

物理史上的重要实验

美 M.H. 沙摩斯 著

科学出版社

541/194/27

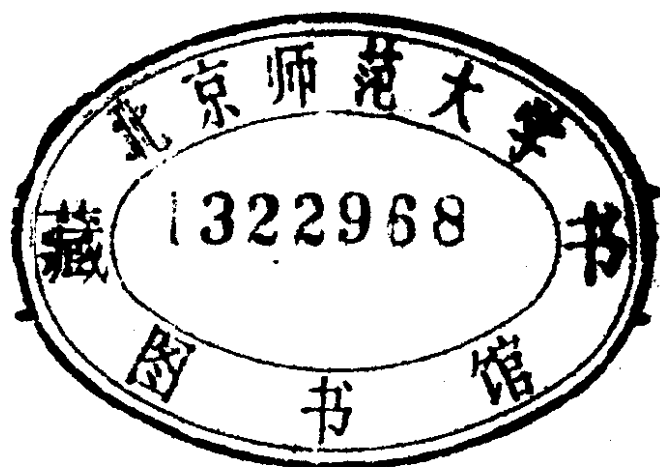
物理史上的重要实验

[美] M. H. 沙摩斯 著

史耀远 郁明康 译

刘孟朝 马洪信

暴永宁 校



科学出版社

1985

内 容 简 介

本书详细记载了十六世纪以来，物理学史上的二十几位著名科学家所进行的具有历史意义的重要实验；同时，还概略地叙述了这些科学家的生平及其所处的历史背景。

本书可供具有高中以上文化水平的读者以及从事物理教学、研究的人员参阅。

Morris H. Shamos

GREAT EXPERIMENTS IN PHYSICS

Holt, Rinehart and Winston New York 1960

物 理 史 上 的 重 要 实 验

〔美〕M. H. 沙摩斯 著

史耀远 郁明康 译
刘孟朝 马洪信

暴永宁 校

责任编辑 倪伯云

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1985 年 9 月 第 一 版 开本：787×1092 1/22

1985 年 9 月 第一次印刷 印张：13 7/8

印数：0001—7,300 字数：320,000

统一书号：13031·2987

本社书号：3884·13-3

定价：2.55 元

目 录

第一章	引言	1
第二章	伽利略	15
第三章	玻意耳	44
第四章	牛顿	52
第五章	库仑	75
第六章	卡文迪许	94
第七章	托马斯·杨	115
第八章	菲涅耳	134
第九章	奥斯忒	149
第十章	法拉第	158
第十一章	楞次	195
第十二章	焦耳	204
第十三章	赫兹	225
第十四章	伦琴	240
第十五章	贝克勒耳	254
第十六章	汤姆逊	261
第十七章	爱因斯坦	279
第十八章	密立根	286
第十九章	卢瑟福	300
第二十章	查德威克	319
附录 1	麦克斯韦	337
附录 2	普朗克	360
附录 3	爱因斯坦	377
附录 4	玻尔	395
附录 5	康普顿	420

第一章 引言

现代科学的起源

赋予每一个新的现象以明确的起因，这一直是引人入胜的工作，在科学领域里更是如此。因此，在探索现代科学的起源时，人们总是念念不忘提出它可能开始的具体时间，以及确定有关事件的先后次序。当然，不存在什么突兀而来的起点。然而，在人类积累智慧财富的过程中，起作用的因素却很多，我们充其量也只能发觉其中的几个而已。在寻找科学发展的原因时，不能把科学的历史与人类文明的政治和文化的历史分离开来。艺术和科学这两种文化活动的繁荣兴旺，需要的社会和政治环境是相同的。造成某个时期的文化气氛的诸种微妙的因素，也会推动科学的发展。但这并不意味着智力活动蓬勃之日，就是重大科学成就累累出现之时。其实远非如此！它仅仅意味着，每当人们感到从事文化研究的愿望强烈时，就是对科学的发展做出了贡献。当然，这些贡献未必都是建设性的。

