

对 21 世纪物理学的发展的一点猜想

彭 桓 武

(中国科学院理论物理研究所, 北京 100080)

根据作者对物理学发展规律和大趋势的认识和体会, 文中陈述了对 21 世纪物理学发展的一点猜想。作者强调了提高认识能力的工具(指仪器设备计算机加实验方法, 计算方法)方面的新发展所起的开拓作用, 突出物理科学与生物科学相结合及研究与开发相结合两点大趋势, 猜想 21 世纪物理学将呈现更精致、更复杂的面貌, 由于物理学与生物学携手前进, 将使人们在生产和生活中更加节省能源和资源, 人类将更加健康。

Abstract

The author emphasizes the importance of improving measuring apparatus and calculating methods and points out the general trends of a deep union between biological and physical sciences and of a close interplay between research and development. He ventures to conjecture that physics in the 21st century will display sophisticated features appropriate for complex systems.

在庆祝中国物理学会 60 周年之际, 承学会领导邀我就 21 世纪物理学方面自拟题目作个发言, 我感到不胜荣幸。今勉为其难, 借此机会, 对于 21 世纪物理学的发展, 谈点个人猜想。这只是一面之辞。英文有个谚语“your guess is as good as mine”, 请姑妄听之。

对于 21 世纪物理学的发展作探讨, 我现在所讲的或所想的, 都是属于科学未来学的问题。我设想时间步长不妨也取为 60 年, 即来想象一下 2050 年的物理学, 跟其他未来学问题一样, 首先要考虑到方法论, 即用什么方法去预测 60 年后的物理学。因为用不同方法所得结果的可靠程度可以大不相同。我下面将从物理学发展的本身规律与物理学当前发展大趋势两方面作探讨, 自认这样可能得到一点较为可靠的东西。

一、从物理学发展的本身规律来探讨

首先请允许我引两段我在《谈物理学的性质和发展中的特点》一文^[1]中的有关叙述, 它包

含了我对物理学发展的本身规律的认识:

“物理学是关于物质性质和能量转换的系统知识¹⁾。为了不断获得这种知识, 人们不断创造实现各种特殊条件的设备和测量各种变量的仪器, 进行适当的安排, 组织, 以扩大人们观察实验的范围。所得知识的客观性表现在: ‘在同样条件下出现同样现象’ 这个必然重复的事实上。所谓‘同样’, 系指某些主要因素而言, 而忽略了关系不大的其他因素的不同。正确地分出哪些为主要因素, 是使知识得以系统化的前提, 因为只有抓住那些主要因素, 才能对条件和现象进行描述——严格地说是一种近似描述。……如果对象简单, 条件容易重复, 主要因素就容易识别。识别的正确与否, 可以为重复的观察实验所判断。这样, 这部分知识便容易

1) R. Peierls 在一篇讨论物理学的前景的文章中区分了对物理学的两种解释: 一种只限于寻求基本定律; 另一种还包含对基本定律后果的认识的扩充。我用后面一种解释。文见 *Evolutionary Trends in the Physical Sciences*, Eds. M. Suzuki and R. Kubo, Springer, (1991), 35.

系统化,发展成为较成熟的科学。反之便差些。……

“所以,就物理知识的获得而言,实验是开垦者。开垦后进行治理,形成定律,进而各方面结合成为统一的自然世界观,则称之为理论。这是知识系统化的更高阶段。在已被开垦治理的领域内,进行新的组合应用时,理论可以指导实验,可以在计算机上求工程的最佳设计。……新领域的开垦,虽然有时也可以从旧领域中提出要求,但主要是由于人们认识能力的工具的新发展所决定。通过开垦治理积累起来的能具体实现各种条件的本领,包括知识经验和材料设备等等,标志我们所掌握的科学技术水平,它在继承和交流中创造和发展。说到底,科学技术是通过实现条件而使现象出现。现象在一定条件下必然出现这点,既可用于参加组合,以创造新的条件去探索新的现象,也可用来造福人类。”

