

· 科学文化书系 ·

真与美

科学研究中的美学和动机

(美) S. 钱德拉塞卡 著

科学出版社



·科学文化书系·

真 与 美

科学研究中的美学和动机

[美] S. 钱德拉塞卡 著

朱志方 黄本笑 译

桂起权 校



科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书收集了杰出的天体物理学家、诺贝尔物理学奖获得者 S. 钱德拉塞卡的七篇讲演稿。这些文章通过对一些大科学家（如爱因斯坦）、大艺术家（如贝多芬）的生平及创造性思维的分析，讨论了科学研究的美学及动机，对科学创新的模式提出了深刻的见解。本书读者对象为
基础科学研究工作者，科学史、科学哲学和科学美学研究者以及大专院校的师生。

S. Chandrasekhar

TRUTH AND BEAUTY

Aesthetics And Motivations In Science

The University of Chicago Press, 1987

·科学文化书系·

真 与 美

科学研究中的美学和动机

[美] S. 钱德拉塞卡 著

朱志方 黄本笑 译

桂起权 校

责任编辑 童瑞平

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100707

北京市朝阳区东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年8月第一版 开本：787×1092 1/32

1992年8月第一次印刷 印张：4 1/2

印数：1—1 350 字数：142 000

ISBN 7-03-002929-1/Z·176

定价：5.40 元

ZU12/11

译者前言

本书收编了S.钱德拉塞卡的七篇演讲稿。钱德拉塞卡是著名的印度裔美国天体物理学家，曾获多种科学奖，包括诺贝尔物理学奖。这些演讲的主题是科学创新的模式及科学中的审美问题。其中多数演讲作于70—80年代，只有一篇是1946年作的。作者认为，追求美是科学的目的之一，也是推动科学进步的一种动力。他考察了几位杰出的科学家的审美观，如海森伯、爱因斯坦等，其中有一些与作者本人有过直接交往。因此作者提供的材料有一些是很有价值的、其中有两篇专门讲述米尔恩和爱丁顿两位科学家的生活及贡献，但都涉及创造和审美等问题。

本书第一章由黄本笑译，其余由朱志方译，桂起权校订全书。

前 言

本书收集的7篇讲演稿反映了我关于科学研究的动机和科学创新模式的基本思想。虽然第一篇讲演稿成于40年前(有关具体情况我下面要讲述),但其余6篇是1975年之后的10余年中作的。因此它们显示了一个科学家的态度的变化(或成熟?)。

这些演讲都经过了精心的准备并在细节和措词上作了仔细斟酌。事实上它们都是在重要场合下宣读的,这里刊印的是未作改动的原文(仅仅删掉了一些“开场白”之类的材料)。

—

这些演讲大致有两个方面的内容。前4篇主要论述审美和动机问题。其余3篇讨论米尔恩¹⁾、爱丁顿和史瓦西,尽管一部分内容是关于他们的传记,但是也间接地谈到上述一般问题。特别是在关于史瓦西的这篇讲演中,主要谈论的是广义相对论的美学基础,这是前面《科学中的美与求美》一篇论证的继续。

二

从1946年作《科学家》演讲到1975年关于《莎士比亚、

1) 米尔恩 (E.A.Milne), 英国天文学家, 1896—1950。——译注

牛顿和贝多芬：创新的模式》的第二次诺拉和爱德华·赖森讲演，中间相隔30年。如前所述，这是特殊环境造成的。科学家一般认为，科学追求的动机或这种追求的美学基础不是一个值得认真讨论的课题；对于那些认真讨论这个问题的科学家，他们往往不屑一顾。我在1945年大概是赞成这种共同看法的。但是，R.M.哈钦斯（当时任芝加哥大学校长）来信邀请我在他组织的一次系列讲座中讲《科学家》，他在信中解释说：

这次系列讲座的目的是激发学生的批评能力，使他们能够了解科学研究的卓越之处，引导他们自己把事情做好，[希望]每个演讲人谈一谈他自己对本行业研究工作的体验，通过阐述它的本性、论述它的目的、解释它的技巧来展示它的价值。

起初我不大想接受邀请：对于这些问题，我还没有做过认真的思考。此外，哈钦斯邀请的其他演讲人的名单（其中有F.L.莱特，A.肖恩堡，M.查高，J.V.诺伊曼）也使我有些怯场。（老实说，谁不会叫这张名单唬住？）但是我一个年轻晚生，哪能抗拒大学校长的权威！于是我迫不得已去思考那时我还很生疏的问题。

