

阅读 | READING

关于物理学作为社会公共事业的省思

● 文 / John Ziman (英国布里斯托大学物理学荣誉退休教授)
译 / 曹则贤 (中国科学院物理研究所)
校 / 刘寄星 (中国科学院理论物理研究所)

一个知识的范畴

物理学的字典定义可以想见是以叙述它是“一个知识的范畴”开始的。但是，只有哲学家能够设想没有知者的知识，而且社会心理学家提醒我们人们只有通过联系在一起才能达成认知同样的事物。字典会接着界定物理学是一门“科学”或“学科”，因此它是近代社会的主要元素之一“科学”的一个组成部分。这其实正是坚持物理学在许多有趣的方面是社会公共事业的一种挺有想象力的方式。

几乎所有的物理学家，以及大部分科学史家，发现这个概念很难理解。限于篇幅，我这里不算解释它原则上意味着什么，或阐述它如何帮助我们理解我们的伟大科学的过去、现状甚至还有将来。此外，充分的阐述会因为要详细地驳斥狂热病而变得冗长，这种病症已出现在当代科学学

研究的“社会学转型”中。我为我没有担起这个出力不讨好的任务而请求谅解。

本文源于为《欧洲大学史》第四卷准备的评述第二次世界大战以后精确科学的一章，该书现正由剑桥大学出版社出版。令人惊讶的是，当我开始撰写该章时，我发现我正要讲述的事情并不是完全陈腐老套的。这里我随手捡起几个主题展开讨论，这些主题是当人们开始以同样的观点特地检视物理学时会出现的，无需用到复杂的如知识社会学之类的所谓元科学的方法。它们不会导致未曾预料的结论，但它们确实融入一个框架，在其中可找到和诠释许多看起来互不相关的现象。它们也构成了一个将过去和现在的趋势投射到未来的一个稳定的平台。

一门独特的学科

物理学的范围可以界定吗？我很怀疑。字典里的描述试图澄清但却可能产生更多的混乱。知识范畴从不能被精确地划出其轮廓。实际上，将物理学同科学的其他部分区别开来变得日益困难

是一个重大的历史现象，我们将回到这一点。

尽管具有非常深的历史根源，物理学被作为学术上独立的一门科学看待却是十九世纪才开始的。到二十世纪初，自然科学才被划分为各自

分立的学科。从那时起，他们作为或多或少独立的社会公共机构的存在，学术圈内还是圈外，看起来都是确立了。

一开始把化学、物理、植物学等学科当作是根据某特定的方法关切世界的某个特定侧面的单一主题教给大学生们曾被认为是天经地义的。培养以一种特定方式理解事物并学会如何提升对其理解的“化学家”“物理学家”“植物学家”以及其他的什么学家是大学的任务。

那时，各类科学也被小心地从学术意义上与其相应的技术分化开来。实验物理学家最终会成为应用其知识的专家，但他们不会修习机械或电子工程师的课程。理论物理学家也许会学习如何解流体力学方程，却不会学习实际的推进器或涡轮机的性能。

整个二十世纪上半叶，围绕物理学及其“纯粹”与“应用”集团之间的部落边界，在学术界是不可侵犯的，而且被上上下下地扩展到了社会。比如，在英国，直到 1960 年代以后，其主要会员是大学教员的物理学会才和代表在工业界工作的物理类毕业生的物理协会合并。德国工业公司仍然不会按照“工程性的”角色雇佣物理学家；大多数国家的政府研发结构会仔细地把职业物理学家同化学家和数学家等人区分开来，物理学家有自己的职业道路要走。

这种专业主义，当然既是大学里专业和组织分化的反映，也是其产生的根源。如同所有其他学科一样，物理学聚合到一个独特的系，其职员都是清一色的物理类毕业生，要做原创性的物理研究。尽管他们拥有转到其他学科的技能兼或正式资格，大学的物理教师常常被他们自己在高度专业化研究中的个人投入有效地陷住了。

当然，人们认识到，一些研究领域就横跨在

常规的学科边界上。但是交叉的学科如化学物理、地球物理，不管是教学还是研究都被边缘化了，常常是在小的、不受尊重的专业名义下艰难存活。尽管没有正式的认识，人们明白，主要的科学学科其内部还是分成小的领域，由少有共同点的人群占据。在十九世纪被联合在 Newton 和 Maxwell 旗帜下的物理学开始分化。到二十世纪中叶，它可以按照谁是使用量子论的，谁是使用相对论的，谁是两者都用的，或者谁是两者都不用而且所知也不足以能够教学的（到 1940—1950 年代还有一批这样的人）来划分。

可是，物理大地上的“郡县”和“教区”边界却不应该被过分强调。在不同的国家里，边界并不是划在相同的地方。有一些杰出的研究中心，其研究进展为特定领域制定发展的步调，很多很多平庸的物理系则远远地落在后面。但是，如 Dirac 的《量子力学》和 Courant 与 Hilbert 的《数学物理方法》等名著的译本可以在世界各地作为教科书使用，表明世界上的教学和科研有共同的文化。