现代科学产生的时间并不长，它起源于十七世纪，是以理性思考和导致人们透彻理解自然现象的方法为其特点的科学。但它的根源可以沿着曲折的路径追溯到古希腊。一个重要的问题是应把我们通常所说的科学这种有章可循的知识构体和人类在试图控制其环境的活动中取得的经验性、技术性的发展相区别；后者有时称之为“实用”科学或“应用”科学，大部分以反复试验为其主要方法，这实际上可以追溯到人类文

明的启蒙时期。不过，尽管人们已在各个方面——冶金、陶瓷、灌溉和机械工艺等——做出了许多对文明发展有所贡献的发现，我们也绝不能把导致这些发现的有关方法和目的同按设计进行的实验混淆起来。我们是力图通过按设计进行的实验来证明现代的自然观点的。

如果认为，人们只是在近三百年来才关心起对真理的探索，这可是做了个错误结论。在人类文明的早期，人们对知识的兴趣和了解事物本质的愿望并不弱于今天的人类。根本的区别在于，当时用以探寻真理的方法并不能有效地揭示物质世界的真理。

在希腊的黄金时代，即公元前五世纪和四世纪，一种自然哲学体系开始形成，这种体系统治人类的科学思想达若干世纪之久。这是一个著名的师生相传的时期，苏格拉底、柏拉图和亚理士多德也许是这段思想史上最卓越的三个人物。他们都相信存在着统一的绝对真理，并相信只要掌握了适当的方法，人类便可以发现它们。他们没有把知识看作是实现功利主义目的的工具，而是把它看作满足人类好奇心的手段。他们认为，只需凭借纯粹的形式工具，即通过一种逻辑系统，便可以推导出所谓的真知来，而这种真知和通过感觉获得的知识是有区别的。对某些逻辑形式的运用，显然可追溯到公元前六世纪和五世纪的苏格拉底时期以前，当时，哲学家们已开始对他们争论内容的内在一致性关注起来。不过，能纯熟地运用演绎推理逻辑的乃是苏格拉底和柏拉图，亚理士多德则发明了通称之为三段论法的逻辑工具。

苏格拉底的推理方法很快为酷爱知识的希腊人所承认，他们成了演绎法大师，也成了其缺点的牺牲品。演绎法是人们应用一般性原理着手求解特殊问题的过程，即从被认为是根本性真理的给定前提推出有根据的即逻辑的结论。例如，

我们可以由 x 比 y 大, y 比 z 大, 断言 x 比 z 大。结论是前提的必然结果。演绎法本身无疑是正确的, 但结论正确与否却要看最初论点的可靠性。因此很明显, 演绎法的论证不会导致什么新的知识, 因为它并不能为检验基本断言的正确性提供途径。

三段论法代表着演绎法论据的一种特殊形式, 这种结构常出现在日常谈话中。它包括被认定是正确的一般前提, 一个紧跟着它的将一般前提用于特殊情况的论点, 以及最后逻辑结果。我们可以看一个应用三段论法的有关落体加速的典型的亚理士多德式的实例:

旅行者当接近目的地时会加快脚步,

可以把落体比作旅行者……

因此, 落体当接近地面时便加快速度。

它的前提显然有毛病。即使承认第一个前提的正确性(其实未必), 第二个前提中的这个类比也没有根据。然而, 结论正是根据这些论点所得出的逻辑结果, 它说明亚理士多德的追随者如何使用他的演绎法来“解释”自然现象。令人遗憾的是, 这种从错误前提推导出正确结论的推理是太普遍了, 甚至在今天, 在进行解释的过程中还会普遍发生这种现象。当然, 结论之所以正确, 是因为它是由观测得出的, 前提则是特意设制的; 在这里, 正确的结论不是根据正确的论点推理得出的。

