

薛定谔对基因性质的物理学分析及其思想影响*

——评介薛定谔的《生命是什么？——生命细胞的物理学见解》

向义和[†]

(清华大学物理系 北京 100084)

《生命是什么》是杰出的奥地利物理学家薛定谔(Erwin Schrödinger, 1887—1961)根据他在1943年对Dublin三一学院高年级学生的演讲而写成的,次年由剑桥大学出版社予以出版.在本书中,薛定谔把物理学和生物学结合起来,用物理学观点深刻地分析了基因的性质,揭示了基因是活细胞的关键组成部分,指出生命的特异性是由基因决定的,以及要懂得什么是生命就必须知道基因是如何发挥作用的.

1 基因概念的历史发展

1865年,奥地利修道士孟德尔(Gregor Mendel, 1822—1884)在他的《植物杂交实验》论文中首次提出植物的各种性状是通过存在于所有细胞中的两套遗传因子表现出来的.植物只将两套遗传因子中的一套传给子代.子代植物从雄性和雌性植物中各得到一套,即共接受两套遗传因子.孟德尔的遗传因子后来改名为“基因”.

1869年,瑞士生化学家米歇尔(Friedrich Miescher, 1844—1895)在细胞核中发现了含有氮和磷的物质,他把这种物质称之为“核素”,后来改名为核酸.20世纪初,德国生化学家科塞尔(Albrecht Kossel)开始了对核酸的生化分析,发现了构成核酸的四种核苷酸.核苷酸由碱基、糖和磷酸组成.碱基有腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶和胸腺嘧啶.这种核酸称为脱氧核糖核酸(即DNA)^[1].后来进一步弄清了DNA在细胞里的位置,1914年德国生化学家福尔根(Robert Joachim Feulgen, 1884—1955)用染色法发现DNA在细胞核内的染色体里.

最初的进展是弄清了遗传因子与染色体的关系.染色体是细胞核内的线状物质,在细胞分裂时才能够观察到.多数高等动植物的每一个体细胞核中

有两组同样的染色体.人的染色体数是46条,即有23对染色体.细胞分裂(一个细胞分裂后形成两个新的细胞,即子细胞)时,染色体的分配机制使得两个子细胞接受的染色体相同.

1902年,哥伦比亚大学的研究生萨顿(Walter Sutton, 1877—1916)提出孟德尔假设的分离与显微镜中发现的细胞分裂期间染色体的分离非常相似,一年之后详细的细胞学研究证实了他的观点,从而表明孟德尔的遗传因子可能是染色体或者是染色体片段.1911年,美国遗传学家摩尔根(Thomas Morgan, 1866—1945)提出,假如基因在染色体上呈线性排列,那么就应该有某种方法来绘制染色体上基因相对位置的图.1915年,摩尔根和他的两位学生出版了《孟德尔式遗传机制》一书,他们认为基因是物质单位,并位于染色体的一定位置或位点上,每一个基因可以视为一个独立的单位,它与其他相邻的基因可以通过染色体断裂和重组过程而分离^[2].1927年,摩尔根的学生缪勒(Johannes Muller, 1890—1968)用X射线造成人工突变来研究基因的行为,他明确指出“基因在染色体上有确定的位置,它本身是一种微小的粒子,它最明显的特征是‘自我繁殖’的本性”.1929年,摩尔根的《基因论》问世,他坚持“染色体是基因的载体”.