处于两次世界大战间隔时期的一些著名物理学家的传记曾记载了大量国际互访和会议。这些事情比方说让一个英国的物理学家到德国的大学学习一段时间，或者让来自欧洲许多国家的物理学家在一个美国的学术职位上避难，从科学观点来看这些做法显然是容易的，然而常常因为其他诸如语言或聘任雇佣等问题而遇到困难。世界各地（俄国、印度、阿根廷、澳大利亚等国）的学生可以来到剑桥或哥本哈根这样的中心深造，他们通常并不知道最新的研究进展，但却具有取得研究进展的坚实的基础知识。物理学也许还不不是一个全球性的社会公共事业，但却已经是一个具有共同文化的这样的公共事业的跨国联合体。

淡出的框架与消隐的边界

随着时间的继续，原先将物理学从其他科学分化以及将它们自非学术世界圈起来的社会藩篱

开始淡出和消解。这表现为新交叉研究领域和跨部门机构，比如由大学、政府和工业界共同资助

的研究材料、“系统”和大气的研究中心的出现。表层下面有更多的在那些支撑起研发的许多维度的学科、大学的院系、科学专业、政府机构和经济部门之间的相互渗透和相互依赖。

“交叉性”是学术改革拥护者们喊了多年的

无处不在的研究技术

最明显的因素是新技术由物理学和电子工程向所有邻近学科的扩散。这一方法论的革命始于1920年代，以电子测量设备进入化学和地质学研究为标志。由于一些科学家在战后把战时获得的通信与雷达方面的经历带回了实验室，这一过程得以加快，直到1960年代在必要时使用这些技术的能力对所有精确科学里的实验和观测研究来说是必备的。

真正的革命在1970年代到来，微电子控制、数据处理和数字计算能力被连接、结合直至植入到每一种研究设备里。这一进程是不可阻挡的。从定义可知，所有的精确科学都涉及定量数据的采集和逻辑操控。这是一项可由数字微电子器件以不断增加的容量、速度和算法复杂性完成的任务。

从地理上说，这一革命的发生是不均衡的。欧洲物理学家在使这场革命成为可能的硬件和软件的发明和发展上只有边际性的参与，他们在采用1960—1970年代在美国实验室已经普及的新设备和新技术方面动作相对较慢。但到1980年代初，他们赶了上来，西欧大学的物理实验室已经同样装备了计算机、数字终端以及如美国一样的计算机控制的设备。在中欧和东欧的物理研究就不是这样了，设备性能的落后使得那里的实验研究根本无法跟上国际前沿。这种物质上的不足继续阻碍着第三世界物理研究基础的发展。

信息技术向所有精确科学的渗透让它们变得更加紧密。同物理学的联系不再仅仅是技术上的，意思是指同样的显示单元、电路板和高级语言被用到每一个校园内的科学地界上的几乎每一栋建

口号之一，但他们一年年地失望了。在过去二十年里同物理学紧邻的科学得到了极大的发展，又是怎么回事呢？众多因素对此起作用，其中有些是科学事业内部的，有些则源自先进科学所处的社会、政治和经济环境的变化。

筑里。所有的科学开始学习同样的比如空间现象的计算机模拟和观察数据的断层再重构这类新“知识”程序。为地球物理探测发展的一套程序可能正是材料无损测试所需要的。原先为海洋地理研究购置的大型并行超级计算机后来被用于计算出宇宙整个历史、核子里夸克相互作用的整个过程。

自然地要强调信息技术的统合效能，因为此技术已经在日常生活中变得为人们所熟悉。但是大量的其他新颖、高效能的研究技术已经远离其发祥地而渗透整个科学世界。起初，一种“外来的”技术可能未加考虑就被用上了，简单地被当作看待已有问题的新途径。但紧接着，由此联系到一起的领域之间发生知识上的协同，越过部门和学科间的藩篱开创了新的途径。

X射线衍射、电子显微术、激光光学、同步辐射、放射性同位素、质谱——这个名单还可以一直开下去——都是在物理学范畴内孕育的。它们已经成熟并被用到自然科学的所有分支，从天文学到动物学。例如，扫描隧道显微镜能提供特别详尽的关于固体表面的断层成像信息，不管固体是一块结构合金，一片硅片，一块陨石，一种矿物还是一种有机大分子。一束激光可以用来测量大陆的蠕动，或者捕捉化学反应过程的中间态。新实验技术的扩散并不会停留在精确科学的边界上。X射线光学被用来研究恒星和海星、大分子和生物膜。最近出现的大批通用研究技术正在改变物理学作为一个知识领域的定义和作为一个社会公共事业的角色。

跨学科的学科

科学的辉煌历史观欢呼最终成为国家的科学新部落的出现。他们描述对自然界的探索如何扩展到成为邀约系统研究的新方向。其背后的假设是，当时的发现可以根据固有的结构来表征；如今天我们所说的那样，此所谓的固有结构尺度上可以是从夸克到类星体，复杂性上可以是从粒子到政党。每一门科学都可以根据其在这个体制里的位置，在一个抽象的图上被唯一地标定。

到二十世纪中期，这一有用的可能哲学上略显幼稚的体制出了麻烦。所有在这个地图上的黑暗大陆，即未知的领域，已经被性急的开拓者涉足过、粗略考察过并且划为自己的领地。在大陆板块的结合处建立了缓冲区，双跨的名字如地球化学、天体物理、地球物理、化学物理、数学物理等等表明了它们的杂化状态。从那以后，只有分子生物学（或者被标识为生物物理）作为一个新科学分支还拥有过去未曾探索过的主题。