这里给出的例子只代表三段论法诸多形式中的一种, 实际上, 与其说它是科学论证的例子, 勿宁说它是辩证论证的例子。这是因为, 前者是根据正确的前提论证的, 而后者只是由“可能的”, 甚至是“似是而非”的前提论证的。用形式逻辑方法, 可以检验这种推理的内在一致性, 这种方法在古希腊时代初期已经发展到了高级阶段, 在此阶段, 形式逻辑方法为欧几

里得(公元前约323—285)和阿基米德(公元前287?—212)的非凡的数学证明打下了基础。然而,虽然演绎法在许多数学分支里都能够适用,但它不能单独作为理解自然的手段。物理学的本质,也就是一切自然科学的本质,就是要尽可能用简单的术语来解释自然,也就是把我们观察到的一切都归纳简化成基本原理或原因。这就是所谓的科学的解释,它同时也是发现新的科学知识的路径。这种在思维和表达上力求经济的做法,正体现了解释现代物理科学的特点。那么,我们又怎样找到事物的根本起因呢?在进行推理讨论时,我们又如何保证最初前提的正确性呢?这正是亚理士多德方法的失败之处,因此,我们必须探寻其他方法。

亚理士多德对自然现象颇感兴趣,而且重视实际问题,这是他与柏拉图和苏格拉底的某些不同之处。尽管很难把他看成是彻底的实验论者,但他并不反对实验。由于他对自然的仔细系统的观察,亚理士多德常被称为古代科学描述时期的百科全书式的人物,科学史中称他为“科学家”的原因就在这里。不过,亚理士多德对有关物理学的自然现象持有最幼稚和最混乱的观点。虽说他对生物学的发展做出了贡献,但由于他对物质世界规律所采取的推导方法相当糟糕,因此给后来若干世纪内科学思想造成了极为可悲的后果。毫无疑问,正是亚理士多德的赫赫权威,致使诸如动力学、原子论和天文学这些学科的全面进展推迟了如此之久,直到约两千年后的吉耳伯特、伽利略、玻意耳、牛顿等现代物理学的奠基人,先得推翻占统治地位的亚理士多德学说,然后才能把科学建立在坚固的基础上。

亚理士多德的物理有这样严重的谬误,可能有如下的几个原因。首先,他没能有效地运用归纳法。归纳法与演绎法相反,基本上是一个从特殊到一般的过程;即从数量有限的观

察得到包含所有类似事情的一般性结论的推理过程。我们建立最初的真理时,用的就是这个方法,然后才能以这些真理为前提,用演绎法解释特定事件,并以此检验归纳法的可靠性。亚理士多德精通归纳法,实际上,他是第一个提出归纳法原理的人。或许是由于他不相信归纳法是获得知识的手段,或许是由于他没有认识到归纳法在科学推理中的地位,无论原因如何,他反正没有使用这一具有重要意义的论证方式。相反,他在自己的演绎法中所用到的初始前提,或是从纯粹直觉得来,或是从符合某种目标或目的(往往是人的目标或目的)的角度得来,即从目的论的观点得来。当然,这并不是说直觉在归纳推理中不重要,但是,这种直觉应来自于经验,而不应来自于亚理士多德的那种自省式构想,这一点是现代归纳法的突出特点。

物理学所有的理论都是人类体验归纳的结果。当牛顿宣称“每个物体或保持其静止状态,或保持其直线匀速运动状态……”时,他显然是在对数量有限的观察进行了归纳,概括出了适用于整个宇宙的无所不包的归纳结果。这种方法的正确程度如何?从根本上来说,这种方法不可能产生绝对必然性,它的可靠性必须以其在连续不断的科学检验的挑战中所取得的成功程度来衡量。如果一个新的观察与通过归纳法得到的设想结论是一致的,一般地说,这种观测便增加了该设想的力量,也增加了归纳法的力量。