进入20世纪40年代后,基因概念的一个重要发展是对基因功能的认识,对基因与代谢和酶(即蛋白质的催化剂)的关系的揭示.1945年,美国遗传学家比德尔(George Beadle, 1903—1989)和塔特姆(Edward Tatum)提出了“一个基因一个酶”的假说^[3].这一假说认为每一个基因只控制着一种特定酶或蛋白质的合成.今天,人们一般认为一个基因一个酶的假

* 2001-11-14收到初稿,2002-02-04修回

† E-mail: xiangyh@tsinghua.edu.cn

说还不够完备,因为一个基因显然只编码一条多肽链,而不是编码一个完整的酶或蛋白质分子。

2 薛定谔对基因性质的物理学分析

2.1 基因的最大尺寸

薛定谔在《生命是什么》的第二章“遗传的机制”中、“基因的最大尺寸”的一节里^[4],他把基因作为遗传特征的物质携带者,并强调了与我们的研究很有关系的两个问题:第一是基因的大小,或者宁可说是基因的最大尺寸,也就是说,我们能够在多小的体积内找到基因的定位;第二是从遗传型式的持久性断定基因的稳定性。

在估量基因的大小时,薛定谔认为有两种完全独立的方法,一种是把基因大小的证据寄托在繁殖实验上。这种估量方法是很简单的,如果在果蝇的一条特定的染色体上定位了大量的表示果蝇特征的基因,我们只需要用这个数量的截面来分划染色体的长度,就得到了需要的估量。显然这个估量只能给出基因的最大尺寸,因为在染色体上基因的数量将随着基因分析工作的继续进行而不断地增加。

另一种是把基因大小的证据建立在直接的显微镜检验上。用显微镜观察生物细胞内的染色体纤维,你能看到穿过这条纤维的横向的密集的黑色条纹,这些条纹表示了实际的基因(或基因的分立)。当时的生化学家在果蝇的染色体上观测到的平均条纹数目大约是 2000 条。这一结果与用繁殖实验定位在果蝇染色体上的基因数大致有相同的数量级。用这一数目划分染色体的长度就找到了基因的大小约等于边长为 30nm 的立方体的体积。

接着,薛定谔在题为“小的数目”一节中,对 30nm 这个数字作了分析,他指出 30nm 大约只是在液体或固体内 100 或 150 个原子排成一行的长度,因此一个基因包含的原子数不大于 100 万或几百万个。从统计物理学的观点看来,为了产生一个有条理的行为,这个数目是太小了,因此基因可能是一个大的蛋白质分子(当时蛋白质被认为是遗传物质,而不是 DNA),在这个分子中每个原子、每个原子团、每个杂环起着一种不同于任何其他相似的原子、原子团或杂环起的独特的作用。

1953 年,美国遗传学家沃森(James Watson, 1928—)和英国生物物理学家克里克(Francis Crick,

1916—)发现了 DNA 分子的双螺旋结构,在他们发表的论文“核酸的分子结构——脱氧核糖核酸的结构”中^[5]使用 X 射线衍射实验数据,两个碱基对之间的距离(即现在所说的一个碱基对的长度)为 0.34nm,螺旋的半径为 1nm。按照 2000 年 4 月人类基因组计划测序的结果,果蝇基因的平均长度为 10kb(1kb 表示 1000 个碱基对)^[6]。如果把螺旋的体积简化为一个圆柱体的体积来计算,则可以算出果蝇基因的平均体积约为 $10.7 \times (10\text{nm})^3$,比薛定谔的计算值小 2.5 倍,这个结果是合理的,因为随着时间的推移,在染色体上发现的基因数就会增多,相应的基因的平均长度就会减小,从而基因的平均体积的计算值也会减小。这一结果说明薛定谔在当时不仅具有基因定量化的思想,而且他的计算结果在数量级上与现在是一致的。这对于人们定量地去研究基因无疑起到了极大的促进作用。

2.2 基因的物质结构

对于基因的物质结构薛定谔提出了一个著名的“非周期性晶体结构”的科学预见。在第一章中的“统计物理学、在结构上的基本区别”的一节中,他首先提出生命物质的结构与非生命物质的结构完全不同。他说:“在有机体的最有生命力的部分内,原子的排列和这些排列的相互作用,不同于物理学家和化学家迄今为止在他们的实验和理论研究中所作的关于这些原子排列的基本方式。”接着,他对染色体的结构提出了科学的预见。他说:“生命细胞的最基本部分——染色体结构——可以合适地认为是非周期性的晶体。”他指出:“在物理学上迄今我们只涉及到周期性的晶体。与非周期性的晶体相比,它们是既比较简单又比较呆滞。”接着他生动地描述了这个对比,他说:“结构上的这种差别就像普通的、周期性的、一再重复着同样图样的墙纸和没有呆滞重复、而是由大师描绘的、一幅精心制作的、连贯的、有意思的图样,像拉斐尔(Raphael)挂毯一样的装饰杰作之间的差别一样。”

