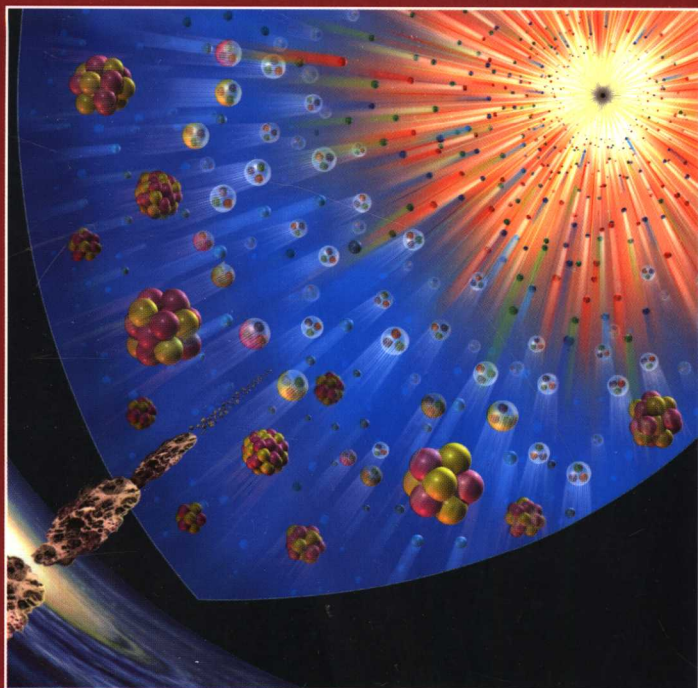


2006

科学发展报告

Science Development Report

中国科学院



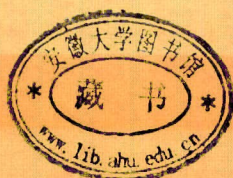
科学出版社

www.sciencep.com

2006 科学发展报告

2006 Science Development Report

● 中国科学院



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是中国科学院发布的年度系列报告《科学发展报告》的第九本,旨在综述2005年度世界科学进展与发展趋势,评述科学前沿与重大科学问题,报道我国科学家所取得的突破性成果,介绍科学在我国实施“科教兴国”与“可持续发展”两大战略中所起的作用,并向国家提出有关中国科学发展战略和政策的建议,特别是向全国人大和全国政协会议提供科学发展的背景材料,为高层科学决策提供参考。

本书可供各级管理人员、科技人员、高校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

2006 科学发展报告 / 中国科学院编. — 北京: 科学出版社, 2006
(中国科学院科学与社会系列报告)
ISBN 7-03-016921-2

I. 2… II. 中… III. 科学技术—发展战略—研究报告—中国—
2006 IV. ① N12 ② G322

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 012189 号

责任编辑: 侯俊琳 / 责任校对: 包志虹

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 张 放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 3 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2006 年 3 月第一次印刷 印张: 21

印数: 1—11 000 字数: 420 000

定价: 75.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)



百年物理学的启示

(代 序)

路甬祥

一百年前，爱因斯坦（A. Einstein, 1879~1955）在伯尔尼狭小而简陋的公寓里写下了多篇科学文章，其中的五篇论文，即讨论了光量子及光电效应的《关于光的产生和转化的一个启发性观点》，推导出计算分子扩散速度数学公式的《分子大小的新测定》，提供了原子确实存在证明的《关于热的分子运动论所要求的静止液体中悬浮小粒子的运动》，提出时空关系新理论的《论动体的电动力学》，以及根据狭义相对论提出质量与能量可互换思想的《物体的惯性是否决定其内能》，成为科学史上著名的论文。特别是作为相对论奠基之作的《论动体的电动力学》，拉开了现代物理学革命的序幕。

这场以量子论和相对论为基础的现代物理学革命，将科学引入一个新的时代，由此，人类认知的触角伸向广袤的宇宙，伸向遥远的宇宙起源之初，伸向人类在此之前所未知

的微观物质层面。现代物理学革命在以后的岁月里还引发了生命科学和地球科学的革命。这一切改变了人类的物质观、时空观、生命观和宇宙观。而且，现代物理学革命催生出核能、半导体、激光、新材料和超导等技术物理，促进了一批新技术的飞速发展，并由此改变了人类的生产和生活方式，引领人类走向知识经济时代。

爱因斯坦等现代物理学革命的缔造者，无疑是科学史上乃至人类历史上的划时代伟人。我们纪念他们，回顾一百年来物理学的发展历程，并不仅仅是为了感念和追思，更重要的是要从他们的成就与发现历程中汲取可贵的启示与经验，以对我们把握科学的未来与发展有所裨益。