亚理士多德的物理结论基本上是非数学式的,它们是定性的而不是定量的,并缺乏抽象性——而抽象性正是现代物理的威力所在。他也没有用关键性的实验去检验自己由前提推断出来的结论。达·芬奇(1452—1519)是一位杰出的佛罗伦萨画家,属于奋起冲击中世纪科学倾圮之墙的第一批人。他认为真正的科学是从观察开始的;如果再用上数学推理,其

可靠性便会更高，而“那些并非来自实验——一切可靠性之母，也不以一个清楚的实验而告终的科学是空洞的，充满了错误的。”¹⁾

就以亚理士多德关于物质本性的观点为例。关于这个问题，甚至在苏格拉底时代之前，希腊人就在物质是无限地连续可分，还是由不可再分的基本单元所组成这个问题上做过大量推测。长期以来，好奇的人们无法解答这个问题，直到上个世纪才最后解决了它。大约在公元前五世纪中叶，留基伯(Leucippos)曾提出一种物质的原子观点，他假定在浩瀚的真空中存在着巨大数量的不可见粒子，约三十年后，德谟克利特(Democritus)把它发展得更完整。“传统看法认为”德谟克利特说，“(世界上)有甜，有苦，有热，有冷，还有颜色；说实在的，还有原子和真空。”这种对自然的解释无疑是过于简化了，它是完全根据无法进行检验的哲学推测建立起来的模式，但从形式上来看，它与现代原子观点有若干相似之处。

另一个极端是连续论者的看法。公元前五世纪的雅典的著名教师阿那克萨哥拉(Anaxagoras)，和后来的亚理士多德都是这派学说的代表。根据这一学派的观点，一切物质都是由同一种基本东西——他们称之为实体——所构成，而物质间的不同是由于实体中存在着不同量的四种基本元素——火、土、气和水，由此产生不同性质的缘故。按照亚理士多德的观点，这些元素具有围绕世界的中心以同心球层方式排列起来的趋向，因此世界以土为中心，外边依次是水、气和火的壳层。由此便出现了所谓自然位置的观点，即认为任何事物在自然界都有其“适当的位置”，重物体在下面，轻物体在上边。石头下落，空气和火上升之类事实，便是用这种观点“解释”

1) 见威廉·丹皮埃(William Dampier)的《科学的历史》第4版(纽约坎布利奇大学, 1949)105页, 麦克米兰图书公司也出版了此书。

的。

由于篇幅所限，这里将不再对亚理士多德的科学学说进行详尽讨论。他的天文学推断和对运动的观点简直和他的物质概念一样模糊不清。亚理士多德的科学只会招来今天学物理的学生的嘲笑，这大概是在所难免的了。不过应该记住，古希腊人在研究科学时，可以说不具备我们现在认为必不可少的实验传统，而亚理士多德的观点能够使同时代人信服，就是因为它是臆想式的，表面上看起来颇有道理，并且看来与所谓的“常识”相一致。

不该得出整个古希腊物理学如同亚理士多德学说一样贫乏无聊的结论；恰恰相反，在整个古希腊时代，偶尔也有异彩出现。我们提到过欧几里得和阿基米德的数学成就。阿基米德便是用完全现代的方法解决物理问题的；他充分运用了他能用上的数学工具，并表现出在那个时代可称得上相当出色的抽象能力。他对流体静力学问题的论述（阿基米德原理）乃是“科学革命”之前物理学上最有重大意义的成就。在应用科学方面，生活在公元前最后一个世纪的希罗（Hero）曾做出一个又一个令人赞叹的实用性发明，与中世纪的科学相比，古希腊的科学确实称得上“惊人”二字。

中世纪的科学

我们没有提到古希腊时期的古罗马物理学，这是因为，尽管罗马人在工程技术上做出了重大成就，却可以说没有独立存在的科学。他们一方面建造了高架水渠、下水道、道路、港口和公共住宅，一方面却又深受希腊文明的影响，做了希腊人的学生，甘愿在科学上听命于他们。罗马人太注意与实际有关的问题了，以致于无暇得出自己在科学上的创见。古罗马诗