重读40年前的讲稿，我感到有很多话我今天不会说或者不会那样说。但是我还是把它收进了这本集子（也许有助于更好地判断），因为把这一篇同1985年的演讲《科学探求的动力》放在一起读，可以表明一位科学家如何随年代的变化而改变态度。

三

从时间顺序上说，《科学家》讲演之后是1975年的赖森讲

演。那年之前我被迫疗养6个月，这是一次难得的机会，我专心致志，思考了一些我以前未曾认真考虑过的问题。这6个月的研究和思索不仅为我不久要作的讲演提供了基础，而且使我对美感在科学素养中的作用产生了持久的兴趣。我对广义相对论的某些数学方面越来越入迷，加强了我对那些问题的兴趣。（我想补充一点，我获得的新事实或见解在我看来都不是我的“发现”，而是早就在那儿了，只是我有机会收拾起来。你说怪不怪。）

四

1975年以来的全部演讲中贯穿着两条相互交错的线索，同样一些用作例证的“故事”出现在不同的场合，用在不同的地方。一条线索是关于科学中寻求美的问题，另一条线索是关于艺术和科学中不同创造模式的起源问题，这是我在赖森讲演中明确提出的。关于艺术家的作品和科学家的作品的讨论，背后通常有对照鲜明的前提，最清楚地显示了两种模式中存在的差异。在评价一个艺术家时，常常区分早期、中期、晚期，这种区分一般就是成熟和深刻程度的区分。但是，评价科学家的方式却不是这样：科学家是根据他在观念或事实领域作出的一个或几个发现的意义（重要性）来评价的。一个科学家最重要的发现常常是他的第一个发现。相反，一个艺术家最深刻的创作常常也是他最后的创作。我仍然对这种区别疑惑不解。

这种区别有一个方面我最近想到了，要简要地说几句：16世纪，17世纪的科学家和今天的科学家显然抱有不同的目的。牛顿是一个最突出的例子。他在大瘟疫时期避居家乡乌尔索普，发现了万有引力定律（和其他许多定律）。约20年后他才着手为哈雷重新写出他关于开普勒第一定律的推导，这

时他并未就此住手。他也不满足于后来所作的演讲《论物体的圆周运动》。他不得不撰写整个《原理》，他写这本书的速度和连贯性在思想史上是无与伦比的。从现在的高度看，牛顿这种努力有一个方面很有启发意义，这就是他不满足于就事论事地阐述他的发现。远远不止这样，他似乎想要把他的发现置于他能建立并看作一个整体的整个科学领域的环节中。牛顿这种态度在他那个时代并不是例外。开普勒本来可以满足于阐述他的行星运动定律而不及其他，但是他却决定写《新天文学》。伽利略本来可以止于宣布他的伟大发现，但是他显然感到迫不得已，写了《关于两种新科学的对话》。开普勒、伽利略和牛顿的传统传给了拉普拉斯和拉格朗日。

当然，任何正常人现在要去刻板地仿效牛顿、开普勒、伽利略，那一定是吃多了。但是，这些范例表明在他们的广阔视野里他们所追求的目的也许同较谨慎但相似的目的一起通行过。但是目的变化了，重点越来越落在辨明那些改变科学方向的发现上。也许这种变化是不可避免的。与伏打、安培、奥斯特、法拉第的名字联系在一起的发现必定先于麦克斯韦的综合，它们需要作不同类型的努力。无论如何，强调“发现”的倾向还在继续，而在科学发现中寻找科学成就的主要成分的观点进一步突出和加强了这种倾向。用一个简单的镶嵌图把某人的见解综合起来，即使范围有限，已经没有什么大价值了。例如，我们不会询问爱因斯坦在发现他的引力定律20年后是不是想（或感到能够）写一本像《原理》那样的书阐述广义相对论。

