不朽的三大科学业绩
——纪念钱三强院士逝世 30 周年

朱亚宗
（国防科技大学　文理学院，湖南　长沙　410073）

摘　要：钱三强院士作为“两弹一星”功勋科学家，不仅是中国高科技创新时期的杰出代表，还是中国科技界学者型的领导干部。本文从科技创新、科技管理、科学技术史、科技哲学等多维视角，客观全面地论述了钱三强在基础研究、中国核武与交叉科学等方面的三大科学业绩。

关键词：钱三强；基础研究；核武研发；科技创新史
中图分类号：G640　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672－8874（2021）03－0001－08

Three Immortal Scientific Achievements: Commemorating the 30th Anniversary of the Death of Academician Qian Sanqiang

ZHU Ya-zong
(*College of Liberal Arts and Sciences*, *National University of Defense Technology*, *Changsha* 410073, *China*)

Abstract: Academician Qian Sanqiang made great contribution in developing atomic and hydrogen bombs and man-made satellites. He was not only an outstanding scientist in the age of high-tech innovation but also a scholarly leading cadre in Chinese scientific community. This paper objectively and comprehensively discusses Qian Sanqiang's three major scientific achievements related to basic research, China's nuclear weapons and interdisciplinary sciences from the multidimensional perspectives of scientific and technological innovation, scientific and technological management, history of science and technology and philosophy of science and technology.

Key words: Qian Sanqiang; basic research; research and development of nuclear weapons; history of scientific and technological innovation

万里云霄送君去，不尽长江滚滚来。在钱三强院士逝世近三十周年时，这位昔日叱咤风云的科学大师，已在现实中淡出公众的视野，但历史将永远铭记为祖国科技进步与民族自立作出重大贡献的一代科技泰斗。

钱三强（1913—1992）院士名列 23 位“两弹一星”功勋科学家之列，是邓小平要大家记住的三位中国科技界代表人物之一：“大家要记住那个年代，钱学森、李四光、钱三强那一批老科学家，在那么困难的条件下，把‘两弹一星’和好多高科技搞起来”。[1]1

作为中国高科技起步阶段代表性的杰出人才，钱三强既是国际著名实验物理学家，又是中国科技界学者型的领导干部。在光辉的科学人生中，成就了不朽的科学业绩，同时展现了非凡的高尚品格。本文限于篇幅，未就钱三强的高尚品格作专门论述，但读者自可从其不朽的科学业绩中体味其品格无形而巨大的力量。

收稿日期：2021－08－15
作者简介：朱亚宗（1944－），男，江苏无锡人。国防科技大学文理学院教授，博士研究生导师，主要从事科技史和科技哲学研究。

一、原子裂变，独立原创

人类科技发展史，从某个视角来看，就是突破已成共识的先入之见的原创性成果及其拓展性创新成果不断涌现的历史。每一个时代的先入之见虽然各不相同，但大致可以分为两种类型：一是习以为常的日常经验，如太阳东升西落，围绕地球旋转。突破这一先入之见，提出日心说的哥白尼，成为开启近代科学革命的先驱。二是某种局域性的科技知识，但适用范围未曾准确界定，将其泛化为某个领域的普适性知识。如牛顿力学，虽从无数的经验事实中概括出来，但在爱因斯坦之前没有人知道其仅适用于低速运动；在量子力学创立之前也没有人知道其仅适用于宏观领域。狭义相对论与量子力学的重大突破，从某个认识论的角度视之，即是突破牛顿力学无条件适用这一先入之见，给出了牛顿力学严格的适用范围。又如在李政道与杨振宁刚进入理论物理研究领域时，学界坚信自然界普遍遵守宇称守恒定律，1956 年二人严格证明了宇称守恒定律不适用于弱相互作用领域，吴健雄又以实验证实了这一新论。世界物理学界为之轰动，一个已成共识的著名物理学定律竟是一个有漏洞的先入之见，而修补漏洞、完善理论的两位年轻人成为折桂科坛的新星，第二年即获诺贝尔物理学奖。

识别与破除先入之见，可以说是人类科技发展永恒的课题，而抱持先入之见的科技大师也屡见不鲜。创立广义相对论而奠定现代宇宙学理论基础的爱因斯坦，竟不相信年轻科学家弗里德曼严格按广义相对论方程得出的动态宇宙模型，而宁肯相信直觉感知的静态宇宙模型，直至哈勃发现恒星红移而确切证实宇宙膨胀后，方才懊悔不已。另一位开启现代物理学革命的普朗克，曾在 1900 年首创微观领域的量子观念，但是，普朗克内心坚持宏观领域能量连续性特征的普适性，千方百计想取消微观领域中的量子特征。普朗克因这个先入之见，从自己开辟的创新之路倒退回经典物理之中。而后来的两代年轻科学家沿着普朗克原创的量子化路径，构造起新的量子力学理论大厦。普朗克至死不悟，抱持错误先入之见的顽固态度，被科学界讽为“普朗克现象”。

