

《海纳百川·藏书博览》

简装书库·自然科学总论

（自然科学史）

科学史

03

[英] W·C·丹皮尔

上海市黄浦区教育信息中心

伽利略

文艺复兴以后，在人心中沸腾着的某些伟大思想，终于在伽利略（Galileo Galilei，1564—1642 年）的划时代的工作中，得到实际的结果。列奥纳多在他所考虑过的无数题目中，已经预兆了现代科学精神。哥白尼在思想世界发起了一场革命。吉尔伯特说明了实验方法怎样可以增加知识。但在伽利略身上，新精神比前人更进了一步。他在青年时代信仰亚里斯多德，成年以后就不再相信亚里斯多德的学说，而把握了新的原则；他了解在现代的研究中需要集中精力，因此，他就比较完备而有条理地研究了一些仔细选择的狭窄问题，而不象无所不能的天才列奥纳多那样把精力分散在许多科目上。哥白尼的天文学是根据数学简单性这一“先验”原则建立起来的，伽利略却用望远镜去加以实际的检验。最重要的是，他把吉尔伯特的实验方法和归纳方法与数学的演绎方法结合起来，因而发现、并建立了物理科学的真正方法。

伽利略真可算是第一位近代人物；我们读他的著作，本能地感觉畅快；我们知道他已经达到了至今还在应用的物理科学方法。过去，人们总是先采纳一个完备的和自圆其说的知识体系，中世纪新柏拉图主义和经院哲学都有这样的特色，现在，伽利略放弃了这种方法。事实不再是从权威的和理性的综合中推演出来的了，也不必再符合于这种权威的和理性的综合了，象在经院哲学中那样；事实甚至不再是靠这种综合来取得意义了，象在刻卜勒的头脑中那样。由观察或实验得来的每个事实及其直接的和不可避免的推论都按照本来面目被人接受，不管人们怎样想把自然界一下子收服在理性的管辖之下。许多孤立的事实的协和是慢慢显露出来的，围绕着每个事实的窄小的知识范围，零散地发生接触，也许就融合成一个较大的范围。可是，要把所有的科学的和哲学的知识融合成一个更高的、统摄一切的统一体，即使还不是绝不可能的，也须推迟到遥远的将来。中世纪经院哲学是理性的：现代科学在本质上是经验的。前者崇拜人的理性，在权威规定的界限内活动；后者接受无情的事实，不管它是否合于理性。

伽利略首先发明温度计。这是一根玻璃管，顶端有一个空气泡，开口端则浸没于水内，1609 年他听人说一位荷兰人发明了一种能把远处物体放大的镜子。伽利略就根据他对光的折射的知识，立刻制成一个同样的仪器，而且很快就制出一个相当好的仪器，能将物体的直径放大三十倍。从此，新发现立刻接踵而来。月球的表面，哲学家从来就认为是完全平滑而无瑕疵的，现在看出盖满了 130 斑点，说明有崎岖的山脉和荒凉的山谷。从前所看不见的无数星星，现在也闪烁在眼前了；自古以来不可解的银河问题，现在也得到解答了。人们现在看见，木星在它的轨道上伴随有四个卫星，并有其可量度的周期；这是地球和月球象哥白尼所说的那样围绕太阳运行的模型，只不过更加复杂和可以看见而已。帕多瓦的哲学教授不愿意去看一看伽利略的望远镜，而他的比萨同事们则在大公爵面前竭力想用逻辑的论据证明，“他仿佛

A .N. whitehead , Science and the Modern World, Cambrirde ,1927.

Galileo Galilei, The Sidereal Messenger, Venice , 1610 , cuoted in Reo-dings in the Literature of Science,Combridge 1924.

是靠了巫术的符咒似的，把新行星从天空咒了出来”。

靠了望远镜的帮助，伽利略用人人可以复按的事实证明了天文学的新学说，而在那时以前天文学的学说是仅仅建立在先验的数学简单性的根据上的。差不多和伽利略同时，英国数学家，在把代数学改进为现代形式方面有很大贡献的哈里奥特（Thomas Harriot），也用一具望远镜观察了月球与木星的卫星，不过他生前没有把他的发现刊布出来。

伽利略的主要的和最具独创性的工作是为动力学奠定了基础。这时，静力学方面已经有一些进步，布鲁日的史特芬即史特维纳斯（1586年）尤其有贡献，他在斜面 and 力的合成，以及流体静力学的水压方面都做了一些工作，可是人们关于运动的观念，仍然是未曾经受训练的观察和亚里斯多德理论拼凑而成的大杂烩。物体被认为有所谓本质的重或轻，并且用和自身的轻重成比例的速度下降或上升，因为它们以不同的力量，“寻找它们天然的位置”。

1590年左右，史特芬与德·格鲁特（de Groot）在德尔夫特（Delft）

证明轻重两物同时坠落，则同时到达地面。伽利略也许重做了这个实验（好象不是在比萨斜塔上），因为他早说过炮弹并不比枪弹落得更快。

哥白尼与刻卜勒证明地球与其他行星的运动可以用数学方式表达。伽利略觉得地球的各部分在“局部运动”中也是按数学方式运动的。于是他想要发现的不是物体为什么降落，而是怎样降落，即是依照怎样的数学关系而降落：这是科学方法上的一个大发展。

物体以不断增加的速度降落。这种增加的定律是怎样的？伽利略的第一个假设，就本身言是很合理的。这个假设认为速度与降落距离成比例。但这个假设含有一个矛盾，于是他试用另一个假设，即速度与降落的时间成比例。这个假设经证明没有什么困难，于是伽利略演绎出它的结论，并和实验的结果比较。

物体自由降落时速度太大，用当时已有的仪器不易量度，更难得到精确的结果，所以须将这个速度减少到便利的限度以内。伽利略起先认为物体沿斜面降落所得到的速度，与垂直降落同一距离所得到的速度一样。他于是用斜面实验，并发现他量度的结果与根据下列假设及其数学推论计算出的结果相符。这个假设就是：速度与降落的时间成比例；这个假设的数学的推论是：物体降落经过的空间按时间的平方而增加。他还再度发现另外一个事实：摆的振荡周期与摆幅无关（小摆动时）；可见在等时间内重力以等量增加摆锤的速度。

伽利略还发现：如果摩擦力小到可以忽略时，球滚下一个斜面之后，可以滚上另一个斜面直到和出发点一样高的地方，而与斜面的倾斜度无关。如果第二面是水平的，这个球将以恒速在这面上不断地向前跑去。

Dichionary of National Biography.

E.N.da C. Andrade, Science in the Setienfeenth Century, 1938; E.Mach, Die Mechanik ininhrer Entwicklung 1883, TL McConmack, London, 1902.

Whewell,上引书 卷 46 页; G.Sattol1, Isis, No. 61, 1934, P. 244.

