

大学生文化素质教育书系

发现与创新之路

——科学技术的研究方法

教育部高等教育司 组编

刘大椿 万重英 著



华中理工大学出版社

大学生文化素质教育书系

发现与创新之路

——科学技术的研究方法

教育部高等教育司 组编

刘大椿 万重英 著

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

发现与创新之路——科学技术的研究方法/刘大椿 万重英 著
武汉:华中理工大学出版社, 2000年10月
ISBN 7-5609-2301-1

I. 发…

II. ①刘… ②万…

III. 科学技术-研究方法-青年读物

IV. G304

发现与创新之路
——科学技术的研究方法

刘大椿 万重英 著

责任编辑:夏增民

责任监印:熊庆玉

责任校对:郭有林

出版发行:华中理工大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中理工大学出版社照排室

印刷:核工业中南三〇九印刷厂

开本:850×1168 1/32

印张:10.125

字数:218 000

版次:2000年10月第1版

印次:2000年10月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5609-2301-1/G·303

定价:15.00元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书系教育部高等教育司组织编写的“大学生文化素质教育书系”之一。

科学技术的研究方法,神奇、重要而引人入胜,它使人聪明,铺就发现与创新之路,造就出类拔萃之人。本书着眼于对科学发现、技术发明与创新的整体把握,对方法论中的基本问题,诸如发现与创新的起点问题,科学实验是基本的科研活动,研究方法从事实、规律到理论的提升,技术创新和产业化的关键作用,以及在试错中前进的辩证法等,进行了生动的、深入浅出的阐释,并且强调科学素养和品格的培养,引导读者从社会和伦理的角度对科技研究的价值和科技人员的责任加以关注。

本书的读者对象主要是准备从事科研工作的大学生、研究生,以及希望了解科研工作的人文学者,对业已从事研究工作的科研人员、高校教师也可作为参考。

“大学生文化素质教育书系”编委会

顾 问：周远清 张岂之
主 任：钟秉林
副主任：杨叔子 李文海 王义道 胡显章
李进才
委 员：王义道 费振刚 王天有 叶 朗
胡显章 徐葆耕 李文海 杜厚文
石亚军 刘大椿 陈 洪 逢锦聚
张文显 马世力 施岳群 朱立元
叶取源 王斯德 许教教 杨叔子
刘献君 文辅相 李进才 陈春声
张楚廷 李植松 冉昌光 束鹏程
彭治平 郑惠坚 张 峰 钟秉林
刘凤泰 阎志坚

“大学生文化素质教育书系”总序

教育部副部长 周远清

加强大学生文化素质教育工作到现在已经进行4年了。1995年,加强大学生文化素质教育工作作为高等教育教学改革的一个重要探索,首先在52所高等学校进行试点,试点工作得到高等学校的普遍认同和积极响应。通过近3年的实践,试点工作取得了显著成效。在试点工作取得一定经验的基础上,教育部又相继出台了几项重要措施:制定下发了《关于加强大学生文化素质教育的若干意见》,成立了高等学校文化素质教育指导委员会,在全国普通高校建立了32个“国家大学生文化素质教育基地”等,加强文化素质教育工作从此由试点逐步向全国高校推开。

在实践的过程中,我们认识到,要使加强文化素质教育向纵深发展,就必须实现“三提高”:提高大学生的文化素质,提高全体教师的文化素养,提高大学的文化品位与格调。实现“三提高”应是高等学校文化素质教育工作更高的境界,也将把文化素质教育工作推向一个新的阶段。

从我国和世界社会、经济、科技的发展要求,以及21世纪对人才的需求出发,我国原有的高等教育人才培养体系确有许多不相适应的地方,人文教育薄弱就是较为突出的一点。实践证明,加强大学生文化素质教育,对于推动教育思想和观念的改革,推动高等教育人才培养模式的改革,对于高等学校培养适应21世纪需要的高质量、高素质的人才,具有重要意义。无疑,加强文化素质教育

