现代科学技术概论

XIANDAI KEXUE JISHU GAILUN

●主　编：王林
副主编：张晓峰　王莉艳
敖开云　张浩波

重庆出版集团　重庆出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP)数据

现代科学技术概论 / 王林主编.—重庆: 重庆出版社，2008.2
ISBN 978-7-5366-9464-4

Ⅰ.现… Ⅱ.王… Ⅲ.科学技术—技术发展—世界 Ⅳ.N11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 014547 号

现代科学技术概论
XIANDAI KEXUE JISHU GAILUN
王 林 主编

出 版 人:罗小卫
责任编辑:曾海龙
责任校对:李小君
装帧设计:重庆出版集团艺术设计有限公司•王芳甜

重庆出版集团
重 庆 出 版 社 出版
重庆长江二路 205 号 邮政编码:400016 http://www.cqph.com
重庆出版集团艺术设计有限公司制版
自贡新华印刷厂印刷
重庆出版集团图书发行有限公司发行
E-MAIL:fxchu@cqph.com 邮购电话:023-68809452
全国新华书店经销

开本:787mm×1 092mm 1/16 印张:15.75 字数:373 千
2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
印数:1~3000 册
ISBN 978-7-5366-9464-4
定价:31.00 元

如有印装质量问题,请向本集团图书发行有限公司调换:023-68809955 转 8005

版权所有 侵权必究

第一章 概论

Gai Lun

当今世界，科学技术是综合国力竞争的决定性因素。科学技术极大地促进了社会和经济的发展，社会的发展在相当大的程度上依赖于科学技术的进步。20世纪以来，科学技术进入了有史以来最快的发展时期。在以相对论、量子论、DNA双螺旋结构和板块演说的提出为标志的科学革命的推动下，科学理论无论在深度和广度上均得到迅猛的发展，极大地改变着人们对世界的认识，更新着人们的世界观。信息技术、现代生物技术、新材料技术、新能源技术、海洋技术、航天技术和空间技术等迅速地推动着社会的进步。

第一节
科学技术与科学研究

一、科学素养

我国“全民科学素质行动计划”(2049 计划)的正式启动，在理论上提出了公民科学素质建设的理念和具体目标。人们日益认识到，公民具备科学素质是建设创新型国家的重要基础。

科学素养的概念是由美国学者赫德(P. D. Hurd)在 1958 年首先提出的，意即个人所具备的对科学的基本理解。随着科学技术和社会的发展，科学素养的内涵也发生着变化。20 世纪 50 年代，科学素养强调的是了解科学术语和科学过程，能阅读报纸或杂志上有关的科学技术方面的报道和争论的能力。而科学教育的目的则是培养学生成为未来的工程师和科学家。到 20 世纪 70 年代，随着科学技术对社会影响的增加，科学素养的内涵中增加了对科学与社会的关系、科学的道德规范、科学和人类的关系等方面的要求，更加重视解决问题的能力。如运用科学方法解决日常问题、掌握科学研究基本程序等。自 20 世纪 80 年代中期以来，科学素养的内涵进一步丰富和深化，包括了科学世界观、科学事业的性质、科学思维习惯以及科学对人类事务的影响等方面。其中，特别强调了科学素养对于一个人参与公共事务、在社区里发挥功能的重要性。可见，科学素养内涵的丰富和扩展实际上反映了科学内涵从“小科学”到“大科学”的变化趋势以及人们对科学本质的理解和认识的不断深化。总的来说，科学素养应该是对科学知识、科学方法、科学精神和科学价值的一种认识能力和应用能力，是一种综合素质的体现。

自 20 世纪 90 年代初开展这项研究工作以来，中国科协针对 18 岁至 69 岁的成年公众相继进行了 5 次科学素养的专门调查。调查结果显示：中国公众的科学素养整体水平呈现快速增长的趋势，中国达到公民科学素质标准的人口，由 1996 年的 0.3%，提高到 2001 年的 1.4%，再提高到 2003 年的 1.98%。当然，与发达国家相比还有很大差距，美国 2000 年公众达到科学素养标准的人口为 17%，日本 1991 年为 3%，加拿大 1989 年为 4%。从各项指标的调查结果来看，我国公众科学素养存在着严重的不平衡，不同性别、年龄段、受教育程度、职业、居住地区的公众以及处于不同收入水平的公众，他们的科学素养水平差异很大。调查还发现，逐步延长国民接受正规教育的时间对于提高整个民族的科学素质水平的确有根本性的意义。但是，科学素质的提高仅仅依靠延长科学教育时间是不够的，在中国接受了大学教育的受试者可以说是接受了“精英教育”的人们，可是，达到科学素养标准的比例还不到美国的一半。我国的学校教育，从小学、中学到大学，在提高公众科学素养方面任重而道远。

二、科学与技术

人们一般用“科学技术”来表示知识、学问、思维、技艺和方法等。实际上，科学与技术是两个不同的概念。科学在于认识世界，揭示自然界的客观规律，主要回答自然现象“是什么”、“为什么”的问题；而技术是在尊重自然规律的基础上，改造世界，实现对自然界的控制和利用，着重回答社会实践中“做什么”、“怎么做”的问题。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

1. 科学

“科学”这个词，源于中世纪拉丁文“Scientia”，原意为“学问”、“知识”。但科学至今还没有一个为世人公认的定义，甚至有人认为，给科学下定义是无意义的，也是不可能的。英国著名科学家贝尔纳（J.D.Bernal）指出：“科学在全部人类历史中确已如此地改变了它的性质，以致无法下一个适合的定义”，“科学不是个能用定义一劳永逸地固定下来的单一体”。由于科学本身是在变化发展的，人们对它的认识也在不断深化，因此难以给科学做出唯一的、严格不变的定义。我们只能依据科学技术与社会发展的历史，在众多有关科学的解释和定义的基础上对科学的本质作简要的分析，通过这样的分析，加深我们对科学的理解和认识。

(1)科学是人们对自然界客观世界和规律的理性认识。一般认为，人们了解了自然界某一领域现象的本质和规律，就是获得了某一方面的科学知识。1888 年，达尔文(C.R.Darwin)曾给科学下过一个定义：“科学就是整理事实，从中发现规律、做出结论。”这里所谓的“事实”，是指人们对自然现象的本质认识，即经过概括，形成了对同一类自然现象的统一解释。而所谓“规律”则是指自然界种种物质运动之间的内在的和本质的必然联系。规律在一定条件下是可以反复出现的。

