

秦 铁 辉

科学活动与 科研方法



科学活动与科研方法

秦铁辉 编著

北京大学出版社

新登字(京)159号

科学活动与科研方法

秦铁辉 编著

责任编辑:杜若明

*

北京大学出版社出版发行

(北京大学校内)

北京印刷三厂印刷

新华书店经售

*

850×1168毫米 32开本 10.5印张 260千字

1993年4月第一版 1993年4月第一次印刷

印数:0001—3000册

ISBN 7-301-02032-5/G·138

定价:8.20元

内 容 简 介

本书论述了科学活动的特点及其一般规律,探讨了科学活动的方法论意义,系统介绍了科学研究中常用的模型法、黑箱法、思想实验法等五种方法,并分析了科学思维的特点。文字通俗流畅,内容生动翔实,对广大读者特别是大中专学生有一定的指导作用,对有志于从事科学研究的人来说,是一本很好的启发性读物。

前 言

有人认为,科学发现和技术发明是科学天才的专利,非他们莫属;但是,更多的人认为,某些人之所以出类拔萃,贡献很大,是三分天才加上七分勤奋。上述两种说法都忽略了一个共同问题,那就是科学活动中的方法论意义。“工欲善其事,必先利其器。”比之于智商和勤奋,对于科学研究工作者,方法可能是一个更为重要的问题。正是基于这种认识,我编写了这本《科学活动与科研方法》。这本书不仅介绍了如何选择科研课题,怎样提出科学假说,如何验证假说,以及论文写作等重要问题,而且比较系统地讨论了科学研究活动中经常利用的模型法、黑箱法、思想实验法等五种方法。此外,还专章讨论了科学活动中的灵感、机遇以及创造力等问题。对于科学工作者颇感兴趣的科学活动的特点、科学发现的社会承认、科学家的成长等问题亦有所涉及。

对于上述问题有兴趣的读者,可详见《科学活动与科研方法》一书的有关章节。在这里,我觉得应当提醒的是,有关论述科学活动的特点、方法和规律的书虽然林林总总,不下百十种,阅读和钻研过这些书籍的也大有人在。然而,能够在科学丰碑上留下自己名字的人却寥若晨星。这就提出了一个发人深省的问题:从事科学研究工作的人,为了使自己业有所成,除了应当掌握科学活动的一般方法和规律以外,还应当注意点什么?下面略陈笔者的见闻、经历和体会,供青年朋友们参考。

第一,如何选择未来职业。

在知识分子的人生之旅中,有一个对他生活道路产生重要影响的问题,那就是学什么专业,选择什么职业。一个人选择专业和

未来职业,自当把国家的需要放在首位,把个人愿望与国家利益结合起来。其次,对所学专业有强烈兴趣也极为重要。科学研究是一种艰辛的劳动,会遇到很多困难和挫折。科学工作者只有对自己从事的工作具有强烈的兴趣,才会有经久不息的热情和永恒的动力,才能知难勇进,百折不回。一个人不热爱自己所从事的工作,往往是被动代替主动,敷衍多于探索,当一天和尚撞一天钟,这种人绝无成功的希望。再次,正确估计自己,依据自己的实际情况选择专业,既不要故意赶热门,也不要一心钻冷门。古老学科、成熟专业,以往积累的材料比较多,这是有利的一方面;但是,正因为前人的研究比较充分,要想搞出新成果,再往上提高一步,相对说来就困难一些。新兴学科、边缘学科,以往很少有人涉足,资料积累不多,基础较差,从事这些方面的研究,起步较难,困难也多;但是,正因为这些学科是生荒地,有很多问题需要人们去探索,白纸上好画最新最美的图画,在这些领域辛苦耕耘,很可能做出一些成绩来。总之,做学问不能存有半点投机取巧的心理,企望少花气力,一蹴即至,那是一种不切实际的幻想。最后,选择职业时应注意扬长避短,充分发挥自己的优势。在我们的工作中,常有这种现象,有的人辛辛苦苦,兢兢业业,可就是没有什么成就。这种现象之所以发生,十之八九是将才干用错了地方,没有充分发挥自己的优势。

