

物理学与现代科学技术的关系

冯 端

(南京大学物理系固体物理研究所, 南京 210008)

本文的第一部分论述了物理学与数学、天文学、化学、生物学和地球科学之间的关系, 强调了它们之间的相互作用既对物理学有利, 也促进了其他学科的发展, 而且往往会导致自然科学领域中的重大突破。本文的第二部分论述了物理学与现代技术之间的关系, 指出了它们之间的相互作用有两种模式, 即技术先导或物理学先导, 但强调了物理学在现代技术中的先导作用, 并以能源、材料和信息技术中的一系列实例, 阐述了物理学在创建和发展新技术中所起的关键性作用。

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。过去是如此, 现在是如此, 展望未来亦复是如此。这里首先讨论物理学与其他自然科学的关系, 再进而论述物理学与现代技术的关系。

物理学与数学的关系密切, 源远流长。历史上有许多著名科学家如牛顿、欧拉、高斯等, 对于这两门科学都作出重要贡献。此风一直延伸到 19 世纪末、20 世纪初。当时的一些大数学家如庞加莱、克莱因、希尔伯特等, 尽管学术倾向不尽相同, 但都精通理论物理。到 20 世纪前半段, 数学与物理学开始有分道扬镳的趋势, 双方之间的信息交流有所梗阻, 但是还应该看到, 仍然有不少有名的数学家如赫曼·外耳 (Hermann Weyl)、冯·诺伊曼 (von Neumann)、柯尔莫果洛夫 (A. N. Kolmogorov) 等还对理论物理甚至于具体的物理问题感兴趣而且做出贡献。但总的来看, 抽象数学之风日益鼎盛, 到本世纪中叶布尔巴基 (Bourbaki) 学派的问世而登峰造极。当然, 数学家埋首致力于自身学科的建议, 本来是无可非议之事。但是, 在两门学科之间存在一条难以逾越的鸿沟, 却是对于双方都是极为不利的。物理学家往往希望多懂一些数学, 苦于不得其门而入; 而数学家则过于关注于论证的严密性, 对丰富多彩的物理世界会视而不见, 也难以理解。但是, 毕竟物理学与数学之间存在有深刻的内在联系, 这种相互隔阂的情况不可能长期持续下去。

转机果然就出现了。一方面是来自理论物

理学的新发展。50 年代初, 扬振宁等人复活了赫曼·外耳老早就提出的规范场论, 并赋予了新的物理内容, 引起了物理学界的广泛重视。他们惊奇地发现微分几何中像纤维丝这一类相当抽象的概念也具有具体的物理内容, 不啻是物理学与数学之间内在联系的见证。1990 年作为数学界最高荣誉的菲尔兹奖破天荒地授予一位理论物理学家威顿 (E. Witten), 也是一种表明两大学科在重新靠拢的信号。另一方面是电子计算机发展的结果。它的发展得到了一些有远见的数学家如冯·诺依曼、图林 (A. Turing) 等的关注。计算技术高速发展, 不仅技术上成果累累, 理论上也有其重要意义。过去物理学所津津乐道的是运动方程式的可积问题, 特别是可以将解用解析函数来表示的问题 (如谐振子、二体运动等), 显示出对于运动状态高度精确的可预测性。经典物理是如此, 量子物理也是如此。虽然可积问题只是少数特殊情况, 多数的问题是无可积的, 由于数学上求解困难, 只有数值计算的结果, 因而对于这类问题的物理本质理解不透。早在 19 世纪末庞加莱研究了天体力学有名的三体问题, 证明这是一个不可积问题, 而且在这类问题中物体的轨道对于初始条件极其敏感, 由于初始条件无从严格规定, 因而这类运动就具有不可预测性的随机因素。这种决定论式的随机行为后来被称为混沌。到了 20 世纪, 由于物理学家更加关注于微观世界的问题, 就将其传统领域——经典力学, 让给了工程师和数学家。值得注意的是, 在这段时期内数学家对于经典力学作出了重要贡