对事实和规律的科学认识是理性的认识。所谓理性的认识，首先是指从自然界本身去寻求自然现象的原因，去探索事实和规律，而不是从信仰、神话、宗教等非理性的东西之中去寻求对自然界的种种解释。其次，理性认识是指通过实践获得感性认识，然后经过大脑逻辑思维的加工，提高到理性层次的认识。通过理性思维方式所认识的自然界的事实和规律，常常表述为原理、公理、定义、定理、定律等。

(2)科学是反映客观事实及规律的知识体系。人们对世界认识的点滴、零碎、孤立和局部的知识不能称之为科学。在古代和近代，除了个别学科的理论，如欧几里德几何学和牛顿力学，可算得上是知识体系之外，人类的科学知识绝大多数都是零散的、缺乏内在逻辑联系的知识单元。20 世纪初现代科学诞生后，自然科学各门学科已趋成熟，科学家把各学科积累的大量知识单元，即原理、公理、定义、定理、定律等，按照内在逻辑关系，加以综合，使之条理化、系统化。这样，各学科都形成了系统的知识，学科又组成学科群，构成了多层次的知识体系。

在这样的背景下，人们在给科学下定义时都强调科学是反映自然界客观事实和规律的知识体系。凡是新发现的事实和规律，要能够纳入已有的学科理论体系，才能算是科学。

(3)科学是一项社会实践活动。随着现代科学的发展，人们对科学的本质又有了新的认识。首先，认识到科学研究是一种动态过程，是人类通过思维和实验来认识自然界，从而加工和生产知识的实践活动。知识不是科学的全部，只是科学活动的产品。其次，人们认识到科学活动的方式已由像古代阿基米德(Archimedes)、近代前期伽利略(G. Galileo)等人的个体研究活动，经由如近代后期爱迪生(T. A. Edison)组织的“实验工厂”的集体研究活动，发展到现代如美国研究原子弹的“曼哈顿计划”的国家建制研究活动，以至今天国际合作的跨国建制研究活动。因此，科学实践活动已成为一项社会事业，一项各国政府、科研机构、大学和企业都积极参与活动的社会系统工程。

总之，科学既是关于自然界客观事实和规律的知识体系，又是一项重要的社会实践活动，这种组织起来的实践活动日益和现代社会的各个方面不可分割地联系在一起。

2. 技术

技术(Technology)一词源于希腊文 $\tau\varepsilon\chi\nu\eta$，意指熟练而实用的技艺。广义地讲，技术是人类为实现社会需要而创造和发展起来的手段、方法和技能的总和。作为社会生产力的社会总体技术力量，包括工艺技巧、劳动经验、信息知识和实体工具装备，也就是整个社会的技术人才、技术设备和技术资料。

在近代产业革命以前的手工业时代，技术的进步主要是依靠各行业的工匠、技师在生产实践中摸索、创造和传授经验。这就使得人们对技术的理解，往往侧重于技术中的主观因素，即把技术看成是由经验而获得的某种技巧和能力。

近代产业革命后，大机器生产使劳动手段发生了根本的变革。过去需要靠长期积累经验形成的技能、技巧才能做到的事，现在利用工具和机器就很容易办到了。技能、技艺的作用相对减弱，机器、工具的作用增强，于是人们开始倾向把技术活动的客观因素，即机器、设备、工具等物质手段看做是技术的主要标志。

19 世纪后期电力技术革命之后，在技术原理的形成和整个技术的发展中，科学理论的因素增加了，科学走到了生产技术的前面，成为了技术的先导。人们此时认识到，技术已经不仅仅是经验和物质手段，更重要的是它成了科学理论应用的结果，因此就有学者提出了“技术是客观的自然规律在生产实践中有意识的应用”的观点。

关于技术本质，我国学者认为，无论是技能、物质手段、科学知识，或它们的简单相加，都不是技术的全部。技术是由这些要素构成的动态过程，是人根据预期目的综合运用科学理论、技能和物质手段所进行的一种社会活动，这种社会活动是为了实现对自然界的变革，使之适应人类社会的需要，即所谓自然界的人工化。这个观点从总体上反映了科学、技术与社会的统一，历史上的技术概念与当代技术概念的统一，技术的主观因素与客观因素的统一，比较全面地揭示了技术的本质。

三、科学与技术的相互关系

科学与技术既有区别又有联系，二者是辩证统一的整体。了解它们的区别和联系，其意义并不在于概念和意义上的异同，而在于更好地发展科技事业，做到既重视科学研究，也要强化技术开发。

1. 科学与技术的区别

第一，目的和任务不同。科学以认识自然界为目的，它的任务是揭示自然现象的本质与规律，着重回答“是什么”、“为什么”的问题。科学成果增加人类的理论知识，提高社会的精神文明程度。技术则是以改造世界为目的，它的任务是要利用自然规律，控制自然、实现自然人工化并协调人与自然界的关系。技术着重回答“做什么”、“怎么做”的问题，它的成果增加人类的物质财富，提高社会的物质文明程度。

第二，研究内容不同。科学研究是对未知领域的探索，它的研究课题一般来自观测到的事实与原有理论的矛盾，或者科学研究过程中发现的新问题、产生的新矛盾等等。而技术一般都有明确的实用目标，其研究的课题基本上是工程建设和生产中需要解决的各种实际问题，或现有技术的提高和改进问题。技术比科学更加联系生产实际，更加面向社会。

第三，研究成果的形式和评价标准不同。科学的研究成果一般表现为新事实、新规律的发现，或新理论的提出。科学成果的评价标准是真与伪、正确与错误。技术成果一般表现为新工具、新设备、新工艺、新方法的发明。技术成果的评价标准是质量的好与坏、效率的高与

低，以及发明的实用性、经济性、安全性、可靠性等。

第四，发现进程不同。科学发展的高潮与技术发展的高潮在时间上不尽一致。如16~17世纪发生了近代科学革命，而近代第一次技术革命——蒸汽机技术革命发生在18~19世纪初。20世纪初发生了现代科学革命，而现代技术革命到二次世界大战后才发生。可见科学革命与技术革命并非同步，而是此起彼伏、互相联系又互相分离的。科学革命往往是技术革命的先导，技术革命又为新的科学革命奠定基础。