这不是说物理学在 50 年里没有取得辉煌的进展并带来令人惊奇的发现。大多数观察家认可这样的观点，即这是历史上最多产的时代。前一句话只是强调这些发现不再是如同半个世纪以前的发现，它们没有开启未曾猜想到的存在领域。比如，寻找自然界基本构成已经挖掘到了原子核，经过电子、核子、光子和中微子的层面，揭开了夸克和介子所在的更深层次。但是，大多数物理学家把这些发现，包括理论的诠释与理论的统一，看作是伟大搜寻计划的后继阶段，而这在 1912 年 Rutherford 和 Bohr 在曼彻斯特一起工作的时候就开启了。类似地，天文学在比 1930 年代能想象的更广泛的范围内的对象和现象上获得了惊人的证据，但是其关于宇宙的一般观念同那时教给学生的完全没有区别。

由于已没有可去征服的新世界，物理学首先转而实行帝国主义政策。赋予物理学周边的杂化主题的名字如天体物理、地球物理等，从本原上表明是物理学方法在自然的其他方面的应用。受

幼稚的还原主义原教旨的启发，一些物理学家尝试扩展他们在这些学科的地盘以至试图夺取之。这个宏大的政策失败了，主要是因为它完全忽视其他学科所赖以建立的那些大量未曾言明的、无法量化的认识。但是，在这些传统上不同的学科之间的藩篱被不可逆转地打破了。因此，‘所有的化学实际上是物理’的说法现在相当程度上被打折了，尽管化学家自己也欢呼使用了‘物理’定律的数学表达在化学现象，如分子结构、键长、反应速率、光学性质的计算方面不断取得的进步。

长远来看，一个产出更高的政策是进入更高的智识维度。从 1970 年代初期起科学界见识了一种学术现象——从已有的大量不同学科抽取一些元素融合入科学的更宽泛的新领域。实际上，这些跨学科的新领域之范围是如此之宽，以至于它们已远超出传统意义上的自然科学。地球科学包括地质学、地球物理以及社会科学的许多地理学的内容。信息科学并不就是高等工程学，因为它一方面从基础上依赖于数学和物理学，另一方面它又是建立在心理学、社会学和管理科学基础上的。

作为一个切中主题的案例，材料科学跨越已经建立的精确科学及与其相关联的技术。它得自物理和化学的知识与技能不是边缘的，而是来自这些传统学科的主流研究；同时，它的应用彻底改变了电气、机械和结构工程等行业。从本原上说它可以被描述为已经得到认可的亚领域如冶金、连续介质力学、晶体学、高分子化学和固体物理的松散联合。人们也可以将之看成大量的研究专业（研究诸如超导、磁性、晶体生长、机械强度等物性）的联邦。或者它也可以用实用的词汇定义为寻找特别强、具有弹性、轻便、绝缘、透明、超导、生物惰性等等性质的新材料的努力。

这个新科学领域的弄潮儿习惯夸大它的知识相关性。可是，材料科学已是作为一个学术类别——而且因此作为一个横穿传统精确科学体制

的社会公共事业——坚实地建立起来了。从效果来看，它已不属于那个体制，但是代表新的备选分类体制中的一员，那里专门的研究领域被根据不同的原则定义和组合。一个“矩阵结构”出现了，

研究兼或教学

毫无疑问，像物理这样的精确科学的推动力来自其研究的能力，而不是教育功能。大学的传统建立在特定学科的系里或更专业化的专门研究所里的教学与研究的共生关系之上。前述问题的发展让这一关系承受了很大的压力；研究前沿繁荣了、分化了、变得错综复杂且不断前移，已经不再同要教给学生们的基本内容直接相关了。

不只是内容和课程设置跟不上时代，不再能同当前的知识相自治。关键是物理知识是累积性的、不断革新的。新的理解是建立在旧知识之上的，但不是超越。举例来说，物理学中对多数理论问题的理解是建立在量子力学之上的。这是一门精细的、智力型的学科，掌握其原理和计算程式需要时间。它不可以被简化为中学课程，而是必需在相关学科（包括新型的、理论上也依赖量子力

新的跨学科的“行”比支撑它们的老学科的“列”更加明显，大体上对社会更有影响。物理学的权威被分解，为更宽泛领域里的社会公共事业所分享。

学的交叉学科如材料科学等）的每一个本科课程中占有一定的比重。

如何将适于本科教育的相对持久的学科结构与以不断变化的交叉、跨国、跨部门的组织形式为典型的高等研究相协调？一个解决方案就是砍断阻碍教学和研究连接的死结，建立由全时科学家供职的研究所、单位、实验室或中心的专门体系。这一政策为一些国家特别是俄罗斯和法国所采用，国家资助的国家科学院一直是活跃的研究机构。

物理学复杂的设备要求和丰富的技术潜能看来偏好这样的安排，尽管这大大限制了大学教学人员的研究机会；但是，美国、英国、荷兰、瑞典等国的经验表明这些难题还是可以在大学的框架内得到解决，无需在科学家的职业生涯中把教学同研究分割开来。

定型化

精确科学之间的界面上不断增加的穿越既是物理学和相关技术密切接触的原因，也是其结果。但是，“基础”物理和“应用”物理之间的缝隙也一直因为定型化的原因而不断弥合。这指的是某个特殊领域可以被‘定型’的程度，即可以有益地指向现实的目标。

