

伟大的科学实验

[英] 罗姆·哈勒端 著
廖 启 端 译

GREAT
SCIENTIFIC
EXPERIMENTS

GREAT SCIENTIFIC EXPERIMENTS

伟大的科学实验

(改变人们世界观的20项实验)

[英] 罗姆·哈勒 著

廖 启 端 译

科学普及出版社

GREAT SCIENTIFIC EXPERIMENTS

by Harri6, Rome

Phaidon Press, Limited

First published 1981

*

伟 大 的 科 学 实 验

【英】罗姆·哈勒 著

廖 启 端 译

责任编辑：阿 朗

封面设计：赵一东

*

科学普及出版社出版（北京海淀区白石桥路32号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

八九九二〇部队印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：5 1/4 字数：120千字

1985年7月第1版 1985年7月第1次印刷

印数：1—11,700册 定价：0.79元

统一书号：13051·1463 本社书号：1020

内 容 提 要

本书以二十项典型的科学实验为例，阐明了科学实验在发展科学技术和改变人们世界观过程中的作用。书内按照著名、有意义、有趣味和有连续性等原则，选取了胚胎学、生理学、心理学、遗传工程、医学、物理学、化学各学科领域的重大实验。每项实验的开头，先介绍从事此项实验的科学家的生平，进而重点介绍这项实验的过程，最后阐明这项实验的作用及其发展。本书富于知识性、思想性和趣味性，读者可以从二十几位科学家发奋图强、献身科学的精神中受到鼓舞，并可从他们的治学方法上得到教益。

目 录

原著前言	(1)
导论	(3)
一、各种方法的应用	(24)
(一)自然过程的考察	(24)
1. 亚里斯多德 鸡胚胎的研究	(24)
2. 威廉·博蒙特 消化的化学过程	(31)
(二)对立假说的判断	(39)
3. 罗伯特·诺尔曼 磁倾角的发现和磁场概念的诞生	(39)
4. 斯蒂芬·赫尔斯 植物的液体循环	(47)
5. 康拉德·洛伦茨 印遗的条件	(54)
(三)定理形式的归纳	(62)
6. 伽利略 落体定律	(62)
7. 罗伯特·波义耳 空气弹性的测量	(68)
(四)模拟模型的应用	(75)
8. 西奥多里克 霓虹的成因	(75)
(五)偶然现象的探索	(82)
9. 路易斯·巴斯德 人工疫苗的研制	(82)
10. 欧内斯特·卢瑟福 元素的人为嬗变	(90)
(六)零结果	(98)
11. 米切尔森和莫利 地球运动的不可探测性	(99)
二、理论内容的发展	(109)
(一)隐蔽机制的发现	(109)

12. 雅各布和沃尔曼 遗传物质的直接传递 (109)

13. 吉布森 知觉的机理 (117)

(二)物质存在的证明 (124)

14. 拉瓦锡 关于氧气假说的证明 (125)

15. 汉弗莱·戴维 新元素的电解 (130)

16. 汤姆生 电子的发现 (137)

(三)简单现象的分解 (146)

17. 艾萨克·牛顿 色的性质 (146)

(四)表面差异的潜在同一性 (154)

18. 米哈伊尔·法拉第 电的各种形式的同一性 ... (154)

三、技术的作用 (162)

(一)操作的准确性 (162)

19. 柏济力阿斯 化学测量的改进 (162)

(二)设备的通用性 (170)

20. 奥托·斯特恩 物质的波动性和第三量子数 ... (171)

原 著 前 言

编辑部想要我写一本简要说明伟大的科学实验的书。为了满足这种要求，我不得不采取一些折衷办法，打算在这本书中通过讲述二十个科学实验故事，借以说明科学实验在科学发展中的伟大作用。

为了便于说明从各个历史时期从不同科学领域选取的各个科学实验，有必要考虑读者对象和他们的科学知识水平。我在谈论问题时，总是想到我是在为具有一定自然科学知识的人而写作，我心目中的读者只是曾经学过中小学一般课程的人。