已经成为深化高等教育改革特别是人才培养模式改革的切入点,切中了我国高等教育人才培养的时弊,符合我国高等教育改革的实际,而且也顺应世界高等教育改革和发展的潮流。

党中央、国务院召开了改革开放以来的第三次全国教育工作会议,颁发了《关于深化教育改革,全面推进素质教育的决定》。《决定》以及江泽民总书记等中央领导同志的讲话,无疑为我们进一步开展加强文化素质教育工作指明了方向,更加坚定了我们做好这项工作的信心。

我们强调的加强文化素质教育,主要是通过对学生加强文学、历史、哲学、艺术等人文社会科学和自然科学方面的教育,以提高全体大学生的文化品位、审美情趣、人文素养和科学素质;我们也强调作为一种新的教育思想观念,加强文化素质教育必须贯穿于人才培养的全过程,必须课内外相结合。为此,作为推动文化素质教育工作的一项重要措施,我们组织国内有关学科的著名专家、学者,编写了这套“大学生文化素质教育书系”。它既可以作为教材,也可以作为课外读物,其主要目的是向大学生介绍中华民族的优秀传统文化,介绍人类优秀文化成果,使学生从中汲取营养,不断提高自身的综合素质和文化品位,提升自身的精神境界。

从古今中外杰出人才的成长过程来看,除老师的教导和课堂的学习外,无不从前人留下的文化精品中得到启发,受到熏陶。我们组织编写“书系”的初衷就是弘扬中华民族的优秀传统文化,体现时代精神,使它在提高大学生的人文素养和科学素质方面发挥作用,对大学生的成长产生积极的影响。我们深信,由著名专家学者精心编撰的这套“书系”,一定能够成为大学生成长过程中的良师益友,伴随他们走上成才之路。

21世纪即将到来,知识经济已见端倪,从高等教育改革和发展的趋势看,21世纪是更加尊重知识、更加注重人才素质全面提高的世纪,就这一意义而言,我们现在所开展的加强文化素质教育仅仅是个开始,还有许多工作等待着我们共同去完成,我们相信会

有更多的学校和教师参与到这项工作中来,我们也希望更多的专家、学者参与“书系”编写,为全面推进素质教育工作提供更加丰富的、高质量、高品位的文化精品,为加强文化素质教育工作做出自己的贡献。

一九九九年八月于北京

目 录

引论:他们何以出类拔萃?	(1)
§ 1 方法使他们聪明和成功	(1)
§ 2 科学发现与技术发明	(12)
§ 3 随心所欲,不逾矩	(21)
第一章 发现的起点与逻辑	(34)
§ 1 发现与创新始于问题	(34)
§ 2 科学问题的选择与确定	(45)
§ 3 合情推理在发现中的运用	(52)
第二章 伟大的科学实验	(66)
§ 1 科学发现的翅膀	(66)
§ 2 科学实验的奥妙	(78)
§ 3 科学仪器与测量	(85)
第三章 从假说到理论	(94)
§ 1 科学事实与科学规律	(94)
§ 2 科学假说与科学理论	(109)
§ 3 理性准则的启发	(124)

第四章 技术创新和产业化	(140)
§ 1 创新改变了世界	(140)
§ 2 工程技术中的发明方法	(151)
§ 3 技术进步与技术开发	(157)
§ 4 技术转移与高技术创新	(167)
第五章 在试错中前进	(180)
§ 1 杰出科学家的失误	(180)
§ 2 不断尝试、纠正错误	(191)
§ 3 真理与谬误	(200)
第六章 科学素养和品格的培养	(211)
§ 1 致力于创造性思维	(211)
§ 2 直觉思维、灵感与机遇	(226)
§ 3 创新与学习	(241)
第七章 社会评价与伦理关照	(254)
§ 1 对科学的社会评价方法	(254)
§ 2 科技活动与伦理责任的统一	(268)
§ 3 科技时代的困惑与生命安顿	(289)
参考书目	(305)
附录：“大学生文化素质教育书系”第一批书目	(311)