E.N.Dda C. Andrade, quoting Wohlwill, Galilei (vol,I,Hamburg, 1909);Gerland, Geschichte der Physik,1913;Isis, 1935, P. 164; Nature 4Jan. 1936.

伽利略的证明是不能令人满意的，但帕布罗德（Broad）所指出的，从静止开始。物体不能有速度，除非已经落了一段距离，而且不能降落一段距离，除非已经获得一点速度。

除了希腊的原子论者与少数的现代人如列奥纳多和邦内德提（Benedetti, 1585 年）之外，人们一向假定每个运动都须有继续不断的力去维持它。行星必须有亚里斯多德的“不动的原动者”或刻卜勒的太阳经过以太的作用，来维持它们的运行。但经过伽利略的研究，人们才明白：需要外力的不是运动，而是运动的产生或停止或运动方向的改变。物质既然具有惯性，行星系一旦开始运动，就不需要力去维持行星的运动；虽然必须找到一个原因去解释它们为什么不断地离开直线路径，而在围绕太阳的轨道上运行。在此以前就是正确地提出这个问题也不可能，但现在解决的途径已打开了，而解决的人就在眼前，因为牛顿就出生在 1642 年，即伽利略死去的那一年。

伽利略在动力学上还有另外一个重要的发现。在他以前抛射体的路径，已经是一个猜测纷纭的问题。伽利略看出抛射体的运动可以分析为两个成份：一个在水平向，速度恒定不变，一个在垂直向，遵循落体的定律。这两个分量综合之后，即得路径为抛物线。

伽利略的哲学思想，一方面接近刻卜勒。另一方面接近牛顿。和刻卜勒一样，他要寻找自然现象间的数学关系，但他所找的不是神秘的原因，而是要了解支配自然变化的永恒定律，不管“自然的理由是人类所能了解或不能了解的”。

由此可见伽利略已经远远离开了经院派以人为中心的哲学。在这哲学里，整个自然界都是为人而创造的。但是，在伽利略看来，上帝把这种严格的数学必然性赋予自然，而后通过自然，创造“人类的理解力，使人类的理解力在付出了极大的努力之后，可以探寻出一点自然的秘密”。

欧几里得与其前人把几何学归到数学的领域。希帕克、哥白尼与刻卜勒表明天文学可以归结为几何学。伽利略也同样地对待地上的动力学，把它变为数学的一个部门。要从构成一种新科学的题材的观察到的一团混乱的现象和一团混乱的模糊的观念中，创造出一种新科学，第一步总是要抓着可给以确切界说的几个概念，这种界说至少应在一个时期内是有效的：如果可能的话，这种界说应使我们可以对这些概念给予数学上的量的处理。为了要把他的落体的加速度问题变成可研究的问题，伽利略首先将古来关于距离与时间的概念给予确切的数学形式。亚里斯多德与经院哲学家的主要兴趣在于最后因，他们认为地上的运动和天文学上的天体运动并不相似，而是形而上学的一个分支。于是他们就借助作用、动因、目的、自然位置等含糊观念，从本质的角度去分析运动，关于运动本身，他们很少说到或想到，而只是举出了运动的几种区别，如自然的运动与剧烈的运动的区别，直线运动与圆运动的 133 区别等。在伽利略看来，这些都是无用的，他所要研究的不是运动为什么发生而是怎样发生。定性的方法使得空间与时间在亚里斯多德思想中成为某些不重要的范畴。伽利略使得时间和空间在物理科学中具有了本原而根本的性质，自此以后时间和空间就始终在物理科学中具有这种性质。他和别的人还认识到，在惯性里除了重量之外，还有某一个量。但质量的确切定义是牛顿首先提出的，至于能量的概念，则到十九世纪中叶，才形成并得到定义。

虽然如此，伽利略毕竟在数学的动力学方面迈出了最初的、也是最难的一步，这就是从经院哲学在分析变化和运动时所采用的模糊的目的论范畴，

跳到关于时间和空间的确定的数学观念。贝尔特教授认为我们现今的许多哲学困难都是由这一步骤带来的。我们或许可以回答说，这一步骤揭露并澄清了亚里斯多德物理学所掩盖起来的许多困难。总之，一件事是确定的：如果没有伽利略的新眼光、动力科学是不会有那样的发展的。如果他的某些继起者把这门学科和形而上学的实在问题的关系估计得过高，那并不是伽利略的过错。事实上对于只有根据轻率的推测才能解答或者只能由哲学体系演绎出来的问题，他宁愿承认无知，耐心等待。他承认他对于力的本性，重力的原因，宇宙的起源，毫无所知。他认为，与其夸大胡说，不如“宣布那个聪明的、智巧的、谦逊的警句：‘我不知道’”。

也许在物理学的其他部门的哲理问题上，伽利略也和前人有同样重要的不同。刻卜勒承认物体的第一性的质（或不可分离的性质）与第二性的质（或不甚实在与不甚根本的性质）的差别。伽利略更进一步，认为第二性的质不过是感官上的主观效应，和不可与物体分离的第一性的质迥然不同。在这里，他与古代原子论者是一致的，这是因为原子论者的哲学在不久以前又复活了。伽利略说：

当我设想一件物质或一个有形体的物质时，我立刻觉得我必须设想按它的本性，它是有界限、有形状的，和旁的东西比较起来是大还是小，处在什么地方和什么时间，在运动还是静止，与其他物体接触还是分离，是单个、少数还是多数，总之，无论怎样，我不能想象一种物体不具有这些条件。但关于自或红，苦或甜，有声或无声，香或臭，我却不觉得我的心被迫承认这些情况是 134 与物体一定有关系的：如果感官不传达，也许推理与想象始终不会达到这些。所以我想物体方面的这些味、臭、色等，好象真的存在在物体中，其实只不过是名称而已，仅仅存在于有感觉的肉体中：因此，如果把动物拿走，一切这样的质也就消除了，或消灭了。

伽利略就接着这一思路重新发现了德谟克利特用原子和虚空言简意赅地表述出来的那条原理。伽利略还接受了关于物质的原子说，并且相当详细地讨论了原子在数目、重量、形状和速度方面的差别，怎样造成味道、气味或声音方面的差别。

在这里，伽利略也离开了他的同代人心目中的自然界的画面。在普通人看来，色、声、味、臭、热、冷等特性是非常实在的，在伽利略看来，这些特性只不过是观察者心目中的感觉而已，是原子的排列或运动引起的，而原子的排列或运动本身又服从于不变的数学上的必然性。至少在他看来，原子尽管是大自然的奴隶，却是实在的，而第二性的质只不过是感官的幻影而已。一世纪以后，贝克莱主教又提出：归根结蒂，第一性的质同样也只不过是建立在感官知觉基础上的心理概念而已。

伽利略对这些问题的处理方法受到人们的责备，因此，有些二无论的和唯物主义的哲学十分肯定地是由这里产生出来的。这样做的结果也许就和法国百科全书派陷入同样的错误中：把一门科学同整个科学的关系，把整个科学同形而上学的实在问题的关系，弄错了。不过，我们将在本书后面的几章中再对这些问题作比较详细的论述。