最初的定型化命题是1973年由位于西德斯塔恩堡大学内的Max Planck研究所的科学学研究小组提出的。其最简单的形式依赖于Thomas Kuhn关于研究领域之寿命周期基本上是被划分为三个阶段的论述。第一阶段可以描述为范式前阶段，在此阶段该领域尚缺乏广为接受的一般性的解释

性方案。这种情况下，很少有针对实现特定实用目标的、细致的研究计划的适当的理论支持。这显然是，比如Newton的工作出现之前的宏观动力学所面临的处境：在我们称之为经典物理的大多数其他分支内，这一时期持续到十九世纪初。

革命阶段的特征是既有不能融入已有诠释的反常观察，又有存在引起能进入更加协调的理论体系的突破条件的感觉。这显然是一个对把研究指向既定的技术目标依然不现实的阶段，但此时长远来看却是为了更好地理解基础所付出的努力回报率可能很高的时期。这种感觉在二十世纪初当然是十分普遍的。

使得物理学在 20 世纪如此令人振奋的是许多主要领域已经发生了 Kuhn 式的革命,且目前正被有效地定型化。在 1900 年,经典物理,比如热力学、电磁学和流体力学等等,已经建立起覆盖大多数宏观体系的基本范式。量子力学和相对论把此覆盖推广到关于凝聚体、分子、原子和原子核的微观物理之大多数方面,以及推广到解释大尺度宏观的关于大地、行星和恒星等的现象所需的许多方面。

怀恋物理学革命性的过去的物理学家应该注意到,同样的革命已经发生在所有的精确科学以及生物学之大部了。他们也许会为高能物理、天体物理和宇宙学尚未“定型化”而高兴,那里还存在尚未充分探索的基本现象,尚有关于研究必须在其内规划的理论框架的广为人知的不确定性,以及有广谱的、高度推测性的项目正在积极进行中,这些项目大多由学术机构赞助。

此一 Kuhn 式的分析显然太过简化了些。科学知识是在众多前沿通过无数连锁的、局域的模式形成与修正的循环而同步前行的。即便是在物理学内,不同领域在此维度上的差别也很大,由此在学术史上遵循不同的轨迹。但是,一个普遍的错误观点认为“革命”之后的“正常”科学是智识上缺乏创造力的,或与追求真理的大学传统不相称的。恰恰相反,定型化为基础研究开启新天地,为富有成果的应用提供新机会。

一个效果是,研究从此可以放心地专注于无

数已被观察到但尚未得到解释的重要现象上,包括材料系统的、工程系统的,地面的、外太空的。我们这套书所介绍的研究之相当大的一部分是本着这种精神完成的。强的理论范式也使得物理学方法论的最新进展,即可以模拟天然或人工系统中可观测物理现象的可行的计算机模型化成为可能。

依照更加确定的程式更系统地开展研究的可能性,深刻地影响了科学事业的社会维度。倘若时间充足,资金充裕,几乎所有理论上可信的实用目标都能实现。对研究努力的管理变得比对目标的构思更加关键,这一点在第二次世界大战时当核物理的基础研究成熟到可用作军事技术的时候表现得尤为极端。它把由其他早已定型化的如经典动力学(例如弹道学)、电磁学(例如电报技术)和流体力学(例如空气动力学)这样的物理学分支所建立起来的研究队伍结合到了一起。

类似的发展发生在微观物理的差不多每一个分支。几乎任何说得过去的实际应用所需要的所有物理知识都可以通过任务指向的或战略规划的研究而获得。这些潜在应用的范围如此之广,从而打开了祈求权力、财富和福利甚至纯粹好奇心的潘多拉盒子。其结果是,原本是建立在政治经济生活边缘的一个社会公共事业走到了舞台的中央。如果没有接下来我们要分析探讨的一系列意义深远的结构嬗变,这是不可能发生的。

学术研究和工业的结合

每当物理学的一个分支达成定型化时,它就变成了工业界兼或政府资助的大规模研发的舞台。这一过程因为物理学和物理学家在第二次世界大战中所扮演的关键角色而大大加速了。战后,“原子能”和微电子学的军事与和平利用在诸如洛斯阿尔莫斯、马尔文、贝尔实验室以及其他实验室联合体等大型组织中被不倦地推进着。

“应用物理”是十九世纪末以来工业和军事研发的主要部分,但通常是作为工程的辅助。现在,整个物理学的知识基础开始被看作技术创新的直接源泉,因而值得海量的支持。

许多领域的研究中心因此从大学迁入这些实验室里,那里雄厚资源可以跟上任何有前途的苗头。这一趋势甚至在一些外围动机可以被描述为

智识好奇的研究领域也能观察到。一个明显的例子是在1930年代发源于大学物理实验室内的基础半导体物理,但现在其发展步调已经完全由跨国电子公司所决定。同样的历史进程三十年后发生在激光物理和光学领域,学术界已不再是基础研究的主战场。