引论：他们何以出类拔萃？

§ 1 方法使他们聪明和成功

从“尤里卡”说起

从中学时代起我们就认识了古代物理学家阿基米德，他有诸多发现、发明，其中阿基米德定理就是突出代表。而阿基米德定理的由来，据说有一个十分美妙的故事：

叙拉古国国王希罗，打算做一顶在祭神时戴的金质王冠。有一天，国王命人把一位珠宝工匠召到宫殿，给了他一锭称过重量的金子，说道：“这是足够分量的黄金，给我做一顶漂亮的王冠。”过了些日子，珠宝工匠把做好的王冠送进王宫。王冠做得异常精巧，国王看了十分高兴。可是，国王周围的人却有一

种议论：“王冠是很漂亮，只怕是唯有王冠的表面是金子做的，里面也许是银子做的。”“对！怕是工匠耍了花招，掺进了银子。”有人附和着。这些背后的议论，很快被国王知道了。国王大发雷霆，立即让人把工匠叫来，厉声问道：“这顶王冠是用纯金做的吗？”“是的，您称一称王冠的重量就知道了。”称量的结果，重量恰好同给他的金子一样。

这样一来，那些认为“王冠不是纯金做的”大臣们慌了手脚，这不成了故意损坏国王尊严的罪人吗？一个脑子反应快的大臣对国王说：“陛下，工匠也许在王冠里掺进银子，而又做得与给他的金子一样重。”“哦，也有可能。那么怎样既不要损坏王冠，又能鉴定出王冠里面掺了银子呢？”这个大臣也无计可施，心想这怎么可能呢？但是，在这件事上不论是那个工匠，还是参加议论的大臣们，都只有证明自己是正确的，才能免于死。正是在这时，有人提议：是不是可以找阿基米德商量一下，让他想想办法。有人把阿基米德找来了，国王对他说，要想尽一切办法侦查出这顶王冠制作中是否有舞弊行为。

阿基米德接受了这个难题。王冠的形状很复杂，上面刻满了花纹，要查明王冠到底是不是纯金的又不能丝毫损坏它，也就是说只能用科学的方法来证明它的真伪。几天来，阿基米德面对着王冠，冥思苦想，也还是想不出办法，几乎准备放弃这项任务了。烦躁的阿基米德于是去洗澡，放松一下自己，但心里一直还在琢磨这件事。当他跳进浴池时，他观察到溢出池外的水量正好等于他浸入水中的身体的体积。这个事实使他了悟到测量皇冠的方法，他毫不迟疑，狂喜地跳出浴池，赤身裸体直往家奔，边跑边高喊他已找到了他正要寻找的东西：“尤里卡，尤里卡（我找到了，我找到了）！”

原来，由于液体具有流动性和不可压缩性，物体完全浸没在水

里所排开的水量,只取决于物体的体积大小,而与物体的重量无关。如果王冠是由纯金制成的,那么它所排开的水量,就应跟工匠领得的黄金所排开的水量一样。倘若工匠在铸造王冠时掺进了银子。而银子比同体积的金子要轻得多,因此,用金银合制成的王冠,它的体积一定比同等重量的纯黄金的王冠体积要大。阿基米德由身体在水中的情形,而想到物体在水中或其他液体中的情况,于是又联想到王冠,认为用这种方法可以检验王冠是不是由纯金做成的。

他终于找到了检验王冠问题的一个极简单的方法。他取来两份金属,一个是黄金,一个是白银,它们都和王冠的重量相等。然后,他将三个物体即金块、银块和王冠依次浸在盛满水的一个容器里,看在三种情况下每次各流出多少水。他发现,王冠所排出的水量,多于黄金所排出的水,而少于白银所排出的水。这表明这顶王冠既不是纯金做成的,也不是完全由白银做成的,而是金子和银子的掺合体。很明显,工匠在制造王冠的过程中,掺进了银子,偷去了等量的黄金。舞弊被揭穿了,工匠受到了应有的惩处。就这样,阿基米德用一个极其简单而巧妙的办法,使王冠疑案真相大白。

