非周期晶体的观点。同样是20世纪40年代,英国剑桥大学的卡文迪什实验室开展了对肌红蛋白的X射线结构分析,经过长期的努力终于确定了DNA(脱氧核糖核酸)的晶体结构,揭示了遗传密码的本质,这是20世纪生物科学的最重大突破。分子生物学已经构成了生命科学的前沿领域,生物物理学显然也是大有可为的。

1.2.1 超声波

超声波是指振动频率大于20000Hz的声波,其每秒的振动次数(即频率)甚高,超出了人耳听觉的上限(20000Hz)。超声和可闻声本质上是一致的,它们的共同点都是一种机械振动,通常以纵波的方式在弹性介质内传播,是一种能量的传播形式,其不同点是超声波频率高,波长短,在一定距离内沿直线传播,具有良好的束射性和方向性。超声波在传播过程中一般要发生折射、反射以及多普勒效应等现象,超声波在介质中传播时,发生声能衰减。因此超声通过一些实质性器官,会发生形态及强度各异的反射。由于人体组织器官的生理、病理及解剖情况不同,对超声波的反射、折射和吸收衰减也各不相同。超声诊断就是根据这些反射信号的多少、强弱、分布规律来判断各种疾病的。超声在医学的各个领域都有应

用,并取得飞速发展,从而产生了超声医学这一分支学科。

1.2.2 阻抗法血细胞分析技术

1. 红细胞检测原理

将等渗电解质溶液稀释的细胞悬液置入不导电的容器中,将小孔管(也称传感器)插入细胞悬液中。小孔管内充满电解质溶液,并有一个内电极,小孔管的外侧细胞悬液中有一个外电极。当接通电源后,位于小孔管两侧的电极产生稳定电流,稀释细胞悬液从小孔管外侧通过小孔管壁上宝石小孔(直径 $<100\mu\text{m}$,厚度约 $75\mu\text{m}$)向小孔管内部流动,使小孔感应区内电阻增高,引起瞬间电压变化形成脉冲信号,脉冲振幅越高,细胞体积越大,脉冲数量越多,细胞数量越多,由此得出血液中血细胞数量和体积值。

2. 白细胞分类计数原理

根据电阻抗法原理(见图1-4),经溶血剂处理的、脱水的、不同体积的白细胞通过小孔时,脉冲大小不同,将体积为 $35\sim 450\text{fL}$ 的白细胞,分为256个通道。其中,淋巴细胞为单个核细胞、颗粒少、细胞小,位于 $35\sim 90\text{fL}$ 的小细胞区;粒细胞(中性粒细胞)的核分多叶、颗粒多、胞体大,位于 160fL 以上的大细胞区;单核细胞、嗜酸性粒细胞、嗜碱性粒细胞、原始细胞、幼稚细胞等,位于 $90\sim 160\text{fL}$ 的单个核细胞区,又称为中间型细胞。仪器根据各亚群占总体的比例,计算出各亚群细胞的百分率,并同时计算各亚群细胞的绝对值,显示白细胞体积分布直方图。

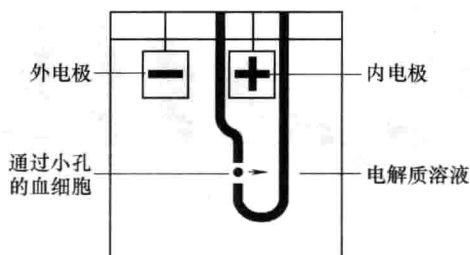


图1-4 电阻抗原理示意图

3. 血红蛋白测定原理

当稀释血液中加入溶血剂后,红细胞溶解并释放出血红蛋白,血红蛋白与溶血剂中的某些成分结合形成一种血红蛋白衍生物,在特定波长($530\sim 550\text{nm}$)下比色,吸光度变化与稀释液中Hb含量成正比,最终显示Hb浓度。不同类型血液分析仪,溶血剂配方不同,所形成血红蛋白衍生物不同,吸收光谱不同,如含氰化钾的溶血剂,与血红蛋白作用后形成氰化血红蛋白,其最大吸收峰接近 540nm 。