请注意“新领域的开垦主要是由于人们认识能力的工具的新发展所决定”这句带些规律性的话。所谓认识能力的工具是指仪器设备、计算机加实验方法、计算方法之类。这方面的较为熟知的新发展有飞秒激光、超级计算机、纳米技术、原子力显微镜、扫描隧道显微镜等。下面介绍可能不那么熟知的两个例子:一个是表面力装置^[2],可测液体中两个表面之间的作用力随表面间距离的变化。表面用云母吸附金属膜或脂的单或双分子层的膜,表面间距离控制测量到小于 1 \AA ,测力的灵敏度约为 $10\mu\text{N}$ (即 10^{-3} 达因或约 10^{-6} 克重力)。将来如采用原子力显微镜可望直接测量原子间的力。这应有广泛应用,因为在凝聚态和液态物理、化学、生物、材料科学与工程以及许多工艺过程中,有许多重要现象都牵涉到液体中表面间的力或溶解了的溶质分子间的力。另外一个例子是时间分辨的光声量热法,它可探查快的化学反应和生物化学反应的力能学和动力学的情况^[3]。当溶液中一个分子经历化学变化时,通常释放热能给其周围溶液,使之升温膨胀,因而在介质中产生声波,声波振幅直接与释放能量有关,所以测量声

波振幅可确定化学反应的焓变化。文献[3]所报道的时间分辨光声量热器是用脉冲($<1\text{ns}$)激光源触发反应,并用锆酸铅-钛酸铅压电换能器测声强,时间分辨的精确度约为 50ns 。对由吸收光而开始的串列反应,如果前后两个反应间有十倍的时间间隔,可以分别测出每个反应的焓变化。如果是在水溶液中,则还可利用温度依赖关系分别测出每个反应产生声波时的原始容积变化。在可预见的将来,根据压电换能器和瞬态记录器件的发展,时间分辨的精确度将可提高到 1ns 。这项技术在处理化学和生物化学问题(包括固体化学反应以及生物膜中蛋白质的动力学问题)中应该有广泛应用。

从上所述可以看出:认识能力的工具正走向精致,达到原子水平。原子、分子将不仅是靠想象的或被统计计算的东西,而是能抓得住、移得动、可受操纵控制的东西。认识能力的工具也闯入复杂世界,在液体覆盖下的表面上的快速过程也能实时地被观测。

二、从物理学发展的大趋势来探讨

我只想突出下面两点大趋势:一点是物理科学与生物科学相结合;另一点是研究与开发相结合。这些趋势当然也符合发展规律。

1. 物理科学与生物科学相结合

在探讨物理科学与生物科学相结合的前景前,不妨简略地回顾物理学与化学相结合的历史。按科学分类,物理学与化学同属于物理科学,物理科学与生物科学同属于自然科学,自然科学与社会科学同属于科学。所以上述两个相结合相差一个层次,但总还有参考价值。

19世纪初期对气体的化学和物理学研究导致原子、分子概念的形成^[4],1858年坎尼扎罗的著名演讲,可认为是物理学与化学相结合的第一个回合。19世纪中期以来,物理学建立起分子运动论、热力学和平衡态的统计物理,这些理论在化学领域中得到大量应用,促进了包括化学热力学在内的、内容十分丰富的交叉学科——物理化学的成长和发展。这可看作是物

理学与化学相结合的第二个回合。1926年量子力学诞生,1927年海特勒与伦敦用它来解释氢分子的结合能与振动频率,1928年伦敦用它来讨论氢分子与氢原子的碰撞,引入了三个氢原子的位能面,开辟了用量子力学解释化学反应和计算化学反应率的道路。这些工作虽属近似工作,但正如狄拉克所说,量子力学能解释一切化学问题,因为从本质上讲,原子、分子的化学性质取决于其电子的快速运动,而后者是个量子力学多体问题。所以量子力学诞生后,化学与物理学实现了根本性的结合。应用量子力学去解释大量化学问题,促进了更带有数学物理气味的交叉学科化学物理学的发展^[5]。这是物理学与化学相结合的第三个回合。60年来,对氢分子与氢原子这个最简单的化学体系,用量子化学方法定量地计算位能面的工作,愈来愈精确,对热化学反应率和态-态化学反应率的理论计算结果与实验结果也符合^[6]。位能面包括了电子快速运动必须用量子力学处理,而对原子的运动除量子力学处理外还可用经典力学近似计算其轨迹。比较态-态反应率发现还是量子力学计算结果更接近实验值^[7]。这些定量计算都依赖于计算机。

