

[ 北京大学科技史与科技哲学丛书 ]

# 伽利略研究

ÉTUDES GALILÉENNES

[法]亚历山大·柯瓦雷 著  
刘胜利 译



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

“有关伽利略的文献可谓汗牛充栋，其中有许多质量很高。本世纪有关这位作者的最有影响的著作也许是亚历山大·柯瓦雷的《伽利略研究》。”

——艾伦·G·狄博斯：《文艺复兴时期的人与自然》

(Allen G. Debus, *Man and Nature in the Renaissance*)

“柯瓦雷1939年出版的《伽利略研究》一书成为科学史中思想史学派的开山之作，也是科学哲学中历史学派的真正策源地。”

——吴国盛，北京大学哲学系教授

“柯瓦雷在《伽利略研究》中开启的这一研究传统，使得科学史在二战以后迅速被确立为一门独立的学科。”

——迈克尔·弗雷德曼 (Michael Friedman)，斯坦福大学哲学系教授

## ÉTUDES GALILÉENNES

ISBN 978-7-301-13447-4



9 787301 134474 >

定价：43.00元

## 内容简介：

本书细致入微地描述了一段由伽利略和笛卡尔等伟大的倡导者发起的物理学界的激动人心的思想战斗史。贯穿本书的统一主题为：经典物理学如何起源于表述落体定律和惯性定律的努力。本书在伽利略和笛卡尔之间进行了对比，两者将近代物理学最早和最一般的这两个定律从普通物体的日常遮蔽中提炼出来——将亚里士多德意义上的物理量几何化，即向柏拉图的回归。本书显示了一种新的编史学方法论，这种方法认为，科学的进步体现在概念的进化上，它有着内在的和自主的发展逻辑。

## 作者简介：

亚历山大·柯瓦雷（Alexandre Koyré，1892—1964），科学思想史研究的开创者，生于俄罗斯，在法国获得博士学位并从事教学研究。1939年出版《伽利略研究》，奠定他在科学史研究中的地位。1955年他应聘于普林斯顿高等研究院（Institute for Advanced Study, Princeton），直到1964年去世为止。代表作包括《伽利略研究》、《从封闭世界到无限宇宙》和《牛顿研究》等。

## 译者简介：

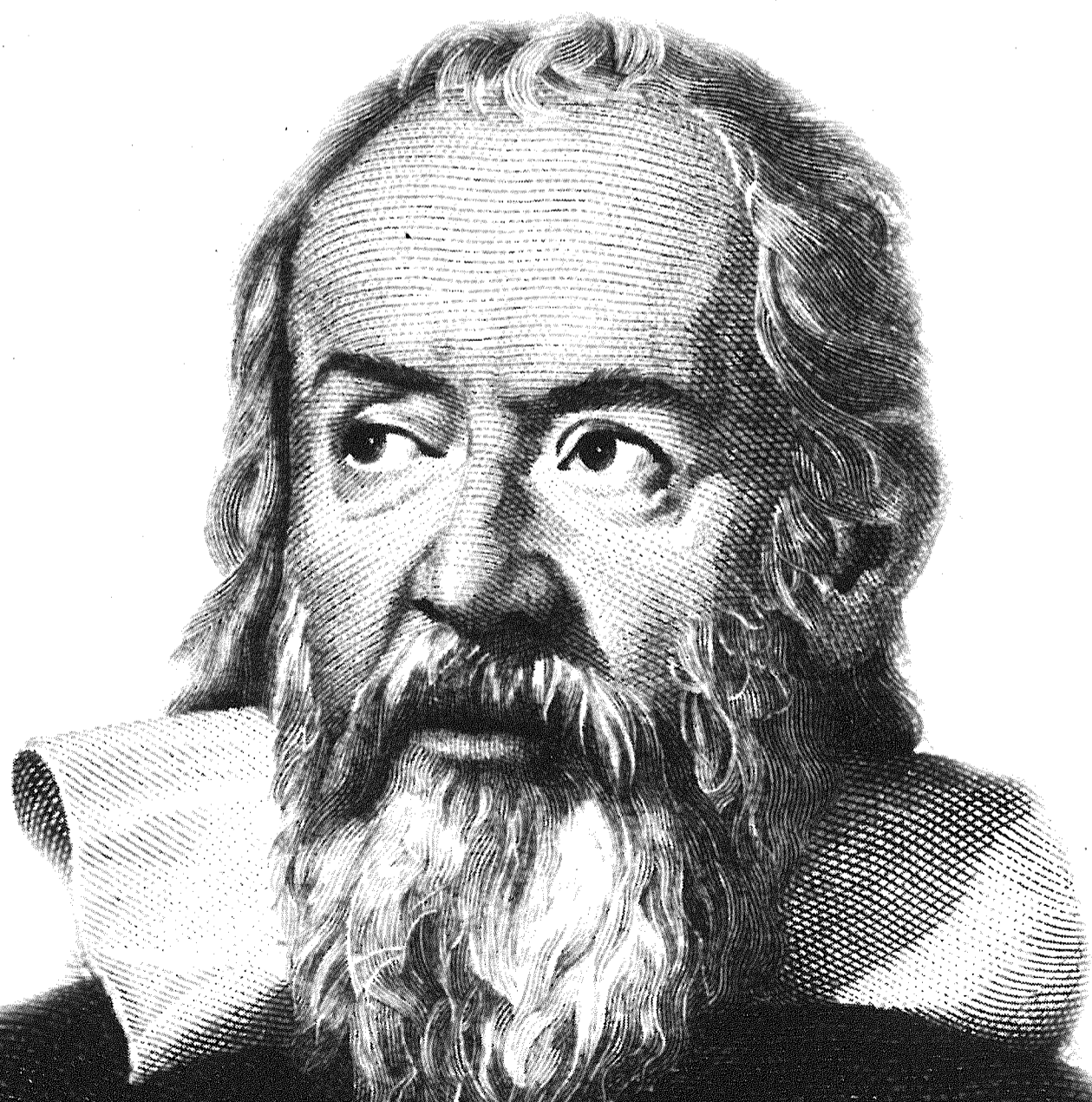
刘胜利，北京大学哲学系博士研究生。

[ 北京大学科技史与科技哲学丛书 ]

# 伽利略研究

ÉTUDES GALILÉENNES

[法]亚历山大·柯瓦雷 著  
刘胜利 译



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

著作权合同登记 图字:01-2003-0192

图书在版编目(CIP)数据

伽利略研究/(法)柯瓦雷著;刘胜利译. —北京:北京大学出版社,  
2008.5

(北京大学科技史与科技哲学丛书)

ISBN 978-7-301-13447-4

I. 伽… II. ①柯…②刘… III. 伽利略,G. G. (1564~1642)-人物  
研究 IV. K835.466.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 024278 号

L'édition originale a été publiée en France sous le titre Études  
galiléennes par HERMANN, éditeurs des sciences et des arts, Paris.

书 名: 伽利略研究

著作责任者: [法]亚历山大·柯瓦雷 著 刘胜利 译

责任编辑: 吴 敏

标准书号: ISBN 978-7-301-13447-4/B·0724

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 电子邮箱: [pkuwsz@yahoo.com.cn](mailto:pkuwsz@yahoo.com.cn)

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 出版部 62754962

编辑部 62752022

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

经 销 者: 新华书店

650mm×980mm 16 开本 27 印张 363 千字

2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 43.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子邮箱:[fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

谨以此书纪念：

**埃米尔·梅耶松**



# 目 录

## 第一部分 经典科学的黎明

引 言	(1)
一、亚里士多德	(8)
二、中世纪的讨论：博纳米科	(16)
三、冲力物理学：贝内代蒂	(47)
四、伽利略	(64)

## 第二部分 落体定律 —— 笛卡尔与伽利略

引 言	(89)
一、伽利略	(92)
二、笛卡尔	(118)
三、再论伽利略	(153)
结论	(177)

## 第三部分 伽利略与惯性定律

引 言	(180)
一、哥白尼学说的物理学问题	(185)
1. 哥白尼	(185)
2. 布鲁诺	(191)
3. 第谷·布拉赫	(205)



4. 开普勒 .....	(210)
二、《关于两大世界体系的对话》与反亚里士多德派的论战 .....	(233)
三、伽利略的物理学 .....	(274)
结论 .....	(318)
附录：重性的消除 .....	(337)
一、伽利略学派 .....	(337)
1. 卡瓦列里 .....	(338)
2. 托里拆利 .....	(345)
3. 伽桑狄 .....	(353)
二、笛卡尔 .....	(369)
1. 《论世界》( <i>Le Monde</i> ) .....	(369)
2. 《哲学原理》( <i>Les Principes</i> ) .....	(388)
人名译名对照表 .....	(400)
柯瓦雷的生平与著作 .....	(403)
译后记 .....	(425)

## 第一部分

# ■ 经典科学的黎明 ■

## A l'aube de la science classique

总有一天,我们的后人会惊讶于我们对如此显然的事物的无知。

11

(Veniet tempus quo posterī nostri tam aperta nos nescisse mirentur.)

——塞涅卡:《自然问题》(Sénèque, *Nat. quæes.*, VII. 25. 2.)

## 引 言

幸运的是,如今已无须再强调科学史研究的意义了。在迪昂、梅耶松、卡西尔、布兰舒维克等人发表了他们那些杰出的著作之后,更无须再去强调这种研究的哲学意义及其累累硕果。<sup>〔1〕</sup> 因为科学史的研究对象是科学观念的演变(与革命),它不仅是唯一能(与相关的技术史一起)赋予屡遭颂扬和诋毁的进步观念某种意义的历史,而且关于它的研究还为我们展示出人类心灵力图把握实在的历程,揭示出他们的成功与失败,并使我们看到,在理解实在的道路上,人类每前进一步都要付出超乎寻常的努力。这种努力有时会导致人类思想发生真正的“嬗变”(mutation)。<sup>〔2〕</sup>

---

〔1〕 还可参见费德里戈·昂里克撰写的精美小册子:《科学思想史的意义》(Federigo Enriques, *Signification de l'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Hermann, 1934)。

〔2〕 我们从巴什拉那里借用了“思想嬗变”(mutation intellectuelle)的观念与术语,参见 G. Bachelard, *Nouvel Esprit scientifique*, Paris, 1934; 也可参见 G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, 1938.

正是由于这种嬗变或转变,那些一度由最伟大的天才们费尽艰难才“发明”出来的观念,最终变得不仅连中学生都能理解,而且对后者来说,这些观念都是那样地浅显和自明。

12 17 世纪的科学革命无疑正是这样一场嬗变。即便它不是自希腊思想发明了宇宙(Cosmos)<sup>〔3〕</sup>以来发生的最重要的嬗变,它也至少是其中最重要的嬗变之一。它是一场深刻的思想转变,近代物理学(或者更确切地说,经典物理学)<sup>〔4〕</sup>既是它的表现,又是它的成果。

人们往往试图用一种精神态度的彻底转换来刻画和解释这场转变:从此以后,行动的生活(vie active)比静观的生活(vie contemplative)更获推崇,于是近代人寻求支配自然,而中世纪或古代的人却只追求静观自然。因此,经典物理学(即伽利略、笛卡尔和霍布斯的物理学,一种行动和操作的科学,一种使人类成为“自然的主宰者和拥有者”的科学)的机械论就可以通过这种支配和行动的渴望而获得解释。将“工匠人”(homo faber)<sup>〔5〕</sup>的思想范畴运用于自然,这只不过是重新表述了以上观点。正如有人曾经说过,笛卡尔的科学(更不用说伽利略的科学)是“一种工程师的科学”<sup>〔6〕</sup>。总体来看,上述观点无疑是正确的,有时甚至就细节来说也是正确的(我们只要想一想静观和行动这两者的价值与本体论地位在近代哲学中所发生的倒转,只要想一想笛卡尔的物理学中那些与滑轮、细线、杠杆相关的意

---

〔3〕 法语 Cosmos 和 Univers(英语的 Cosmos 和 Universe)是西方宇宙论中两个重要的宇宙概念。前者希腊词源的原意为秩序,与混沌(chaos)相对,后被用于指称古希腊和中世纪宇宙论中和谐有序、层次分明的封闭世界,强调的是和谐、秩序;后者指在时空中存在的所有事物的总体,强调的是总体性;柯瓦雷有时会用这两个概念的区别与对立来标示科学革命前后空间观和宇宙观的根本变化。——译者

〔4〕 面对最近十年来的科学革命,将“近代的”(moderne)这个修饰语留给这场革命,并将“前—量子物理学”称为“经典的”(classique),似乎是更为可取的做法。

〔5〕 我们不应该将这个已经广为流传的概念与柏格森的对立概念相混淆。对于柏格森来说,所有的物理学,包括亚里士多德的物理学与牛顿的物理学,归根结底都是“工匠人”的作品。

〔6〕 参见 Laberthonnière, *Etudes sur Descartes*, vol. II, Paris, 1935, pp. 288-289; p. 297; p. 304:“开发事物的物理学”(physique de l'exploitation des choses)。

象和解释就足以理解这一点),但在我们看来,这种观点还是显示出了总括性解释所带有的全部缺点。此外,它还忽略了中世纪在技术方面所做的努力以及炼金术的精神态度。最后,它所描绘的行动主义态度实际上是培根的态度(他在科学革命的历史中所起的作用完全可以忽略不计)<sup>〔7〕</sup>,而不是笛卡尔或伽利略的态度。经典物理学的机械论远远不是一种工匠<sup>〔8〕</sup>或工程师的观念;相反,它恰恰否定了这样的观念。<sup>〔9〕</sup>

13

人们也常常谈到实验的作用,谈到一种“实验观念”(sens expérimental)<sup>〔10〕</sup>的诞生。经典科学的实验特征无疑是它最典型的特征

---

〔7〕“培根是近代科学的创立者”是一种开玩笑的说法,并且是一种非常糟糕的玩笑,但许多教科书还在重复这样的玩笑。实际上,培根完全不懂科学,他盲目轻信而又完全缺乏批判精神。他的精神气质(mentalité)更接近于炼金术与巫术(比如,他相信“感应”)。简言之,他的精神气质更接近于一个原始人或文艺复兴时期的人,而不是接近于伽利略,甚至也不接近于一位经院哲学家。

〔8〕笛卡尔或伽利略的科学无疑给工程师带来了利益,并且被技术所利用,造就了众所周知的成功。但是,这种科学既不是由技师所创造,也不是为技术而创造。

〔9〕“作为工匠的笛卡尔”(Descartes artisan),这种笛卡尔主义的观点先由勒瓦尔在他的著作《社会的笛卡尔》(M. Leroy, *Descartes social*, Paris, 1931)中发展出来,并被伯克瑙在他的著作《从封建世界观到资产阶级世界观的过渡》(F. Borkenau, *Der Uebergang vom feudalen zum burgerlichen Weltbild*, Paris, 1933)中将其推到一个荒谬的极端。伯克瑙用一种新的生产方式,即“制造”(La manufacture)的出现来解释笛卡尔科学与哲学的形成;另参见格罗斯曼在“机械论哲学的社会基础与制造”(H. Grossmann, “Die gesellschaftlichen Grundlagen der mechanistischen Philosophie und die Manufactur”, *Zeitschrift fur Sozialforschung*, Paris, 1935)一文中对伯克瑙的著作所给出的批评,这个批评比伯克瑙的著作本身更富有教益。

至于伽利略,奥尔什基在其著作《伽利略与他的时代》中(L. Olschki, *Galilei und seine Zeit* [Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur, vol. III], Halle, 1927)将他归入文艺复兴时期的工匠、建筑师和工程师的传统。然而,即使文艺复兴时期的工程师和艺术家对打破亚里士多德主义的桎梏也贡献良多,他们甚至会(就像列奥纳多·达·芬奇和贝内代蒂那样)试图发展出一种反亚里士多德主义的新动力学,那么,正如迪昂已经揭示,这种新动力学也大体上属于巴黎唯名论者的动力学。如果说贝内代蒂(伽利略的前辈中最杰出的一位,远比其他他人更为出色)有时会超越“巴黎学派”动力学的层次,这并不能归功于那些工程师和炮兵的著作,而应归功于他关于阿基米德的研究。

〔10〕有些人甚至将实验家伽利略与理论家笛卡尔进行相互对比,正如我们在下文将会看到,这种观点是相当错误的。参见我本人向第九届国际哲学会议(IX<sup>e</sup> Congrès International de la philosophie)提交的论文:《伽利略与笛卡尔》(Galilée et Descartes),参见 *Travaux*, t. II, p. 41 sq., Paris, 1937.

之一。但实际上,这种说法有些含混:从原始实验,即常识观察的意义来看,实验在经典科学的诞生过程中并没有发挥任何作用,如果说有作用,那也只会是一种阻碍作用,而且巴黎唯名论者的物理学(甚至亚里士多德的物理学)往往比伽利略的物理学更接近于这种实验。<sup>[11]</sup>至于实验方法(即对自然进行有条理的拷问),它既预设了提出问题所使用的语言,也预设了使得解读自然的回答成为可能的某种语汇。但是,如果经典科学拷问自然所使用的是一种数学语言(或者更确切地说,一种几何学语言),那么这种语言,或者更确切地说,使用这种语言的决定(这种决定对应着一种形而上学态度的转变<sup>[12]</sup>)乃是支配着实验,而不可能反过来被实验所支配。

- 14 还有另一种较温和的努力,那就是通过某些显著特征来刻画经典物理学的特点,认为正是由于这些特征,物理学才成其为物理学。因此,人们会强调速度和力<sup>[13]</sup>、“瞬间”(moment)等相互关联的观念在伽利略的物理学中所起的作用,并认为这些观念表达了一种非常深刻的直觉,表现了对物理过程的强度甚至瞬间强度的直觉。<sup>[14]</sup>这种观点无疑非常正确,我们只需考虑一下笛卡尔物理学的瞬时主义(instantanéisme)<sup>[15]</sup>,考虑一下速度的元素或速度元(即瞬时速度)的观念,就足以理解这一点。然而,与其说这种刻画适用于笛卡尔或伽利略的物理学,不如说它更适用于

---

[11] 例如,没有任何人曾经观察到惯性运动,原因很简单,因为使得这种运动成为可能的那些条件是无法实现的。梅耶松已经指出,经典物理学的各种原理和实验之间的一致性是多么微不足道。参见 Emile Meyerson, *Identité et Réalité*<sup>3</sup>, Paris, 1926, p. 156.

[12] 它对应着:“存在”(être)相对于“生成”(devenir)重获优先地位。

[13] 尤其参见 E. Duehring, *Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik*, Berlin, 1875, p. 24 sq.

[14] 参见 Kurd Lasswitz, *Geschichte der Atomistik*, Hamburg und Leipzig, 1890. Bd. II, pp. 23 sq.

[15] 参见 J. Wahl, *Le rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, Paris, 1920.

牛顿的物理学,因为牛顿物理学才以力的观念为基础,而笛卡尔或伽利略的物理学则试图避开力的观念。上述刻画用于布里丹和奥雷斯姆的“巴黎学派”物理学甚至更为贴切。经典物理学当然是一种动力学。然而,它在诞生之初却是以一种运动学的面貌出现的。<sup>[16]</sup>

最后,人们还试图通过强调惯性原理所起的作用来刻画经典物理学。<sup>[17]</sup>毫无疑问,这也是正确的(我们只需考虑一下惯性观念在所有经典科学中的基础地位,再想一想这个事实,即古代人闻所未闻的惯性原理先是隐含在伽利略物理学的背后,而后才成为笛卡尔物理学的基本原理)。但在我们看来,这种刻画还是显得有些肤浅。仅仅指出这个事实是不够的,我们还须解释为什么近代物理学已经能够接受惯性原理,也就是说,必须解释这种在我们看来如此自明的观念为何以及如何获得了这种先天自明的地位;而对于希腊人和中世纪的思想家来说,这种观念显然陷入了无可救药的荒谬之中<sup>[18]</sup>。

15

因此,我们相信经典科学的思想态度可以用以下两个紧密关联的环节来刻画:宇宙(Cosmos)的解体与空间的几何化,也就是说,基于宇宙(Cosmos)的所有考虑在科学推理中完全消失<sup>[19]</sup>,以及用欧几里得几何

---

[16] 事实上,伽利略关于落体定律的著名推导(参见:*Opere*, Ed. Nazionale, vol. II, p. 261 sq. 以及 *Discorsi*, *Opere*, vol. VIII, p. 222)仅仅涉及对加速运动的最简单的形式进行了一种纯粹运动学的研究,它既没有使用“力”的观念,也没有使用“质量或吸引”的观念。参见本书第二部分:“落体定律”。

[17] 参见 E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*<sup>2</sup>, Berlin, 1911, Bd. I, pp. 394 sq.; Kurd Lasswitz 的前引著作; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Leipzig, 1921, pp. 117 sq. 以及 E. Wohlwill, “Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes”, *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vol. XIV 以及 vol. XV.

[18] 梅耶松已经非常正确地提请人们注意这一点。参见 Emile Meyerson, *Identité et Réalité*, Paris, 1926, p. 124 sq.

[19] 没有什么比在这一点上比较伽利略和开普勒两人更耐人寻味了。开普勒仍然是一位宇宙论者(un cosmologue),伽利略已不再是宇宙论者。参见 *Dissertatio cum Nuntio sidereo*, in *Opere de Galilée*, vol. III, p. 97 sq.; 另参见我本人发表在 1934 年《高等研究实用学院年鉴》(*l'Annuaire de l'Ecole pratique des Hautes Etudes*, 1934)中的《报告》(Rapport)。

学的抽象空间来替换前伽利略物理学的具体空间。正是这种替换才使得惯性定律的发明成为可能。

16 我们已经说过,这种思想态度似乎已经成为某种重要嬗变的结果。正是由于这种嬗变,那些在我们今天看来如此简单幼稚的事物,才需要伽利略、笛卡尔等最伟大的天才耗费如此漫长的努力,而且这些努力并非总是能够获得成功。这里所涉及的并不是与错误的或者有缺陷的理论作斗争,而是对整个思想框架本身进行改造,即推翻一种大体上非常自然的思想态度<sup>[20]</sup>,并将它替换成另一种完全不自然的思想态度。正因为此,我们才能解释为什么(尽管存在着卡韦尼<sup>[21]</sup>和迪昂<sup>[22]</sup>特别强调的那种相反的历史连续性表象)发端于布鲁诺、伽利略和笛卡尔思想的经典物理学实际上并未延续“伽利略的巴黎学派先驱”的中世纪物理学:它从一开始就已经定位在一个不同的层次之上,我们乐意将这个层次称为“阿基米德的层次”。因为经典物理学的先驱和导师不是布里丹或者奥雷斯姆,而是阿基米德。<sup>[23]</sup>

---

[20] 参见迪昂的《世界体系》(P. Duhem, *Le Système du Monde*, I, pp. 194-195):“实际上,这种动力学看起来与日常观察符合得如此完美,以致那些刚刚开始思考力和运动的人不可能不立即接受它。……为了使物理学家们最终拒绝亚里士多德的动力学,并开始构造近代动力学,他们必须理解他们日常所见现象绝不是动力学基本定律应该直接应用的一些简单和基本的现象。船只被纤夫拉着前进,马拉着车在路上行驶,这些都应该被视为极端复杂的运动。总之,为了能提出运动科学的原理,人们必须通过抽象来考虑一个运动物体在唯一的力的作用下在虚空中运动。然而,亚里士多德却走得如此之远,以致从他的动力学中得出的结论是:这样一种运动是无法想象的。”

[21] 参见卡韦尼的五卷本著作:《意大利实验方法的历史》(Caverni, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, 5 v., Firenze, 1891-1896),尤其参见第三卷和第四卷。

[22] 参见迪昂的以下著作或论文:P. Duhem, *Le Mouvement absolu et le mouvement relatif*, Paris, 1905; “De l'accélération produite par une force constante”, *Congrès International d'histoire des sciences*, III<sup>e</sup> Session, Genève, 1906; *Etudes sur Léonard de Vinci, Ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*, Vol. III, *Les Précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, 1913.

[23] 在我们看来,16世纪的科学工作可以被归结为接受并逐渐消化阿基米德的著作。对于科学思想史来说,“文艺复兴”这一流行观念显得极为贴切。

我们可以将中世纪和文艺复兴时期的科学思想(物理学思想)的历史划分为三个时期(我们开始慢慢熟悉这段历史,首先要归功于迪昂的那些令人钦佩的著作)。或者更确切地说,鉴于历史年代的先后顺序并不能精确对应于这种划分,我们不妨将这段科学思想史大致划分为三个阶段,依次对应于三种不同类型的思想。首先是亚里士多德的物理学;其次是冲力(*impetus*)物理学,这种物理学就像所有其他事物一样均由希腊人所开创,而后尤其是在14世纪,布里丹和奥雷斯姆的巴黎学派对它进行了详细探讨<sup>[24]</sup>;最后则是数学的、实验的、阿基米德的或者伽利略的物理学。

现在,我们在伽利略青年时期的著作中重新发现的正是这三个阶段的物理学。因此,这些著作不仅能够告诉我们关于伽利略思想的历史(或前史)的某些情况以及支配和推动他的思想的那些理由和动机,而且还能通过作者那颗令人赞叹的心灵所提炼和澄清的一种引人入胜的历史概括,向我们展示整个前伽利略物理学的演变过程。因此,对于科学思想史家来说,对这些著作进行认真细致的研究,其意义无论如何强调都不过分<sup>[25]</sup>。

---

[24] 参见 P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, 3. v., Paris, 1909-1913; 另参见: F. J. Dijksterhuis, *Val en Worp*, Gröningen, 1924; Ernst Borchert, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme* (“Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters”, vol. XXX, 1/3), Münster, 1934.

[25] 人们有时会说(参见 E. Mach, *op. cit.*, p. 118 sq. 以及 E. Wohlwill, *Galilei und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre*, Hamburg und Leipzig, 1909, vol. I, p. 115), 在伽利略青年时期的著作,尤其是在比萨时写的《论运动》(*De Motu*)中,伽利略所做的只不过是遵循了贝内代蒂的教导(参见 J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, 1585),只是他没有说出贝内代蒂的名字而已。正如我们在下文将会看到,这个判断并不完全正确:因为伽利略一方面追随贝内代蒂(这一点可以从以下事实获得解释,即无论是贝内代蒂的思想还是青年伽利略的思想,两者都是由巴黎学派的“经验主义”和阿基米德的数学主义共同构成的某种奇特的混合体),另一方面又往往会偏离贝内代蒂,而当他发生偏离时,他又往往是正确的。在这些情况下,我们会说,与贝内代蒂相比,伽利略表现出了更深刻的“经验主义”和“阿基米德主义”。正是这一点使得关于伽利略的研究如此富有教益。



## 一、亚里士多德

首先,我们来探讨亚里士多德的物理学。在伽利略的青年时期著作集(*Juvenilia*)<sup>[26]</sup>中,我们可以发现关于一门物理学课程(或者更确切地说,宇宙论课程)的一个颇大篇幅的残篇,其内容与大多数欧洲大学在16世纪讲授的内容大致相同。可惜的是,这个残篇并不完整。它只包含了关于《论天》(*De Coelo*)的一部分注释。然而,我们也许可以借助博纳米科的《论运动》(*De Motu*)<sup>[27]</sup>来补充它。因为就在伽利略于比萨求学的同一时期,博纳米科恰是那儿的哲学教授。毫无疑问,伽利略曾经上过他的课。但是,严格说来,我们并无必要求助于博纳米科的鸿篇巨制:尽管伽利略的残篇并不完整,但它依然十分清晰(异常清晰)地为我们阐述了关于亚里士多德的宇宙论物理学的各种原理,其清晰程度至少能与中世纪人们对上述宇宙论物理学的理解相媲美。

这种宇宙论物理学是如此广为人知,以致我们根本无需在此叙述它,甚至在下文谈到伽利略时依然无此必要。然而,我们还是应该回忆一下它的那些原理和基础。我们也想通过这样做来防止对亚里士多德著作的某种低估或误解,这种低估或误解如今实在是过于常见了。

我们很清楚地知道,亚里士多德的物理学是错误的。它已经无可挽

---

[26] 刊登在令人赞赏的国家版《伽利略全集》(Edizione Nazionale des *Œuvres* de Galilée)的第I卷。

[27] Francisci Bonamici Florentini, e primo loco philosophiam ordinariam in Almo Gymnasio Pisano profitentis, *De motu, libri X, quibus generalia naturalis philosophiae principia summo studio collecta continentur*...Florentiae, apud Bartholomeum Sermartalium, MDCXI. 伽利略的传记作者们通常都会提到博纳米科的著作。但是,看来他们当中没有任何人有勇气去翻开博纳米科的大部头著作(对开本1011页),甚至连法瓦罗和沃尔威尔也不例外。

回地过时了。<sup>〔28〕</sup> 尽管如此,它仍然是一种物理学,也就是说,是一种(尽管并非以数学化的方式)高度成熟的理论。<sup>〔29〕</sup> 它既不是关于常识的某种原始和字面的扩展,也不是一种幼稚的幻想,而是一种理论或学说。这种学说当然也是从常识材料出发,但它却使这些常识材料服从一种极其严格和融贯的系统阐释。

亚里士多德的阐释所赖以建立的常识事实其实很简单,我们完全能够像亚里士多德一样接受这些事实。一个重物落向地面,对我们所有人来说,这似乎都是非常“自然的”。<sup>〔30〕</sup> 如果我们看到一个重物(一块石头或一头公牛)自由地升起到空中,我们也会像亚里士多德本人和圣托马斯一样感到非常吃惊。我们几乎不会认为这种现象是“自然的”,而会试图在某种隐蔽机制的作用中寻求关于这种现象的解释。

当我们看到一根火柴燃起的火焰朝向“上面”,当我们把平底锅置于火焰“之上”,我们同样觉得非常“自然”。而当我们看到,比如说,火焰竟倒转过来“朝下”,我们一定会感到非常吃惊,并会试图寻求一种解释。但有人会说,这是一种过于简单和幼稚的论证。因为当我们想解释那些看起来非常“自然的”现象时,这只不过是科学的开端之处。事情无疑就是如此。当热力学把“热不会从一个冷的物体传递给一个热的物体”设定为一条基本原理时,它只不过在为一种常识的直觉转换一种说法。根据这种直觉,一个热的物体会“自然地”变凉,而一个冷的物体则不会“自然地”变热,难道不是这样吗? 再比如,当我们提到一个系统的重心倾向于占据最低的位置而且不会自动升高时,这难道不也同样也只是在为常识的基本直觉转换一种说法吗? 在亚里士多德的物理学中,这种基本直觉就用“自然运动”(mouve-

〔28〕 迪昂是唯一认真地想要复兴亚里士多德物理学的学者,他的失败就很能说明这一点。

〔29〕 亚里士多德的物理学本质上是非数学的。如果不曲解它的原意,人们无法将它数学化(例如,通过将它表述为基于如下原理:速度与力成正比,与阻力成反比。但这种比例性只是亚里士多德物理学原理的一种逻辑后承而已)。

〔30〕 很久以前就已经有人指出,从来没有过一位关于“重”的神。

ment naturel)和“受迫运动”(mouvement violent)的区分来表达。<sup>[31]</sup>

但是,亚里士多德的物理学并不满足于用自己的语言来表达我们刚刚提到的常识现象:它为这些现象转换了一种表达框架,“自然运动”和“受迫运动”的区分也被嵌入一种物理实在的普遍概念框架之中。<sup>[32]</sup> 这种普遍概念的首要方面看起来在于:(a)相信每一种事物都有其特定的“本性”(natures);<sup>[33]</sup>(b)相信存在着一个宇宙(Cosmos)<sup>[34]</sup>,也就是说,相信存在着一些关于秩序的原则,根据这些原则,所有实在的存在物(自然地)形成了一个秩序井然的统一整体。

19 统一整体,宇宙秩序:这些观念意味着,在宇宙中,所有事物都是(或应该是)以一种十分确定的方式分布和排列着;也意味着这些事物存在于此处或彼处对它们来说并非无关紧要;恰恰相反,上述观念意味着每一事物都在宇宙中拥有一个与其本性相一致的固有位置(lieu propre)。<sup>[35]</sup> 每一位置都为某一事物所专有,而每一事物也都呆在自己的位置上。“自然位置”(lieu naturel)的观念就表达了亚里士多德物理学的这种理论要求。<sup>[36]</sup>

“自然位置”的概念表达了一种关于秩序的纯粹静态的观念。事实上,如果所有事物都“处于秩序之中”,那么所有事物都将静止在其自然位

[31] 参见 E. Mach, *Mechanik*<sup>8</sup>, pp. 124 sq.