大学生、研究生毕业以后,通常都喜欢到大城市、大单位工作。其实,这些地方虽然容易出人才,但同时也可能埋没、压制人才。某名牌大学一位知命之年的副教授向导师提出,他希望带一名助手,这位年过古稀的老教授回答说:“你带助手,谁给我当助手呢?”这类事并不是绝无仅有。一个毋庸置疑的事实是,在著名的高等院校和研究机构,年轻人在相当长一段时间内不能单独挑大梁,是司空见惯的。在科学界,经常流传着这么一句口头禅:“在某某单位是一条虫,出了某某单位就成了一条龙。”这确实是某些事业成功者的真实写照。我并不一概反对年轻同志去著名高等院校和科研机构

谋职，只是想提醒那些已经分配到中小城市、一般院校和基层单位的同志不要气馁。在那个广阔天地里，可以任你驰骋，因而能够更快地成长。

第二，正确处理博与专的关系。

所谓博，就是放开眼界，增长见识。所谓专，就是结合自身实际情况，确定学习目标，决定主攻方向。科学工作者的知识大致可以分为四个层次：第一层次是哲学和科学史，第二层次是与专业有关的相关学科知识，第三层次是专业基础知识，第四层次是专业知识。如果把前三个层次的知识理解为博，第四个层次的知识则是专。人之治学，有如工匠之砌塔。博是基础，专是高度，基固才能塔高。光华外露的虽然永远只是耸入蓝天的塔尖，但默默承受全部重量的却是塔身和塔基。科学工作者要想在事业上作出成就，不可不注意相关学科知识和专业基础知识的积累，也不可忽视哲学和科学史的学习。学习上死守一隅，孤陋寡闻，只能坐井观天，百害而无一利。博采众长，融会贯通，这是许多人成功的秘诀。但是，书籍的宝库卷帙浩繁，汗牛充栋，尤其是学科愈分愈细的今天，即便是在一个狭小的领域，也需要一个人付出毕生的精力。有人说，如果十九世纪还有一个高斯称得上是数学家，今天则只有拓扑学家、几何学家……没有人能称得上是数学家。因此，学习上如果只凭一时兴趣，朝三暮四，到头来，只能浅尝辄止，一事无成。与其四下撒网，不如独钓寒江。

但是，博与专的涵义又是相对的。对于某人而言，此一时期称之为基础知识的知识，彼一时期又可以是专业知识。换言之，随着研究工作的不断深入，人们需要的知识也是不断变化的。当某人的研究工作深入到一个新的层次时，他原来所具有的专业知识，就成了进行这个新层次研究所必需的基础知识，然后，在这个基础上再去获得新的更尖端的专业知识。如此循环往复，随着研究工作的深入，人们的知识也在不断地更新，不断地变化。

在科学界,有时会听到用“打一枪换一个地方”这样的话来批评某人的研究方向不专一。倘若被批评者是青年人,而他打的这一“枪”又是在其专业范围以内,我则很有些为这位同志鸣不平!一个科学工作者,如果把他专业领域内一些重大基础理论问题一个一个地钻研吃透了,当他研究这一领域的某一个尖端问题时,就会感到左右逢源,游刃有余。相反,如果基础知识不扎实,当他研究尖端问题时,常会感到捉襟见肘,举步维艰。与其临渴掘井,不如备而待用。我以为,过早窄化专业对于青年科学工作者的成长,有百害而无一利。

第三,要有专业以外的一个或几个显著特长。

在一个学科领域,总是聚集着成千上万学习过相同专业的同行,这些人虽然百人百面,各有长短,但对于专业知识的掌握,大抵都不相伯仲。某个人要想在众多的竞争对手中脱颖而出,必须具有其他人所没有的与专业相适应的一个或几个显著特长。

第谷·布拉赫是丹麦著名天文学家,他眼睛极好,长于观测,一生中观察记录了 750 颗行星的运动,位置误差不超过 0.67 度。但第谷不善于理论分析和数学计算,因此,始终没有发现什么规律性的东西。第谷死后,开普勒继承了老师的观察记录,继续潜心研究行星运动,终于发现了天体运行三定律,被人誉为“天空的律师”。开普勒的过人之处就是他精通数学。在这里,几何学帮了天文学的忙。发现 J 粒子是相当困难的,在一亿次观测中只有一次出现 J 粒子的机会。丁肇中由于发现 J 粒子而于 1976 年获得诺贝尔物理学奖。实际上,早在 1970 年美国布鲁克海文实验室就已经发现过与这种粒子有关的奇怪现象,但是,由于仪器的精密度不高,无法确定这是不是由新粒子所造成的。丁肇中的成功,就在于他设计制造了一架高分辨率的大型“双臂质谱仪”,建立了一套极为严格的实验室管理制度。达尔文之所以能创立生物进化论,他的不同凡响的地方是有惊人的观察能力,他从司空见惯的家养动物耳朵