第五，生产力属性不同。科学技术是生产力，而且现代科学技术已成为第一生产力。但是，科学是潜在的知识形态的生产力，它不是生产力中独立的因素，而是渗透在生产工具、劳动对象和劳动者三要素中，推动生产力发展的。换句话说，科学理论要通过技术，才能转化为直接劳动力。技术水平的高低直接表现为劳动者素质和能力的高低，表现为生产设备先进程度和效率的高低，表现为劳动对象范围的大小和质量的高低。因此，技术是直接的生产力。

2. 科学与技术的联系

科学的根本在于认识自然、尊重自然，技术的根本在于改造自然、保护自然，改造和保护是建立在认识和尊重的基础上。正是在认识自然、尊重自然和改造自然、保护自然的共同基础上，科学与技术统一起来了。科学为技术提供研究领域和理论依据，技术为科学研究提供探索工具和物质基础。对于科学来说，技术是科学的延伸；对于技术来说，科学是技术的升华。随着现代科学和技术的进步，科学和技术的联系越来越密切。科学的技术化和技术的科学化发展趋势，使科学进步与技术进步互为前提，互相推动，形成了“科学技术一体化”的趋势。

19世纪中叶以来一系列重大技术进展，无论是电力技术、无线电技术、计算机技术，还是原子能技术、激光技术、生物技术，几乎都是在科学上取得突破，然后转变为技术成果。技术也为科学研究提供越来越先进的实验仪器、设备和条件，许多技术中提出求解问题往往成为科学发展新的增长点。

科学和技术都是人类为了满足自身的需要，认识和改造自然界包括自身的社会活动，动力是人的需要，目的也是满足人的需要。科学追求普遍的真知识，技术追求更加具体的真知识。作为人类社会活动，科学和技术一样，既追求满足人类自身需要的精神价值，也追求满足人类自身需要的经济效益。

现代科学与技术的密切结合，一方面使得各自获得前所未有的发展速度，引起新的革命；另一方面，科学革命与技术革命相互交融，统一发展。总之，现代科学和技术之间是互相制约、互相促进的关系。

四、科学研究

1. 科学研究的概念

科学研究的英文是“Scientific research”，它是人们探索自然现象和社会现象规律的一种认识过程。它是人们有目的、有计划、有意识、有系统地在前人已有认识的基础上，运用科学的方法，对客观事实加以掌握、分析、概括，揭露其本质，探索新规律的认识过程。也是创造和整理、修改知识，以及开拓知识新用途的探索工作，为创造发明新产品和新技术提供理论依据。

科学研究的基本任务就是科学地探索、认识未知，它具有以下四个特点：

(1)探索性：科学研究就是不断探索，把未知变为已知，把知之较少的变为知之较多的过程。这一特点决定了科研过程及其成果的不确定性，要求科研的组织计划具有一定的灵活性。

(2)创造性：科学研究就是把原来没有的东西创造出来，没有创造性就不能成为科学研究。这一特点要求科研人员具有创造能力和创造精神。

(3)继承性：科学研究的创造是在前人成果基础上的创造，是在继承中实现的。这一特点决定了科研人员只有掌握了一定的科学知识，才有可能进行科学研究。

(4)连续性：科学研究是一项长期性的活动，必须连续不断地进行。这一特点决定了在科研组织管理中，要给科研人员提供充分必要的条件，才能获得较高的效率并取得成果。

2. 科学研究的类型

科学研究可根据不同需要，进行多种分类，通常根据其性质、目的、应用和过程划分。一般最常用的科学研究分类，是按过程分为基础研究、应用研究和开发研究。

基础研究是以创造新知识、探索世界奥秘为目的的研究，由此取得的成果可以丰富人的知识结构，发现新的科学领域，为新技术发明和创造提供理论前提。基础研究的成果主要以学术论文、专著的形式表现出来，如法拉第(M. Faraday)发现电磁感应原理(发电原理)和麦克斯韦(J. C. Maxwell)提出电磁波理论。

应用研究是把基础研究的成果应用于特定的目标的研究活动，是基础研究的继续，目的在于为基础研究的成果开辟具体的应用途径，使之转化为实用技术。成果主要以学术论文、专利、原理模型等形式出现，如赫兹(H. R. Hertz)发现电磁波，制成电磁波发生装置，使无线电通讯成为可能。波波夫(Попов. A.C)与马可尼(G. W. Marconi)进行无线电通讯获得成功，实现跨越大洋的无线电通讯，迎来电讯时代。

基础研究、应用研究和开发研究是整个科学研究系统中三个互相联系的环节，它们在一个国家、一个专业领域科学研究体系中协调一致地发展。科学研究应具备一定的条件，如需有一支合理的科技队伍，必要的科研经费、完善的科研技术装备以及科技试验场所等。

第二节
现代科学的几个基本问题

一、物质的微观结构

世界是由物质组成的，从结构层次上看，有宇观、宏观、微观之分，宇宙之大与粒子之微是物质世界的两个极端，而其中微观世界又是构成宏观世界和宇观世界的基础。构成物质的微粒有分子、原子或离子等。例如，水是由水分子构成的，石墨晶体是由碳原子构成的，氯化钠晶体是由带正电的钠离子和带负电的氯离子构成。而原子又是由什么构成的呢？构成原子的微粒还有更小的组成吗？多少年来，科学家们一直孜孜以求，不断探索，正逐渐揭开微观世界的结构之谜。

1. 物质结构之谜

微观世界到底是什么样的呢?大千世界究竟是由什么构成的呢?从古到今,人们一直在不断地探索着。

古人对物质结构的认识带有强烈的猜测和思辨的成分。早在周代,我们的祖先就提出了“五行说”,即万物由金、木、水、火、土五种物质原料构成。战国时的老子提出了“阴阳说”,即“道生一,一生二,二生三,三生万物”。“二”是指阴和阳,阴阳合一为“冲气”;“三”者产生万物,是一种朴素唯物辩证自然观。古希腊哲学家德谟克利特(Democritos)等人提出的古代原子论,将人们对世界本原的认识跨上了抽象的阶段,认为物质是由许多不可分的永恒的微粒构成;并把这种微粒称为原子。原子的希腊文原意即是指“不可再分”。原子形态具有多样性,构成了纷繁复杂的世界。

