

大学生课外丛书

科学发现与科学方法

黄金南 杨长桂 彭纪南 编著

华中工学院出版社

科学发现与科学方法

黄金南 杨长桂 彭纪南 编著

责任编辑 宋绍忠

※

华中工学院出版社出版

(武昌喻家山)

湖北省新华书店发行 各地新华书店经售

湖北省沔阳县印刷厂印刷

※

开本: 787×1092 1/32 印张: 7 字数: 150,000

1983年5月第1版 1983年5月第1次印刷

印数: 1—20,000

统一书号: 17255—002 定价: 0.80元

目 录

第一章 绪 言

从鲍耶父子谈起.....	(1)
“干粮”和“猎枪”.....	(4)
开阔思路,高屋建瓴.....	(6)
探索“ $\tau-\theta$ 之谜”与科研程序.....	(9)

第二章 科研选题

提出问题比解决问题更重要.....	(13)
提出问题比解决问题更困难.....	(14)
不要当“波斯猫”,要给国家“捉耗子”.....	(17)
跳到最前线去作战.....	(20)
切莫在幻想的沙漠上构筑假科学.....	(21)

第三章 观 察

徒步万里黄河行.....	(25)
观察犹需千里眼.....	(27)
一次笑话百出的心理学实验.....	(29)
追踪观察,锲而不舍.....	(33)

第四章 实 验

两朵“乌云”迎来一场“风暴”.....	(36)
在地层深处探测质子蜕变的闪光.....	(39)
“点石成金”,梦想变现实.....	(42)
发现铀核裂变的风波.....	(44)
为什么几人共享诺贝尔奖金?.....	(46)
周密思考,精心设计.....	(49)

第五章 观察和实验中的机遇

无心插柳柳成荫	(52)
为“奥妙的侦探故事”提供重要线索	(54)
在偶然发现的背后	(57)
机遇只偏爱那种有准备的头脑	(59)

第六章 模拟

一个别开生面的实验	(63)
“笼天地于形内”，“观古今于须臾”	(64)
关键的一步	(67)
有关“小人国”和“大人国”的学问	(69)

第七章 科学抽象

玉不琢，不成器	(75)
攻克发现万有引力定律的最后难关	(77)
巧妙的设计与思维的创造	(80)
思维之花结硕果	(83)

第八章 比较和分类

“不怕不识货，就怕货比货”	(86)
要能看出“异中之同”和“同中之异”	(88)
“物以类聚，人以群分”	(90)
分类应是自然的	(92)
分类便于检索，能够预见未来	(95)

第九章 类比、归纳和演绎

原子宛如太阳系	(98)
触类旁通，举一反三	(100)
哥德巴赫猜想是怎么提出的？	(103)
画地图只用四种颜色	(107)
车到山前必有路	(108)
“能量亏损”与能量守恒	(113)
喜马拉雅山原来在大海里	(115)

木星是未来的恒星吗?	(119)
第十章 分析和综合	
揭开“种瓜得瓜, 种豆得豆”的奥秘	(122)
“悲惨的烟雾事件”	(124)
文章之道, 有开有合	(127)
第十一章 想象、直觉和灵感	
想象比知识更重要	(130)
“踏破铁鞋无觅处, 得来全不费功夫”	(133)
发明 = 2% 灵感 + 98% 血汗	(136)
第十二章 假说和理论	
绝不是巧合	(139)
“我用不着那个假设”	(141)
烈火炼真金	(143)
李森科覆车之鉴	(146)
通向真理的桥梁	(149)
历史和逻辑的统一	(153)
第十三章 数学方法	
“数学——科学的皇后和仆从”	(156)
欧拉是怎样解决“哥尼斯堡七桥问题”的?	(159)
欧几里得几何的迷人魅力	(164)
如鱼得水, 如虎添翼	(168)
第十四章 控制论方法	
一块新开垦的“处女地”	(172)
辨识黑箱的途径	(174)
重在功能的模拟	(180)
以反馈谋控制	(184)
第十五章 信息方法	
“禽有禽言, 兽有兽语”	(188)
卫星探宝, 大显神通	(193)