下垂的现象中，总结出了“用进废退”的规律。

人们常说“艺多不压身”，这是一种理想的期望值，旨在说明掌握多种技艺会有更大的适应性，便于个人谋职和生存。实际上，由于一个人的精力和时间有限，要想学会很多技能几乎是不可能的。“一招鲜吃遍天”这句俗语，倒是贴切地道出了一个人事业成功的真谛！以历史、经济、法律等社会科学和人文科学的研究而言，人们主要是根据史料、事实、数据等等，运用分析和判断能力，归纳总结出一些规律性的东西来。因此，从事这类学科的研究，某个人如果有很强的分析、综合和逻辑推理能力，那么，此人事业上必有一番作为。

第四，有所失才能有所得，有所不为才能有所为。

年轻人精力旺盛，兴趣广泛，有的喜欢体育运动，夏天游泳，冬天滑冰；有的喜欢跳舞，慢三步，快四步，桑巴，探戈样样都精；还有的喜欢郊游远足，寻幽探胜。科技工作者可以有自己不同的兴趣和爱好，这是正常的，也是允许的。但是，科学研究工作需要人们付出艰苦劳动，奉献毕生精力。科学工作者要想在事业上作出成绩来，必须提倡“安、钻、迷”的精神。所谓安，就是安心本职工作，热爱所学专业，不见异思迁，这山望着那山高。所谓钻，就是刻苦钻研业务，锐意进取。所谓迷，就是对于研究工作情有独钟，如醉如痴如迷。对于科学研究工作、所学专业、所从事的课题，由安心工作到刻苦钻研，进而达到如醉如痴如迷的程度，这是精神世界的一种升华，它标志着科学工作者为事业献身的精神从一个较低层次进入到了更高的境界。有了这种精神，人们就会争分夺秒，废寝忘食地工作。

一天 24 小时，时间对每一个人都是绝对公平的，谁也不会多一分，谁也不会少一秒。音乐体育、琴棋书画只能是科技工作者的一种业余爱好。当你紧张工作一段时间以后，当你为了某一难题冥思苦想、百思不得其解的时候，听一场交响乐，游一次泳，打一个小

时乒乓球,能使你紧张的神经得到放松,然后再去工作,效率可能会比以前高得多。因此,对于科学工作者,科学研究以外的一切爱好都只能作为紧张工作以后的一种精神调剂。如果本末倒置,通宵达旦码“长城”,从早到晚论“手谈”,那就是玩物丧志!

一个人的精力和时间总是有限的,倘若什么都喜欢,什么都想学,到头来,必然什么也干不好,什么成绩也做不出来。请记住:有所失才能有所得,有所不为才能有所为,这就是生活的辩证法。

科学活动是一种艺术,科学工作者的成长涉及到社会学、人才学、心理学等等方面。笔者就几个也许无关宏旨但自认为与实际结合较紧密的问题发表了一些肤浅议论,希望对青年朋友的治学和成长有所启迪,有所帮助。倘真能如此,则幸莫大焉!

目 录

前 言	1
第一章 科学活动论	1
第一节 科学活动的特点	1
第二节 科学发现的确认	7
第三节 科学蒙难若干原因的历史分析	19
第二章 科学研究工作	28
第一节 科学研究选题	28
第二节 科学假说	40
第三节 科学实验与观测	55
第三章 科学研究方法	70
第一节 模型法	70
第二节 黑箱法	88
第三节 思想实验法	96
第四节 移植方法	105
第五节 系统方法	113
第四章 科学活动中的直觉	137
第一节 直觉思维的基本形式和特征	137
第二节 科学直觉的方法论意义	148
第三节 灵感	158
第五章 科学活动中的机遇	165
第一节 机遇的面目特征	166
第二节 机遇的隐身场所	172
第三节 机遇的捕获	182
第六章 创造力开发	200
第一节 创造过程	200

第二节	创造力测定·····	215
第三节	创造技法·····	231
第七章	论文写作·····	254
第一节	研究课题与论文题目·····	254
第二节	搜集与积累资料·····	257
第三节	立意与谋篇·····	262
第四节	写作和修改·····	275
第八章	科学家论·····	289
第一节	科学家的能力·····	289
第二节	科学家的品格·····	298
第三节	科学家的成长·····	308
后 记 ·····		323