真正对物质的构成进行科学的探索和解释,则是近二三百年来的事情。1898 年,卢瑟福(E. Rutherford)发现铀和铀的化合物所发出的射线有两种不同类型:一种是极易被阻挡物吸收的,他称之为 α 射线;另一种有较强的穿透能力,他称之为 β 射线。后来法国化学家维拉尔(P. U. Villard)又发现具有更强穿透本领的第三种射线——γ 射线。他打开了粒子结构研究的大门。1897 年,英国物理学家汤姆逊(J. J. Thomson)在对阴极射线所做的一系列定性和定量的实验中发现了电子,它带有负电,质量大约是氢原子质量的 1/1840,这是人类发现的第一个最为基本的粒子。此后,1911 年,英国科学家卢瑟福 α 粒子散射实验,确立了原子的核式结构,证实了原子是由电子和原子核组成的。

1923 年,物理学家德布罗意(L. de Broglie)提出了电子等微观粒子具有波粒二象性的观点。1925 年,物理学家薛定谔(E. Schrdinger)、海森伯(W. Heisenberg)等把德布罗意的理论大大向前推进,建立起了完整的量子力学的理论体系,它们成功地揭示了微观世界的基本规律,极大地加速了原子物理学和固体物理学的发展,加深了对微观物体的波粒二象性的理解,为数学上解决原子物理学、核物理学、固体物理学和分子物理学问题提供了一种有力的理论工具。可以说,量子力学是 20 世纪最迷人的科学理论。

1933 年,狄拉克(P. A. M. Dirac)关于正电子存在的预言被证实。1955 年塞格雷(E. G. Segrè)利用高能加速器发现了反质子。1959 年中国物理学家王淦昌等人发现了反西格玛负超子。莱因斯(Reines Frederich)等利用大型反应堆,经过 3 年的努力,终于在 1956 年直接探测到铀裂变过程中所产生的反中微子。到 1968 年,人们才探测到了来自太阳的中微子。1947 年鲍威尔(C. F. Powell)利用自己发明的照相乳胶技术在宇宙射线中找到了 1934 年汤川秀树(Yukawa Hideki)提出的介子场理论中预言的介子。到 50 年代末,基本粒子的数目已达 30 种。这些粒子绝大多数是从宇宙射线中发现的。从 1951 年费米(E. Fermi)首次发现共振态粒子以来,至 80 年代已发现的共振态粒子达 300 多种。

1964 年盖耳•曼(M. Gell Mann)和兹韦克(G. Zweig)在强子分类八重法的基础上分别提出强子由夸克构成,夸克共有上夸克、下夸克和奇异夸克三种,它们的电荷、重子数为分数。夸克模型可以解释当时已发现的各种强子。夸克模型得到后来进行的高能电子、高能中微子对质子和中子的深度非弹性散射实验的支持,实验显示出质子和中子内部存在点状结构,这些点状结构可以认为是夸克存在的证据。1974 年发现 J/ψ 粒子,其独特性质必须引入一种新的粲夸克 c,1979 年发现另外一种独特的新粒子 Υ,必须引入第 5 种夸克,称为底夸克 b。另一方面,1975 年发现重轻子 τ,并有迹象表明存在与 τ 相伴的 τ 中微子,于是轻子

共有 6 种。迄今的实验尚未发现轻子有内部结构。

随着当代粒子物理的迅猛发展，人们对物质结构的认识达到了前所未有的深度。

2. 现代粒子理论

基本粒子是构成物质的最基本的单元，也叫粒子，包括电子、正电子、质子、中子、光子、介子、超子、反粒子等。如此众多的基本粒子是各不相同的，随着人们认识水平的提高，人们逐步了解了微观世界的层次结构和基本规律。

(1)基本粒子的分类。根据作用力的不同，粒子分为强子、轻子和传播子三大类。

强子就是所有参与强力作用的粒子的总称。它们由夸克组成，已发现的夸克有五种，它们是：上夸克、下夸克、奇异夸克、粲夸克和底夸克。理论预言还有第六种夸克存在，已命名为顶夸克，但目前尚未在实验中发现。现有粒子中绝大部分是强子，质子、中子、π 介子等都属于强子。

轻子就是只参与弱力、电磁力和引力作用，而不参与强相互作用的粒子的总称。轻子共有六种，包括电子、电子中微子、μ 子、μ 子中微子、τ 子、τ 子中微子。电子、μ 子和 τ 子是带电的，所有的中微子都不带电；τ 子是 1975 年发现的重要粒子，不参与强作用，属于轻子，但是它的质量很重，是电子的 3600 倍，质子的 1.8 倍，因此又叫重轻子。

传播子也属于基本粒子，即传递相互作用的基本粒子。传递强作用的是胶子，共有 8 种，1979 年在三喷注现象中被间接发现，它们可以组成胶子球，但至今尚未被直接观测到。传递弱作用的是中间玻色子 W^+、W^-、Z^0，中间玻色子是 1983 年发现的，非常重，是质子的 80~90 倍。传递电磁相互作用的是光子，传递引力的传播子太弱，极难探测到，至今尚未发现。

(2)基本粒子的性质。每一种粒子都有一些特征的物理性质，把它和其他粒子区分开来。质量、寿命、电荷和自旋是基本粒子最重要的性质。

大小：基本粒子的大小是用半径来表示的，其大小要比原子、分子小得多，现有最高倍的电子显微镜也不能观察到。原子的半径是 10^{-10}m，质子的半径是 10^{-15}m。而轻子和夸克的尺寸尚不确定，但可以肯定的是，它们半径更小，还不到质子、中子的万分之一。

质量：粒子的质量是粒子的另外一个重要特征量。按照规范理论，所有规范粒子的质量为零，而规范不变性以某种方式被破坏了，使夸克、带电轻子、中间玻色子获得质量。现有的粒子质量范围很大，从 0 到 90G 电子伏。光子、胶子是无质量的；电子质量很小，只有 0.5 兆电子伏；π 介子质量为电子质量的 280 倍；质子、中子都很重，接近电子质量的 2000 倍，约为 1G 电子伏。已发现的五种夸克，从下夸克到底夸克，质量从轻到重。下夸克质量只有 0.3G 电子伏，而底夸克重达 5G 电子伏，顶夸克还没有发现，理论预言它的质量可能超过 100G 电子伏。中微子的质量非常小，目前已测得的电子中微子的质量小于 7 电子伏，即为电子质量的七万分之一，已非常接近零。