生物大分子的非周期性晶体结构是怎样形成的呢?薛定谔在第五章的“非周期性固体”一节中阐述了这个问题。他说:“一个小分子可以称为固体的‘胚芽’。从这样一个小的固体胚芽开始,似乎有两种不同的形成越来越大的联合的方式。一种是在三个方向上具有相同结构的一再重复的比较单调的方式。另一种方式是形成越来越扩大的没有单调重复的聚

集体 这是越来越复杂的有机分子的情形 在这种分子中每个原子或每个原子团起着独特的作用(像在周期结构中的情形一样).我们可以完全恰当地称为非周期性晶体或固体,并用这种说法来表示我们的假设.我们相信一个基因——或许整个染色体结构——是一个非周期性固体.”

薛定谔关于遗传物质是“非周期性晶体”的说法具有深远的意义:一方面由于它的非周期性蕴涵着分子排列的多样性,这就意味着遗传物质包含了大量丰富的遗传信息;另一方面由于具有晶格结构,所有的原子或分子都与周围的原子或分子连接在一起,所以相当稳定. DNA 双螺旋结构的发现者们正是在读了薛定谔的《生命是什么?》一书、并在 DNA 已被证实为遗传物质后,才把 DNA 的具体的物质结构作为研究方向的(具体实例将在本文第三节中详述).

2.3 基因的稳定性

薛定谔在第二章“稳定性”一节中一开始就提出两个问题:我们在遗传中遇到多大程度的稳定性,因此我们必须把什么归因于携带遗传性质的物质结构?

他认为,从遗传性质在世代传递中保持不变的事实,说明遗传的稳定性几乎是绝对的.他指出,由双亲传递给子代的不只是这个或那个特性,因为这些特性实际上只是整个(四维)表现型”的样式,体现了这个个体看得见的、明显的性质在没有很大改变的情形下被后代复制,在几个世纪中保持了稳定性.那么内在的决定因素是什么呢?携带遗传性质的物质承担者是什么呢?他认为,每次遗传都是来自于结合成受精卵细胞的两个细胞核的物质结构,也就是遗传特性取决于双亲的精子细胞核和卵细胞核内的染色体上的基因结构,即取决于“基因型”.

薛定谔还利用他提出的分子的固体性说明了基因的稳定性.在第五章中的“区分真实的物质”一节中,他说:“其理由是这些原子形成了一个分子,无论是少数原子还是多数原子形成的分子,都是由完全同性质的力结合在一起的,像大量的原子形成一个真正的固体,即晶体一样.这个分子结构呈现出像晶体一样的相同的固体性.”

薛定谔明确指出,要理解基因的稳定性,就要解释使分子保持一定形状的原子间的相互结合力,在此经典力学是无能为力的,只能依靠量子理论.他在

第四章中的“用量子理论可以解释”一节中说:“在这种情形下经典物理学被量子理论代替了.”他指出,“化学结合力的量子理论——Heitler - London 理论包含了最新的量子理论(即‘量子力学’或‘波动力学’)的最精巧而又复杂的概念.”又说:“现在所有工作已经做了,并足以澄清我们的思想.”

薛定谔在第四章“量子力学的证明”中,根据量子理论的“分立状态”、“能级”和“量子跳跃”的概念解释了稳定性问题.在第四章的“分子”一节中,他说:“在一些原子的可供选择的一组分立状态中,有一个未必需要、但可能是最低的能级,它意味着这些原子彼此之间紧密地接近.在这种状态下形成了一个分子.在此要强调的一点是,这个分子必定具有一定的稳定性,除了外界提供了把它提升到较高的能级所必须的最低限度的能量差以外,它的构型不会改变.因此这个完全被限定了的能级之间的能量差,定量地确定了分子的稳定性程度.”