献,以柯尔莫果洛夫等三位数学家命名的 KAM 定理,就是一个例证。这定理表明,受到微扰的可积系统将仍可保留其环面上的轨道,呈现一定程度的近可积行为。在 50 年代中期,著名物理学家费米及其合作者利用当时最先进的计算机来研究一组弱耦合的非谐振子系统,发现在这样的系统中振动集中于少数模式,来回振荡,而不出现朝向能量均分演变的趋向。这一最早的计算机实验提供了 KAM 定理的实例,有相当重要的理论意义。如增加干扰的幅度,就可能使 KAM 定理所预言的环面上的轨道受到破坏,这是天体力学家伊依 (M. Henon) 首先注意到的,说明了牛顿力学的决定论并不排斥随机行为。对于费米等计算机实验的进一步探讨,发现它实质上反映了描述浅水波的 KdV 方程的行为,取得了有关孤子的一系列特征,在这些工作的基础上建立了在数学和物理都产生重大影响的孤子理论。

流体力学的湍流问题,长期悬而未决,成为“经典物理学的最后疑谜”[蒙却罗尔 (E. Montroll) 之语]。作为耗散介质中的特征行为,它具有普遍意义。早期产生巨大影响的工作是物理学家朗道与数学家霍普夫 (E. Hopf) 所做出的。后来,发现处理高自由度的系统难度太大,转而处理低自由度的系统。在这方面,数学家斯梅耳 (S. Smale) 与茹尔勒 (D. Ruelle) 作出了重要的贡献。而关键性的突破却来自费根鲍姆 (M. J. Feigenbaum) 的数值计算;同时也应该强调实验物理学家如利布沙伯 (A. Libchaber) 等一系列精巧的实验对于导向混沌道路所作的贡献。还有曼德尔布洛特 (B. Mandelbrot) 将数学家早已研究过的康托尔集合,西尔宾斯基镂垫等所谓病态几何图形予以系统的阐述,并且将它们和自然界的图象建立了联系,从而为分形几何学在物理学中广泛应用铺平了道路。上述的孤子、混沌和分形已经构成了现代非线性科学中具有共性的基本概念,往往可以在不同的学科领域中找到它们的踪迹。从非线性科学发展的历程,清楚地说明了物理学与数学相互作用的重要意义。

物理

物理学与天文学的关系更是密不可分,也可以追溯到早期的开普勒与牛顿。到当代,提供天文学信息的已经从可见光扩展到从无线电波到 X 射线宽广的电磁波频段,必然采用了现代物理所提供的各种探测手段。另一方面,天文学提供了地球上实验室所不具备的极端条件,如高温、高压、高能粒子、强引力等,构成了检验物理学理论的理想的实验室。因此,毫不奇怪,几乎所有的广义相对论的证据都来自天文观测。正电子和 μ 子都是首先在宇宙线研究中观测到的,为粒子物理学的创建作出了贡献。贝特的热核反应理论是首先为解释太阳能源问题而提出的。朗道、奥本海默等人的中子星理论则由海威什 (A. Hewish) 与贝尔 (J. Bell) 发现了脉冲星而得到证实。而现代宇宙论的标准模型——大爆炸理论,是完全建立在粒子物理理论基础上的。70 年代以来,诺贝尔物理奖不仅授予物理学家,也授予天文学家,赖尔 (M. Ryle)、海威什,孚勒 (W. A. Fowler) 和香德拉塞哈 (S. Chandrasekhar),都是获奖者。这也是天文学与物理学密不可分的一个标志。

物理学与化学本是唇齿相依,息息相关的。热力学、统计物理和量子力学都在化学中获得了重要应用。19 世纪吉布斯的工作横跨了这两个学科,得到学术界的尊重;在 20 世纪昂萨格 (L. Onsager) 也复如此。但是,在物理学与化学之间也存在阻碍理解的壁障。经典物理学几乎将所有涉及具体材料的物性问题让给了化学,它本身只关心比较理想化的简单系统。在量子力学诞生后以及随后固体物理学得到发展,情况就有很大的改变。但是,思维的惯性仍然存在。物理学家看到包括许多苯环的复杂分子结构式,往往望而生畏,感到手足无措;同时又不满足甚至轻视从大量实验结果总结出来的经验规律。另外,概念与术语上的差异也是一个现实问题。例如谈到固体的结构,化学家习用由量子化学导来的化学键;而物理学家则习用以固体物理学引入的能带。两者实际上是互为补充,不可偏废的。随着固体物理学发展为凝聚态物理学,研究的对象日益深入到更加复