科学历史和科学思想的研究不仅应把科学实验和科学思想联系起来，而且也应把科学实验和社会背景联系起来。社会背景，例如一个时期的经济发展上的需求，不但左右科学界的兴趣，而且也对科学理论的基础——世界观——产生一定的影响。实验的成败和理论的真伪，有一个判别问题。有一些科学史学家认为，象社会背景这种“外部”因素就可能影响判别的标准。

通常人们认为，社会和科学之间的相互影响是多方面的；事实也表明，要具体查明这些影响的确是十分困难、非常棘手的。这不仅需要有适当的方法来说明一个时期的主要课题，而且还要说明与主要课题有关的假说，以进一步展示那个时期的积极思想及其发展过程。迄今为止，还没有人真正完成这种任务，把一项具体的科学工作和它的社会背景联

系起来，揭示出相互间的所有影响。本书中所介绍的每一次实验，本来都需要写一篇专题论文，论述社会背景和说明实验者为什么当时要进行这项实验。然而，我对实验的科学思想比对实验的历史背景更感兴趣，所以我对每一个实验都严格按照其前后的科学内容来论述。我认为，对于读者了解这方面的情况更为必要。

作者

于牛津林纳克学院

一九八〇年六月

导 论

科学实验的迷人之处是多方面的，单是实验设备就具有一种特殊的魅力。实验设备不但是一种艺术珍品，而且也是一种神奇的器械。我的第一套化学实验装置及其所做的精彩表演，曾使我大开眼界，心满意足，至今不忘。我还清楚记得有一天晚上我和我爸爸一起制取溴的情景。那时我才九岁，在准备过程中我最初总想睡觉。当实验设备一开始工作，我便有精神了。我们把实验装置安放在饭桌上，用酒精灯慢慢加热。突然，一种红棕色的液体在烧瓶中出现了，这就是从我们配制的灰白色混合物中变出来的溴。原先看来没有多大希望，可是实验竟然成功了，这使人立即感觉到一种特殊力量，一种能使人看破炼金术和魔术的力量。要知道炼金术和魔术也是现代实验科学的起源之一。实验设备的工作的确激动人心。当电流表显示出看不见的电流在通过，或一种液体突然间变成棉花一样的固体时，你会感觉到一种强大的自然力量，一种服从你的意志的强大的自然力量。我发现，就是我这个小学生也和多年从事实验的老实验家一样，产生了这种感觉。这种感觉不是孤立的和偶然的，而是有悠久历史传统的。远在公元之初的亚历山大时期，在有关神秘科学家赫姆斯·特里姆吉斯托的著作中，就有明确的记载。这就不难理解，为什么法拉第在进行实验时，总是充满信心。但是这种感觉也可能走向其反面成为失望的原因。现在不是有许多大学生对二年级的化学实验感到厌烦吗？为什么呢？

科学实验，除赋有浪漫色彩，可以用来神话般地展现有趣的事物之外，它还具有更重要的实际用途：它是探索证明实际知识的严密方法的可靠基础。虽然“打开自然奥秘之门”的热情冲动可能是浪漫主义的，但自然奥秘的用途则完全是功利主义的。培根曾说过，实验的作用在于“从阐明实验中，揭示表面现象的潜在过程和隐蔽形态”。这仍然是今天大多数人的科学实验观点。但并不是所有的实验都是如此，对业已证明的知识所进行的实验，这种作用就不明显。“打开自然奥秘之门”好比猜测神秘的潘朵拉盒子●，想要知道盒子里装有什么东西，就得打开盒子看一看。猜测的结果并不一定正确，单凭想象猜测总不困难，不过也并不那么容易。且不说盒子盖往往被封得很严实，敲敲打打，只能听到陌生的回声，即使打开了，又怎么知道是什么东西闪一下就不见了呢？看来，没有一些可能的设想，就把握不住实验结果。怎样进行设想，需要一定的观点为指南。由于问题复杂，可能有不同的观点。例如对实验科学的作用，就存在不同的观点，每一种观点强调问题的一个方面。

看一看这些不同观点，就会了解科学实验的不同作用。我想在这篇导言中说明，关于科学实验的各种现存理论互相并不冲突，反而可以互相补充，融合一起，构成一种综合认识。我们将按这种综合认识来评述书中的每一个实验。