一、实验与理论之间的矛盾催生新的科学概念

19世纪末，当时人们正在陶醉于经典物理学的解释，甚至有人认为，物理学已经无大事可做。但是就是在这种情况下，一些物理现象的发现，开始预示着经典物理学解释的局限性。

冶金工业迅速发展所要求的高温测量技术推动了对热辐射的研究，19世纪中叶的德国成为这一研究的发源地。所谓热辐射就是物体被加热时发出的电磁波，它很强地依赖于物体自身的温度。麦克斯韦的电磁场理论把光作为电磁现象囊括在其中，但它只能解释光的传播，而对于热辐射的发射和吸收则无能为力。基尔霍夫(R. G. Kirchhoff, 1824~1887)提出用黑体作为理想模型来研究热辐射(1859)，维恩(W. Wien, 1864~1928)确认可以将一个带小孔空腔的热辐射性能看做一个黑体(1896)。一系列的实验表明，这样的黑体所发射的辐射能量密度只与其温度有关，而与其形状及其组成的物质无关。怎样从理论上解释黑体能谱曲线，成了当时热辐射研究的根本问题。维恩根据热力学的普遍原理和一些特殊的假设，提出了一个黑体辐射能量按频率分布的公式(1896)，普朗克正是在这时候加入了热辐射研究。

为了解释黑体辐射光谱的能量分布曲线，普朗克在1900年给出了一个与实验结果非常吻合的公式。然而，这个公式要求黑体辐射所发射或吸收的能量是确定大小的能量子，这就意味着能量也像物质一样具有粒子性——能量的分离性或不连续性。1905年，爱因斯坦把量子的概念推广到光的传播过程中，提出了光量子理论，并成功地解释了光电效应。1913年，丹麦物理学家玻尔(N. Bohr, 1885~1962)又把量子的概念推广到原子，以原子的能量状态不连续假设为基础，建立了量子论的原子结构模型。德国物理学家海森伯(Werner Karl Heisenberg, 1901~1976)不满意玻尔原子理论的不自洽，他直接从光谱的频率和强度的经验资料出发，于1925年提出矩阵量子力学。翌年，奥地利物理学家薛定谔(E. Schrödinger, 1892~1961)改进了德布罗意(L. V. de Broglie, 1892~1994)基于波粒二象性的物质波理论，提出了波动量子力学。而后的研究进展不仅证明

矩阵和波动两种量子力学的数学等价性,而且美国物理学家费曼(R. P. Feynman, 1918~1988)又发展出第三个等价物——路径积分量子力学。由此,量子理论趋于完善。

正是热辐射这一疑难成了量子论诞生的逻辑起点。作为能量的“量子”概念诞生在1900年,它的提出和推广导致描述微观粒子运动的量子力学在1920年代形成,并进而与狭义相对论结合,发展出描述微观粒子产生和湮灭的量子场论。量子场论的发展经历了经典量子场论(对称的)、规范量子场论(非对称的)和超对称量子场论三个阶段,不仅揭开了肉眼看不见的微观世界的秘密,并且加深了人类对宇宙演化的理解,革新了人们认识世界的方式,而且还带来了一系列重大的技术突破。

从对黑体辐射的实验研究到量子理论的提出,我们可以认识到,科学归根结底是实证知识体系,一旦理论与严密的实验结果不一致,无论这种理论的权威性如何,无论这种理论得到多少人、多少年的信奉,作为科学家,都有理由去怀疑理论本身。同时,我们还认识到,科学探索的最终结果是对发现的自然现象做出理论解释,而做出理论解释,不仅需要严谨的科学态度和理性的质疑精神,更需要有深邃的思考和缜密的分析能力,以及理论思维能力。

二、重大科学突破始于凝练科学问题

爱因斯坦提出的相对论,是一种崭新的时空观。相对论的关键科学问题在于同时的相对性。相对论合理地解释了时间与空间相联系、空间与物质分布相联系、物质和能量相联系,改造了牛顿以来的经典物理学知识体系,不仅与量子力学一起构成了20世纪物理学发展的基础,而且把人类对自然的认识提升到一个全新的水准,深刻地影响了人们的思维方式和世界观。

相对论的创立源于作为电磁波假想载体的“以太”的危机。美国物理学家迈克尔逊(A. A. Michelson, 1852~1931)于1887年公布的实验报告《关于地球和光以太的相对运动》表明,在牛顿力学领域里普遍成立的相对性原理在麦克斯韦电磁场理论中不成立。荷兰物理学家洛伦兹(H. A. Lorentz, 1853~1928)和法国物理学家彭加勒(J. H. Poincaré, 1854~1912)等都想在保留以太假说的基础上解决这一矛盾,洛伦兹通过引入“长度收缩”(1892)、“局部时间”(1895)和新的变换关系(1904),证明了在一级近似下,地球系统与“以太”服从相同的规律;而彭加勒提出的相对性原理(1904)和洛伦兹提出的变换群(1905)则强调相对性原理的普遍有效性。虽然他们两人的工作已经不自觉地偏离了经典物理学的框架,并且实质上是在叩打相对论的大门,但创立相对论的重任还是留给了爱因斯坦。