杂的物质结构的层次：就半导体而言，从硅、锗等元素半导体，到 III-V 与 II-IV 族化合物半导体，乃至聚乙炔这类有机半导体；就超导体而言，从合金超导体，到氧化物和有机超导体，也都反映了结构复杂化的趋势，愈来愈需要化学家的配合与协助。凝聚态物理学的概念和方法，也促进了液晶科学、高分子科学和分子膜科学的日趋成熟，这是化学家和物理学家共同努力的成果。另一方面，化学反应动力学这一化学的基本问题，得到分子束、激光束等新实验技术的推动；和量子力学，统计物理，原子、分子物理等理论分析的配合，成为当今化学发展的前沿领域，也是物理学家大有用武之地的一个领域。还有，在原子、分子和大块凝聚态物质之间新开辟的研究领域，即团簇 (cluster)，得到物理学界和化学界的共同关注，双方在素养和背景的差异，正好起了互补的作用。这可以从 C_{60} 团簇与固体的研究历程得到充分的反映。 60 个碳原子构成封闭的足球形的团簇的发现，是化学家克罗多 (H. W. Kroto) 与斯摩莱 (R. Smalley) 等的功绩；制备出由 C_{60} 团簇构成的固体，则是物理学家克莱希梅尔 (W. Krätschmer) 等的功绩；掺杂 C_{60} 以获得 $18-28\text{ K}$ 超始临界温度的超导体，则是贝尔实验室一些科学家的贡献。

从聚合物和复杂结构的分子再前进一步，就到达生物大分子，接触到分子生物学的核心问题。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，他们在孟德尔、摩根、缪勒等人所得规律的基础上提出了基因的假设。但是，基因的物质基础问题，仍然是一个疑问和挑战。在 40 年代，物理学家德尔布吕克 (M. Delbrück) 和薛定谔对生命的基本问题感兴趣，提出了遗传密码存储于非周期晶体的观点，由于在薛定谔的小册子《生命是什么？》中对此进行了阐述，因而广为人知。40 年代，英国剑桥大学的卡文迪什实验室在布拉格的领导之下，开展了对肌红蛋白的 X 射线结构分析，这是一项工作量极大，甚艰巨的工作，持续时间超过 15 年，而以肯特罗 (J. C. Kendrew) 与俾路

支 (M. F. Perutz) 获得诺贝尔奖而告终。与此同时，美国化学家泡令则利用他熟谙的化学知识，利用搭模型的方法，解决了 α -螺旋的晶体结构。受到德尔勃吕克与薛定谔的影响，生物学家华生 (J. Watson) 与物理学家克里克 (F. H. C. Crick)，在晶体学家富兰克林 (R. Franklin) 与威尔金斯 (M. Wilkens) 的 X 射线衍射图的启发下，采用搭模型的捷径，终于在剑桥大学卡文迪什实验室定出了 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的突破。分子生物学已经构成了生命科学发展的前沿领域。生物物理学显然也是大有可为的。目前，基于自旋玻璃理论的神经网络学说，给出了很有启发性的结果。但是，它与真实的神经网络之间毕竟还存在较大的差距。如何填补中间的缺失环节，将是今后的重要问题。看来尚有待于复杂体系中凝聚态物理学的进一步发展。生物电子学的情况也复相似。

下面讨论一下物理学与地球科学的关系。20 世纪地球科学的重大突破在于板块理论的确立。当然，板块理论可以溯源于 20 世纪初威格纳 (Wegener) 所提出的大陆漂移说，但是由于缺乏佐证，没有得到学术界的公认。1945 年以后，物理学家布拉开特 (P. M. S. Blackett) 倡导岩石磁学的研究，形成了古磁学这一新的交叉学科。后来，在大西洋脊附近的古磁学研究揭示了洋脊扩展的时序，为板块理论的确立奠定了基础。板块运动的驱动力问题，又涉及下地幔的缓慢对流问题，是非线性科学中的一个课题。板块理论是一个动力学理论，可以预期，将有更多的物理学家被吸引到这一领域中去。大气物理学是气象学与物理学相接触的领域，两者也存在强烈的相互作用。气象学中有重要意义的洛斯贝涡旋，以及气象学家洛仑兹 (E. N. Lorenz) 为探讨长期天气预报的可能性而导出的洛伦兹方程，在现代非线性科学中扮演重要的角色。