钱三强 1932 年考入清华大学物理系。20 世纪 30 年代的清华大学严进严出，名师云集。1932 年物理系招生 28 名，4 年后只有 10 名毕业，但在毕业生中产生了 4 名院士：钱三强、王大珩、何泽慧、于光远，其中还有两名“两弹一星”功勋科学家。钱三强师从国际著名物理学家吴有训，在实验技术与动手能力方面得到初步的训练。钱三强学会了吹制玻璃的技术，还选修过“金工实习”课，其动手能力超乎同辈。钱三强晚年曾回忆说：“1937 年我到法国做原子核物理研究，由于在清华大学时学过吹玻璃技术和选修过‘金工实习’课，所以对简单的实验设备和放射化学用的玻璃仪器，一般都能自己动手做，比什么都求人方便得多。1948 年回国后，我也同样鼓励青年同志要敢于动手自己做仪器设备，这对他们后来成才大有好处。”[2] 钱三强在法国留学时师从居里夫人的女儿伊莱娜·居里及其丈夫约里奥，两位导师在钱三强赴法前两年，因“研究并合成人工放射性元素”双双荣获 1935 年的诺贝尔化学奖。1940 年钱三强获得法国国家博士学位，1944 年升任法国国家科学中心研究员。三十而立的钱三强在原子核物理学理论与实验两方面，学养深厚，眼光敏锐，实验技能高超，攀登科学高峰唯待机遇的垂青。

二十世纪上半叶是原子能科学技术高歌猛进的时代。1905 年爱因斯坦提出物质的质量与能量互相转化的公式 $E = mc^2$，事实上是物质内部蕴藏巨大能量的一个科学预言。20 世纪 20 年代，海森伯、薛定谔、狄拉克等人创立量子力学理论，为深入理解与具体计算微观世界的运动状态奠定了基础理论。此后，一位独辟蹊径并兼通理论与实验的物理学家费米作出重大贡献，发现并解释了慢中子效应，为原子物理研究提供了有力的新工具——慢中子。1938 年实验物理学家哈恩，用中子轰击铀核得到碎片，并与理论物理学家迈特纳、弗里施合作，发现了重原子核的裂变现象。至此，原子能的人工释放不仅有爱因斯坦的科学原理支持，而且找到了具体的技术途径：以中子轰击重原子核，使其分裂，同时释放出巨大的能量。这是人类进入原子能时代的一个里程碑。由于哈恩的实验记录了铀原子核受中子轰击后分裂成两个钡原子核，原子物理学家基于有限的铀核两分裂现象，逐渐形成一个“先入之见”：以中子轰击重原子核只能产生“两分裂”。这是钱三强进入这个研究领域前的学界共识。

1946 年 7 月下旬，基本粒子与低温物理国际学术会议在英国剑桥举行，在法国居里实验室工

作的钱三强与夫人何泽慧应邀参会。“就在这次国际基本粒子和低温会议上，一张不为人注意的照片，引起了我们很大的兴趣……英国的格林和李弗西两个年轻人用原子核乳胶研究裂变，他们观察了裂变碎片在乳胶里留下的浓黑径迹……在他们的照片中，有一张记录到一个三叉形状的径迹，他们把这张片子放映出来，说上面有一个射程比较长的α粒子（希腊字母），并没有作任何进一步的说明，我们看到后，感到这个现象很特别，认为非常值得研究。”[3]45

从剑桥回到巴黎之后，钱三强组建了包括何泽慧与两位法国青年科学家的研究团队，重做用中子照射铀核产生裂变的实验。钱三强“设法减低乳胶的灵敏度，使它对质子和天然α粒子的敏感度不那么高……问题是要找出最合适的条件。否则，不是减敏不够，就是减敏过度……合适的条件怎样才能求得，只有一个办法，就是实际试验，经过多次反复试验，我们终于找到了比较理想的条件（配方和操作流程，包括浸泡浓度、浸泡时间、处理方法、冲洗条件等），使质子的径迹很不明显，不再成为妨碍，而α粒子的径迹形成略有间断的细线，裂变碎片则是粗而黑的连续线。并且，在整个乳胶层的各个深度处，灵敏度都很均匀，全都可以正常观测。”[3]56－57

通过上述实验测量出三分裂中三条径迹的长度与方向后，钱三强与何泽慧又运用物理学基本定律，发展了一种逐步近似的回归计算方法，对实验测得的资料进行科学处理，最终得到“出现三个碎片事例的频率（概率），则等于每一万次裂变中有三十次。也就是说，三分裂与二分裂数目之比是1∶300左右”[3]64。钱三强与何泽慧还发现和研究了重原子核的四分裂现象。四分裂现象更为稀少，它与二分裂数目之比小于万分之二。

钱三强与何泽慧独立原创的突破性成果立即传遍物理学界。论文《俘获中子引起的铀的三分裂》与《铀四分裂的实验证据》发表于《法国科学院公报》第223卷（1946年12月9日、12月23日）。接着，1947年3月15日于美国权威期刊《物理评论》发表论文《铀核新的裂变过程》；6月7日于英国权威期刊《自然》发表论文《铀核的三分裂与四分裂》；12月15日又于美国《物理评论》发表钱三强个人署名文章《重元素的三分裂》[4]77－97。