现在考虑物理科学与生物科学的结合问题。历史上把物理学称为自然哲学,而把生物学称为自然历史,这是将人文科学的术语哲学和历史借用到自然科学上来。物理学的描述是数理的,近乎哲学;生物学的描述是图形的,近乎历史。特别是生物的分类和演化。请原谅我讲讲我个人对这个结合问题的接触、了解和认识。我见到的第一本将物理学用到生物学上的书是“Growth and Form (生长与形态)”,书中讨论细胞分裂,认为除体积能外还考虑到表面能时,分裂便是自然的。印象更深刻的是谈到有按形态分类的两种鱼:一种扁些,一种圆些;一种习居于浅海,一种习居于深海。但将前一种鱼取来加压力,其形态便变为后一种。按物理学家看是一种鱼,形态不同是由于环境(压力)不同,后来在都柏林听薛定谔的公开演讲“生命是什么?”好象他提过生命秩序的维持要靠

物理

“吃”负熵,指的是带进生物体的各种物质的总熵比从生物体排出的各种物质的总熵少。因我在清华大学上叶企孙先生的热力学课时已听过这类话,所以再听时不觉新鲜,但今天回味起来,我怀疑这可能只是说说而已,不知有人认真核算过没有。在薛定谔的演讲中,给我印象最深刻的一点,是他对基因遗传的稳定性所作的量子解释。他将包含许多基因排序的染色体比作他命名的非周期性晶体。根据量子力学,要改变这晶体的能级,需要一定的较大能量。譬如说,需要的能量差不多是X射线的光子能量那么大,比通常温度下原子的平均动能大很多倍。这就解释了用X射线照射染色体可能引起基因突变,而不照射则不引起突变。基因遗传的稳定性是个量子效应,基因信息即包含在晶体的非周期结构中。到70年代末,我才从我国生物界同事那里听说,薛定谔40年代演讲后出版的小册子早已成为经典著作,它曾引起人们广泛注意,并与50年代X射线对生物大分子的结构分析和其他一些实验一起,影响到DNA的双螺旋模型和三联体遗传码的建立。我觉得这个胜利表明,物理科学和生物科学相结合是可能的,可以作为物理科学和生物科学相结合的第一个回合。

在这基础上,分子生物学迅速发展,同时促进了生物物理学的广泛而深入的发展。对生物大分子的结构研究有X射线衍射(定晶体结构)、核磁共振(定溶液中构象)和分子动力学(计算机上模拟)方法。结构中包括多种类型的原子运动,运动尺度快慢有若干个量级的差别。以球蛋白为例,在室温下,运动的空间幅值为0.01—100 Å,时间快慢为 10^{-15} — 10^3 s,能量为0.1—100 kcal/mol,而运动类型有局部运动(原子涨落、侧键振动、环与臂的位移),刚体运动(螺旋、区域、亚单位),大尺度运动(开启涨落、折叠与去折叠),集体运动(弹性体方式、偶联的原子涨落、孤子与其他非线性运动)等。

生物科学的对象是复杂而具有多层次性的,如分子、细胞、器官、整体、群落、生态环境等。对细胞中的生物膜结构与功能的研究也是

当前的一个热点,因为膜是物质运输、能量转换与信息传递的重要场所。膜为中间疏水两面亲水的脂双层,层中镶嵌着蛋白质,后者必有一头或两头伸到膜外。膜脂能进行侧向扩散和翻转、旋转、摆动(链内的或链间的)等运动,膜蛋白则仅有侧向扩散和旋转运动。对神经系统和脑的研究又是一个热点,神经网络的 Hopfield 模型与凝聚态物理的自旋玻璃有些类似^[1],它提供一个解释记忆、学习和图像识别等脑功能的信息处理的可能模型。