[32] 有人甚至会说,亚里士多德的伟大之处恰恰在于他想解释那些“自然的”现象。

[33] 在亚里士多德哲学中,“自然”(希腊词源为:φύσις, physis)一词有着多种不同的含义,“本性”就是其中的一种。法语的“nature”一词仍保留着“自然、本性、本质、性质”等多种含义,故需根据语境以及中文表达习惯选择不同的中译。本书在大多数情况下译成“自然”或“本性”,少数情况译成“本质、性质”。——译者

[34] 在此有必要指出,从“整体”这一意义来看,Cosmos、Univers 等术语在经典物理学阶段已经丧失了所有的意义,但却似乎在爱因斯坦之后又获得了一种新的意义,这一事实耐人寻味。

[35] 只有当一种存在物处于“它的位置”时,它才会达致完整无缺和尽善尽美,也正是由于这一点,它才总是倾向于返回那里。

[36] “自然位置”的观念蕴涵着各种运动的有限性,从而也意味着宇宙的有限性。或者人们可以选择这样的说法,即自然位置的观念表达了一个有限宇宙的观念。

置,并一直待在那里不会离开。〔37〕

的确,一个物体为什么要离开它的自然位置呢?实际上也恰恰相反,它对任何想驱赶它离开自然位置的力量都会进行某种反抗,只有强迫(violence)才能迫使它离开自己的自然位置。正是由于这样一种强迫,它才不再处于“它的”位置之中,而在这种情况下,物体总会试图返回其自然位置。

因此,所有的运动都意味着一种宇宙的失序,一种平衡的打破。当某种外部力量(即强迫)的作用打破某种平衡时,物体的运动本身或者是这种平衡打破的直接结果,或者正相反,上述运动是针对失衡所采取的某种补偿性努力的结果,目的是为了重新找回已失去或已被打破的平衡,以及为了使上述物体返回到它们自然、恰当的位置(这样它们就会重新呆在那儿并保持静止)。正是这种秩序的恢复构成了我们所称的“自然运动”。〔38〕

平衡的打破,秩序的恢复:人们清楚地知道,秩序形成了一种稳定的状态,而且这种状态将会无定限地持续下去。因此,人们没有必要解释静止,至少不必解释一个物体停留在它的固有位置的那种自然的静止,因为它的本性自身就已经解释了这种静止,比如说,解释了地球位于宇宙中心的这种静止。人们也知道,运动必然是一种过渡的状态;当运动物体达到了它的目的时,自然运动也就自然地终止了。至于受迫运动,亚里士多德因过于乐观以致不相信这种反常的状态会永久持续下去。此外,由于受迫运动属于某种产生无序的无序,承认它会无定限地持续下去,实际上恰

20

---

〔37〕 向上的自然运动证明了宇宙的有限性:参见下文第 66 页伽利略对此的批评。[本书自引页码均指法文版页码,即中文版旁码,下同。另外,看来本书法文版将三篇独立的论文汇集出版时,各篇论文注释中的原有页码并未进行统一校正和统一编码,所以,这个自引页码是错误的,下文的所有自引页码都存在这个问题。英文版已通过各种方式分别做出了校改。以下凡遇到类似情况,均依据英文版做出相应校改,不再一一注明。此处页码应校改为:下文第 72 页。——译者]

〔38〕 球状宇宙内部的几何秩序对应于其性质秩序(重—轻),因此,不言而喻的是,物体所进行的运动究竟是受迫运动还是自然运动,就取决于上述物体是在远离还是在靠近它的固有位置。同样不言而喻的是,这两种运动是互不相容的,参见 Galilée, *Juvenilia, Opere*, I, pp. 61 sq.

恰意味着放弃了宇宙(Cosmos)的观念本身。因此,人们坚信这句令人放心的箴言:没有任何违反自然的事物能够持续存在(Rien de ce qui est *contra naturam potest esse perpetuum*)。

因此,正如我们刚才所说,在亚里士多德物理学中,运动本质上是一种过渡的状态。但严格说来,这种断言从两个方面来看是不确切的。一方面,事实上虽然对于每一个运动物体,至少是对于那些“月下区的”(sublunaire)物体,即我们可感经验中的物体来说,运动本质上是一种有限和过渡的状态,但对于宇宙作为一个整体来说,运动却仍然是、也必然是一种永恒的现象。<sup>[39]</sup> 同理可得,这种运动也永远是一种必然的现象。人们只能通过宇宙(Cosmos)的结构本身之中发现它的根源才能解释这种现象,即假定诸天球及其轨道存在着一种永恒的、均匀的、从而也是“自然的”运动,并假定这种运动是月下区存在物的那些暂时和变化的运动的原因;<sup>[40]</sup>另一方面,严格说来,运动并不是一种状态:它是一种过程,一种生成(devenir)。在这种过程或生成中,存在物自我形成、自我实现、自我完善。<sup>[41]</sup> 当然,生成总是朝向存在(être)这一目标和终点;运动的目标和终点就是静止。但是,这种不变的静止(repos)是一种完全实现了的存在,它与一个不能运动的存在物的那种笨拙无力的不动(immobilité)

---

[39] 由于运动只能通过另一种运动产生,因此,所有的实际运动都蕴涵着一个在先原因的无限序列。

[40] 在一个有限的宇宙中,圆周运动是唯一能够无定限地持续下去的一种均匀运动。同时,如果我们将这种运动赋予作为整体的天球,那么这种运动也是一种不会改变任何事物的运动。由此可见,它最接近于一种自然状态。因此,亚里士多德的反对者们或者竭力试图证明一般圆周运动的自然特征可以适用于所有事物;而不仅仅适用于天界事物(这种努力最终导致了哥白尼的动力学);或者像伽利略那样,通过对亚里士多德的误解,试图证明“围绕中心”而进行的圆周运动既不是受迫运动,也不是自然运动,因为“在圆周运动中物体既不靠近中心,也不远离中心”。参见下文第 167 号注释。

[41] 因此,运动是发生在运动物体之中并且能够影响运动物体本身的某种事物。因而我们完全可以理解,一个运动物体只能有唯一的自然运动。如果这个物体同时受到两种不同运动(自然运动和受迫运动)的影响,那么,这两种运动将会相互干扰。

完全是两回事；前者是现实，而后者只是匮乏（privation）。因此，从本体论的角度来看，运动（过程、生成、改变）正处于上述两者之间。它是所有变化着的事物的存在，只不过这种存在正处于变化和改变之中。<sup>〔42〕</sup>因此，亚里士多德提出了他关于运动的著名定义：“潜能的存在”作为“潜在者”的实现（笛卡尔将会发现这个定义完全无法理解），这个定义以令人赞赏的方式成功地表达了这样一个事实，即除了上帝（Dieu）之外，所有事物都要通过运动来获得存在（或实现<sup>〔43〕</sup>）。

21

因此，运动就是变化，就是不断地具有不同的状态（*aliud et aliud se habere*），就是表现得（或是）越来越不同。一方面，这蕴涵着一个固定的参照点，相对于这个参考点来说，运动物体才表现得越来越不同<sup>〔44〕</sup>；也就是说，如果涉及位置运动（*mouvement local*），一定蕴涵着物体相对于它而运动的一个固定点，一个坐标的绝对中心，即宇宙的中心；另一方面，由于所有的变化和过程都需要一个解释它的原因，这也就意味着，所有的运动首先都需要一个引起运动的施动者（*moteur*）；<sup>〔45〕</sup>其次，如果运动一直在持续，那么它还需要施动者来维持这个运动。事实上，运动不像静止那

---

〔42〕 人们通常会说，亚里士多德的物理学被各种生物学范畴所主宰。这种说法无疑是正确的（运动的概念可以被理解为表达了生命介于“精神的不朽性”与“死亡的不动性”之间的某种中介地位）。但是，在我们看来，这种解释并没有认识到以下事实，即状态与过程（存在与生成）之间的区分完全是一种普遍的区别，这种区分并不仅限于生物。

〔43〕 在中世纪关于运动本质的各种（极端复杂的）讨论中，运动通常被认为是一种特殊类型的形式——流动的形式（*forma fluens*）。参见前引 Duhem、Dijksterhuis、Borchert 等人的著作，同时可参见：S. Moser, *Grundbegriffe der Naturphilosophie bei Wilhelm von Ockham* (Philosophie und Grenzwissenschaften, vol. IV, fasc. 2-3), Innsbruck, 1932.

〔44〕 因此，位置运动既是相对的，同时又总是绝对的。说它是相对的，是因为它必然蕴涵着一个参照点，就其“本身”而言，它并不能被构想为像牛顿那种相对于无（rien）的绝对运动；说它是绝对的，是因为运动在其间发生的所有“位置”构成了一个绝对系统，这个系统拥有本质上固定不变的界限。

〔45〕 法文的“*moteur*”、英文的“*mover*”一般译为“推动者”，缺点是译名中的“推”只是具体施动方式之一，故译为“施动者、致动者”为佳。本书中一般情况下译为“施动者”，但有时为了与“被推动、被推动者、推动力”等中文表述协调一致而选译为“推动者”。——译者

样能够自动延续下去。因为静止只不过是一种状态或匮乏，它不需要一种原因来解释它的持续。但是，运动却是一种过程，一种实现，甚至是一种持续的实现，它不可能离开它的原因。如果取消它的原因，运动便会随即中止；原因终止，结果便终止(*cessante causa cessat effectus*)。<sup>[46]</sup>

至于“自然”运动，它的原因或施动者就是物体自身的本性(nature)，是寻求使物体返回其位置的形式；正是上述本性或形式维持着物体的运动。与此相反，一种非自然的运动在其整个延续过程中，始终需要一个外部施动者持续发挥作用，而且这个施动者还必须一直与运动物体相关联。取消这个施动者，运动将随之停止。将这个施动者与运动物体相分离，运动同样会停止。事实上，亚里士多德不接受超距作用<sup>[47]</sup>：在他看来，所有的运动传递都意味着某种相互接触。因此，他只承认有两种运动的传递方式：推和拉。<sup>[48]</sup> 我们清晰地看到，亚里士多德的物理学是一种非常出色的理论，它具有令人钦佩的融贯性。说实话，除了它是错误的这一缺点之外，它只有一个独特的缺陷：即它与日常实践相矛盾，尤其与抛射体的实践相矛盾。但是，一个名副其实的理论家从不会听任自己被一种常识的反驳所困扰。当他发现某种与自己的理论不一致的现象时，他就先否认它；而当他不能否认这种现象时，他就解释它。正是在对这种现象(抛射体现象，即尽管失去了施动者，运动依然持续着；这种现象显然与亚里士多德的理论不相容)的解释中，亚里士多德向我们展示了他全部的天才。<sup>[49]</sup> 事实上，他的抛射体理论(对一个柏拉图评注的系统阐释<sup>[50]</sup>)试

[46] 亚里士多德说得完全有道理。没有任何过程(生成)能够通过惯性而持续，只有当运动不再是一个过程时，它才会一直持续下去。

[47] 在亚里士多德的物理学中没有吸引力。

[48] 从一种严格机械论的观点来看，实际上也没有其他的运动传递方式。参见 E. Meyerson, *Identité et Réalité*, Paris, 1926, p. 84.

[49] 亚里士多德的理论是如此出色，以致它被后人(尤其是笛卡尔和惠更斯)一直仿效和沿用到 17 世纪。

[50] 参见柏拉图的《蒂迈欧篇》(*Timée*, 79b)。

图通过周围介质的反作用来解释显然没有施动者的抛射体运动。<sup>〔51〕</sup>

但是,从常识的观点来看,这一天才的解释却是完全难以置信的。因此,所有对亚里士多德动力学的攻击都针对着这个聚讼不休的问题:抛射体被什么东西所推动? (*A quo moveantur projecta?*)<sup>〔52〕</sup>

我们将很快就会回到这个问题。但是,在此之前,我们有必要来强调一下亚里士多德动力学的另一个特点:即它对虚空的否定,以及对在虚空中的运动的否定。<sup>〔53〕</sup>事实上,在这种动力学中,虚空不仅不能促进运动,它反而会使运动变得不可能。这一点有着非常根本的原因。

因为,在亚里士多德的动力学中,所有物体都被设想为拥有一种停留在它的自然位置之中的倾向,一旦外力迫使它离开那里,它就会倾向于返回其自然位置。这种倾向解释了它的自然运动:即那种通过最短最快的路径将它带回其自然位置的运动。因此,所有自然运动都沿着直线进行,所有物体都将尽可能快地趋向其自然位置,也就是说,以其周围介质所允许的尽可能快的方式返回其自然位置。与此相反,如果物体在其中运动的介质没有对它产生任何阻碍作用(就如那种在虚空中发生的运动),那么物体必将以无限大的速度趋向其自然位置。然而,亚里士多德(不无理由地)认为,一种瞬时运动是完全不可能的。<sup>〔54〕</sup>因此,自然运动不可能发生在虚空之中。至于受迫运动,例如抛射体运动,在虚空中的运动就相当

23

---

〔51〕 亚里士多德的理论通过一种涡旋过程来解释运动的持续,这种涡旋过程存在于包围着运动物体的介质之中,介质通过“推动”和“牵引”两种方式作用于运动物体。理论的“诀窍”在于发明出一种特别适合于运动的介质。我们今天会说:需要发明出一种弹性介质,即空气。参见亚里士多德的《物理学》(*Physique*, IV, 8, 215a, VIII, 10, 267a.)

〔52〕 参见迪昂的著作(*Etudes sur Léonard de Vinci*, Paris, 1909-1913)中关于这一有争议的问题的历史。

〔53〕 我们不应该忘记,虚空的不可能性也是一个笛卡尔的论题。而笛卡尔在这一点上(如同在其他许多方面)同意亚里士多德而反对伽利略。

〔54〕 一种速度无限大的运动,即一个物体从一个点到另一个点之间的瞬间转移,确实是荒谬的。



于一种没有施动者的运动：因为虚空不是一种介质，它不能接受运动，因此也不能传递和维持运动。此外，在虚空中（即在欧几里得几何的空间里），既没有特权位置也没有特权方向。在虚空中也不可能有自然位置：如果一个物体处于虚空之中，它完全不知道该往哪里去，它没有理由沿一个方向运动而不沿另一个方向运动，因此也就完全没有理由运动。

亚里士多德再一次是正确的。虚空（欧几里得空间）与一种宇宙秩序的观念不相容<sup>[55]</sup>：因为在虚空中不仅没有自然位置，甚至根本就没有任何位置。因此，虚空观念与“运动—过程”（mouvement-processus）的观念不相容。或许我们可以说，它甚至与一种有形和实在的运动观念也不相容。虚空本是“无”，而将某物放进这个“无”（rien）显然是荒谬的。在一种几何学空间中只能放置几何物体（corps géométriques），人们不能在那里放置实在物体（corps réels）。因此，亚里士多德告诫我们，不应该混淆几何学和物理学：物理学家思考实在的事物（质的事物），几何学家则只与那些抽象的事物打交道。<sup>[56]</sup>

## 二、中世纪的讨论：博纳米科

我们刚刚提到过，一直以来，亚里士多德动力学的反对者们都用“运动物体脱离施动者后运动还能持续”这一现象来对它提出质疑。这种运动的经典例子主要有轮子（有时会用一个球来代替）、被抛出的石块、射出

---

[55] 在几何学的同质空间中，所有的“位置”都是相同的，一种位置转移不会产生出任何新东西。

[56] 众所周知，亚里士多德强烈反对所有关于不同“属”（genres）之间的混淆：几何学家不应该像算术家那样思考问题，物理学家也不应该像几何学家那样思考问题。这一要求完全合理；只要这些“属”继续存在，人们就不能混淆它们。但是，人们可以摧毁这些“属”。

的箭等等。在从希帕克斯<sup>[57]</sup>和菲洛波诺<sup>[58]</sup>开始,直到布里丹、奥雷斯姆和撒克逊的阿尔伯特,再到列奥纳多·达·芬奇、贝内代蒂和伽利略这些人批评亚里士多德的著作中,人们到处都能发现这样的例子。

我们并不打算去追溯上述问题的历史。<sup>[59]</sup> 为了理解这一问题在当时的状况,我们只需求教于伽利略自己的老师博纳米科就已经足够了。<sup>[60]</sup> 以下就是他关于抛射体问题的阐述<sup>[61]</sup>:

---

[57] 法文: Hipparque, 英文: Hipparchus, 又译“喜帕恰斯”、“希帕库斯”、“伊巴谷”等, 希腊化时期著名天文学家, 创立了球面三角学以及“本轮—均轮”体系。——译者

[58] 关于菲洛波诺(Jean Philopon), 可参见 E. Wohlwill, Ein Vorgänger Galileis im VI. Jahrhundert, *Physicalische Zeitschrift*, v. VII, 1906.

[59] 参见本书前文第 24 号注释和第 43 号注释所引用的著作。关于运动问题的研究极其富有教益(甚至关于一次失败的研究也同样如此), 它本身就使得我们能够去欣赏和理解伽利略革命的意义和重要性。

[60] 尽管博纳米科的著作非常富有教益(一方面, 它向我们显示了面对落体和抛射体等现象时中世纪思想所面临的困惑; 另一方面, 它也为我们揭示了关于冲力物理学的知识在当时的大学学界是多么普及), 但是, 实际上历史学家们对他的著作一无所知(另外, 他的著作又极为罕见, 甚至连大英博物馆也未曾收藏)。因此, 我们认为有必要根据国家图书馆的藏本以较大的篇幅摘引他的著作。

[61] Bonamici, *De Motu*, l. V, c. XXXV, p. 503, 拉丁语原文如下: “*De motibus praeter naturam et de projectis contra Platonem*: Quoniam vero oppositorum una est eademque methodus et scientia: motui vero: secundum naturam opponitur motus praeter naturam; postquam de motu naturali satis dictum est: postulat nunc instituta ratio de motu, ut aliqua dicamus de eo qui est praeter naturam, qui item nascitur ex violentia: hic vero duplex est, vel simpliciter, vel quodammodo: vi autem moveri illa dicuntur quandocumque id quod movetur non confert vim, hoc est non habet illo propensionem, quo movetur, quia. s. non perficiatur ex eo motu, locum illum adipiscens in quo conservetur: hic autem est qui convenit suae formae; sed ab eo forma potius corrumpitur. Ideo quod unumquodque suae neci resistit, quantum potest; tantum abest ut eo properet, ut nisi virtus moventis resistentiam mobilis superet nunquam moveatur; et nisi praevaleat facultas violans, in pristinum locum semper retrocedat; neque ullo modo conatum moventis adjuvat, sicut adjuvaret saxum, si magno impetu deiiceretur; nam virtus eiusmodi facultati accedens longe velociorem motum faceret. Itaque principium talis motus omnino externum alienumque est, solumque socium sui laboris habet medium, quod impetum a movente excipiens mobili impertit. Verum quod praeter naturam absolute movetur; omnino et simpliciter nullam vim confert; immo renititur; sed ita vincitur a movente, ut simpliciter eandem illam lineam metiatur quam permearet, si moveretur secundum naturam: ideoque movetur ocyus ab initio, quam ad extremum. (转下页)

关于对立事物的方法与科学是相同的；然而，顺应自然的运动与违反自然的运动却截然不同。因此，讨论完顺应自然的运动之后，我

---

(接上页) Quod vero aliqua ex parte praeter naturam movetur, non omnino resistit; licet eo non propendeat, quo movetur, necque eandem lineam peragrat violatum ac si secundum naturam moveretur; sed ad latera quodam pacto deflectitur. Quam ob rem etiam medium illi motui magis inservit, ob id velocius et ad maius spatium idem lapis in latera proiicitur, quam sursum directo et ad perpendiculum. Attamen neutrum illo simpliciter vergit quo agitur; necque ibi manet secundum naturam; sed posteaquam vis movens contabuerit ad suum motum locumque naturalem sese recipit, describens lineam secundum quae est ad perpendiculum inter centrum mundi et extremum, et movetur aliquanto celerius in progressu. Principia vero quae violant varia esse queunt et contraria, quae materiam affligunt, ut apparet in fulmine, quod cum sit ignis, ab aqua circumstante expellitur et propter vim agitati corporis, ut fit, ubi venti extollunt aliqua pondera et raptu mobilis cujusdam, ut forte evenit in hyppeccaumate, impetu item aquae, aut aeris in gyrum acti, ut accidit in vorticibus et generatim pulsu, tractu, vertigine et vectione quae plurimum fiunt ab animatis.

Sed cum supra de causa violenti motus universe satis dictum sit, agamus nunc de ipso speciatim et in praesentia vestigemus causam alterius illius motus quem solent nobis significare nota projectorum. Quae longe abstrusior est et antiquitus etiam varias ostendit opiniones. Nam Plato quemadmodum eius verba sonant, asserebat causam talis motus antiperistasim; quanquam quo pacto causa haec accipienda sit, nec multum declarat Aristoteles, neque satis e Platone colligitur. Etenim vox est ambigua. Siquidem sit proprie contrariorum ambitus; quando unum contrariorum ambit, et alterum velut in centrum adducit quemadmodum calor centrum versus aestate cogit frigus, unde multa poma oriuntur, quibus frigus insigniter dominetur; et contra frigus hyeme centrum versus calorem propellit, unde ventres hyeme calidiores; secundo etiam communius accipiatur in latione sola, cum ambiens efficit lationem in eo quod ambitur, ex eo ducens originem, ut Plato volebat; quia movens omne, dum moveret, una quoque moveretur; nec ullam vim, nisi qua corpus esset, mobili communicaret, aut in aliud a se transferret; quapropter eodem motu quo mobile ipsum ageretur, ut, si animus res esset corporea, idemque corpus agitaret, ipse quoque primum pari ratione ferretur.

Ita igitur in projectione partes circumstantes in locum posteriorum succedunt, ut, A. si moveat B. subit in ejus locum et si B. propellat C. Locum eius occupat et sic cetera deinceps. Hoc autem dubitatur, an sit per extensionem eius corporis quo ambitur; an potius sit per successionem quae fit propter vacuum; nanque huiusmodi sensum ex eius verbis colligebat Simplicius, et haec item sententia a Aristotele sub hac ratione confutata deprehenditur, quoniam ex eo quod a tergo rei mobilis coiret medium (hoc. n. liquidum esse oportet et facile coire posse) ne(转下页)

们有必要根据我们已经建立起来的运动规则,来讨论一下那种由强迫所引起的违反自然的运动。不过,这种违反自然的运动又可分为两种类型,一种是完全违反自然,另一种是仅仅以某种特定的方式违反自然。因为,只有当被推动物体不能从它自身内部接受到一种力量,也就是说,当通过这种运动,物体不再能够借助返回并停留在其自然位置而获得自我完善,因而物体(在它自身中)也不再拥有使它

---

(接上页) *detur vacuum; facta autem illa coitione mobile procederet ulterius. Sed quocunque accipiatur a tergo medium convenire, sive impleat solum id spatii quod a mobili relictum fuerat, sive etiam id quod congregitur, ipsum promoveat, multa sunt quae nos ab ejus opinione avertant. Ac quantum de secunda est, quam de verbis Platonis Simplicius ipse profitetur, satis haec illius fallaciam significant. Primum quia ratio reddi non potest, cur primo cessante, reliqua moverentur; ubi nam fiat motus per solum contactum, veluti fieret in hac hypothesis, uno moto deinceps omnia moverentur, eoque manente quiescerent; quod omnia in alterius locum successione quadam subingrederentur. Quod si id non eveniret, omnia quoque manere opus est; talis nam motus est antiperistaseos, si credere dignum est Aristoteles quod unum quidem primum movetur et movens in eius locum subit; ita ut una movens et mobile concietentur; neque velocitate maiore partes in progressu q. ab initio moverentur; oppositum tamen apparet. Quod si de experientia dubites, vide item id evenire, si segnius in progressu concietetur quod in parte quadam motus illius negari non potest nanque idem tenor a natura servabitur, dum vacuum propulsare contendit, hoc studet, ut arceatur inane, id semper eodem instanti praestat quo motus efficitur; nec potest effici motus, nisi movens succedat. Itaque idem est successionis instans et motus, atqui vacui pulsio perpetuo sui similis est; et motus igitur. Praeterea natura solam intenderet coitionem, utputa, ut exploderet vacuum; ubi igitur aere in saxi locum subingresso, adeptam illam fuisset; non esset certe, quod amplius laboraret; si ergo post primam saxi motionem coivit aer, cur motus procedit ulterius? Quantum vero pertinet ad primum illum modum antiperistaseos qui affert extrusionem; habet et hic contra se multas experientias. In primis. n. ecquid erit caussa, quod vetet lapidem ad celum usque concitari? Nam, si aer in eius locum succedet, et lapidem idcirco propellit, quanto continue sit ea successio, continue quoque lapidis propulsio flet, quousque suppetat aër, aut corpus aëri quod propter coëundi facultatem valeat idem atque aër. Tum item facilius palea, quam saxum proiici posset, tum quod palea levior est, et sursum magis propendet quam saxum tum etiam, quid maior est aeris impellentis ad paleam proportio, quam ad saxum: ex maiore autem proportione velocior motus procedeat necesse est. Rursus, si filum saxo appendatur, ob eandem caussam a fronte saxi ponderet: cum videamus igitur ipsum, a tergo porrigi in longitudinem, et quasi trahi a saxo, potius quam ab aëre propelli; dicamus oportet extrusionem non esse caussam tali motus. Sic undique Platonis opinionem lubricam esse comperimus.”*

运动的那种倾向时,人们才会说某物是被外力所推动的。因为物体所处的自然位置是一个适合其形式的位置,而这种形式已在更早时被另一个位置所破坏。然而,所有事物都在尽其所能地抗拒死亡。因此,运动物体是如此抗拒到那个对它而言并非其自然位置的地方去,以至于如果施动者的动质不足以克服它的阻碍,物体就永远不会运动;而且如果强迫的力量不能够占据优势,物体就总是会退回到它原先的位置。因此,施动者的动质(*vertu*)<sup>[62]</sup>绝不会助长运动者的运动倾向(*conatus*),就如我们用力将石头往下抛时发生的情况;在这种向下抛射石头的情况中,物体自身(固有)的动质添加到运动者的活动之中,从而产生了一种大大加快的运动。因此,对于运动物体来说,一种纯粹受迫运动的原则(*principe*)是完全外在和非固有的,它的工作只有唯一的助手,即一种能够接受推动者的冲力(*impetus*)并将其赋予运动物体的介质。确实,完全违反自然的运动物体根本没有获得任何一种力……但它却被施动者所克服,以致与当它顺应自然而运动时相比,运动物体在其运动过程中将会经历同样的路线,只不过这时它的运动方向刚好相反。因此,它在运动开始时比结束时速度更快。至于那种其运动仅仅以某种特定的方式违反自然的运动物体,它并不趋向它所要去的位置;由于受到外力强迫,它也并不沿着如果它顺应自然而运动时本应遵循的同样路线运动,而总是朝着某一侧有所偏离;尽管如此,它并非完全抗拒运动。这就是为什么

---

[62] 法语:*vertu*, 英语:*virtue*, 拉丁语:*virtus*;在此这个词的用法与“善、美德、德性”等伦理学涵义无关,而是指使事物具有某种力量或效力的性质。在上述语境中,它是指某种内在于施动者、能引起运动的东西,故我们勉强将其译为“动质”。随后我们将会看到,冲力物理学认为,施动者可通过冲击、碰撞等方式将这种动质输入或“印”入运动物体,这种被“印”入运动物体的动质就是所谓的“冲力”(*impetus*)或“冲印力”(*virtus impressa / force impresse*)。当然,这里的“力”是指某种类似于“能量”的东西,而不是经典物理学或牛顿意义上的“力”。因此,我们将本部分所涉及的 *vertu*、*vertu mouvante*、*vertu motrice*、*virtus motiva* 等法语和拉丁文术语均译为“动质”。——译者

介质会在它的运动中进一步帮助它和支持它。也正因此,当同样一块石头被侧向抛出时,它将比被竖直向上抛出时运动得更快更远。然而,没有任何一个(被这样推动的)物体会仅仅趋向它被推向的那个位置,依照它的本性它也不会一直待在那里。但是,当推动力耗尽之后,它又开始回归它的自然运动和自然位置,并依照其本性在它先前运动的末端与世界的中心这两者之间画出一条垂直的路线。在这种运动中,它一边前进一边逐渐加速。但是,那些产生受迫运动的原则可能多种多样,而能够影响这类运动的原则通常是那些对立的原则。正如人们在闪电中所见,由于闪电属火,因而它才会被周围的水所浇灭;正如在重物中所见,如重物在某处被风吹起;正如在某些运动物体的牵引(*raptus*)中所见,就像在高层空气中可能会发生的现象;正如在水的冲力中,或在做圆周运动的空气冲力中,以及在旋风中所见;一般说来,也正如人们尤其是在生物的推、拉、举和旋转等动作中所见的情形。

但是,由于我们前面已对一般受迫运动的原因和属性做了充分的讨论,现在我们开始来讨论一些特殊情况。首先,我们将要研究一种特殊运动的原因,我们通常会称这种运动为“**抛射**”(projection)。如果想要找出这种特殊运动的原因,我们所遇到的困难会大得多,而且关于这个问题自古以来就众说纷纭。例如,用柏拉图自己的术语来说,他将上述运动的原因归于某种**回旋作用**(*antipéristase*)<sup>[63]</sup>。但是,我们应该如何理解以上术语呢?柏拉图没有为我们给出充分的解释,而亚里士多德对这个术语的解释也没有增加什么重要内容。严格说来,考虑到这一术语意味着对立事物

---

[63] 柏拉图解释抛射体运动所用的术语。所谓“回旋作用”,大致是指当抛射体向前运动时,它所推开的空气(或介质)回旋到抛射体背后再去推动物体,如此循环往复,来解释抛射体在与施动者相分离后为何还能继续运动。此时抛射体的运动模式就被相应称为“回旋运动”(mouvement antipéristatique)。——译者

的循环或相互转变,在两个对立事物中,一个事物围绕着另一个转动,在某种程度上也把另一个事物带到了中心,这样看来,这个术语的意义是模棱两可的。因此,虽然在夏天热战胜了冷,但是,由于热同时把冷带到了中心,因而结出了许多本性是冷的果实;相反,在冬天,冷把热推向中心,这导致了人体内部在冬天变得更热。其次,而且也更为常见的是,这一术语仅仅适用于唯一的运动,即假定由周围介质在运动物体中引起的那种运动,且正如柏拉图想说的,介质的运动推动着物体,同时介质自身的运动又来源于物体的运动。因为对于所有运动者来说,它在多大程度上推动着介质,同时也就在多大程度上被介质所推动。介质不向运动物体传递任何力,除了运动之外它也不传递任何东西。这就是为什么它会与运动物体自身进行着相同运动。例如,如果灵魂是一种有形事物,那么,一方面它推动着身体,另一方面它自身也经历着同一种运动。

因此,当物体处于抛射运动时,其周围介质的对应部分将会相继占据物体后部的位置;其结果是,如果 A 推动 B, A 就会占据 B 的位置;如果 B 又推动 C,则 B 又会占据 C 的位置,依此类推并一直持续下去。但是,这样一来人们就会问,上述过程是通过怎样的方式发生的呢?是通过引起这一回旋的空氣的延展,还是通过由于虚空而引起的前后接续?注释家辛普里丘<sup>[64]</sup>选择用后一种[柏拉图的]理论来解释上述过程;但是,亚里士多德用下文的论证反驳了柏拉图的理论。根据这一理论,介质将会在运动物体的背后相互靠近并聚拢(因此,这种介质应该是流态的,而且很容易被推动)以免在物体背后形成虚空;当这种聚拢完成之后,运动物体才能继续其运动。然而,不管人们假定尾随运动物体的介质只是填充了运动物体放弃的空间,

---

[64] 希里西亚的辛普里丘(Simplicius of Cilicia),生活在约公元6世纪,亚里士多德著作的著名注释者,尤以注释《物理学》和《论天》著称。——译者

还是假定介质推动着它所接触的物体向前运动，人们都依然会面临许多困难，这些困难足以让我们改变上述观点。 28

至于辛普里丘本人引用柏拉图的话所指的第二种假定，以下理由就足以揭示它的错误。首先，这个假定不能解释为什么一旦最初运动的介质停止运动后，其他介质还会继续运动。因为正如这个假定所主张的，如果运动只有通过接触才能发生，那么所有物体都将参与同一种运动；当其中一个物体停止运动时，所有物体都会停下来，因为在运动过程中物体必须连续占据另一些物体的位置……否则所有物体都只能保持静止不动。事实上，如果我们相信亚里士多德的观点，这就是所谓的“回旋运动”：对于任一运动物体来说，只有当推动者进入并占据它的位置，它才能被推动。其结果就是：推动者和运动物体一起运动，这一回旋过程的后续各阶段不会比开始时运动得更快。但是，真实情况却刚好相反。如果我们愿意怀疑经验，我们就会指出，物体运动的减慢（一种不容置疑的现象）将同样是完全不可能的……

因为，除非推动者紧紧跟随，否则运动就不可能发生。因此，（从推动者到运动物体的）接续瞬间也就是运动发生的同一瞬间。此外，虚空的推动力总是保持相同，因而运动（也是如此）。

这就意味着，所有的运动都应该以相同的速度发生。

再者，自然想要的只是接触，也就是说，它只想消除**虚空**。因此，当空气已经占据石头的位置，从而也实现了接触，我们搞不清楚为什么它还要继续工作。因此，如果在石头的最初运动之后，空气已经实现了接触，那么，为什么运动还要进一步持续下去呢？至于回旋运动的第一种解释模式，即那种认为运动通过挤压而发生的观点，它也同样不符合许多实验。首先，抛射石头的原因足以将石头一直带到天 29