自从20世纪50年代开始,分子生物学的思想和方法才被迅速地确认为新材料生长、发现和结晶方面的指导思想。由于大部分的生物反应都是发生在材料的界面和表面上,生物学家将表面科学引入生物学,对推动生物医学材料的发展起到了决定性的作用。生物医学材料和器件在解救人类生命方面的能力,以及巨大的商业价值强烈地刺激了许许多多的研究通道。低温等离子体技术在生长生物医学材料和制备生物医学器件方面具有独特的优点和潜力。

1.3 物理学在能源方面的应用——太阳电池

能源的问题是当今世界共同面临、重点关注的问题。化石燃料和工业革命的结合创造了人类历史上辉煌的文明时代,但同时也造成了资源的极大浪费和生态环境的恶化。随着地球

上能源数量和利用率的限制，人们不得不向太阳展开研究，希望能更大幅度地利用太阳中的能量，来解决人类能源的问题。

我国的一次能源储量远远低于世界的平均水平，大约只有世界储量的 10%。开发新能源和可再生清洁能源势在必行。在新能源中，太阳能最为引人注目。开发和利用太阳能已经成为世界各国可持续发展能源的战略决策，我国也制定了 2000—2015 年新能源和可再生能源发展规划，提出到 2015 年将太阳能电池生产成本降低 50%，从而为太阳光伏发电系统大规模应用创造良好的市场前景。近年来，世界光伏产量飞速发展，我国太阳能电池的产量也有了巨大进展，如图 1-5 和图 1-6 所示。

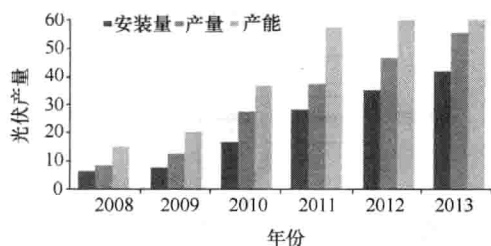


图 1-5 1990—2005 年世界光伏产量 (MW_p)

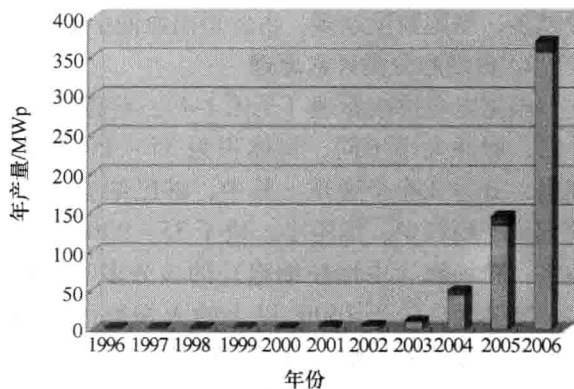


图 1-6 中国太阳能电池产量的进展

1.3.1 太阳的能量哪里来

太阳，光焰夺目，温暖着人间。从古到今，太阳都以它巨大的光和热哺育着地球，从不间断。地球上的一切能量几乎都是直接或间接来源于太阳。生物的生长，气候的变化，江河湖海的出现，煤和石油的形成，哪一样也离不开太阳。可以说，没有太阳，就没有地球，也就没有人类。

太阳发出的总能量大得惊人。我们可以打一个比方：如果从地球到太阳之间，架上一座 3km 宽、3km 厚的冰桥，那么，太阳只要 1s 的功夫发出的能量，就可以把这个 1.5×10^8 km 长的冰桥全部化成水，再过 8s，就可以把它全部化成蒸汽。

太阳是怎么发出这么巨大的能量来的呢？为了搞清楚这个问题，人类花费了几百年的时间，一直到今天，也还在不断地进行着探索。日常生活告诉我们，一个物体要发出光和热，就要燃烧某种东西。人们最初也是这样去想象太阳的，认为太阳也是靠燃烧某种东西，发出了光和热。后来发现，即使用地球上最好的燃料去燃烧，也维持不了多长的时间。后来又想到可能是靠太阳本身不断地收缩来维持的。但是仔细一算，也维持不了多久。

