现在我转而谈到另一组研究领域的出现，我还是从提一个问题开始，这个问题在标准历史文献中都有许多混乱思想和不同意见。17世纪实验运动的新东西(如果有的话)是什么？某些历史学家坚持说，把科学植基于那些通过感官而获得的信息，这个思想就是新东西。按照这种观点，亚里士多德相信，科学结论可以从公理化的最初原则推导出来，直到文艺复兴末期，人们才能充分摆脱他的权威影响，而去直接研究自然而不再沉埋于书本。然而，17世纪浮夸词藻的这种残余影响是荒谬的。其实亚里士多德在其方法论著作的许多片断中，就一再坚持科学家进行仔细观察的必要性，其坚决程度不次于培根著作。小兰道尔和克隆比曾经分析和研究一个重要的中世纪方法论传统，根据这个传统，从13世纪到17世纪逐渐形成一些规则，要求从观察和实验中得出正确结论。10笛卡儿的《原理》和培根的《新工具》受此传统的影响很大。在当时科学革命期间，一个经验的科学哲学已经不是什么新东西了。

另一些历史学家指出，尽管人们以前也深感到观察与实验的必要性，可是他们在17世纪却远比以前更经常地进行观察和实验。这个概括无疑是正确的，但却忽略了以前的实验形式与新实验形式之间重要的本质区别。新实验运动(按其主要宣传者的说法通称为培根运动)的参加者并非仅仅把古典物理科学传统中的经验因素加以扩展和加工，相反地他们创立了一种不同的经验科学。在一个时期内，这新经验科学与其前身同时并存，而不是互补。简单介绍一下实验和系统观察在古典科学中偶然起的作用，会有助于分析经验实践的古老形式与其17世纪“对手”之间的本质区别。

在古代和中世纪传统的范围内，当时许多实验经考证原来是“思想实验”，即在内心中设想出潜在的实验条件，其结果可以根据以前的日常经验可靠地预见到。另一些实验是的确做出来的，特别是在光学中。然而历史学家极难断定从文献中发现的某个实验是想象中的还是实际做出来的。有时候，所记录的结果并不是象我们现在所认为的那样，在另一些情况下，所要求的仪器设备却是当时已有的材料和技术所制造不出来的。一些具有历史性的决定意义的实际问题被提出来，并萦绕在伽利略学生的脑际。他的确做过试验，但更引人注目的是，他把中世纪的思想实验传统发展到它的最高形式。可惜并非任何时候都让人清楚看到他是以什么姿态出现的。

最后，有些实验的确曾经做出来，总是不外乎要达到下述两个目的之一。有些实验是为了证明一个预先以其他手段获知的结论。培根写道：尽管人们能从原则上推导出火焰有烧肉的能力，然而内心推测易生谬误，还是把手放进火里试一下更为可靠。另一些实在的试验(其中有些是很有成果的)是为了给当时已有理论所提出的问题作出具体回答。托勒密关于光在空气和水交界处折射的试验，就是一个重要例子。另一些例子则是中世纪的光学试验：让太阳光通过一些装满水的球形容器以产生各种色光。当笛卡儿和牛顿探测棱镜色光时，他们正是发展这种古代的、尤其是中世纪的传统。天文学观察具有与此类似的特点。在第谷·布拉埃之前，天文学家并非系统地探测天象或星体行踪。他们只是记录星体的初升、其对应位置以及其他一些标准的行星方位，其运行时间和方位的数据资料被用来制定星历表或用来计算某个现行理论所要求的参数。