空中。事实上,如果空气相继占据了石头的位置,并继续以这样的方式推动着石头,以使得这种位置接替能够一直持续下去,那么其结果必然是,石头的推进所持续的距离与空气或空气类似物(*le corps de l'air*)延伸的距离一样远,而就其接触性能来说,空气类似物应该是与空气一样的。在这种情况下,抛射一根稻草将会比抛射一块石头更加容易;因为稻草更轻,与石头相比,它也拥有更多的上升倾向。同样,如果在抛射石头时,我们系一根线到石头上,那么,线就应该跑到石头的前面去。然而,我们却看见这条线一直落在石头的后面;与其说它是被空气所推动,不如说它是被石头所拉动。

因此,在我们看来,柏拉图关于这个问题的观点是完全荒谬的。

拒绝了柏拉图的观点之后,亚里士多德<sup>[65]</sup>断定,施动者必定根

---

[65] F. Bonamici, *De Motu*, l. V, c. XXXVI, p. 504, 拉丁语原文如下: “*Aristotelis sententia de projectorum motu recensetur, et ea quae contra illam afferi solent exponuntur: Repudiata Platonis opinione, decrevit Aristoteles a movente vim imprimi aëri sive medio, propter eius naturam quae anceps est, nec gravis tantum, aut levis: ob eamque causam impetum quoquo versus excipere potest. Quia tamen impetus ille simpliciter eo versus non est, licet, ut alias a nobis dictum est, eius naturae minus hoc adversetur, quam si simpliciter sursum, aut deorsum moveatur: quia non tantum levis est, sed etiam gravis, tantisper item resisit, atque ubi seiunctus est aliquantum a primo motore, vim ab eo sibi impressam paulatim amittit, demum deferiscitur, et contabescit et ita proiectum ab alio non violatum, pristinas conditiones recuperat et secundum illas ad eundem locum festinat, unde coactum discesserat, quasi ferrum, quod ubi segregatum ab igni fuerit, ad propriam frigiditatem revertit. Verumtamen Philoponus, et alii Latini in Aristotelem acerrime invecti sunt, usque adeo, ut praeceptorem deserverint. Primum quia neque item eius positio difficultatem illam evitat quam Platoni paullo ante obieimus; nunquam. s. eius motum cessaturum, quoniam ab aere vehitur saxum, aër autem, hic ubi impetum exceptit, non habet unde quiescat: quoniam impetus ille sit ei naturalis non secus atque descensus saxo secundum naturam sit: quare non modo saxum per aërem totum agitabitur, sed etiam tempore infinito, si infinitus fuerit aer. Nam dicere ipsum aërem fieri per se mobilem, ut moveri simul et manere possit, quod animatorum proprium est, longe abiret a verisimili. Neque sufficit id quod adscribebat Averroes, medium a sua naturali forma moveri, eum tamen motum ab extrinseco sumere occasionem. Nanque esto hoc. At unde quies in medio? iam. n. adfuit occasio movendi; mediumq. Secundum naturam movetur. Deinde si ab impetu iam indito et impresso a(转下页)*”

据其本性向空气或介质施加了某种力；而且施动者的这种本性必

---

(接上页) primo movente sit iste motus; quo mobile propinquius erit moventi, eo quoque maior impetus erit saxi projecti, et motus ipse velocior. At hoc falsum est, quia proiectorum motus augetur per aliquantum spatii in progressu, quod item experientia testatur cum funda, aut balista, aut etiam quodvis tormentum ex distantia quadam vehementius feriat, quam cominus. Adde etiam, quia saxum contra ventum moveri non posset. Etenim maiore impetu moveretur aër contra saxum, cum maior sit impetus venti quam proiicientis ipsius. Accedit eodem q. per aequalem distantiam moveretur lapis a tangente et a remoto, quoniam aequalis impetus aeri posset imprimi ab utroque. Tum postremo eadem velocitate proiiceretur hasta oblonga ac brevis: quoniam aequalem impetum impertiri possis utranque proiiciendo. Quamobrem Philoponus, post ipsum vero Albertus, D. Thomas et alii complures opinati sunt, vim sane imprimi a primo movente non aeri quidem, sed mobili, utputa saxo; et prout maior, aut minor vis illi imprimeretur, ita per maius spatium atque velocius agitari. Huiusmodi autem vim interdum expeditius ac promptius excipi. Nonnunquam aegrius et lentius; propter illa quae motui solent auxiliari, utputa, figuram, magnitudinem, materiae multitudinem et caetera, quae supra causas lationis socias appellavimus, sic longius fertur hasta, quam corpus quadratum, et chorda tenta, quia melius excipit impetum, retinetque diutius, quam remissa, diutius quoque tremit, atque ictum facit maiorem. Si quaeratur etiam, cur aër in iactu non agitur in immensum: respondent: quia communicatur ille motus a lapide partibus proximis, et ab hisce subinde reliquis contiguis, ut etiam vel eodem Aristoteles, teste et auctore (8<sup>o</sup> phys.) non sit unus ille motus, quia mobile non simpliciter idem permaneat, at vero cum motus ille non sit neque lapidi, neque aëri naturalis, sed utrique eveniat ab externo praeterea circumferentiam versus dilatetur, quemadmodum fieri conspiciamus ubi, lapis in aquam proiciatur, facit. n. rotationes in principio minores, sed velociores; et ob maiorem proportionem quam habet tum movens ad mobile: et quia citius peragi solet spatium quo brevius est, in processu maiores quidem, sed tardiores; et aucto spatio et proportionem moventis ad mobile imminuta: sic facit lapis in aërem proiectus; ideo motus segnior evadit; ut demum fatiscat; et interposita quiete; quia motus aut contrarii sunt, aut contrariis respondent, semoto impediante moveatur secundum naturam. Reddi etiam causa potest, cur pila lusoria facilius repercutiatur, quam lapis: in motu. n. ante reflexionem valde comprimitur: postquam reflexa, est dilatatur; ita quaerens innatam dimensionem (consequitur autem ipsam, non secus atq. Suum locum elementum genitum assequatur, cum ablatum fuerit impedimentum) ex repulsione maiorem impulsus adipiscitur. Quo fit, ut cum positio haec illa praestet quod bona quaestionis explicatio debet efficere: consentit. n. cum ratione, non oppugnat sensum: satisfacit omnibus problematis quae de re proposita quaeri possunt: et inhaerentium causas reddit: alacriter etiam a Latinis contra Arist. ipsum defedatur. Et quoniam ita potest in methodo naturali experientia, ut ceteris neglectis machinis ingenii et rationis, illi standum sit, statuamus ad opinionis huiusce confirmationem levissimam tabulam, ex qua torno, aut circino incidente orbis eximatur: ita ut sine(转下页)

30

定是双重的，它既不只是重，也不只是轻；也正因此，空气才能接受任何一个方向的冲力。正如我们在别处已经说过，与垂直向上或向下的运动相比，水平运动将会更少受到空气的阻碍，这是因为，空气不仅是轻的，而且也是重的。尽管如此，由于冲力并不完全符合空气的本性，因此，冲力将会受到空气的阻碍。当它与最初的施动者 (*premier moteur*) 相分离时，冲力也就逐渐失去了最初施动者赋予它的力。这种力逐渐消失，直至最终完全耗尽。由于此时抛射体不再受到外力的强迫，它就会恢复受力之前的状态，并依照这种状态迅速返回到外力曾迫使它离开的那个位置，正如铁在移离火焰之后，就会恢复其固有的冰冷。在这个问题上，菲洛波诺和其他拉丁作者们都曾激烈抨击亚里士多德，乃至完全否认他的权威。

首先，他们指出，亚里士多德的观点绝对无法避免我们刚刚在反驳柏拉图时所提到的困难：即如果是空气在推动着石头向前运动，那么石头的运动就将永不会停止，因为接受了冲力的空气不再有任何

---

(接上页) *mutuo attritu orbis ille intra illud cavum circumagi possit, et tabula alicubi defixa, vectis cum manubrio illi orbi infigatur, quod manubrium singulae utrinq̄furcillae, seu cervi sustineant. Tunc manifesto apparebit circumactum orbem intra illud spatium tabulae orbiculatum moveri à moto motore, nullo aëre impellente. Neque tunc, quia motus ille in orbem est, locus erit aëri impellenti. Nam quamvis aër inter orbem et tabulam existat, adeo est exiguus, ut nullas vires ad eum motum habiturus sit; eoque maxime, quod ipsius orbis politissima laevitas ab aëre circumatante, neququam agitationis instigationem accipere valebit. Quo. n. laevius quid est, eo magis agglutinationem respuit.*

*Quanquam quid aliud erat, quod a nobis in hac caussa reddenda posset afferri, quam auctoritas ipsa Arist. qui aut hanc caussam omnino recipit, aut si aliam probavit, evidentissima repugnantia concluditur? Habet. n. Q. Mech. Tantum ferri id quod fertur. i. proiicitur et pellitur, quantum aëris moverit ad profundum, ideoque caussam reddebat, cur neque magna nimis, neque valde parva proiici possent. Monstrant haec omnia igitur impetum aëri in motu projectorum a movente primo non committi, contra q. ab ipso Arist. contra Platonem decretum fuerit. Ita magnum opus erit; si summus ille praeceptor a calumniis hisce purgetur, id quod nos pro veritate ipsa mox aggrediemur, oppugnatores enim acerrimi sunt.”*

理由返回到静止状态。事实上,这样的冲力必定会符合石头的本性,因而,此时石头的运动就与它顺应其本性而发生的下降运动没有什么不同。因此,石头将不仅能穿越整个大气层,而且如果空气是无限的,石头的运动也将会持续无限长的时间。因为,假如空气本身能够自己运动,乃至它既能够自行运动,也能够自行停止(这正是所有生物的特性),这就实在太让人难以置信了。阿维罗伊曾经指出,介质是被它的自然形式所推动,运动则因某种外部事物而产生。但是,这样说也还是不够的。即便人们假定情形确实如此,那么,介质又将如何返回静止状态呢?因为,运动的原因依然存在,而介质仍依照其本性在运动着。

其次,如果介质的上述运动来源于最初施动者所赋予和印入的冲力,那么,当运动物体(如被抛出的石头)离它的施动者更近的时候,它的冲力将会更大,它的运动也将会更快。但是,这种观点是错误的,因为抛射体的运动(或速度)在最初的某段距离中逐渐增加。这一点可用以下实验来证明,即当投弹器、投石器或大炮击中较远距离的目标时,它们将会比击中较近的目标时产生更为猛烈的效果。我们还应该考虑到,如果石头是被空气所推动,那么它就不可能逆风运动,因为……风对石头的冲力要比抛射者对石头的冲力更大。此外,他还补充说,无论石头是被一个接触它的施动者抛出,还是被一个远离它的施动者抛出,它都应该被抛射出一段相等的距离,因为两个施动者都能向空气施加相同的冲力。最后,一支长矛和一支短矛将会以相等的速度抛出,因为抛射过程能够赋予它们相等的冲力。

这就是为什么菲洛波诺及其后的阿尔伯特、圣托马斯以及其他许多人都认为,最初的施动者并没有把力赋予空气,而是赋予运动物体(如石头)。根据被赋予的力的不同大小,运动物体可能会跑得更远或更快。然而,这个力有时接受起来更快更容易,另一些时候则更慢更困难。这取决于一些影响运动的因素,比如物体的(几何)形状、

32

大小、质料的量等等，我们在前面已将这些因素称为“运动的伴随原因”。因此，与一个方形物体相比，一支矛能被人们抛射得更远；由于紧绷的弦接受冲力的效果更好，它就会比松弛的弦保持得更久，振动的时间更长，弹拨的动作也更有力量。如果现在有人问他们，为什么在抛射运动中空气并没有无限度地运动下去？他们将会回答说，因为这种运动是先由石头传递给空气中最靠近石头的那些部分，而后再由这些部分继续传递给其他邻近的部分。正如亚里士多德本人所说，这种运动并不是一种单一的运动，因为在此过程中，运动物体并没有保持同一。此外，无论对于石头还是空气来说，这种运动都不是自然运动，而是来源于它们之外，并向四周传播。这就像当一块石头被抛进水中时我们所看到的情况；一开始，石块先在水中激起一些较小但速度较快的圆圈，这是由于这时在运动和运动物体之间存在着较大的比率；事实上，与比率较小的时候相比，此时运动将更快地穿越同一段距离；随后，石块在水中形成了一些较大但速度较慢的圆圈，因为此时距离增加了，而施动者相对于运动物体的比率则减小了。

33

当一块石头被抛向空中时，它的运动也属于同样的情形。因此，石头的运动将会变得越来越慢，最终它将会完全停下来。然后，经过一个中介的静止状态，石头将开始一种自然运动。由于先前的运动或者是违反自然的，或者是对违反自然的运动做出的反应，因此，当障碍消除之后，运动物体就会开始顺应自然而运动。按照同样的思路，我们就可以解释为什么球比石头更容易反弹。这是因为，在球反弹之前的运动中，它被强有力地压缩了，所以反弹之后它才会重新膨胀。这样一来，通过寻求恢复其天然形状（这种寻求方式就相当于元素在障碍消除之后总是寻求返回其自然位置），球就从反弹中获得了一个更大的推动力。

由此我们可以得出的结论是：这个理论较好地解释了前述问题，

它拥有一个好解释的所有特点,也就是说,它与理性相一致,却又与感觉不矛盾:它为有待研究的所有问题提供了一个解决方案,并解释了抛射运动的所有固有现象。因此,它获得了拉丁作者们的强有力的辩护,并它用来反对亚里士多德本人的观点。

这就是实验在自然科学中的威力。既然如此,我们就应该一边放下理性和理解力的其他伎俩,一边来关注和支持实验。因此,让我们一起来做以下的实验……取一块非常光滑的木板,我们用车床或锋利的圆规在木板中间切割下一个圆盘,目的是使得圆盘能够在木板的圆形空腔中旋转,而且在旋转过程中,圆盘不会与木板发生相互接触。将木板固定于某处,为圆盘装配一根手摇曲柄,并用小托架或小槽来支撑这根曲柄。然后,我们可以清楚地看到,当圆盘在木板的圆形空腔中旋转时,它是被施动者的运动所推动,而根本不是空气在推动它。因为,即使在木板和圆盘之间还有空气,那里的空气也将是如此之少,以致它不可能有力量来产生上述运动。尤为清楚的是,圆盘的表面极其光滑,这将使得它不能够接受周围空气的任何推动力;因为同样清楚的是,当某物越是光滑,它就越难以被抓握和推动……

我们没有必要再去强调这些段落给予我们的教益。这些段落已向我们清楚地显示了中世纪科学的两个基本特征:一种常识的“实验”(expérience),一种目的论的形而上学,以及这两者的结合。在落体问题的分析中,我们同样可以发现这两个特征,而伽利略的科学将会同时抛弃这两个特征。

对于亚里士多德物理学的古代或中世纪的注释者们来说,抛射体问题并不是唯一的难题(*cruce*)。物体的下落问题,或者更确切地说,是物体的加速下落问题,构成了另一个几乎同样令人生畏的难题。

的确,为什么物体会以越来越快的速度下落呢?说实话,对于亚里士

34 多德本人来说,这个问题几乎不会存在。由于重物的下落运动(或者与此相应的,轻物的上升运动)是根据物体回到其“固有”位置的一种自然倾向而发生,当我们看到这种运动随着它接近其目标而逐渐加快,难道还有什么会比这更“自然”吗?

但是,对于那些注释者,尤其是对于中世纪的注释者来说,这里却有一个问题,甚至还是一个相当困难的问题。由于他们混淆了亚里士多德的“倾向”(tendance)与“力”(force)这两种概念,他们就有充分的理由质疑:当一种恒定不变的原因(即重量)以自然的方式发生作用时,它怎么会产生一种变化的效果?加速究竟来自哪里呢?

注释者们所给出的答案大体上可以分为两类。<sup>[66]</sup>一类是亚里士多德主义者,他们试图从两种途径寻求解答,即或者是在介质阻碍(如空气的阻碍)的变化(减小)中寻求;或者是通过将他们为抛射体所构造的理论应用于落体运动,他们认为是运动自身激发了介质的某种反作用,这种反作用的效果添加到重性<sup>[67]</sup>的作用当中,才造成了落体的加速。<sup>[68]</sup>

另一类是冲力物理学的信奉者,他们试图在激励物体的推动力(即冲

[66] 在此我们应该再次感谢迪昂,多亏了迪昂的各项研究(*Etudes*),我们才拥有关于这些讨论的知识。

[67] 需要注意的是,伽利略和笛卡尔的物理学尚未形成牛顿意义上的“力”的观念,他们甚至在极力避免这种观念。因此,在他们那里(尤其是对伽利略来说)，“重”仍然是物体的某种“性质”,是物体趋向宇宙中心的某种倾向,是物体实际构成中某种内禀的神秘属性。只有到了伽利略学派,卡瓦列里、托里拆利、伽桑狄等人才在开普勒的影响下开始了对重性的祛魅过程,将重性改造为某种外在吸引所产生的效果,从而使“重性”观念开始向近代的“重力”或“引力”观念转变。但在另一种意义上,这种转变同时也意味着重性的消除。有鉴于此,在大多数情况下,我们将把伽利略和笛卡尔之前的物理学所涉及的法文术语“pesanteur”(相当于英文的 heaviness)和“gravité”(相当于英文的 gravity)均译为“重”或“重性”。即使这个术语偶尔跟“力”这样的词语同时出现,原则上译法也不变,因为此时的“力”还未发展成牛顿意义上的“力”的观念。在本书第三部分,尤其是在附录《重性的消除》中,我们将开始在适当语境中引入“重力”这一译名。另外,读者也可根据本书正文和注释中柯瓦雷所给出的线索,自行关注不同语境中“重性”概念的确切涵义,并体会它在近代科学革命中所发生的各种微妙变化。——译者

[68] 我们已经指出过,这也是笛卡尔所采纳的解决方案。

力)的变化中,在某种推动力的积累中寻求解答。说实话,在缺乏惯性观念的情况下,这种解答主要基于对两个词语的词义混淆,即混淆了“冲力”(impetus,指推动力)与“运动倾向”(impétuosité,指运动的性质或属性)。因此,他们认为物体在下落过程中获得了某种运动倾向,这种倾向添加到重性所产生的自然冲力当中,就能够解释落体运动的加速。

让我们再一次求教于博纳米科:

……当物体顺应其本性而运动时,为什么它在运动结束时会比开始时运动得更快呢?无论是在亚里士多德本人的时代,还是自那时以来一直到我们这个时代,人们都就这个问题提出了很多看法。大家也已就此提出了各种各样的原因:一方面,是物体自身所固有的(per se)原因,例如物体的本性或位置;另一方面,是一些偶性的(per accidens)原因,如障碍的消除,热变得稀疏,某种附加的重性等等。这些原因或者单独作用,或者联合作用。不过,这些解释看来似乎都是足够真实可信的。因此,除非拥有阿尔居斯<sup>[69]</sup>的眼睛,否则我们就很容易搞错,所以,我们应该小心翼翼地考察其中的每一个原因。<sup>[70]</sup>

35

在古代(因为我们的研究开始于转述希腊人的观点和学说),蒂

[69] 阿尔居斯(Argus)是希腊神话中的百眼巨人,以机敏警惕、目光敏锐著称。故原文 yeux d'Argus 也可意译为“敏锐的眼睛”。——译者

[70] F. Bonamici, *De Motu*, l. IV, cap. XXXVII, pp. 410 sq., 拉丁语原文如下: “Aggredimur questionem qua de cremento naturalis motus in fine disseritur.

…facile reddi potest caussa quaestionis illius; cur ea quae moventur secundum naturam ocyus in fine moveantur, quam in principio motus. De qua sane quaestione multa dicta fuerunt tum Arist. ipsius temporibus, tum etiam usque ad haec nostra, caussaeque complures allatae, cum per se, vel natura, vel locus, tum per accidens, ut impedimenti sublatio, calor rarefaciens, adventitia quaedam gravitas, atque haec vel seorsum vel coniunctim, eademque admodum verisimiles, ut nisi Argi oculos adhibeamus, facile decipi possimus. Idcirco praestat, ut singulas causas curiosius requiramus…

Nam antiquitas (etenim nos Graecorum sententias primum recitabimus). Timeus, (转下页)



迈欧、斯特拉图和伊壁鸠鲁认为：事实上，所有物体都是重的，没有

(接上页) Strato Lampsacenus et Epicurus existimaverunt, omnia quidem esse gravia, nihil per se leve : duos autem esse terminus motus, alterum supremum, atque alterum oppositum illi infimum, sed unum nempe deorsum et infimum esse locum in quem omnia properent secundum naturam; alterum vero ad quem vi ferantur : etenim cum omnia gravia sint, deorsum suapte natura feruntur, quod si quis ex his inferius est, aut superius, hoc non aliunde proficisci quam, quod corpora graviora minus gravia premunt, et ideo subeunt illa, non quidem quia leve aliquid sit; propterea suoapte nixu sursum feratur, sed utraque corpora sunt in genere gravium; alterum vero ex illis leve apparet, quoniam hoc gravissimum est, illud minus grave, et quoniam hoc gravissimum est, ideo premens illud quod est minus grave, subit ipsi, quod autem minus grave est, sic supereminet : quasi vero motus hic fit per extrusionem, quare, quo gra vius est, magis extrudit, magisque opprimens id quod est minus grave, eo etiam velocius fertur. Ob id velocitas huius motus non quidem ab interna causa derivabitur, verum ab externa, et erit violenta, non autem naturalis.

Ceterum in hos invectus est Aris. ab his quae monstrat sensus in aliquo genere motuum, atque conclusit nonnullum esse quoque motum naturalem in omni corpore et sursum etiam, tum quod ubi movetur aliquid vi, citius fertur, si minus sit, quam si fuerit maius, tum praeterea quia quicquid vi movetur in sui motus initio velocius est; evanescente vero illo moventis impetu, etiam deficit eius motus, ac naturalis illi succedit, qui quidem in principio segnior est, vegetior vero fit in progressu, ac postremum prope finem velocissime fertur : nam id quod aliquo fertur vi, movetur inde secundum naturam. At nos in elementorum motu, verbi gratia quando terra descendit, cernimus quo maius est illius moles, etiam ferri velocius. Praeterea conspiciamus ipsam initio segnius agitari, quam in progressu et tum velocissime concitari cum fuerit prope finem motus, atque ubidem de nonnullis quae sursum ferunt. Ergo non oppressione aut extrusione, aut ulla denique vi moveri dicemus haec corpora, sed natura.

Veruntamen dicet quispiam. Esto motus hic naturalis, idemque in fine velocissimus, idque ab Aristotele contra philosophos illos optime sit conclusum. At non ob id huius eventus causam tenemus, haec ergo superest inquirenda in qua etiam multum est laboratum, atque adeo ut septem opiniones circumferantur, et causa quedam ab Aristotele allata, tanquam parum idonea repudiata fuerit.

Nanque Hipparchus ita referente Simplicio, in opusculo quodam, quo sigillatim disquirat hoc ipsum problema, censuit motum naturalem esse velociorem in fine, quia mobile prohibeatur aliena vi ab initio motus : ex quo efficiatur, ut vim suam nativam exercere non possit, ideoque pigerrime citetur : ceterum evanescente paulatim aliena illa, et extrinseca vi reficitur naturale robur, et quasi liberum impedimento efficacius operatur. Ita fieri ut gradum accelerent in progressu, non secus atque ubi conferbuerit aqua et amoveatur ab igne : namque ab initio paulatim tepescit, et vix ullum progressum facere videtur fatiscente vero calore, pristinam facultatem recuperat, celerius(转下页)

任何物体就其本身来说是轻的。现在,运动的终点有两个,一个在最高处,另一个与之相反,即在最低处。但是,后者(即最低处)才是所有物体按照它们的本性而趋向的位置;相反,前者却是当它们被外力推动时才会趋向的位置。例如,由于所有物体都是重的,它们按照自

---

(接上页) refrigeratur et eo usque demum procedit, ut etiam longe frigidior evadat, quam ipsa foret ante calefactionem. A qua item sententia non abhorrere censeas Arist. ipsum qui tali hypot-  
hesi nixus causas grandinis indagavit et experientia piscatorum ipsas approbavit. Nota res est.

Contra Hipparchum haec dixit Alexander. Cum. n. duae sunt causae propter quas elementa feruntur in propria loca; prima quidem, quando generantur; nanq. eo tempore quantum contrahunt de forma tantundem etiam assequuntur de ipso ubi : altera vero quando iam genita extra locum proprium ab aliquo detineantur, quemadmodum ignis apud nos, et amoveatur impedimentum. Esto igitur quod cum gignuntur, quia tunc perfecta non sunt, non possunt exercere facultatem illam suam nativam; at postquam a genitis arceatur impediens, quid illa vetat, quominus secundum summum suae naturae concitentur ?

Fortasse poterat hoc adversus Hipparchum, quia non urget id positionem nostram : eo, quod adest semper impedimentum, quousque fuerint in loco proprio, atque ubi remotum fuerit universum, iam non moventur sed in proprio loco quiescunt. Idcirco existimarunt alii nescio quod, multos autem in eam venisse sententiam.

Simplicius ipse testatur : eorum velocitatem ex illo amplificari, quod resistentia medii minor esset in fine motus, quam ab initio : quandoquidem minor medii portio relinqueretur a mobili superanda motu ad finem tendente, eaque minus resisteret. Talis. n. est conditio virtutum, quae in materia consistunt, quod ceteris paribus in maiore corpore sunt robustiores : medium vero motui resistere, immo vero causam esse, cur tempus in loco mutando consumatur, ante docuimus quam ob rem ubi medium rarius est maior solet esse celeritas, atque adeo ut in vacuo non futurus sit motus. Attamen causa talis non est quam reddidit Arist. inquiring augeri velocitatem in fine motus ex additione gravitatis, non autem ex eo, quod minor portio medii supersit. Sed quoniam revocatur hic locus in controversiam, ne forte petitionem principii committamus, etiam sic urgeamus illos. Quia majori corpori ceteris paribus, utputa figura, et insigni parvitate molis, excepta, plus aeris obsistit quam minori. Nanque omnia haec motus evariare possunt, seu naturales sint, sive animales, sive etiam violenti...

Plus igitur aer obsistit majori corpori, quam minori, et tamen corpus maius citius delabitur quam minus. Non ergo medii resistentia potuit esse causa cur motus ab initio pigrior sit. Deinde quoniam causa eadem intercedit, medii nimirum imminutio ubi motus violentus sit, sicut etia n ubi naturalis, quare item effectus idem contingere plane deberet. Cum igitur hoc ipsa experientia non confirmet; sed oppositum potius doceat, credibile item non est eam esse causa . n cur intendat motus naturalis in fine. ”

己的本性向下运动；如果它们中间的某个物体处于较低或较高的位置，这只能是因为较重物体对较轻物体施加了某种压力，并因此而位于较轻物体的下面。因此，并非有某个物体实际上真正是轻的，并因为某种自发的倾向而趋向高处，而是轻重两种物体都属于重物不同的属(genre)。之所以它们中的某一个看起来好像是轻的，这是因为另一个更重而这一个显得不那么重。此时，由于其中之一很重，它就对另一个不那么重的物体施加了一种压力，并走到其下面，而那个不那么重的物体则走在上面。因此，(向上的)运动是通过某种挤压的方式发生的，因为当重物越重，它就越容易迅速地驱逐和压迫较轻的物体。因此，这种(向上)运动的速度实际上并非来源于内部原因，而是来源于某种外部原因。因而这种运动绝不是一种自然运动，而是一种受迫运动。

此外，亚里士多德从感官在所有类型的运动中所观察到的事实出发，对这些理论提出了批评。他断定所有物体都具有自然运动，甚至连那些向上运动的物体也都具有它们的自然运动，因为当物体被力推动时，较小的物体将比较大的物体运动得更快。但是，一旦推动它的冲力消失了，它的运动也会同样停下来，并紧接着开始某种自然运动。相反，这种自然运动在开始时较慢，但速度逐渐增加，到接近终点时速度变成最快。因为当物体被力带至某处后，从那儿开始它将按照其本性运动。不过，我们发现，在各种元素的运动中，例如在土元素的下降运动中，元素的团块越大其运动也会越快。此外，我们还发现，土元素在运动开始时比其后运动得慢；当它到达其运动终点时它运动得最快；最后，当它到达中心后，此时除非又有外力推动，否则它就不会再离开中心。对于那些向上运动的物体来说，情况也同样如此。因此，我们认为，推动那些物体的并不是某种压迫或挤压，或者最终说来，并不是某种外力，而是物体的本性。

然而，有人会说：亚里士多德已经清楚地证明了，这种运动是自

然的,而且在趋向终点时物体运动得最快,这种观点与上述古代哲学家正相反。但是,这种观点根本没有为我们提供有关现象的原因。因此,上述原因依然有待于我们去发现。同样地,我们也一直非常关注这个问题。在这个问题上已经存在着七种不同的理论。至于亚里士多德所提出的原因,人们认为它不太恰当而拒绝接受它。

37

实际上,希帕克斯认为(辛普里丘曾写过一个小册子专门论述这个问题,希帕克斯依据的是上述小册子所论述的内容),之所以自然运动在趋向终点时速度更快,是因为在物体开始运动时,它受到了外力的阻碍;这就导致了它不能发挥自己的天然能力(*puissance native*),结果它只是缓慢地运动着;后来,当这种外来和外在的力逐渐消失,物体的自然能力就从束缚中解放出来,它逐渐恢复其功能,并越来越有效地发挥作用,从而使物体的运动速度也逐渐增加。这个过程完全可以类比于热水的某种冷却过程,即当我们将水猛烈加热后,再将它移离火焰时所发生的那种冷却过程。事实上,一开始我们很难觉察到水的冷却过程,因为它看起来几乎没有发生什么变化;但是,当热逐渐消散时,水就恢复了它先前的性能,并以更快的速度冷却;最终,水的冷却程度是如此之深,以致当冷却结束时,水比它没有被加热之前还要冷得多。亚里士多德本人似乎并没有拒绝上述学说;事实上,他还利用以上假说来探究冰雹形成的原因,并诉诸捕鱼者的经验来证实这些原因。

亚历山大<sup>[71]</sup>用以下论证来反驳希帕克斯:各种元素由于两个事实而趋向它们的固有位置,首先是“它们在同一时间获得它们的位置和形式”这一事实,也就是说,位置是它们构成的一个部分;其次是“现在它们不在其固有位置,而是被滞留在其固有位置之外的某处”

38

---

[71] 阿弗罗狄西亚的亚历山大(*Alexander of Aphrodisias*),希腊哲学家,生活在公元200年前后,因对亚里士多德著作的注释和对灵魂的研究而著称。——译者

这一事实(例如,就像火正处于土的区域)。因此,试图解除这种使它们滞留于其固有位置之外的束缚,就构成了运动的另一个理由。物体的加速则可以通过以下事实来获得解释:这些物体并非在它们的固有位置上生成,从而它们是不完美的,因此它们就不能够发挥自己的天然能力;但是,在上述阻碍(*impedimentum*)被排除之后,还有什么能阻止它们按照自己最高的本性而加速冲向其固有位置呢?

这也许是反对希帕克斯的一个很好的论证,但它一点也不妨碍我们的立场:因为除非各种元素已经最终回到了它们的固有位置,否则在此之前上述阻碍仍将一直存在;当上述阻碍已被完全消除时,物体就不再运动了,它们将会在其固有位置上保持静止。

我不知道其他人对此有何见解。但是,有许多人最终采纳了这种学说。

辛普里丘本人认为,之所以速度会加快,是由于当物体趋向其运动终点时,它所受的介质阻碍比运动开始时更小;因为当运动趋近终点时,运动物体需要穿越的介质越来越少,因而它所受的阻碍也相应减小。因此,质料中蕴含的动质处于这样一种状况,即在其他情况都相同时,这些动质在较大的物体中显得更为蓬勃有力。然而,介质阻碍运动;也正因此,物体的位置变动才需要耗费时间。我们在前面已经解释过,为什么在介质越稀疏的地方,物体的速度就越大,以及为什么在虚空中不会有运动。尽管如此,辛普里丘所提出的原因还是不同于亚里士多德所给出的原因。亚里士多德认为,当物体在趋近其运动终点时,速度的增加是由于其重性的增加,而不是由于需要穿越的剩余介质越来越少。但是,这种观点是有争议的,它包含着某种循环论证的错误(*pétition de principe*),因此我们不仅不会使用它,而且还将用以下论证来反驳它:在其他情况都相同时(*ceteris paribus*),较大的物体将比较小的物体受到更多的空气阻碍。

因此,大物体所受的空气阻碍比小物体更多。然而,大物体却仍

然比小物体下落得更快。由此可见,空气阻碍不可能是物体在运动开始时速度较慢的原因。其次,无论在受迫运动期间,还是在自然运动期间,同样的原因(即需要穿越的剩余介质越来越少)都会发生作用,因此,这种原因也应该产生同样的效果。然而,实验并没有证实这一点,却正好给出了相反的结论。因此,如果有人认为,上述原因就是自然运动在趋向终点时速度加快的原因,这样的观点是不可信的。

在一些拉丁注释者的著作里<sup>[72]</sup>,我们读到了这样的观点,即有

---

[72] F. Bonamici, *De Motu*, l. IV, cap. XXXVIII, p. 412 sq., 拉丁语原文为: “*Latinarum sententiae de cremento naturalis motus in fine ex ordine recitantur. Apud Latinos interpretes legimus opinatos fuisse nonnullos aerem a motu calefieri; calefactum vero fieri rariorem: ob id cedere facilius iis quae per ipsum moventur, inde consequi unde quo longius aliquid moveatur, quia magis calefiat medium, et quoque rarefiat magis atque magis, subinde afficiatur ad rarefactionem. Quare per ipsum promptius, expeditius et denique velocius obiri positus motus. Ceterum etiam multo velocius in processu sagitta movebitur: praesertim si ex motu concalefacta fuerit, quam, si plumbea sit; ita excalefieri testatur Arist. ut eliquescat: nihilo secius eo segnius assidue movetur.*”

Praeterquam quod his mihi videntur ordinem naturae prorsus pervertere. Nam prius est motus quam calefactio medii; ipsi tamen priorem faciunt rarefactionem quam motum, et idcirco ponunt effectum qui suae causae natura praecedat, quo certe nihil ineptius.