下面我们转入物理学与技术的关系的讨论。一般说来，物理学与技术的关系存在两种

基本模式：其一是由于生产实践的需要而创建了技术(例如蒸汽机等热机技术)，然后提高到理论上，建立了热力学，再反馈到技术中去，促进技术的进一步发展。其二是先在实验室中揭示了基本规律，建立比较完整的理论，然后再在生产中发展全新的技术部门。19世纪电磁学的发展，提供了这一模式的范例，创建了现代的电力工程与无线电技术。在当今世界中，上述的两种模式都还在起作用。从物理学的角度来看，第二类模式的重要性越发明显。这也正是美国科学家布什(V. Bush)的观点。在他写的《科学——没有无止境的前沿》一书中强调地指出：“我们需要许多有活力的新企业。然而，新产品和新工艺过程并不是生来就完善的。它们依赖于新的原理与新的观念，而这些新原理与新观念本身又是来自基础研究的。基础科学研究是科学的资本”。下面就物理学的基础研究在能源、材料、信息等技术中所起的突出作用，作一概略的讨论。

能源的取得和利用是工业生产的头等大事。20世纪物理学的一项重大贡献就在于核能的利用。这可以说是由基础研究生长出来的全新的技术部门。但是也应该承认，核电事业的发展速度和普及程度并没有达到40、50年代科学界的期望。其原因是多方面的。经济成本比原来设想要昂贵，核燃料的原料不像原来设想那么丰富，核废料处理尚缺乏一劳永逸的妥善办法，以及对于核事故的恐惧心理等。但是应该承认，核电厂已是工业上的现实。在我国，由于大亚湾和秦山核电厂的建设核电的发展也提到工业发展的议事日程上来了。实际上，核电厂对环境的污染小于通常的火力发电厂。如何进一步降低成本，充分而经济地利用核燃料，将是一个重要的研究方向。为此，快速增殖堆提供了一个范例。如果说核裂变能的利用是今天的现实，那么核聚变能的研究则是为了解决21世纪的能源问题开辟道路。可控热核聚变能的研究也经历了不少波折，比原来预期要困难得多，但还是在向前推进。两种相互竞争的方案——磁约束型和惯性约束型，目前都没有

物理

达到输入和输出能量“得失相抵”(breakeven)的目标，但距离都已不太远了。不过，实现这一目标的日期一再延迟，也表明原来的估计过于乐观。即使在这一目标实现之后，要使聚变堆的原型得以建成，估计也算要经历一段耗时费功的马拉松赛跑。我想，多数科学家大概会同意苏联物理学家金兹堡(V. L. Ginzburg)的论断：就可能对社会产生的冲击而言，可控核聚变乃是物理科学中最为重要的问题。但期望在这一领域中取得近期的实际效益，显然是不现实的。在能源和动力方面，可以无损耗地传输电流的超导体的广泛应用，也可能导致一场革命。在液氦温区工作的常规超导体所绕成的线圈，已在加速器，磁流体发电装置乃至托卡马克装置等大型实验设备中用来产生强磁场，可以节约大量电能；在发电机和电动机上应用超导体，已经制成接近实用规模的试验性样机。由于这些成功的应用，再加上超导储能、超导输电和悬浮列车等的应用前景，就促使金兹堡作出另一论断，即高温超导体的重要性仅次于核聚变。自从1987年液氮温区的超导体问世以来，它在强电中的应用前景是最激动人心的。进展虽然并不像预期那样迅速，但通过四年的努力，这方面应用的物理可行性已经得到证实：短试样的临界电流值已经达到实用的指标。剩下的问题就在于克服制备实用化线材的工艺难关。尽管这方面的困难不容低估，但已可以作出论断，高温超导体的强电方面应用前景是光明的。太阳能的利用也对物理学提出了挑战。如何制出价廉而高效的太阳能电池将是一个关键性的问题。至于更加常规的能源利用，如石油勘探、煤的燃烧、节能技术等，也有不少涉及物理学的问题有待于进行研究。