假若16, 17世纪的伟大科学家们追求的科学目的仍然通行，那么艺术家和科学家在创新模式上也许就不会出现目前的差别了，可以这样说吗？

我还要补充一点，在准备本书选辑的那些讲演时（以及

其他讲演)，我同我妻子拉利达深入讨论了各个问题。她的判断力和毫不逊色的洞察力对各篇定稿大有帮助。我也感谢她的不断鼓励和建议。

S. 钱德拉塞卡

1986年12月8日

目 录

译者前言	
前言	iv
第一章 科学家	1
第二章 科学探求的动力	17
第三章 莎士比亚、牛顿和贝多芬，创新的模式	34
第四章 科学中的美与求美	73
第五章 爱德华·亚瑟·米尔恩和现代天体物理学的发展	88
第六章 阿瑟·斯坦利·爱丁顿	107
他那个时代最杰出的天体物理学家	
广义相对论的解释者和拥护者	
第七章 卡尔·史瓦西讲座	167
广义相对论的美学基础	

第一章 科学家

首先，我必须承认，参加这次关于“智慧之路”（The works of mind）的系列讲座，我感到担心。我深深地了解我的缺陷，讲一个范围既宽又广的题目，就像讨论科学家的创造一样，我既没有把握，也没有权威。在这个系列中由我来谈论科学家是否合适，我满腹疑虑。但是，我选择天文学和天体物理学来代表精密科学，则不存在这种疑虑。因为在精密科学中天文学是最丰富的，完善的天文学实践需要多方面的学问。另一方面，天文学在科学中具有独特的地位，

因为它是罗马帝国崩溃后流传下来的唯一的一门古代科学。当然，古罗马帝国灭亡后天文学研究的水平降低了，但天文学理论和实践的传统从未丧失。相反，印度和阿拉伯天文学家改进了希腊人笨拙的三角学方法，不断有新的观测同托勒密的观测相比较等等。只有把这种情况同完全失去对希腊数学高级分支的理解的状况相对比，才能认识到天文学是近代科学同古代科学相联系的直接纽带。确实，只有经常参照古代方法和概念，才能理解哥白尼、第谷·布拉赫、开普勒的成就，而希腊的无理数和阿基米德的积分法只有经现代人独立地发现之后才能得到理解（O. 诺意格包尔）。

这次系列讲座的主办者要求每个发言人阐明他的学科或专业的价值，通过叙说它的本性，讲述它的目的、说明它的

技巧来做到这一点。在讨论这些问题之前，我想请你们注意，必须记住一种宽泛的自然科学分类：即分成基础科学和派生科学。你会看到我作的区分不是“纯科学”和“应用科学”之间的区分。我不打算讨论后者，因为我相信科学的真正价值并不在有意识、有目的的科学应用上。因此在这里我只谈通常所谓“纯科学”；我想要你们注意的就是纯科学分成基础科学和派生科学。这两大领域之间虽然不能有分明的或确切的界线，但区别是存在的，这一点我举几个例子就明白了。不过，大略而论，我们可以说基础科学旨在分析物质的终极成分和基本的空间、时间概念。而派生科学则根据那些基本概念研讨五彩缤纷的自然现象的合理有序化。这样一说，有两点就很清楚了。第一，这种分类取决于特定时代的科学状态；第二，自然现象的分析可以有、也确实有不同的层次。例如，在牛顿定律的领域内，大量的、各种各样的现象得到了直接的、自然的说明。而在量子理论的领域，其他类型的问题得到了解决。如果存在这些不同的分析层次，那么就会有一些标准，使我们能判定什么时候哪一组定律合适，哪一组不合适或不相配。

现在回到这种分类本身来。我相信基础科学发现最好的实例无过于卢瑟福发现 α 粒子的大角度散射。他做的实验很简单。利用放射性物质发射的高能 α 粒子源，使它们射向一块金属薄片，卢瑟福发现有时 α 粒子实际上作反向散射——很稀少但确实无疑。卢瑟福晚年(1936)回忆这件事的时候说：“这的确是我一生中遇到的最不可思议的事。”卢瑟福这样描述他的直接反应，“这简直像拿一枚15英寸¹⁾的炮弹轰击一张薄纸而炮弹弹回来击中人一样，真是不可思议。”他接着写道：
经过考虑，我不久就认识到这种反向散射一定

1) 1英寸=0.0254米。——译注

是一对一碰撞的结果，经过计算，我看到，除非承认一个系统中原子的大部分质量集中于一个微小的核，否则不可能得到具有那个数量级的任何东西。这时我想到原子具有一个带电荷的微小质量中心。我从数学上推算散射应该服从的定律，发现通过一给定角度散射的粒子的数目与金属板的厚度、核电荷的平方应成正比，与速度的4次幂成反比。后来盖革和马斯登在一系列漂亮的实验中证实了这些推算。