人卢克莱修 (Lucretius) 在公元前 57 年所写的一篇题为“事物的本质”¹⁾的说教文章中,对现代科学时期的早期(十六和十七世纪)的科学家有特别重大的意义。在这篇文章中,他以极其雄辩的词句和抒情的语言,使物质的原子观点得到普及。虽说这本书并不是科学著作,但对若干世纪后科学家推翻亚理士多德的四元素学说这一权威性教义是有很影响的。

在整个罗马帝国时期²⁾和紧接着到来的中世纪时期,物理学实际上处于停滞不前的状态。基督教时代开始后的头几个世纪里,希腊科学消失了,它基本上被迷信和神秘主义所取代。上帝的“启示”代替理性思维,成了检验真理的工具,圣经的权威统治了整个哲学界。对自然现象的兴趣被伦理哲学和道德哲学的研究所代替,这正反映出人类的主要关心系于宗教。在这种气氛下,智力活动连存在都很难,就更说不上蓬勃发展了。

在基督教时代初期,出现了一种重要的伪科学,这就是炼金术。把贱金属变成金和银等贵金属的技艺即属炼金术的范围。这种学说的理论基础,就是亚理士多德的物质观点,即他的“四元素”学说。按照这一学说,不同的物质只是在四种元素的相对比例上有所不同,那么,适当改变这些元素的量,人们便可随心所欲地使物质发生转变。炼金术起源于亚历山大,中世纪初期由撒拉逊人在阿拉伯半岛开始尝试,十二世纪传到西欧,并一直兴旺地发展着,直到十八世纪后期才告衰落³⁾,当然,人们从来不曾找到什么点金石,不过却发现了许多新物质,并发展了新的化学技术。然而,总的说来,炼金术被神秘的宗教仪式和弄虚作假的习俗弄得朦胧不清。不过,

1) 由列奥纳德(W. E. Leonard)英译,纽约达顿出版公司1957年出版。

2) 大约公元五世纪结束。

3) 值得注意的是,连牛顿这样卓越的现代科学家,也把很大一部分时间化在炼金术上。

当然不能得出炼金术华而不实、炼丹术士都是江湖骗子的结论。恰恰相反，真正的炼金术是自然哲学的一个内容广阔的分支，通过钻研炼金术，许多真正的学者不仅认识了物质世界，也认识了生命本身。按现代科学的标准来衡量，他们使用的方法看来可能很古怪，但没人怀疑他们的一片真诚。不幸的是，他们的某些工作（如将贱金属变成贵金属），以及他们为自己所使用的技术带来的神秘气氛，却招致骗子和庸医混杂进来，导致了炼金术的声名狼藉。

在中世纪后期¹⁾，理性和神学调和的结果，导致了被称之为“经院哲学”这一思想体系的出现。这是一种独裁主义的、以“我”为中心的哲学，其目的主要在于研究死后灵魂如何得到拯救，而我们在这里提到它，主要是因为它对科学思想有影响。经院哲学家热衷于苏格拉底和柏拉图早几个世纪前便使之广为流行的解释方式，即认为应该去发现事物存在的最终目的——善。这种哲学认为，任何事物都是为着人类的某些需要创造出来的；事实上，宇宙本身就是为人类的利益创造的。这种哲学对观测没有兴趣，也不相信人类的感觉是事物最终本质的指南。亚理士多德的著作又重新光耀起来，从希腊文译成了阿拉伯文，并由拜占庭学者保留着，后来又译成拉丁文。亚理士多德哲学与教会神父的信仰相符合，他的著作便被确立为仅次于宗教教义的全面性权威。这样一来，凡是反对亚理士多德科学观点的人，便有被教会定为异端的危险。正是由于这种背景，文艺复兴后期的显著成就才愈发给人以深刻印象。