他期望读者接受上述概念,因为大量实验事实已经检验了它.他说:“依据化学事实已经彻底检验了这类概念;在解释化学的化合价和关于分子结构的许多细节中的基本事实,它们的结合能,它们在不同温度下的稳定性等等,已经成功地证明了这个概念.”

2.4 基因的突变

薛定谔指出遗传特性的突变是由于基因的突变造成的.他在第三章的“突变物种完美地繁殖纯种,是完美的遗传”一节中说:“突变必定是在遗传的珍藏中有一种改变,而且必须用遗传物质的一些改变来说明.”虽然当时还没有可靠的实验证据,但是,他仍然认为遗传形状的突变是由于染色体上基因的突变引起的.他在第三章的“定域、隐性和显性”一节中说:“我们一定会观察到某一突变是在某条染色体上限定的地点产生的.”

他还认为染色体上一些相同原子的不同构型的分子(即同分异构分子)表示不同的基因.他在第四章的“第一个修正”一节中说:“在染色体上在不同的排列中由相同原子构成的分子,它将表示在同一地点的不同的等位基因,而量子跳跃将表示突变.”他在“第二个修正”一节中进一步指出:“不同构型的分子,其能量也是不同的,它们表示不同的能级”,因此:“下一个较高的能级必须理解为它意味着对应于有关的构型改变的下一个能级”;“我们所说的量子

跳跃是从一个相对稳定的分子构型到另一个构型的跃迁。对于这个跃迁需要提供的能量,并不是实际的能量差”。“其理由是两种构型并不是相邻的构型,从一个态到其他态的跃迁只有越过比它们两个中的任一个的能量都要大的中间构型才能发生。”

薛定谔还从遗传突变的不连续特性出发,指出突变是由于量子跃迁的结果。他在第三章“突变”的一节“像跳跃一样的突变,自然选择的基础”中说:“所谓突变并不意味着这个改变是非常大的,而是因为有不连续的改变,即在未改变和改变之间没有中间物存在。”他认为这个有意义的事实是不连续性,意味着在两个分立状态之间没有中间状态,在相邻能级之间没有中间能量,表明生物遗传特性的突变是由于在基因分子中的量子跳跃造成的。

2.5 基因的功能与作用

在上面我们已经指出薛定谔的一个重要观点,基因是遗传特征,即遗传信息的携带者,他又知道基因定位在染色体上,基因是染色体上的一个片段的事实,所以他认为染色体上包含了个体发育、成长的全部信息,提出了染色体是遗传密码原本的论断。在第二章“遗传的机制”的“遗传密码原本(染色体)”一节中,他说:“我们应该说染色体有两组,一组来自母体(卵细胞),一组来自父体(精子)。这些染色体以某种密码原本的形式包含了个体未来发展和它的成年状态的功能的全部图画。每个完整的一组染色体包含了完备的密码,所以在受精的卵细胞中有密码的两个副本,它们形成了未来个体的早期阶段。”薛定谔还认为密码原本术语的含义太窄了,它没有体现染色体上基因的全部功能和作用。他用了下面一个生动的比喻来形象地说明基因的多种多样功能,他说:“它们好像是人类社会中的法典和行政上的权力,也好像是建筑师的蓝图和建筑工人的技巧。”

薛定谔还从生物分子的同分异构性引起的原子或原子团排列的多样性来说明遗传密码内容的丰富多样性。他认为基因是一个生物大分子,它由很多同分异构(指化合物有相同的分子式,但具有不同的结构和性质)的小分子所组成,这些小分子的性质以及它们的排列方式可能包含了遗传信息,决定了遗传密码。他在第五章的“在这个小型密码中浓缩的内容的多样性”一节中说:“这个物质的极小的微粒,这个受精卵的核可能包含着有机体整个未来发展的复杂的密码。一个安排得很好的原子的结合被赋予了足