Tribuunt complures huiusmodi eventui causam viribus ipsius loci quas tamen interpretes non eodem modo omnes accipiunt, sed duobus modis ipsos de viribus loci differere comperimus. Aliqui, quemadmodum supra nos constituimus quia locus habeat vim conservandi mobile: omnia vero appetitu naturali suam ipsorum conservationem quaerant; ex hoc effici ut plantae et animalia magis hoc quam illo coelo fruuntur; is autem esse debet huiusmodi, ut partim similis sit, ut ab eo locati materia conservetur partim contrarius ut emendetur exuperantia.

Sic unumquodque elementum cum illo cui contiguum est, in altera qualitate convenit, in altera vero differt, quod sane ab Averroë videtur, exceptum qui locum appeti dicebat a mobili, tanquam finem motus et quod in ipso sit eius quies. Alii dicunt in loco vim inesse trahendi mobile, quemadmodum est in magnete vis attrahendi ferrum. At ut aliqua contra posteriores dicamus. Nonne quo maius est corpus, eo quoque magis viribus attrahentis resistit? Utique. Ergo maiora descenderent tardius quam minora. Neque item ex quacunque distantia moveretur gleba terrae, sicuti nec ex quacunque distantia ferrum moveri potest a magnete, cuiusque enim facultatis naturalis robur finitum est. Quare nec ullum esset robur Aristotelicarum rationum quibus acceptum est, e centro alterius mundi, quantumvis distaret ad centrum nostri ferri posse terram. (转下页)

些人认为,运动能使空气变热;随着空气变热,它就变得越来越稀

(接上页) Neque. n. moveretur huc nisi trahendi facultas, quae inest in medio nostri, posset eo pervenire. In caeteris vero, nisi per certum spatium procedere non apparet; in quibuscum eveniat id nisi ratio varietatis efferri possit, idem omnino iudicium faciendum sit. Et quamvis antea docuerimus quantum sit illi rationi tribuendum; tamen valeat apud eos, qui vim loco undecunque trahendi concedunt. Quod si propensionem adieceris; iam tecum ipse confliges.

Contra Averro? m invehuntur nonnulli, quanquam argumento fallaci, dicentes, quo magis caret res, eo quoque magis appetere. Sed tum caret magis, ubi longius absit quam ubi prope. Ubi igitur aberit longius ipsa res a suo loco, suaque forma tanto quoque citius eo properabit, atque perveniet. Sed certe non vident isti, appetitum, qui causa motus est, esse maiorem in ea materia, quae propinquior est, quam in illa, quae longius a fine abest. Nam sicuti planta non appetit visum, neque talpa desiderat lumen, homo autem si fuerit caecus, appetit maxime, quia prope est, ut videat; sic materia, nisi bonum experiatur quod ipsi per affectiones preavias offert efficiens, illud non appetit. Tum magis appetit, quo magis ipsi obiicitur, tum vero obiicitur; magis, quo magis affecta, et propecta est in potentias propinquiores. Nec secus accidit, ut mea fert opinio, ac in amatoribus qui puellam expectantes, quo vicinior est hora, magis anguntur et hora una pro longissimo tempore habetur. Nec ab huiusmodi sensu abhorret iudicium Arist. quod item in iis qui usu comparantur, profectum in forma docet habilis reddere subiectum ad motum; tanto magis in natura; quanto etiam subiectum habet in seipso propensionem. Semper. n. bene mobilior, inquit, ad virtutem fit etiam quodcunque incrementum sumpserit a principio.

Nec video quemadmodum auctores huius rationis evitare possint, quin ab initio cum maior adsit potestas; velocius etiam concitentur, sed imprudentes in eo lapsi sunt, quod parem gradum privationis et potentiae fecerint, tametsi una existunt. Et illud plane verum ab initio plus privationis inesse, sed minus potestatis; in progressu amplificari potentiam, quia privatio minuatur et ut alibi ostendetur commutant latitudinem potestatis cum gradu : maius processu maior gradus : nam facilius summe frigidum fiet quod frigidum est, ut quinque, quam summe calidum, amplificatur ergo potestas atque propensio non propter latitudinem, sed propter gradum. Ideo tantum huic tribuatur argumento quantum quisque patitur. Quam ob rem veniamus ad alia.

Quam vero nonnulli putant, efficacitatem universam esse tribuendam gradui formae, non autem multitudini materiae (quanquam nos ita non credimus) quia par gradus appetitus est in maiore, et minore gleba; necesse item fuerit, utraque pari gradu concitari, parem vero gradum appetitus in utraque ponere licet, ut si fingantur utraeque in eodem esse gradu perfectionis, aut potestatis. Sed illud apud nos plurimum valet. Quoniam imperfecta est haec opinio, quamvis causam ab eius auctoribus allatam veram esse concedamus. Neque enim administratur ille motus ab ea causa solum, sed aliae multae concurrunt praeter finem : efficiens. s. et alia principia per accidens, ut removens impedimentum et ipsa mobilis rei natura quae cuncta motus in actu causa sunt.

Divus Thomas et post ipsum Albertus Saxon. Arbitrati sunt, geminam esse gravitatem, (转下页)

疏,这将使得运动物体能够更轻易地穿越它。由此可见,物体的运

---

(接上页) ac levitatem in elementis : alteram sane quam inquiunt esse per se et naturalem atque alteram quam adventitiam reputant, illam inquiunt, sequi vim generantis et in proprio loco servari, hanc in processu motus acquiri ex eoque fieri, ut maiore impetu moveantur in processu corpora naturalia. Rem vero sic esse persuadent experientiis illis, quae supra a nobis allatae sunt, cum doceremus etiam in absentia moventis adhuc in mobili conservari vim quandam a qua mobile concitetur, ac si primum movens adesset. Igitur intermisso primi moventis impulsu fit adhuc motus, non ob aliud, nisi quod etiam superest in ea vis quaedam, propter quam eodem motu cietur quo pridem movebatur. Verum quoque aliena est illa vis et adventicia, remittitur assidue, sed in iis quae secundum naturam moventur, amplificatur : idcirco velocius agitantur. Ita quando nos cursum maiore quodam nixu arripimus, etiam in eius fine vix continere nos possumus.

Quod si quis interroget auctores huius opinionis : undenam proficiscatur, et quid impetus iste sit. Ad hoc respondent ipsum esse qualitatem quandam, atque illam quidem potestatem quippe potestatem ad motum, ad illud vero dicunt; eam a forma comparari per motum. Attamen in exponenda quaestionis huiusce causa videntur ipsam iterum cum effectu commutare : quaeritur. n. causa velocitatis in motu; eam vero dicunt ipsi facultatem esse, atque habilitatem, si rursus eos interroges, undenam habilitas ista proficiscatur; aiunt a motu, hic autem, aut accipitur, quatenus velox, aut simpliciter, quod si simpliciter accipiatur : ergo motus ipsemet erit sibi causa suae velocitatis, quod si quia velox. Erit igitur causa, quam tamen ipsi quaestioni pro effectu supponunt.

Inter iuniores Lud. Buccaf. Statuit mobile agitare et quasi impellere medium ea ratione quia primam medii partem commoveret, atque propelleret. Haec vero postea contiguus suum motum communicaret. Ab his autem ita commotis mobile ipsum ferri. Quoniam vero mobili prevenerit, reddere motum eius faciliorem. Sed cum in fine motus impetus maior a mobili comparatus sit, aër etiam magis affectus ad excipiendum motum : hinc fieri ut velocior ille motus in fine reddatur.

Addunt alii praeter haec aëris illius impulsu qui iugiter mobili succedens ipsum magis expellit, ideoque effici, ut eius motus sit velocior, corrogant hic more consueto loca multa ex Arist. cum ex 8 Phys. Tum etiam ex 4 de Coelo, quibus de hoc impulsu mentio facta est, ut opinionem suam confirment. Quoniam vero contra faciunt verba contextus Aristotelici quibus significatur ex additione gravitatis fieri motum velociorem in fine; respondent hanc non esse veram mentem Aristotelis, sed eum ita pro hominum vulgique opinione fuisse locutum, neque ullo modo recipiunt auctoritatem Aristotelis in eo loco. Caeterum de loci illius veritate mox : interea monstremus eam esse falsam quam ipsi profitentur. Primum. n. in idem absurdum videntur incidere, atque D. Thomas et Albertus, qui impetum illum adventitium causam esse velocitatis asseverant, nam cum effectu causam commutant : siquidem velint impulsu aëris huiusce rei causam esse, qui quidem fit a mobili. At quearere licet, undenam mobile vim habeat impellendi aërem et magis impellendi, quo longius fertur. Et cum maior impulsus sit ex maiore velocitate, causa igitur(转下页)



动时间越长,它就会使介质变得越热,并从而使介质变得越稀疏,而且它还会使介质变得更易于稀疏化。这就使得运动总是能够更容易发生,从而它也变得越来越快。因此,一支箭才会一边前进一边加速,尤其是当运动能使它变热时更是如此。亚里士多德曾经证明说,这支箭将会变得如此热,以致即使它是用铅做成的,它也会熔化掉。然而,事实上,箭却一边运动一边减速。

在我看来,所有这些观点都完全颠倒了自然秩序。因为运动是发生在介质变热**之前**,而持有上述观点的人是把“介质变稀疏”这一现象摆在了运动现象**之前**,这就相当于假定了,结果本质上可以出现在其原因之前。显然,没有什么比这更荒谬的了。

还有几位注释者认为,位置本身所具有的各种力是产生这类结果的原因;但是,他们并没有用完全相同的方式来构想这些力。不过,我们发现,这些注释者主要通过两种不同的方式来解释这些与位置有关的力。正如我们前面所说,有些人认为,位置具有一种“保持”运动物体的力。所有物体都在试图通过某种自然欲望寻求“保持”,这就是为什么物体总要寻求它们的自然位置,就像最令人喜爱的事物在寻求它们的存在一样……

另一些人认为,在位置中有一种吸引运动物体的力,就如在磁石中有一种吸引铁的力一样。但是,为了反驳上述观点,我们就会问:物体越大,它就越是反抗这种吸引力,难道不是这样吗?当然如此。

---

(接上页) eius eventus non erit impulsus, ut aiunt, sed velocitas. Et quomodocumque erit gravitas quam ipsi repudiant, nam quod velocius agitur, est gravius quod item medium magis opprimatur est ex gravitate, quae item magis operabitur in eo subiecto quod est grave aut leve simpliciter, quam in eo quod est tale quodammodo. Verum sit haec adscititia quaedam velocitas, seu gravitas. Cur in processu non minuitur? Accedit eodem quod pari pacto pellunt partes medii quo pelluntur, et minus in progressu quod magis distant a virtute movente: naturale. n. movens in progressu debilitatur, nisi afficiat ad formam, quod sane huic adscititiae virtuti non conceditur.”

所以,与较小的物体相比,那些较大的物体应该总是下落得更慢。就像磁石的吸引不能使铁运动到任意远的距离,一块土同样也不能运动到任意远的距离,这是因为,一种自然特性的力量总是有限的。此外,这种观点还会摧毁某些亚里士多德的论证的力量。根据这些论证,人们认为,地球曾经从另一个世界的中心(无论它有多远)运行到了我们这个世界的中心,因为,除非我们世界中心的吸引特性能使它到达这里,否则地球就不会运动到现在的位置。……不过,尽管这个论证的价值并不大,但在反驳有些人将某种吸引力赋予位置这一点上,上述论证还是有些用处的。

41

但是,如果你另外假定了某种倾向,那么你就会陷入自相矛盾之中。

有些人认为,物体最缺乏的事物同时也是它最渴望的事物,并以此来反驳阿维罗伊的观点(尽管是通过援引一种错误的论证)。但是,与物体靠近其位置时相比,当它远离其位置时,位置对物体来说显得更为缺乏。事实上,当一个物体越是远离它的位置和形式,它就越快地趋向它的位置,并力图回到那里。但是,当人们提出上述论证时,他们的确没有看到,对于在质料中充当运动原因的那种渴望来说,当质料更靠近其目标时,这种渴望会比当它远离运动目标时更大。因此,植物不会渴望视力,鼯鼠也不会渴望光明。然而,人一旦双目失明,就会特别渴望视力与光明,这是因为,与前两者相比,人更靠近视力。同样,如果质料不能体会到某种利益,它就不会渴望这种利益;而在那些它能够体会到的利益中,它会渴望那些最接近的利益。在我看来,这种情形完全类似于情人正等待着他的女友,约会的时间越逼近,他的渴望就会越强烈,以致对他来说,一个小时就像是一段极其漫长的时间。

我不明白,上述理论的作者们如何能够避免得出以下结论:既然在运动开始时物体所受的推动力更大,那么它在开始时也应该运动

42

得更快。其实，他们粗心地犯了将匮乏(privation)的程度与能力(puissance)的程度相混淆的错误，就好像这两者是同一回事。因为在运动开始时，运动物体确实拥有较多的匮乏，而拥有较少(活跃的)能力。随后，物体的能力逐渐增加，匮乏则逐渐减少。因此，正如我们将在别处阐明，他们还混淆了能力的纬度(latitude)与能力的程度(degré)。实际上，在运动开始时，能力的纬度更大(就如极热与八度的冷之间的距离在开始时较大)，但随后则是能力的程度变得更大，这是因为，五度冷的事物比极热的事物更容易变成极冷的事物。因此，能力与倾向并不是按照纬度而增加，而是按照程度而增加……

现在，让我们来看看另一些论证。

有些人认为，一般说来，效能(efficacité)应该归因于形式的程度，而不应归因于质料的量(我们并不相信这一点)，因为在较大块或较小块的质料中，渴望的程度是一样的。由此必然可得，这两种不同块形的质料应该会以相同的速度运动，因为我们可以每一块质料中设定相同程度的渴望，就好像它们正处于相同程度的能力或完美之中。不过，正是这一点至关重要。尽管在我们看来，这些作者所提出的原因是正确的，但这个理论并不完善。事实上，上述原因并不能单独决定速度，除了运动的终点之外，还有许多其他原因也同样会影响速度，比如说，动力因以及其他一些原因，包括运动障碍的消除、运动物体自身的本性等等。所有这些原因都会偶然地导致运动的发生。

圣托马斯以及其后撒克逊的阿尔伯特认为，在各种元素中，重性(gravité)和轻性(légèreté)都是成对出现的：当他们说其中一种是元素本身固有的(per se)和自然的，他们就会认为另一种是偶然外加的。他们说，前者起源于创造的力量，并将物体保持在其固有位置上，后者是在运动过程中获得，而且正是因为后者，自然物体才会在运动中获得一个逐渐增加的冲力。事实上，他们通过一些实验来证

明情形的确如上所述,我们已在前面提到过这些实验,我们甚至提到过,在没有施动者的情况下,在运动物体中仍然保留着某种力,这种力推动着运动物体,就好像最初的施动者依然存在那样。因此,在最初施动者的推动力缺失的情况下,之所以运动依然能够发生,只是因为运动物体中仍然保留着某种力。由于这种力的作用,物体进行着与先前同样的运动。但是,这种力确实是外来的和偶然的,它也在逐渐耗尽。然而,在那些顺其自然而运动的物体中,它却一直在增加。这就是为什么那些物体会运动得越来越快……

如果有人问这个理论的作者们:这种冲力来自哪里?它究竟是什么?对于后一个问题,他们将会回答说:它是一种重性,一种真实的能力,而且恰好是一种运动的能力;对于前一个问题,他们将会回答说:这种能力通过运动来源于物体的形式。然而,在这个问题的研究中,上述观点的支持者似乎再次混淆了原因和结果。事实上,人们是想在运动中寻求速度的原因,他们却说这种原因是一种特性 (faculté) 或能力 (aptitude)。相反,如果你再问他们这种能力来自哪里,他们就会回答说,它来源于运动。然而,运动或者可被视为速度,或者仅仅被视为运动。如果我们将它仅仅视为运动,那么运动本身就成为了它自己的速度的原因;如果我们将它视为速度,情形也同样如此。因此,在这个问题上,他们再次将已经假定为结果的某种东西当成了原因。

44

在当代人中间,洛杜维科·比卡菲加认为,运动物体扰动着,并以某种方式推动着全部的介质,就像它曾以同样的方式扰动和推动着最初的那部分介质。在此之后,最初那部分介质又将它们的运动传递给了那些邻近的部分;那些邻近的部分又通过同样的扰动带着物体向前运动。由于它们走在运动物体的前面,物体的运动也从而变得更为容易。但是,在运动结束时,物体所受的冲力更大,空气也更易于接受运动,因此,当物体趋向终点时,它的运动将会变得越来

越快。

45

此外,其他人还添加了空气的推动力(impulsion),即空气一边紧紧跟随着运动物体,一边驱赶着它向前运动,这使得它的运动变得越来越快。他们经常通过援引亚里士多德著作的许多段落来确证上述观点。这些段落引自《物理学》(*Physique*)的第八卷和《论天》(*De Coelo*)的第四卷,在这些段落中亚里士多德曾经提到过这种推动力。但是,亚里士多德的原文却与上述解释完全不同。因为他说,当物体趋向终点时,之所以它的运动变得越来越快,是因为物体的重性一直在不断增加。对此他们回答说,这并非亚里士多德的真实想法,他这样说只是为了取悦俗众。在这一点上,他们不接受亚里士多德文本的权威。我们将在适当的时候再来探讨这些段落的真实性问题。在此我们想要表明的是,他们所提出的观点是错误的。这是因为:首先,在我们看来,他们与圣托马斯和阿尔伯特一样(后两者曾将偶然产生的冲力视为速度的原因),陷入了相同的荒谬之中,也就是说,他们同样混淆了原因与结果。事实上,他们把空气的推动力当成了速度的原因,尽管这个推动力本身就来源于运动物体。此外,人们还可以追问,如果说是这个力在推动着空气,而且物体运动的时间越长,这个力对空气的推动也就越大,那么运动物体是从哪里获得这个力呢?现在,由于越来越大的推动力是来自越来越大的速度,因此,这种现象的原因不会(如他们所说的)是推动力,而应该是速度。归根结底,上述原因将会是他们拒绝接受的重性:因为运动得更快的物体总是更重的物体,如果说介质受到了更多的压迫,那就是重性作用的结果;就以下两种运动主体来说:一种是绝对地重或轻的主体,另一种是只以某种特定的方式显得重或轻的主体,重性在前者中将会比在后者中发挥更大的作用。的确,如果这种重性或速度只是偶然产生的,为什么它不会逐渐减少呢?对此他们再次补充说,当介质的各部分被推动后,它们以同等的力量推动着介质的其他部分或运动物

体；当它们离开动质 (*vertu mouvante*) 越来越远时，这种推动作用就会相应减小。事实上，除非施动者将物体引向它的形式，否则这种自然施动者将会逐渐减弱；而将物体引向它的形式，这当然已不属于上述偶然动质的情形了。

随后，博纳米科继续解释为何风的现象与这种观点并不矛盾<sup>[73]</sup>：这是因为，风是某种非常复杂的事物，它由空气的运动和其他发散气体的运动构成；只有后一种运动才是风速的真正原因。因此，他认为，一般说来，偶然外加的冲力并不能解释加速，因为冲力恰恰是这种加速的结果。相反，博纳米科认为，应该假定存在某种冲力，这种冲力在所有运动发生之前就已存在于运动物体之中。他说：“此外，有些人断定，正是这种推动力使运动变得越来越快。之所以亚里士多德没有反驳这些人的断言，首先

46

---

[73] F. Bonamici, *De Motu*, l. IV, cap. XXXVIII, p. 412 sq., 拉丁语原文为：“Obiicies hic ventos qui vires acquirunt eundo, et velociore vehementioresque flunt. An eius eventus causa non habet locum in elemento; siquidem eius motionis quam vulgus ventum vocat, duae sunt partes, prima quae vere ventus est, exhalatio videlicet, quae propter diversa principia motus agitur in latus et quodammodo praeter naturam. Altera est aër contiguous et movetur quidem aër ea velocitate qua cietur exhalatio et in principio vehementius; eius signum quod apud nos die prima boreae sunt vehementiores; at vero propter continuitatem aëris in progressu multae partes eius concitantur; itaque maior est motus, neutiquam tamen velocior nisi forte in angustum contrahantur, cumque contineri nequeant magno impetus erumpent, aut quod cum in angusto parva materiae copia consistat, ab eadem vi vehementius agatur. Non igitur aër commotus agit velocius exhalationem, sed ab ea semper agitur. Ergo etiam et in motu elementi non magis agent elementum, quam ab ipso agatur. Quam ob rem impetus in mobili praecedat oportet. Praeterea nonne reiicit Aristoteles illorum dicta qui putant impulsus facere motum velociorem, quod in fine langeret, non autem augetur et quia facilius impelleretur mobile minus, quam maius? Videtur etiam gravitas esse causa velocitatis, quoniam id quod gravius est, fertur velocius. Quod sicubi impulsus illum in aere collocavit Arist. ille est quo natura utitur in motu projectorum; at nos de motu naturali nunc agimus. Mitto quod dum student defendere motum illum in elemento per se inesse, causam faciunt quae moveat per accidens; volunt enim mobile a medio ferri; atqui haec est vectio; ea vero est motus per accidens. Ita fit ut cum ab Aristotele discedere cupiunt, turpissime quoque labantur.”

是因为在这种情况下，物体在趋向终点时将会逐渐减速，而绝不会加速，其次也因为，一个较小的运动物体比一个较大的运动物体更容易被带动。因此，似乎重性才是速度的原因，因为更重的物体总是下落得更快。之所以亚里士多德在很多地方将这种推动力置于空气之中，这是因为在抛射体的运动中，自然所利用的也正是这种推动力；但是，我们在此论述的却是自然运动。因此我断定，当他们试图支持‘运动属于元素本身’这一观点，他们就将一种偶然的原因赋予了运动：实际上，他们硬是说运动物体是被介质所推动。然而，这里所涉及的只是一种介质传递运动的过程，这种过程是一种偶然运动。因此，当他们想要背离亚里士多德的观点时，他们就陷入了错误之中。”

博纳米科生动地阐述了亚里士多德物理学所面临的困难与批评，从而为我们提供了一个富有教益的概括。但是，无论是对于中世纪来说，还是就近代人所关心的内容而言，这种概括既不总是非常准确<sup>[74]</sup>，也不总是十分完整。<sup>[75]</sup> 例如，尽管他提到了比卡菲加，借鉴了斯卡利杰的观点<sup>[76]</sup>，但是，他完全没有提到塔尔塔里亚和卡尔丹，甚至也没有提到贝内代蒂。即便在某种严格的意义上，我们承认卡尔丹（他在不同的著作中采纳了两种相互矛盾的观点）甚至塔尔塔里亚都没有对冲力物理学做出什么重要贡献，但对于贝内代蒂，我们却不能得出同样的结论。因此，我们应该来关注一下贝内代蒂。

[74] 例如，他将撒克逊的阿尔伯特的学说归于圣托马斯这位最正统的亚里士多德主义者（参见 *Comment. in quattuor libros de Coelo*, lib. III, lect. 7）。

[75] 中世纪关于运动本质和加速本质的讨论比博纳米科所想象的要丰富和复杂得多。参见前文第 24 号注释和第 43 号注释所引用的著作。

[76] 关于小轮子在环形空腔中转动的段落借用自斯卡利杰的以下文本：J. C. Scaliger, *Exotericarum exercitationum liber XV, De subtilitate ad Hieronimum Cardanum*, Lutetiae, MDLVII, *exercitatio XXVIII, De motu projectorum*. 另参见 Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 200.

### 三、冲力物理学：贝内代蒂

让·巴蒂斯特·贝内代蒂<sup>[77]</sup>是“巴黎学派”物理学的坚定支持者。就像他的前辈们一样，他也认为亚里士多德的抛射体理论毫无价值。因此，他告诉我们<sup>[78]</sup>：

---

[77] 相对于他的同时代人和前辈们来说，贝内代蒂更为人们所熟悉。参见：K. Lasswitz, *Geschichte des Atomismus*, vol. II, pp. 14 sq. ; G. Vailati, “Le speculazione di Giovanni Benedetti sul moto de gravi” in *Rendiconti dell’Accademia Reale delle scienze di Torino*, 1897-1898, 并被重印于：*Scritti*, Leipzig-Firenze, 1911; E. Wohlwill, “Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes”, in *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., v. XV, p. 394 sq. ; G. Galilee und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre, v. I, p. 111 sq. ; P. Duhem, “De l’accélération produite par une force constante”, *Congrès International d’histoire des sciences*, III<sup>e</sup> Session, Genève, 1906, p. 885 sq. ; *Etudes sur Léonard de Vinci*, Vol. III, p. 214 sq. ; G. Bordiga, “G. B. Benedetti” in *Atti de R. Istituto Veneto*, 1925-1926.

尽管贝内代蒂更为人们所熟悉，但人们对他的了解依然不够充分。因此，我们认为还是应该用几页篇幅来论述他。

[78] 参见 J. B. Benedicti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, 1585, p. 184, 拉丁语原文为：“Aristoteles in fine. 8. physicorum sentit corpus per vim motum et separatum a primo movente, moveri aut motum esse per aliquod tempus ab aere, aut ab aqua, quae ipsum sequuntur. Quod fieri non potest, quia imo aer, qui in locum desertum a corpore subintrat ad fugandum vacuum, non solum hoc corpus non impellit, sed potius id cohibet à motu, quia aer per vim a corpore ducitur retro, et divisus a parte anteriori a dicto corpore, resistit similiter et quantum dictus aer in dicta parte condensatur, tantum in posteriori rarefit, unde per vim sese rarefaciens non permittit, ut dictum corpus cum ea velocitate fugiat, cum qua aufugeret, quia omne agens in agendo patitur. Quam ob rem cum aer a dicto corpore rapiatur, corpus quoque ipsum ab aere rapitur. Huiusmodi autem rarefactio aeris naturalis non est, sed violenta; et hanc ob causam resistit, et ad se trahit, sed non sufferente natura, ut inter unum et aliud ex dictis corporibus reperiatur vacuum; idcirco sunt haec semper contigua et mobile corpus aerem deserere cum nequeat, eius velocitas impeditur. Huiusmodi igitur corporis separatim a primo movente velocitas oritur quadam naturali impressione ex impetuositate recepta à dicto mobili, quae impressio et impetuositas, in motibus rectis naturalibus continuo crescit, cum perpetuo in se causam moventem, id est propensionem eundi ad locum ei à natura assignatum habeat.”



亚里士多德在《物理学》第八卷的末尾指出,当物体被外力推动之后,即便此时它已经与最初的施动者相分离,它也能够自行运动一段时间,或者被紧随其后的空气或水推着运动一段时间。但是,这种情况不可能发生,因为空气将会占据物体所放弃的位置以避免形成虚空。这样一来,空气不仅不会推动物体,而且还会阻碍物体运动。事实上,[在这样一种运动过程中],物体将重新用力推动它前端的空气,从而使物体前后部分的空气被分隔开来;因此,空气阻碍着物体。此外,处于物体前端的空气越是被压缩,处于物体后端的空气就会变得越稀疏。由于空气受到外力强迫而变得稀疏,物体就不可能以它先前出发的同样速度继续前进,因为所有的作用因素在作用过程中都受到了影响。因此,当物体推动空气时,物体自身也被空气所阻碍。因为上述空气变稀疏的过程不是自然的,而是受迫的。正是由于这个原因,空气才阻碍物体的运动,并将物体拉向自身,因为自然不允许在这两个物体之间(也就是说,在运动物体和空气之间)出现虚空。因此,它们之间总是保持相互接触;正因为运动物体不能与空气相分离,它的速度才会被空气所阻碍。

因此,介质的反作用并不能解释抛射体所增加的速度;恰恰相反,这种反作用只会阻碍抛射体运动。至于运动本身,不管它是受迫运动还是自然运动,它总是可以用一种内在于运动物体的推动力来解释。贝内代蒂继续写道:

所有的重物,不管它是在做自然运动还是受迫运动,它在其自身内部都接受到了一种冲力(*impetus*),一种运动的冲印(*impression*),以致当它与动质相分离之后,它还能自行继续运动一段时间。因此,当物体在做自然运动时,它的速度将会不断增加。事实上,此时物体内部所具有的冲力和冲印(*impressio*)也会不断增加,因为物体一直

与其动质相连接。由此还可得出,当我们用手使轮子转动起来之后,再抬起手放开轮子,这时轮子也不会立即停下来,而是会继续转动一段时间。<sup>[79]</sup>

那么,这种冲力,这种推动力(force motrice),或者说,这种内在于物体的运动原因究竟是什么?这个问题很难回答。我们可以说,它是某种被赋予运动物体的性质(qualité)、能力(puissance)或动质(vertu),或者毋宁说,它是由于物体与拥有动质的施动者相接触,由于物体分有了运动,从而充满着运动物体的某种动质。同时,它也是运动物体获得的某种习性(habitus),而且运动物体经受施动者作用的时间越长,它所获得的习性就越多。因此,举例来说,之所以用投石器投掷的石头比用手抛射的石头飞得更远,就是因为石头在投石器中经受了多次的旋转,使石头“印”入了更多的习性。他说:

之所以用投石器投掷的重物比用手抛射的重物飞得更远,真正的原因就是<sup>[80]</sup>:与仅仅用手抛射的情形相比,当它在投石器中旋转

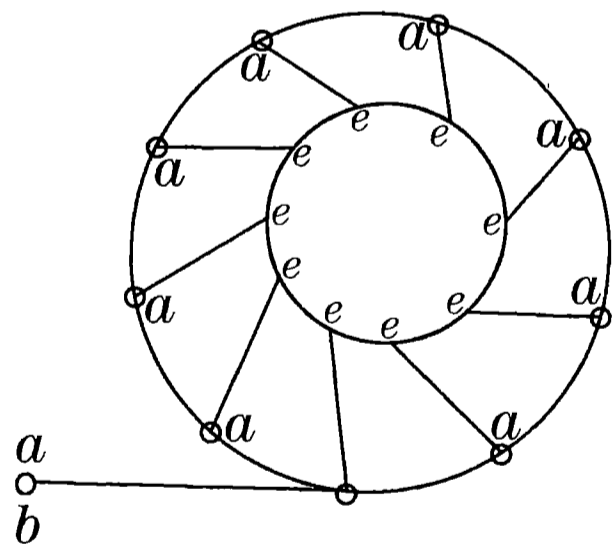
---

[79] J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, p. 286, 拉丁语原文为:“*Epistola, Illustr. Joanni Capra Novarensi Sabaudiae Ducis...*, *De revolutione rotae putealis et aliis problematibus*. Omne corpus grave, aut sui natura, aut vi motum, in se recipit impressionem et impetum motus, ita ut separatim a virtute movente per aliquod temporis spatium ex seipso moveatur; nam si secundum naturam motu cieatur, suam velocitatem semper augebit, cum in eo impetus et impressio semper augeantur, quia coniunctam habet perpetuo virtutem moventem. Unde manu movendo rotam ab eaque; eam removendo, rota statim non quiescet, sed per aliquod temporis spatium circunvertetur”;参见前一注释所引用的文本,以及, *ibid.*, p. 184, cap. XXIV.: “*Disputationes de quibusdam placitis Aristotelelis. Idem vir gravissimus an bene senserit de motibus corporum violentis et naturalibus*: Huiusmodi igitur corporis separatim a primo movente velocitas oritur a quadam naturali impressione, ex impetuositate recepta a dicto mobili.”