材料技术的核心为新材料的研制和传统材料性能的提高。传统材料的发展依赖于经验的长期累积和不断的炒菜式的试验，在其中理论指导并不起太大的作用。即使在对钢中相变尚一无所知的时代，熟练的技工已经掌握了淬火使钢硬化的秘诀，就很足以说明问题。这种情况到本世纪的40、50年代，开始有所变化。对

于锗、硅等半导体的研究,揭开了材料技术的新篇章。区熔提纯、单晶制备、外延生长、掺杂工艺等方法相继问世,彻底变革了材料工艺的面貌。制备出高纯度、高完整性和可控掺杂的单晶材料,使得固体物理学家美妙的理论设想成为现实,犹如一张白纸让艺术家画出了最新、最美的图画。应该指出,这方面的研究工作除了在半导体器件上开花结果外,也促使材料科学在定量化、微观化和现代化方面迈出了一大步。这一实践指出了材料发展的新趋向,即不仅单纯地依赖经验的积累,也需要理论的指导。

从70年代起,江崎和朱兆祥提出了半导体超晶格的理论设想,随后分子束外延(MBE)、金属有机物化学汽相沉积(MOCVD)等技术的发展,又将理论设想和人工材料制备融为一体,巧夺天工,开启人工材料设计的奥秘,成为当今材料科学的热点。首先在实验室中得以实现的是量子阱,即夹在两层宽能隙材料(如 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$)之间的窄能带材料(GaAs)薄层。电子或空穴被限于阱中,但在横向的两个维度可以自由运动,具有甚高的迁移率。进一步还制出了一系列的量子阱,称为多量子阱。张立纲等人制备了一系列势阱和势垒,观测电子的纵向运动,结果完全符合量子力学的理论预言。崔琦等人在处于低温强磁场中的量子阱内二维电子系统中观测到量子霍尔效应,除了整数台阶外,还发现分数台阶。这是一项有重大理论意义的工作。量子阱也可以用来制作有实用价值的器件:低阈值的激光器、高迁移率的快速三极管、具有激子非线性的光学双稳态器件等。近年来由于超晶格制备技术的长足进展,在超晶格中也观察到共振隧穿这类纵向输运效应,可用以实现超晶格的原始理论构想。除了组分调制外,也发展了掺杂调制。超晶格的材料的范围也在扩大,包括IV族、III-V族、II-VI族等。特别是应变超晶格的引入,可以放宽晶格匹配的限制,从而获得不同材料参数(如有效质量等)的半导体,获得了能带工程的名称。超晶格的概念也推广到其他的材料中,金属超晶格即为一例,非晶半导体超晶格又是一例。由于

通常超晶格主要关注的是电子性质,其周期应小于电子平均自由程,通常是纳米的量级,而涉及光波或声波的纵向传播,需要的周期往往是微米或亚微米的量级,微米量级的光学和声学超晶格应运而生,同时也发现了有应用前景的特殊性能如倍频增强效应、超高频换能效应等。另外,从二维的量子阱可以发展为一维量子线和零维的量子盒,其中也有着令人刮目相看的物理性质。总之,人工微结构材料研究方兴未艾,前途未可限量。其特征在于凝聚态物理学与材料科学已浑然一体,找不出明确的界限。

随着凝聚态物理学逐步深入到复杂结构的材料和非平衡态的体系,相应地也发展了许多新型的材料,例如金属玻璃、非晶半导体、高电导聚合物、氧化物陶瓷超导体、纳米固体等。临界现象的标度律应用于聚合物溶液问题,已取得了很好的成效,还可能延伸到一些更加复杂的复相系统,例如水、油与表面活性剂的混合液。表面和团簇的研究则可能有助于探索新的复相催化剂。和凝聚态物理学有联系的材料品种和范围都在扩大。当然,如何掌握科学规律来发展更加传统的材料,如合金、陶瓷、高分子材料等,仍然是值得重视的课题。