同时,在大学物理中技术目标也占据了更大的比重。为知识而追求知识被一些不同的力量(其中直接来自工业的资金并不总是最具影响力的)扭向(或曰改贴标签)更加明确的实用目标。在某些国家,大学里的物理学家养成了令人遗憾的要到国防预算中去切一块蛋糕的品位,学会了相应地确定他们的项目要价。在过去的二十年里,相当大比重的支持“学术”物理的政府资金下来时就贴上了标签,指明它应对国家在世界市场上的工业竞争力,或者某些此类的政治经济活动有所贡献。

“战略”或“竞争前”研究的说法为这种发展提供了包罗一切的口号。对除了天体物理、宇宙学和超高能粒子物理以外的几乎任何物理研究项目,我们都可以说它能够产生可以提高我们对通用技术的基础性理解——这能最终导致有益的实用发明(等等)——的知识。这种辩解正成为大学物理学家为其项目寻找道德正当性和财政支持的宝贵的修辞源泉,而不管实际上它们离市场到底还有多远。可以说这代表理论和实践的创造性的统一,即便是其最偏僻、花费最昂贵的领域也向社会允诺实质性利益以及展示基础物理的重大社会角色。但这也对一些科学领域的未来构成了威胁,它们以高能粒子物理为代表,看起来难以实现从最昂贵的、智力巴罗克式的象牙塔的“战略”转移。

工业和学术团体的特征研究活动和兴趣因此在细节上互相渗透,这发生在大学校园、科学园区,以及联合研发实验室里。以凝聚态物理中一个典型的研究问题为例,玻璃态物质中的孤立化学杂质的光学性质是什么?这一问题可以是在关

于这一体系中电子的量子力学状态的基础研究过程中提出来的,它也同样可以是在为了发展和制造光电通信用的更透明的光纤过程中露出头角的。在各自的情况下,实际的研究都涉及严格相同的设备、样品、理论、文献资料和技巧。完全相同的研究可以放在大学的物理系、材料系或电子工程系,或者是跨国公司的研发实验室,或一国之国防部所属的研究实体。而且,在每种情形下,都要严肃考虑研究结果是否能获得专利保护或其他商业开发形式的实际应用。

这并不意味着所有的大学物理研究工作如今都直接面向技术发明。“好奇心驱动的”“探索性的”“蓝天”研究依然由世界上数千个学术机构的科学家在进行着。私营企业远离他们认为可以支撑他们的工业研发的基础性研究。学生和研究人员的初期培训仍然主要是大学的责任,尽管其学术资格是在工业界或政府实验室里的博士前或博士后研究之基础上获得的。学界和工业界互相对对方更加开放,也比以前更了解对方的关切,但其科学和技术活动本质上仍是互为补充的。

可是,物理学不是一个统一的社会公共事业依然是事实。已确立的学术态度与实践——选题和出版的自由、从理论上确定研究目标、同行小组仲裁、同事结构中的个人自治,等等——同遵照为了产出与由整体管理早已定义好的某个实际问题之快速解决方案有关的、可市场化的知识财富所制定的计划,是不大容易调和的。这些文化差异的根源,远比通常为了鼓励更加有效地实现学术研究和工业结合而进行的公开宣讲和实施的补贴中所认识到的更深,而且在一些国家专门为了弥合这种差异而设立的广大研究机构里也没有完全解决这一问题。像“科学园”“Fraunhofer研究所”“交叉研究中心”以及“风险公司”之类实体的社会角色演化如此之快,对它们如何同集合在物理学大旗下的传统研究所相联系这个问题,我们至今仍然没有感觉。

集体化

物理学研究的开展情况比其研究对象的变化还要剧烈。这一改变可以最经济地描述为从个体科学努力朝向高度组织化的集体研究模式的转移。这个变化最直接的证据是多作者科学文章的现象。第二次世界大战以前,大多数科学文章是以单一作者或两个密切合作的科学家(一般为一个学生或研究新手同其指导教授)的名义发表的。

这并不一定意味着人们全部是在单独从事研究。多数情况下他们是大学一个系或研究所的学生们与教职员,十来个科学家和技术人员分享研究设施和教学实验室。但他们一般在实验室有自己的一片领地和个人的研究项目,他们对个人研究项目的构思、执行以及结果的发表负完全责任。这原则上也适用于大的“研究学派”,那里研究通常是在一个著名教授的监督指导下进行的,研究成功带来的大部分功劳也归于该教授。

现在我们发现那些非纯理论性的物理论文常常出现一群“作者”的姓名,从两三个到几十个甚至几百个不等。这反映的是存在实质合作的现实,不管是作为专业同行出于自愿伙伴关系还是作为一个有组织的研究团队之成员出于管理规范。尽管组织里有一个容易识别的领袖,研究却是所有成员劳动的集体产出。

这一趋势的范围与强度在不同领域内是不同的,但决不仅限于物理学。确实,这一现象是如此普遍,肯定不可以归咎于某个单一的简单原因。这也许代表一种从美国富裕的、更加商业化的大学和研究实验室扩散回到欧洲的文化形式。第二次世界大战期间的军事研究和大工业公司的技术研发的例子,验证了大型研究团队集中解决某些完好定义的问题的有效性。在某些领域,这一研究模式几乎是不可避免的。尽管高能物理和宇宙学在精神上仍然是“革命性”的,由于研究它们的许多技术方面的有效定型化使得设立一些非常精细的项目成为可能,只有由熟练人才所组成的大型、高度组织化的团队才能承担这样的项目。