试把这种试验模式与培根最有力地支持的那种试验模式相对比。当后一模式的运用者象吉尔伯特、波义耳和胡克等人做实验时，他们很少为了要证明某个已知的情况，也很少为了确定某个为发展现行理论所必需的细节。毋宁说他们希望看到，在以前未被观察到而且往往是以前不存在的情况下，大自然是怎样行动的。这种试验的典型结果，就是写出大量关于自然现象或实验的纪录，其中充满各种各样的资料，其中许多资料被认为是确定科学理论的必要条件。经过细心考证，这些实验记录在选择和安排试验方面并不象历史家所设想的那样随意为之。至迟是从1650年开始，做实验的人通常遵循着这种或那种形式的原子哲学或微粒哲学。因此，他们选择做这样的试验，它们可能显示出粒子的形状、结构和运动，从各个研究报告相互联系的类似点，显示出它们依据于相同的一系列约定的形而上学理论。12然而在形而上学理论与各个具体实验之间的空隙最初是很大的。作为许多17世纪实验的基础，微粒论却很少直接要求做某个实验或要求得出详细的实验结果。在这种情况下，实验被高度重视，而理论往往被贬低。它们之间的相互作用通常是不被意识到的。

对实验的作用和地位的看法，仅仅是区别新实验运动与旧实验运动的第一个新特点。第二个新特点，就是特别强调培根称之为“扭狮子的尾巴”的实验。这种实验要求制约大自然，强使自然在那没有人的有力干预便不会碰到的环境中显示自己。人们把谷物、鱼类、老鼠和各种化学药物依次放入一个气压计或空气唧筒的人造真空中，这种做法正是显示出新传统的这一方面。

运用气压计和空气唧筒，这一点突出了培根运动的第三个新特点，也许是最触目的一个特点。1590年以前，物理科学的工具库里只有天文观察用的设备。在这以后的一百年中，人

3们迅速引进并运用望远镜、显微镜、温度计、气压计、空气唧筒、验电计以及许多其他新的实验仪器。在这同一时期，学自然科学的学生还迅速采用一系列化学仪器，在以前这些仪器只见于王匠的车间或炼金术士的隐居处。在不到一百年内，物理科学变成重视仪器的。

伴随着这些显著变化的，还有其他一些变化，其中之一是值得特别注意的。培根实验主义者轻视思想实验，坚持要做出准确而切实的实验报告。由于他们坚持这种要求，有时他们与古老的实验传统发生有趣的抵触。例如，波义耳曾指责帕斯卡尔的一部水力学著作，其中的原理看来是无懈可击的，也明确地想象出详细的实验说明。可是波义耳不满地说，帕斯卡尔先生并没有告诉我们，怎样让一个人坐在一个二十呎长的水管的底部，并把一个拔火罐系在他的腿上。帕斯卡尔也没有说明，往哪里去找到一个超人般的巧匠，以便造出他的其他某些实验所需要的精巧仪器。13阅读那些按照波义耳所坚持的传统而撰写的文献时，历史学家不难说出当时做了什么实验。波义耳往往写明见证人，有时还描述出他们的贵族特权。

既然培根运动有这种本质不同的新特点，那么这种特点的存在又怎样影响科学发展呢？对于古典科学在概念上的转变，培根主义贡献甚微。有些实验的确起了一定作用，然而它们在旧传统里早已植下深根。牛顿买来测验“有名的颜色现象”的棱镜，溯源于中世纪用盛满水的球形容器所做的实验。斜面乃借用于关于简单机械的古典研究。摆，尽管表面看来它是一种新东西，其实它首先是中世纪动力论者早已思考的一个老问题的新的物理体现物，当年动力论者看到一根线的摆动，或者设想一个物体落下穿过地心又返回来的运动，就曾联想到这个问题。气压计最初被作为一个流体静力学装置来考察和分析。一个装满水而没有漏洞的抽水机，当初伽利略曾用来“显示出”大自然“厌恶”真空的限度14。只是在长管形的真空区已被造成，而且流体柱高随气候和高度而发生的变化可以测出之后，气压计及其“儿子”空气唧简才进入培根的“工具库”。