信息技术在现代工业中的地位,日趋重要。计算技术、通信技术和控制技术已经从根本上改变了当代社会的面貌。如果说第一次工业革命是动力或能量的革命,那么第二次工业革命就是信息或负熵的革命。应该强调地指出,整个信息技术离不开物理学。1947年贝尔实验室的巴丁、布拉顿和肖克莱发明了晶体管,标志了信息时代的开始。实际上晶体二极管早就被应用了,早期收音机中的矿石检波器、氧化亚铜硒整流器,乃至第二次世界大战中雷达用的锗、硅检波器,都是其实例。但是,这些是单凭经验凑合起来的器件,原理不明,也缺乏可靠性。而贝尔实验室的发现则是在固体物理学理论指导下进行的,又有坚实的材料研究作为基础。所以一问世,就不同凡响,随即发展了一系列半导体器件,建立了半导体工业。对于基础研究投资的效益,安德森(P. W. Anderson)

有“无限大乘零”的说法，即每一项基础研究取得实际效益的几率几乎为零，但一旦一炮打响，就可能取得“无限大”的效益。显然，贝尔实验室对于晶体管的研究，就是取得“无限大”效益的实例，目前半导体工业的年产值已经达到千亿美元的量级。从离散的半导体器件到将有源器件和无源元件合为一体，即集成电路，又是一个飞跃，这是在 50 年代末实现的。而后集成电路向微型化方向发展，集成度约以每十年一千倍的速率（近年来略有降低）增长。在 40 年代中建成的第一台大型电子计算机 ENIAC，使用了 18000 个真空管，1500 个继电器，几十万枚电阻与电容，自重达 30 t，耗电 200 kW，真是一个庞然大物。而在今天，一台膝上式个人计算机的性能完全可以超过它，显示了半导体技术对电子计算机发展的决定性的影响。

集成电路的微型化基本上是采用工艺手段使电路的几何尺寸缩小。其中最关键的是光刻技术；多种物理手段如紫外光，电子束和 X 射线（包括同步辐射），用来改善刻线的细度。目前，工业生产上已经达到 $1\ \mu\text{m}$ 左右，而实验室中却由亚微米向纳米推进。这一微型化的趋势在本世纪内仍将保持其势头。以后如何呢？微型化不可能无限地持续下去，必然存在物理的极限。一个电子器件如果只包含少量的原子和电子，就不可能正常工作了。物质的不连续结构将给出器件尺寸的下限。但是，近年来的一些研究表明，这一极限比原来设想的要大得多。在细小线圈（直径约 $1\ \mu\text{m}$ ，而线宽为几十 nm）所做的电导实验表明，当系统的尺寸小于电子非弹性散射的平均自由程（在 1 K 温度下约为微米的量级）时，通常的宏观电导规律不复有效，取而代之的介观电导规律，必然要考虑电子波的相干性。反映了量子相干性的电子输运现象（如玻姆-阿哈洛诺夫效应、普适电导涨落、非局域化电导、量子磁通、持续电流等）已被观测到或正在研究中。这说明器件尺寸接近这一区域后，就不能用常规的理论来处理了，也标志了一种器件尺寸的极限。当然，反过来，这类相干电子波效应可用来制作具有全新工作原理的器

物理

件，其构想及可行性的演示都已受到重视，但由于苛刻的低温条件（1 K），要实用化尚有困难。

如何提高芯片的性能呢？提高电路的运算速率和降低其能耗，将是两个主要问题。用高迁移率的量子阱来代替常规的硅器件，在物理上是可行的。对于以砷化镓为基质的集成电路的研制工作也早已在进行了。但是，由于砷化镓材料的质量控制比硅要困难得多，一系列工艺问题尚难于达到硅的水平，因而要用砷化镓集成电路来取代硅还不是近期就能实现的。一种出路是制备和硅基质相兼容的量子阱，如锗硅合金或砷化镓的应变层，这方面的研究目前受到重视。降低能耗的一个可行途径在于用高温超导体来代替正常金属作为连线，目前也正被注意研究，也有更加极端的考虑，如超导计算机或光计算机，应当是为 21 世纪准备的计划。