本书中实验的选择标准 试想，从公元前400年希腊人开始系统进行科学研究以来，人们所做过的实验何止千万，

● 据希腊神话，潘朵拉是主神宙斯命火神用粘土制成的人类第一个女性，宙斯命潘朵拉带着一个盒子下凡，潘朵拉私自打开盒子，于是里面的疾病、罪恶等各种灾祸全跑出来散布到了人间。

要从其中选择既有趣味又有教益的二十个实验，必须按一定的标准。

第一是有名。有些实验很有名，传闻很广，被选中了。然而正是由于这些实验很有名，在课本上，在教室里常常讲述，于是它们的某些情节慢慢地被歪曲了，有时甚至变得面目全非了。因此，在本书中我不用第二手材料来进行研究，每个实验都以第一次发表实验结果的原始论文或书籍为依据来进行评述。两个有名的实验：一个是米切尔森——莫利实验，另一个是波义耳实验，在一般人的心目中都曾被歪曲了。米切尔森——莫利实验被宣扬很广，但也被错误地认为是爱因斯坦特殊相对论的来源。波义耳定律也并不是人们所说的那样，是在毫无利害关系的好奇心驱使下所得出的，它是针对那些反对真空存在的神学物理学家进行实验的结果。巴斯德被广泛认为是人工疫苗的发明者，这是正确的，但为什么会如此闻名呢？是因为他渡过了漫长的暑假吗？

第二个标准是要有历史意义。有名并不总是有重要历史意义的最好标志。历史重要性这一标准本身多少有些不肯定，因为我们对历史事件，往往爱从现在的角度去认识。我尽量选择那些在当时就起了重要作用，在事后又对学术发展继续产生影响的实验。西奥多里克关于霓虹成因的实验，不但因直接影响了后来者而闻名，而且就把几何学用于物理研究方面，其意义更加深远。亚里斯多德对鸡胚胎的研究，这种基础性工作一直在延续着，目前进行的各种胚胎研究皆发源于此。牛顿的光学实验，不但在坚实的基础上建立了色理论，而且还为系统的科学研究工作提供了范例，受到赞许，值得仿效。赫尔斯关于植物生理所作的先驱性研究之所以列

选，不是因为它解决了格鲁和哈维在理论上和在解剖学中提出的问题，而是因为它实际展示了一种生命过程，证明生物体流体力学可以用实验方法进行研究。为了说明他的研究工作，我只选了一个实验，植物的液体循环。他的更大成就却是对动物循环系统的研究。他证实了哈维关于哺乳动物循环系统的猜想。

我的第三个标准是有趣味性，带有更多的美学意味。我选择了某些实验，是由于它们巧妙别致。天才的实验家只用最简单的方法，便能揭示出问题的要害并进而改变人们的传统看法。诺尔曼的“酒杯”实验便具有这种特点。诺尔曼和吉尔伯特都很满意，他们能用这样简单的实验表明了磁场（不只是磁吸引力）的存在。尽管后来科学家们能用更精确的数学方法证明磁现象终究还是可以用吸引力和排斥力来解释，但诺尔曼实验仍不失它应有的历史地位。这种实验进一步登峰造极的发展要算吉布森的“点心模”实验，在几件简单炊具的帮助下，就把传统的知觉心理学基础推翻了。

我的第四个标准是有连续性。偏重于实践，我想消除关于实验怎样给予我们知识的一种错误想法，就是以为实验是孤立事件，各自单独向我们提供知识。其实大多数实验都是连续研究的一系列步骤之一，通过这些步骤逐步探明模糊不清的问题。虽然我也选择了某些实验来说明某种研究发展的顶点或转折点，但整个科学史表明，对一个领域进行持续的探索非常重要。因此，我介绍了可能是最伟大的实验家米哈伊尔·法拉第。他在从事艰苦的系统研究时，进行了一系列小实验，每一个小实验的成功都为最后的结论增添一份重量，这个最后结论就是：各种形式的电的实质是同一的。用类似的方法，卢瑟