钱三强的导师、国际三大原子科学研究中心之一的首席科学家、诺贝尔奖得主约里奥·居里在1947年春召开的世界科学工作者协会会议上，向国际科学界宣布并高度评价了“三分裂”与“四分裂”的发现：“这是第二次世界大战以后物理学上一项有意义的工作。它是由两位中国青年科学家和两位法国青年研究人员共同完成的，是国际合作的产物。”[5]91此时，钱三强仅34岁，风华正茂，才情盈溢，以非凡的科学敏锐性与深厚的原子科学专业素养，利用世界一流科学研究平台，独立完成了当时中国科学家极少能达到的精密自然科学的突破性原创，发出了预示中国科学技术伟大复兴的一道强光。

钱三强大胆突破先入之见而又经过严密科学实验证明的原创性成果，具有不可替代的科学价值：“三分裂和四分裂的发现和证实，在原子核裂变的研究历史上，占有一定的地位。它不但揭示了裂变反应的复杂性和多样性，而且提供了研究处在断裂点附近的原子核各种特性的可能性，而这是很重要的，因为没有别的可用替代手段……在裂变机理的研究中，三分裂可以起到某种特殊的作用，用物理学工作者的语言来说，它是‘研究裂变过程中断裂点特性的一种有效的、直接的探针’。”[3]73－80

钱三强的原创性成果具有强大的科学生命力与历史穿透力。与此形成鲜明对比的是，当时顽固坚持错误的先入之见、拒不接受三分裂与四分裂新观念的少数人，在物理学发展洪流的冲击下，最终不得不放弃早年的先入之见。英国有一位资深的权威科学家费瑟，早年是科学大师卢瑟福的学生，正是费瑟的两位博士生格林与李弗西，在1946年7月的剑桥学术会议上公布了引发钱三强产生“三分裂”灵感的照片。此后钱三强通过深入的理论分析与严谨的科学实验，向国际科学界宣布了重原子核受中子轰击有可能产生“三分裂”与“四分裂”现象。费瑟的两位学生格林与李弗西得知这一突破性成果后十分感兴趣，立即访问了钱三强的实验室，钱三强与何泽慧毫无保留地与他们进行了交流。钱三强后来回忆说，“英国人看了我们的资料，感到很惊讶。我们把自己所做实验的各种细节，径迹的测量、分析和回归计算方法，都原原本本详细地告诉了他们。回到英国之后，他们又做了实验，找到了更多的三分裂径迹，只是没有看到四分裂。他们的结果公布于1947年3月的英国《自然》杂志上，不过他们仍

认为第三个粒子是 α 粒子。”[3]70－71格林与李弗西对三分裂与四分裂的拒绝，其实是导师费瑟的观点。“到了 60 年代，随着新的探测手段——半导体探测器的问世，美国、苏联、波兰等国家 7 个实验室先后证实第三个裂变碎片正如钱三强报告所描述，确有一质量谱。至此，三分裂（300 次裂变中约有一次三分裂）彻底获得物理学界公认，四分裂（上万次裂变中约有一次四分裂）也被完全证实。”[6]372在原子核物理新的发展形势下，顽固坚持只有二分裂而反对三分裂与四分裂的费瑟教授也不得不放弃先入之见。“1969 年，在维也纳举行裂变物理和化学国际会议，费瑟老人走上会议讲台做演讲，他在回顾裂变研究的历史时讲到，他愿意放弃 22 年前所持的一个观点（即认为第三个径迹是 α 粒子），同意关于三分裂机制的解释。”[5]92

钱三强的独立原创还有超越物理学的更深刻的哲学意蕴。费瑟教授花费 22 年时间，方才放弃原子核裂变只有二分裂的先入之见，回归完整的认识：不仅有二分裂，而且有三分裂与四分裂。而年轻的钱三强与何泽慧一开始就沿着正确的方向与轨道，仅用半年时间就突破成见，在原子核裂变研究中作出原创性的重大贡献，二者的鲜明对比发人深省。应该说，二者都有世界级科学平台支撑，也都有深厚的物理学理论素养与高超的实验技能，差距又在哪里呢？是哲学。情况正如恩格斯早就指出的：“一个民族想要站在科学的最高峰，就一刻也不能没有理论思维……自然科学家自己感觉到……纷扰和混乱如何厉害地统治着他们……除了以这种或那种形式从形而上学的思维复归到辩证的思维，在这里没有其他任何出路，没有达到思想清晰的任何可能。这种复归可以通过各种不同的道路达到。它可以通过自然科学的发现本身所具有的力量自然地实现……但这是一个比较长期、比较缓慢的过程，在这个过程中有大批多余的阻碍需要克服……如果理论自然科学家愿意从历史地存在的形态中仔细研究辩证哲学，那么这一过程就可以大大地缩短。”[7]钱三强在回顾三分裂与四分裂发现的著作中，深入地比较了自己的研究与费瑟团队的研究的区别，指出自己通过深入细致的实验测量与理论分析，揭示出看似相似的现象背后不同的本质，而费瑟团队的工作浮于表面，难以突破主观的先入之见的束缚：“格林与李弗西虽然最早看到了三叉径迹，但看来他们两人由于经验不足，或许又受到费瑟先入之见的影响，简单地把它看成为 α 粒子，而没有深入探究，把这一新现象放过去了。我们则抓住了新的苗头，利用当时所能有的条件，尽可能从各个方面作了详细的实验测量和理论分析，从而较好地阐明了这一现象的本质。”[3]72