一直到 20 世纪 30 年代以后，随着自然科学的不断发展，人们才逐渐揭开了太阳产能的秘密。太阳的确在燃烧着，太阳燃烧的物质不是别的，而是化学元素中最简单的元素——氢。不过，太阳上燃烧氢，不是通过和氧化合，而是另外一种方式，叫作热核反应。太阳上

进行的热核反应, 简单地说, 是由四个氢原子核聚合成一个氦原子核。我们知道, 原子是由原子核和围绕着原子核旋转的电子组成的, 要想使原子核之间发生核反应, 可不是一件容易的事情。首先必须把原子核周围的电子全都打掉, 然后再使原子核同原子核激烈地碰撞。但是, 由于原子核都是带正电, 它们彼此之间是互相排斥的, 距离越近, 排斥力越强。因此, 要想使原子核同原子核碰撞, 就必须克服这种排斥力。为了克服这种排斥力, 必须使原子核具有极高的速度。这就需要把温度提高, 因为温度越高, 原子核的运动速度才能越快。这样高的温度在地面上是不容易产生的, 但是对于太阳来说, 它的核心温度高达一千多万摄氏度, 条件是足够了。太阳正是在这样的高温下进行着氢的热核反应。当四个氢原子核聚合成一个氦原子核的时候, 我们会发现出现了质量的亏损, 也就是一个氦原子核的质量要比四个氢原子核的质量少一些。那么, 亏损的物质跑到哪里去了呢? 原来, 这些物质变成了光和热, 也就是物质由普通的形式变成了光的形式, 转化成了能量。质量和能量之间的转换关系, 可以用伟大的科学家爱因斯坦的相对论来解释。那就是能量等于质量乘上光速的平方, 由于光速的数值很大, 因此, 这种转换的效率是非常高的。

人们通过对原子和原子核的大量研究, 终于利用热核反应的道理, 制造出和太阳产生能量的方式一样的氢弹。不过, 目前人们还做不到把氢弹的能量很好地控制起来使用。如果有朝一日能够实现可以控制的稳定的热核反应, 那么大量的海水中的氢就可以作为取之不尽的燃料。那时候, 地球上再也不用为能源问题发愁了。

到达地球大气上界的太阳辐射能量称为天文太阳辐射量。在地球位于日地平均距离处时, 地球大气上界垂直于太阳光线的单位面积在单位时间内所受到的太阳辐射的全谱总能量, 称为太阳常数。太阳常数的常用单位为 W/m^2 。因观测方法和技术不同, 得到的太阳常数数值不同。世界气象组织 (WMO) 1981 年公布的太阳常数值是 $1368 \text{W}/\text{m}^2$ 。太阳辐射是一种短波辐射。

到达地表的全球年辐射总量的分布基本上呈带状, 只有在低纬度地区受到破坏。在赤道地区, 由于多云, 年辐射总量并不最高。在南北半球的副热带高压带, 特别是在大陆荒漠地区, 年辐射总量较大, 最大值在非洲东北部。

1.3.2 太阳能电池的定义

太阳能电池 (见图 1-7、图 1-8) 是通过光电效应或者光化学效应直接把光能转化成电能的装置。目前以光电效应工作的薄膜式太阳能电池为主流, 而以光化学效应工作的湿式太阳能电池则还处于萌芽阶段。