爱因斯坦的成功不仅在于他把电磁场看做独立的物理存在,并认为“以太”假说是多余的,最重要的是,他提出了“同时的相对性”这一关键的科学问题。爱因斯坦在《论

动体的电动力学》(1905)中,通过严密分析后指出,同一地点发生的两个事件的同时性是不依赖于观察者的,而异地发生的两个事件的同时性则是依赖于观察者的,只有指明相对哪个观察者而言才有意义。同时的这种相对性,我们在日常生活中几乎观察不到,观察者的运动速度只有接近光速才能发现。爱因斯坦借助于同时的相对性概念,通过光速恒定和相对性两条原理,推导出狭义相对论的主要结论。它的进一步发展是广义相对论(1915)和统一场论,爱因斯坦以其相对论研究的三部曲向物理学的同行展示了他非凡的科学思维创造力。

三、科学想像力需要严谨的实验证据支持

在广义相对论发表的翌年,爱因斯坦发表了《根据广义相对论对宇宙学所作的考察》(1917),这篇论文标志着现代宇宙学的诞生。尽管爱因斯坦的宇宙模型沿袭了牛顿的静态宇宙观,但其所给出的场方程却允许宇宙动态解的存在。1917年荷兰著名天文学家德西特(W. de Sitter, 1878~1933)、1922年俄国数学家弗里德曼(A. A. Фридман, 1888~1925),以及1927年比利时物理学家勒梅特(G. Lemaitre, 1894~1966)先后提出了宇宙膨胀论。美国天文学家哈勃(1889~1953)所观测到的红移现象,有力地支持了宇宙膨胀论。在宇宙膨胀论的基础上,1946年俄裔美国物理学家伽莫夫(G. Gamov, 1904~1968)通过引入核物理学知识,提出了大爆炸宇宙论,认为宇宙源于一个温度和密度接近无穷大的原始火球的爆炸。他的学生阿尔法(R. A. Alpher, 1921~)等于1948年进一步推算出宇宙大爆炸发生在150~200亿年前,并预言大爆炸的余烬在今日应表现为约3K的宇宙背景辐射。1964年,美国的两位电信工程师彭齐亚(A. A. Penzias, 1933~)和威尔逊(R. W. Wilson, 1936~),在研究卫星电波通信时发现,来自宇宙各个方向的强度不变的背景微波辐射,这种微波辐射正好相当于3.5K的黑体辐射。后经高精度测量,相应温度为2.736K。这一发现被认为是证实了大爆炸宇宙学背景辐射的预言,随后大爆炸宇宙学开始兴起,并且发展成为宇宙学的“标准模型”。

早在20世纪初,爱因斯坦就把地球磁场的起源列为物理学五大难题之一,但直到地震波方法确认了地球圈层结构以后的1960年,人们才提出“自激发电机”假说,而它的科学认证却要等到1995年由核—幔差异运动的证据获得。对固体地球内部结构了解的进展主要借助地震波方法,通过对穿透地球内部之地震波速度变化的分析,逐渐形成了关于地球的圈层结构概念。克罗地亚地球物理学家莫霍洛维奇(A. Mohorovičić, 1857~1936)发现地壳与地幔的分界面(1909),德裔美国地震学家古登堡(B. Gutenberg, 1889~1960)发现地幔与地核的分界面(1914),雷曼(I. Lehmann)发现液体外地核和固体内地核之间的分界面(1936),布伦(K. E. Bullen)提出地球的分层模型(1940)。核—幔旋转差异运动是为解释地磁场的起源而提出的一种假说,后来又被用来解释地磁极性倒

转的一种机制，但一直没找到直接的科学证据。在美国哥伦比亚大学工作的宋晓东和理查兹（P. G. Richards），通过对1967~1995年靠近南极的南美桑威奇群岛附近发生的38次地震记录的分析，测量了通过地球内核传到靠近北极的阿拉斯加的克里奇地震台的地震波速度，发现30年间南极发生的地震波到达北极快了0.3秒。由此直接证实了地球内核比地壳和地幔转得稍快，大约三四百年内要多转一周。这一发现得到另一中国旅美学者苏维加和美国地震学家杰旺斯基（Dziewonski）的肯定，他们通过对全球约2000个地震台之地震数据的分析得出了类似的结论，按照他们的计算，内核自转速率还要快些，在1969~1973年间就转过20~30度。

我们从爱因斯坦的相对论、宇宙大爆炸理论和地球磁场理论的提出与完善过程中可以看到，在科学的发展中，解决问题固然是重要的，而提出重要的科学问题似乎更重要。提出问题是科学研究的前提，提出重要的科学问题更能昭示科学所蕴含的创造性。有时，一个重要科学问题的提出甚至能够开辟一个新的研究领域和方向。提出问题，需要对已有知识的透彻理解，需要热爱真理胜过尊重权威的科学态度，需要极强的观察和洞察能力，以及创造性的思维能力，同时，还需要敢于创新的勇气和信心。