福发明了元素的人工转变，汤姆生完成了亚原子粒子的物理特性的测量。虽然在我们看来，这些实验都是根本性的实验，但就实验本身而言，只不过是某个研究计划的某个具体步骤。

我想说明，即使是某个实验成为某个领域发展的历史转折点，它仍然只是整个研究过程的一部分。绝大多数实验都只不过是有关的研究计划的一部分。在研究计划发展的一定阶段进行一定的实验，通过实验提出新的研究方向，并制止向其它方向发展。这样，实验就会对整个研究计划的发展作出相应的贡献。随着研究计划的进一步发展，往往可能对以往的实验作出不同的新解释。拉瓦锡以为，他关于氧气的发现，不仅是发现了燃烧的物理基础，而且也是发现了酸的产生原理。也确实在这段时间内人们曾把氧作为“酸的产生者”来对待，实际上这还有待进一步证明。后来戴维揭示出某些酸并不含氧，于是对拉瓦锡的发现便作出了新的解释。

各种实验理论

科学家们为什么要进行实验呢？答案好象很明显，是一句老生常谈：为了发现自然的奥秘呗！但是我们怎样才能生动地说明大自然的问题呢？又怎样才能及时抓住看来是对问题的正确答案呢？我们将看到，想象的世界和现实的世界总是混淆不清。如果我们没有设想可能发生什么结果，就不知道在实验中应该寻找什么结果。即使我们看到了某种结果，也可能认不出来。突如其来的偶然发现生动说明，只有平时就有思想准备，偶然事件发生时才可能有所发现。天才实验家，如法拉第，一般都能准确知道应从所进行的实验中得到什么结果，所以他们的实验理论是强有力的。凡是这样的实验家，在他们进行实验之前，总是挑剔得没完没了。巴斯德

发现人工疫苗的过程中，一件偶然事件具有重大意义，不过这可能只是对巴斯德才有意义，因为他在这之前许多年，一直在不懈努力探明病理，寻找人和动物的免疫方法。理论和实验，思想和事实总是相辅相成。

由于事物关系复杂，不同的思想家容易强调不同的方面。可能这就是为什么存在着几种不同的关于自然科学实验的作用的理论吧。在这里我想介绍三种最重要的理论，并试图说明怎样把它们统一起来。

归纳法理论 观察和实验的用途似乎在于把自然科学途径与神秘的或宗教的方法区别开来。这种印象使有些科学思想家认为，定律和理论是科学家在发现事实后进行思维的结果。正是由于实验的事实使某种假说成立，值得科学界相信。发现过程被认为是一个从展现实验事实的自然界到构成人类观念和理论的思维过程。用术语来说这个从实验事实到理论定律的过程叫做“归纳”。科学家就是通过归纳实验结果得出理论定律，然后又用实验来进一步检验这些理论定律。观察和实验结果称为“材料”，是建立不断发展的科学思想体系的可靠基础。

关于实验作用的这种归纳法理论，从十七至十九世纪，一直在缓慢地发展。

牛顿有点象一个归纳法论者，他曾写道：“从实验和观察中，通过归纳得出一般结论。”但他接着又说：“也不反对并非从实验得出的结论和真理。”培根的著作可能是这一科学方法的最初来源，因为正是培根首先看到，在提出事物的定义时，实验必须起首要作用，排除不相干的因素。到二十世纪初，科学思想家建立了自然科学归纳法理论，既不同于科学

实践，也不同于当初培根的归纳法理论。自然科学归纳法理论家认为，自然规律是事实的一般概括，积累事实是为了支持定理的成立。

但在另一些人看来，归纳法理论则是错误的。主要理由有两点：一点很明显，另一点则比较微妙。首先是定理和理论以不同方式超出实验结果的问题。实验只是在此时此地以几个特定试样得出结果，而定理和理论则要求在任何时候任何地点以任何试样都能普遍成立。这样实验作为基础就显得太薄弱了。我们怎么能确定实验在过去和将来，在此处和彼处不会有时变得不同呢？如果实验变得不同，以其结果为基础的定理和理论也将不同，定理和理论也就超出了实验范围。在解释某种理论时，科学家们常常谈到产生某种效应的隐蔽过程。例如，铁屑围绕磁体构成图象的效应，我们看得见，但相应的理论所告诉我们的支配铁屑分布的磁场特性却看不见。虽然关于光的知识在不断增加，但关于光效应的理论却发生过几次根本性的改变。先是粒子流理论流行一时，后是波动论波及全世界，而现在则回到二者结合。人为物质系统的可见特性实验怎么能提供自然物质过程的隐蔽特性的定理呢？