[80] J. B. Benedetti, *Ibid.*, *De Mechanicis*, cap. XVII, p. 160, 拉丁语原文为:“Vera ratio cur multo longius corpus aliquod grave impellatur funda, quam manu, inde oritur, quod (转下页)

时,这种旋转运动在重物中印入了一个更大的冲力,以致物体从投石器飞出之后,它在其本性的引导下,沿着一条直线向前运动,这条直线与它最后一圈旋转所处的圆周相切。毫无疑问,投石器能够赋予物体一个更大的冲力,因为通过多次的旋转,物体总是能够接受到更大的冲力。当用手使物体发生旋转时,手并不是物体运动的中心(不管亚里士多德是否这样说过),绳子也不是旋转半径”。

(接上页)circumvolvendo fundam, maior impressio impetus motus fit in corpore gravi, quam fieret manu, quod corpus liberatum deinde cum fuerit a funda, natura duce, iter suum a puncto, a quo prosiliit, per lineam contiguam giro, quem postremo faciebat, suscipit. Dubitandumque non est, quin dicta funda maior impetus motus dicto corpori imprimi possit, cum ex multis circumactibus, maior semper impetus dicto corpori accedat. Manus autem eiusdem corporis motus, dum illud ipsum circumvolvitur (pace Aristotelis dixerim) centrum non est, neque funis est semidiameter. Immo manus quam maxime fieri potest in orbem cietur; qui quidem motus in orbem, ut circumagatur etiam ipsum corpus, cogit, quod quidem corpus, naturali quadam inclinatione, exiguo quodam impetu jam incepto vellet recta iter peragere, ut in subscripta figura patet, in qua *e* significat manum, *a* corpus, ab lineam rectam tangentem girum *aaaa* quando corpus liberum remanet. Verum quidem est, impressum illum impetum, continuo paulatim decrescere unde statim inclinatio gravitatis eiusdem corporis subingreditur, quae sese miscens cum impressione facta per vim, non permittit ut linea *ab* longo tempore recta permaneat, sed cito fiat curva, cum dictum corpus a duabus virtutibus moveatur quarum una est, violentia impressa, et alia natura, contra opinionem Tartaleae qui negat corpus aliquod motibus violento et naturali simul et semel moveri posse. Neque est silentio praetereundus hac in re quidam notatu dignus effectus qui eiusmodi est quod quanto magis crescit impetus in corpore a causatus ab augmento velocitatis giri ipsius e tanto magis oportet, ut sentiat se trahi manus a dicto corpore a. mediante fune, quia quanto maior impetus motus ipsi *a* est impressus, tanto magis dictum corpus *a*, ad rectum iter peragendum inclinatur, unde ut recta incedat tanto majore quoque vi trahit.”



这就意味着,亚里士多德提出的运动正圆性与上述问题无关。此外,圆周运动还在物体中产生了一个使物体沿直线运动的冲力。

现在,这种被印入的冲力(*impetus impressus*)持续减弱,重性的下落倾向也逐渐体现出来,这种下落倾向与被印入的冲力相结合(相混合),使得运动路线 *ab* 不可能长时间保持直线状态;很快它就变得弯曲了,因为上述物体受到了两种动质的驱动,其中之一是被印入的强迫,另一种则是物体的本性。这种观点与塔尔塔里亚的看法正好相反,后者认为,没有任何一个物体能够同时被两种不同的运动(自然运动和受迫运动)所驱动。<sup>[81]</sup>

我们完全有理由认为,贝内代蒂给出的解释看起来相当混乱。但是,说实话,这一点不应该让我们感到太过惊讶:事实上,冲力概念本来就是一个非常混乱的概念。

归根结底,它所做的只不过是使用“科学的”术语去表达一种常识观念,而这种观念则建立在日常经验和常识现象的基础之上。

的确,这种冲力、力量(*forza*)或动质(*virtus motiva*),如果不是关于某种“能量”(élan)和肌肉用力经验的凝结(如果我们可以这样说的话),那么它还会是什么呢?因此,不管它是真是假,它与“事实”吻合得非常好。这些“事实”构成了中世纪动力学的经验基础。它与抛射体初始加速的“事实”尤其吻合,它甚至解释了以下现象:即为了能够占领和控制物体,冲力难道不需要一些时间吗?此外,所有人都知道,我们必须“进行一段助跑”才能跳跃一个障碍;不管是推还是拉,一辆马车总是缓慢起动并逐渐加速:它也在助跑以获得某种“能量”。所有人(甚至连踢球的小孩)

---

[81] J. B. Benedicti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, p. 160.

都知道,为了更强劲有力地击中目标,人们所处的位置应该与目标拉开一段距离,而且是一段离目标不能太近的距离:这也是为了让球通过助跑来积累它所需的“能量”。〔82〕

- 51 冲力、冲印(impression)、性质(qualité)或动质(vertu motrice),无论它叫什么,它都是指由施动者传递给运动物体的某种东西。一旦这种东西进入、渗入或印入运动物体,它就会影响运动物体。因此,冲力与其他性质或动质,甚至与自然的性质与动质都会相互妨碍(各种不同的冲力之间也会相互干扰,从而很难共存于同一运动物体之中)。因此,贝内代蒂才会在一部奇特的著作中向我们解释说,受迫运动的冲力会使它所作用的物体变得更轻。

圆形物体的各部分都具有一种直线运动的倾向,从这种倾向可知,当一个陀螺做强力自转时,它将会在某一段时间内几乎竖直停留在其尖端,而且它向世界中心的任何一侧倾斜的程度绝不会多余另一侧。因为在这样一种运动中,物体的每一部分都不会完全地趋向世界中心,而只会更多地倾向于沿着垂直于自由落体方向的路线运动,以致这个物体必然应该停留在竖直状态。当我说物体的各部分不会完全趋向世界中心时,我这样说是因为,不管怎样它们从未被完全剥夺过另一种倾向,正是由于这种倾向,物体本身才趋向(陀螺的尖端)这一点。然而,陀螺旋转得越快,它就越少会趋向其尖端这一

---

〔82〕 中世纪的炮兵与弹道学家们从“如果有两种运动共存于同一运动物体中,它们不可能不相互斗争”这一不可动摇的观念出发,认为炮弹(就像所有的抛射体一样)一开始先沿直线运动;随后当它的运动或推动力被逐渐耗尽时,它就垂直落向地球;炮弹轨迹的两个直线部分通过一段圆弧连接在一起。塔尔塔里亚曾经对弹道学发生过兴趣,甚至曾经出版过关于大炮发射的仰角表。在其著作《新科学》(*Nuova Scienza*, 1537)中,他一方面发表了传统理论,另一方面又宣称轨迹“总是曲线”(sempre curva)。实际上,正如我们通常所说,是伽利略而不是塔尔塔里亚(甚至也不是贝内代蒂)才第一次清晰地认识到,炮弹的轨迹从一开始就已经弯曲了。参见本书下文第三部分第 207 页和第 270 页。

点；换句话说，陀螺旋转得越快，它就会变得越轻。这在弓箭的例子，或是在其他任何一种类似器械的例子中都显示得很清楚。在这些例子中，抛射体做受迫运动的速度越快，它所具有的趋向直线运动的倾向就越强烈。这就意味着，它会更少地趋向世界的中心，换言之，它变得更轻了。但是，如果你想以一种更清晰的方式看到这个真理，不妨想象一下当这个物体（如陀螺）正在快速旋转时，它突然被切割或分割成了许许多多的部分，那么你将会看到，它们不会立即落向世界的中心，而将会朝着水平方向做直线运动。就我所知，至今为止还从未有人对陀螺做过这样的观察。这种陀螺，或其他同类物体的例子，清晰地显示了逍遥学派关于受迫运动问题的观点犯了多么大的错误，他们居然认为受迫运动是由空气的反作用所引起的……而实际上，介质却起了另一种完全不同的作用。<sup>[83]</sup>

52

---

[83] J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, p. 285, 拉丁语原文为：“De motu molae et trochi, de ampullis aquae, de claritate aeris et Lunae noctu fulgentis, de aeternitate temporis et in finito spacio extra coelum, coelique figura. *Illustr. Ioanni Paulo Capra Novarensi Sabaudiae Ducis Hospicij Magistro*……Quaeris a me litteris tuis, an motus circularis alicuius molae molendinarie, si super aliquod punctum quasi mathematicum, quiesceret, posset esse perpetuus, cum aliquando esset mota, supponendo etiam eandem esse perfecte rotundam et levigatam. Respondeo huiusmodi motum nullo modo futurum perpetuum, nec etiam multum duraturum, quia praeterquam quod ab aere qui ei circumcirca aliquam resistantiam facit stringitur, est etiam resistantia partium illius corporis moti, quae cum motae sunt, natura, impetum habent efficiendi iter directum, unde cum simul iunctae sint, et earum una continuata cum alia, dum circulariter moventur patiuntur violentiam, et in huiusmodi motu per vim unitae manent, quia quanto magis moventur, tanto magis in iis crescit naturalis inclintio recta eundi, unde tanto magis contra suam et naturam volvuntur, ita ut secundum naturam quiescant, quia cum eis proprium fit, quando sunt motae, eundi recta, quanto violentius volvuntur, tanto magis una resistit alteri, et quasi retro revocat eam, quam antea reperitur habere.

Ab eiusmodi inclinatione rectitudinis motus partium alicuius corporis rotundi fit, ut per aliquod temporis spacium, trochus cum magna violentia seipsum circumagens, omnino rectus quiescat super illam cuspidem ferri quam habet, non inclinans se versus mundi centrum, magis ad unam partem, quam ad aliam, cum quaelibet suarum partium in huiusmodi motu non inclinet omnino versus mundi centrum, sed multo magis per transversum ad angulos rectos cum linea (转下页)

在亚里士多德的物理学中,介质发挥着双重作用。它既是阻碍者,同时又是推动者。但是,冲力物理学否定了介质的推动作用。贝内代蒂还补充说,即便是介质的阻碍作用也遭到了亚里士多德的误解,尤其是遭到了他的错误评价。亚里士多德所误解的(或者更确切地说,他根本无法理解的)是数学在物理科学中的作用。因此,他才几乎处处都陷入了错误。现在,只有从数理哲学的“不可动摇的基础”出发(实际上,这就意味着:从阿基米德出发),人们才能用一种更好的物理学来替代亚里士多德的物理学。

因此,贝内代蒂完全意识到了他所从事的事业的重要性。他甚至摆出了一副英雄的姿态,并告诉我们<sup>[84]</sup>:

---

(接上页) directionis, aut verticali, aut verticali, aut orizontis axe, ita ut necessario huiusmodi corpus rectum stare debeat. Et quod dico ipsas partes non omnino inclinare versus mundi centrum, id ea ratione dico, quia non absolute sunt unquam privatae huiusmodi inclinatione, quae efficit ut ipsum corpus eo puncto nitatur. Verum tamen est, quod quanto magis est velox, tanto minus premit ipsum punctum, imo ipsum corpus tanto magis leve remanet. Id quod aperte patet sumendo exemplum pilae alicuius arcus, aut alicuius alterius instrumenti, seu machinae missilis, quae pila quanto est velocior, in motu violento, tanto maiorem propensionem habet rectius eundi, unde versus mundi centrum tanto minus inclinat, et hanc ob causam levior redditur. Sed si clarius hanc veritatem videre cupis, cogita illud corpus, trochum scilicet, dum velocissime circumducitur secari, seu dividi in multas partes, unde videbis illas omnes, non illico versus mundi centrum descendere sed recta horizontaliter ut ita dicam, moveri. Id quod a nemine adhuc (quod sciam) in trocho est observatum. Ab huiusmodi motu trochi, aut huius generis corporis, clare perspicitur, quam errent peripatetici circa motum violentum alicuius corporis, qui existimant aerem qui subintrat ad occupandum locum a corpore relictum, ipsum corpus impellere, cum ab hoc, magis effectus contrarius nascatur.

Illud, nihil, Aristotelis extra caelum nullomodo nobis inservit pro eiusdem Coeli spherica rotunditate, cum cuiusque alterius ex in finitis figuris Coelum ipsum esse possit secundum suam superficiem convexam. Nam Caelum ea ratione sphericum non est, quod magis sit capax, quia ei innumerabiles alias figuras adeo magnas poterat concedere causa divina: sed sphaericum est effectum, ne partem aliquam haberet sui termini superfluum, quia nullum corpus a breviori termino quam a spherico terminari potest.”

[84] J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, p. 168 sq., 拉丁语原文为:“*Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis: Tanta est certe Aristotelis amplitudo atque autoritas, ut difficillimum ac periculosum sit sapientia a*(转下页)

亚里士多德确实是如此伟大和权威，以致如果我们想写出任何东西来反对他的教导，都必定是一件既困难又冒险的事情。尤其是对我来说，这个人表现出来的睿智总是令人仰慕不止。然而，出于对真理的关切与热爱（如果亚里士多德还活着，他自己也一定会被这种对真理的热爱激动不已）……为了公众的利益，我迫不及待地想说一说，数理

---

（接上页）*dmirabilis. Veruntamen studio veritas impulsus, cuius ipse amore in seipsum si maticae philosophiae basis, cui semper insisto ab eo dissentire coegit. Cap. II : Quaedam supponenda ut constet cur circa veloci tatem motuum naturalium localium ab Aristotelis placitis recedamus.*

Cum susceperimus provinciam probandi quod Aristoteles circa motus locales naturales deceptus fuerit, sunt quaedam primo verissima et objecta intellectus per se cognita praesupponenda, ac primum quaelibet duo corpora, gravia aut levia, area aequali similique figura sed ex materia diversa constantia, eodemque modo situm habentia, eandem proportionem velocitatis inter suos motus locales naturales, ut inter suam et pondera aut levitates uno in eodemque medio, sorvatura. Quod quidem natura sua notissimum est si considerabimus non aliunde maiorem tarditatem, aut velocitatem gigni, quam a. 4. causis (dummodo medium uniforme sit et quietum) idest a maiori aut minori pondere aut levitate; a diversa figura; a situ eiusdem figurae diversae respectu lineae directionis, quae recta inter mundi centrum et circumferentiam extenditur; et ab inaequali magnitudine. Unde patebit, quod figuram non variando, nec in qualitate nec in quantitate, neque eiusdem figurae situm, motum fore proportionatum virtuti moventi, quae erit pondus aut levitas. Quod autem de qualitate, de quantitate et situ eiusdem figurae dico, respectu resistantiae ipsius medii dico: Quia dissimilitudo aut inequalitas figurarum, aut situs diversus non parum alterat dictorum corporum motus, cum figura parva facilius dividat continuitatem medii, quam magna; ut etiam celerius idem facit acuta, quam obtusa; et illa quae cum angulo, qui antecedit movebitur velocius quam illa quae secus. Quotiescunque igitur duo corpora unam eandemque resistantiam ipsorum superficiebus, aut habebunt aut recipient, eodem motus inter seipsos eorum plane modoproportionati consurgent quo erunt ipsorum virtutes moventes; et e converso, quotiescunque duo corpora unam eandemque gravitatem aut levitatem et diversas resistantias habebunt, eorum motus inter seipsos eandem proportionem sortientur, quam habebunt eorum resistantiae converso modo; quae quidem resistantiae inter seipsas eandem proportionem quam ipsarum superficies habebunt, aut in qualitate sola figurae, aut in quantitate sola, aut in situ, aut in aliquibus ex dictis rebus, eo tamen modo qui superius positus fuit, ut scilicet corpus illud quod alteri comparatum, aequalis erat ponderis, aut levitatis sed minoris resistantiae, existet velocius altero, in cadem proportione cuius superficies resistantiam suscipit minorem ea quae alterius est corporis, ratione facilioris divisionis continuitatis aeris, aut aquae. Ut exempli gratia, si proportio superficiei corporis maioris superficiei minoris sesquitertia esset, proportio velocitas dicti corporis maioris, velocitati corporis minoris, esset subsesquitertia, unde velocitas minoris corporis maior esset velocitate corporis maioris quemadmodum quaternarius numerus ternario maior existit.”



哲学的不可动摇的基础如何迫使我不得不与亚里士多德分道扬镳。

54 我们想要证明的是，亚里士多德在自然位置运动的问题上犯了错误。既然我们已经接受了这一重任，我们就应该从那些理智通过自身能够认识的、非常真实的东西出发开始工作：首先，任何两个物体，不管它们是重的还是轻的，如果它们体积相等、形状相似并以相同的方式放置，但却由不同的质料构成，那么，当它们在同一种介质中做自然位置运动时，它们将会保持其重性或轻性的比例不变。从它们的本性来看，这是显而易见的。只要我们考虑一下，如果介质保持均一及静止，那么，较快的速度或较慢的速度只可能来源于以下四种原因，即：(a)来源于不同大小的重性或轻性；(b)来源于形状的多样性；(c)来源于这种形状相对于从世界中心笔直延伸到物体周边的方位线的位置；(d)来源于运动物体的不同大小。由此我们可以清晰地看到，如果我们既不改变物体的形状(在质和量上均不改变)，也不改变这种形状的位置，那么物体的运动就会与重量(poids)或轻性等动质成正比。在此我关于质、量和同一形状的位置所说的内容，都是就其与同一介质的阻碍相比而言。因为这些形状的差异、不等或不同的位置将会以某种不可忽略的方式改变着上述物体的运动。因为与大的形状相比，小的形状更容易隔断介质的连续性，正如与钝的形状相比，尖的形状能够更迅速地隔断介质的连续性。同样，运动时尖端向前的物体将会比不是这样的物体运动得更快。因此，每当两个物体遇到相同的阻碍时，它们的运动将会与它们的动质成正比。相反，每当两个物体拥有相同的重性或轻性，但遇到不同的阻碍，两者之间的运动比例与它们所遇到的障碍比例正好相反；……如果两个物体拥有相同的重性或轻性，但其中一个受到更小的阻碍，那么这个物体的表面所产生的阻碍比另一个物体小多大的比例，它的运动速度就会比另一个物体快同样大的比例。……例如，如果较大物体与较小物体的表面积之比为4比3，那么较小物体的速度快过较大物

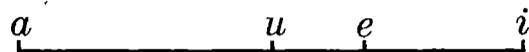
体的速度[的比例],就好像 4 这个数大过 3 这个数[的比例]。

亚里士多德主义者可能会接受,甚至应该接受以上所有的观点。但是,贝内代蒂补充说,还需要接受另外某些结论<sup>[85]</sup>:

一个重物在不同介质中的自然运动与同一物体在该种介质中的重量成正比。例如,假定用线段  $ai$  来表示某一重物的总重量,并将这个重物放进比它自身稀疏的任何一种介质中(因为,正如阿基米德曾经指出,如果它被放进一种比它更稠密的介质中,它就不再是重物,而变成了一种轻物),那么,这种介质就会使物体的总重量减轻,减轻的部分用线段  $ei$  来表示,其结果是只剩下用线段  $ae$  表示的这部分重量还在起作用。如果上述物体放进比前一种介质更为稠密,但仍然比物体本身稀疏的另外某种介质中,那么这种介质就会使前述物体的总重量减轻用线段  $ui$  表示的一个部分,只剩下用线段  $au$  表示的这部分重量不受影响。

---

[85] 参见 J. B. Benedicti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, p. 169, 拉丁语原文为:“Aliud quoque supponendum est, velocitatem scilicet motus naturalis alicuius corporis gravis, in diversis mediis, proportionatam esse ponderi ejusdem corporis in iisdem mediis; ut exempli gratia, si pondus totale alicuius corporis gravis significatum erit ab.  $a. i.$  quo corpore posito in aliquo medio minus denso, quam ipsum sit (quia in medio se densiore si poneretur, non grave esset, sed leve, quemadmodum Archimedes ostendit), illud medium subtrahat partem  $ei$  unde pars  $ae$  ejusdem ponderis libera maneat; et, posito deinde eodem corpore in aliquo alio medio densiore, minus tamen denso quam ipsum sit corpus, hoc medium subtrahat partem,  $u. i$  dicti ponderis, unde pars  $a. u$  ejusdem ponderis remanebit. Dico proportionem velocitatis ejusdem corporis per medium minus densum, ad velocitatem ejusdem per medium magis densum futuram ut  $a. e.$  ad  $a. u.$ , ut est etiam rationi consonum magis quam si dicamus huiusmodi velocitates esse ut  $ui$  ad  $ei$  cum velocitates a virtutibus moventibus solum (cum figura una, eademque in qualitate, quantitate situque erit) proportionentur. Quae nunc diximus, plane similia sunt iis, quae supra scripsimus, quia idem est dicere proportionem velocitatum duorum corporum heterogeneorum, sed similibus figura, et magnitudine aequalium, in uno solo medio, æqualem esse proportioni ponderum ipsorum, ut si dicamus proportionem velocitatem unius solum corporis per diversa media eandem esse cum ea quae est ponderum dicti corporis in iisdem mediis.”



56

如果我说，一个物体在较稀疏介质中的速度与同一物体在较稠密介质中的速度之比将等于线段  $ae$  与  $au$  之比，那么这种说法将会比“上述两个速度之比等于线段  $ui$  与  $ei$  之比”这样的说法更为合理。这是因为（当物体的形状在质、量、和位置等方面都保持不变时），它们的速度只与推动力的大小成正比。现在我们所说的与前面我们所写的显然保持着一致，因为如果我们说，两个形状、大小等方面都相同的异质物体在同种介质中的速度之比等于它们自身的重量之比，这就相当于说，同一物体在不同介质中的速度与这个物体在对应介质中的重量成正比，这两种说法是一回事。

当然，从贝内代蒂自己的观点来看，他是完全正确的。如果速度与推动力成正比，如果一部分推动力（即一部分重量）被介质的作用所抵消，那么我们就只需要考虑剩余部分的推动力，而在越来越稠密的介质中，重物的速度将按照算术级数递减，而不会像亚里士多德所想的那样按照几何级数递减。但是，贝内代蒂的推理完全没有从与亚里士多德推理相同的基础出发，而是建立在阿基米德的流体静力学之上：因为对亚里士多德来说，“重”是物体恒常和绝对的属性之一，而不是像贝内代蒂和那些“古人”所认为的那样<sup>[86]</sup>，“重”只是一种相对的属性。因此，对亚里士多德来说，在阻碍物体运动的不同介质中，重量总是以某种整体的方式发挥作用。<sup>[87]</sup> 因此，贝内代蒂认为，亚里士多德的物理学清晰地显示了亚里士多德本人“既不了解物体的重性的原因，又不了解物体的轻性的原因。物体的重性或轻性是由重物或轻物的稠密或稀疏，以及各种介质不同程度

[86] 参见本书前文第 35 页。

[87] 这就是为什么合成速度等于重量除以阻力所得的商。

的稠密或稀疏等因素形成”<sup>[88]</sup>。稠密或稀疏是物体的绝对属性，而“重”（也就是说，重性或轻性）只是各种不同的效果。为了使我们能够避免某种很容易陷入的错误，贝内代蒂提醒我们说<sup>[89]</sup>：“同一物体在不同介质中的重量之比并不等于介质密度之比，由此必然会产生各种不同的速度之比。尤其明显的是，形状或质料相同，但大小不同的重物或轻物，当它们在同种介质中做自然运动时，它们的速度将会遵循一个完全不同于亚里士多德所断言的比例”；其中，“在两个重量相等的物体中，更小的物体将运动得更快”，因为介质对它的阻碍将会更小……<sup>[90]</sup>

实际上，在贝内代蒂看来，亚里士多德从来不曾理解运动。他不理解自然运动，因为他甚至没有看到，“自然物体向上或向下的直线运动首先而且就其本身而言(*per se*)就不是自然运动”<sup>[91]</sup>；他也不理解受迫运动，因为他既没有看到直线运动或直线的往返运动可以无间断地发生和持续<sup>[92]</sup>，也

57

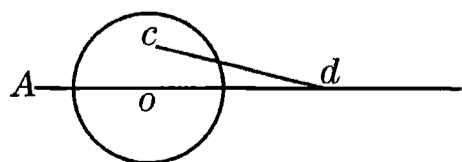
[88] J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, cap. XXVI, p. 185. 拉丁语原文为：“Manifeste indicat (Aristoteles) se causam nec gravitatis, nec levitatis corporum naturalium nosce, quae est densitas aut raritas corporis gravis, aut levis, maior densitate aut raritate medii permeabilis, in quo reperitur.”

[89] J. B. Benedetti, *ibid.*, p. 172. 拉丁语原文为：“*Disputationes, de quibusdam placitis Aristotelis, c. VI: Quod proportiones ponderum eiusdem corporis in diversis mediis proportiones eorum mediorum densitatum non servant. Unde necessario inaequales proportiones velocitatum producuntur, cap. VII. Corpora gravia aut levia eiusdem figurae et materiae sed inaequalis magnitudinis, in suis motibus naturalibus velocitatis, in eodem medio proportionem longe diversam servatura esse quam Aristoteli visum fuerit*”. 也就是说，这个比例将是算术的，而不是几何的。

[90] *Ibid.*, c. VIII 以及 c. XVIII.

[91] *Ibid.*, cap. XXV, p. 184. 拉丁语原文为：“*Motus rectus corporum naturalium sursum aut deorsum non est naturalis primo et per se.*”

[92] *Ibid.*, cap. XXIII, p. 183: “*Motum rectum esse continuum vel dissentiente Aristotele* [直线运动是连续的，尽管亚里士多德不同意这一点]”。只需考虑一下(如下图所示)由一个圆的旋转所产生的直线运动就足以理解这一点：d点沿着直线A滑动，它的往返运动并不包含任何停顿。



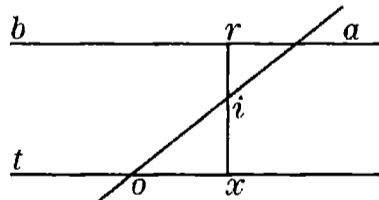
没有看到直线运动尽管在空间上可能是有限的,但在时间上却可能是无限的:只要直线运动的速度逐步减慢就能够做到这一点。<sup>[93]</sup>

我们清楚地看到,亚里士多德的首要错误就在于:他的物理学忽视了,甚至排除了数理哲学的不可动摇的基础。

然而,我们还没有列举完亚里士多德物理学的错误。<sup>[94]</sup> 现在,我们来看看其中最严重的错误:对虚空的否定。事实上,贝内代蒂直言不讳地告诉我们:亚里士多德关于“虚空不存在”的证明毫无价值。

众所周知,亚里士多德用归谬法论证了虚空的不可能性:在虚空中,也就是说,在没有任何阻碍的情况下,运动将以无限大的速度进行。<sup>[95]</sup> 而在贝内代蒂看来,没有什么比上述论证更加谬误了。既然速度正比于物体的相对重量,也就是说,正比于被介质的阻碍所减少(而不是被分割)后的绝对重量,由此便直接可得,速度并不会无定限地增加,而且即使介质的阻碍完全消失了,速度也绝对不会变成无限大。<sup>[96]</sup> “为了更容易说

[93] 参见 J. B. Benedicti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, cap. XXIX, p. 286: “*Dari continuum infinitum motum super rectam atque finitam lineam* [在有限的直线上可以产生出无限运动]。”只需设想一下(如下图所示)当直线  $ao$  围绕着  $a$  点转动时,交点  $i$  沿着线段  $xr$  所做的运动就足以理解这一点。当点  $o$  朝着  $t$  方向滑动时,交点  $i$  永远不可能到达  $r$  点。



[94] *Ibid.*, cap. XXXVI, p. 195: “*Minus sufficienter explosam fuisse ab Aristotele opinionem credentium plures mundos existere* [有些人认为存在多个世界,亚里士多德对这种观点的反驳是不充分的]。”

[95] 参见本书前文第 23 页。

[96] J. B. Benedetti, *Ibid.*, cap. XIX, p. 179. 拉丁语原文为: “*Quam sit inanis ab Aristotele suscepta demonstratio quod vacuum non detur* [亚里士多德尝试证明虚空并不存在,这种尝试是多么徒劳无益]... Ut igitur idem facilius ostendamus, comprehendamus imaginatione infinita media corpora, quorum unum altero rarius sit, in qua placuerit nobis ex proportionibus, incipiendo ab uno, imaginemur etiam corpus Q. densius primo medio, cuius corporis totalis gravitas sit a. b. et positum in ipso medio...” 由此可得,在虚空中重物的速度将不会是无限大,而是一个有限值。

明这一点,让我们想象有无限多种有形介质,其中后一种以从 1 开始的任意比例比另一种更稀疏;同时,也让我们想象有一个比第一种介质更为稠密的物体 Q”。显然,这个物体在第一种介质中的速度将会是有限的。现在,如果我们将物体放进我们刚刚想象过的不同介质,它的速度无疑将会增加,但却永远不会超越某个界限。因此,虚空中的运动是完全可能的。

但是,虚空中的运动会是怎样一种运动呢?也就是说,物体的运动速度会是多少呢?亚里士多德曾经认为,如果虚空中的运动成为可能,那么不同物体在虚空中的运动速度之比与在实空(le plein)中<sup>[97]</sup>相同。这又一次错了!这个断言<sup>[98]</sup>“完全错误。因为在实空中,重量的比例减去外部阻碍的比例,所得的差值决定了速度的比例。如果阻碍的比例等于重量的比例,速度的比例就会不存在。由于这个原因,上述物体在虚空中必定具有与在实空中不同的速度比例,也就是说:不同物体(即由不同质料构成的物体)的速度将与它们的绝对比重,即与它们的密度成正比。至于由同种质料构成的物体<sup>[99]</sup>,它们将在虚空中拥有相同的自然速度”。这一点可以通过如下论证来证明<sup>[100]</sup>:

[97] 在实空中,即在充满介质的空间中。——译者

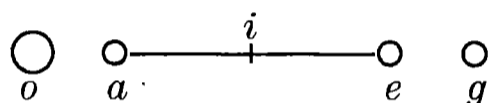
[98] J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, cap. IX, p. 174. 拉丁语原文为:“An recte Aristoteles disseruerit de proportionibus motuum in vacuo. Cum vero Aristoteles circa finem cap. 8 lib. 4 physicorum subiungit quod eadem proportione dicta corpora moverentur in vacuo, ut in pleno, id pace eius dictum sit plane erroneum est. Quia in pleno dictis corporibus subtrahitur proportio resistantiarum extrinsecarum a proportione ponderum, ut velocitatum proportioni aequalis esset, et hanc ob causam diversam velocitatum proportionem in vacuo haberent ab ea, quae est in pleno.”

[99] “由同种质料构成”(de la même matière):由不同质料构成的物体以不同的速度下落。参见下文第 67 页。

[100] J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, *Disputationes*, cap. X, p. 174. 拉丁语原文为:“Quod in vacuo corpora eiusdem materiae aequali velocitate moverentur. Quod supradicta corpora in vacuo naturaliter pari velocitate moverentur hac ratione assero. Sint enim duo corpora o et g omogenea et g sit dimidia pars ipsius o. (转下页)

59

假设有两个同质物体  $o$  和  $g$ ,  $g$  的大小是  $o$  的一半。再假设有另外两个与前两者同质的物体  $a$  和  $e$ , 每一个的大小都与  $g$  相等; 让我们设想将  $a$  和  $e$  这两个物体系于某一细线的两端,  $i$  是细线的中点; 显然, 点  $i$  将拥有与物体  $o$  的中心相等的重量; 借助物体  $a$  和  $e$  的动质, 点  $i$  将在虚空中与物体  $o$  的中心以相同的速度运动。但是, 如果物体  $a$  和  $e$  与上述细线相分离, 它们将不会因此而改变它们的速度, 而它们中的每一个都将具有与物体  $g$  相同的速度。因此, 物体  $g$  将具有与物体  $o$  相同的速度。



在虚空中的运动<sup>[101]</sup>, 同质重物的同时下落: 我们离亚里士多德的物理学已经非常远了。但是, 那些数理哲学的不可动摇的基础, 那个常常萦绕在贝内代蒂脑海中的阿基米德科学的典范, 已经使他不可能就此止步。<sup>[102]</sup> 亚里士多德的错误不仅仅在于他没有承认虚空在世界中存在的可能性, 他还虚构了一个错误的世界图景, 并让他的物理学来适应这个图景。正是这种建立在有限论基础上的宇宙论(贝内代蒂是一个哥白尼主义者<sup>[103]</sup>)才构

---

(接上页)Sint alia quoque duo corpora  $a$  et  $e$  omogenea primis, quorum quolibet aequale sit ipsi  $g$  et imaginatione comprehendamus ambo posita in extremitatibus alicuius lineae, cuius medium sit.  $i$ . clarum erit tantum pondus habiturum, punctum  $i$ . ipsius.  $o$ : cum autem disiuncta essent dicta corpora  $a$ . et  $e$ . a dicta linea, non ideo aliquo modo suam velocitatem mutarent, quorum quodlibet esset quoque tam velox quam est  $g$ : igitur  $g$  tam velox esset quam  $o$ .” 另参见 *Ibid.*, cap. XVIII, p. 179.

[101] 参见 J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, *Disputationes*, cap. XXXVII, p. 196: “An recte loquutus sit Philosophus de extensione luminis per vacuum. [哲学家关于“光通过虚空”这个问题的观点是正确的吗?]”当然, 贝内代蒂认为虚空绝不会阻止光的传播。

[102] 参见 *Ibid.*, cap. XXXIX, p. 197: “Examinatur quam valida sit ratio Aristotelis de inalterabilitate Coeli. Similiter de terra dici posset quando ipsa ita eminus prospiceretur.”