处在一切科学基底的原子有核模型就是这样诞生的。一次观察和它的正确解释导致了科学思想上一次史无前例的革命。

我认为查德威克的中子发现属于同一类，现在人们相信中子和质子是一切原子核的基本成分。但是你们不要听了这两个例子就以为一切基础科学事实都一定要在原子物理学领域里搜集。其实，堪称“基本”定律的第一个实例起源于天文学。我指的是开普勒持久而耐心地分析了第谷·布拉赫的大量观测数据之后发现的行星运动定律。开普勒定律导致了举世称颂的牛顿引力定律，占据科学的中心舞台达两百多年。过一会我讨论另一个问题时再回头谈这一点，但这个事例足以说明，只有在引力领域，天文学才能直接导致基础性的结果。以下事实进一步说明了这一点，水星运动与牛顿定律的预测稍有不符，这预示我们的时空概念要有深刻的变化，并在后来支持了广义相对论包含的这种变化。哈勃发现河外星系正在离我们远去，其速度与距离成正比，这同样有可能导致我们的基本概念的进一步修改。

刚才所举的例子也许表明，科学的真正价值居于直接导致“基础”科学进步的那些探求活动之中。的确有许多物理学

家诚心接受这种观点。例如，有一位非常出色的物理学家，为我致力于天文学研究感到遗憾，他想安慰我，说我本该是一位物理学家。我看这种态度表现了他对科学的真实价值的误解。科学的历史与这种观点相矛盾。从牛顿时代到本世纪初，整个动力学学科以及由之派生的天体力学完全致力于推广和精炼，致力于实现牛顿定律的逻辑潜力。哈雷、拉普拉斯、拉格朗日、哈密顿、雅可比、庞加莱等人都愿意拿他们的大部分精力来做这样的科学工作，即推动派生科学的发展。嘲笑派生科学，就意味着否认这些科学家如此热诚地追求的价值，我看这是荒谬透顶的，不必多谈。其实，公正的观察者会明确地看到，基础科学和派生科学之间有一种互补关系。基础概念能获得多大的有效性，就看能用那些概念分析的自然现象领域的广度如何。如果限制那些概念的有限性领域，我们就得承认另有一些定律比我们使用的定律有更广的作用。以这种方式看来，科学就是一个常变的东西，科学的价值正是在共同努力共享进步中获得的。说了这些，我想我可以比较正式地讲述我认为什么是科学家在其专业实践中力求取得的真正科学价值了。

科学的价值就在于对自然齐一性连续的、越来越多的认识。实际上，这仅仅意味着，价值是在扩充或限制我们关于物质、时间、空间的概念的应用领域这个过程中获得的，这种扩充和限制的程度有大有小。换句话说，科学家力图不断地扩大某些基本概念的有效性领域。在这个过程中，他试图找到这些概念的局限性（如果有），进而努力构造更广、更普遍的概念。科学家追求的这些价值在实践上采取三种不同形式之一，我将在以下3个题目中讨论这个问题：“基本定律的普遍性”，“建立在基本定律上的预测”，“由基本定律产生的辨别活动”。

对每个题目我都要举例说明。

基本定律的普遍性

在某种意义上，以引力定律为例，最能说明自然定律的普遍性是如何取得的。

人们发现，在地球上，物体处处都被吸向地球中心。这种吸引所及有多远？能达到月球那样远的距离吗？这是牛顿向自己提出来并做了回答的问题。伽利略已经说明，匀速运动同静止一样是天然的，这种运动只有受到外力作用才会改变。这样，如果月球解除了一切外力，它就会脱离轨道，沿轨道的即时切线飞出去。因此，如果月球的[轨道]运动是由于地球的吸引，那么这种吸引的实际作用就是拖住月球不走切线而入轨道。月球的周期和距离是已知的，所以不难计算月球每秒脱离切线有多少。拿这个数字同地球上下落物体的速度相比较，牛顿发现两种速度之比约为1比3600。由于月球到地心的距离是下落物体到地心距离的60倍，这就表明有一种力随距离平方的增大而减小。