另一项取得了“无限大”效益的基础研究就是激光器的发明。早在 1917 年，爱因斯坦就认识到两能级的辐射问题中必须要引入和受激吸收相对应的受激发射项。但是由于在热平衡态，在高能级上的粒子数小于低能级上的粒子数，因而受激发射为受激吸收所掩盖，不易观察到。50 年代初汤斯及普罗霍罗夫与巴索夫分别使氨分子束实现了粒子数反转，从而观察到微波的受激发射。1958 年，汤斯与夏洛提出了实现光的受激发射的激光器的设想。1960 年，梅曼制出了第一台红宝石激光器，为光子学揭开了序幕。激光器一经问世，首先想到的重要应用就是光通信，因为高频的光波具有特大通信容量。但是，早期的进展都令人沮丧。大气通信由于天气对光的传播影响太大而宣告此路不通，光缆通信也困难重重，进展迟缓。在激光器问世 15 周年时，人们对其应用情况作了检阅，虽然在测距、加工、准直、计量等方面都取得了重要的成果，唯独光通信仍然停滞不前。在贝尔实验室，由于科学家的远见卓识和锲而不舍，几个阻碍光通信实施的关键问题逐一解决了。他们制出了低损耗的光纤，其每千米的损耗低于相应的电缆；制出稳定可靠长寿命激光器，其寿命超过一万小时。这样，就使光通信走

出了实验室,成为一种重要的现代通信手段。光子学的发展,也使人们设想用光计算机来取代电子计算机。当然,从理论上来看,光计算机是有其优点的。光的传播速度高于电子导线上的传播速度,而光的信息处理是平行式,对图像的处理应有其突出的优越性。光计算机的基本元件是高速的光双稳态元件,量子阱就是一个候选者。应该指出,光计算机尚处于探索的阶段,构想的提出和模型性试验,距离实际应用还有很大的距离。当然,在电子计算机中采用部分的光学部件,如用于存储信息的光盘,已有商品生产了。至于未来的光计算机究竟是采用纯粹光子型的,还是光子与电子混合型的,也还是值得探讨的问题。

1962年,约瑟夫森提出了超导电子对的隧道效应并获得实验的证实后,电子学又产生了一个新分支,即超导电子学。两个或更多个约瑟夫森结可以组成超导量子干涉器件(SQUID)。SQUID是一种最灵敏的磁强计,除了在实验室中作为精密测量的仪器外,在野外地质探矿和测量人体的微弱磁性方面都有重要的应用。超导体也用于微波技术,可以作为高 Q 谐振腔的材料,而约瑟夫森结也可以用于探测微波、毫米波和亚毫米波。SQUID也可以作

为门电路,因而有可能作为计算机的逻辑元件。由于这种元件的开关速度比半导体元件要快,而能耗却比半导体元件要小得多,因此作为计算机的元件来取代半导体是有其诱人之处。在70年代后期,美国IBM公司的汤麦斯·华生实验室曾经集中一百多位超导专家进行超导计算机的研制和开发工作。由于事前对这一计划的难度估计不足,结果事与愿违,没有取得预期的效果。后来,超导计算机的开发工作就下马了,只还保持一支较小的队伍进行长期的研究。这场开发工作的失误,其后果是严重的。在80年代,超导学者在美国找工作发生困难,不少人改行,直到高温超导研究热潮掀起之后,情况方才改观。然而,失之东隅,收之桑榆。苏黎世IBM实验室的缪勒(K. A. Müller)原本是铁电物理和结构相变的专家,于1979年超导计算机高潮之际来到汤麦斯·华生实验室借例假进修一年,学的就是超导,后来回到苏黎世后,就倡导超导研究。在1986年,他与贝诺兹(J. G. Bednorz)一起发现氧化物高温超导体,随后一同获得诺贝尔物理奖。高温超导体的发现,毫无疑问地给与超导电子学以新的生命力,但是否会使超导计算机研制计划复苏,目前还很难说,不妨拭目以待。

The Relationship Between Physics and Modern Science and Technology

Feng Duan

(Department of Physics, Institute of Solid State Physics, Nanjing University, Nanjing 210008)

Abstract

The first part of this paper discusses the relationship between physics and other sciences such as mathematics, astronomy, chemistry, biology and the earth sciences. Through a number of examples we emphasize that mutual interaction is beneficial for physics as well as for other branches of science and often leads to major breakthroughs. The second part deals with the interaction of physics with modern technology. Two different modes of interaction have been found, one whereby technology precedes physics and the other whereby physics precedes technology. The latter mode is emphasized and illustrated with a number of examples drawn from diverse fields such as energy resources, materials and information technologies, showing the crucial roles played by physics in the establishment and development of new technologies.