三分裂与四分裂的发现，是中华民族向世界科学舞台发出的一道强光，同时也给钱三强本人带来了崇高的科学声望。1947 年夏年仅 34 岁的钱三强很快就晋升为法国国家科学研究中心的研究导师，这是外国科研人员很难获得的高级科学职位。回到祖国后，钱三强又立即得到学界与政府的高度重视。

二、核武研发，卓越领航

科学技术研究可以简单地分为基础研究与应用研究两大类。基础研究为的是探索新的基本规律，应用研究则为了解决实际问题。前者注重原创，求真；后者注重综合，求用。两类研究中科技工作者的主要研究方式，杨振宁有一个著名的说法——散兵方式与攻关方式：“中国在解放以后，用‘攻关’的办法在科学技术方面有了很重要的成就……以中国这样一个大的国家，必须要在攻关式的科学研究以外，注意另外一个方式。我替它起了一个名字，叫做‘散兵战术’。就是不要有一个预先固定的目标，不需要结合很多的人、结合很多的资源去攻打，去做科学研究，而只需把一个不清楚的目标，用很少的几个人，让他们放手去通过自己的努力、自己的了解、自己的决定来做科学研究。”[8]散兵式研究的最高境界，是创立奠基性的重大科学理论，开辟新的重大研究领域，如马克思、恩格斯、牛顿、爱因斯坦、达尔文、麦克斯韦、海森伯等的理论创新；攻关式研究的最高境界，则是在国家级工程中的重大工程技术发明，如曼哈顿工程、“两弹一星”工程、南水北调工程等科技成果。由于散兵游勇方式与集体攻关方式的特点与要求差异很大，兼通两种研究方式的自然科学家十分罕见。如爱因斯坦这样伟大的科学家，对集体攻关方式既无兴趣，也不擅长；而绝大多数应用性重大工程的总设计师，亦无兴趣与能力进行基础科学理论的创新。

但是，有极少数应用性的重大工程项目，不能依靠已有的或所能获得的科技信息解决问题，而必须吸收一流基础研究科学家参与，以解决某

些缺失的基础理论问题。如曼哈顿工程与“两弹一星”工程，都有少数高水平基础科学家参与。事实上这是当代科学、技术、工程一体化发展趋势的前奏。在这样的一体化、综合性重大工程中，能担当总设计师重任的，往往不是处于科学、技术、工程一体化系统下游的工程技术专家，而是身处上游的基础科学家。如曼哈顿工程的总设计师是理论物理学家奥本海默，中国卫星工程的总设计师是空气动力学家钱学森，而中国核武器工程的总设计师是实验物理学家钱三强。

钱三强之所以堪当如此大任，是因为具有领航核武工程需要的极高的综合素质，钱三强恰恰具备了一般自然科学家难以兼备的如下三种重要素养：

（一）崇高的科学威望

核武器研发的基础是原子能科学技术，钱三强恰好是原子能研究某些领域的国际顶尖专家，其发现的“三分裂”与“四分裂”现象丰富了关于原子核裂变的科学认识，斐声国际物理学界。诺贝尔奖得主、导师约里奥·居里夫妇在钱三强归国时共同签署了一份评价极高的评语：“已显露了研究人员的特殊品格，他的著述目录已经很长，其中有些具有头等的重要性。10 年期间，在那些到我们实验室并由我们指导工作的同时代人当中，他最为优秀。”[4]100钱三强归国后立即被聘为清华大学物理系教授。北平研究院还针对钱三强的专长，将所属镭学研究所改为原子学研究所，聘钱三强为所长[4]116。新中国成立后，1949 年，钱三强被任命为中国科学院研究计划局副局长。1950 年，钱三强被任命为中国科学院近代物理研究所副所长。1952 年，钱三强成为中国科学院首批 8 名特级研究员之一，且是最年轻的一位。1955 年，又遴选为中国科学院学部委员，年仅 42 岁[4]151－257。

（二）丰富的管理历练

钱三强在留法后期独立从事科学研究时，即已表现出良好的组织管理能力。“三分裂”与“四分裂”的发现，即是以钱三强为首的一个科学团队合作的研究成果。对于钱三强带领团队合作研究的出色能力，导师约里奥·居里夫妇非常欣赏，并在钱三强归国时的评语中给以高度评价：“在法兰西学院，我们两人之一曾多次委托他领导多名研究人员，这项艰难的任务，他完成得很出色，从而赢得了他那些法国和外国学生们的尊敬与爱戴……钱先生还是一位优秀的组织工作者，在精神、科学与技术方面，他具备研究机构的领导者所应有的各种品德。”[4]100约里奥·居里夫妇的眼光非常敏锐，钱三强归国后，即在中国科学技术的规划管理与国家重大工程中大展鸿图，发挥了不可替代的作用。1949 年，参与提交“建立国家科学院”的提案，与人合作起草《建立人民科学院草案》。中国科学院成立后，先后兼任计划局的副局长、局长，1953 年率领 26 名中国著名科学家访问苏联。1954 年任中国科学院学术秘书处秘书长。1955 年同刘杰、赵忠尧等赴苏谈判，签署中苏合作和平利用原子能协定，苏方同意援建重水反应堆与回旋加速器，钱三强出任建筑技术局副局长，负责苏方援建反应堆与加速器的选址和建设。1956 年升任第三机械工业部（后改为二机部）副部长。1958 年又被任命为中国科学院原子核委员会副主任[5]273－277。钱三强是实至名归的中国核武研发工程的主要业务领导人。