崭新的方法，巨大的威力·····	(196)
------------------	-------

第十六章 系统方法

从“都江堰工程”到“阿波罗计划”·····	(200)
整体大于它的各部分总和·····	(202)
结构决定功能·····	(203)
一切为了优化·····	(206)
系统工程师·····	(208)
一般程序·····	(211)

第一章 绪 言

从鲍耶父子谈起

读者不会忘记，古希腊数学家欧几里得写了一部名著，名曰《几何原本》。他首先选出少数原始概念和几何命题，作为无需证明的定义、公理和公设，然后，以它们作前提，通过演绎推理，导出一系列定理，从而建立起世界上第一个完整的几何理论体系。这部典籍问世以来，销路之大，超过《圣经》，影响之广，遍及寰宇。然而，它并非无缝的天衣，无瑕的白璧。后人发现，其间的“第五公设”，即“过平面上直线外一点能作且只能作一直线与已知直线平行”，并不象其他公理公设那样不证自明，也根本无法在实践中得到印证。能不能把它从公设中开除出去？能不能用别的公理公设证明它，从而让它降格为定理？从公元前三世纪开始，干此事的人历代不衰，其中包括如拉格朗日这样的大数学家在内。不少人曾经声称，它是定理而不是公设，已经得到证明，但后来发现，证明方法并不对头，犯了“循环论证”的错误。因而，二千多年来，它弄得许多富于才华的人心力交瘁，而报酬全无。

接力棒传到法·鲍耶手中，但其命运也不比前辈稍好。他是十九世纪初期匈牙利的一位数学教授，从事“第五公设”的证明工作几乎耗尽了毕生的精力。他心灰意冷了，思想变得极度保守。他的儿子亚·鲍耶从小酷爱数学。当他1820年考入维

也纳工程学院学习时，便开始证明“第五公设”。老鲍耶获悉此事，鉴于自己和历史上许多学者的失败教训，遂写信告诫儿子：“希望你再不要做克服平行线理论的尝试……。我熟知了一切方法直到尽头；……并且我在这里面埋没了人生的一切亮光，一切快乐。”“老天啊！希望你放弃这个问题。……因为它也会剥夺你的生活的一切时间，健康，休息，一切幸福的。这个无希望的黑暗能使千个牛顿那样的灯塔熄灭，这个夜任何时候也不会在地面上明朗化。”^① 悲伤之情，浸透字里行间，真是凄凄、惨惨、戚戚！但这种失败的苦痛也实际上告诉后人一条真理，把“第五公设”作为定理来证明是不可能的。此路不通，可否另辟蹊径？有幸的是，小鲍耶没有听从父亲的忠告，继续进行研究。他一方面怀着“掀翻天地重扶起”的无畏气概，另一方面在方法上作出突破，终于成为非欧几何学的创始人之一。他毅然放弃前人的证明方法，改用归谬法。即假设过平面上直线外一点可以作两条以上的直线与已知直线平行，如果由此推出和其他公理公设相矛盾的结论，引出谬误，那么，就可以看作用其他公理公设证明所谓第五公设只是定理而不是公设。但是，由它推出的一系列定理，并没有和欧氏几何的公理、公设发生矛盾，由此开辟了非欧几何的新天地！

老少鲍耶两代人的经历，耐人寻味，发人深省。它生动说明，科学方法之对于科学研究的成败具有极端的重要性，因而，历来受到大学问家所强调。法国数学家拉普拉斯说：“认识一位天才的研究方法，对于科学的进步……并不比发现本身更少用处。科学研究的方法经常是极富兴趣的部分。”^② 俄国生理学家巴甫洛夫指出：“初期研究的障碍，乃在于缺乏研