四、自然科学需要数学语言

近代物理学的书写语言是数学。德国天文学家开普勒（J. Kepler, 1571~1630）用代数方程总结出行星运动的三定律（1609~1619），被誉为世界第一位数学物理学家；意大利物理学家伽利略·伽利莱（Galileo Galilei, 1564~1642）以几何学方法论证落体运动定律（1638）；牛顿（I. Newton, 1642~1727）的著作《自然哲学的数学原理》（1687），把数学化树立为近代科学成功的标志。18世纪天体力学的主要进展多是靠数学方法取得的，19世纪实验开始上升为物理学的重要方法，实验物理学的数学化成为19世纪的特征。革命导师马克思甚至认为，只有当一门学科成功地运用了数学才可以认为是成熟了的学科。

在20世纪，物理学与数学的紧密关系远非其前的3个世纪所能比，并且越来越显示出数学与物理学的内在一致。例如，非欧几里得几何学与广义相对论，希尔伯特空间与量子力学，微分几何学与规范场论，这一切都预示着似乎数学早就提前为物理学准备了它所需要的工具。另一方面，物理学不仅使数学家们面临大量新的数学问题，而且能够引领着他们朝着意想不到的方向前进。物理学家狄拉克（P. A. M. Dirac, 1902~1984）和费曼提出的路径积分与泛函的内在联系，使得费曼积分的严格数学成为21世纪重要的数学问题之一；统计物理学与概率数学的内在联系，逐渐使得相变数学理论成为统计物理严格数学基础的核心问题之一。今天，我们对生命科学的数学化要有充分的思想准备，数学与生命科学的关系必将随着理论生物学的成长而越来越密切。不仅生命科学要去利用那些为描述生命现象提前准备好了的数学工具，数学也要沿着生命科学提出的那些意想

不到的方向前进。

数学与物理学结合的一大杰作是电子数字计算机,计算机使得物理学实现了数学提供的计算原理。英国数学家图灵(A. M. Turing, 1912~1954)提出机械计算模型(1936),美国数学家香农(C. E. Shannon, 1916~2001)提出用布尔代数分析复杂的开关电路(1938),美国数学家维纳(N. Wiener, 1894~1964)提出,自动计算机应采用电子管的高速开关组成逻辑电路,以进行二进制加法和乘法的数字运算(1940),匈牙利裔美国数学家冯·诺依曼(J. L. von Neumann, 1903~1957)提出计算机的内存程序理论(1945)。在这些思想的指导下,人们研制出电子数字计算机。电子计算机经过电子管、晶体管、集成电路等阶段,发展成能为广大公众普遍应用的个人电脑。电子数字计算机是一种延扩人脑的机器,它是数学与物理学结合的产物,而它的产生又对数学和物理学产生巨大的影响,产生出物理学的数学仿真。我们有理由期待数学与生命科学结合的生物计算机,并通过它理解人的大脑运作等诸多生命活动的复杂规律。

五、新仪器的发明为科学打开新的窗口

人类最早用眼睛观察,后来出现了光学望远镜和显微镜。它们在20世纪分别发展为射电望远镜和电子显微镜。但20世纪发明的最重要仪器是粒子加速器和电子计算机。加速器是人类认识微观世界的工具,电子数字计算机则成为人类智力的重要辅助工具。已知的射电、红外和紫外、X射线、 γ 射线,都是电磁辐射,但对于缺乏电磁辐射的暗天体我们还无法观察。我们通过射电望远镜看到了中子星,通过对脉冲双星的轨道10年(1974~1984)变化的观察,间接证明了引力波的存在。

科学家们依靠放射性物质和来自宇宙空间的高能粒子,对一些原子核内部的物质特性进行了探索,发现了 μ 介子(1936)、 π 介子(1947)和K介子(1947)等重要的粒子。加速器的发明使人类深入到缤纷的粒子世界。随着倍压加速器(1932)、静电加速器(1933)、回旋加速器(1932)、同步回旋加速器(1946)、等时性回旋加速器(1956)和对撞机(1956)的相继发明,安装在长岛(1952, 3GeV)、伯明翰(1953, 1GeV)、伯克利(1954, 6GeV)、杜伯纳(1957, 10GeV)和萨克雷(1958, 6GeV)的加速器先后运转,自加速器产生 π 介子(1948)以后,许多新粒子接踵发现。1960年代又发现了一批被称之为“共振态”的粒子。正是在对这些粒子分类研究的基础上,建立了夸克模型,并且不断验证和完善着基本粒子的标准模型。在加速器原理的基础上发展起来的同步辐射装置和自由电子激光装置,作为可调光源在基础科学多学科研究和工业领域都有广泛的应用。