第一章 科学活动论

第一节 科学活动的特点

一 公 有 性

公有性就是我们通常所说的科学是没有国界、不分阶级的。科学的大门为一切科学天才敞开着,任何具有科学创造能力的人,不论其种族、国籍、政治信仰、个人品质如何,都可以自由进入科学事业的殿堂。科学活动的这种功能性规则,符合科学本身发展的最高利益。亚利安种族主义者宣称,从意大利物理学家伽利略(G. Galileo, 1564—1642)和英国物理学家牛顿(I. Newton, 1642—1727)到当代物理学的先驱、物理学的奠基人以及伟大发现者,几乎毫无例外地都是亚利安人,企图否定“劣等民族”和“贱民”对科学成就的所有权。认为“下等人”天生与科学活动无缘,或者故意把他们的贡献说得一钱不值,这既有悖于科学活动的精神气质,也会人为地阻碍科学的发展。

公有性意味着科学是一种全人类的、国际性的事业,任何人的真正的科学成果都应当被承认,都可以被利用。爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)的相对论并不因为纽伦堡反犹法令而失效。敌国科学家的名字可以从教科书中被删去,但他们的理论和公式对于科学技术来说依然是不可少的。美国科学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)在发明避雷针后,1772年被任命为英国一个对策委员会的委员,专门研究火药库的避雷问题。1776年美国

独立战争爆发,富兰克林作为独立革命领袖,受到英国人的憎恶,连他倡导的尖顶避雷针也遭抵制。英王下令将宫殿和弹药库的尖顶避雷针全部以圆顶避雷针取代,还令皇家学会会长普林格尔宣布:英国的圆顶避雷针比富兰克林的尖顶避雷针要安全得多。但普林格尔郑重地说:陛下,许多事情都可以按您的意愿去做,但不能做违背自然规律的事。

公有性规范在原则上要求公开科学成果,只有在某些特殊情况下,保守科学秘密才是必要的,而且,这种保守对于科学本身的发展无疑都是有害的。一个不把自己的重要发现向科学同行进行传播的人,其发现是得不到社会承认的,而且会延缓科学发展。非欧几何首创权的殊荣没有记在德国数学家高斯(C. Gauss, 1777—1855)的帐上,而归属于俄国数学家罗巴契夫斯基(H. Лобачевский, 1792—1856)和匈牙利数学家鲍耶(J. Bolyai, 1802—1860),其原因就是,尽管高斯声称他早已得出类似的结果,但他没有把它公开。应当说,所有的科学成就,虽然首创权在个别人或集体,但却是社会协作的产物。科学成就是一种社会财产,它们中的很大一部分一旦出现就属于社会全体成员所有,留给科学家个人的仅仅是社会对于他们所作贡献的承认和尊重。不过,技术性的科学成果,情况要复杂得多。由于技术成果直接应用于物质生产,一般是用专利权来保护优先权。

二 探 索 性

科学研究是人们对物质世界和社会现象的一种认识活动,它的任务是认识人类迄今尚未认识的东西,在看来杂乱无章的因素中找出它们的联系,并且寻求出内部的规律性,因此,科学活动具有很强的探索性。具体地讲就是提出前人从未提出过的问题或者解决前人没有解决的问题。如果一个课题已经解决了,有了答案,

那么,它就失去了研究的价值。有时候,由于保密和专利保护等原因,有些课题虽然国外已经搞出来了,我们还得搞。因为这个问题对别人来说是已知的,而对我们仍然是未知的,还不能为我所用,仍然需要探索。

科学研究中的探索,意味着开拓、变动和追踪偶现。开拓是研究的起点,也是决定成败的关键。开拓就是在错综复杂的矛盾中为研究工作选择新方向、新领域,而不跟在别人后面亦步亦趋,拾人牙慧。很多新理论、新技术、新产品和新学科就是在这种开拓性的选择中取得的。

变动是探索过程中经常发生的事情。科学研究从提出方案到取得结果本身就是新方法的探索过程。在这个过程中,不仅具体的研究方法、技术措施时有改变,甚至原来拟定的研究目的、基本方案也会修改乃至完全被抛弃。这种情况在探索性很强的基础研究中表现得尤为突出。现在,科学技术研究项目的投资规模越来越大,周期越来越长,从管理角度来说,在确立选题和定方案时,应当力求谨慎,尽量减少变动,尤其要避免可能发生带根本性的变动。但是做到完全不变是不可能的,也是不符合辩证法的。问题是如何在变中求得不变,以小变代替大变。