寿命：粒子的寿命是粒子的第三个主要特征量。电子、质子、中微子是稳定的，称为“长寿命”粒子；而其他绝大多数的粒子是不稳定的，即可以衰变。一个自由的中子会衰变成一个质子、一个电子和一个中微子；一个 π 介子衰变成一个 μ 子和一个中微子。粒子的寿命以强度衰减到一半的时间来定义。质子是最稳定的粒子，实验已测得的质子寿命大于 10^{33} 年。

粒子的对称性：粒子具有对称性，有一个粒子，必有一个反粒子。1932 年科学家发现了一个与电子质量相同但带一个正电荷的粒子，称为正电子；后来又发现了一个带负电、质量与质子完全相同的粒子，称为反质子；随后各种反夸克和反轻子也相继被发现。一对正、反

需要全本请访问 www.ertongbook.com

粒子相碰可以湮灭，变成携带能量的光子，即粒子质量转变为能量；反之，两个高能粒子碰撞时有可能产生一对新的正、反粒子，即能量也可以转变成具有质量的粒子。

自旋：粒子还有另一种属性——自旋，每个粒子都做自旋运动。它们的自旋角动量也是量子化的，其值可以用一个自然数或自然数加 1/2 来表示，自旋为半整数的粒子称为费米子，为整数的称为玻色子。

电荷：除了不带电的中性粒子外，粒子所带的电荷是量子化的，都是质子电荷的整数倍，故通常以质子电荷作为电荷的最小单位。

(3)基本粒子的相互作用。基本粒子间存在着四种相互作用。所谓相互作用，从通俗的意义上说就是力。世界所有的相互作用，可归结为 4 种基本力：万有引力、电磁力、强力和弱力。由于基本粒子的质量很小，它们之间的万有引力常常可以忽略不计。引力和电磁力都属于长程力，它们作用的强度与距离的平方成反比。强力和弱力则是短程力，它们在宏观世界不能直接被观察到，只有在很小的范围内才能起作用。强力的作用范围是 10^{-15} 米左右，弱力的作用范围是 10^{-17} 米，即它们的力所能及的范围只分别相当于原子半径的 10^{-5} 和 10^{-7} 倍。原子核内部的质子和中子之间的作用力主要为强力；夸克之间的作用力也是强力，其强度在 4 种基本力中最大。弱力非常微弱，一般只存在于中子及其他粒子的衰变过程中，其强度比引力大得多，但比电磁力弱。四种力的强度之比为：

强力:电磁力:弱力:引力=1:10^{-2}:10^{-13}:10^{-38}

这 4 种力都分别由不同的粒子作为传递的媒介。光子是电磁力的传递者；胶子是强力的传递者；中间玻色子 W^+、W^-、Z^0 是弱力的传递者。引力的传递者尚未发现。

(4)微观世界的基本规律。基本粒子除了与宏观物质一样遵从能量(质量)守恒，电荷守恒，动量、角动量守恒外，粒子还有其特有的守恒定律：

重子数守恒。重子的重子数 B 为+1，反重子的重子数 B 为−1。粒子反应前后重子数守恒，重子数不守恒的反应目前是不存在的。

轻子数守恒。所有轻子都有一定的“轻子数”，这是轻子所独有的。轻子数又可分为两类：一类是电轻子数 L_e，e^-和 v_e(电子中微子)的电轻子数为+1，e^+和 v^-_e(反电子中微子)的电轻子数为−1；另一类是 μ 轻子数 L_μ，μ^-和 v_μ(μ 子中微子)的 μ 轻子数为+1，μ^+和 v^-_μ(反 μ 子中微子)的 μ 轻子数为−1。在所有的相互作用中，它们各自独立守恒。例如，中子衰变为一个质子、一个电子和一个反电子中微子的过程中，衰变式为：

$n \rightarrow p+e^-+v^-_e$

其中：中子 n 和质子 p 的轻子数为零；e^-和 v^-_e 的轻子数之和为零。等式两边相等，轻子数守恒。

奇异数守恒：K 介子与超子称为奇异子。奇异子的奇异数不为零，非奇异子的奇异数为零。强相互作用过程，奇异数守恒。弱相互作用过程与电磁相互作用，奇异数不守恒。

同位旋守恒：同位旋是强子的一个量子数，由海森堡于 1932 年提出。强相互作用过程，同位旋守恒；弱相互作用过程与电磁相互作用，同位旋不守恒。

宇称守恒：宇称与空间反演变换有关。粒子有自己特有的宇称状态称为粒子的内禀宇称。在强相互作用与电磁相互作用中，宇称守恒。在弱相互作用中，宇称不守恒。对宇称是否守恒的认识，人类经历了很大波折。从 1924 年提出宇称概念以来，在大量实验中认为宇称是守恒的。1956 年，美籍华人李政道与杨振宁面对所谓的“τ–θ 之谜”，此前认为 τ 介子和

θ介子是同一个粒子，它们的质量、寿命等多数性质相同。可却有不同的衰变方式，介子的宇称都是负的，可是τ介子和θ介子却是宇称相反的。李、杨两人又发现在弱相互作用里，宇称守恒都没有得到验证过。于是，李政道、杨振宁等人提出了宇称在弱相互作用里不守恒，并认为弱相互作用下宇称不守恒的原因是由于中微子的存在，中微子在自然界中没有相应的“镜像粒子”的存在。这引起了物理界的巨大反响，连著名物理学家泡利(W. E. Pauli)刚开始都强烈反对这个观点。直到吴健雄等人的实验验证后，宇称在弱相互作用里守恒的成见才被打破。在微观世界里，守恒性和对称性之间存在着极其深刻的本质联系。例如，要保证物体在空间作任意的平移而不受影响，即保证相对于空间平移的不变性，必然要求物体处于无外场的空间，不受外力作用，则物体的动量必定守恒。所以说，守恒定律具有普遍意义的根源就在于时间、空间等物质存在形式的各向同性及均匀性，而对称性只是其中的一部分。