在科学变成跨学科或超学科的地方,研究计划又一次不再能分割成独立的、适于个体研究者的有限范围技能的课题。进展要求来自很多不同科学传统的专家之间活跃的、即时的合作,为了共同的目标而工作。尽管研究看起来可能处于某个传统学科的主流中,它仍然需要来自许多其他技术专业的参与。因此,举例来说,如今很少有物理学家对那些对其领域有贡献的实验和理论技巧都很在行,因此同技巧上可以互补的同行合作发表论文无疑是有益的。

与此相关的一个发展是设备日益增加的复杂程度和费用。这是由我们早已注意到的一些因素合力导致的,包括某一领域之发现作为其他领域的研究技术(比如固体探测器在天体物理领域的应用),新的但是功能强大的标准化仪器由商业公司系统地再设计与制造,当然还有设备的计算机自动控制。

在某些领域——比如关于非常态的凝聚态物质如液晶的结构研究——由非常有天赋、有想象力的科学家小组无需高度专门化的设备而做出杰出的研究成果还是有可能的。但是,那些研究表面上的“简单”常常带有误导性。如许多中欧和东欧物理学家曾体验过的,日常工作中缺乏简单的、基本设备——如试管、纯化学试剂、激光、个人计算机、高端杂志——会将最有灵感的研究阻挡在“封蜡加线绳”的传统阶段。通常,即便某项研究不涉及一件专用设备的建造和使用,它也时常用到一些精密设备,比如电子显微镜、氦液化器、X射线谱仪等等,更不用说高性能计算机和数据库了。

其结果是,有效开展研究的机构不得不投入大量资金在设备上。在让比如一个大学物理系能运行所必须的实际集聚规模多大的问题上可能观点不一,但有一点确是清楚的,即这笔投资如果不是由不到数百个也要几十个研究人员分享使用,则经济上是不划算的。这不是说研究本身要在同

样的尺度上组织，小的研究单位——如由几位专业研究人员组成的，加上助手、学生和技师——对广大物理领域的“战略基础研究”还是适当的。

大物理学

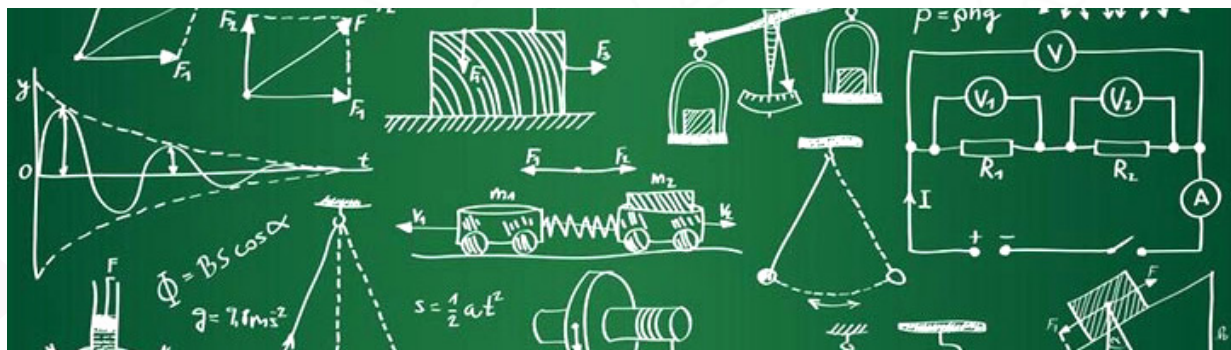
集体化的最高形式是“大科学”。在某些研究领域，一些基础设施太大太昂贵，其所需人力和物力资源已经远超出最大的大学的能力，而只能以国家或国际“设施”的形式被提供。在公众的眼里，物理学被等同为大型粒子加速器和造价高昂的星载观测平台。只有极少数人能理解它们所带来的发现这一事实徒然增加了它们的象征性威力。

“大物理学”不断提升不仅是影响公众科学态度的一个主要因素，就物理学自身来说也是意义重大的。诚然，很多看起来主导了物理学研究的大型设施只是特殊的辐射源或功能强大的观测仪器，它们主要是由大量的独立工作的小课题组使用的。这些设备不过是把到一个特殊工作地点获取重要研究资料这样的习惯性做法扩展到大陆距离的层面而已。由是，一个比如来自巴塞罗那大学的研究人员可以前往格勒诺布尔待上几天，带上事先制备好的样品好置于 Laue-Langevin 研究所里的高通量核反应堆的几个工作站之一的中子束之下。或者，来自波士顿的三两个天文学家会在夏威夷待上一段时间，使用那里的某个望远镜开展一系列观测。运行这些设备的安排常常是非常辛苦的，有时还会惹出纷争，但它们对使用它们的科学家的研究生活却鲜有直接的影响。

但是，保证它们能够使用必要的仪器和基础设施极为关键。

即使是拥有大量资源和实物装置的 Fermi 实验室和欧洲联合核子研究中心也没有大量的自己的研究人员。在其庞大的粒子加速器上进行的特别精密且花费昂贵的实验常常是由称为“协作组”——它们是由来自分布在整个大陆上数十个大学的、各有特殊目的的、包括几百个科学家的研究组所构成的——规划和实施的一个来自米兰的教授，一个来自丹迪的讲师，一个来自赫尔辛基的研究生和一个来自维也纳的技师可能会聚在日内瓦花费大量时间在一个试验架的某个外观特征上。但是，他们将一直是他们各自大学的雇员或学生，他们时常回到那里去履行日常的学术责任。