电子数字计算机对于物理学研究来说有两方面的意义,一方面对没有解析解的物理方程可以用计算机实现数值解,另一方面实际上不能实现的某些设想的实验可以由计算

机来模拟。在原有的实验方法和理论方法之外，物理学又获得了一种新方法——数学仿真。数学仿真是一种介于经典演绎法和经典实验方法之间的新的科学认识方法，其实质在于它不是对客观现象进行实验，而是对它们的数学模型进行实验。数学仿真包括四个基本方面：建立对象的数学模型，拟订分析模型的数值方法，编制实现分析方法的程序，在电子计算机上执行程序。数学仿真使物理学形成实验物理、理论物理和计算物理三足鼎立的新格局。计算物理学的主要特征不在于“计算”，而在于对自然过程进行数字模拟。这种模拟的目的在于获得某些新发现，并通过理论物理方法的论证和实验物理法检验进一步确证。计算物理学的兴起以费米-巴斯塔-乌勒姆（E. Fermi-J. Pasta-S. Ulam）的《非线性问题研究》报告（1955）为起点，以洛伦兹（E. N. Lorenz）等发现混沌（1963）、克鲁斯卡耳（M. D. Kruskal）与扎布斯基（N. J. Zabusky）发现孤子（1964）、阿耳德（B. J. Alder）等发现长时尾（1967）这三大数学仿真发现为标志。计算物理学又发展出计算生物学和计算神经科学。在这种意义上，我赞成把计算物理学的兴起看作科学方法的一场重大革命。

在科学已经越来越依赖于研究手段的今天，实验手段的进步为科学打开新的窗口，不仅有助于理论的突破，甚至可以改变科学家的思路，开辟新的研究领域。任何轻视实验手段和方法论的思想，都可能使科学研究处于停滞或陷入困境。

六、物理学与生命科学的相互作用

物理学与其他自然科学学科的交叉和相互作用，曾经产生并形成了化学物理学、生物物理学和心理物理学，以及天体物理、地球物理、大气物理、海洋物理和空间物理等诸多交叉学科。但这种交叉和相互作用最突出的表现还在于，20世纪的生命科学在物理学的基础上发生了革命性的变化，即DNA双螺旋结构的发现及其广泛和深远的影响。

1953年，美国生物学家沃森（J. D. Watson, 1928~）和英国物理学家克里克（F. Crick, 1916~2004）发现DNA的双螺旋结构；1954年，俄裔美国物理学家伽莫夫提出核苷酸三联体遗传密码；1958年，克里克提出遗传信息传递从DNA到RNA再到蛋白质的中心法则；1961年，法国生物学家雅各布（F. Jacob, 1920~）和莫诺（J. Monod, 1910~1976）提出基因的功能分类和调节基因的概念。由此，分子生物学的理论框架基本形成。随着双螺旋结构模型的提出、“中心法则”的确立和基因重组技术的兴起，几乎所有对生命现象的研究都深入到分子水平去寻找生命本质的规律，这使分子生物学成为生命现象研究的核心理论和发展生物技术原理的源泉。20世纪70年代，基因重组开辟了基因技术的工程应用的可能性，从而使人类看到了运用生物技术造福人类的前景。

生命科学的这种革命性的变革是物理学、化学和生物学等学科相互交叉、相互作用的产物，在这一过程中，物理学的概念和方法起到了重要作用，物理学家深入到生命科

学领域进行探索,做出了重要的贡献。我们没有理由忽视量子波动力学创立者薛定谔的思想影响,他的《生命是什么》(1944)一书曾深深影响了一批物理学家和生物学家的思想,促成分子生物学诞生出三个学派:比德尔(G. W. Beadle, 1903~1989)代表的化学学派、德尔布吕克(M. Delbrück, 1906~1981)代表的信息学派和肯德鲁(J. C. Kendrew, 1917~)代表的结构学派。这三个学派的思想都深受物理学思想和方法的影响。物理学的X射线晶体衍射法为结构学派认识生物大分子的晶体结构提供了有力的手段,物理学家伽莫夫率先提出的三联体密码方案有力地推动了信息学派的成长。我们也要重视生命科学对物理学的影响,量子论主要创立者之一玻尔号召物理学家关心生命现象研究,其目的之一是在生命现象中寻找量子物理的适用界限。

七、社会需求的拉动及科学与技术的互动

早在1959年,美国物理学家费曼就幻想,用大机器制造小机器,用小机器制造更小的机器,以致能把大英百科全书记录在针尖大小的地方,甚至能够搬动和排列原子。在科学认识的推进和社会需求的拉动下,人们已经可以把加工尺度从微米(10^{-6} 米)级推进到纳米(10^{-9} 米)级。自1897年物理学家提出晶体的生长取决于结晶核数目、结晶速度和热导率三个独立变量以来,对微观结构和宏观性质认识得最深入并对它的加工制备技术掌握得最成熟的材料是半导体。