（三）深厚的家国情怀

钱三强出生于一个有强烈爱国精神的书香门第。父亲钱玄同是“五·四”新文化运动的一员大将，《新青年》杂志的 6 位轮值编辑之一，也是中国文字改革的先驱之一。钱三强曾回忆说：“‘七七事变’后的北平，环境极为恶劣……父亲拒绝伪聘，曾向从西北联大来北平的原师大秘书汪如川说：‘请转告诸友放心，钱某决不做汉奸！’……他的大义凛然的爱国主义精神，一直对我们起着深刻的教育作用。”[9]在国内求学时代，对中国贫穷动乱的社会现状充满焦虑。赴法留学后，又受约里奥·居里夫妇爱国思想的熏陶，钱三强在学习与科研方面取得出色成绩的同时，不忘万里之外祖国的命运与前途，“积极参加中共旅法支部发起的‘旅法华侨和平促进会成立大会’，声援国内和平，反对内战，反对独裁。在会场充当‘李逵式的人物’勇敢同敌对势力斗争，使一伙人企图把‘和平促进会’变为‘拥蒋战乱会’的阴谋未能得逞”[4]71。

1947 年夏，因“三分裂”“四分裂”的发现等方面的出色研究成果，钱三强在法国晋升为“研究导师”。但是钱三强并不留恋这一难得的高级职业，对导师约里奥·居里夫妇的情谊与不舍也无法兼顾，决意尽快回到祖国的怀抱：“我和泽慧都很清楚，继续留在巴黎，对自己的科学工作当然是十分有利的；回到贫穷落后、战火纷飞（当时中国正处在解放战争进入转折阶段之时）的

中国，恐怕很难在科学实验上有所作为。不过，我们更加清楚的是，虽然科学没有国界，科学家却是有祖国的。正因为祖国贫穷落后，便需要科学工作者努力去改变她的面貌。我们当年背井离乡、远涉重洋，到欧洲留学，目的就是为了学到先进的科学技术，好回去报效祖国。我们怎能改变自己的初衷呢？应该回到祖国去，和其他科学家一起，使原子核这门新兴科学在祖国的土地上生根、开花、结果。我们渴望回到离开了十年之久的故土，决心为祖国的富强、进步，贡献自己的力量。在法国和英国期间，我们接触到一些中国共产党人，看到了新中国的曙光，也看到了中华民族的希望。”[3]74-75 1948 年 5 月 2 日，钱三强与何泽慧抱着年仅半岁的女儿，登上轮船，启程回国，40 天后终于踏上仍然战火纷飞的祖国大地。

此时的钱三强具备高度自觉的家国情怀与进步思想，兼得尖端科技与管理才能的科学英豪。只要祖国需要，随时准备为新中国的建设大展身手并奉献一切。

1954 年 8 月 20 日，国防部长彭德怀约见钱三强，提出“中国要搞原子弹，怎么搞？最关键的技术、设备是什么？”钱三强回答说：“生产原子弹原料，反应堆比气体扩散法省力，但应先建一个实验性原子反应堆，并指出还要研制回旋加速器与培养人才。”[4]246 1955 年 1 月 15 日，与李四光一起列席毛泽东主持的中共中央书记处扩大会议，这是一次研究发展我国原子能的专门会议。钱三强在会上介绍了几个主要国家原子能发展概况与我国近年的工作，演示了铀矿石的放射性。毛泽东在会上向钱三强提出了质子、中子无限可分的哲学思想[4]250。1956 年 4 月 25 日，毛泽东在中共中央政治局扩大会议上指出，“我们……不但要有更多的飞机、大炮，而且还要有原子弹，在今天的世界上，我们要不受人家欺侮，就不能没有这个东西”[4]266。中国核武器的研发由此启幕。

核武器研发是一个庞大的系统工程。中国有举国体制，有大国的财经力量，有铀矿资源，有一定的工业基础，也有不少优秀的自然科学家。但是在中央与科技部门及工业部门之间，还需要一个强有力的科技帅才，能贯彻中央的方针，并能具体引领复杂、专业的研发工作。兼具崇高的科学威望、丰富的管理历练与深厚的家国情怀的钱三强，成为堪当大任的理想人选。1958 年，中国科学院近代物理研究所改名为中国科学院原子能研究所，由第二机械工业部与中国科学院双重领导，钱三强任二机部副部长兼原子能研究所所长，事实上成为引领中国核武研发的总设计师。在苏联援助中国发展核武器的计划落空后，钱三强有条不紊地组织中国独立自主的研发工程。