但是，还不止此，还有更微妙的理由说明实验提供材料以构成定理和理论的观点的错误。假如，一个实验者收集了一组材料，原则上说，能够说明这组材料的理论或定理并不止一个，而可以有无数个。例如，我们以曲线形式把四个实验结果表示在图上（参见图1）。假如我们是研究气体的温度和体积的关系。 $\times$ 代表事实，如“在 20°C 时，气体的体积为 30ml ”，在上图的 $\times b$ 代表的就是这个事实。在中图上表示出了

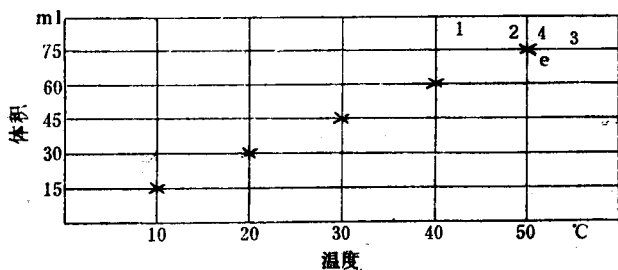
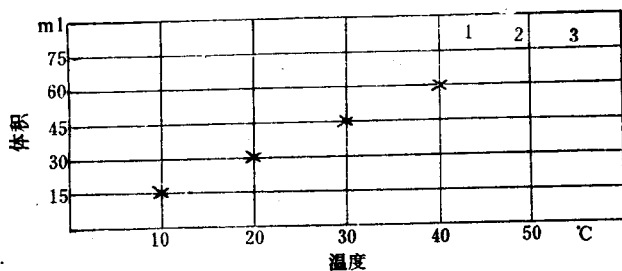
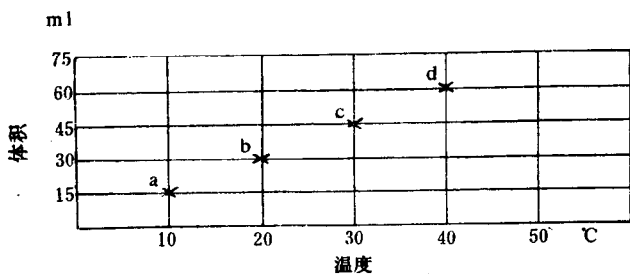


图 1 上图：四个实验结果
 中图：三种可能的定理
 下图：第五个实验结果的影响

定理的不同趋势1,2,3。每条曲线代表一个定理。如果允许一定偏差，它们都能与a, b, c, d各点所代表的事实相容。我只表示了三个可能的定理，而实际上可能有无数个定理。通过做更多的实验，可以得到更多的事实。虽然随事实增加可以排除某些可能的定理，但也同时会增加无数个可能的定理。这从下图中，即可看出。如果增加“e”，可以消除定理1，但不费力气又可添上定理4，它能与所有现有事实相符合。象这样的定理还可添无数个。

有人可能提出异议，这难道不是忽略了科学理论的作用吗？理论虽然能帮助判断定理，但理论也有上述类似的困难，这只要举一个简单例子即可说明。例如，有一个理论包含两个定理（实际上各种理论还要复杂得多，这里只是假定这个理论只包含两个定理），两个定理都能说明一个实验观察的发现，当然这里就涉及到产生可见现象的更基本的隐蔽过程。这个理论可表述如下：

凡是放射性恒星都具有强大磁场，
凡是具有强大磁场的恒星都放射X射线，
由此得出结论：

凡是放射性恒星都放射出X射线。

假设，迄今为止，天文学家所研究到的每一个放射性恒星的确都已观察到放射出X射线，但与此同样的结论，还可以从另一种理论得出来：

凡是放射性恒星都具有高密度的核心，
凡是高密核心的恒星都放射出X射线，
结论：

凡是放射性恒星都放射出X射线。