[103] 参见下文第 159 号注释。

成了亚里士多德的“自然位置”理论的基础。实际上<sup>[104]</sup>，“无论是在世界之中，还是在世界之外（不管亚里士多德对此说了什么），没有任何一个物体不具有它自己的位置”。那么，究竟有没有世界之外的位置呢？为什么就不能有呢？倘若有一个无限之物处于天界之外的位置，难道会有什么妨碍吗？<sup>[105]</sup>毫无疑问，亚里士多德会否认这一点，但他那些否认的理由绝不是自明的。

60

实际上，他未经证明，甚至从未给出任何理由，就认为连续体的那些无限的部分并不是现实的存在，而只是潜在的存在。但是，我们不应该接受他的观点，因为如果实际存在的整个连续体是现实的，那么这个连续体的所有部分也将是现实的。如果我们相信现实存在的事物可以由一些只是潜在地存在的事物组成，那将会是一件愚蠢的事情。我们也不应该说，这些部分组成的连续体使它们被剥夺了全

---

[104] J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber, Disputationes*, cap. XX, p. 181. 拉丁语原文为：“Hoc modo nullum est corpus, quod in mundo aut extra mundum (dicat autem Aristoteles quidquid voluerit) locum suum non habeat.”此外，空间不是包围着事物的表面，而是一种间隙(intervalle)。布鲁诺也表述了同样的观点。参见本书第三部分第 41 号注释。

[105] *Ibid.*, cap. XXI, p. 181. 拉丁语原文为：“Utrum bene Aristoteles senserit de infinito: Nullum inconueniens sequeretur, quod extra coelum reperiri possit corpus aliquod infinitum, quam vis id ipse, nulla evidenti ratione inductus perneget. Sensit quoque, absque eo, quod aliquam rationem proponat... infinitas partes alicuius continui esse solum in potentia, non item in actu, hoc non est illico concedendum, quia si omne totum continuum et re ipsa existens, in actu est, omnis quoque eius pars erit in actu, quia stultum esset credere, ea quae actu sunt, ex iis quae potentia existunt, componi. Neque etiam dicendum est continuationem earundem partium efficere, ut potentia sint ipsae partes, et omni actu privatae. Sit, exempli gratia, linea recta *a. u* continua quae deinde dividatur in puncto *e* per aequalia, dubium non est, quin ante divisionem, medietas *a. e* tam in actu (licet coniuncta cum alia *e. u*) reperiretur, quam totum *a. u*. licet a sensu distincta non esset. Idem affirmo de medietate *a. e* id est de quarta parte totius *a. u* et pariter de octava, de millesima, et de quavis, ita ut essentia actualis infiniti hoc modo tota concedi possit, cum ita sit in natura...”



部的现实,而变成了潜在的存在。例如,假设有一条连续的细线  $au$ , 让我们通过其中点  $e$  将细线分成两段相等的部分。毫无疑问,在分割之前,半长  $ae$ (尽管它与另一半长  $eu$  相连接)就像整条细线  $au$  一样现实地存在,尽管感官并未将它与整条细线  $au$  区分开来。我断定,对于半长  $ae$  的半长,也就是说,对于整条细线的四分之一长度,甚至对于八分之一、千分之一的长度,乃至对于我们所能设想的任意长度,情形也都同样如此。

因此,无限与有限同样实在。无限不仅作为潜在之物,而且也作为现实之物存在于自然之中。人们完全能够像理解潜无限那样清晰地理解实无限。<sup>[106]</sup>

## 四、伽利略

现在,让我们来谈一谈伽利略。

伽利略曾在比萨写过一些阐述运动问题的论文和随笔<sup>[107]</sup>(我们知道,他最终没能将它们写完)。在这些论文和随笔中,伽利略力图以自洽和完整的方式发展一种“冲印力”(force impresse)的动力学(即冲力动力

[106] 参见 J. B. Benedicti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber.*, 拉丁语原文为:“multitudo non minus infinita quam finita intelligi potest.”

[107] 由法瓦罗(Antonio Favaro)编辑出版在《伽利略全集》的第一卷中。[这些文稿写于1590年左右,其中包括一篇论文、一篇对话以及一系列笔记。所有文稿均与运动有关,故法瓦罗将他们收集在一起,并以《论运动》(*De Motu*)为题在国家版《伽利略全集》(*Opere di Galileo Galilei*)中出版,上述文稿的英译已收入威斯康星大学关于中世纪科学的系列出版物之中,其中论文“论运动”(On Motion)已收入:Galileo Galilei, *On Motion and On Mechanics*, trans. by I. E. Drabkin & Stillman Drake, Madison, Wisconsin, 1960;“关于运动的对话”(Dialogue on Motion)和“关于运动的笔记”(Memoranda on Motion)已收入:Drake and Drabkin, *Mechanics in Sixteenth-Century Italy*, Madison, Wisconsin, 1969。——英译注]

学)。关于这种动力学,我们刚才已在前面谈了相当长时间。同时,伽利略还力图将物理学的数学化(或者毋宁说,阿基米德化)继续推进到底,而且我们也在贝内代蒂的著作中看到了上述数学化进程的开端。因此,我们将会 在伽利略的著作中再次发现他的巴黎学派先驱者们所提出的各种传统论证。但是,这些论证现在已被系统化、凝练化和明晰化。

61

如果阅读伽利略在比萨时期的著作,我们将会看到,这些著作所呈现的伽利略是一位坚定、甚至狂热的反亚里士多德主义者。<sup>[108]</sup>

伽利略告诉我们,亚里士多德从未理解任何物理学问题。<sup>[109]</sup> 尤其是在论述关于位置运动的问题时,他几乎总是背离真理。因为如果不假定抛射体是被周围空气所推动,他就不能说明为什么推动者必然与运动物体相接触。<sup>[110]</sup>

伽利略能够举出一些反例,即提出一些亚里士多德的理论不能解释的现象。例如,倘若投掷两个同样大小的物体,其中一个较重,另一个较轻,那么我们可以将重物(比如,一块铅)投掷得更远,亚里士多德的理论能够解释这一点吗?它能否解释长物体(比如,一支长矛)比短物体飞行得更快更好吗,以及为何重的尖端会飞在前面?它认为,一支逆风射出的箭是被空气的反作用所带动,我们怎么能接受这样的解释呢?如何用介质的反作用来解释一个轮子,一个陀螺的持续转动以及一个光滑的大理石球在盒子中的持续运动?<sup>[111]</sup>

---

[108] 我们可以说,《论运动》(*De Motu*)已被设想为伽利略从一种“冲印力动力学”的角度对亚里士多德动力学所提出的批评。这种批评通常总是很激烈,但并不总是很公平。事实上,伽利略将亚里士多德的动力学与其形而上学分离开来;对伽利略来说,运动仅仅是指位置运动(*mouvement local*)。因此,他并不总是能理解亚里士多德的思想。但是,我们也可以说,伽利略的理解(或误解)方式本身就是一种新思想态度的标志和结果。

[109] 参见 *De Motu*, pp. 265、276、285、302 以及其他一些地方。

[110] *Ibid.*, p. 307: “*A quo moveantur projecta?: Aristoteles, sicut fere in omnibus quae de motu locali scripsit, in hac etiam quaestione vero contrarium scripsit... Non poterat Aristoteles tueri, motorem debere esse coniunctum mobili, nisi diceret projecta ab aere moveri.*”

[111] *Ibid.*, p. 307 sq. “大理石球”(sphaera marmorea)是塔尔塔里亚所钟爱的例子。

此外,亚里士多德的观点是自相矛盾的:因为,如果空气的某一种位移能够引起另一种位移,那么这种现象就会反复出现,以致运动一旦开始,就会无定限地延续下去,甚至会一边运动一边加速。然而,亚里士多德动力学的基本原理之一却认为,所有的运动都是有界和有限的。最后,亚里士多德的论证只是一种形式的论证:亚里士多德将施动者的角色转移给了空气,他这样做只不过是转移了问题。此外,这样做还会导致进一步的自相矛盾,因为它隐含地假定了,空气中拥有一种“被印入的动质”(virtus motiva impressa):但是,为什么空气会拥有这种特权呢?如果我们非得要有一种动质,为什么不更简单地假定,在所有我们讨论的情形中,这种动质都直接出现在运动物体中呢?<sup>[112]</sup>

例如,让我们来考虑将一块石头抛到空中的情形:石头在空中上升,因此,它获得了某种使它上升的性质或动质。既然上升运动是轻物的特性,因此上述石头一定是获得了某种轻性。正是这种(非自然的)轻性解释了运动物体的上升运动:它是一种“动质”(virtus motiva),一种“被印入的动质”(virtus impressa)。

当石头脱离其施动者之后,这种动质(换言之,这种轻性)就被保存在石头之中,正如当我们先加热一块铁,然后再将它移离火焰时,热就被保存在铁中。当抛射体脱离抛射者之后,(抛射作用所印入的)上述动质在抛射体中逐渐减弱,正如我们将铁移离火焰之后,被保存在铁中的热也会逐渐减少。因此,石头回到其静止状态,就如同铁恢复其自然的冰冷;正如物体对于热有一种自然的(也是特定的)能力,物体对于运动也有一种自然能力。同样的力将会在阻碍较大的(即较重的)运动物体中比在阻碍较小的运动物体中留下更深的“冲印”,因此,同样的力在铁中会比在羽毛

---

[112] *De Motu*, p. 307. 我们知道,这个反驳是不对的:空气是一种特别适合于运动的介质。另参见 *Ibid.*, p. 314: “Concludamus igitur tandem, proiecta nullo modo moveri a medio, sed a virtute motiva impressa a proiciente.” 另参见前文第 33、44、48 页。

中留下更深的“冲印”(就像热在铁中比在空气中容易留下更深的“冲印”,因此热在铁中也保存得更久)。<sup>[113]</sup>

我们清楚地看到,由于受到他的前辈们的启发<sup>[114]</sup>,伽利略正在发展一种“冲印力”物理学,物体的运动就是这种“冲印力”的结果。伽利略甚至按照亚里士多德物理学关于“热”、“冷”的各种“力—质”(forces-qualités)模型来构想这种“冲印力”。“热”和“冷”都能与其来源相分离,并且都能够被传递给另一个物体,至少在这种意义上,它们都是实体性质(qualités substantielles)。它们又都是“自然”性质,因为它们都能够在物体中自然地呈现和持续:或者正相反,它们同时也是一些被迫接受的、非自然的性质,因而也是一些过渡的性质。因此,为了让我们能够更清晰地理解这种观念,伽利略为我们举了“一个更好的例子”<sup>[115]</sup>:关于钟的例子。当一次撞击使钟处于摇摆之中,它就因此而获得了“一种发声性质”。钟响了,也就是说,钟按照这个被赋予它的性质发出了一个声音:这就解释了,为什么在一次瞬间撞击的作用之下,钟却能够发出持续一段时间的声音。撞击印入或输入钟里的这种发声性质,对于钟来说并不是自然的:这与抛射作用输入石头的推动性质同样不自然。但是,一旦它再次被输入或印入,它还会在那儿;它属于钟或石头,而不属于撞钟物或手。因此,从那以后,上述性质就获得了独立的存在,不再需要一直与它的来源保持关联:物体的运动是推动它的力(推动性质)所产生的某种效果;物体并不需要一个外部推动者来维持其运动。

63

---

[113] *De Motu*, p. 310: “*Virtus motiva*, nempe levitas conservatur in lapide, non tangente qui movit; calor conservatur in ferro ab igne remoto: virtu impressa successive remittitur in proiecto, a proiciente absente; calor remittitur in ferro, igne absente: lapis tandem reducitur ad quietem; ferrum, similiter, ad naturalem frigiditatem redit: motus ab eadem vi magis imprimitur in mobili magis resistenti quam in eo quod minus resistit, ut in lapide magis quam in pumice levi.”

[114] 自从泰米斯修(Thémistius)以来,人们已习惯于将冲力看成类似于一种性质,尤其是类似于“热”。参见: Wohlwill, “Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes”, *loc. Cit.*, v. XIV, p. 379. 同时参见本书前文第 27、30 页。

[115] *De Motu*, p. 310.

我们看到,上述类比已经走得有点远了,甚至已经走得非常远。说实话,它走得如此之远,以致它已经远远超出了某些科学史家的期望。发声对于钟来说再自然不过了,正如动质或推动性质对于石头来说也同样自然(物体自然地处于静止状态)。动质(如同发声性质)是某种“被印入”物体中的事物。此外,这种事物只要存在就会发挥作用。<sup>[116]</sup>发声性质是声音的原因,正如推动性质是运动的原因。它们都在产生其效果(即声音和运动)的过程中被逐渐耗尽。因此,钟不会无限地鸣响,而总会终止于寂静。同样地,被抛出的石头也不会无限地飞行;当推动力被耗尽之后,它总会停止运动并返回静止状态。<sup>[117]</sup>

伽利略对以下想法坚信不疑:推动者通过各种不同的方式将性质或推动力赋予运动物体;这种性质或推动力的观念足以为抛射体现象提供一个完整的解释。因此,我们没有必要再去纠缠亚里士多德发明的那种笨拙的介质反作用机制。

64 但是,当我们说,推动者将推动力赋予了运动物体,这种推动力的观念难道不是意味着运动将会无限期地持续下去吗?换言之,它难道没有使得惯性原理能被表述出来吗?我们知道,这正是许多著名的历史学家所持的观点。但是,无论如何,这不是伽利略的观点。<sup>[118]</sup>伽利略的某些

[116] *De Motu*, p. 310: “Privatur lapis quiete; introducitur in campanam *qualitas sonora* contraria eius naturali silentio; introducitur in lapidem *qualitas motiva* contraria illius quieti.”

[117] *Ibid.*, p. 314: “Nunc...prosequamur ostendere, hanc virtutem successive diminui [现在……我们进一步来说明,这种力会持续减弱].”贝内代蒂也坚持认为“被印入的冲力”(impetus impressus)会逐渐减弱。但是,就像他的许多前辈们一样,他也未能由此得出全部的结论:因此,他像所有其他人一样,也相信受迫运动的初始加速。

[118] *Ibid.*, p. 314 sq.: “cap...in quo virtutem motivam successive in mobili debilitari ostenditur.”伽利略所给出的主要理由恰恰是惯性运动的不可能性:“Quare, eadem argumentatione repetita, demonstrabitur, motum violentum nunquam remitti, sed eadem velocitate semper et in infinitum ferri, eadem semper manente virtute motiva; quod certe absurdissimum est; non ergo verum est, in motu violento posse duo puncta assignari, in quibus eadem maneat virtus impellens. Quod demonstrandum fuit.”

前辈(如卡尔丹、皮科洛米尼、斯卡利杰)断言在某些条件下,如当运动是在一个水平面上发生时,冲力将会永远保持下去。<sup>[119]</sup> 但是,与前辈们的意见相反,伽利略坚定地断言,冲力具有一种本质上就无法持久的特性。永恒的运动是不可能的,也是荒谬的,这恰恰是因为运动是由推动力所产生,而这种推动力必将在产生运动的过程中被逐渐耗尽。<sup>[120]</sup> 因此,运动总是一边进行一边减慢速度,在运动过程中不可能找到运动物体的速度完全相同的两个点。尽管伽利略曾经读过贝内代蒂的著作,也知道一种运动可能会无限期地减慢<sup>[121]</sup>,但他仍然认为,这足以证明运动最终必然会停止。无疑,伽利略的上述错误可通过以下两个方面来解释:一方面,他不由自主地用空间来代替时间;另一方面,他得出的结论是运动所经路程的有限性,而不是持续时间的有限性。然而,上述错误并不重要,重要的倒是伽利略借此给予我们的教导。这种教导对于科学史来说至关重要,那就是:冲力物理学和惯性原理不相容。

所有人(或者几乎所有人)都会承认受迫运动的速度将会逐渐减慢,而冲力也将会逐渐耗尽。至少所有人都承认,正常情况下情形的确如此。但是,正如我们在前面已经看到,这并不妨碍同样是上述所有人对以下观点坚信不疑,即认为所有运动(尤其是抛射体运动)都开始于一个加速阶段,甚至连文艺复兴时期的炮兵们也坚信:当炮弹从大炮射出后,它的运动开始于一个加速阶段,并在离开炮口一段距离后才达到其加速作用的

---

[119] 参见 Duhem, “De l'accélération produite par une force constante”, p. 887; 另参见本书第二部分,下文第 101 页。

[120] *De Motu*, p. 314: “Nec posse dari in eo motu duo puncta temporis, in quibus eadem sit virtus motiva.”

[121] *Ibid.*, p. 328: “caput...in quo contra Aristotelem probatur, si motus naturalis in infinitum extendi posset, eum non in infinitum fieri velociorem...Velocitas augetur vel minuitur asymptotice.” 另参见前文第 57 页。

最大值。<sup>[122]</sup>

65 对上述想象的现象有各种天才的解释,我们将不会停下来去讨论这些解释:然而,这些解释却就冲力观念的想象特征为我们提供了额外的证据。因为,一旦人们开始以一种多少有些清晰的方式构想出力的观念,一旦人们开始将运动理解为某种(自然的或外加的)力的结果,人们似乎就不可能再承认运动能够自发地加速。恰恰相反,正如伽利略所做的那样,这时人们就不得不承认:运动(至少是受迫运动,即那种通过“冲力”在物体中产生的运动)只可能自行减慢速度。

然而,耐人寻味的是,在所有冲力物理学的支持者中,伽利略(似乎还有希帕克斯和蒂耶纳的加塔纳<sup>[123]</sup>)是唯一充分理解了上述初始加速现象的人,也是唯一敢于将它视为不可能并加以否认的人,而他的前辈们和同

---

[122] 只要看看笛卡尔在1630年写给梅塞纳的信(参见 *Lettre de janvier 1630*, A. T., v. I, p. 110, Adam-Milhaud, v. I, p. 115),我们就可以了解这种荒谬的信念在当时人们的心目中是如何根深蒂固:“我还想知道,您有没有就以下问题做过实验,即对于投石器抛出的石头、火枪射出的子弹或弓弩射出的箭来说,它在运动过程的中间是否比在开始运动时飞得更快、具有更大的力量以及产生更大的效果。因为这就是一般人所持的信念。不过,我还是有很多理由不同意这种信念;而且我发现,那些不是自行运动而是被推动的物体应该在运动开始时比紧随其后的时刻具有更大的力量”。随后在1632年(A. T. v. I. p. 259, A. M. p. 233)以及在1640年(*Lettre à Mersenne*, 11 mars 1640, A. T. v. II, p. 37 sq.)笛卡尔再次向他的朋友解释上述信念所包含的正确内容:“在抛射运动中,我根本不相信抛射体在运动开始时会比结束时运动得更慢,因为从运动的第一个瞬间开始,它就已不再受到手或机器的推动:但是我确实相信,一支火枪在离开一堵墙仅有一尺或半尺远时比它在离开墙15步或20步远时射击效果更好,因为当子弹离开火枪时,它不可能那么轻而易举地驱动处于它与墙之间的空气。因此,当它离墙较近时比离墙较远时,子弹应该飞得更慢些。但是,只有实验才能确定这种区别是否可以觉察,而我对所有我没有亲自做过的实验都抱有强烈的怀疑”。相反,毕克曼则断然否定了抛射体加速的可能性(*Beeckman à Mersenne*, 30 avr. 1630, 参见 *Correspondance du Père Mersenne*, Paris, 1936, vol. II, p. 437):“确实,使用投石器的人和每一个小孩子都认为,击中较远的物体比击中较近的物体更有力。他们肯定是弄错了。”然而,他也承认,这种信念包含着某些尚待解释的正确内容:“我并没有说过,过量的空气会阻碍旋转的石球的效果,而是说,此时从该投石器出来的猛烈的火药会变得稀薄。因此就有可能,从投石器出来的旋转的球被某种新的力(或类似的东西)所推动,它的速度将会逐渐增加。”

[123] 参见 Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 111.

时代人却仅仅满足于解释这一现象。

因此,上述情况也导致伽利略敢于否认另一种现象。在当时的人们看来,这种现象也是不容置疑的:即落体运动的加速现象。由于物体下落是按照恒定的力(即它的重量)进行的,因此,物体不可能不以恒定的速度下落。

伽利略说得非常清楚:下落运动的速度或慢度只取决于唯一的原因,即只取决于落体重量的大小。<sup>[124]</sup> 速度并不像亚里士多德所想的那样,由于他为运动和速度分别指定了不同的原因,而认为速度是从外部决定运动的某种事物,以某种方式添加到运动之中。速度也不是介质阻碍的函数:它内在于运动本身,是运动本身所固有的某种事物。“速度无法与运动相区分:实际上,谁设定了一种运动,他也就必然设定了一种速度。慢度只不过是一种较小的速度。”<sup>[125]</sup> 因此,一个较大的重量对应着一个较大的速度,一个较小的重量则对应着一个较小的速度;只要掉换一下对应关系,上述结论对于轻性来说也同样成立。<sup>[126]</sup> 因此,物体下落的速度将:(a)与物体的重量严格成正比;(b)对于每一个给定的物体来说都是一个恒定的值。

66

伽利略为我们清晰地阐明了上述结果,这也是冲力动力学不可避免会导致的理论后果。我们认为,它足以让我们看到,冲力动力学就其本身来说只能是死路一条。<sup>[127]</sup> 同时,上述结果也为我们解释了一个曾经如此

---

[124] *De Motu, opere*, vol. I, p. 260: “Caput...Unde causetur celeritas et tarditas motus naturalis... ex eadem causa pendere tarditatem et celeritatem, nempe ex maiori vel minori gravitate.”

[125] *Ibid.*, p. 261. 拉丁语原文为:“Attendendum est celeritatem non distingui a motu: qui enim ponit motum, ponit necessario celeritatem; et tarditas nihil aliud est quam minor celeritas.” 因此,一种量的阶梯就代替了一种质的对立。另参见 *ibid.*, p. 289 sq.

[126] *Ibid.*, p. 251: “Lationem omnem naturalem, sive deorsum sive sursum illa sit, a propria mobilis gravitate vel levitate fieri.”

[127] 尽管冲力动力学就其本身来说只能是死路一条,但至少在一开始,它确实充当了阿基米德思想的传播载体,或者毋宁说,为阿基米德的思想注入了一种富有想象力的习惯。正是这种含糊的观念使得各种不同思想要素之间的混合成为可能,而且后来也正是在这种混合中,伽利略清晰地看出了某种对立。



困扰迪昂的问题,即既然奥雷斯姆已经在他的“形式的纬度”<sup>[128]</sup>的分析中发展出了一整套理论构想(数学的构想),那么他为什么没有将这些理论构想应用于落体运动呢?在我们看来,答案非常简单:奥雷斯姆比研究他的历史学家们更理解自己。

67 我们刚刚说过,伽利略否认了下落运动的加速现象。然而,这样说并不完全准确。就像所有人一样,伽利略也不得不承认,下落的石头会运动得越来越快。不过,他告诉我们,这种加速现象只会发生在下落运动的开始阶段,这个阶段将一直持续到某个特定时刻,在这一时刻,落体将到达它自身的固有速度(*vitesse propre*)。正如我们所知,这个固有速度与物体的重量严格成正比。伽利略还补充说,从这一时刻起,落体的速度将会保持恒定。如果我们能够做这样一个实验,也就是说,如果我们从某座高塔的顶端释放一个重物,当这座塔足够高时,我们就会清晰地看到,重物的加速运动终将转变为匀速运动。<sup>[129]</sup>

但是,为什么一开始运动会会有一个加速过程呢?此外,以上所说的固有速度又是指什么呢?正如我们所见,第二个问题的答案非常简单:这个速度是重量的函数。不过,这里所涉及的并不是物体的绝对重量(*poids absolutus*),而是它们的比重(*poids spécifiques*)。一块铅比一块木头下落得更快;但是,当两块铅与一块铅相比时,两者却以相同的速度下落<sup>[130]</sup>。

[128] 法文: *latitude des formes*, 英文: *latitude of forms*, 中世纪经院哲学家用于描述质的强度的一种语言或方法。——译者

[129] *De Motu*, p. 334 sq.

[130] *Ibid.*, p. 263: “Dicimus ergo mobilia eiusdem speciei...quamvis mole differant, tamen eadem celeritate moveri, nec citius descendere maior lapis quam minor.” 相反的观点则认为,一大块铁比一小块铁下落得更快: “quae quidem opinio sit ridiculosa, luce clarius patet.” 因为,否则(这正是贝内代蒂的论证)由两个物体组成的整体将比其中较大的物体运动得更慢(参见 *ibid.*, p. 265)。另参见 *ibid.*, p. 275: “Ex his quae in hoc et superiori capite tradita sunt, colligitur universaliter, mobilia diversae speciei eandem in suorum motuum celeritatibus servare proportionem, quam habent inter se gravitates ipsorum mobilium, dum fuerint aequales mole; (转下页)

另外,由于再次追随贝内代蒂的示范,伽利略将一种新的要素引入了他的动力学。一旦人们完全理解了这种新要素的重要意义,它将会使伽利略的动力学彻底垮台:事实上,这种新要素所涉及的并不是物体的绝对比重,而是它们的相对比重。<sup>[131]</sup>

我们稍后再回来研究这个传统理论的重要添加物。现在,且让我们先继续探讨加速问题。

按照经伽利略发展之后的冲力理论,物体应该以恒定的速度下落,这个速度应该与它们的相对重量成正比。<sup>[132]</sup> 它们应该……但事实上,它们却一直在加速下落;而且它们的速度完全不与它们的重量,甚至也不与它们的相对重量成正比。相反,在下落之初,反而是轻物下落得更快。只有到了后来,重物才终于赶上并超越轻物。因此,伽利略认为,人们很容易通过实验来证实并接受这种观点。<sup>[133]</sup>

68

理论和实践之间的这种分歧可以通过以下事实来获得解释:理论总是以某种方式建立在抽象的基础之上。它只在某种抽象情况下,即在物体只受到重性作用的情况下才成立,而这种情况我们在现实中不可能遇到。因为在现实世界中,重性从来不会单独作用,它总是与轻性联合发生

---

(接上页) et hoc quidem non simpliciter, sed in eo medio ponderata in quo fieri debet motus.”

[131] *De Motu*, p. 254: “Ex hoc autem patet, quomodo in motu non sit solum habenda ratio de mobilis gravitate vel levitate, sed de gravitate etiam et de levitate medii per quod fit motus; nisi enim aqua levior esset lapide, tunc lapis in aqua non descenderet.” 另参见 *ibid.*, p. 262: “Diversa mobilia in eodem medio mota aliam servare proportionem ac quae illis ab Aristotele est tributa.” 尤其是,这个比例是算术的而不是几何的。伽利略继贝内代蒂之后,也将流体静力学的各种定理运用于落体问题。参见 *ibid.*, p. 272: “Excessus quibus gravitas sua mediorum gravitates excedit.”

[132] *Ibid.*, p. 272: “Erunt enim inter se talium mobilium velocitates, ut excessus quibus gravitates mobilium gravitatem medii excedunt.”

[133] *Ibid.*, p. 334: “Experientia tamen contrarium docet; verum enim est, lignum in principio sui motus ocius ferri plumbo; attamen paulo post adeo acceleratur motus plumbi, ut lignum post se relinquat, et, si ex alta turri demittantur, per magnum spatium praecedat; et de hoc saepe periculum feci.” 由此我们可以看到:伽利略的“实验”是非常不可靠的。

作用。我们现在需要研究的正是后者的这种改变作用。

例如,让我们来考虑一个重物被垂直上抛的情形。之所以重物会上升,那是因为我们赋予了它一种反自然的(*praeter naturam*)轻性,正是这种轻性带动重物向上升。<sup>[134]</sup>但是,除了我们所赋予它的这种非自然的轻性之外,运动物体总是保持着其自然重性,这种重性又将物体向下推。因此,上述反自然的轻性应该首先抵消重性的阻碍或自然作用:一般说来,只有当赋予物体的轻性比它的重量更大时,物体才会上升;而且也只有当轻性大于重量的范围内,物体才会处于上升状态。事实上,只有这种超出的余额,即反自然的轻性大于自然重量的差额,才实际发挥着使物体向上升的作用。

现在,在产生这种上升运动的过程中,反自然的轻性(就像所有的冲印力一样)就被这种作用本身、而且也在这种作用过程中被逐渐消耗。在某一特定时刻,上述“余额”终于被完全耗尽。此时,物体将停止上升,并根据其固有的自然重性开始下降。<sup>[135]</sup>

69 不过,正是这个点非常重要。在这一瞬间,并非所有反自然的轻性都已被耗尽,而只是轻性的“余额”被耗尽了。实际上,物体开始下降的这一时刻,正是反自然的轻性与自然的重性获得精确平衡的时刻。因此,下落物体并非仅仅受到重性的作用,而是同时受到了先前赋予的(更确切地说,是剩余部分的)轻性的作用。现在,在下落物体中还保留着其数量不

---

[134] *De Motu*, p. 311: “Cum enim leve illud dicamus quod sursum fertur, lapis autem sursum fertur, ergo lapis levis est dum sursum fertur. Sed dices, leve illud esse quod sursum naturaliter fertur, non autem, quod vi. Ego autem dicam, leve id naturaliter esse quod sursum naturaliter fertur; leve autem id praeternaturaliter aut per accidens aut vi esse, quod sursum praeter naturam, per accidens et vi fertur. Talis autem est lapis a virtute impulsus.”

[135] *Ibid.*, p. 314: “Sic proiectum levi impellente liberatum suam veram et intrinsecam gravitatem descendendo prae se fert.” 继贝内代蒂之后,伽利略以一种新颖的方式揭示了,在运动方向倒转的那一刻(正如他所相信的那样),运动并没有停止。参见 *ibid.*, p. 323: “Caput... *In quo contra Aristotelem et communem sententiam ostenditur in puncto reflexionis non dari quietem.*” 以及 *ibid.*, p. 323: “si enim semel quiescerent, semper deinde quiescerent.”

可忽略的一部分轻性,它的量与重性的量相等。即使这部分轻性不再能够使物体向上升,它也足以延缓物体的下落运动。因为,带动物体下落的力并不是全部的重性,而只是重性超出外加的轻性的那部分余额。随着余额的增加,落体的速度也在同等地增加(这是由于外加的轻性在不断减少;当这些轻性发挥延缓作用时,它们在作用过程中逐渐被这种作用所消耗)。上述增加过程将会一直持续到轻性被完全耗尽的那一刻。从那以后,物体只受到重性的作用,它就会以一种均匀的速度继续运动下去。<sup>[136]</sup>

因此,我们看到:事实上,之所以物体下落时速度会不断增加,只不过是因为在下落过程中,速度所受的延缓作用在不断减弱罢了。

但是,也许有人会说,这种解决方案只适用于“反自然的轻性”已被实际赋予其中的那些物体,也就是说,它只适用于那些已实际向上抛出的物体。绝非如此!伽利略回答说,它适用于所有物体。因为,我们可以假定,当一个被向上抛出的物体刚刚停止上升并开始下降的时候,在那一刻,物体的运动应该处于停顿状态:很显然,此时它还保持着(或者说,以某种方式储存着)在这一瞬间它仍然拥有的所有非自然的轻性,难道不是这样吗?如果我们[在这一瞬间抓住物体,然后]过些时候再松开物体,那么,它的下落运动也绝不会受到上述停顿的影响,难道不是这样吗?因此,我们可以将放置于塔顶的某个物体看成类似于一个被上抛至同一高度的物体。<sup>[137]</sup> 这个位于塔顶的物体必定会感受到一种向上的托力,这种托力来自于它的支撑之处,它阻止物体下落,并精确地等于物体的重量,难道不是这样吗?<sup>[138]</sup> 恰恰是这种托力赋予了物体一种反自然的轻性,这

70

---

[136] *De Motu*, pp. 315 sq.: “Cap... in quo causa accelerationis motus naturalis in fine longe alia ab ea quam Aristotelici assignant, in medio affertur”; p. 329: “Naturalis resumatur gravitas, atque idcirco remota causa, acceleratio desinat.” 在此也许有必要回想一下笛卡尔的观点,笛卡尔曾经认为下落的加速只发生在开始时,而且落体最终会以一个几乎均匀的速度下落。实际上,如果没有引力,加速是无法解释的。

[137] 参见 *Ibid.*, p. 336 sq.

[138] *Ibid.*, p. 296.

种轻性将会延缓物体的下落运动。我们还可以设想,所有位于地球上的物体,由于它们都远离地球的中心,因此它们所处的情形也与塔顶的物体相类似。<sup>[139]</sup>

如上所述,我们可以看到,各种物体接收和保存冲力、推动性质和反自然的轻性的能力并不相同。轻物尤其接收得少而且也不善于保存。这恰恰就是轻物在下落之初比致密的重物下落得更快的原因,因为此时的重物充满了轻性,并且很不情愿放弃这些轻性。<sup>[140]</sup>

说实话,我们刚刚所阐述的理论,尽管连伽利略自己都曾为之深感自豪,但它并没有像他所以为的那样具有独创性,因为希帕克斯早已概述过同样的理论<sup>[141]</sup>;它也并没有像伽利略所想象的那样完善,因为它导致了各种明显的矛盾。但是,它为我们清晰地显示了冲力动力学的要旨。在我们看来,这正是上述理论的意义和价值所在。因而,在此我们并不打算像伽利略发展它那样来详尽地阐述这种动力学,而是准备转向我们之前已经提及的伽利略思想的另一方面:即它的阿基米德方面。

我们在前面已经提到过,伽利略在谈到(自然的和反自然的)轻性时,将轻性定义为上升的原因。此外,他还认为,物体下落的速度并不取决于物体的绝对重量,而是取决于它们的相对比重。<sup>[142]</sup> 这些重要而精确的论点(贝内代蒂已经阐述过这些论点)相互阐发,最终使得伽利略能够同时超越亚里士多德的学说与冲力动力学,并用阿基米德为他示范的某种定量物理学来取代它们(或者更确切地说,是试图取代它们)。轻性是某种

[139] 这与一种下落的恒定速度明显不相容,尽管伽利略并没有看出这一点。

[140] *De Motu*, p. 313: “Mobile, quo levius erit, eo quidem facilius movetur dum motori est coniunctum. Sed, minus impetum receptum retinere”; 以及 *ibid.*, pp. 333 sq.: “caput... in quo causa assignatur, cur minus gravia in principio sui motus naturalis velocius moveantur quam gravia.”