够的抵抗力来永恒地保持它的顺序,看来像是惟一可能得到的、提供了各种各样的可能的(同分异构的)排列。”为了说明小分子的种类和个数与排列数的关系,他举了莫尔斯(Morse)电码的例子。他说:“点和线两个不同的符号在安排得很好的不超过四个一组的排列中有30种不同的排列。如果除了点和线以外还使用第三种符号,每组不超过10个,就能够组成88572个不同的字。”可见,在生物大分子中,随着小分子或原子团的种类和数目的增加,它们排列方式的数目就会大量增加,储存的信息量也相应地增大。

薛定谔进一步说明每个基因、每个密码因子不只是表示一个可能的分子,而且也可能具有操作分子合成的作用。他说:“在实际情形中决不是每种排列都表示一种可能的分子,而且每个分子的合成也不是一个任意地采用密码的问题。这个密码原本本身一定具有引起事物发展的操作因子。”他在第六章“来自这个模型的值得注意的普遍的结论”一节中说:“这个小型密码应该对应于高度复杂的、特殊的发展计划,而且应当以某种方式包含了把操作引入的意思。”

3 薛定谔科学思想的影响

1943年,薛定谔在给Dublin三一学院高年级学生作第一次讲课时,他高瞻远瞩地向年轻的学子们提出了时代赋予的科学统一的任务。这也就是他在《生命是什么?》的序言中所说的话:“我们已经从我们的祖先那里继承了强烈追求统一而完整的知识的传统。正是高等学府这个名字提醒我们,从古以来经历许多世纪,凡是普遍性的观念人们都给予了充分的信任。但是近百多年来,多种多样的知识分支在深度和广度两方面的扩展,已经使我们面临着一个奇怪的困境。我们清楚地感到现在才开始获得了可靠的材料,有助于把我们的全部知识连成一个整体,但是单个人想要完全掌握一个专门领域以上的知识又几乎是不可能的。”因此,薛定谔感到为了实现知识统一的目标,除了我们应当继续坚持理论与实验相结合,努力克服知识的局限性外,没有别的出路。

薛定谔在用大量的篇幅对基因的性质进行了物理学分析,特别是用量子论分析后,他又在第六章中,从热力学关于有序、无序和熵的观点,来说明维

持生命物质高度有序性的原因,首次提出了“生命赖负熵为生”的名言.他在“依赖从环境中吸入负熵以维持有机体有序”的一节中说:“有机体为了减少由于生活产生的熵增加以保持低水平的熵和保持它自身的稳定性;它以负熵为食,好像负熵流入它自身一样.”他又说:“负熵本身是有序的测量.一个有机体借助于从它周围的环境中吸入负熵的方式,以便在高度有序(等于相当小的熵)的状态下保持它自身的稳定性.”

全书快结束时,在第七章中,回答“生命是以物理学定律为基础吗?”的问题时,薛定谔阐述了物理学和生物学的关系.他首先从有机物具有与无机物完全不同特征出发,指出虽然经典物理学在解释生命现象时遇到了困难,但是这并不意味着它们对于解决生命问题没有帮助.事实上,情况恰好相反,对生命的研究可能会展示出在纯粹研究无机现象时无法发现的全新的自然界景观,发现在生命物质中适用的新型的物理学定律.他在第七章的“新的原理不是与物理学不相容的”一节中指出:“对于生命物质中包含的这个新原理,它名副其实地是物理学的一部分,它再一次无异于是量子理论的原理.”

在20世纪40年代和50年代,薛定谔的生物学观点具有很大的影响,尤其对年轻的物理学家影响更大,他将一些物理学家引入到一个科学研究的新的前沿,推动他们转入生物学的新领域,去探索物理学的新定律.自从薛定谔的《生命是什么》一书在1944年出版后,到1983年历经40年间,这本书在西方世界各国重印了12版之多.他的这本书成为当时分子遗传学的“结构学派”(应用物理化学定律来研究生命物质的分子结构)的纲领,为DNA双螺旋结构的发现者们提供了强有力的思想武器.