但是，事实是投入物理研究的大部分努力花在了粒子加速器、反应堆、同步辐射源、等离子体约束器、射电望远镜、空间平台、行星探索飞行器、超级计算机、数据库、通信网络等等的设计、建造和运行上了。尽管这些努力的大多数被物理学家称为“工程”“管理”或者“维护服务”，这些东西却不可以从研究规划里去除，且常常决定拟开展研究的本质。光是技术的量与复杂性就要求一定程度的协调和合作，这是差不多五十年前那些开拓了这些领域的物理学家们当时很难能预见到的。



国际化

先前,所有的大物理装备都是由一个国家提供和管理的,如今美国在一些领域内也还是这样。但成规模的必要节约措施不断地推向由多国分担投资、运行费和使用费的模式。一些物理学领域通过一些要求不同国家的研究组之间积极合作的研究计划的发育“走向国际化”。一般地,这样做有地理上的合理性,比如研究全球环境现象,但有时是因为政治上的原因,为了强调强国和弱国的科学共同体之间的跨国团结,或促进作为可市场化的技术革新的“竞争前”研究。

欧洲的情形特别有启发性。只有少数几个像欧洲联合大环这样的机构中其来自多个国家的科学家是全时雇员,置于国际化的管理之下。但是,一种被称为“欧洲研究体系”或“欧洲科学基地”的机构正在显露轮廓,它们不是坐落在布鲁塞尔那样的指挥机构而是非政府机构间的松散网络,如欧洲科学基金会、欧洲科学院这样的著名学会、欧洲联合核子中心和欧空局这样的多边政府间机构,更不用提如西门子、空客集团或壳牌石油这样的具有重大影响力的跨国商业公司。个体研究组加入这样的项目,它们无需法律或行政上的融合,而是坚实地扎根在自家的机构内。但是,它们又必须密切合作,如同美国的物理学家参加由美国联邦机构资助的跨大学项目一样。

如我们所注意到的那样,物理学从来不是强

烈地同文化相关联的。每一个国家也许有自己的风格,自己的特别的兴趣,自己的科学主角,但是都属于同一个知识世界。第二次世界大战以后的一段时期里,这种物理学形式和技术文化的国际一致性已经从撰写的文章、会议室和实验台向外扩展到科学生活的其他侧面。仅只是物理学研究的技术就迫使物理学家在外貌和工作方式上变得更加都市化。

高能物理学家处于这种变革的前沿,首先通过建构科学友谊从而创造了他们可以一起工作的永久性研究设施;而后是通过展示这种多国研究队伍的有效性以及通过建立起将自己实验室内和区域内的科学家联系起来的数据网络。如今,在一个跨国研究队伍里工作、用带有半生不熟的英语的混合语交流、分享对碍手碍脚的管理当局的怨恨,对任何物理学家来说都是再正常不过的了。一个来自(英国)剑桥的物理学家到巴黎或日内瓦的一日学术差旅同一个来自(美国麻省)剑桥的物理学家到华盛顿或芝加哥参加会议相比不再是不合适的了。一个国际委员会讨论分配某欧洲望远镜上的观测时间同某个国内的同行评议委员会做同样的事情看起来一样的自然。如果,如常说的那样有必要建立美利坚合众国那样的“欧罗巴合众国”的话,物理学沿着这条道路已经先行很远了,而且没有任何走回头路的动机。

边界条件

科学自身在不断地发生革命。数个世纪以来,每一代的物理学家都比其前辈懂得多得多,以至于不得不完全重写技术手册、有关重大问题的资料(有时还包括关于实在的表述)。认知革命不可能脱离社会革命。每一代人不得不相应地改写科学规范的手册、实际机构安排的资料(有时还包括关于群体与社会现实的表述)。

贯穿二十世纪的缓慢而持续不断的变化将物理学转换为一种社会公共事业。设想以四分之一世纪的间隔——比如以两次世界大战的爆发为结尾的时期——回顾过去,则从松散联络的个人行为到系统的集体行为的转移是明显的。1889年到1914年这段时期见证了德国学术机构的统一,其以研究产出为考量挑选学者,为他们提供设备、

资源和研究助手。从1914年到1939年间,这套做法被推广到其他国家,同英美的分系的(大学)体系相结合,从而使得有成就的研究者的小组能够集中起来。在1939年到1964年这个阶段,战时一些复杂的团队研究经验鼓励更紧密组织的研究组一起落户到大学的系,也鼓励了按照衙门模式管理的研究机构和设施的诞生。最近的这一阶段,1964—1989年(另一超级政治气候的时期)更是见证了‘资助机构’的崛起:政府的、政府间的以及准政府的实体以同行评议委员会或别的圈子小组的名义对研究项目行使停止—启动的权力。

如我们所见,类似的改变也发生在其他维度上——同其他学科变得更加亲密;相关子领域的繁殖、派生、吞并或者殖民;在学界和工业界的从机构和专业角度对“纯粹”与“应用”物理的合并;将组织向各洲甚至全球层面上的扩大;等等。进一步的研究还揭示了一个自相矛盾的变化,即在资深物理学家、助手和学生之间的个人关系上朝向更少规范、但更特别的契约义务的变化。从外部和内部两方面来看,物理学作为一个整体已经变成了紧密联系的、同社会互动的公共事业。