1. 英才举荐

核武器研发是一个科学、技术、工程、产品一体化的庞大系统工程，美国曼哈顿工程曾集合费米等一批世界顶尖科技人才。中国的核武研发走的是独立自主、自力更生的道路，外界的援助与信息微不足道，必须集结国内一批杰出科学家与大量的优秀科技工作者攻坚克难。钱三强具有原子研究的丰富经历、知人善任的管理经验以及热诚无私的奉献精神，成为举荐英才的最好伯乐。1958 年 7 月，二机部核武器研究所（即后来的九所、九院）成立不久，钱三强就将自己任秘书长的中国科学院学术秘书处的理论物理学家邓稼先推荐过去，后来就任原子弹研发理论组组长，成为“两弹一星”功勋科学家。同时还推荐了大学毕业不久的优秀青年人才胡仁宇，后来成长为中国科学院院士，在核武研发与科技管理方面发挥了重要作用。1959 年，宋任穷部长想物色一位业务、管理双肩挑的专家协助李觉所长工作，钱三强推荐了核物理学家朱光亚。朱光亚后来参与领导了原子弹氢弹研制试验及其武器化的工作，成为“两弹一星”功勋科学家与中国杰出的国防科技领导者。1960 年，钱三强将原子能研究所的世界级顶尖人才王淦昌与彭桓武推荐到九所；又约见钱学森，让他推荐一位优秀力学家，因此而得到一员大将郭永怀；已在国际理论物理学界崭露头角的优秀青年物理学家周光召，也在这一年调到九所，不久周光召就在原子弹理论突破上作出了重大贡献。1961 年，苏联专家撤走后，中国浓缩铀研制面临困难，钱三强慧眼识英才，推荐海外归来的优秀女物理学家王承书攻克此难题。两年后，正是在王承书的理论成果指导下，兰州浓缩铀厂的产品质量大幅提升，产品丰度达到 90%[10]。

尤其令人称道的是，为开展难度极大的氢弹理论预先研究，钱三强看中了理论水平高超的于敏，但当时原子能研究所对于敏“红”的方面有争议。钱三强了解品学兼优的于敏，于是亲自将其招到近代物理研究所读研究生，并参加了于敏的论文答辩，果断排除干扰，从大局出发，“承担

起了政治责任，拍板定案，调于敏同志来从事并领导这项工作”[1]275-276。于敏不负所望，独辟蹊径，完成氢弹的理论设计，德艺双馨，成为兼得“两弹一星”功勋奖、国家最高科学技术奖与共和国勋章的唯一中国科学家。

2. 设备建设

作为一流的实验物理学家，钱三强对核武器研发所需的设备十分重视，未雨绸缪，精心建设。在原子弹研发初期，钱三强就瞄准了上海冶金陶瓷研究所的电子显微镜，并通过中国科学院领导请调了掌握电子显微镜技术的专家李林。因为原子弹与氢弹研发中的理论计算量巨大，钱三强便与中国科学院协调，使用科学院研制的电子计算机。第一代电子管计算机104机在原子弹理论设计中发挥了重要作用，第二代晶体管计算机运算速度达到每秒数十万次，加快了氢弹研发的进度。为了研制适应核武器研发要求的高速摄影等光学高端设备，钱三强不仅与清华老同学、长春光机所的光学专家王大珩建立了良好的合作关系，而且组建了西安光机所等多个光机分所，从光学仪器方面保证了核武器的成功研发[1]256-260。据周光召院士回忆，钱三强兼任所长的中国科学院原子能研究所是核武器研发的一个基础研究基地，在钱三强的引领下，“全所人员上下一心，通力合作，攻克了一个又一个理论和技术难关。我国第一个重水型原子反应堆和第一台回旋加速器先后建成，静电加速器、中子谱仪等近50台件重要仪器设备相继建成运行。”[6]324

3. 攻关擘划

作为一流物理学家出身的科技帅才，钱三强不仅能像一般领导干部那样把握方向，关注全局，而且能在重大科技研发工程中入室操戈，具体擘划。如上文所述，在人才问题上能深入了解不同专家的优长，在仪器设备方面能未雨绸缪，提前布局。与此相应的是，善于预先擘划科技攻关的合理路径，钱三强这一方面的贡献已有纪念文章关注：“从钱先生来说……组织领导科研的两个一贯特点：一是预为谋，即事先的计划与准备；二是理论先行，即先探索事物的原理与规律”[11]。文中所述第一个特点为领导者所必备，而第二个特点概括为“理论先行，即先探索事物的原理与规律”，却并不确切。因为核武器的基本原理与规律，早已为物理学界发现并证实。事实上，中国核武器预先研究所要解决的不是基本原理与规律，而是在基本原理与技术途径都已明白的前提下，解决核武器设计中的难题。不是“先探索事物原理与规律”，而是从核武设计出发，遇到难题，再回头研究相关的科学原理与技术原理，是设计→问题→理论与技术→设计与试验，不是从探索基本原理与规律出发，而是从设计过程中遇到的核反应、能量输运、爆轰物理、高温高压等许多具体问题出发。钱三强在核武器攻关中的重大贡献，是分别组建了原子弹与氢弹的预先研究理论组，特别是力排异议安排优秀理论物理家于敏从事氢弹预先研究。这一攻关擘划的贡献，最确切的概括是设计先行或理论设计先行，而非笼统的“理论先行”。