科学革命

对错误的科学假说，最好的批驳方法是证明从该假说中

1) 十二和十三世纪。

演绎出的“事实”并不存在，这就是说，用科学的检验即实验方法来批驳。因此，炼金术的明显失败导致了四元素说的垮台。亚理士多德关于运动的观点由于得不到实验的支持，在伽利略对其批判攻击之前就已濒临土崩瓦解了。在人类的活动 中，能用确定的实验检验真理的领域是不多的，不过，物质科学是具备这一特点的。到十四世纪初期，经院哲学引起了相当多的争论。人们对古典学问的再度发生兴趣，对所谓圣经中所揭示的真理是打开知识大门的唯一钥匙这一看法的怀疑，对自然现象和人类活动的更大关注，还有其他许多社会的、政治的和文化的因素，这些因素使人类从半黑暗的中世纪走向文艺复兴这一光辉灿烂的智慧环境。它既不是一种突变，也不是人类智力发生了变化。不妨说，它是一种观点的改变，是对古典传统的背离，而且幸运的是，对物理学来说，它还是解决问题、对科学问题给予满意的解释的一种新尝试。一些人开始更多地依靠实验，而不再仰仗直觉。他们倾向于几个世纪前德谟克利特和其他原子论者所倡导的解释方法，即用事物的初始原因，而不是用经院哲学家们的最终原因即所谓“为善”来解释。那个时候，人们普遍变得对研究书比对研究自然本身更为关心，不过，也有几位有独立思想的人产生了一种微妙的影响。面对与日俱增的批评，所存在的科学体系开始逐渐变弱和崩溃。正如培根¹⁾在十七世纪初所指出的：

自然的微妙程度大大超过了人们的感觉和理解力的精细程度；因此，慎密的思考、推测和编撰均无法达到十全十美，但又无人能在高处给予指点。当今的科学无助于做出具有实际应用的发现，同样，现在的逻辑学对科

1) 弗兰西斯·培根爵士(Francis Bacon 1561—1626)可以说是英国文艺复兴时期最伟大的哲学家，还是一位政治家，不过其政治信仰不十分坚定。引文选自《新工具》第一册，10—11页。

学的发现也没有价值。

在这个时期,实验方法与数学抽象概念的运用相结合,产生了如此深刻的结果,致使文艺复兴末期的整个转变时期被称为科学革命时期。因此,从现代的角度探讨,我们将现代物理学的发凡定于十七世纪。当然,早些时候也有许多具有重要意义的进展,如十六世纪初,达·芬奇所提出来的机械学原理中表现出来的非凡理解力,和哥白尼(1473—1543)在他去世的那年发表的日心说。但是,这些具有独立思想的人虽然为使科学沿正确轨道向前发展做出了巨大贡献,却几乎没能使物理学的主要构成增加什么内容。这一工作留给了伽利略。在十七世纪,伽利略提出了运动物理学的第一个明确概念。他的卓著成就震动了整个欧洲科学界;随着辉煌成就的不断取得,新科学兴旺起来,以不可抗拒之势向前发展,这才使它有了今天。

在探讨推动十七世纪物理学发展的原因时,有两大重要因素是必须提及的,这就是科学组织的建立和科学仪器的发展。自由探讨还不是当时大学的特点,这主要是因为教会在大学里居统治地位造成的。在这种情况下,科学组织对研究工作给予了必要的鼓励和支持,正象我们如今希望能从高等学府里得到它们一样。

能够称得上科学组织的第一个机构是塞西大公监护下于1603年在罗马正式成立的“猞猁学会”¹⁾,它经常举行会议,并于1611年选举伽利略为该会的第六名成员。在会议上,这些成员讨论他们每个人的研究成果。1630年,监护人塞西大公去世,学会也随之解散;很显然,塞西大公为该学会提供了必要的组织上的支持和经济上的援助。