[141] 参见前文第 37 页。说实话,我们也很难相信伽利略曾认为自己的理论具有独创性。

[142] 参见前文第 131 和 132 号注释所引用的文本。

使物体上升的东西<sup>[143]</sup>：初看起来，这好像也只是一种轻性的传统定义，即轻性是物体上升的原因。实际上，情况正好完全相反。〔在前一种定义中〕，轻性和重性不再被理解为产生决定性效果的原因；相反，它们要从这些效果出发来获得定义。轻性是使物体上升的东西；重性是使物体下降的东西。但一个“重”物放在一个天平托盘里会上升，放在另一个托盘里却会下降。一块木头放在空气中会下落，而放进水底却会上升。“重”(lourd)和“轻”(léger)不是一些绝对性质<sup>[144]</sup>，而是一些相对性质，或者毋宁说，它们是一些简单的关系。这与亚里士多德的观点正相反，却与那些“古人”的学说相一致。因此，一个物体是轻还是重，也就是说，是上升还是下降，将取决于具体情况以及物体被放入其中的介质。如果物体比介质重，它就下降；如果物体比介质轻，它就上升（就像木头分别被放在空气中和水中的情形）。当物体处于某一介质当中时，物体下降或上升所具有的力（从而还有速度）将恰好由以下两者的差额来决定：一是处于介质中的物体本身所具有的重量；二是与物体体积相同的介质所具有的重量。<sup>[145]</sup> 这就意味着，所有的物体都具有一个**绝对重量**，这个绝对重量由包含在一个单位体积中的质料数量来决定；通过这种方式，伽利略就为“古人”的学说赋予了精确的表述，这种学说认为，所有的物体都是有重的，严格说来，并没有任何轻的物体。亚里士多德又一次搞错了。<sup>[146]</sup>

[143] 参见 *De Motu*, p. 289: “Cum gravia definiantur ea esse quae deorsum feruntur, levia vero quae sursum.”

[144] 参见 *Ibid.*: “Caput...in quo contra Aristotelem concluditur, non esse ponendum simpliciter leve et simpliciter grave: que etiam si darentur, non erunt terra et ignis ut ipse creditit”; 另参见本书前文第 35 页及以下, 第 54、56 页。

[145] 参见 *Ibid.*: “Grave et leve non nisi in comparatione ad minus gravia vel levia considerarunt qui ante Aristotelem; et hoc quidem, meo iudicio, iure optimo: Aristoteles autem 4° Caeli, opinionem antiquorum confutare nititur, suamque huic contrariam confirmare. Nos autem, antiquorum in hoc opinione secuturi.” 另参见前文第 125 号注释所引用的文本。

[146] *Ibid.*: “Quod si...per se, simpliciter et absolute...quaeratur utrum elementa gravia sint, respondemus, nedum aquam aut terram aut aerem, verum etiam et ignem, et si (转下页)

伽利略的推理(况且,他所做的也只不过是追随了贝内代蒂的推理)明显是移植了阿基米德的推理。<sup>[147]</sup> 不过,这种流体静力学的扩展有着极其重要的后果:它尤其意味着用某种量的阶梯来替代一种质的对立。

这种替代曾经蕴涵在“古人”的学说之中,在伽利略之前它曾经被贝内代蒂尝试过,现在,伽利略终于彻底明白了它的重要性。因此,他一再强调这一点。轻性不是一种性质(与重量有别的重性也不再是一种性质):它是一种效果(*résultante*)。<sup>[148]</sup> 因此,上升运动不是一种自然运动。<sup>[149]</sup> 上升的物体从来不会自发上升:之所以它们会上升,那是因为它们被另一些比它们更重的物体所推动。从此以后,伽利略承认的唯一自然运动就是重物的下落运动(所有物体都是重物,甚至包括空气和火),也

---

(接上页) *quid igne sit levius, gravitatem habere et demum omnia quae cum substantia quantitatem et materiam habeant coniunctam.*” 另参见 *ibid.*, p. 355: “*Gravitate corpus nullum expers esse, contra Aristotelis opinionem.*” 这个论点最终说来是一个德谟克利特的论点,我们在奥雷斯姆和哥白尼的著作中也发现了这个论点。伽利略在此求助的是“古人”( *ibid.*, p. 289) 和柏拉图( *ibid.*, p. 292) 的权威。参见 *ibid.*, p. 293: “*gravissimum non possit definiri aut mente concipi nisi quatenus minus gravibus substat... nec corpus levissimum esse id quod omni careat gravitate, hoc enim est vacuum, non corpus aliquod.*”

[147] *De Motu*, p. 275: “*Eadem vi, qua sphaera plumbea resistit ne sursum trahatur deorsum etiam fertur: ergo sphaera plumbea fertur deorsum tanta vi quanta est gravitas qua excedit gravitatem sphaerae aqueae. Hoc autem licet in lancis ponderibus intueri.*” 另参见 *ibid.*, p. 342.

[148] *Ibid.*, p. 270: “*Motus sursum fit a gravitate, non quidem mobilis, sed medii; ... celeritas motuum sursum, esse, sicut excessus gravitatis unius medii super gravitatem mobilis se habet ad excessum gravitatis alterius medii super gravitatem eiusdem mobilis.*” 同时参见 *ibid.*, p. 361 sq. 将轻性归结为一种重量的差异,并将向上的运动归结为一种“挤压”运动,这种观念曾被奥雷斯姆所采纳,哥白尼也以一种不同的方式采纳了这一观念。另参见本书前文第 35 页。

[149] *Ibid.*, p. 352 sq: “*Motus sursum nullum naturalem esse: Conditio ex parte motus... est ut non possit in infinitum esse et ad indeterminatum, sed ut sit finitus et terminatus... ad aliquem terminum, in quo naturaliter quiescere possit... ut non ab extrinseca sed intrinseca moveatur causa... motum sursum, ratione qua elongatio quaedam est a centro, non posse esse naturalem.*” *Ibid.*, p. 359: “*At simpliciter sursum, quo nihil magis sursum et quod etiam ut deorsum esse non possit, non solum actu non datur, verum neque ipsa cogitatione concipi potest.*” *Ibid.*, p. 361: “*Motum sursum ex parte mobilis naturalem esse non posse*”; *Ibid.*, p. 363: “*Corpora sursum per extrusionem moventur.*” *Ibid.*, p. 359: “*talem motum posse dici violentum.*”

就是说,朝向世界中心的运动。这也是仍拥有自然目标的唯一运动:上升运动已经失去了它的自然目标。

伽利略区分了绝对重量和相对重量(我们通常用天平称量的总是相对重量),并反复宣称物体下落的速度是它在给定介质中的相对重量(而不是绝对重量)的函数;这些观点必然将我们引向如下结论(贝内代蒂出于相似的理由早已得出了这个结论):即在虚空中,也唯有在虚空中,物体才能称得它们的绝对重量<sup>[150]</sup>,才会确实以它们(为其绝对重量之函数)的固有速度下落。<sup>[151]</sup>

73

这个结论完全违背了亚里士多德物理学最基本的信条<sup>[152]</sup>,但一旦建立起来,它就会附着在运动观念之上,即将运动视为某种被赋予物体或蕴涵在物体之中的推动力的效果。因为我们已经说过,在这种观念中,运动不再像亚里士多德所说的那样,是一种过程,是一个位置到另一个位置、

---

[150] 伽利略用了整整一章的篇幅来反驳亚里士多德关于虚空不可能性的教导,参见 *De Motu*, p. 276: “Quod si in vacuo ponderari possent, tunc certe, ubi nulla medii gravitas ponderum gravitatem minueret, eorum exactas perciperemus gravitates. Sed quia Peripatetici, cum principe suo, dixerunt, in vacuo nullos fieri posse motus et ideo omnia aequae ponderare, forte non absonum erit hanc opinionem examinare et eius fundamenta et demonstrationes perpendere: haec enim quaestio est una eorum quae de motu sunt.”

[151] *Ibid.*, p. 294: “Caput... in quo contra Aristotelem et Themistium demonstratur, in vacuo solum differentias gravitatum et motuum exacte discerni posse.” 泰米斯修与亚里士多德都断言了在虚空中物体具有相同的速度: “Quanto autem haec falsa sint mox innotescet, cum, quomodo in solo vacuo possint vera gravitatum et motuum discrimina dari, et in pleno nulla haec inveniri posse, declaraverimus.”

[152] *Ibid.*, p. 282: “Dicere ex. gr. in vacuo non magis huc quam illuc, aut sursum quam deorsum, movebitur mobile, quia non magis versus sursum quam deorsum cedit vacuum sed undique aequaliter, puerile est: nam hoc idem dicam de aere; cum enim lapis est in aere, quomodo magis cedit deorsum quam sursum, aut sinistrorsum quam dextrorsum, si aeris ubique eadem est raritas? ...cum dicunt: in vacuo non est neque sursum neque deorsum, quishoc somniavit? Nonne, si vacuus esset aër, vacuum prope terram esset centro propinquius vacuo quod esset prope ignem...Et, primo, Aristoteles peccat in hoc, quod non ostendit quomodo absurdum sit, in vacuo diversa mobilia eadem celeritate moveri, sed magis peccat...quare nec celeritates erunt aequales.” 另参见本书前文第 54 页,下文第 77 页。



一个状态到另一个状态的过渡。就运动本身而言,它更不是(也远远没有成为)一种“状态”:也正因为,运动无法自动保持下去。我们已经看到,它是某种力的效果。但是,由于这种力已被完全包括(或包含)在运动物体之中,因而物体的运动原则上并不包含外在于它自身的任何东西。<sup>[153]</sup> 在这种观念中,我们完全可以设想一个孤立于宇宙的其余部分(并处于运动之中)的物体,我们还可以想象将它放进虚空之中。由于运动物体的速度是推动它的力的函数,阻碍的消失也就绝不会蕴涵着一种无限的速度。如果物体被赋予了某种受迫运动,那么无论是相对于它自身而言(因为它在每一瞬间的速度都各不相同),还是相对于世界中心而言(因为它总在不断地改变自己的位置),它的运动状态总是在不断地变化(*aliter et aliter*);相反,如果物体被赋予了某种自然运动,那么相对于世界中心而言,它的运动当然也在不断地变化,但相对于它自身而言,由于它(在虚空中)的速度是恒定的,所以它的运动状态也将保持不变(*idem et idem*)。

我们清楚地看到:运动获得了自由;宇宙(Cosmos)走向解体;空间则被几何化。我们正走在通往惯性原理的道路上,但我们尚未抵达。实际上,我们离它还相当遥远。这条道路是如此遥远,以至于为了能够顺利抵达,我们将不得不在途中抛弃“运动—效果”(mouvement-effet)的观念以及“自然”运动和“受迫”运动的区分<sup>[154]</sup>,我们将不得不抛弃“位置”(lieu)的观念,甚至抛弃“位置”这个名称本身。这是一条极其漫长而又十分艰

[153] 因此,在冲力动力学中,绝对运动是可能的。

[154] 实际上,伽利略批评了这种区分。参见 *De Motu*, p. 304: “caput...in quo de motu circulari quaeritur, an sit naturalis un violentus. Motus...naturalis est dum mobilia, incedendo, ad loca propria accedunt; violentus vero est dum mobilia, quae moventur, a proprio loco recedunt. Haec cum ita se habeant, manifestum est, sphaeram super mundi centrum circum volutam neque naturali neque violento motu moveri.” *Ibid.*, p. 305: “si sphaera esset in centro mundi, nec naturaliter nec violenter circumageretur, quaeritur, utrum, accepto motus principio ab externo motore, perpetuo moveretur, necne. Si enim non praeter naturam movetur, videtur quod perpetuo moveri deberet; sed si non secundum naturam, videtur quod tandem quiescere debeat.”

难的道路,而我们知道,就连伽利略本人也没能走完全程。

但是,这已经是另一故事,一个我们此刻暂时无需关注的故事。<sup>[155]</sup> 在我们目前所研究的阶段,伽利略才刚刚开始上路。对于他来说,还有一种“自然位置”,一种唯一的“自然位置”:世界的中心;还有一种自然运动,同样是唯一的自然运动:趋向这个世界中心的运动;<sup>[156]</sup>甚至还有一种宇宙秩序(l'ordre cosmique)的遗迹:重物处于(或靠近)世界的中心,较轻的物体则分布在环绕着重物的同心圈层中。这种耐人寻味的观念清晰地显示出,伽利略想要摆脱表达世界的传统框架遇到了多么大的困难:各种元素的同心圆秩序还是被保留下来。但是,现在这种秩序却需要通过几何学考虑来进行解释:由于最重的物体也是密度最大的物体,所以它们自然地处于可容纳质料的位置最少的地方,也就是说,处于人们假定它实际存在的那个宇宙球体的中心。<sup>[157]</sup>

然而,这种宇宙球体已经变得多么模糊和不精确!事实上,在对亚里士多德主义的自然运动观念进行批判的过程中,伽利略接受了向下运动(*deorsum*)的自然特性,同时否定了向上运动(*sursum*)的自然特性。这不仅是因为,所有物体都是有重的,因此向上运动总是受迫运动,而且还因为向上运动不再拥有自然的界限。一个物体不可能永远下降,相反,它却总是可以上升得更高。<sup>[158]</sup>

75

---

[155] 参见下文第三部分:“伽利略与惯性定律”,第1章第2节。

[156] 这的确是一个富有教益的例子,它为我们揭示了一种“自然的”观念(即重物下落的观念)的顽固性。耐人寻味的是,哥白尼已经能够摆脱这种观念,而伽利略却从来没能完全解除这种观念的束缚。

[157] *De Motu*, p. 252: “cap. *Gravia in inferiori loco, levia vero in sublimi a natura constituta esse, et cur. Cum enim ut antiquioribus philosophis placuit, una omnium corporum sit materia, et illa quidem graviora sint quae in angustiori spatio plures illius materiae particulas includerent, ut iidem philosophi, immerito fortasse ab Aristotele 4 Caeli confutati asserebant; rationi profecto consentaneum fuit, ut quae in angustiori loco plus materiae concluderent, angustiora etiam loca, qualia sunt quae centro magis accedunt, occuparent.*” 另参见 *ibid.*, p. 345.

[158] 参见前文第72页所引述的文本。

这段不同寻常的文本清晰地显示出,伽利略的思想(无疑是在哥白尼的影响下<sup>[159]</sup>)正经历着怎样的渐进转变。宇宙中心依然保留着,但宇宙球体在不断扩大,变得没有明确的界限,或者说,失去了它的边界。只要宇宙球体变得无限大<sup>[160]</sup>,就足以使古代宇宙(Cosmos)的所有遗迹、所有的“位置”、所有的特权方向,全都消失在此后均匀同质的空间之中。只要……但也就是这个“只要”,其中蕴涵着何等巨大的思想努力!伽利略没能跨越这个界限。唯有布鲁诺(他既非天文学家又非物理学家)才迈出了这决定性的一步。<sup>[161]</sup>

76 现在,让我们来稍微回顾一下前面所说的内容。我们曾经在贝内代蒂的著作中发现过这种奇特的机械物理学(伽利略经常说,所有物体的运动都可被化简为平衡原理<sup>[162]</sup>)或流体动力学,我们刚刚又在伽利略的著作中遇到了它,那么,它究竟来自哪里呢?我们已经反复说了很多次:它直接来自阿基米德。当伽利略在其著作中提到阿基米德的名字时,他总会情不自禁地附带上一大堆极尽颂扬之词,并试图援引阿基米德的权威

[159] 塔纳里在其著作中强调了哥白尼对伽利略思想发展的影响,参见 P. Tannery, *Galilée et les principes de la dynamique*, Mémoires scientifiques, vol. VI, Paris, 1926, pp. 400 sq. 另参见本书第三部分,下文第 205 页及以下。

我们可以说,伽利略从一开始就是一位哥白尼主义者。如果考虑到贝内代蒂是一位坚定的哥白尼主义者,这一点就很容易理解。参见 E. Wohlwill, *Galilei und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre*, vol. I, p. 19 sq.

[160] 正是在这一点上,赫森非常正确地看到了伽利略革命的意义。参见 S. Hessen, “Die Entwicklung der Physik Galileis und ihr Verhältnis zum physikalischen System von Aristoteles”, *Logos*, v. XVIII, p. 339 sq. 然而,在我们看来,赫森并没有充分认识到以下这个事实的重要性,即伽利略本人并不认为宇宙是无限的。

[161] 参见 P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, Vol. III, p. 257 sq. 以及本书下文第三部分:“伽利略与惯性定律”,第 1 章第 2 节。在此我们也顺便强调一下,这种哲学超前于科学的情形是相当罕见的。

[162] *De Motu*, p. 259: “...naturalium mobilium motus ad ponderum in lance motum congrue reducat.” 另参见本书前文第 71 页。

来支持自己的观点。<sup>[163]</sup>毫无疑问,他完全有理由这么做。

此外,伽利略并不是推崇阿基米德甚于其他伟人的唯一学者。自从塔尔塔里亚(说实话,他没能从阿基米德那里学到多少东西)编辑出版了阿基米德著作的拉丁语译本之后,一开始是阿基米德的声誉,随后是他的影响,都一直在不断增长。他的影响变得如此巨大,以致卡尔丹在按卓越等级将伟人们排序以做消遣时,颇为认真地把首席位置指定给了阿基米德(排在亚里士多德之上),而且还将阿基米德单独列在最高等级。<sup>[164]</sup>这难怪立即引起了斯卡利杰的强烈抗议:把这个工匠排在欧几里得之上,排在亚里士多德之上,排在邓·司各特和奥康之上,这是多么荒谬的事情!然而,卡尔丹的观点意义非凡,它显示了阿基米德日益增长的巨大影响。在那一时期,这种影响是如此显而易见,以致当时最优秀的两个机械学家(吉多巴尔多·德尔·蒙特和让·巴蒂斯特·贝内代蒂)都认为他们思想中最清晰的部分应该归功于阿基米德。至于伽利略,我们可以这样说,他几乎是在阿基米德学派的影响下逐渐成长的。

事实上,正是通过《杠杆》(*Bilancetta*)<sup>[165]</sup>这篇论述流体静力学平衡的论文,青年伽利略才开始踏入其科学生涯;其后,伽利略又全靠一部关于固体重心方面的著作(这部著作的灵感和技巧完全是阿基米德式的)才获得了他在比萨大学的首任数学教授职位。正是由于他自觉和坚定地追随阿基米德学派,执著于他所代表的思想传统(赞成“古人”<sup>[166]</sup>,反对亚里士多德),伽利略才终于超越了冲压力物理学,并上升到一种数学物理学的层次。这种数学物理学不是什么别的理论,而正是一种阿基米德式的

---

[163] *De Motu*, p. 300: 参见下文第 78 页所引内容。

[164] 参见 P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, Vol. III, p. 199.

[165] 参见 *Opere*, v. I, p. 210 sq.

[166] *Ibid.*, p. 359: “Haec Aristoteles contra antiquos et nos pro antiquis.” 戈尔德贝克在其著作《伽利略的原子论》中认为(参见 E. Goldbeck, *Galileis Atomistik*, Bibliotheca Mathematica, N. F., vol. III/1),“古人”是指希腊的原子论者。这一点完全正确,然而我们还需注意,他们也包括经院哲学传统的“古人”,参见前文第 35 页。他们还包括柏拉图和阿基米德。

动力学。

77 我们之前已经反复说过,但在此依然值得再重复一遍:冲力物理学(能量物理学,或冲印力物理学)只是对常识和日常经验的某种回应,以及对亚里士多德那种思辨的宇宙论物理学的初步反抗。它所引入的各种观念只不过是常识的抽象延伸。因此,尽管有奥雷斯姆的数学天才,尽管有巴黎学派对于宇宙之外的(*ultra-cosmique*)空间的几何化,冲力物理学的各种观念还是没能将自身与那些并行发展起来的数学观念熔铸成一体。

由于追随并超越了贝内代蒂的示范,自比萨时期起,伽利略就开始在他的运动分析中使用一些完全不同的观念。例如,当他研究一个物体在斜面上的运动时(他还把这种研究化简为对杠杆的研究);当他向我们表明,在水平面上,一个无论多小的力都足以推动一个无论多大的球体时<sup>[167]</sup>;或者当他在批评亚里士多德的动力学时,为了支持他自己关于虚空中的落体理论,他向我们表明:由于阻碍的减少,运动物体的速度将会增加,但这种增加绝不会超过某个有限的大小(而且这种增加是以渐近的方式发生的),因此,即便在虚空中物体所受的阻碍完全消失,其结果也绝不会使物体的运动速度变为无限大<sup>[168]</sup>;一般说来,当伽利略研究诸如“虚

---

[167] *De Motu*, pp. 296, 298. 因此,在水平面上的运动既不是自然运动,也不是反自然(*contra naturam*)的运动,参见 *ibid.*, p. 299: “Amplius: mobile, nullam extrinsecam habens resistantiam, in plano sub horizonte quantulumcunque inclinato naturaliter descendet, nulla adhibita vi extrinseca...et idem mobile in plano quantulumcunque super horizontem erecto non nisi violenter ascendit: ergo restat, quod in ipso horizonte nec naturaliter nec violenter moveatur. Quod si non violenter movetur, ergo a vi omnium minima moveri poterit. Quod etiam aliter demonstrare possumus: nempe, quodcunque mobile nullam extrinsecam resistantiam patiens, a vi quae minor sit quacunque vi proposita, in plano quod nec sursum nec deorsum tendat, moveri posse.” 另参见前文第 154 号注释。

[168] *Ibid.*, p. 276 sq.: “Caput...ubi, contra Aristotelem, demonstratur, si vacuum esset, motum in instanti non contingere, sed in tempore.

Posuit enim ejusdem mobilis motus in diversis mediis eam, in celeritate, inter se proportionem servare, quam habent mediorum subtilitates: quod quidem falsum esse, supra abunde demonstratum est...Et quod eodem loco scribit Aristoteles, quod impossibile est numerum (转下页)

空中的运动”等事物时,他从一开始就很自觉地让自己置身于实在之外。一个绝对光滑的平面,一个完美球形的球体,绝对坚硬的球体和平面:这些都是我们在物理实在中无法找到的事物。<sup>[169]</sup> 这些概念也不是我们从经验中获取的概念,而是我们假定它们存在的概念。因此,当我们发现“经验”的实在不能与理性演绎完全保持一致时,我们不应该为此而感到惊讶。<sup>[170]</sup> 但是,只有理性演绎才是正确的。正是这种演绎,正是这些“虚构”的概念,才使得我们能够理解和阐释自然,使得我们能够向它提出问题并破译它的答案。面对抽象的经验主义,伽利略要求恢复的是柏拉图主义数学观的优先地位。

78

---

(接上页) ad numerum eam habere proportionem quam numerus ad nihil, verum quidem est de proportione geometrica, et non solum in numeris sed in omni quantitate... Attamen hoc non est necessarium in proportionibus arithmetis: potest enim in his numerus ad numerum eam habere proportionem quam numerus ad nihil. Quare..., si celeritas ad celeritatem non geometrice sed arithmetice dictam proportionem servaret, iam nullum absurdum sequeretur. At certe quidem celeritas ad celeritatem [se habet] sicut excessus gravitatis mobilis super huius medii gravitatem... Quapropter in vacuo quoque eadem ratione movebitur mobile, qua in pleno. ”当然,在虚空中运动将会是最迅速的。因为,既然“在真空中(推动力与阻力的)差值要比在介质中更大”,下落就将会是“最快的”(velocissima)。另参见前文第 56、58 页。

[169] *De Motu*, p. 296: “Caput in quo agitur de proportionibus motuum eiusdem mobilis super diversa plana inclinata ... manifestum est, grave deorsum ferri tanta vi, quanta esset necessaria ad illud sursum trahendum: hoc est fertur deorsum tanta vi, quanta resistit, ne ascendat”; *ibid.*, p. 298: “Haec demonstratio intelligenda est nulla existente accidentali resistantia...: supponendum est, planum esse quoddammodo incorporeum...mobile esse expolitissimum, figura perfecta sphaerica. Quare omnia si ita disposita fuerint, quodcunque mobile super planum horizonti aequidistans a minima vi movebitur, imo et a vi minori quam quaevis alia vis. Et hoc, quia videtur satis creditu difficile...demonstrabitur hac demonstratione.”

[170] *Ibid.*, p. 300: “Et haec quae demonstravimus, ut etiam supra diximus, intelligenda sunt de mobilibus ab omni extrinseca resistantia immunibus: quae quidem cum forte impossibile sit in materia invenire, ne miretur aliquis, de his periculum faciens, si experientia frustretur, et magna sphaera, etiam si in plano horizontali, minima vi non possit moveri, Accedit enim, praeter causas iam dictas, etiam haec: scilicet, planum non potest aequidistare planum: quare plano in uno tantum puncto sphaeram contingente, si a tali puncto recedamus, necesse est ascendere...”

不过,伽利略暂时还没有援引神圣柏拉图<sup>[171]</sup>的权威来支持新物理学“对于数学的纵容”(例如,支持重力线平行假设的运用)。此时他援引的只是“超人”(suprahumain)阿基米德的范例。<sup>[172]</sup>

那么,我们能否更清晰地标示出上述历史演变关系呢?我们能否更清楚地说明这场正在进行的科学革命的发展方向呢?伽利略已经拒斥了亚里士多德的物理学,他也尝试过亲自去构建一种常识物理学,但并未获得成功。因此,从今以后伽利略试图创立的将是一种阿基米德式的物理学。<sup>[173]</sup>

一种阿基米德式的物理学,这意味着,它是一种“抽象的”和演绎的数学物理学:伽利略将要在帕多瓦发展的,正是这样一种物理学。它也是一种关于数学假设的物理学;在这种物理学中,运动定律、重物下落的定律都可被“抽象地”演绎出来,而且这种演绎既不需要使用任何力的观念,也不需要求助于各种实在物体的实验。因此,伽利略所借助的(或以后将要借助的)那些“实验”,甚至是那些他曾实际做过的实验,从来都只能是(并将永远是)一些思想实验。<sup>[174]</sup>更何况,这也是伽利略对其物理学的研究对象所能做的唯一实验。因为他的物理学所研究的那些对象,他的动力

[171] 只有到了后来,伽利略才认识到他的数学主义是一种柏拉图主义。参见本书第三部分,下文第 280 页及以下,第 287 页及以下。

[172] *De Motu*, p. 300: “Hic autem non me praeterit, posse aliquem obiicere, me ad has demonstratione tanquam verum id supponere quod falsum est: nempe, suspensa pondera ex lance, cum lance angulos rectas continere; cum tamen pondera ad centrum tendentia concurrerent. His responderem, me sub suprahumani Archimedis (quem nunquam absque admiratione nomino) alis memet protegere.” 另参见本书第三部分,下文第 299 页。

[173] 参见 E. Meyerson, *Identité et Réalité*<sup>3</sup>, Paris, 1926, p. 145 sq.

[174] 参见 Gal. Galilei, *Le Meccaniche, Opere*, vol. II, p. 159: “Quello che in tutte le scienze dimostrative è necessario di osservarsi, doviamo noi... in questo trattate seguitare: che è di proporre le diffinizioni dei termini proprii di questa faculta, e le prime supposizioni, delle quali, come da fecondissimi semi, pullulano e scaturiscano conseqentemente le cause e le vere dimostrazioni delle proprietà di tutti gl' instrumenti mecanici... Adimandiano adunque gravità quella propensione di muoversi naturalmente al basso, la quale nei corpi solidi, si ritrova (转下页)

学所应用的那些物体,都不是“实在的”物体。事实上,我们也无法让“实在的”物体(常识意义上的实在物体)进入几何学空间的非实在之中。对于这一点,亚里士多德完全能够理解。但他无法理解的是,正如柏拉图曾经极力主张以及柏拉图主义者<sup>[175]</sup>阿基米德所做的那样,人们还可以为这些几何学空间假定一些抽象物体。不过,由于阿基米德本人未能成功地将运动赋予这些抽象物体,因此,这项工作就要由阿基米德主义者伽利略来完成。

总之,伽利略的动力学只适用于这些位于几何学空间之中的抽象物体,只适用于这些阿基米德的物体。惯性原理也只适用于它们。只有当宇宙(Cosmos)被借助欧几里得空间而获得实在性的虚空所取代时,只有当那些需要通过本质和性质来界定的亚里士多德的常识物体被这些阿基米德的抽象“物体”所取代时,空间才会停止发挥物理作用,运动才会停止

---

(接上页) *cagionata della maggiore o minore copia di materia dalla quale vengono costituiti... Momento è propensione di andare al basso, cagionato non tanto dalla gravità del mobile, quanto dalla disposizione che abbino tra di loro diversi corpi gravi; mediante il qual momento si vedra molte volte un corpo men grave contrapesare un altro di maggior gravità; come nella stadera si vede un picciolo contrapeso alzare un altro peso grandissimo... E dunque il memento quell'impeto di andare all'basso, composto di gravità, posizione e di altro, dal che possa essere tal propensione cagionate.* [在所有演绎科学中人们必须遵循的原则,我们在这篇论文中也必须同样遵循;也就是说,我们必须提出这项研究所包含的各种专门术语的定义,提出这项研究的各种基本假设;这些定义和假设就像是一些富有生育力的种子,所有机械装置的特性的各种原因和正确证明将会是从中不断萌芽和生长出来的果实……在各种固体中,我们发现构成固体的物质的量的多少会导致它们自然向下运动。我们将这种自然向下运动的倾向称为“重性”(gravità)。动量(momento)则是这样一种向下运动的倾向,与其说这种倾向是由可动物体的重性所引起,不如说它是由各种不同重物之间的位置排列所引起。正是由于这种动量,我们经常可以看到,一个不太重的物体可以平衡另一个更重的物体,就像在杆秤的情形中,我们看到一个小小的配重就能举起一个非常大的重量。这不是因为配重的重性超过了后者,而是因为它离开杆秤悬点的距离。这个距离与配重较轻的重性相结合,增加了配重向下运动的动量和冲力,以致它的动量可以超过另一个较重物体的动量。因此,动量是某种向下运动的冲力,这种冲力由物体的重性、位置以及任何可引发向下运动倾向的其他东西所构成。]

[175] 就整个古希腊哲学传统来说,阿基米德是一位“柏拉图派的哲学家”。



影响运动物体。从今以后,运动也好,静止也好,这些抽象物体可以完全不必再操心它们正处于何种状态,而运动就像静止那样,也变成了一种状态(état),并且获得了与静止相同的本体论地位。因此,运动也像静止那样,完全可以无定限地自动保持下去,我们也不再需要一个原因来解释这一现象。

## 第二部分

# ■ 落体定律 ■

笛卡尔与伽利略

**La loi de la chute des corps**

**Descartes et Galilée**

## 引 言

83

1604年，伽利略提出了经典物理学的第一个定律——落体定律。<sup>〔1〕</sup> 15年之后，即1619年，毕克曼也表述了同样的定律。<sup>〔2〕</sup> 当然，毕克曼并没有独自完成这项工作。他是一个优秀的物理学家，但却是一个平庸的数学家<sup>〔3〕</sup>，因此，他不得不请求笛卡尔的帮助：他把自己没能解决的积分问题提交给了笛卡尔。但是，如果将毕克曼的作用贬低为仅仅充当了发现落体定律的某种纯粹偶然的原因，并将这项发现的全部荣誉都归于笛卡尔，那也是错误的。实际上，毕克曼的作用要比这重要得多。因为他不仅提出了问题，而且还为笛卡尔指出了解决方案的各种原理；最后也正是他，由于曲解了笛卡尔的答复，才提出了落体定律的正确表述（不过，他是

---

〔1〕 在1604年10月16日致帕奥罗·萨尔皮的一封信中提出。参见 *Opere*, Ed. Nazionale, v. X, p. 115.

〔2〕 参见 Descartes et Beeckman, *Varia* (*Œuvres de Descartes*, éd. Adam et Tannery, vol. X), p. 58 sq. 以及 *Physico-mathematica*, *ibid.*, p. 75 sq. 我们将在下文中较大篇幅地引用这些文本。

〔3〕 毕克曼不愿接受无穷小的方法和一种连续变化的观念。因此，他试图借助一种有穷论的观念和算法重新获得笛卡尔的结果。参见 *ibid.* p. 61 sq.。

把它当作笛卡尔本人的工作提出来的),这个表述与伽利略在15年前所发现的定律完全相同。

事实上,笛卡尔在他的答复中确实犯了错误,他交给毕克曼的表述是错误的。然而,耐人寻味的是,笛卡尔所犯的错误与15年前伽利略曾经犯过的错误完全相同(或者更确切地说,可与伽利略所犯的错误互补<sup>[4]</sup>),因为伽利略也犯过相同的错误。<sup>[5]</sup>

这类巧合在科学思想史上并不少见。同样的观念突然涌现,同样的发明一起产生,几乎是在相同的时间,但却发生在完全不同的地点,涉及完全不同的人物。大家都很熟悉那些关于优先权的争论……大家也都一致同意,这些令人惊讶的同时性事件对于科学思想史来说极富启发意义。

不过,在我们看来,这些“巧合”之中没有任何一个能够(甚至包括那些最为著名的巧合,如牛顿和莱布尼茨同时发明微积分的巧合、卡诺和克劳修斯同时发现熵增原理的巧合,也不能够)在独特性方面与伽利略和毕克曼、笛卡尔的双重巧合相比拟:在这个独一无二的巧合中,我们既发现了一种真理方面的巧合,又发现了一种错误方面的巧合。

落体定律是一个非常重要的定律:它是近代动力学的基本定律。<sup>[6]</sup>同时,它又是一个极其简单的定律;它简单到用一个定义就可以说清楚:

〔4〕 这里是指伽利略和笛卡尔所犯的错误是同一错误的两个方面或两种不同的表现形式。——译者

〔5〕 参见 E. Mach, *Mechanik*, Leipzig, 1921, p. 125; P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, Vol. III, *Les Précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, 1913, p. 566 sq.