三、文理交叉，史笔流芳

自然科学家跨界交叉，育出奇花异果，是人类文化史上一道亮丽的风景。中国东汉天文学家张衡，同时也以汉赋大家名列文学史；宋代科学家沈括的《梦溪笔谈》，成为文理两科文人学士共同的经典；明代地理学家徐霞客与其游记作品，被誉为千古奇人与千古奇书。西方世界，康德提出了第一个行星演化假说，又以三大批判垂名哲学史；数理学者帕斯卡在数学、物理、气象及文学领域均有建树；大数学家罗素在逻辑学、哲学、文学方面成就卓著，并在1950年荣获诺贝尔文学奖；英国皇家学会会员李约瑟的巨著《中国科学技术史》，让世界见识中国古代科技的辉煌与先进；伟大的爱因斯坦，以深邃的科学哲学著作令世界耳目一新；杨振宁在物理学之外，深耕科学方法与科学美；钱三强先生的跨界交叉，成果同样丰富多彩，就笔者不完全统计，除各种期刊、报章之外，公开集结出版的主要跨界著作有《钱三强选集》（浙江科学技术出版社，1994年）、《科坛漫话》（知识出版社，1984年）、《重原子核三分裂与四分裂的发现》（科学技术文献出版社，1989年）、《科学技术发展的简况》（知识出版社，1980年）等，内容涉及科技管理、科技社会学、科技史、科技哲学等交叉学科，也有建言献策与科技普及方面的论述。钱三强先生为这些跨界著作投入了非凡的热情与大量的精力，在丰富多彩的著述中不乏精品杰作，其独特的学术价值与社会意义尚待深入揭示，本文择其要略作述评。

以笔者之见，钱三强最重要的交叉研究成果，

当推科学史专著《重原子核三分裂与四分裂的发现》。其他的跨界交叉研究及著作，虽然对于我国各个时期的科技发展与应用有重要的推动作用，但不是唯一的与不可替代的。事实上，钱三强本人对自己各类跨界研究成果的价值也有清醒的认识。集结跨界成果的洋洋 40 万字的《钱三强文选》共收录著作 40 篇，没有按写作时间先后编排，而是将《重原子核三分裂与四分裂的发现》一文列为首篇，足见其在钱三强心目中的地位。

钱三强关于“三分裂”与“四分裂”的物理学专业论文，在 20 世纪 40 年代的国际顶级科学期刊《自然》《科学》上早已发表。《重原子核三分裂与四分裂的发现》全文 6 万多字，是钱三强晚年（1989 年）反思早年重大科学发现的第一手资料，既有关于发现过程的详尽记述，又有对于科学发现的因果关系、心理活动与科学价值等方面的深刻分析，是中国科技史乃至世界科技史上不可多得的论述重大科学发现的珍贵文献。就笔者有限的阅读而言，还没有见过哪位杰出科学家对自己一个重大科学发现案例作如此详尽的记述与反思。牛顿的一个重大科学创新，是从开普勒三大行星运动定律出发，导出宇宙的一个基本规律——万有引力定律。今天的物理系学生很容易从万有引力定律推出开普勒三大定律，却没有一个人知道当年牛顿是怎样从开普勒三大定律推出万有引力定律的。牛顿的原始著作《自然哲学的数学原理》没有记载万有引力定律发现的详细过程，似乎神奇地作出了这一伟大发现。1965 年诺贝尔物理学奖得主费曼出于好奇，想找出牛顿的逻辑思路，但是没有成功。直到 1986 年，才由中国著名数学家吴文俊运用机器证明方法完成了这一逻辑推导[12]。但是当年牛顿只能通过逻辑与非逻辑两种思维方式的组合得出万有引力定律。牛顿也许因为信守“不作假设”的形而上学教条，不愿在著作中将自己跳跃性的、非逻辑的创造性思维过程记述下来，以致后人在 300 年的历史长河中，耗费不计其数的时间与才华，仍未能复原牛顿的原始思维过程。如果当年牛顿不被“不作假设”的哲学观念束缚，真实详尽地记下关于万有引力的思考与试错过程，牛顿作出发现后 300 年间的物理学家将受益无穷，逻辑思维与非逻辑思维相结合的辩证思维方式，或许早可成为指导物理学创新的共识。杰出科学家如何作出重大科学发现的第一手资料，无疑是最宝贵的精神文化财富之一，它关乎人类创新智慧能否高效地积累与传播。

科技史上绝大多数创新者未能如钱三强一样对创新过程与创新思维作一目了然的真切记录，致使后人的解读与学习犹如雾中登山，迷茫而曲折。如海森伯于 1925 年创立了量子力学，这篇划时代的论文影响深远，但是海森伯并没有关于创立过程及创新思维的清楚的理性记录，而只有一段朦胧的诗性描述：“你想攀登某座山峰，但到处都是雾气……你突然在迷雾中模模糊糊地看到一些细微的东西，你会说，‘噢，那正是我要找的石头。’在这一瞬间，整个情况完全改变了：尽管你并不知道是否会走到那石头，但你会说，‘现在我知道我在哪里了，我必须再走近一点，那样我肯定就会找到要走的路’。”[13]318 对于海森伯的思路，杨振宁这样的大师也曾如此感叹：“海森伯……真正让人震惊的能力，就是能模糊而不确定地，以直觉而不以逻辑的方式，觉察出控制物理宇宙的基本定律的本质性线索。”[13]320