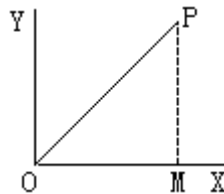
Burt, loc.cit.p. 75。

参看上文，P. 23。

从笛卡尔到波义耳

和伽利略同时代但比较年轻的笛卡尔（ReneDescartels，1596—1650年），为现代批判哲学奠定了基础，并发明了一些在物理科学上有用的新的数学方法，他生于法国都兰城（Touraine）的半贵族的家庭里，并在拉弗勒希（La Fieche）从耶稣会教士学习，但他的主要工作却完成于旅居荷兰的二十年内。他在服务于克里斯蒂娜（Christina）女王时死于斯德哥尔摩。

笛卡尔证明在公认的哲学观念下面还有许多没有得到证实的假定。他抛弃了根据希腊哲学和教父理论建立起来的、在当时仍然有力的中世纪积累下来的思想，而企图仅仅根据人的意识与经验，建立一种新的哲学，这个哲学的范围从对于上帝的直接的心理 135 领悟一直到物质世界的观察与实验。可是经院哲学的痕迹仍然留在他的意识里。在数学上笛卡尔大大前进一步，把代数的方法应用于几何学（不谋而合的还有费马（Fermat），从而发展了在印度、希腊与阿拉伯都可以找到的、并为现代人，特别是维埃特（Vieie）加以推进的一些见解。在此以前每一几何学的问题都须应用新的技巧去解决，但笛卡尔提出了一个方法，打破了孤立处理的局面。座标几何学（即解析几何学）的基本观念是很容易说明的，从一定点（或原点） O 作互相正交的两直线 OX 与 OY 。这两条线可用为轴线，它们所定的平面上任何一点 P 的位置，可以其距离一轴的长度 OM 或 x 和距离另一轴的长度 PM 或 y 而决定之。 x 与 y 两长度称为 P 点的座标， x 与 y 之间的各种关系相当于图中平面上的各种曲线。例如设 y 与 x 成正比而增加，换言之即 y 等于 x 乘一常数，在图上合于这关系之点便是象 OP 那样的一条直线。又如设 y 等于 x^2 乘一常数，我们便得到一条抛物线……。这样的方程式可以用代数学处理，而其结果则可用几何学解释。有了这个方法，许多物理学的问题，从前不能或不易解决的，现在都可以解决了。牛顿就研究过笛卡尔的几何学著作，并使用了他的方法。



笛卡尔指出了力所做的功（即现代人所说的能量）的重要性。他认为物理学可以归结为机械学，他甚至把人体看做与机器是相类似的。他接受了哈维关于血液在动静脉里循环的理论，并在当时的争论中为这个理论辩护，但他不相信血液是在心脏的收缩的推动下循环的。他和中世纪人及费内尔一样，认为人体机器所以能继续作功，是靠了自然过程在心脏里所产生的热。所以在他看来，灵魂（有理性的灵魂）与它所居住而且控制的肉体（地上的机器）完全不同。他赞成盖伦的学说，以为血在脑中产生“一种极微妙 136 的气或风”，叫做“动物元气”。但他和范·赫耳蒙特一样，不把“动物元气”看做灵魂，虽然有了这种元气，脑才能接受灵魂的印象和外界物体的印象，然后这种元气就由脑通过神经，而达于肌肉，使四肢活动。

这样，笛卡尔就第一个提出了彻底的二无论，这种把灵魂与肉体，心与物鲜明地区别开来的学说，后来成为极普遍的信仰和极重要的哲学。他以前的人们和他以后的许多人还认为灵魂与火或气具有同样的性质，而物与心的分别与其说是种类上的分别，不如说是程度上的分别。

笛卡尔企图把地上的力学的已知原则应用于天体现象，在这里，和他的主要的哲学观点相反，他的处理方法，似乎建立在希腊人和经院派的矛盾观上。他把物质世界和精神世界对立起来，精神是属于人的，不相连续的；因此，物质必定是不属于人的，连续的，而其本质则必定是广延。物质宇宙必然是一个致密无间的充实体。在这样一个世界中只有物物相触才能产生运动，因而运动只能发生于闭合路程之中；不存在物体可以通过的真空。由此，笛卡尔建立了有名的关于一种本原物质，或看不见但充满空间的以太的漩涡学说。石头向地球降落，卫星被行星吸引，而地球与行星又带着它们周围的附属的漩涡，沿着更大的漩涡围绕太阳旋转，正如一根浮在水面的麦草，为水的涡流所捉住，被带向运动的中心一样。

后来牛顿用数学证明笛卡尔的漩涡的性质与观测不合。例如漩涡各部分的周期必定与高中心的距离形成二乘比。如果带有自己的漩涡的行星，又被带着在太阳的漩涡中运行，这种关系也必定有效。但这种关系与刻卜勒第三定律不相符合。前面讲过，这个定律说：周期的平方与平均距离的立方成正比。虽然如此，漩涡说在牛顿的研究成果发表以前（甚至以后），却盛行一时。这是一次想要把天体的大问题归结为力学的勇敢尝试，因此它才载入科学思想史。它把物质宇宙看做是一个可以用数学方式去解释的巨大机器，虽然牛顿后来证明，这种数学解释是不精确的。

在当代人看来，笛卡尔的由接触而生运动的漩涡，从机械观点来看，比伽利略所想象、后来由牛顿加以系统解释的通过超距作用而产生加速度的力，容易了解得多，因为这两人没有对这些力的成因或其作用的方式有所说明。

笛卡尔的机器，与当时尚在盛行的柏拉图、亚里斯多德和经院哲学家的见解根本不同。照他们的见解，上帝创造世界，是为了通过高出万物的人类，使整个过程重新回到上帝那里去。在笛卡尔体系中，上帝在一开头的时候把运动赋予宇宙，以后即听其自然进行，虽然也得照了上帝的旨意。他认为这个宇宙是物质的而非精神的，无目的的而非有目的的。上帝不再是最高的善，而被贬到第一因的地位上去了。

笛卡尔和伽利略一样，认为物体的第一性的质是数学的实在，其中最重要的是广延性，第二性的质只是第一性的质经过人类感官的翻译。但思想与物质是同样实在的——“我思故我在”（*cogito ergo sum*）。因此笛卡尔达到一种明确的二元论。这从他的生理学中也可以看出。一方面有肉体的世界；它的本质是广延，另一方面则有内在的思想王国：广延与思想相对立。在笛卡尔看来，物是真正死的东西，除了开始时从上帝得到的运动之外，物不能再有其他活动。有些人自称为唯物主义者，分析起来实在是泛神论者，笛卡尔在他的二元论的一个方面，才是真正哲学上的唯物主义者，因为在他的观念中，物的质点绝对不带一点生命。