自英国物理学家法拉第(M. Faraday, 1791~1867)发现氧化银的电阻率随温度的升高而增加(1833)之后,接着又发现光电导(1873)、光生伏打(1877)和整流(1906)三种半导体物理效应。这些半导体物理效应在20世纪20年代开始商业应用,它推动了半导体物理研究并导致英国物理学家威尔逊(H. A. Wilson, 1874~1964)提出半导体导电模型(1931),而半导体物理研究的发展又导致美国贝尔实验室的肖克利(W. Schokley, 1910~1989)、巴丁(J. Bardeen, 1908~)和布拉顿(W. H. Brattain, 1902~1987)研制出晶体管(1947)。体积小寿命长的晶体管不仅很快就开始取代真空电子管(1950),而且在英国人达默(G. W. A. Dummer)提出集成电路的设想(1952)之后,美国人基尔比(C. Kilby)和诺伊斯(R. Noyce)各自独立地制成最早的集成电路(1958)。

随着第一只晶体管的诞生和第一块集成电路的问世,以及单晶生长工艺、离子注入工艺、扩散工艺、外延生长工艺和光刻工艺的发展和完善,微米级的材料加工技术就开始了它日新月异的发展。半导体集成电路沿着小规模($< 10^2$)、中规模($10^2 \sim 10^3$)、大规模集成($10^3 \sim 10^5$)、超大规模集成($10^5 \sim 10^7$)、特大规模集成($10^7 \sim 10^9$)前进到20世纪末的极大规模集成($> 10^9$),相应的加工尺寸已经达到0.1微米。除电子计算机芯片外,还有两项引人注目的微米级加工技术,它们是微电子机械和基因芯片技术。人们利用微电子材料和工艺制作了微型的梁、槽、齿轮和薄膜乃至马达,它们也可以像晶体

管那样被成批地制造。基因芯片是固化了大量生命信息的DNA芯片，其空间分辨率正在从微米向纳米发展，现在已应用于生物医学、分子生物学的基础研究、人类基因组研究和医学临床实验。基因芯片将对基础生命科学、临床医学、诊断学和脑与神经科学等产生革命性的影响。

集成电路制作使用的半导体材料经历了锗→硅→砷化镓等Ⅲ/V属半导体的变化，生产工艺则从平面工艺到分层工艺再到图形，包括光刻、刻蚀、淀积、外延、扩散、溅射、测试、封装等微米级加工工序。集成电路材料与工艺的不断进步，以及物理学的发展，导致了纳米技术的诞生。微米级技术本身延伸出的X光刻机、电子束曝光机、离子束光刻机，以及对材料进行原子级修饰的技术，首先成为发展纳米技术的工具，但最精微的工具还是新发展出来的用于原子尺度加工的扫描隧道显微镜（STM）和原子力显微镜（AFM）等扫描探针显微镜。电子曝光机和离子曝光机是目前实用的纳米级加工工具，而扫描探针显微镜迄今为止仍是可用作在原子尺寸上加工的唯一工具。以纳米技术为基础的新工具将导致小于100纳米的超微分子器件的诞生，例如分子计算机和分子机器人等。这些分子器件可能具有更为主动和复杂的性能，能够帮助人类完成更为复杂的操作。基于分子装配的纳米技术，将能够对物质的结构进行完全的控制，使人类能够按照自然规律制备出超微的智能器件。

半导体、集成电路和纳米科技的发展表明，导致科技进步的动力不仅来自于科学家和工程师的创造欲，而且来自于社会需求的拉动。自第二次世界大战以来，社会需求对科学发现和技术发明的拉动作用越来越大。这就要求我们科技人员和科技管理人员，摒弃封闭的经院式思考方式和管理方式，密切与社会的联系，准确把握社会的需求，有效而有针对性地推动科技进步和创新。特别是对于我们这样一个急需利用有限的科技资源推动现代化建设的中国来说，更要如此。

八、物理学的魅力及其未来

相对论、量子论及其结合的产物量子场论和统一场论等现代物理学革命的主要成果，导致了人类的物质与精神生活发生巨大变化。相对论对时空关系和时空与物质关系的认识、量子力学对物质内部结构和运动规律的认识，不仅深深影响了人们的观念，而且广泛地改变了并继续改变着人们的生产活动和日常生活。想一想晶体管和激光，以及电视机、多媒体电脑和光纤连接的互联网，或许会更深刻地领会“物理学革命”的含义。

物理学的魅力不仅体现在其物化成果可以极大地改变人类的文明，尤其需要指出的是，物理学，特别是现代物理学，彰显出科学给人类带来的认知能力上的升华。物理学从纷杂的事物中抽象出物质的统一特性，更正了我们日常的肤浅认识，透过表象为我们揭示出物质本质上的奇妙特征，并且借助数学和逻辑，做出了最为理性、简洁的物理表

述。物理学在为我们解释周边物质世界的同时,也为我们营造出内容丰富、思维缜密、不断创新、妙趣无穷的理论、方法与实验体系。

20 世纪的现代物理学革命与 19、20 世纪之交的物理学形势相关,那时物理学上空的“两朵乌云”竟令一些物理学家惊呼“物理学危机”。现代物理学革命不仅解决了两朵乌云导致的这场危机,而且把整个自然科学都置于以量子论和相对论两大理论为支柱的现代物理学的基础上。虽然今天的物理学仍面临着一些重要的理论与实验问题亟待解决,如类星体的能源问题,暗物质、暗能量和反物质问题,爱因斯坦场方程的宇宙项问题,中微子振荡问题,质子衰变问题等,但是毕竟还没有人像 19、20 世纪之交那样惊呼物理学的危机。