尽管上述实验很有成果，然而象这样的实验并不多，而且它们所以特别有效，往往归因于它们接近于古典科学中的有关理论，正是这些理论促成相应的实验。托利拆里的气压计实验以及伽利略的斜面实验，其结果多半已被前人预见到。牛顿的棱镜实验在改进颜色理论方面恐怕不会胜过他的前辈所作的探索，如果牛顿没有掌握新发现的折射定律的话。而这个定律又正是遵循从托勒密到开普勒的古典传统而探索到的。由于同样的原因，这种实验的结果与非传统实验的结果形成鲜明对比，后一种实验在17世纪发现了一些性质全新的光学效应，如干涉、衍射和偏振。后一种实验并非古典科学的成果，不能与古典理论直接比较，因而在19世纪初以前对光学发展甚少影响。尽管有许多确切的保留条件(其中有一些是十分必要的)，科学史家亚历山大·柯瓦雷和赫伯特·巴特菲尔德的下述看法将会被证明是正确的。古典科学在科学革命时期的转变，更多地归因于人们以新眼光去看旧现象，而较少得力于一系列以前未预见到的实验发现。”

在这种情况下，许多历史学家包括柯瓦雷在内，曾认为培根运动是一种虚夸倾向，对科学发展并无实益。然而，这种评价正如另一种为它所不容的相反评价一样，都是只把科学看作整体的论点的产物。培根主义对古典科学的发展也许贡献甚少，然而它却开拓了许多新的科学领域，它们往往植根于以前的技艺。磁学研究就是一个实例，磁学的最初资料来自以前海员运用罗盘计的经验。由于人们努力探寻磁体吸铁与磨擦后的琥珀吸引粗糠之间的关系而发现电。而且这两个科学领域的后来发展，都依靠人们掌握了那些比较有效而精密的新仪器。这些是典型的新的培根科学。对于热的研究，也可以作出大致相同的概括。热研究早就是人们按照哲学和医学传统而加以探索的思辨对象，到这时候却由于发明了温度计而把热研究变成一门系统研究的学科。化学的情况与此不同，要复杂得多。化学的许多主要的仪器、试剂和技术在科学革命很久以前就已有了发展，然而在16世纪后期以前，它们还一直局限于工匠、药剂师和炼金术士的活动范围。只是在人们对化学业务及其操作技术作了重新估价之后，它们才被经常用来进行实验性探索，以求得自然知识。

由于这些以及其他一些类似的领域已成为17世纪科学活动的新焦点，因此无怪乎它们的研究工作最先引起一些重要转变，而且这些转变较之当时一再发现的以前未知的实验效果更引人注目。如果说，确立一种能作出精确预言的统一理论，是一个科学领域已很发达的标志，那么培根式的学科在整个17世纪以及18世纪前期都还一直处于不发达状态。他们的研究文献和发展模式都不很象当时的古典科学，倒是更象今天的许多社会科学中的研究文献和发展模式。然而在18世纪中期，这些领域中的实验日益系统化，日益集中于一组精选的、被认为特别有启发性的现象。在化学里，关于置换反应与饱和状态的研究成为当前重要课题；在电学里则着重研究传导和莱顿瓶，在温度测量和热学方面着重研究混合物的温度。同时，微粒概念和其他概念日益被运用于这些实验性研究的各个领域。关于化学亲和力的概念，关于电流及电流云的概念，就是特别有名的例子。

象这样一些概念在其中起作用的那些理论，在一段时间内仍然主要是定性的，因而往往还是不精确的。然而这些理论可以与一些实验相对照，其精确程度是18世纪初培根科学所达不到的。而且这种对照所要求的精密度日益提高，直到18世纪后三分之一，越来越成为有关科学领域的中心问题，因而使培根科学迅速获得了类似古典科学在古代的地位，随着艾平奴斯、卡文迪许和库伦的工作，电学和磁学成为发展科学。热学则随着布拉克、维耳克和拉瓦锡的工作而成为发展科学。化学转变得较慢，也不那么明显，但不迟于拉瓦锡化学革命之时。17世纪的性质全新的光学发现，到19世纪初，第一次被溶化于古老的光学之中。随着这类情况的发生，培根科学终于到达“成年期”，证实了它的17世纪创立者的信念，尽管不是任何时候都证实其方法。