应当指出,不少著述曾经错误地断言阿基米德坐在浴缸里发现了流体静力学基本定律——“浮力原理”。其实,他在这里只是悟出了比较各种物体体积的方法:把物体放进盛满水的器皿之中,测量溢出的水的体积。而这正是他解开“王冠之谜”的钥匙。正是由于受解答王冠问题成功的激励,促使阿基米德去研究更加细致、复杂而又困难的物体上浮条件等问题,结果得出了著名的阿基米德定律:浸在流体中的物体(全部或部分)受到向上的浮力,它的大小等于物体所排开的流体重量。有趣的是,阿基米德解开“王冠之谜”的方式后来被称为“尤里卡效应”。

由此可见,用什么样的方法解决问题是一个关键,方法的正

确、简明可行才能导致问题的解决。

让人惊叹的元素周期律

在元素周期律发现以前的 50 多年里,人们在积累、收集元素知识材料和探索元素间的联系规律方面,做了大量的艰苦工作,所提出的元素的分类方法不下 50 余种。但是,当时的化学界对原子量和元素特性间的认识尚不足,再加上科学家受思想方法等条件限制,所以尽管付出了巨大的劳动,但建树甚微。

著名俄国化学家门捷列夫意识到掌握正确的科学方法对揭露元素之间的规律性联系是至关重要的。他敏锐地觉察到:单是事实的收集,哪怕收集得非常广泛,单是事实的积累,哪怕积累得毫无遗漏,都还不能使你获得掌握科学的方法,不能向你提供进一步成功的保证,甚至还不能使你有权照科学这个名词的高级意义来把它称为科学。为了揭露这种联系,门捷列夫首先分析了以往的全部对元素进行分类的方法,并把当时所有的元素分类法分作人为的和自然的两种。

门捷列夫认为,仅仅基于各种元素的某些特征进行分类,是一种人为的分类方法。例如若根据元素对氧和氢的关系进行划分,就会使人们很难把极为相似的元素分割开来。若以元素的金属性和非金属性进行分类,也有很大的局限性,因为元素的金属性与非金属性之间的区别,初看起来好像是绝对的,事实上却是相对的。例如在金属与非金属之间存在着砷、锑等所谓“准金属”。同时,不仅不同元素之间的界限是相对的,以严格的实验进行考察时,还发现许多元素例如铝、锌等元素本身就存在着某些对立的两性表现的特点。

门捷列夫还详细分析了许多化学家依据元素的原子价进行元素分类的种种尝试为何不成功。他指出,对许多元素来说,原子价取决于该元素与之起化学反应的另一元素。例如,氮在与氢的化合物中是3价,而在与氧的化合物中则是3~5价。甚至在与同一元素形成的化合物中,一个元素会表现出不同的原子价(即变价)。类似这些被门捷列夫称之为人为的元素分类法的主要缺陷在于它们只是单纯的归纳。想要把元素的性质单一化、绝对化,而且据此对元素加以分类,这实质上很难把握元素间的本质关系。

门捷列夫把根据化学性质的总和进行的元素分类(如卤素、碱金属等),称为自然分类法。在这些分类中,已发现某些元素原子量之间存在简单而有规律的关系。门捷列夫指出,这种元素的自然分类法只是提供片断的材料,还不能揭示元素的完整体系。

在详细分析所有已知化学元素分类法以后,门捷列夫立即着手揭示所有元素间的规律性联系,并进而对元素从整体上进行概括。与前辈不同,门捷列夫不是为了单纯分类而分类,他给自己定出的任务是发现客观规律、找出普遍规则。门捷列夫认为,必须探求所有存在元素的统一的基础,惟有这种基础才能反映出化学元素间的一致及其区别。通过艰苦的探索,他终于发现元素的原子量就是元素的基础。通过对性质相似和不相似的元素的比较,门捷列夫发现了元素性质随原子量而变化的规律性。据此,门捷列夫提出了科学的元素分类系统,并称之为周期系或周期表。门捷列夫曾经不止一次地指出,他的周期系的特点在于通过比较找到了一切元素间的内在联系。