DNA双螺旋结构的发现者之一、美国遗传学家沃森在芝加哥大学念书时,在读了薛定谔的《生命是什么》后,就被这本书吸引住了.后来他说,正是这部书引导他去“寻找基因的奥秘”.前不久一位采访沃森的记者向他提出问题:“薛定谔的波动方程使他成为有名的诺贝尔奖(1933年)得主,作为物理学家,他试图用量子理论来谈生命问题,这在当时是具有划时代意义的事情吧?”他说:“那本书对‘生命是什么?’进行了提问,薛定谔对提问作出了回答.他叙述了生命的本质,人类、虎、鼠等所具有的特性,指出生命的特性是由染色体决定的.他还认为生命有说

明书,说明书肯定存在于分子上.分子上有非常特别的构造,能利用某一方式将信息拷贝下来.”^[7]

DNA双螺旋结构的另一位发现者、英国生物物理学家克里克曾于20世纪30年代后期在伦敦大学获得物理学学位,后来又攻读物理研究生,打算从事粒子物理研究.1946年,他读了薛定谔的《生命是什么》一书后,受到了该书的启发而想研究物理学在生物学中的应用.书中提出的“可以用精确的概念,即物理学和化学的概念,来考虑生物学的本质问题”给他留下了深刻的印象,他读罢书后写道:“伟大的事情就在角落里.”他所说的伟大的事情指的是利用X射线法对蛋白质和核酸的研究.

发现DNA双螺旋结构的有三位诺贝尔奖得主,除了沃森、克里克外,还有一位英国物理学家威尔金斯(Maurice Wilkins),他和富兰克林(Rosalind Franklin)都是伦敦金氏学院的研究员,通过摄制DNA的X射线衍射图为这一结构提供了实验证据.威尔金斯也是在读了薛定谔的《生命是什么》一书后,转入用X射线衍射法研究DNA的结构.他们由于在思想上都受到了薛定谔的影响,所以,尽管他们原来的工作领域不同,他们仍然以相似的观点和不同的方式来探讨生物学问题.由于实现了生物学与物理学的结合,理论与实验的结合,终于在这个科学的交叉领域中获得了大突破,于1953年发现了DNA的双螺旋结构,从而开创了生命科学的新纪元.

自从20世纪50年代生物物理学作为一门独立学科诞生以来,它已在研究生命物质的各个方面取得了显著的成就.今天由于物理实验仪器和实验技术已经达到纳米水平或分子生物水平,人们对生物分子各方面的性能有更进一步的了解,未来科学上革命性的突破有可能在生物学和物理学的结合点上实现.又由于分子生物学的研究已经越来越接近生命的本原,生物学将变得越来越数学化,物理学也将会更接近生物学.无疑,我们正处在一个令人激动的科学时代里.复杂的生物系统向物理学家展示出很多有意思的现象,提出了很多有趣的问题,值得物理学家去探索、去研究、去发现新的物理学规律,实现老一辈物理学家薛定谔的梦想:物理学和生物学的统一.

致谢 本文作者感谢清华大学生物科学与技术系刘进元教授审阅了此文以及他提出的宝贵的意见.

参 考 文 献

- [1] 蔡兵编译. Newton 科学世界 ,2000(9):40[Cai B trans. Newton Science World 2000(9):40(in Chinese)]
- [2] 加兰. E. 艾岱美. 屠. 田译. 20 世纪的生命科学史. 上海: 复旦大学出版社, 1999. 72—81, 240[Allen G E. Tian M trans. Life Science in the Twentieth Century. Shanghai: Fudan University Press, 1999. 72—81, 240(in Chinese)]
- [3] 尹淑媛, 陈麟书. 生物科学发展史. 成都: 成都科技大学出版社, 1988. 263—265, 270[Yin S Y, Chen L S. The Developmental History of Biological Science. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1988. 263—265, 270(in Chinese)]