① B.N.科士青：《几何学基础》，商务印书馆1954年版，第37页。

② 《宇宙体系论》，上海译文出版社1978年版，第445页。

究法。无怪乎人们常说，科学是随着研究法所获得的成就而前进的。研究法每前进一步，我们就更提高一步，随之在我们面前也就开拓了一个充满着种种新鲜事物的、更辽阔的远景。因此，我们头等重要的任务乃是制定研究法。”^①毛泽东同志也曾形象而深刻地说明过方法的重要意义。他说：“我们的任务是过河，但是没有桥或没有船就不能过。不解决桥或船的问题，过河就是一句空话。不解决方法问题，任务也只是瞎说一顿。”^②

这是不难理解的。科学研究具有探索性的特点，如何才能发现与选定科研课题？如何去搜集资料？如何对获得的资料进行甄别、整理和加工，使之从感性认识升华为理性认识？如何从已知推出未知，从现在预见将来？所有这些，都是科学研究要做的事情，而要把它们做好，使研究工作真正有所发现，有所发明，就须臾离不开科学的方法。正确的方法使人事半功倍，马到成功，而错误的方法则使人误入迷途，劳而无益。这样的经验和教训，古今中外，司空见惯，比比皆是。

特别是当今科坛，领域宽广，情况复杂，对手云集，竞争剧烈，要想在科技上攀上高峰，取得领先地位，创造性地运用科学方法尤为重要。仅举一例，足以说明。1957年，苏联将第一个人造卫星送上天，取得了空间科学技术发展的领先地位。当时美国也具备了火箭上天等物质条件，为什么未能使卫星上天呢？这里重要原因之一，在于方法。当时苏联的设计师先想到了将一个大火箭改为上两级串联，最下一级用二十个发动机并联的办法。这种思维方法的巧妙运用，使同样的原理和物质手段，发挥出强大得多的威力。到六十年代初，美国制订了庞

① 《巴甫洛夫选集》，科学出版社1955年版。

② 《毛泽东选集》第1卷，人民出版社1957年版，第134页。

大复杂的“阿波罗登月计划，”由于运用了系统方法等原因，使计划如愿以偿，夺回了空间科学技术的领先地位。现在两霸相争，有增无已，一个重要方面，实则斗“法”。此情此景，我们不能不高度重视。

而今，我们心有宏图大略，四化重担在肩。四化的关键在于科学技术现代化，因此，用科学方法武装科技人员的头脑，就显得更加迫切而重要。“情况明，决心大，方法对”，胜利就是属于我们的！

“干粮”和“猎枪”

科学方法是获得科学发现的重要条件。然而，科学方法归根结底要靠从事科学研究的人去掌握和运用，因此，科学方法也就成了培养和造就科学人才的重要因素。

1980年，美国哈佛大学物理系教授、诺贝尔奖金获得者史蒂文·温伯格在接待《科技导报》记者走访时，曾就科学家的素质问题发表过精辟的意见。他说：很重要的一个素质是向自然的“进攻性”，不要安于接受书本上给你的答案，要去发现有什么与书本不同的东西。这种素质可能比智力更重要，往往是区别最好的学生和次好的学生的标准。显然，这里离不开科学的方法，正如向自然索取物质财富的“进攻性”离不开工具一样。

如果我们把科学家比作猎人，把书本知识比作干粮，那么，科学方法便是科学家手里的猎枪。猎手出门狩猎，固然要带一定的干粮，但更重要的是携带猎枪。只带干粮而不带猎枪，就失去进攻性，就无从获得猎物。同样，培养科学人才，传授

科学方法比传授已有知识更加重要。传统的教学思想以传授书本知识为己任，现在看来已经远远不足。培养学生的创造能力，教会学生猎取新知识，打开新局面，开拓新领域的方法，已经成了现代教学的根本特征。导师的主要责任不在于把自己的丰富知识向学生灌注，而是启发学生自己提出问题、分析问题、解决问题。否则，充其量是一位“教书匠”，而不成其为高明的导师，这样培养出来的学生至多是“平庸之辈”，算不上“有为之人”。