3. 现代物质结构研究的技术手段

深入进行核物理研究就需要能量更高的粒子束，这就对用人工方法产生高能粒子束提出了迫切的要求，粒子加速器由此诞生。粒子加速器，是通过将粒子加速后“打靶”、“轰击”来了解微观物质的组成和运动规律。

随着科学技术的发展，粒子加速器的能量越来越高，人类对物质的组成逐渐有了更深层次的认识：原子核是由质子(约为10^{-15}米)和中子组成的，质子和中子是由夸克(约为10^{-18}米)组成的。近年来的实验已经有了夸克可能是由更小的粒子组成的迹象，物理学家认为，在一定层次结构范围内，寻找基本粒子的工作，建造高能量的粒子加速器是开展进一步研究的重要前提。因此，高能量、高技术的粒子加速器是研究基本粒子不可或缺的重要手段和工具。

带电粒子在电场中会受力而得到加速、提高能量，这是粒子加速器仍采用的基本原理，中性粒子不可能在这样的原理下得到加速。因此，粒子加速器应定义为利用电磁场加速带电粒子的装置。粒子加速器可以加速电子、质子、离子等带电粒子，使粒子的速度达到几千公里每秒、几万公里每秒，甚至接近光速。根据相对论原理，加速器可以把带电粒子的速度增加到无限接近光速，但无论如何也达不到光速。

目前世界上最大的粒子对撞机在欧洲核子研究中心，它能把一个带电粒子加速到数万亿电子伏特(eV，1 电子伏特=1.6×10^{-19}焦耳)，把数百万个这样的粒子聚成毫米级的粒子团，这些粒子团被引导在长达 26.6 公里的环形轨道上接近于光速奔跑，需要时把正反方向运动的粒子团引导到一个点上发生碰撞。可以想象，如此高能量的粒子正面对撞，有些一定会被撞得粉身碎骨，面目全非。这也正是科学家想要看到的，从中可以知道粒子是由什么构成的，或者会发现一些新粒子。

北京正负电子对撞机(简称 BEPC)是我国在 20 世纪 80 年代建成的一台高能粒子加速器。BEPC 占地 5 万平方米，由注入器(BEL)、输运线、储存环、北京谱仪(BES)和北京同步辐射装置(BSRF)等几部分组成。BEPC 主要是开展高能物理方面的研究工作，同时可利用同步辐射光开展多学科的应用研究。BEPC 无论从工程设计到设备制造工艺都有其独特的创新，比如：BEPC 的磁聚焦设计和为补偿谱仪的螺旋形磁场所采取的方法都是世界上独一无二的，通过 BEPC 关键部件的研制生产，高技术向产业转移，使我国在电子学技术、微波和高频技术、真空技术、电磁铁和大功率高稳定度电源制造技术、同步辐射光学工程技术等方面有了较大突破和提高，有力地推动了我国机械、电子工业技术的发展。

二、宇宙的起源和演化

1. 宇宙的概观

宇宙是广袤空间和其中存在的各种天体以及弥漫物质的总称。《淮南子·原道训》注："四方上下曰宇，古往今来曰宙，以喻天地"。即宇宙是天地万物的总称。

千百年来，科学家们一直在探寻宇宙是什么时候、如何形成的。直到今天，科学家们才确信，宇宙是由大约 150 亿年前发生的一次大爆炸形成的。目前我们观测到的宇宙范围称作总星系，半径约 100 亿光年。总星系内的星体并不是均匀分布的，一群一群的恒星组成旋涡形、椭圆形、透镜形以及不规则形状，称作星系，总星系中有 10 亿个星系。星系有大有小，小者有几万颗恒星，大者有上亿颗恒星，星系与星系之间的距离平均约 1.6 亿光年。多种多样的天体，运动在广袤的宇宙中，它们相互吸引、互相绕转而形成天体系统。层次由小到大排列有：

⑴地月系。地球与月球构成了一个天体系统，称为地月系。在地月系中，地球是中心天体，因此一般把地月系的运动描述为月球对于地球的绕转运动。然而，严格地说，月球并不是绕地球旋转，而是绕地月系的共同质心（位于地心与月心连线上距地心 4671 公里处）旋转，地球也绕该共同质心与月球作同步对称绕转，但绕转半径与月球相比小 80 余倍，地球与月球绕它们的公共质心旋转一周的时间为 27 天 7 小时 43 分 11.6 秒，也就是 27.32166 天，这种绕转使得月球与地球之间的引力和离心力达到平衡。

月球在绕地月系的共同质心旋转的同时，还随地球一起绕太阳公转，所以它在太阳系中的实际运动轨迹是这两种运动叠加的结果，表现为在公转轨道两侧起伏的波浪线。当月球运行到与太阳同处于地球一侧的同一方向上时（称日月相合），月球被太阳照射而反光的一面正好背着地球，地球上观察者看不见月球，这时称为朔月或新月；与此相对，当月球运行到与太阳分处于地球两侧的同一方向上时（称日月相冲），月球受太阳照射的一面正好向着地球，这时称为望月或满月；从朔月到望月，月球受光面向着地球的比例逐渐变大，当到达一半时称为上弦月；而从望月到朔月的一半时称为下弦月。这种月亮圆缺的各种形状叫做月相。

当月球运行到太阳和地球之间，月球遮住了太阳，便是日食；当月球运行到地球的背后，进入地球的阴影，便是月食。由此可见，日食一定发生在农历初一的朔，月食一定发生在农历十五或十六的望。但并非每月的初一都有日食，每月的十五、十六都有月食。这与月球的运行轨道有关。

宇宙天体之间都存在相互作用，其中所谓"潮汐作用"是重要的作用形式之一。由于地月间距离相对较近，这种潮汐作用更为明显。太阳系天体中，月球对地球的潮汐作用约为太阳对地球潮汐作用的 2.2 倍，并远远大于其他天体对地球的潮汐作用。由于月球的潮汐摩擦作用使得地球自转变慢，每天时间变长，平均每一百年增加近千分之二秒。同时，由于地球自转变慢，使得月球缓慢向外作螺旋运动，目前月球正以每年 3~4 厘米的速度远离地球。同样道理，地球对月球的潮汐作用，使得月球自转周期变得与其公转周期相同。月球的自转和公转都是自西向东的。月球的这种自转，称为同步自转。因此，自古以来，人们看到月球总是以同一面朝向我们地球。