令人惊讶的不是变化之大,而是文化规范的连续性与不变性。毕竟,物理学整体上增长了约一百倍。对于世纪初的一个物理学家,现在至少有一百个与之对应,且在设备和服务方面花费更多。任何一个社会公共事业经历如此规模的扩张都要伴随剧烈的内部重构。但我们仍会愿意相信 Rutherford 可以走进 Carlo Rubbia 的办公室,在一周内学会如何运行欧洲联合核子中心——而 Rubbia 在1910年那样的 Rutherford 曼彻斯特实验室也一样会得心应手。我们甚至可以设想,即便在现在,某个地方也许有一个年轻、无业的、未入道的理论物理学家,——如 Einstein 那样,会因为他那不是约稿的论文所展现的天才而正式地得到承认。

人们也许会说,这种连续性是通过传统的科学气质的鼎力维护才得以实现的。不错,学术机构的物理学家仍然试图遵循 Robert Merton 五十

年前罗列过的规范,但他们也必须遵从容许新的研究技术的现实逻辑。现代物理研究的环境使得执行那些规范原先包含内容的特定实践——比如,通过自由选题来表现原创性,或者仅依据发表的文章来评判个人——变得不可能了。

我个人毋宁觉得,依然存在对知识拓展之必要条件——一个人创造力的社会空间与机会,思想成熟化的时间,对新事物的友好接待,对批评的开放态度,对专业技能的尊重,等等——的健康认识。看到这些传统仍盛行于一些完全是非传统机构中,比如开展仍被按老话称为高能物理“实验”的庞大的、高度结构化的协作组中,是相当令人振奋的。

若任其自行其是,物理学无疑地会如常发展,一面从知识上和结构上改造自己,但同时保留使得物理学成为如此吸引人且富有创造性之社会事业的个人动机与交流的内核。但是,内部的运动方程必须满足边界条件,后者的影响日渐深远地进入体系内部。或者换个说法,体系不断扩展到对其生长造成限制的边界,因此或许要经历深刻的、不可逆转的朝向新结构的相变。

就数量来说,对物理研究的资助已经结束了持续增长的悠久历史,进入了持平阶段。直到第二次世界大战爆发,基础物理研究是作为对大学教育的附加形式资助的,外加一些私人捐赠。物理学对战争的贡献为其在国家预算中争得了优先地位。国家预算填补了维持物理学研究群体和设备费用方面迅速增长的巨大开销。差不多到1970年代早期,发达国家的物理学家总是能得到他们期望的资助额,有时甚至比他们能够有效支配的还要多。可是,这样的慷慨大方在一个接一个的国家里面面临公共资金其他竞争使用方——其他学科、高等教育、卫生健康等等——的质疑。每当一地的经济增长变得艰难,就会叫唤消减开支,尤其是针对那些看起来消费巨大而实际回报很少的基础研究领域。确实,在一个以重实惠、讲生意经的、短见的现实主义为自豪,每一项活动都以财富的产生、增值潜力为标准加以衡量的时

代，能一直花费那么多资金在高能实验物理、天体物理和空间探索上，实在称得上是对基础物理研究与发现之魅力的朝贡。

“稳态”资助不是加于高消耗事业唯一的边界条件。“定型化”了的物理许诺更多，吊起了对实际效益的很高胃口。资助机构根据在研究界以外划定的优先顺序，希望他们有限的资源能更有效地得到利用。研究人员不得不拼命地竞争这些资源，花费大量的精力事前精确表述研究规划，事后陈述花费的细节。一个‘评估’崇拜教形成了，经常用于对个人、研究组、研究所、大学、国家、甚至科学的整个领域的表现进行考评。

这些新的条件原则上是相当合理的。不应允许物理学以占用其他文明生活重要因素的开销为代价来无限制地扩张。复杂的技术项目和装备安装确实需要专业的管理。竞争力、业绩评估以及可问责性是对接受公共资助的正常要求。物理学教授的优先研究课题并不自动地同社会的大体需求相一致。

不幸的是，这些条件常常是由一些不称职的人来制定和监督执行的，他们对在像物理学这样的高等科学中实际起作用的不确定性、心照不宣的判断、精湛的技巧、智力的紧绷、无法量化的判据等因素理解极为有限。低估官僚们的狂热、会计师们的偏狭和政客的低俗是一种错误。如果任其胡为的话，它们会剔除物理学的神奇而将其简化为一个井井有条的技术性项目和平淡无奇的调研。我真的不愿去想象这帮家伙会怎样将一切弄得一塌糊涂，不断地将项目连根拔起看它是否成长或者忙着宰杀下蛋的金鹅。

不是说物理学家比别人更聪明或更高尚，但他们至少知道他们在自己的领域内在干什么。这个领域不再如从前像独立王国一样运作了，它的前途依赖于物理学界的领袖们能认知到这些新出现的影响力的效应，且运用他们的政治和管理方面的技巧来引导这一事业在危险的海域安全地航行。**科技**

本文选自《20世纪物理学（第3卷）》，科学出版社，2016年8月出版。