生物功能多种多样,生命表现有低等与高等之分。要达到对生命的本质有所理解,需要物理科学与生物科学从根本上相结合。物理学方面,特别象对生物大分子和细胞这样的复杂体系的力学和统计处理,还需要很大发展。

2. 研究与开发相结合

前面曾提过科学技术是通过实现条件而使现象出现,以资利用。无论是为研究而制造的新仪器设备,或是为生活而生产的新产品,都需要开发。随着科学技术的深化,开发工作中的研究成分加大,随着研究所要求的条件更加精致,研究工作更需要开发工作支持。研究与开发在相互作用下相伴发展的趋势愈来愈明显。

以开发受控核聚变能源为目标,对产生高温高密度等离子体(磁约束、惯性约束)已研究了几十年,到真正开发商用产品还需要几十年。在物质结构研究方面,在原子以下层次即核层次已获得丰富成果,因而开发出核武器、核电站、多种核技术与仪器设备、以及同位素的广泛应用。而研究更深层次(基本粒子)的粒子物理则需要开发高能加速器与探测器,这方面已有很大进展,需要高技术和大量投资;如能同时开发出副产品,才容易赢得社会的支持。在原子、

分子和它们的较简单的组合如无生命的凝聚态这个层次,包括与光、声和电磁场的作用在内,基础研究与产品开发距离较近,其中与信息 and 材料关系更密切的如半导体和高分子等人工材料,其结构与性能的研究更是为产品开发和生产开路;在这方面如能继续维持节约材料与能耗,其生产的经济效益能补偿研究开发费用而多有盈余。现代生物学研究也与工程开发相结合,常听到基因工程、蛋白质工程、生物医学工程等等,后者还包括一些物理工作在内。人们常常向往仿叶绿素进行高效利用太阳能,或仿细菌在常温常压下进行化工生产。在物理科学与生物科学相结合进行研究的同时,向生命学习,寻求启发,这对我们向工、医、农等领域开发新技术或许是很有利的。日本政府前几年提出的《人类前沿科学计划》便是一个以开发促研究和以研究促开发的范例^[2],很好地体现了研究与开发相结合。不妨猜测 21 世纪物理学将是更精致、更复杂,并与生物学、化学携手前进。让我们能过上节约能源、节约资源、减少污染、增进健康的幸福生活。我个人还盼望在 21 世纪我国在认识能力的工具方面也能赶到世界前列。

- [1] 彭桓武,物理,10(1981),147.
- [2] J. N. Israelach and P. M. McGuiggan, *Science*, 241(1988), 795.
- [3] K. S. Peters and G. J. Snyder. *Science*, 241(1988), 1053.
- [4] 彭桓武,百科知识, No. 4(1987), 71.
- [5] 彭桓武,百科知识, No. 4(1984), 43.
- [6] J. V. Michael et al., *Science*, 249(1990), 269.
- [7] D. A. V. Kliner et al., *Chem. Phys. Lett.*, 166(1990), 107.
- [8] 彭桓武,物理,20(1991),9.
- [9] 林克椿,物理,21(1992),470.

(上接第164页)

- [1] R. W. Newton et al., *IEEE Trans. Ant. Prop.*, AP-28(1980), 680.
- [2] R. G. Reeves, *Manual of Remote Sensing*, Chapter 4 American Society of Photogrammetry, (1975), 144.
- [3] F. T. Ulaby et al., *IEEE. Trans. Geosci. Electr.*, 18(1978), 286.
- [4] F. T. 乌拉比等著,黄培康等译,微波遥感 Vol 2, 科学出版社,(1987),258.
- [5] F. T. Ulaby, *Adv. Space Res.*, 1(1980), 55.
- [6] F. T. Ulaby et al., *Remote Sensing of Environment*, 14(1984), 113.