⑵太阳系。以太阳为中心存在着一个受太阳引力支配的天体系统——太阳系。太阳是

其中唯一的一颗恒星，其质量占整个太阳系的 99.87%，能发出强烈的光和热。围绕太阳旋转的是一个行星体系，主要有八大行星（由里向外依次为：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星）及众多的小行星（主要分布于火、木星之间）、卫星、彗星和陨星等。太阳发出的光需要 5.5 小时才能穿出太阳系。太阳系所拥有的这一巨大空间以宇宙标准来看实际上是很小的一个范围。

太阳系的天体以太阳为中心作高速旋转。太阳系中行星的分布及运转几乎都在一个共同的平面内，这个平面称为黄道面。行星运动有两种主要形式：自转和绕太阳公转。绝大部分行星绕太阳公转的方向及其自转方向都相同，也与太阳自转的方向一致（从地球北极上空朝下看皆为逆时针运转）。

（3）银河系。银河系是一个旋涡星系。银河系主要成员是恒星、星云、星际物质以及各种射线。银河系包含有 2000 多亿颗恒星，银盘直径约 10 万光年，是太阳系直径的 8000 万倍；太阳系距银河系中心 27700 光年。正面呈旋涡形，侧面呈扁饼形。在夏夜无月的晴空，可看到有一条宽窄不一的银白色光带纵贯南北，这就是银河。

（4）星系。银河系以外，还有一个庞大的天体系统，称为河外星系，简称星系。银河系和星系总称为总星系，是目前观测到的宇宙范围。

2. 人类对宇宙的认识和探索

早在 2300 多年前，我国战国时代的思想家庄子就浪漫激情地幻想“旁（傍）日月，挟宇宙”。其实文中的“宇”、“宙”二字原指“屋檐”和“栋梁”，都是指人居住的地方，后来才延伸为“天地四方（空间）、古往今来（时间）的总称。它超越了东西南北的方位，无边无际；超越了一朝一夕的时间，无穷无尽。古代的人们首先注意到的宇宙现象，如昼夜交替、月亮圆缺、日食月食、天体位置随季节的变化以及行星在星空背景上的移动等等，实际上只是太阳、地球、月亮、行星等太阳系天体运动的反映。因此，以这些现象为基础建立起来的宇宙理论，无论是中国古代“天圆如张盖，地方如棋局”的盖天说，还是古希腊以地球为中心，依次排列月亮、水星、金星、太阳、火星、木星、土星、恒星等“九重天”的地心说，都没超出太阳系的范围。恒星在这些宇宙理论中的地位，只不过是个一成不变的布景或陪衬。

1543 年，哥白尼《天体运行论》问世，系统地提出了“日心说”，虽然仍未超出太阳系的局限，但却把地球从居于宇宙中心的特殊地位降为一颗绕太阳旋转的普通行星，正确地反映了太阳系的实际情况。这不仅直接为以后开普勒总结出行星运动定律，伽利略、牛顿建立经典力学体系铺平了道路，而且从根本上动摇了人类中心论、“上帝创世”等宗教教义不可冒犯的神话。它作为自然科学第一次从神学桎梏下解放出来的“独立宣言”，在人类思想史以至社会发展史上做出了不可磨灭的贡献。

18、19 世纪是太阳系天文学发展的鼎盛时期。发明望远镜后，人们不仅发现了天王星、大量的小行星、行星卫星等太阳系成员，还根据天王星实际观测的位置与理论计算的偏差，用天体力学准确地预言了海王星的存在和位置，并最终发现了海王星、冥王星，从而有力地证明了当时的宇宙理论同太阳系的客观实际是相符的。与此同时，人类的视野也逐渐由太阳系扩展到更为广阔的恒星世界。

著名的天文学家弗里德里克·威廉·赫歇尔(D. W. Herschel)父子通过不懈的系统观测，用大量观测事实有力地提出银河系是一个星系的观点。赫歇尔父子用亲手制作的望远镜，先后探察了北半球 1083 个天区共计 11 万多颗星，在地球的南半球共探测了 2299 个天区

计 70 万颗星，第一次为人类确定了银河系的盘状旋臂结构，把人类的视野从太阳系伸展到 10 万光年之遥。至此，人们才惊奇地发现，一向认为大得不得了的太阳系，只不过是银河系边缘上的一个不起眼的小小成员而已。赫歇尔家族为观测和发现银河系做出了不可磨灭的贡献。他们论述的银河系结构在今天看来尽管不甚准确，但他们的工作却构成了继哥白尼以后开拓宇宙视野的第二个里程碑。

20 世纪以来，现代宇宙学得到了较大发展。爱因斯坦 1915 年创立的广义相对论被认为是现代宇宙学产生的理论前提。1917 年，爱因斯坦发表了《根据广义相对论对宇宙学所作的考察》一文，其中提出了有限无边的宇宙模型，成为现代宇宙学的理论先声。哈勃(E. P. Hubble)关于星系红移的发现是现代宇宙学的观测基础。现代宇宙学在多年的观测中，积累了丰富的资料，涉及到宇宙密度、元素丰度、星系或宇宙的年龄等大尺度宇宙的特性。

3. 宇宙的起源和演化

宇宙是如何起源的？自古以来一直是人类最感兴趣和不懈探索的问题，历史上曾经出现过各种各样的神话传说。20 世纪以来，由于科学技术的发展，人们在对宇宙观测中取得了越来越多的重大发现，从而逐渐建立起科学的宇宙模型即大爆炸宇宙学模型。

(1)大爆炸宇宙学模型。20 世纪 20 年代，美国天文学家斯莱弗(V. M. Slipher)在研究远处的旋涡星云发出的光谱时，首先发现了光谱的红移，认识到了旋涡星云正快速远离人们而去。1929 年哈勃把这种光谱红移的测量与星系的距离的测量结合起来，总结出了著名的哈勃定律。根据哈勃定律和后来更多天体红移的测定，人们相信宇宙在长时间内一直在膨胀，物质密度一直在变低。由此反推，宇宙的结构在某一时刻前是不存在的，它只能是演化的产物。因而伽莫夫(G. Gamov)等人首先提出了大爆炸宇宙学模型，他认为宇宙曾有一段从密到稀，从热到冷，不断膨胀的过程，这个过程就好像是一次规模巨大的爆炸，大爆炸理论把宇宙的演化分为以下几个阶段：