- [4] Schrödinger E. What Is Life? —the Physical Aspect of the Living Cell. London: Cambridge University Press, 1967
- [5] J. D. 沃森著. 刘望夷等译. 双螺旋——发现 DNA 结构的故事. 北京: 科学出版社, 1984. 146, 147[Watson J D. Liu W Y et al. trans. The Double Helix—A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA. Beijing: Science Press, 1984. 146, 147(in Chinese)]
- [6] 陈竺等著. 自然杂志, 2000, 22(3):128[Chen Z et al. Ziran, 2000, 22(3):128(in Chinese)]
- [7] 蔡兵编译. Newton 科学世界, 2000(8):23[Cai B trans. Newton Science World 2000(8):23(in Chinese)]

全国近代物理研究会第七届学术年会在包头召开

经教育部批准, 全国第 14 次原子、原子核物理研讨会暨全国近代物理研究第七届学术年会于 2002 年 7 月 27 日至 31 日在内蒙古包头市召开. 来自全国 23 个省、市和自治区的 91 名代表参加了会议. 全国近代物理研究会名誉理事长、北京大学高崇寿教授, 中国物理学会教学委员会主任、《大学物理》杂志主编、北京大学赵凯华教授, 以及包头钢铁学院的党政领导等出席了开幕式并致贺.

本次会议的内容主要是关于面向新世纪的近代物理教材建设、教学内容改革和创新人才培养以及相关的科研成果交流与研讨. 大会邀请高崇寿先生作了《物理学和物理科学人才的培养》、《近代物理教学改革》、《给文科和社会科学大学生开设物理课程》三个专题报告, 赵凯华先生作了《量子算法举例》和《量纲分析与相似性》两个专题报告. 两位专家的报告内容丰富、生动, 并用计算机展示了许多有趣的彩

图, 引人入胜, 与会代表深受启迪. 会议共收到论文 57 篇. 大会按专题组织代表交流发言, 并自由提问和展开讨论, 气氛活跃而热烈. 发言中有的联系教学实践谈近代物理教学中人文教育和科学教育的融合问题; 有的结合《新概念量子物理》的教学和科研实验介绍量子信息技术的发展; 有的汇报在工科进行量子物理教学改革的设想和以近代物理为核心编写《基础物理学》新教材的体会; 有的演示新研制的近代物理教学课件; 还有的交流近代物理应用研究和复杂原子结构的理论研究成果. 整个会议安排紧凑, 交流充分, 达到了预期的效果.

会议期间分别召开了常务理事扩大会议及全体理事会议. 理事们在总结回顾两年来工作的基础上, 还对下一阶段的中心工作进行了讨论, 并拟定于 2004 年在广州市由华南师范大学承办下一届年会.

(张学龙 供稿)

《物理》2003 年征订启事

科技部中国科学技术信息研究所“中国科技论文与引文数据库 CSTPCD”最新提供的数据表明, 《物理》2001 年影响因子和被引频次分别为 0.34 和 292, 比上一年度的 0.25 和 218 有较为明显的提高. 《物理》在物理学界的影响逐步扩大. 在此我们衷心感谢广大作者、读者和专家的支持和厚爱!

为增加信息量, 更为及时反映物理学新进展, 从 2003 年起, 《物理》将从现在的 64 页增加到 72 页, 提供更为丰富的前沿信息, 欢迎广大读者继续关注《物理》.

《物理》每月 24 日出版, 全年订价 144 元/12 期(含邮费, 港、澳、台地区另加收 240 元邮费), 全国各地邮局均可订阅, 也可直接向编辑部订阅(随时可订). 本刊作者、物理学会会员和大学生优惠订价为 100 元/年(限直接向编辑部订阅). 欢迎新老读者订阅《物理》.

邮局汇款 北京 603 信箱《物理》编辑部, 100080

咨询电话 (010) 82649470