科学活动既是一种探索未知的工作,其间出现一些始料不及的情况就是在所难免的。偶现指的就是这种在研究过程中偶然出现的,超出预料的新现象和新问题。这些现象和问题的出现虽然具有或然性,但它们却是必然性的反映。一个好的科研工作者,就是要善于捕捉和追踪偶现,偶现往往能把人们引向一个全新的研究领域,成为科学发展的里程碑。

三 创 造 性

创造性是科学研究的灵魂。在科学活动中,创造与探索有如一

对孪生兄弟,探索是研究的起点,创造则是研究的终极目标。没有创造性,科学研究就没有新成果。世界各国,历来把创造性大小作为衡量科学研究成果水平高低的重要标志。科研成果创造性越大,水平就越高。

科学活动中的创造性包括3个方面的内容,即发现、发明和创新。发现是指首先取得对自然界和社会的规律性的认识,有新现象的发现,新规律的揭示,新理论的创立。发明是指世界上原本不存在的东西,通过科学劳动而被创造出来,例如蒸汽机的发明,计算机的发明,许多化学制品的发明,以及自然界本来不存在的各种特殊材料的发明。创新是指对现有知识水平的提高及更新,有科学创新、技术创新、生产工艺创新,此外还有科学方法、管理方法的创新等。

科学研究成果能否有创造性以及创造性的大小,取决于研究人员的创造能力和这种能力的发挥程度。科学研究人员的创造能力主要表现为:不受旧的传统理论和思想的束缚,善于抓住科学发展中的关键问题进行突破,敢于标新立异;对科学研究过程中出现的机遇有敏锐的反应能力和捕捉能力;对知识有高度的鉴别能力和综合、运用能力;对失败有充分的准备,在失败面前不退缩,善于从失败中吸取教训,勇于继续探索。

正因为人们把独创性作为衡量贡献大小的一个重要标志,这就引发了科学活动中一个往往容易被人忽视的潜在特点,即竞争性。翻开科学发展的历史,有关发现的优先权的论争比比皆是。牛顿与他的同胞胡克(R. Hooke, 1635—1703)为光学和天体力学的优先权发生过论战,他把胡克描绘为“对什么都提出要求的人”。牛顿还与德国哲学家、数学家莱布尼兹(G. Leibniz, 1646—1716)就微积分的发明权进行了长期痛苦的论战。英国化学家戴维(H. Davy, 1778—1829)是法拉第(M. Faraday, 1791—1867)的老师 and 提携者,后来却为了优先权的问题完全与法拉第闹翻。有人把这种

论争简单地归结为科学家的个人品质,其实,更多的是科学本身的规范在起作用。科学研究本质上是一种智力活动,科学只有在正常的竞争状态下才能得到最大的发展,正如运动员通常是在比赛环境中,才能取得最佳体育运动成绩一样。因此,从某个角度看,竞争性是促进科学发展的一种原动力。

四 继 承 性

马克思曾经指出:科学研究部分地以今人的协作为条件,部分地又以对前人劳动的利用为条件。所谓“对前人劳动的利用”,就是科学活动的继承性。

科学研究工作是人们对物质世界和社会现象的一种认识活动。世界由物质组成,物质运动和社会发展总是遵循一定的规律和原理,这些规律和原理不论古代、近代还是现代都是相同的。科学的这种特点决定着在科学活动中,人们不必事事从头做起,后辈人可以以前辈人的终点为自己的起点,这便是科学上的继承。科学继承可以分为社会的宏观继承和人际的微观继承。宏观继承是指这一历史时期的人从上一历史时期的人那里吸取经验,总结教训,以此代代相袭,从而不断推动某一学科或者某一技术向前发展。在这种继承中,较难看到个人与个人之间言传身教的直接接触,起作用的是不同时代的人对于同一学科或同一技术的一种一脉相承的思想影响。从手工抄书到雕版印刷,从雕版印刷到活字印刷,就是一种由若干代人接续完成的宏观继承。微观继承是指个人与个人之间,通过言传身教、阅读文献、观摩实物等方式进行的带有明显的模仿、学习痕迹的一种继承。开普勒(J. Kepler, 1571—1630)继承老师第谷·布拉赫(T. Brahe, 1546—1601)二十多年来对 750 颗星体的观测记录,穷自己十多年的努力,终于发现天体运动三定律,被人们誉为“天空的律师”。开普勒与布拉赫之间的继承就是一