爱因斯坦成为杰出的科学家，和他非常重视科学方法和哲学素养密切相关。他十分欣赏莱辛的名言：“对真理的追求要比对真理的占有更为可贵。”这里所说的“对真理的占有”，就是指掌握书本知识，而“对真理的追求”则是指掌握科学方法去探寻新的科学知识，发展科学知识。爱因斯坦经常用这句名言来鞭策自己和勉励别人。他所倡导的“奥林匹亚科学院”精神更为感人。从1902年春天开始，爱因斯坦和索洛文、哈比希特三人，每天晚餐都在一起聚会。当时爱因斯坦是瑞士伯尔尼专利局的检验员，索洛文是大学哲学系的学生，哈比希特则是学数学的。他们之所以每天聚会，目的是利用这段业余时间在一起共同研究一些哲学和自然科学专著，讨论其中的理论和方法，包括当时一些最尖端的问题。用现在的话来说，他们组成了一个哲学和自然科学自学小组，或者也可称之为科学方法自学小组。因此，他们把这个聚餐会诙谐地称为“科学院”，并以古希腊人的竞技地点“奥林匹亚”命名。这个聚餐会坚持了四年之久，直到1905年11月索洛文和哈比希特先后离开伯尔尼，才停止活动。正是在这段时间里，爱因斯坦才华横溢，硕果累累。1903年发表了《关于热力学基础的理论》，1904年发表了《关于热的一般分子理论》，1905年发表了论述狭义相对论

的《论动体的电动力学》等重要著作。这些成就使爱因斯坦成了相对论的创立者和1921年诺贝尔奖金获得者。由于爱因斯坦这些成就和他在“科学院”的活动关系密切，所以在五十年以后的1953年，他还满怀深情地称颂这种“科学院”精神。他说：虽然三个成员都已有点老态龙钟，“可是你所闪耀的明亮耀眼的光辉依然照耀着我们孤寂的人生道路，因为你并没有同他们一起衰老，而却象蓬勃生长着的莴苣那样盛发繁茂。”

英国剑桥大学动物病理学教授贝弗里奇特别强调要自觉地对未来的科学工作者进行科学方法的教育。他说：“给这些人以若干科研方法的指点，较之听任他们凭借个人经验事倍功半地去摸索，应有助于他们早出成果。有一次一位著名科学家告诉我，他经常故意一段时间不管学生，以便使他们有机会自己适应工作。这种以非沉即浮原理为依据的方法，用以甄别人才，或许有其可取之处，但是，比起把孩子扔进水里的原始方法，我们今天有更好的教游泳的办法了。”^①贝弗里奇的经验之谈，对我们不无启发。加强科学方法的教育，看来应是培养未来的科学人才的重要战略措施之一。

开阔思路，高屋建瓴

谢尔登·格拉肖是和温伯格同时获得诺贝尔奖金的美国哈佛大学物理系教授。他在接待《科技导报》记者走访的谈话中，强调了通才教育对培养科学人才的重要意义。他说：大学教育不要专得过早。在欧洲一些学制下，入大学后就专读一门。美国大学课程有一半时间要选专科以外的科目，我就学过

^① 《科学研究的艺术》，科学出版社1979年版，第10-11页。

音乐、东亚历史、法文、文学和电焊工等。到研究院后一般人才专心攻读本科。这种通才教育对学生帮助很大。涉猎多方面的学问可以提供开阔的思路。格拉肖的看法不无道理。时代不同，科学技术发展水平不同，对科学人才的要求也就不同。古代科学技术处于萌芽阶段，科学人才以通才为主，因而当时的人才常是一身多任，既是哲学家，又是数学家、天文学家，甚至还是画家、歌唱家。近代科学技术处于不断分化阶段，科学人才以专才取胜，正如《控制论》的创始人维纳所说：“科学日益成为专门家在愈来愈狭窄领域内进行着的事业”，“没有几个学者能够不加任何限制而自称为数学家，或者物理学家，或者生物学家。一个人可以是拓扑学家，或者一个声学家，或者一个甲虫学家。”现代科技既高度分化，又高度综合，自然科学各门学科之间，自然科学和社会科学之间相互渗透，相互贯通，日益走向整体化，出现了如系统论、控制论、生态学、环境科学等一大批“亦此亦彼”的横断科学和综合科学。这就要求从事科学的人博学多才，通而后专。美国曾有人对1311位科学家作了五年的调查，得出的结论是：通才取胜。