牛顿向自己提出的第二个问题是，这种性质有多大的普遍性？具体地说，太阳也有一种相似的力量使行星保持其轨道（就像月球受地球吸引一样）吗？答案可在开普勒定律中找到。牛顿说明，开普勒第二定律——行星在等量时间中扫过等量面积——表明有一种有心力，即一种向着太阳的力；第一定律——行星轨道是椭圆，太阳在其中一个焦点上——是平方反比引力定律的一个逻辑推论；最后，如果同一定律对所有行星成立，那么周期和距离的关系应如开普勒第三定律所述。这样牛顿就能宣布他的引力定律了：宇宙中每个质点都吸引另一个质点，吸引力与它们距离的平方成反比，与两

个质点的质量成正比。你会看到这个陈述式中使用了“宇宙”一词并明确指明它的重要性来自它的普遍性。

再讲一个有关的观测结果。威廉·赫歇尔通过研究几对邻近恒星，于1803年宣布有一些恒星对是真正的物理双星，在轨道上相互绕对方旋转。赫歇尔还能说明视轨道是椭圆，开普勒面积定律依然有效。换句话说，这一观测结果把引力定律的有效性从太阳系推广到遥远的星体上去了。我们很难想像赫歇尔这一发现给那个时代的人造成了多么巨大的影响。

自牛顿定律发表后，天文学的进步有许多涉及那些定律在太阳系运动上的应用。牛顿本人就指出了从中作出的许多主要推断。这里只提其中两个。他找到了海洋潮汐现象的正确说明，也得出了岁差现象的正确说明，这种现象两千多年前就由希帕克发现了。

把牛顿定律全面应用到太阳系上是一项极其艰巨的任务，这曾使拉格朗日、拉普拉斯、欧拉、亚当斯、德朗奈、希尔、纽克姆、庞加莱这样一些巨人个个呕心沥血、竭尽心力。

我已经提到过，按牛顿理论不能充分说明水星运动。两不相合的情况是这样的：水星轨道作为一个整体显示出一种缓慢的旋转，其速率超过了牛顿理论的解释，每世纪为42弧秒。这一点现在是用爱因斯坦的广义相对论作了似乎令人满意的解释。

还有许多天文学领域是牛顿定律能有效应用的。其中最新的一个领域是关于整个星系的运动问题，这个新动力学分支叫做“恒星动力学”，其范围和广度正在迅速增长。关于后一点我想说几句。

我们从这个关于自然定律普遍性的经典事例转到一个差

不多同样令人惊叹的较新进展。我几乎不用向在座诸位指出，今年是1946年，近几年核衰变（通称“原子嬗变”）现象已得到广泛的研究。利用从这些研究中得到的资料，贝特在几年前宣布，某些涉及碳和氮的核衰变能间接导致由4个质子合成1个氦核。他又进一步说明，根据天体物理学家以前推导出的太阳内景条件和实验室发现的核反应的有效截面，我们能最令人满意地说明太阳能的来源——这是一个关于多种研究之综合的令人拍案称奇的事例。

我再举一个例子。1926年，费米和狄拉克专心研究了**电子气**并证明在高密度和（或）低温条件下预计将背离经典定律，这导致他们重新表述统计力学定律。他们预言这种背离的性质是这样的：按经典定律，压力与浓度和温度成正比。在一定温度下，如果增加浓度，那么就会出现背离〔经典定律的情况〕，这就是说，压力开始以快于浓度的速率增加，最后变成仅浓度这一项的函数。如果达到这种状态，就说**电子气**简并了。这些新定律在金属理论上得到了广泛的应用，具有极大的实践意义。第一个在天体物理学领域应用这些新定律的是R.H.否勒，他使用了一个费米-狄拉克气体定律来阐明天狼伴星之类的高密度恒星的结构。这些高密度恒星，一般叫做白矮星，具有每立方英寸若干吨的密度级。最极端的一例是G.P.奎佩尔几年前发现的一颗恒星，估计密度为每立方英寸620吨。否勒立刻认识到，在这样的条件下，电子一定是简并的，即费米-狄拉克统计学显示的那种简并。有了否勒这一发现，就有可能弄清白矮星的构成。

我本人对白矮星的结构问题很感兴趣，你们会谅解我就此多说几句。把否勒的讨论加以推广，马上就会看到费米-狄拉克定律需要进一步修改，因为我们必须考虑如下事实：白矮星中处处都是高密度，所以会有大量电子以光一样的速