那么在延续近二个世纪的成熟过程中，培根科学与所谓“古典”科学究竟如何联系呢？这个问题还极少被研究。不过我想，其答案将被证明是：它们联系不多，而且往往碰到很大的困难——精神上的、制度上的、有时是政治上的困难。到了19世纪，这两组科学，古典的和培根的，都还是分离的。粗略地说，古典科学被列为“数学”类，而培根科学则一般被看作“实验哲学”，在法国则被称为“实验物理”。至于化学，由于长期与药物、医学与其他各种工艺联系在一起，部分地成为培根科学的成员，其另一部分则被列入较实用的专业。

古典科学与培根科学的这种分离，可以追溯到后者的起源。培根本人不仅不相信数学，而且不相信古典科学的整个准演绎结构。一些评论家讥笑培根没能赏识自己时代的最好科学，可是他们忽视了关键问题。他不是由于喜爱托勒密体系才否定哥白尼体系。倒不如说，他否定了这两者，因为他认为，没有一个如此复杂、抽象而数学性的体系会有助于理解和控制自然。他那些继承实验传统的追随者尽管接受了哥白尼的宇宙学，但却很少试图掌握数学技术以及那种为理解或研究古典科学所必需的辩论术。在整个18世纪，这种情况持续不变：富兰克林，布拉克和诺列持象波义耳和胡克那样明确地坚持这种倾向。

其“逆反应”却远非如此明确。不管培根运动的原因何在，这些原因也作用于前已建立的古典科学。新仪器进入了这些领域，特别是天文学。描述与评价资料的标准也随之改变。约在17世纪的最后十年，波义耳与帕斯卡尔之间的抵触已不再是想象出来的。不过如前所述，这些发展的效果更多表现在逐步改进古典科学的性质，而不是很快作重大改变。天文学以前就用过仪器，光学以前也做过实验。定量的望远镜比肉眼观察优越，可是这一点在整个17世纪却被人怀疑。除了摆以外，力学仪器当时主要是用作教学示范工具，而较少用于研究。在这种情况下，尽管培根科学与古典科学之门的思想鸿沟已经缩短，但是鸿沟决没有完全消除。在整个18世纪，原已确立的数学性科学的主要工作者很少做实验，对于新的实验性学科的发展更少实质性贡献。

伽利略与牛顿看来是例外，其实只有后者才是真正的例外。他们两人都说明古典—培根裂缝的性质。作为猞猁学院的光荣成员，伽利略同时也是望远镜、摆擒纵机、最早形式的温度计和其他一些新仪器的改革或制造者。显然，他积极参加了这里称为培根运动的某些方面。

5然而，正如利奥纳多·达·芬奇的经历所表明的，仅凭一个人重视仪器与工程技术，还不足以使他成为实验主义者，而伽利略对科学的这一方面的主要态度仍然是古典式的。在某些情况下，他宣称自己心灵的力量使他不必做出自己描述的实验。在另一些情况下，例如在考虑水唧筒的限度时，他又不加说明地要求运用那种超过当时技术能力的装置。波义耳对帕斯卡尔的批评可以毫不改动地适用于伽利略。这种批评体现出伽利略这样一个人物，他能够而且确实对古典科学作出有划时代意义的贡献，至于对培根科学，他除了搞些仪器设计以外，并无重大贡献。

牛顿正是在英国培根主义发展到顶点之时受的教育，然而他却明显地继承了这两种传统。不过，正如I·B·科恩在二十年前所强调的那样，结果所得到的是牛顿影响的两条不同的路线，一条路线溯源于牛顿的《自然哲学的数学原理》，另一条路线则导源于他的《光学》。17虽然《原理》明确地继承了古典科学的传统，可是《光学》并非明确地继承了培根科学的传统。如果我们注意到这一点，就会理解内心悟性具有特别重要的意义。由于牛顿研究的对象是光学，这是一个以前已很发展的领域，所以他能够随时把精选的实验与理论相对照，也正是从这种对照中他取得了成就。波义耳在其《颜色实验史》中，引入了一些为牛顿据以建立新理论的实验，可是波义耳并不想建立新理论，而是满足于这样的评语，即认为他的研究成果提出了一些值得探索的问题。18胡克曾发现“牛顿环”，《 光 学 》 第2卷的第一个研究对象，他按照同样的方式去积累资料。可是牛顿却选择并利用这些资料来建立理论，就象他那些继承古典传统的前辈利用那些来自日常经验的并不复杂的资料去建立理论一样。正象他对《光学》一书的《疑问》那样，甚至当他转而研究一些新的培根式学科，如化学、电学和热能，也是从日益增多的实验文献中选取那些能阐明理论问题的特定的观察和实验。尽管在这些刚刚出现的领域中还没有取得象在《光学》中那样深刻的成就，可是散见于《疑问》各处的一些概念如化学亲和力之类，对于18世纪那些较系统的精干的科学工作者来说，却被证明是一个丰富的泉源，他们后来还一再回过来从这里得到帮助。他们从《光学》及其《疑问》中发现的，是对培根式实验的非培根式运用，这是牛顿深入领会古典科学传统的成果。