二十多年后,由美第奇两兄弟——斐迪南大公二世和利

1) 猞猁有锐利的目光,故用来给学会命名,以象征科学的深刻力量。

奥波德——在佛罗伦萨建立了实验学会¹⁾。该学会拥有一个实验室, 配备有当时全欧洲最好的仪器设备。它不同于猗猗学会, 也不同于现代的大多数学会, 因为它鼓励其成员共同工作, 而不是单枪匹马地对当时最重要的问题进行研究。从这一点上来说, 它更象一个组织着一批科学家, 经常就某些重大问题而共同工作的现代研究所。该学会仅维持了一段很短的时间, 便于 1667 年解散了。但在这段时期里, 它在物理学方面进行了大量研究工作, 其中包括大气压力的观测, 液体和固体热性质的研究和声速的测量。在最后一时间里, 学会成员发表了他们实验与发现的联合报告²⁾ 这个报告以其纯粹的科学性和涉及到各种不同类型的研究, 对同时代人的思想发生了极大的影响。

与此同时, 在伦敦也有一些人约每周非正式聚会一次(大约从 1645 年开始), 讨论自然哲学, 这便是皇家学会³⁾ 的前身。1662 年, 皇家学会被批准正式成立。学会成员养成了这样一种习惯, 即将具体问题或研究工作委托给某个个人或几个同行组成的小组去解决, 并要求他们向学会报告自己的发现。1665 年, 学会创刊出版它的《哲学学报》, 这是第一种印行原始研究材料、包括在学会会议上所宣读论文的刊物, 这一刊物连续出版发行至今。

大约在同一时期和以基本上相同的方式, 法兰西科学院也由巴黎的一些对科学感兴趣的哲学家和数学家在非正式聚会的基础上发展起来了。路易十四于 1666 年将它正式确立

1) 该学会于 1657 年正式成立。自 1651 年起, 它的成员便开始举行不定期聚会。

2) *Saggi di naturali esperienze fatte nell' Accademia del Cimento*, Florence, 1667.

3) 登记的正式名称为“伦敦增进自然知识皇家学会”。

为国家科学院,并提供给其成员以年俸,还对他们的研究工作给予财政支持。法兰西科学院的科研方式与佛罗伦萨的研究学会类似。它主持对各种学科的调查工作,所负责的学科分为两大类:数学(包括天文学和物理学)和自然哲学(包括化学、医学、解剖学等)。1699年,科学院进行改组后,开始出版《学术论文集》,这是一种定期出版物,专门刊登原始文献。法国革命期间,法国科学院被解散,革命后又于1795年重新建立,成为法兰西研究院。

随着一个又一个科学组织的出现,自然科学研究的步伐明显地加快了。尽管当时可资利用的交流方式还有许多不足之处,但随着时间的推移,人们能够了解到自己同行正在干什么,因此能使发明彼此相承。科学刊物的出版促进了知识的交流,这种交流成为物理科学发展的最重要因素之一。

由于科学日趋复杂,十七世纪的哲学家需要新的仪器来进行他们的实验。如果没有精密的仪器,则很难设想会有现代物理学。事实上,现代科学的重要特征之一,就是它依赖于测量和科学仪器的使用。在可控制的条件下,就有可能研究各种现象,由此为事物本质的可靠性提供依据。在十七世纪,人们相继发明了六种重要的仪器:显微镜、望远镜、温度计、气压计、空气泵和摆钟。用现代标准衡量,这些仪器很粗糙,但它们在十七世纪物理学上的巨大作用,是极其显而易见的。

这就是物理学的开端。随着人们知道了怎样合理地提出有关自然的问题时,自然的秘密也就展现在他们面前了。一个接着一个的实验,每一个实验均为了了解物质世界的本质增添了新的资料,但是,事实本身并不能构成一门科学。人们必须学会把观测到的资料有机地联系起来;否则它们将只是一堆无意义的琐节。因此,人们要研究自然的规律性,一旦找到了规律,就用概括统一性原理的形式将其表达出来,物理学的