笛卡尔的二元论提出了两个在表面上没有关系的东西——心与物——的相互关系问题。这个无广延性、非物质的心怎样能够知道有广延性的物质世界，且使其发生变化呢？物质的物怎么能引起非物质的感觉呢？笛卡尔和他

的门徒的答案实际上是说上帝使然；在信仰二元论的人看来这个答案实在大有道理在。

牛津的亚里斯多德派学说受到格兰维尔 (Joseph Glanvill) 的批判。他拥护培根和笛卡尔的见解。笛卡尔的哲学受到很大欢迎，尤其是在大陆上。但他的体系受到霍布斯 (Thomas Hobbes, 1588—1679 年) 的批评。霍布斯在见到伽利略以后，就把动力科学发展成为一种机械哲学。他不了解数理力学的确切方法，以为它可应用于一切的存在。他抛弃笛卡尔的二元论：脑是思想的器官，运动中的物质是唯一的实在。不是由于忽略了困难便是由于没有看到困难，霍布斯把感觉、思想与意识都看做是原子在脑中活动所产生的幻象。

霍布斯是现代第一个伟大的机械哲学的代表。他受到许多愚昧的诽谤和有见识的批评。剑桥的柏拉图派指出把广延性及其各种形式当做物体的唯一实在性质的理论，不能解释生命与思想，他们企图通过把空间神化来调和宗教与机械哲学。马勒伯朗士 (Malebranche) 更进了一步。他把无限空间与神视为一体，用无限空间来代替亚里斯多德的纯粹形式或绝对现实性。斯宾诺莎 (Spinoza) 持有一种无限实体的理论，一切有限的存在都是无限实体的形式与限度。于是神成为无矛盾的宇宙的内在因，而笛卡尔的心物二元论，从“永恒方面”来看，也就归结为较高的统一了。哲学家们就这样请出了上帝，而逃避了他们的困难。虽然如此，霍布斯对于科学思想仍然产生了影响。

迪格比 (Kenelm Digby) 爵士对亚里斯多德的本质特性加以嘲笑，他和伽利略一样，认为一切现象都应该用“局部运动”中的质点去解释。牛顿的老师巴罗 (Isaac Barrow, 1630—1677 年) 还对伽利略的数理物理学的含义加以阐释。科学的目的在于研究可感觉的领域，特别是在它表现出量的连续性的时候，而数学则是量度的技术。因此物理学，作为一种科学看，完全是数学性的。数学的最好代表是几何学。重量、力与时间等自伽利略以来变得很重要的量，很难和物体是有广延性的东西的概念联系起来，如果用运动去界定并测量时间，我们就有陷入一种逻辑上的循环论证的危险，因为运动的变率包含有时间的概念。可是巴罗说空间与时间是绝对的、无限的和永恒的，因为上帝是无所不在与永久长存的。空间连续延展而无限度，时间永远均匀地流动，而与可感觉的运动无关。这是对于牛顿所持有的绝对时空观念的最早的明白陈述。巴罗所表达的时间和空间是和人们的知觉与认识无关的，除了与神有关之外，只靠自己的权利而存在。正如伯特教授所说：“自然从一个互相具有质的与目的的关系的物质的世界，一变而为在时空中作机械运动的物体的世界了”。虽然如此，巴罗、牛顿与他们的门徒并没有从他们的新的力学科学演绎出一种机械的反宗教的哲学。重新提出伊壁鸠鲁的原子理论的伽桑狄 (Gassendi) 也是一位职业的天主教教士。而且一位谦逊、和易、英国式的物理学家、化学家和哲学家波义耳还提出一个有益的警告，提醒人们注意世间一切并不是都可以用简单的数学方式来解释。

作为一位科学家，他继承了吉尔伯特与哈维的实验主义的传统，并接受

H.A. Wolfson, *The Philosophy of Spinoza*, Harvard, 1934; *Isis*, No. 64, 1935, P.543.

G.Windred, "The History of Mathematical Time", *Isis*, April 1933, NO.55, Vol..XIX(1), p.121.

Burt, 上引书 154 页。

了“我们的维鲁拉姆 (Verulam) 大男爵”的实验方法。他寻找的是不必追求最后因——不管这些原因是经院哲学的还是数理力学的——直接就可以知觉到的各种性质之间的关系。解释一事实，只不过是把这事实从人们了解得比较清楚的另一件事推导出来而已。他尤其想这样地去研究通常事物的化学，而不联系当时流行的半神秘的化学元素理论。他认识到伽桑狄不久以前重新提出的原子理论的重要性，企图把这个理论和笛卡尔的空间要素调和起来，并且在他的化学思想与物理学中，利用这个理论来解释热的现象。

波义耳接受了（实际他也必须接受）认为“第二性的质”只是感觉的幻象的见解，但他正确地指出，毕竟“在这世界上，事实上还有某些有感觉、有理性的、我们叫做人的生物”。既然人带了他的感觉，构成宇宙的一部分，所以第二性的质与第一性的质是同样实在的。这里，波义耳从相反的方面，接触到贝克莱所得到的结果，而且他所使用的论据现在好象仍属有效。机械世界与思想世界都是哲学要对付的整个世界的两部分。为了要把问题放在人类理解力的范围内也许必须把这两个世界看做是完全分离的；但是这是由于我们需要从不同的方面对问题挨次加以处理，从而把问题简化。如果有一个比我们的心灵更高的心灵，也许就可以从整体上去凝视世界。

波义耳用宗教的术语来表达他的哲学。人的理性灵魂具有着神圣造物者的形象，是“一个比整个形体世界更高贵、更有价值的 140 存在”。上帝不但在开初创造了世界，而且要使世界存在与进展还不断地需要他的“普遍参与”。这是基督教的“内在论”同物质有关的一面，也是古印度与阿拉伯关于上帝不断创造万物的观念的部分复活。直接因是机械的，但最后因则非机械的。

作为一位物理学家，波义耳在胡克的帮助下，改进了 1654 年冯·盖里克 (von Guericke) 所发明的空气唧筒，并利用这个抽气机来研究“空气的弹力与重量”。他发现空气是有重量的物质，并证明一定量空气所占的体积与其所受的压力成反比例，这关系也不谋而合地为马里奥特 (Mariotte) 所发现。波义耳观察到空气压力对于水的沸点的影响；他搜集了许多有关电与磁的事实：他用密闭管改良了伽利略的温度计，并记录了健康人体不变的温度；他认识到热是“活跃的”分子活动的结果。作为一位化学家，他把混合物与化合物区别开来；他制出了磷，并且用器皿从水面上收集了氢气，可是他却说那是“重新制成的空气”；他从木材蒸馏的产物里得到丙酮与甲醇；他研究了晶体的形态，据此研究化学结构。

但波义耳对于当代一般观点的最大贡献在于他抛弃了经院哲学中残存的柏拉图和亚里斯多德的“理式”，抛弃了四“元素”的旧观念，并且抛弃了另一化学假说：物质的本质应该到盐、硫与汞等“原质”或“要素”中去寻找。他对这些术语赋予比较现代的意义，说明这些东西都不是真正的元素。