门捷列夫后来说:当一想到物质的时候,除了关于物质的原子的一切概念以外,决不能避开两个问题:什么物质和多少物质,而这和化学元素的质量那个概念也正相符合。因此他不由得产生了一种想法,以为在质量和化学元素中间必然有联系,因而物质的质

量(虽然不是绝对的而只是相对的)最后总要表现在原子里,那么就应该找到在元素的性质和它们的原子量之间的函数关系。他把元素和它们的原子量以及种种基本性质写在一张张的卡片上,把性质相似的元素和相近的原子量排成行列。这样,很快就得出了一条结论:元素的性质是随着它们的原子量而周期地变化的。这时候虽然还有许多不大清楚的地方,但是他对这个结论的普遍性已经丝毫不怀疑了,因为这样的偶然性是不可能发生的。

门捷列夫的思路简单而明确,但却又是那么值得我们回味。门捷列夫十分明确地主张,元素的性质和它们的原子量之间必然存在着内在联系和客观规律。他坚信,寻找元素的性质及其相似性与它们原子量之间的关系,乃是最简捷和自然的方法。正是这种思想方法导致了元素周期律的发现,使得化学不再是各种元素及其化合物的资料的堆积,第一次在科学家们面前成了一个有机的整体。这种从质和量的关系上对化学的整体进行研究和探索的方法,实质上就是一种辩证地研究自然的方法。

门捷列夫深深懂得,即使元素周期表的基本思路在头脑中成熟了,要把它作为定理完全揭露出来,仍然是一件十分困难的事情。为了科学地表述和论证元素间相互联系的规律,门捷列夫进行了更为艰巨,也是更具创造性的研究工作。

当时已知的元素是 63 种(目前约为 110 种),而其中有 7 种元素的原子量当时已发现有明显错误,还有几种元素的原子量尚未准确测量。在这种情况下,如果单纯按已测出的原子量大小的顺序排列元素,必然产生不可克服的矛盾。与同时期的其他竞争者比起来,门捷列夫艺高一筹之处就在于他看到了这一点,因而在排列元素时,他不仅仅参照了元素的原子量,而且更进一步考虑到了元素整体特性以及元素与其他元素的联系。他还认识到,一个元素的排列位置,不仅对应着一定数值的量,而且包含着丰富内容的

质。因此，元素的这种排列位置，反过来又成了门捷列夫重新审核和订正许多元素原子量的根据。当位置和性质发生矛盾时，门捷列夫倾向于根据元素性质的总和来考虑位置的排列。

更可贵的是，门捷列夫在把元素按原子量递增的顺序排列时，在元素化学性质逐渐变化的自然进程发生中断的地方，把元素的行列断开以留出空位。这样，一则给尚未发现的元素留下位置，二则又预测了几种待发现元素的化学性质和物理性质。这项研究工作突出地体现了门捷列夫的科学智慧和把他的理论转化为科学方法的惊人的预见性。

门捷列夫公开发表了他对尚待发现的元素的预言。在随后的15年内，他所预言的类铝、类硼和类硅都被相继发现。令人惊讶和敬佩的是，它们的性质，竟与门捷列夫所预言的几乎完全符合。这既说明门捷列夫所坚信的预见是正确的，同时也使他发现的元素周期律经受了严格的考验。门捷列夫的预言被传为科学史上的佳话。其意义正如门捷列夫所说：我决定这样做，是因为在我预言的那些物质中，要是有一种被人发现，我马上就能彻底相信，并使其他化学家相信，作为我的周期系的基础的那些假设是正确的。对元素原子量的修订和对未知元素性质的预言，标志着门捷列夫在揭示元素间相互联系的规律上取得了重大突破，在元素分类系统方面达到了新的理论高度。元素周期律终于被发现了！

毋庸置疑，门捷列夫的成功，得益于正确的研究方法。对于科学研究来讲，正确的方法往往意味着成功的一半。

合适的钥匙才能打开锁

人类对自然界一直有着极大的兴趣，先知们一直在努力探索