然而，除了他在欧洲大陆的同时代人惠更斯和马里奥特这几个少有的例外，牛顿这样的例子是绝无仅有的。在整个18世纪(牛顿的科学工作在这个世纪初已告完成)，再没有其他人富有成效地同时继承这两个传统。这种情况也反映于至少在19世纪以前科学机构和专业路线的发展中，尽管在这个领域还有待进行许多研究工作。下面的一段论述可能给研究工作提供一个粗略的模式。至少在基本水平上，古典科学在中世纪大学的标准课程中占有它的位置。在17和18世纪中，关于古典科学的讲座增加了。担任这些讲座的人，连同那些任职于法国、普鲁士和俄国新成立的国家科学院的人，构成为发展中的古典科学作出贡献的主要成员。其中没有一个人被正式称为业余爱好者，尽管这一名词往往无区别地被用来称呼17和18世纪整个科学的工作者。然而，培根科学的工作者通常倒真是业余爱好者。只有化学家是例外，18世纪期间他们在药房、工厂以及一些医校找到职业。至于其他实验科学，在19世纪后期以前，在大学里没有它们的位置。尽管这些学科的一些工作者在各个国家科学院里有了职位，可是他们在那里往往是二流人物。只有在英国，牛顿逝世前古典科学在那里已经开始明显衰落，实验科学工作者才得到很好的待遇。下面还要进一步研究这种对比情况。

法国科学院的例子在这方面是很能说明问题的，研究这个例子同时会为下一节将讨论的一个论点提供背景。基拉姆·阿蒙顿斯(1663—1705)曾为温度计和湿度计这样一些培根式仪器的设计和理论作出贡献，以此出名，然而他在科学院里的地位从未高过研究生，因而从属于天文学家让·勒·菲弗莱和皮埃尔·波林尼尔(1671—1734)。常被认为是把实验物理学引入法国的人，却从未正式成为科学院成员。尽管对18世纪电学有贡献的两个重要的法国人C·F·德·C·杜费(1698—1739)和阿培·诺列特(1700—1770)都是科学院院士，可是杜费被安排到化学学部，而后者则是另一个颇为芜杂的学部的成员，这个学部在正式体制上是留给机械

6工艺的工作者的。只是在他被选入伦敦皇家学会以后，他才步步晋升，与其他科学家如布丰伯爵和雷奥莫等一起获得成功。另一方面，著名的仪器制造家阿伯拉罕·布莱盖特有一种独特天才，科学院力学学部正是需要这种人，可是他在科学院里并无正式位置。直到1816年，当他69岁时，根据圣旨他的名字才被列入科学院的名册中。

这些个别事例所蕴含的意义，在科学院组织形式中也表现出来。1785年以前，一直没有设立实验物理室，而且当时被归入数学部(连同几何学、天文学、力学)，而不是归入较有操作性的物理科学(解剖学、化学与冶金学、植物学与农学、自然史以及矿物学)。1815年后，当这个研究室改名为一般物理研究室时，其成员中在一个时期内甚少实验主义者。综观13世纪，科学院士对培根式物理科学的贡献，少于医生、药剂师、工业家、仪器制造者、流动教师还有那些拥有独立谋生手段的人在这方面的贡献。英国又是例外，在皇家学会占有位置的主要是这些业余爱好者，那些首先以科学为职业的人倒是较少。