他的见解载于 1661 至 1679 年间发表的一部三人对话集中，书名为《怀疑的化学家：或化学与物理学上的疑点与矛盾，并及世俗炼金家用以证明盐、硫、汞为物的真正原质的实验》。波义耳的代言人用如下的话说明他的观点。

尽管我在逍遥派哲学家的书中遇到精微的推理，在化学家的实验室中看到美妙的实验，我的拙劣的天性总觉得，如果两方都拿不出比通常拿出的更为有力的论据来证明他们的说法的真实性的话，那么，人们对于混合物中

指弗兰西斯·培根，因为他的男爵封地是维鲁拉姆。——译注

的物质成分，那一些人要我们叫元素，另一些人要我们叫要素的东西，保留一些怀疑，是完全合理的。

141 波义耳指出，人们以为火可以把物体分解为元素，其实在不同的温度下所产生的效果是很不同的，常常产生一些显然也很复杂的新物体。黄金是不怕火的，绝不会产生盐、硫或汞，但可以和其他金属一起制成合金或溶解于王水，而且仍可恢复原形。这说明金的“颗粒”经过各种结合之后仍然不变，而且说明并没有出现亚里士多德的元素或炼金家的原质。他于是提出一个谨慎的命题：“也许不妨姑且承认：我们可以把凝结物所提供或组成凝结物的那些互相截然有别的物质，叫做这些凝结物的元素或原质，而不致造成多大的不便。”这样，波义耳就抛弃了以前的一切见解而给元素下了一个朴实的定义，不管在他以后化学的面貌经过了许多革命性的改变，这个定义仍然适用。波义耳自己没有实验中运用他的见解，但别人却无意识地运用了这些见解，一个世纪以后，这些见解就为拉瓦锡所采纳，成为现代化学的基础。

波义耳拒绝了贵族的爵位和伊顿（Eton）学校校长的荣誉。他的才能在他的爱尔兰墓志上受到表彰。据说在那上面他被誉为“化学的父亲和科克（Cork）伯爵的叔父”。

帕斯卡尔与气压计

在结束这个时期的数理科学的叙述以前，我们必须简短地谈谈以神学家出名的帕斯卡尔（Blaise Pascal, 1623—1662 年）。他是概率的数学理论的创始人，这种研究从关于赌博机遇的讨论开始，现在对科学、哲学以及社会统计的问题都证明有很大重要性。事实上，一切经验知识的心智基础都可以说是概率问题，都可以用赌博的术语去表达。

帕斯卡尔还对液体的平衡进行了实验。比克曼（Beekman）和巴利安尼（Balliani）在 1615 年和 1630 年先后都注意到抽水唧筒有压缩空气的作用。伽利略说，有一位工人告诉他，唧筒打水的高度不能超过“18 时”（可能约 27 呎），1640 年左右，伯提（Berti 即 Al-berti）在罗马也进行了这些实验。这就促使托里拆利在 1643 年制造出一个水银气压计，果然不出他的所料，密度很大的水银柱的高度不超过 30 时。后来，在帕斯卡尔的指导下，一具气压计被人带上多姆山（Puy de Dome）上。仪器愈向上搬，大气压力就愈减少，水银柱也愈降低。由此可见水银柱不下落是因为有空气压力支持，而不象亚里士多德派所说的那样，是由于自然“厌恶真空”。

妖 术

妖术的信仰 和巫术的实施当然在史前期就有了，事实上，早期宗教和自

C.de Waard,Thouars,1936 ; review by G.Sarton,Isis,No . 71 , 1936 , p , 212。

See W.T.Lecky,History of Rationalism;Margaret Alice Murray,the WitchCult in Western europe,Oxford,1921 ; G.L.Kittredge,Witchcraft in Old and NewEngland, Cambridge,mass.,1929;C.L'Estrange Ewen, Indictments for Witchcraft,1559-1736 London,1929 ;Lynn Thorndike,A History of Magic and Experimen-tal Science,4vols.(others to follow),New York to1934;Isis,No.66 , 1935 , P . 471.

然科学也许就是从妖术和巫术所形成的观念中脱胎出来的。但是在教会最初征服世界以后，丰产崇拜的巫术和其他形式的妖术，便被有知识的人看做是异教的遗迹，不再为人所畏惧了。圣·博尼费斯（Saint Bonifacc, 680—755 年）把对于妖术的信仰归入魔鬼的诱惑之列，查理大帝的法律则规定，如有以妖术罪名致人于死者，其罪等于谋杀。教会对此也取宽大态度——明知不对而招唤恶魔，不是异端，只是罪恶。

但是到中世纪后期，恶魔便声名大著，丰产崇拜的巫术，由于摩尼教异端的关系而恢复起来，到后来，魔鬼竟成为被压迫者崇拜的对象——一位被剥夺了王位继承权的魔王。圣·阿奎那运用了他巧妙的机智为教会过去对于妖术的态度巧加辩解；他说，虽然相信魔鬼能够制造天然的雷雨是异端，但是如果以为魔鬼在上帝的许可下可以制造一点人工的雷雨，那是与天生教的信仰没有抵触的。1484 年，教皇英诺森八世（Pope Iniiocent VIII）代表教会对群众认为可以与恶魔和鬼物交通的信仰，以及群众对于妖人和女巫的魔力的信仰，给予正式制裁。于是这样有罪的人都变成了异端分子，正统派也就获得了一个可怕的新武器：凡是异端分子都可宣布为妖人，而激起群众对他的愤怒。有些牺牲者实际是摩尼教或其他原始宗教的正当信徒，因举行仪式而遭受火刑，还有许多则是为人所诬陷的。

宗教改革的时候，新教徒把这些观念接受下来。他们可以引用圣经上的浩诫：“行邪术的女人，不可容她存活”。虽然古代的教会法典只是对妖术的真实性表示怀疑，他们也用不着去巧加辩解¹⁴³了。新教徒与罗马教徒在迫害女巫方面，互相竞赛。在大陆上，招认与告发都是依照法律按正规途径用酷刑逼出来的，差不多所有的被告都招认了。在英国只有特殊法庭才有权使用酷刑，民事法庭无此权，被告者大半到死不承认他们有罪。据估计二百年内整个欧洲死于此难的人为数在七十五万以上。被告的人要想逃脱是很困难的。如果自认有罪，他们立刻就被活活焚死；如果不招认，他们便受到酷刑，直到招认为止。

十五世纪出版的宗教审判官的教本《奸人的惩罚》中，有关于审判女巫的方法的记载。那里所记载的野蛮的和不守信义的法律程序简直令人不能置信。不拘什么方式，只要能得到供状，都是法律所允许的。在施酷刑前后，审判官应该答应保全被告的生命但不告诉她要把她下狱。这种诺言应该暂时有效，但以后还是应该把她烧死。在别的场合下审判官应该保证慈悲为怀，“但要有这样的心理保留：他的慈悲是对自己或对国家而言的”。

很少人敢冒惨死的危险去对这种疯狂的迫害提出公开的抗议。这样做的第一人也许是阿格里帕（Cornelius Agrippa, 1486—1535 年）医生。第二人可能是韦尔（John Weyer）。他是克勒夫斯的威廉公爵（Duke Williard of Cleves）的侍医。靠了公爵的保护，他才敢这样做。1563 年，韦尔出版了一本朽，说明所谓妖术通常是由于魔鬼们造成的幻觉而产生的，因为魔鬼们总是利用女人的弱点来制造他们所喜欢的迷信的残酷行为和无辜的流血。一位住在肯特（Kent）郡的绅士斯科特（Reginald Scot）在《巫术的真

Malleus Maleficarum, translated into English by Montague Summers, London, 1928; review in the Nation and Athenoeum, November 24th. 1928.