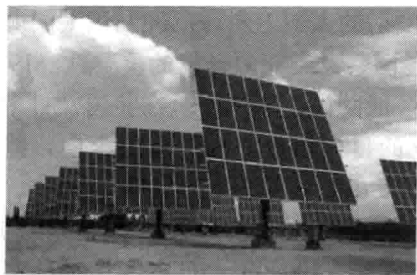


图 1-7 太阳能电池

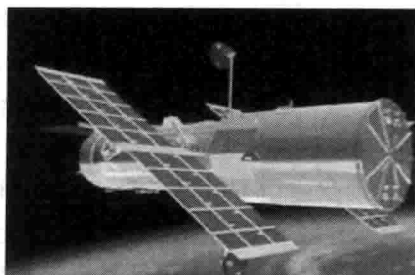


图 1-8 卫星的太阳电池板

1.3.3 太阳能电池的原理

太阳能电池是一种可以将能量转换的光电元件，其基本构造是运用 P 型与 N 型半导体接合而成的。半导体最基本的材料是“硅”，它是不导电的，但如果在半导体中掺入不同的杂质，就可以做成 P 型与 N 型半导体，再利用 P 型半导体有个空穴（P 型半导体少了一个带负电荷的电子，可视为多了一个正电荷），与 N 型半导体多了一个自由电子的电位差来产生电流，所以当太阳光照射时，光能将硅原子中的电子激发出来，而产生电子和空穴的对流，这些电子和空穴均会受到内建电位的影响，分别被 N 型及 P 型半导体吸引，而聚集在两端。此时外部如果用电极连接起来，就形成一个回路，这就是太阳能电池发电的原理。

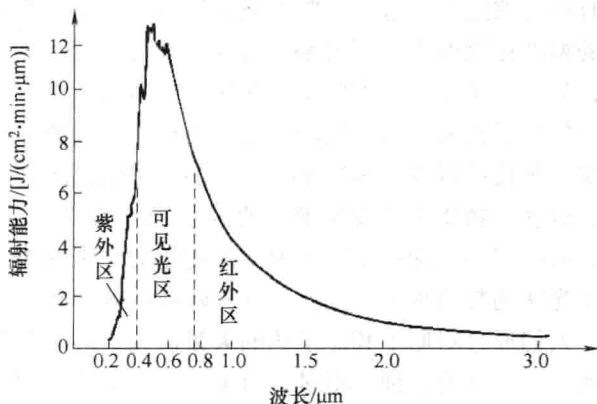


图 1-9 太阳辐射的波长范围

简单地讲，太阳光电的发电原理，是利用太阳能电池吸收 $0.4 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 波长

（针对硅晶）的太阳光（见图 1-9），将光能直接转变成电能输出的一种发电方式。由于太阳能电池产生的电是直流电，因此若需提供电力给家电用品或各式电器则需加装直/交流转换器，换成交流电。

1.3.4 太阳能电池的发展

以太阳能发展的历史来说，光照射到材料上所引起的“光起电力”行为，早在 19 世纪的时候就已经被发现了。1839 年，光生伏特效应第一次由法国物理学家 A. E. Becquerel 发现。1849 年，术语“光-伏”才出现在英语中。1883 年，第一块太阳能电池由 Charles Fritts 制备成功。Charles 用锗半导体上覆上一层极薄的金层形成半导体金属结，器件只有 1% 的效率。到了 20 世纪 30 年代，照相机的曝光计广泛地使用光起电力行为原理。1946 年，Russell Ohl 申请了现代太阳能电池的制造专利。到了 20 世纪 50 年代，随着半导体物性被逐渐了解，以及加工技术的进步，1954 年当美国的贝尔实验室在用半导体做实验时发现在硅中掺入一定量的杂质后对光更加敏感这一现象后，第一个太阳能电池于当年诞生在贝尔实验室。太阳能电池技术的时代终于到来。自 20 世纪 50 年代起，美国发射的人造卫星就已经利用太阳能电池作为能量的来源。20 世纪 70 年代能源危机时，让世界各国察觉到能源开发的重要性。1973 年发生了石油危机，人们开始把太阳能电池的应用转移到一般的民生用途上。在美国、日本和以色列等国家，已经大量使用太阳能装置，更朝商业化的目标前进。在这些国家中，美国于 1983 年在加州建立了世界上最大的太阳能电厂，它的发电量可以高达 16MW。南非、博茨瓦纳、纳米比亚和非洲南部的其他国家也设立专案，鼓励偏远的乡村地区安装低成本的太阳能电池发电系统。而推行太阳能发电最积极的国家首推日本。1994 年，日本实施补助奖励办法，推广每户 3000W 的“市电并联型太阳光电能系统”。在第一年，政府补助 49% 的经费，以后的补助再逐年递减。“市电并联型太阳光电能系统”是在日照充足的时候，由太阳能电池