就科学研究的方法而论，涉猎多方面的知识，也无疑有重要作用。但是，各种具体的科学方法五花八门，千差万别，不可能百事通晓。为此，学习科学方法的一般理论，则不失为一种好办法。爱因斯坦指出：“一种理论的前提的简单性越大，它所涉及的事物的种类越多，它的应用范围越广，它给人们的印象也就越深。”^①科学理论是这样，科学方法的理论也是如此。因为在唯物辩证法看来，一般总是指导个别的。只有从理论高度来探讨科学方法的一般问题，才能统观全局，高瞻远瞩，高屋建瓴，势如破竹。

^①《爱因斯坦文集》第1卷，商务印书馆1976年版，第16页。

自然科学研究方法按其概括的普遍程度和适用范围的大小，可以划分为如下三个不同的层次：

第一个层次，自然科学的特殊方法。即各门自然科学中所使用的特殊研究方法。例如，高能加速器的实验，是基本粒子物理学的特殊研究方法，化合和分解实验是只适用于化学而不适用于其它学科的特殊研究方法。每门学科都有区别于其它学科的特殊研究方法。它是本门学科用于探索自然奥秘、揭示自然规律的直接手段或工具，也是这门学科必须深入研究的内容。

第二个层次，自然科学的一般方法。这是从各门自然科学的特殊研究方法中概括总结出来的，是对各门自然科学研究普遍适用的方法。例如，虽然化学实验、物理实验、生物学实验等各有特点，但也有相同的内容、性质、认识功能和作用范围等等。这些共性构成了一般的实验方法，它对各门自然科学的研究具有普适性。观察、模拟、假说等，也情同此理。自然科学方法论就是关于自然科学一般研究方法的理论或学说，它不仅研究每个自然科学一般研究方法的特点和规律，而且还从整体上研究各个自然科学研究的一般方法之间相互联系、相互作用的特点和规律。

第三个层次，哲学方法。哲学方法是科学方法的最高层次，具有最高的概括性和最普遍的适用范围，它适用于自然科学、社会科学和思维科学等一切科学研究领域。

在上述自然科学研究方法的三个层次中，从第一个层次到第三个层次，方法的概括程度愈来愈高，适用范围也愈来愈大，前一个层次是后一个层次的基础，而后一个层次则对前一个层次具有重大的指导意义。因此，对于自然科学研究工作者来说，提高自然科学方法论和哲学方法的素养，乃是提高科学方法素养的重要方面。本书所论述的，主要是关于科学方法论的

有关内容，以便为未来的科学研究工作者研究科学方法论提供一些基础知识。

探索“ τ - θ 之谜”与科研程序

1957年，中国血统的美籍物理学家李政道和杨振宁，由于发现了弱相互作用中宇称不守恒定律而荣获诺贝尔物理学奖。这一重大发现，是他们熟练地综合运用各种科学方法，进行了长期艰苦的劳动才取得的成果。