E.T. Withington, “Dr John Weyer and the Witch Mania”, Studies in the History and Method of Science Oxford, 1917.

相》(1584)一书里,采取了现代的常识性的看法,认为整个这件事是愚昧、幻觉、欺诈与诬告的大杂烩。斯科特的书几次翻印,在某一个时间内“对于地方官与僧侣有很大影响”。一位耶稣会教士斯皮(Spec)神父在不到两年之中陪伴了大约二百位牺牲者到维尔茨堡(Wurzburg)的火刑场去。他对这个经验惊骇不置。他说他相信这些人都是无罪的。他们的招认千篇一律,因为他们宁肯早死,不愿再受酷刑。1631年他发表了一本隐名的书,书中说:“如果对144所有教会的僧侣、博士和主教施以他们所用的酷刑的话,可以使他们个个都招认他们施行过巫术。”

但是这些应当名垂千古的勇士们,并不能制止蔓延到社会各阶级的疯狂的浪潮。詹姆斯一世写了一本关于妖术的书,对韦耶尔与斯科特加以谴责;连大医生如哈维爵士与布朗爵士(Sir Thomas Browne)也参与对女巫进行检查。酷刑与烈火的狂欢仍旧流行整个欧洲,一直至十七世纪之末或更后。这件事是现今的集权主义时代以前人类历史上最黑暗、最可耻的一页。

“妖术信仰的衰退与它的兴起一样缺乏明显的理由。文明世界在停止焚烧女巫以前,已渐渐了解不能再相信有妖人的存在了。这并不是由于世人变得更宽大、更人道了,而是由于世人更怀疑和不畏惧女巫的力量了。事实上,这个世界正在准备迎接十八世纪的唯理论哲学和冷静的唯智论。至少在这个问题上,唯理论哲学和唯智论是有一件功劳值得大书特书的。很明白,这种态度的改变主要是由于科学的进步。科学已经慢慢地确定了人类支配自然的界限并揭示了人类支配自然的方法。这个阶段是后来才达到的。本章所述的重要时期,则始终由于对妖术的非理性的信仰,而暗然无光。即使在三百年后的今天,这类信仰还潜藏在表面之下,随时可以在各阶级的无知无识的人们中间复活。

数 学

当代对巫术和科学混淆不分的情况,很可以在约翰·迪伊(John Dee, 1527—1608年)身上看到。他把大部分时间都消耗在占星术、炼金术与招魂术上面,但是同时他却又是一位极合格的数学家,哥白尼学说的最早的支持者。他在比林斯利(Billingsley)于1570年所发表的欧几里得著作的英语译本上写了一篇有学术意义的序言。在1582年教皇格雷哥里十三世把有误差的历法改正了十天的时候,伊丽莎白女王政府聘请约翰·迪伊就实施这项改革的方法提出报告。只是由于英国教会主教们的反对,英国实施这项改革的时间才推迟了170年。约翰·迪伊在1547年从低地国家带回了夫里希斯(Frisitls)所制造的天文学家的十字规和刻度环,以及麦卡托(Mercator)所制的两个地球模型。麦卡托因为制成互成直交的经纬线的地球平面投影图而著名于世。史特维纳斯所发明的十进分数法也促进了应用数学的发展。

在这一时期里航海术得到有效的改进。前面讲过(100页)航海术开始于葡萄牙王子亨利,到了有名的霍金斯(Hawkins)、弗罗比希(Frobisher)、德雷克(Drake)和腊勒(Rakegh)的时候就告一段落。荷兰人在埃里克曾

Art.“Scot”, in Dictionary of National Biography.

Withington, 上引书; C.L'Estrange Ewen, Witch Hunting, London, 1929,

(Erikszen) 与洪特曼 (Hontman) 等人的领导下, 于十六世纪末开始探险, 很快就在东西印度群岛建立了殖民地。1601 年荷兰的东印度公司获得特许开发权, 稍后英国也成立了类似的公司。

在新旧时期交接之际, 有一位孤零零的人物霍罗克斯 (Jeremiah Horrocks, 1617—1641 年) 值得一提。他是兰开夏郡 (Lancashire) 贫苦教区的一个教士。他追随刻卜勒的研究成果之后, 认为月球的轨道是椭圆 (地球在其一个焦点上), 并且首先预测并观测了金星过日面的现象。这就使他能够改正金星轨道上的误差并估算出它的直径。五十年后, 牛顿承认他从霍罗克斯那里受益不浅。

科学的起源

在本章内我们终于看到近代科学的真正起源。在文艺复兴时, 自然科学还是哲学的一个分支; 但在我们刚才讲过的时期中, 它已经找到了自己的观察与实验的方法, 在可以应用这些方法的地方还得到数学分析的帮助。哥白尼与刻卜勒虽然仍在数学的和谐中寻找最后因, 并且在牛顿的时代以后很久, 这个思路还是存在着, 往往以为在每个现象可以用数学方式从量上加以表示以后, 这个现象就算既得到了科学上的解释, 也得到了哲学上的解释了。可是这个倾向对于实验科学家并没有什么妨碍。他们丢掉了理性的全面的综合这条镀金锁链 (不管它是亚里斯多德的还是柏拉图的), 因而可以自由而谦卑地接受事实, 即使这些事实不能嵌合到一个普遍的知识体系里去。但事实也开始在这里或那里凑合起来, 如七巧版的零块一样, 使得图案的某些部分赫然出现。在下一时期内, 这个动向在牛顿关于重力定律的表述中表现出来, 那是科学上的第一次大综合, 但在十八世纪法国百科全书派的夸大的机械哲学中, 这个动向也许就摆动得太远了。

第四章 牛顿时代

1660 年的科学状况——科学院——牛顿与引力——质量与重量——数学方面的改进——物理光学与光的理论——化学——生物学——牛顿与哲学——牛顿在伦敦

1660 年的科学状况

我们现在来到现代科学早期发展的最重要时期。因为靠了牛顿的卓越成就，伽利略和刻卜勒的研究成果，已经和牛顿自己的研究成果融合在一起，成为物理学上首次的大综合。前几章所叙述的改变给欧洲带来的科学与哲学的状况，可以大概描述如下。