与牛顿、海森伯的语焉不详相比，钱三强为自己的重大科学发现写了专业论文以外的科学史专著，清楚详尽地论述了这一发现的科学背景、问题起因、实验设计、实验方法、理论分析以及哲学反思等内容。不仅物理学与科技史专业人士可以详细了解科学发现的细节与发现者的创新思维，也可使广大普通读者理解“三分裂”“四分裂”现象的发现过程与钱三强先生的科学精神。

在科学发展的长河中，既需要原创者，也需要拓展者与完善者。大多数科学原创者往往将后续的完善工作留待他人。如量子力学的创立，便由逐步完善的三篇论文组合而成：一个人的论文（海森伯）、两个人的论文（玻恩、约尔旦）、三个人的论文（海森伯、玻恩、约尔旦）。当然，也有另一种情形，虽然原创者同时也是完善者，但是因为原创者过于追求科学成果的形式美，甚至以牺牲内容的可理解性为代价。这方面著名的案例有十九世纪伟大的数学家高斯。正如曾任美国数学学会主席的著名数学家与数学史家 E・T・贝尔所评价的，高斯“在自己身后只留下完美的艺术品，要极其完美。达到增一分则多，减一分则少的地步。工作本身必须突出、完整、简明和有说服力，达到它的辛劳必须不留痕迹。他说，一座大教堂在最后的脚手架拆除和挪走之前，还算不上是一座大教堂。高斯抱着这样的理想工作，他宁

（下转第 78 页）

升教学培训的专业化程度，动态跟踪研究教员的培训需求变化，构建体系化的教学培训制度机制，设计专业化的培训内容体系，打造专业化的培训师资队伍，提供专业化的培训资源保障，通过高质量的教学培训服务促进广大教员的专业发展。

参考文献：

[1] 郭丽君，吴庆华. 浅析美国高校新教师发展[J]. 高等教育研究，2012(7)：69－73.

[2] KIRKPATRICK D L, KIRKPATRICK J D. Evaluating Training Programs：The Four Levels[M]. San Francisco：Berrett-Koehler Publishers，Inc.，2006：3.

[3] 余新. 教师培训的本质、功能和专业化走向[J]. 教育科学研究，2010(12)：43－46.

[4] 邢磊，邓明茜. 中美 15 所高校新教师教学培训方案的文本分析[J]. 现代教育技术，2016，26(10)：52－59.

[5] 谢玲英. 浙江高校青年教师教学能力培训现状分析与实效研究[J]. 高教学刊，2016(14)：184－185.

[6] FESSLER R. A model for teacher professional growth and development [J]. Career-long teacher education，1985：181－193.

[7] 阚斌斌. 高校教师的入职期焦虑及应对策略[J]. 现代教育科学，2019，469(4)：76－80，85.

[8] 王保星. 美国大学教师教学发展的理论意蕴与实施策略——基于美国若干所一流大学教师教学发展实务的解析[J]. 高校教育管理，2019，13(2)：33－39，48.

（责任编辑：邢云燕）

（上接第 8 页）

肯三番五次地琢磨修饰一篇杰作，而不愿发表他很容易就能写出来的许多杰作。”[14] 高斯以这样的方式处理重要的科学成果，满足了自己对科学美的完美追求，却可能不便于科学成果的高效传播与后学者的深入学习理解。过度追求科学美的高斯不愿让人看到创新过程中粗陋的“脚手架”，只得将自己创新过程中探索性的心理活动与思维过程隐而不记。相比之下，钱三强不仅作出了独到的创新，而且为科学史教育功能的发挥与科学史原始资料的保存树立了不朽的丰碑。

参考文献：

[1] 钱三强. 徜徉原子空间[M]. 天津：百花文艺出版社，2000.

[2] 葛能全. 钱三强[M]. 贵阳：贵州人民出版社，2005：27.

[3] 钱三强. 重原子核三分裂与四分裂的发现[M]. 北京：科学技术文献出版社，1989.

[4] 葛能全. 钱三强年谱长编[M]. 北京：科学出版社，2013.

[5] 陈丹，葛能全. 钱三强传[M]. 北京：中国青年出版社，2017.

[6] 钱三强. 钱三强文选[M]. 杭州：浙江科学技术出版社，1994.

[7] 恩格斯. 自然辩证法[M]. 北京：人民出版社，1971：29－30.

[8] 杨振宁. 读书教学四十年[M]. 北京：生活·读书·新知三联书店，1987：106－107.

[9] 钱三强. 科坛漫话[M]. 北京：知识出版社，1984：43－44.

[10] 张焕乔，唐洪庆. 钱三强、何泽慧与我国核武器研制[J]. 国防科技工业，2014(10)：46－48.

[11] 萨本豪. 预则为谋 理论先行[J]. 物理，2013(12)：884.

[12] 胡作玄，石赫. 吴文俊之路[M]. 上海：上海科学技术出版社，2002：132－133.

[13] 杨振宁. 曙光集[M]. 北京：生活·读书·新知三联书店，2008.

[14] 贝尔. 数学精英[M]. 徐源，译. 北京：商务印书馆，1991：268.

（责任编辑：赵惠君）