基本粒子形成阶段(宇宙的极早期)：在大爆炸发生后的第一秒内，宇宙就进入了基本粒子阶段，这时宇宙处于一种极高温、高密的状态，温度高达 100 亿摄氏度，在宇宙里没有任何化学元素，只有各种基本粒子形态的物质存在，如：中子、质子、电子、光子等。宇宙在这个阶段的时间特别短，在不到 1 秒钟就完成了。

辐射阶段(元素起源阶段)：从大爆炸后的第一秒到三分钟，宇宙就进入了辐射阶段，这时宇宙的温度降到 10 亿摄氏度左右，宇宙各处都充满了排斥(辐射)，在辐射阶段的后期，实物(质子、中子、电子等粒子)已开始发生了很大的变化，当温度进一步下降时(时间约为三分钟)，中子开始失去自由存在的条件，开始与质子合成重氢(氘)、氦等核元素，于是就形成了几种不同的化学元素，核合成结束后，氦的含量按质量计算约占 25%~30%，氘占 1%，其余大部分都是氢，由于氦十分稳定，所以这些氦能够一直保留到今天，这一阶段足足持续了将近一万年。

实物阶段：在大爆炸后一万年，随着宇宙的膨胀，温度下降到几千摄氏度，实物密度大于辐射密度，辐射退居次要位置，辐射减退后，宇宙间主要是气状物质，由于这种实物物质不再受辐射的影响，当发生某种非均匀扰动时，有些气体物质在引力的作用下凝聚成气体云，气体云再进一步收缩就产生了各种各样星系，成为我们今天所看到的宇宙，在无数恒星的演化中产生了太阳和太阳系。

大爆炸宇宙学模型发展至今，能统一地说明以下几个观测事实：①大爆炸理论认为所

有恒星都是在温度下降后产生的，因而任何天体的年龄都应比从温度下降到至今的时间短，即小于200亿年，对各种天体年龄的测量证明了这一点。②观测到河外天体有系统性的谱线红移，而且红移与距离大体成正比。如果用多普勒效应来解释，那么红移就是宇宙膨胀的反映。③在各种不同天体上，氦丰度相当大，而且大都是30%。用恒星核反应机制不足以说明为什么有如此多的氦。而根据大爆炸理论，早期温度很高，产生氦的效率也很高，则可以说明这一事实。④根据宇宙膨胀速度以及氦丰度等，可以具体计算宇宙每一历史时期的温度。特别是关于氢元素丰度的解释和微波背景辐射的测量，说明大爆炸宇宙学模型正在走向成熟。但这并不能说明该理论无可挑剔。相反，大爆炸理论存在诸多包括视界问题、奇性问题、磁单极子问题、重子不对称问题、暗物质问题和宇宙常数等，这些都有待于进一步研究。相信对这些问题的不断解决，必将进一步完善大爆炸宇宙学模型。

(2)星系的起源和演化。借助现代大型望远镜能观测到的星系估计有数十亿个。科学家们利用哈勃望远镜测定了约30000个星系的距离。分析发现，在宇宙大爆炸后的膨胀过程中，分布不均匀的星系前物质收缩形成原始星系，再演化成星系。关于原始星系的诞生，有两种见解，一种是引力不稳定假说，另一种是宇宙湍流假说。引力不稳定假说认为在复合时期前后的30亿年期间，星系团规模的引力不均匀性开始出现并逐渐增长，这时宇宙物质不稳定而聚成原始星系。宇宙湍流假说认为在宇宙等离子物质复合以前，强辐射压可能引起湍动涡流，物质中性化后涡流的碰撞、混合、相互作用产生巨大的冲击波，形成团块群，再演变为星系。

原始星系在收缩过程中，出现第一代恒星，在原始星系的中心区，收缩快、密度高、恒星的形成率也高，形成旋涡星系的星系核或旋涡星系整体。第一代恒星大约在1000万年内便耗尽了自己的燃料，在寿命即将结束时，通过爆发不断向宇宙空间喷射物质，转化为星际物质。星际物质又在漫长的岁月里慢慢凝聚成新一代的恒星，进入第二代、第三代恒星的形成和演化。

(3)恒星的起源和演化。恒星的早期是由星际气体云聚集成星云阶段。在星际空间普遍存在着极其稀薄的物质，主要由气体和尘埃构成。它们的温度约10~100开，密度约10^{-24}~10^{-23}克/厘米^3，相当于1立方厘米中有1~10个氢原子。星际物质在空间的分布并不是均匀的，通常是成块地出现，形成弥漫的星云。星云里3/4质量的物质是氢，处于电中性或电离态，其余约1/4是氦以及极少数比氦更重的元素。在星云的某些区域还存在气态化合物分子，如氢分子、一氧化碳分子等。如果星云里包含的物质足够多，那么它在动力学上就是不稳定的。在外界扰动的影响下，星云会向内收缩并分裂成较小的团块，经过多次的分裂和收缩，逐渐在团块中心形成了致密的核。当核区的温度升高到氢核聚变反应可以进行时，一颗新恒星就诞生了。

当星际物质凝聚成恒星后，恒星的演化就决定于其内部的核反应过程，在稳定状态下，恒星向内的万有引力和向外的运动压力及辐射压力达到平衡。但在某些情况下，这个平衡条件会受到破坏，在不同演化阶段的恒星有不同的观测表现。恒星以内部氢核聚变为主要能源的发展阶段就是恒星的主序阶段。处于主序阶段的恒星称为主序星。主序阶段是恒星的青壮年期，占其生命的主要部分，恒星在这一阶段停留的时间占整个寿命的90%以上。这是一个相对稳定的阶段，向外膨胀和向内收缩的两种力大致平衡，恒星基本上不收缩也不膨胀。恒星停留在主序阶段的时间随着质量的不同而相差很多。质量越大，光度越大，能量

需要全本请访问 www.ertongbook.com