经院哲学的无所不包的知识大厦，虽然在唯理论的训练方面仍然有用，但早已不够用了。由于邓斯·司各脱与奥卡姆把唯名论复活过来，由于新柏位图运动兴起，构成哥白尼和刻卜勒的工作的哲学基础，最后由于伽利略、吉尔伯特与其门徒用数学方法及实验方法取得很多成果，这座大厦已经动摇了。吉尔伯特与哈维表明怎样用经验的方法来进行实验，伽利略证明哥白尼与刻卜勒认为在天体现象中有根本意义的数学简单性也可以在地面上的运动中发现。经院哲学用“本质”、“原因”来不精确地描述运动，以说明物体为什么运动，现在这些已经为时间、空间、物质及力等概念所代替。这些概念第一次有了明晰的定义，而且人们还利用这些概念、运用数学的方法，发现了物体怎样运动，并测定了运动物体的实际速度与加速度。

伽利略更用实验证明要使物体继续运动，并不需要继续施力。一经开动之后，物体靠了与重量有关的某种内在性质会继续前进。在这里，伽利略已经接触到质量和惯性的概念了；虽然他还没有明白地给这个概念下一个定义，他对落体的观察，如果了解得正确的话，已经足以表明这个概念与重量的确切关系。经院哲学家赋予亚里斯多德的本质与性质的无上地位，肯定地让给物质与运动了。¹⁴⁷ 哥白尼与刻卜勒赋予数学和谐的神秘意义，正在转变成另一种观念：在一个变化可以以数学公式用物质和运动来表达的时候，这个变化也就可以从机械上来解释，要么用伽利略的力来解释，要么用笛卡尔所想象的漩涡那样的接触来解释。在 1661 年，波义耳仍然可以反驳经院哲学的观念在化学中的重要性；在物理学中，它们已经死了，但还没有埋葬，从牛顿与其同代人的著作中，还可以听到旧日争论的回声。新的数学方法在动力学中的威力，到 1673 年惠更斯（Huygens）发表了他对重力、摆、离心力和振动中心的研究结果时，就更加明显了。

原子说的一股观念被伽利略采纳了。而伊壁鸠鲁的旧说则由伽桑狄更充分地加以修正与发挥。人们最初是从动力学和天文学的大规模现象中形成这样的概念的：自然界从根本来说是由运动中的物质组成的。现在，这种概念也参加到人们对于物体内部结构的看法中来。原子论并不是伽利略的动力学所必需的，但和根据伽利略的研究成果形成的一般科学观点却也能融合无间。

行星间的以太观念是在十七世纪的思想中开始起作用的另外一个希腊观念。刻卜勒用这个观念来说明太阳怎样使行星运行不息；笛卡尔给它披上了不可捉摸的流质或本原物质的伪装形成他的天体机器的漩涡，并且提供了从

纯粹广延性中推导不出来的重量与其他性质；吉尔伯特用它去解释磁力的吸引，而哈维则认为以太是把太阳热力传给生物的心脏与血液的媒介。

以太观念那时还和神秘学派用来解释存在的本性的盖伦的灵气或灵性混淆不分。我们要记住现代人对物质与情神所作的区别那时还不明确。“灵魂”、“动物元气”一类观念，在当时仍然看做是“发射气”、“蒸发气”，可是在我们看来，“发射气”和“蒸发气”却是物质的。物质与精神的一致，就这样维持着。只有笛卡尔是例外。他首先明白地看出在空间中延展的物质和思想着的心灵有根本差别。在当时大部分人看来，这个分界线似乎存在于一边是固体与液体，另一边是气、火、以太与精神之间。所以用“以太”来解释现 148 象，就是为直接的神灵干预留下余地。

吉尔伯特对当时流行的观念表达得很清楚。他以为磁力是把物体吸引到磁石这边来的所谓“磁素”造成的。重力与磁力有同样的性质，每个物体都有一个“灵魂”，它能放射到空间中去并吸引一切物体。

最后我们不要忘记，十七世纪中叶所有的合格的科学家与差不多所有的哲学家，都从基督教的观点去观察世界。宗教与科学互相敌对的观点是后来才有的。伽桑狄在重新提出原子论的时候，小心避免同古人给与原子论的无神论沾了边。虽然笛卡尔的反对者指摘他设计了一个十分有效的宇宙机器，没有给上帝的控制留下余地，可是笛卡尔仍然认为自然界的数学定律是上帝所建立的，通过思想世界也可以接近上帝。霍布斯的确把哲学局限于自然科学所取得的实证知识，对神学加以抨击，并且把宗教叫做公认的迷信。可是他却同意国家应该建立和实行以圣经为根据的宗教。不过，他的态度是一个例外。一般说来，一切学者都接受了有神论的根本假定，这并不是为了护教的缘故，而是由于他们认为这个假定是普遍接受的资料，任何宇宙学说都必须同它相符合。

中世纪的许多思想方法当时还残存着；波义耳需要反驳经院哲学家的化学观念，不亚于需要反驳炼全家的化学观念。哥白尼的理论虽为数学家和天文学家所承认，但是一般教科书所讲授的仍然是托勒密的体系。占星术仍为人所重视。由于内战的缘故，世事变化不定，机遇无常，因此占星家的每一个预言差不多都肯定有机会应验。就是牛顿，在少年时代也觉得占星术是值得研究的。1660 年，他初入剑桥大学，在别人问他要学什么的时候，据说他回答道：“数学，因为我打算去检验人事占星术”。这个事例，说明牛顿一生中心理观点的转变，这转变主要是由他自己的工作造成 149 的。占星术的著作，特别是历书之类，虽在牛顿之后很长时期里仍继续出版，但到十七世纪末年，就只有无知识的人才对它们感兴趣了。

科学院

A.J.Snow, Matter and Gravity in Newton's Physical Philosophy, Oxford, 1926, p.

Dict.Nat.Biography,"William Lilly","Henry Colley","John Case".

Reverend H.T.Inman, Sir Isaac Newton and one of his Prisms,Oxford (privately printed) . 1927.

T.Sprat, Bishop of Rochester, History of the Royal Society,1667;Record of the Royal

Society,London,1912... ; Martha Ornstein,Scientific Societies in the Seventeenth Century, Chicago and

Cambridge,1928;R.W.T.Gunther,Early science in Oxford,1921 Et seq.;H.Brown, Scientific Organisation in

France,Baltimore,1934.