相对论和量子论在科学各个领域的扩展和应用,虽然已经取得很大的成功,但是还远未达到止境。看来一直作为精密科学典范的物理学还是魅力未减,作为其他经验科学基础的地位短时期内不会改变。物理学的巨大魅力还在于它从理论认识中衍生出众多技术原理,20 世纪的物理学为我们这个社会提供了四个主要新技术原理,即核能技术、半导体技术、激光技术和超导技术。虽然在 20 世纪现代物理学革命以后,在约为四分之三个世纪的时间内,物理学并没有发生新的、基础性的重大变革,物理学的进展主要表现为相对论和量子论的推广应用,但是这并不意味着物理学的发展已经走到了尽头。

当代科学发展的态势和社会对科学的迫切需求,将在很大程度上影响科学未来发展的方向及其特征。一些传统学科仍将保持相当的独特性,物理科学作为整个自然科学发展的基础地位一时还不会动摇,但是科学的学科结构重心将转移到生命领域;数学科学作为数与形的科学,其简洁、精确和优美的表述方法将在自然科学、应用技术与人文社会科学中得到更为广泛的利用;信息技术作为研究与知识信息交流、传播的技术手段,会随着自身的发展及其与其他领域的结合不断进步,并通过广泛的渗透而促进其他领域的发展;各自然系统的研究及自然科学与人文社会科学之间的结合将成为跨学科研究的生长点,它们的发展和广泛运用,都将有力地推动学科间的整合和交叉科学的诞生与繁荣。

前言

科学技术的迅猛发展及其对社会与经济推动的巨大作用,已成为当今社会的主要时代特征之一。科学作为技术的源泉和先导,作为现代文明的基石,它的发展已成为全社会关注的焦点之一。中国科学院(简称中科院)作为我国科学技术方面的最高学术机构和自然科学与高技术的综合研究机构,有责任也有义务向社会和决策层报告世界和中国科学的发展情况,这将有助于我们把握科学技术的整体发展脉络,对未来进行前瞻性的思考,提高决策过程的科学水平。同时,也有助于提高全民族的科学素质。

1997年9月,中国科学院决定发表名为《科学发展报告》的年度系列报告,不断综述世界科学进展与发展趋势,评述科学前沿与重大科学问题,报道我国科学家所取得的突破性成果,介绍科学在我国实施“科教兴国”与“可持续发展”两大战略中所起的作用,并向国家提出有关中国科学发展战略和政策的建议,特别是向全国人大和全国政协会议提供科学发展的背景材料,供高层科学决策参考。我们采取的是每年《报告》的框架大体固定,但内容与重点有所不同的方式,每一年所表达的科学内容,并不一定能体现科学发展的全部,而是从当年最热门的科学前沿领域中,从当年中外科学家所取得的重大成果中,择要进行介绍与评述,进而逐步反映世界科学发展的整体趋势,以及我国科学发展水平在其中的位置。

《2006科学发展报告》框架与以往不同之处是,对第一章的主题进行了调整,改为“推动科技自主创新”,为纪念世界物理年,增加了一章“物理学发展前瞻”,发表了我国一些科学家对物理学若干重要领域发展前景的看法。

《2006科学发展报告》是该系列报告的第九本,主要包括以下九部分内容:

- 一、推动科技自主创新
- 二、科学前沿介绍
- 三、2005年诺贝尔科学奖述评
- 四、2005年中国科学家具有代表性的部分工作
- 五、物理学发展前瞻
- 六、公众关注的科学热点
- 七、科技战略与政策
- 八、中国科学发展概况

九、科学家建议

为本年度报告撰稿或参加审稿工作的有路甬祥院长,白春礼常务副院长,周光召、陈佳洱、匡廷云、解思深、戴立信、薛其坤、陈创天、徐至展、侯建国、朱清时、许志琴、饶子和、郭爱克、郭光灿、夏建白、魏复盛、马大猷、徐光宪、师昌绪、孙鸿烈、杨福愉、杨国桢等院士,胡亚东、李喜先、王恩哥、邹冰松、张智红、赵元弟、曾绍群、骆清铭、陈永明、张立新、卢从明、杜冠华、王惠杰、张湘茹、孙昌璞、罗治斌、丁奎岭、高福、冯友军、沈志强、贾金锋、刘丽娟、张正泉、赵爱迪、杨金龙、陈心启、孙飞、徐建兴、丁昇、吴晓辉、许田、吴岳良、黄庆国、马永亮、钟鸣、马建平、陈平形、李树深、张广宇、闻海虎、蔡建旺、成昭华、詹文山、曹则贤、王鹏业、翟晓梅、周旭、卢漫天、田莉、许小峰、张景安、方新、周文能、张军、赵保京、王谋勇、杨惠民、孙晓兴、沈电洪、刘国詮、张树庸、程光胜、郭兴华等专家学者。