他们的研究工作是从探索“ τ - θ 之谜”开始的。在1956年前不久，物理学家在基本粒子研究中发现了一个令人困惑不解的问题：在奇异粒子中，有些叫 θ 粒子，有些叫 τ 粒子，它们都是 K 介子。一方面，人们发现它们具有几乎完全一样的性质——相同的质量、相同的寿命、相同的电荷、相同的自旋……以致人们不得不认为它们就是同一种粒子。然而，在另一方面，它们在宇称上的表现却又如此地不同——实验观察到一个带电荷的 θ 粒子能衰变成两个 π 介子，根据已经确定的 π 介子的宇称（-）（奇宇称）和宇称守恒定律， θ 粒子应当有偶宇称 $[(-1) \times (-1) = +1]$ ；一个带电荷的 τ 粒子在衰变过程中变成3个 π 介子，从而应当有奇宇称 $[(-1) \times (-1) \times (-1) = -1]$ 。所以从宇称角度来说，人们又不敢相信 θ 与 τ 是同一种粒子。这个矛盾被称为“ τ - θ 之谜”或“ τ - θ 疑难”。这个难题成了当时的一个中心科学问题，也是在纽约州罗切斯特举行的1956年度国际讨论会上的一个首要讨论题目。这时年轻的物理学家李政道和杨振宁在会议讨论的激励下，大胆地选择了这一重大疑难问题作为科研的课题。接着，他们开始收集与研究这一问题有关的观察实验事实，花了将近

一年的时间，查阅了到那时为止世界各地关于这一问题的实验数据。他们仔细分析了这些实验数据之后，发现在弱相互作用的领域里，宇称守恒定律从未得到实验证实，只不过是一种理论上的推论而已。他们便在收集到的观察实验数据的基础上，运用理论分析和逻辑推理等方法，提出了在弱相互作用中宇称守恒定律不能成立的假说。然后，又提出了一系列检验这一假说的实验建议，其中“极化 β 衰变”实验，很快由吴健雄等人以出色的实验技巧实现了，从而证实了在弱相互作用中宇称不守恒定律。

上述李政道和杨振宁从探索“ $\tau-\theta$ 之谜”到证实在弱相互作用中宇称不守恒定律的整个过程，包括了从确定科研选题到提出假说和检验假说的一系列步骤，其中每一个步骤都运用了不同的科学方法，把各个步骤有机地结合在一起，就构成了一套完整的科学研究程序。

一般说来，一项具体的科学研究的程序，大体上包括下列几个步骤：

第一是确定科研课题 选题是确定科研工作的目标和努力的方向，是每项具体科研工作开始阶段必须进行的重要步骤。要把科研课题选好，除了必须依靠科学研究工作者的学识和经验之外，还需运用各种逻辑方法，充分发挥理论思维的能力，才能发现问题并从中选出最有希望作出成果的重大科研课题。

第二是获取和积累科学事实 科学事实是科学研究的基础和出发点，是科学研究中能否作出新发现的决定性因素。“巧妇难为无米之炊”。没有丰富的科学事实，就难于从中作出新发现。从根本上来说，科学事实来自人们的各种实践活动。在科学研究中有目的地获取科学事实的方法，主要有科学观察、实验和模拟方法。科研工作确定科研选题之后，有目的地运用科学观察、实验或模拟方法，以获取第一手资料，是获取科学

事实的重要途径。此外,还应通过阅读书刊和有关文献资料等途径,来收集和积累有关的科学事实。

第三是进行科学抽象和提出科学假说 科学认识的任务在于揭示事物内在的本质和规律,因此必须在收集和积累了大量科学事实材料的基础上,运用科学抽象的方法,运用比较、分类、分析、综合、类比、归纳、演绎等逻辑思维的方法以及创造性思维的方法,提出科学假说,对所探索的自然现象及其规律性作出假定性的解释和说明。

第四是检验假说 科学观察和实验是检验假说的基本途径,假说提出后必须设计新的观察实验来加以检验。经过观察实验证明是错误的或不完善的,要重新回到第二、第三步骤重复进行,直到求得正确的认识为止。

第五是建立理论体系 经观察实验证明是正确的假说,就发展成为科学的理论。科学理论体系的建立可以采用历史与逻辑相统一的方法,从抽象上升到具体的方法和公理化方法等等。

上述科学研究的一般程序,大致可用右图来描述。

需要说明的是,上述的几个步骤只是大体上反映了科学研究的一般进程。实际的科学研究过