帮助造成牛顿的学术环境的还有一些别的因素。多年来受到亚里斯多德派的阻挠的新学术，这时已经渗透进有些大学。热心自然哲学的人数迅速地增加，增加的一个表现，便是学会或学院的纷纷成立。会员常常聚会，以讨论新问题并推进新学术。这类学会中的最早一个，在 1560 年出现在那不勒斯，名叫“自然秘奥学院”。1603 至 1630 年，伽利略所属的第一个“林猓学院”成立于罗马，1651 年，梅迪奇 (Medici) 贵族们在佛罗伦萨创立了“西芒托学院”。在英国，学者们从 1645 年起，以哲学院或“无形学院”的名义，在格雷汉大学或伦敦其他地方集会。1648 年，大部分会员因内战迁到牛津，但 1660 年，伦敦的集会又恢复举行。1662 年，在国王查理第二的特许下，这个学会正式定名为“皇家学会”。在法国，同类的科学院于 1666 年由路易十四创立，类似的组织不久也出现于其他国家，这些学会进行了充分的讨论，集中了科学界的意见，公布了会员们的研究成果，因而这些组织成立后，科学的发展愈加迅速，特别是大半的学会不久都开始发行定期刊物。独立的科学杂志最老的一个似乎是《学人杂志》，1665 年在巴黎首次发行。三个月后，又有《皇家学会哲学杂志》问世，这最初是皇家学会秘书私人的事业。别的科学杂志不久也相继出现，不过，直到十七世纪末叶或更后，数学家们还主要是靠私人通信来宣布他们的研究成果。这是一个效率低微的办法，有些发明先后的争执即由此而起，如牛顿和莱布尼茨之间的争执。

刻卜勒的研究成果提供了太阳系的模型，但是，这个模型的大小——太阳系的实际大小——在用天文单位测定一个距离以前，是无法确定的。

在 1672—1673 年，路易十四的大臣科尔伯 (Colbert) 派遣里希 150 尔 (Jean Richer) 到法属圭亚那的卡宴 (Cayenne) 去进行航海上有用的天文学观测。他就测量过行星火星的视差。他的研究成果的最显著的结果，就是认识到太阳和较大行星的巨大体积，以及太阳系的惊人的规模。地球和地球上的人相形之下，就显得很小了。

牛顿与引力

我们已经简要地叙述过牛顿开始工作时科学知识和哲学见解的概况。爱萨克·牛顿 (Isaac Newton, 1642—1727 年) 是一个有 120 英亩土地的小地主所有者的遗腹独生子。牛顿出生于林肯郡伍耳索普 (Woolsthorpe in Lincolnshire)，自幼身体纤弱，在格兰瑟姆文法学校 (Grantham Grammar School) 受过教育。1661 年，他进了剑桥大学的三一学院，在那里他听过巴罗的数学讲演。1664 年，他被选为三一学院的研究生 (Scholar)，次年被选为校委 (Fellow)。1665 至 1666 年，剑桥瘟疫流行，他返回伍耳索普，开始考虑行星的问题。伽利略的研究表明，要使行星和卫星在轨道上运行，而不循直线向空间飞去，必定有一个原因。伽利略把这原因看做是力，但这个力是否存在仍有待于证明。

据伏尔泰 (Voltaire) 说：牛顿在他的果园中看见苹果坠地时找到解决这个问题线索。这个现象引起他猜度物体坠落的原因，并且使他很想知道地球的吸力能够达到多远；既然在最深的矿井中和最高的山上一样地感觉得到这种吸引力，它是否可以达到月球，成为物体不循直线飞去，而不断地向地球坠落的原因。看来，牛顿的头脑中已经有了力随着距离平方的增加而减少的想法，事实上，别人当时似乎也有这样的想法。在牛顿的异父妹汉娜，

巴顿 (Han- mah Barton) 的后裔朴次茅斯 (Portsmouth) 勋爵 1872 年赠给剑桥大学的牛顿手稿中，有一份备忘录，对于这些早期的研究有如下的叙述：

就在这一年，我开始想到把重力引伸到月球的轨道上，并且在弄清怎样估计圆形物在球体中旋转时压于球面的力量之后，我就从刻卜勒关于行星公转的周期与其轨道半径的二分之三方成比例的定律中，推得推动行星在轨道上运行的力量必定与它们到旋转中心的距离的平方成反比例：于是我把推动月球在轨道上运行的力与地面上的重力加以比较，发现它们差不多密合。这一切都是 1665 与 1666 两个瘟疫年份的事，因为在那些日子里，我正在发现旺！盛的年代对于数学和哲学，比以后任何年代都更加关心。惠更斯先生后来发表了关于离心力的研究成果，我想这些研究成果的取得应当在我以前。

读者当会看出，这里牛顿没有谈到他的朋友彭伯顿 (Pember-ton) 所说的故事：牛顿所使用的地球大小的数值不精确，所得出的推动月球在轨道上运行的力与重力不合，因此，他就把他的计算搁置起来。相反地，牛顿却发现“它们差不多密合”。卡焦里 (Cajori) 教授也指出这一点，并且提出证据，说明那时已经有几个关于地球大小的相当精确的估计值，牛顿在 1666 年很可能是知道的。其中之一是冈特 (Gunter) 的估计值：纬度 1 度等于 $66\frac{2}{3}$ 法定英里，而据彭伯顿说，牛顿所用的数值是 60 英里。卡焦里说：

既然牛顿买过“冈特的书”，那么，很可能地，也可以说是无疑地，他知道冈特的估计值： $1^{\circ} = 66\frac{2}{3}$ 法定英里，这与斯内耳 (Snell) 的数值是近似的。

如果牛顿用了 $66\frac{2}{3}$ ，他所算出的物体由静止坠落第一秒钟所走的距离就是 15.53

呎，正确的距离是 16.1 呎。误差只有 $3\frac{1}{2}\%$ 。也许正是由于取得这样的结果，牛顿才说“它们差不多密合”。

亚当斯 (J. C. Adams) 与格累夏 (J. W. L. Glaisher) 在 1887 年指出的牛顿所以迟迟不发表他的计算的原因，比较近乎情理。引力理论里有一大困难，无论如何牛顿是了解的。太阳和行星的大小与它们之间的距离比较是那样的小，在考虑它们之间的关系时，每一星体的全部质量可以看做集中在一点，至少是近似地这样的。

可是月球与地球之间的距离相对地来说并没有那样大，要把月球或地球当作一个质点看，便有问题了。还有，在计算地球与苹果之间的相互引力的时候，我们须记住和苹果的大小或它对地球的距离相比地球是很庞大的。第一次计算地球各部分对于它的表面附近的一个小物体的引力总和显然有很大的困难。这大概就是 1666 年牛顿把他的工作搁置起来的主要原因。卡焦里说牛顿也明白重力随纬度而有变化，同时，地球自转所造成的离心力也有影响；他觉得重力的说明“比他原来所想的更困难”。1671 年，牛顿又好象回到这个问题，但他仍没有打算发表。也许是同样的考虑阻止了他。还有，当时他的光学实验引起的争论也使他感觉十分不快。他说：“我在过去几年中一直在努力离开哲学而从事其他研究”。事实上，他对化学好象比对天文学