本报告的撰写与出版是在中国科学院路甬祥院长的关心和指导下完成的。曹效业、潘教峰同志对本报告进行了总体策划。汪前进、陶宗宝、丁颖同志对本报告的工作给予了大力支持。中国科学院文献情报中心、中国科学院规划战略局、中国科学院院士工作局及中国科学院自然科学史研究所承担了本报告的组织、研究与撰写工作。课题组组长为叶小梁,副组长为张利华、汪凌勇,课题组成员为胡智慧、李宏、黄群、黄矛、刘峰松、刘勇卫、李洁、程奇、彭颖舒等。

中国科学院“科学发展报告”课题组

目 录

百年物理学的启示(代序)	路甬祥	i
前言	中国科学院“科学发展报告”课题组	xi
第一章 推动科技自主创新		1
1.1 基础研究和战略高技术研究在自主创新中的作用	路甬祥	2
1.2 自主创新 重点超越	周光召	7
1.3 基础研究是自主创新的源头	陈佳洱	16
1.4 2005 年世界科技发展综述	叶小梁 汪凌勇 黄矛等	25
第二章 科学前沿介绍		45
2.1 2004.9~2005.8 物理学、化学、生物学、医学前沿的热门课题 ..	黄 矛	46
2.2 奇特的“五夸克态”和核子中的奇异夸克成分	邹冰松	54
2.3 基于量子点标记的光学分子成像	张智红 赵元弟 曾绍群等	58
2.4 可控自由基聚合化学的进展	陈永明	63
2.5 光合作用高效光能转化与调控机理及光合膜蛋白的结构与功能	张立新 卢从明 匡廷云	67
2.6 激素替代疗法(HRT)的利弊	杜冠华	72
2.7 非小细胞肺癌的内科治疗现状与展望	王惠杰 张湘茹	76
2.8 NBIC 会聚技术	解思深	82
第三章 2005 年诺贝尔科学奖评述		87
3.1 光的量子相干理论与超精密光谱学测量 ——2005 年诺贝尔物理学奖评述	孙昌璞	88
3.2 烯烃复分解反应研究新进展 ——2005 年诺贝尔化学奖评述	罗治斌 丁奎岭 戴立信	92
3.3 关注来自动物源性传染性疾病的威胁 ——2005 年诺贝尔生理学/医学奖评述	高 福 冯友军	96

第四章 2005 年中国科学家具有代表性的部分工作	101
4.1 银河系中心存在超大质量黑洞的最新证据	沈志强 102
4.2 量子尺寸效应对金属薄膜材料超导性质的调制	贾金锋 薛其坤 107
4.3 紫外非线性光学晶体在超高分辨率光电子能谱仪上的应用	陈创天 刘丽娟 110
4.4 新一代超短超强激光开拓与发展研究获得重大进展	徐至展 张正泉 117
4.5 单分子选键化学获重大进展 ——单分子“手术”开启分子磁性开关	赵爱迪 杨金龙 侯建国等 122
4.6 深入地球内部的望远镜 ——中国大陆科学钻探初步科学研究成果	许志琴 126
4.7 《中国植物志》的编研与出版	陈心启 132
4.8 线粒体呼吸链膜蛋白复合物 II 的晶体结构	孙 飞 徐建兴 饶子和 136
4.9 哺乳动物基因突变和转基因技术的新方法	丁 昇 吴晓晖 许 田 139
4.10 果蝇的跨视觉和嗅觉模态的学习记忆的协同共赢和传递效应	郭建增 郭爱克 144
第五章 物理学发展前瞻	149
5.1 量子场论	吴岳良 黄庆国 150
5.2 对称性和守恒定律	吴岳良 马永亮 153
5.3 统一场论和超出标准模型的新理论	吴岳良 钟 鸣 156
5.4 量子色动力学研究展望	马建平 159
5.5 量子光学进展与展望	郭光灿 陈平形 164
5.6 激子和相关现象	李树深 夏建白 167
5.7 表面物理学的回顾与展望	张广宇 王恩哥 170
5.8 超导科学研究现状和展望	闻海虎 174
5.9 发展磁记录信息存储的核心技术	蔡建旺 成昭华 詹文山 178
5.10 II-VI 和 III-V 族半导体的光学性质研究展望	曹则贤 183
5.11 软物质与生物大分子	王鹏业 187
第六章 公众关注的科学热点	193
6.1 我国环境污染及其对公众健康的危害	魏复盛 194
6.2 人类胚胎的价值和道德地位 ——治疗性克隆的合理性	翟晓梅 198
6.3 深度撞击任务	周 旭 202
6.4 神舟 6 号再攀中国载人航天新高峰	卢漫天 田 莉 206
6.5 台风、飓风与防灾减灾	许小峰 209