〔6〕 参见 Duhem, “De l'accélération produite par une force constante”, *Congrès International de Philosophie*, II<sup>e</sup> Session, Genève, 1905, p. 859:“亚里士多德曾提出以下定律:一种恒定的力产生一种匀速运动,其速度正比于产生这种运动的力。这个定律在接近两千年的时间中支配着力学。今天我们信奉的是另一个定律:一种恒定的力产生一种匀加速运动,这种运动的加速度与作用于运动物体的力成正比。这个定律是近代动力学的基础。”在我们看来,迪昂的表述并不确切。亚里士多德不可能拥有力的近代观念,因此,他(就像经院哲学家那样)谈论的是原因而不是力。这两者并不是同一回事。

落体运动是一种匀加速运动。<sup>〔7〕</sup>

尽管这个定律如此简单,今天连孩子们都能立刻明白,但在发明这个定律的过程中,笛卡尔和伽利略却犯了严重的错误。如何解释他们的错误呢?研究伽利略的历史学家(研究笛卡尔的历史学家也一样)通常都不怎么强调这种不幸的遭遇。当然,这很容易理解。所有的历史学家,尤其是所有的传记作家,都难免有一点为其传主歌功颂德的倾向。因此,对于这些传主所犯的 error,所遭受的失败,他们往往一笔略过;只有在为其辩护开脱时,他们才会提及这些失败与错误。况且,老去纠缠这些错误又有什么用呢?重要的是最终的成功,是最后的发现,而并非那些他们曾经走过的、迂回曲折的、而且总是容易误入歧途的道路,难道不是这样吗?这些“历史学家—传记作家”(historien-hagiographe)无疑是有道理的。对于后继者来说,重要的确实是胜利、发现和发明。然而,对于科学思想史家,至少是对于“历史学家—哲学家”来说,失败和错误,尤其是像伽利略和笛卡尔等人的错误,有时会与他们的成功同样弥足珍贵,甚至可以说更为珍贵。因为,这些失败和错误不仅非常富于启发,而且也(往往)使得我们能够理解和把握他们思想的隐秘的发展历程。

85

也许有人会反驳我们说,没有必要寻求对错误的理性解释。错误是

---

〔7〕 实际上,落体定律的完整表述包含两个不同的命题:a)落体速度的增加与时间成正比;b)对于所有物体来说下落的加速度都相同。提出上述第二个命题的荣誉往往被归于贝内代蒂:然而,这是错误的(参见本书第一部分,前文第56、66页),因为贝内代蒂假定,上述命题只针对那些具有不同重量但却“具有相同本性”的物体才成立。至于那些不同“本性”的物体,他认为它们的下落速度与它们的比重成正比。正是伽利略通过使用一种与贝内代蒂相类似的推理,才首次得出了以下命题,即不管重量多少以及“本性”如何,所有的重物都以相同的速度下落。参见 *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*(《关于两门新科学的对话与数学证明》), Giornata prima, *Opere*, V. VIII, p. 128 sq.

伽利略的另一本主要著作作为《关于托勒密与哥白尼两大世界体系的对话》(*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo: Tolemaico, e Copernicano*),故柯瓦雷在下文注释中直接使用两个意大利语单词 Dialogo 和 Discorsi(在正文中则使用两个对应的法语词 le Dialogue 和 les Discours)来简称对应著作,中译本拟分别用《对话》和《两门新科学》来简称对应著作。——译者

人类狭隘和有限的心灵在各种心理学条件,甚至生物学条件下所暴露的机能薄弱的结果。所有人都可能会犯错,所有人也都犯过错误,没有人会例外。缺乏注意力、心不在焉、甚或一时“疏忽”〔8〕都足以解释这些错误。但是,我们认为不能接受、至少不能完全接受这种反驳。任何推理错误无疑都意味着某种疏忽。既然伽利略和笛卡尔犯了错误,他们也因此而总有些过失。但是,这种双重疏忽(本身已经是非常奇特的现象)居然将他们引向了完全相同的错误,在我们看来,这不可能是纯粹偶然的结果。当然,就其自身而言,这并非完全不可能,只是依然过于令人难以置信。这种错误方面的巧合应该还是另有原因的。

因此,我们刚刚提出的问题丝毫没有得到解答:在推导一个极其简单的定律时,为什么笛卡尔和伽利略都犯了错误。

86 这难道不是偶然地显示出,这种简单性仅仅是一种表面现象?或者毋宁说,显示出落体定律只有在某个特定的公理系统内部,只有从某个特定的概念集合出发才是简单的?换句话说,这难道不是显示出,落体定律已经预设和隐含着某些特定的概念(例如,空间概念、作用概念、运动概念),而这些概念却一点也不“简单”?或者我们不如说,这些概念(就像所有的基本概念一样)实在是过于简单了;正因为此,要将它们剥离出来才会特别困难。〔9〕

## 一、伽利略

一直以来,落体现象都是物理学中令人沉思和惊讶的主题。因此,毫不奇怪的是,伽利略从青年时期在比萨开始就已经花了不少心思致力于

---

〔8〕 参见 Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 570.

〔9〕 参见本书第一部分,前文第 11 页以及第 15 页。

解决物体下落的双重问题(即作为向下运动的下落本身以及它的加速)。直到在帕多瓦时,他还在继续关注这一问题:他非常清楚地知道,落体问题可能会涉及新科学的某个基本定律,甚至一定会涉及那个基本定律。

我们之前曾经提到过,在1604年10月16日,伽利略曾经给帕奥罗·萨尔皮写过一封信。伽利略在这封信中写道<sup>[10]</sup>:

当我在思考运动问题时,为了证明我所观察到的各种偶性(accidents),我还缺少一个绝对无可置疑的原理,以便我能够将它确定为公理。最后,我终于得到了一个命题,它看起来足够自然和自明;如果假定这个命题成立,我就能根据它来证明所有其他命题,尤其是可用它来证明:自然运动所通过的空间<sup>[11]</sup>与时间的平方成正比,由此又可推出:在相等时间内通过的空间之比等于从1开始的奇数之比,等等。这个原理就是:自然运动物体的速度与物体离开起点的距离以相同的

---

[10] 参见 *Galileo a Paolo Sarpi in Venezia*, Padova, 16 ottobre 1604 (Opere, v. X, p. 115), 意大利语原文如下: “*Ripensando circa le cose del moto, nelle quali, per dimostrare li accidenti da me osservati, mi mancava principio totalmente indubitabile da poter porlo per assioma, mi son ridotto ad una proposizione la quale ha molto del naturale et dell’evidente; et questa supposita dimostre poi il resto, cioè gli spazii passati dal moto naturale esser in propozione doppia dei tempi, et per conseguenza gli spazii passati in tempi eguali esser come i numeri impari ab unitate, o le alter cose. Et il principio è questo: che il mobile naturale vadia crescendo di velocità con quella proportion che si discosta dal principio del suo moto; come v. g. cadendo il grave dal termine a per la linea abcd, suppongo che il grado di velocità che ha in c al grado di velocità che hebbe in b esser come la distanza ca alla distanza ba, et così conseguentemente in d haver grado di velocità maggiore che in c secondo che la distanza da è maggiore della ca.*”

[11] 在法语中,“空间”和“距离”可用同一个词(*espace*)来表示,复数形式都是 *les espaces*, 但从文本整体结构和当时的用法看,将 *espace* 统一译为“空间”或许更恰当。但为了照顾中文表述习惯,以及方便读者理解,有时也译为“距离”。此外,凡文中出现法语词 *distance*, 一般译为“距离”(柯瓦雷偶尔也在注释中直接用它来替代 *espace*), *chemin* 一般译为“路程”,特此说明。  
——译者

87

比例增加。例如,如果一个重物从 A 点沿着路线 ABCD 下落,那么我就假定,物体在 C 点的速度(degré de vitesse)<sup>[12]</sup>与它在 B 点的速度之比等于距离 CA 与距离 BA 之比。因此,距离 DA 比距离 CA 增加多少,物体在 D 点的速度也将比它在 C 点的速度相应增加多少。

这是一段很奇特的文本(以后我们将会把它与笛卡尔的文本相比较),这段文本非常清晰地显示了伽利略的逻辑的典型特征。我们可以说,他所寻求的并不是一个描述性的公式,使得他能够计算落体现象的各种可观察和可测度的量(即它的各种“偶性”),例如:速度、运动物体所通过的路程等等。恰恰相反,伽利略已经拥有了这样的公式(那么,他是如何获得这个公式的呢?我们先把这个问题搁在一边)<sup>[13]</sup>他已经知道,在相等的时间内通过的空间之比等于一系列奇数之比;他同样知道了,运动物体所通过的空间与时间的平方成正比……然而,他还想再寻求一些东西。他所寻求的,并不是连接这两个命题的逻辑或数学的联系(很显然,他已经知道了这种联系),而是一个自明和基本的“原理”。这个原理将使他能够推导出,或者正如伽利略所说,能够“证明”落体运动的各种“偶性”。如果将“一位近代物理学家”这样的称呼用在伽利略身上,我们可以说,他对在理论上没有得到证实的观察结果没有信心。伽利略的认识论不是一种实证主义的认识

[12] 法文:degré de vitesse,英文 degree of speed;此术语表征运动快慢的强度,为近代“速度”概念的前身,基本含义为“速的度”或“快速的程度”,有时相当于瞬时速度,但在不同文本中含义又有所不同,勉强中译为“速度”。——译者

[13] 关于落体定律的历史或前史,可参见 P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, *Les Précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, 1913, E. J. Dijksterhuis, *Val en Worp*, Groningen, 1924 以及 E. Borchert, *Die Lehre von der Bewegung bei N. Oresme* (Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters, Bd. XXXI, fasc. 3), Münster, 1934.

论,而是一种阿基米德的认识论。<sup>[14]</sup>

换言之,伽利略其实已经拥有了落体定律。但是,他认为这样还不够。因为他只是作为一种事实而拥有了这个定律,他还不明白为什么会有这样的定律。物体下落,这是一个事实。此外,当物体下落时,它们的运动在加速。在下落过程中,它们[在相等时段内]通过的距离之比等于各奇数之比。但是,所有这些为什么会是这样呢?伽利略认为他有必要知道这个原因。

在此我们需要注意:在伽利略看来,需要解释或理解的,并不是下落这一事实本身;问题也不在于找到物体下落的原因。<sup>[15]</sup>他所要寻求的是下落运动的本质。事实上,落体运动是一种非常独特的运动:无论物体在哪里下落,这种下落运动都同样表现出一种十分确定的运动方式或类型。因此,问题就在于找到这种运动方式的本性,找到它的本质,或者毋宁说,找到它的定义(这几种说法其实是同一回事)。正是这种本性、本质或定义,才能构成一种自明而无可置疑的原理或基本公理,我们才有可能根据它推导出所有其他命题。

至于物体为什么会下落,伽利略不可能知道。<sup>[16]</sup>在牛顿之前,没有任何人能够解释这个问题。<sup>[17]</sup>为了寻求本质(或者正如人们所说,为了寻

88

[14] 马赫首先给出了伽利略认识论的“实证主义”解释,参见 E. Mach, *Mechanik*<sup>8</sup>, p. 122 sq. 但是,这个解释与他对牛顿认识论的类似解释同样是错误的。

[15] 伽利略知道自己对这个原因一无所知。他也知道自己并不知道重性是什么,或者至少知道他在这个问题上无法利用任何假设和信念。参见下文第 146 页。

[16] 从 1600 年起,吉尔伯特以及随后的开普勒都将重力等同于吸引力。毫无疑问,伽利略也分享了这种信念(参见本书第三部分,下文第 258 页及以下)。但是,吉尔伯特的吸引力是一种灵魂;开普勒的吸引力尽管已不再是一种灵魂,但仍然是一种指向对象的力,也就是说,是某种更为神秘的事物。关于吉尔伯特的物理学,参见 E. Burtt, *The Metaphysics of Sir Isaak Newton. An essay on the metaphysical foundations of modern physical science*, London, 1925; 关于开普勒,参见 E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*<sup>2</sup>, vol. I, Berlin, 1911, pp. 328 sq.

[17] 当然,或许有人会说,牛顿本人也不能解释这个问题,他的引力与使相似事物聚集到一起的倾向同样神秘,关于这种倾向,柏拉图和“古人们”都曾提及,而且引力也是来源于这种倾向。这样说完全正确,因此,总有人试图说明这一点(参见 E. Meyerson, *Identité et* (转下页))



求定律)而放弃了因果解释,人们往往认为这是将荣誉赋予伽利略的一种恰当名义。然而,由于这种放弃(事实上,伽利略也只是迫于无奈才决定放弃)切断了(或者至少是削弱了)他的思想与实在之间的联系,这就尤其使得他的研究工作变得更为困难。另一方面,错误也就更容易趁虚而入。

稍后我们还会回来探讨这些问题。不管怎样,在发现落体运动本质的过程中,伽利略犯了一个错误。因为他认为其足够自明和自然并予以采纳的这个原理(即在自由下落时,运动物体的速度与所通过的距离成正比)根本不能按照他自己刚刚表述过的那种形式得出落体定律。它只会导向另一个完全不同的定律,而他应该还没有能力计算出这个定律。<sup>[18]</sup>

89

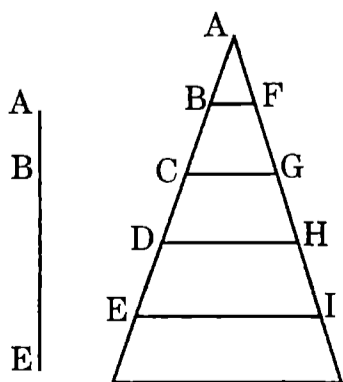
正如沃尔威尔<sup>[19]</sup>和迪昂<sup>[20]</sup>已经清楚地揭示,伽利略想要确立为他的

(接上页) *Réalité*<sup>3</sup>, Paris, 1926)。但是,牛顿的引力是一种非指向性的力,这种力将空间与几何学结合为一体:这就够了。

[18] 这个定律(即:运动物体的速度与所通过的距离成正比)所对应的正确公式将会是一种指数函数的公式。参见 P. Tannery, *Mémoires scientifiques*, vol. VI, p. 441 及以下。

[19] 参见 E. Wohlwill, “Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes”, *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vol. XIV, XV.

[20] 参见 Duhem, “De l'accélération produite par une force constante”, *Congrès International de Philosophie*, II<sup>e</sup> Session, Genève, 1905. *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, *Les Précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, 1913. 在沃尔威尔和迪昂所引述的文本之中,有必要再添加米歇尔·瓦龙的文本:参见 M. Varronis Genevensis I. C. et cos. ord. *De Motu tractatus*, Genevae, Ex officina Jacobi Stoer, MDLXXXIV. p. 12 sq.: “Vis...naturalis, qua res quaelibet ad locum suum naturalem tendit, subjectum suum, motu continue et ordinatim crescente, movet. Illius autem motus causa est quod facilius id moveatur, quod in motu est, quam quod quiescit. Vis igitur eadem, subjectum quod iam in motu est premens, illud magis movebit, quam si quiescat, et magis motum, magis etiam movebit: ita ut



eadem vis motione maior fiat, quam per se sit. Et haec est causa cur ictus, quo magis ab altero venit, eo vehementior sit. Motus autem huius spatia hanc celeritatis proportionem servant, ut quae est ratio totius spatij, per quod fit ille motus ad partem ipsius (utriusque initio inde sumpto, ubi est motus initium), eadem sit celeritas ad celeritatem. Exempli gratia, si vis aliqua per lineam ABE moverit, sitque AB (转下页)

动力学基础的原理(即:运动物体的速度与所通过的路程成正比,而不是列奥纳多·达·芬奇已经知道的正确原理:运动物体的速度与流逝的时间成正比)并不是伽利略本人的发明。人们可能会认为,必定有某个传统曾给予伽利略一种无论自觉或不自觉的影响,从而试图来解释伽利略为何赋予上述原理一种自明的特征。伽利略自以为他理解了:实际上,他只不过是回忆而已。总之,这就是迪昂所给出的解释。但是,这个解释也仅仅是推移了问题:这个原理尽管初看起来似乎合理可信,但对我们来说,它绝对不是自明的;然而,它却能够被如此多的人所接纳(这些人或许比不上伽利略,不过,他们仍然是一些非常杰出的人物),这又是如何发生的呢?在这个“原理”中,究竟有些什么东西如此引人入胜呢?我们认为,只要我们稍微来回顾一下这个问题的历史,就会使我们对它的答案有所领悟。

伽利略试图将他的“证明”建立在前述原理之上,而在他之前,贝内代蒂(人们一致认为他是伽利略的直接先驱)曾经以无比清晰的方式表述过同一个原理。事实上,在他的《关于数学和物理学的诸种思考》(*Livre contenant diverses spéculations mathématiques et physiques*)一书中,贝内代蒂写道:“亚里士多德不应该宣称,一个物体越是接近它的终点,它就运动得越快,因为,更确切的说法应该是:一个物体离开它的起点越远,它就运动得越快”<sup>[21]</sup>。贝内代蒂在此明确地(*expressis verbis*)表达了他对

90

---

(接上页)lineae pars,lineae pars, quae erit ratio AE ad AB, eadem erit celeritas motus in puncto E ad celeritatem motus in puncto B. Cujusmodi proportio observatur in parallelis triangulum secantibus. Ut enim se habet AC ad AB, sic CG ad BF, et ut AD ad AC, sic DH ad CG. Itaque si in spatia aliquot dividatur totius motus spatium, finis secundi duplo citius ferretur quam finis primi: finis vero tertij triplo citius quam finis primi et sic deinceps.”

[21] 参见 J. Baptistae Benedicti, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, MDLXXXV, “*Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis*”, Cap. XX-IV, p. 184: “Aristot. 8. cap. Primi libri de coelo, dicere non deberet quod quanto longius distat a termino à quo, tanto velocius existit. Quia tanto major sit semper impressio, quanto magis movetur naturaliter corpus, et continuo novum impetum recipit, cum in se motus causam continet, quae est inclinatio ad locum suum eundi, extra quem per vim consistit. Neque etiam(转下页)

亚里士多德观念的反驳,然而,乍一看去,人们总会问:这种反驳真的能够成立吗?因为,如果一个物体从 A 运动到 B,例如,一个物体从塔顶落到地面,或者甚至是一个物体正落向地球的中心,当这个物体正远离它的起点时,难道它不是也正同等程度地接近它的终点吗?或者我们也可以说,当它正接近它的终点时,难道它不是也正同等程度地远离它的起点吗?这两种表达看起来完全等价。此外,至少是在近代人当中,尼科洛·塔尔塔里亚最先在讨论中引入了关于起点的考虑。他颇有见地地指出:“如果一个重量保持恒定的物体正处于自然运动之中,那么物体越是远离它的起点,或者越是接近它的终点,它就运动得越快。”<sup>[22]</sup>

91 我们应该补充说明的是,贝内代蒂本人绝对没有忽略关于运动终点,即运动的自然目标的考虑。事实上,就在我们刚刚引用过的同一著作中,当他指责并修正亚里士多德的观点时<sup>[23]</sup>,他写道:“在直线自然运动中,物体所接收到的冲印(impression)和运动倾向(impétuosité)一直在不断增加,因为运动物体在其自身内部一直拥有它的动力因,即物体回到其本性所规定的位置的那种倾向”<sup>[24]</sup>。隔几行之后,为了解释下落运动的加速,贝内代蒂补充说<sup>[25]</sup>:“因为冲印随着运动的持续而不断增加,物体也就不断接收到一种新的冲力;事实上,此时物体在其自身内部就包含着它

---

(接上页) recte scripsit Aristo. 9. cap. lib. 8 physicorum et. 2. lib. Primi de coelo esse aliquem motum ex recto et circulari mixtum, quod omnino impossibile est.” 另参见 Duhem, “De l’ accélération”, etc., p. 885 以及 Wohlwill, *op. cit.*, vol. XV, p. 394.

[22] Nicolo Tartaglia, *La nuova scientia inventa da Nicolo Tartaglia*, l. I, prop. 1, 转引自 P. Duhem, *op. cit.*, p. 875.

[23] 实际上,这种指责相当不公平。因为在《物理学》中,亚里士多德根本没有忽略运动的起点,参见 *Physique*, VIII, 9, 265B.

[24] J. B. Benedetti, *op. cit.*, p. 184: “causam moventem, id est propensionem eundi ad locum ei a natura assignatum.”

[25] *Ibid.*, 拉丁语原文为:“tanto major sit semper impressio, quanto magis movetur naturaliter corpus, et continuo novum impetum recipit, cum in se motus causam contineat, quae est inclinatio ad locum suum eundi, extra quem per vim consistit.”

运动的原因,即物体因受外力作用而被迫离开其自然位置后,总是试图回到那里的某种倾向”。

在这些情形中,也就是说,当他在阐述纯粹的亚里士多德宇宙论物理学的观念时,贝内代蒂怎么能够认为自己正在进行着革新呢?他对亚里士多德的指责又是什么意思呢?为什么他没有看到他自己的命题与他所反驳的命题之间的等价性呢?

这个问题非常重要。但是,为了解决这个问题,我们恰恰需要由以下这些事实出发:其中一个事实是,贝内代蒂明明一直在支持一种亚里士多德的观念,却感觉自己的观点与亚里士多德完全相反;另一个事实是,贝内代蒂用自己的命题取代了亚里士多德的命题(或者至少是,取代了他认为是那样的命题),而且两个命题在形式上完全等价,但他却能够将两者区分开来;他的观点甚至与塔尔塔里亚的观点正相反,他认为这两个命题是相互对立的。

或许有人会说,我们刚刚提出的问题就其本身而言丝毫不重要:由于贝内代蒂的思想本来就晦涩难懂,甚至是相当混乱,因此,他的观点的游移、思想的不连贯可以用同样的方式获得充分的解释。当然,贝内代蒂的思想完全不是一个清晰性的典范,但它仍然算得上是一种严谨而诚实的思想。此外,我们也不应该忘记,一种思想(一般说来,而且尤其是在过渡时期)如果不是已经失去了全部的价值,它总会是有些晦涩和混乱的。正如迪昂曾经十分坚定地断言过,梅耶松曾经令人钦佩地揭示过,正是在这种晦涩和混乱中,思想才能有所进步。思想总是在从晦涩走向清晰的过程中逐渐发展,它不会像笛卡尔所主张的那样,从清晰走向清晰。

贝内代蒂的思想无疑是混乱的。但这只是因为,亚里士多德的传统和巴黎学派的传统(冲力物理学)在贝内代蒂那里发生了相互冲撞,而且在这两种传统的中间又插进了一种较晚近的、正在逐渐兴起的阿基米德物理学的传统。因此,正如我们曾经说过,由于贝内代蒂是哥白尼的坚定的支持者<sup>[26]</sup>,

---

[26] 参见本书第一部分,第159号注释。

92 他无法抛弃亚里士多德的宇宙论物理学的一般观念(他会用什么观念来替代这些观念呢?),但他仍然有理由把自己打扮成亚里士多德的反对者的模样。因为冲力物理学将运动视为包含在运动物体中的某种力的结果,这既使得物体的运动与它所趋向的目标的观念相互分离成为可能,也使得将运动中的物体与宇宙的其余部分隔离开来成为可能。<sup>[27]</sup> 因此,当贝内代蒂不承认起点(*terminus a quo*)和终点(*terminus ad quem*)这两者之间的等价性时,他是有道理的。因为他的运动观念恰恰使得(如果不是在现实中,那就是在思想中)取消终点成为可能。运动物体在某个力的作用下开始运动,它必然要从某处出发:从它处于静止状态的位置出发;因此,为了定义物体的运动,人们不可能放弃关于起点的观念。但是,有这个端点就已经足够了;运动物体在外力的推动下(以直线运动的方式)开始朝着某个特定的方向运动。它可以不趋向任何特定的目标(不管这个目标实际上是否存在)。对于受迫运动来说,这一点尤其明显:当我们打击一个球时,我们赋予它的冲力直接决定了它的运动速度和运动方向。在这样做时,我们可以瞄准并击中一个目标。但就其自身而言,这个目标绝不是必须的。

我们可以将这种观念扩展到自然运动的情形。运动物体(重物或轻物)朝着某个特定的方向运动(或开始运动):向下(或向上)。它并不朝着某个目标运动。因此,我们应该(与亚里士多德正相反)谈论物体对起点的远离,而不应该谈论物体对终点的靠近。<sup>[28]</sup> 这种观点蕴涵着一个非常

---

[27] 关于冲力物理学,除了迪昂和沃尔威尔所引用的著作之外,还可参见 E. J. Dijksterhuis, *Val en Worp*, Groningen, 1924; R. Marcolongo, "La meccanica di Leonardo da Vinci", *Atti della Reale Accademia delle Scienze fisiche e matematiche di Napoli*, vol. XIX, 1932; E. Borchert, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme* ("Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters", Bd. XXXI, fasc. 3), Münster, 1934.

[28] 因此,无论起点在哪里,离开起点相等的距离总是对应于相等的加速;我们在伽利略那里再次发现了这种观念,这种观念也使伽利略错误地相信[重力加速度] $g$ 的值总是处处相等。参见本书第三部分,下文第 275 页。

重要的后果：一个物体的运动将完全取决于其过去的状态，而一点也不取决于其将来的状态。<sup>〔29〕</sup>

贝内代蒂所形成的运动观念有别于塔尔塔里亚的运动观念。或者毋宁说，作为贝内代蒂推理之基础的空间观念（同样的空间观念也成为青年伽利略的许多推理的基础<sup>〔30〕</sup>）有别于塔尔塔里亚的空间观念。对塔尔塔里亚来说存在着的那种等价性，对贝内代蒂来说则并不存在。这恰恰是因为，贝内代蒂的空间已经不再是一种物理空间，而是一种几何空间。在他的空间中，（直线的）运动能够无定限地持续下去。这种运动在塔尔塔里亚的空间中无法进行，在亚里士多德的空间中则更不可能实现。

93

对于贝内代蒂来说，运动是包含于运动物体之中的某种力（冲力）的作用效果；他的空间不是一种物理空间，而是一种几何空间；因此，正如我们已经看到，对他而言，在虚空中的运动是完全可以接受的。不过，他的空间还不完全是几何的；我们想要说的是，它还不是完全均匀同质的。对他来说，还有一些特权的方向：向下或向上。他的空间是一种阿基米德的空间，或者更确切地说，是一种伊壁鸠鲁的空间。

当然，我们将不会试图在此重述落体问题的历史，也不会详述中世纪的理论家们为了理解“加速”这种令人惊奇的现象而想象出来的所有解释（例如：阻碍的变化、介质的反作用等等）。<sup>〔31〕</sup>然而，我们却不得不再回顾一下其中的一种解释，这种解释源自冲力观念，并且曾令伽利略的直接先驱们止步不前。

正如我们已经看到，冲力理论的关键在于将运动构想为由某种内在

---

〔29〕 正如我们所知，冲力(*impetus*)观念是为了解释受迫运动才逐渐发展起来的，这种观念使得目的论的部分取消成为可能，甚至它就意味着这种部分取消；因为它使得人们可以将运动构想为通过某种内部原因而产生，而这种内部原因不再由某种目的来决定。

〔30〕 参见本书第一部分：“经典科学的黎明”，前文第 33 页及以下。

〔31〕 参见前文第 19、20、27 号注释所引用的著作。

于运动物体的原因所产生的结果。人们以一种相当含糊的方式描述这种原因(即冲力),并将它视为类似于某种形式、某种性质或某种力。正是由于这种通过外部施动者的作用而赋予运动物体的冲力(或冲击),由于它在运动物体内部持续存在,就解释了物体运动的延续性。只要将物体的自然重性(或轻性)看成类似于这样一种冲力,就能够用一种相似的方式来解释自然运动和受迫运动,就能够让人理解:自然运动和受迫运动(或者更确切地说,它们的冲力),能够在同一个物体之中逐渐累积;只要将运动物体描述为在其运动过程中受到各种推动力的连续作用,或者受到新的冲力不断赋予物体的冲击,就能够对下落的加速运动作出一种尚可接受的解释。

这种由巴黎唯名论者发展起来的理论在 16 世纪的思想家中间相当流行。皮科洛米尼<sup>[32]</sup>、卡尔丹、斯卡利杰<sup>[33]</sup>(在列奥纳多·达·芬奇之

---

[32] Alexandri Piccolominei, *In mechanicas questiones Aristotelis paraphrasis paulo quidem plenior*, ad Nicolaum Ardinghellum Cardinalem amplissimum. Excussum Romae, apud Antonium Bladium Asulanum, MDXLVII cap. XXXVIII, quaestio trigesimatertia (Duhem, “De l’accélération”, etc., p. 882 sq.): “必须指出,有两种重性(*gravité* 或 *pesanteur*):一种来源于物体的本性自身,另一种是表面重性,希腊人将其称为‘表面的’(ἐπιπόλαιαν);后一种重性只不过是某种暂时的冲力,这种冲力或者是在被其固有倾向所驱动的对象中自行产生(*qui vel acquiritur in re ipsa ex suo nutu mota*),或者是被某个施动者强行赋予物体。因为当一块石头向下运动时,之所以它的运动会不断加快,就是因为石块由于运动而不断获得了一个更大的重性(我指的是某种表面重性)……同样地,当一块石头被用力抛出时,它就接受到了抛射者所赋予它的某种表面重性或表面轻性。这只不过是某种偶然获得的冲力,这种冲力强行推动着石块,并使它能够自行运动,直至这种冲力逐渐减弱并最终完全消失。这种表面重性或轻性既不可能变得持久,也不可能变得完善,因为接受它的物体的本质形式(即对物体来说是自然的重性和轻性)将会构成阻碍,使得它不可能被完全和彻底地赋予物体。激励物体的动质可能通过以下两种途径被耗尽,或者是被某种阻碍(它来自其他某个物体对运动物体的排斥)所耗尽,或者是被运动物体自身的某种倾向或努力所耗尽,这种努力来源于物体自身的本性,并逐渐变得比上述表面重性或轻性更加强大……,一旦由物体的上述努力的力量所产生的实际重性超过了施动者赋予石块的冲力,石块就会停止受迫运动,并根据固有的运动而向下降落。”另参见 *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, p. 197.

[33] Julii Cesarii Scaligeri, *Exotericarum exercitationum liber XV, De Subtilitate ad Hieronimum Cardanum*, Lutetiae apud Vascosnum MDLVII, 转引自 Duhem, “De l’accélération”, etc., p. 884. Exerc. LXXVII. *Quamobrem mota rota facilius movetur postea*: “在重(转下页)

后)都接受了这种理论。贝内代蒂则以无比清晰的方式阐述了这一理论。

冲力不断累积,尤其是当这些冲力是在前一个冲力(或前几个冲力)尚未消失之前就已被赋予了运动物体时,累积作用就更为明显。这一点相当重要:因为冲力作为一种动力因,其作用的结果是产生了运动,并在产生运动的过程中逐渐耗尽自身。其结果是:所有的冲力都会因此而变得精疲力竭,也就是说,都会被它们在物体中所激起的运动这一现象本身消耗变弱;因此,运动总会逐渐减慢,而且所有的物体一旦开始运动,它们总是倾向于返回静止状态。为了形成加速,只要在先前的冲力依然存在时,也就是说,只要物体仍然在运动时,新的冲力、新的冲击、推或拉已经开始起作用就可以了。

95

当人们将冲力理论应用于落体问题时,就产生了各种版本的理论形式。在那些最详尽的版本中,冲力理论所导致的观念主要有以下两种:

第一种观念认为:在下落的第一个瞬间,重性赋予了重物某个确定的运动(即某个速度);随后,在第二个瞬间,上述物体除了受到某种偶然重性的作用之外(这种偶然重性是物体被赋予的速度的函数),还受到它自己的(恒定的)自然重性的作用。上述两种作用联合起来,自然重性加上偶然重性,就赋予了重物一个新的、自然也比第一个速度更大的速度,并这样反复持续下去。因此,我们可以说,物体的(总)重性将随着物体的下落而持续增加。这反过来又解释了速度的增加。

第二种观念认为:自然重性在重物中产生了一个冲力,这个冲力将重物推向其目标,或者推向其自然运动方向。在这个冲力耗尽之前,重性又

---

(接上页)物(例如,一块石头)之中,没有任何东西会支持它们被推动;相反,它们完全抵制这种推动。在一个水平面上被推动的石块并不做自然运动……那么,为什么在运动开始之后,石块就会更容易运动呢?按照我们在抛射运动这个问题上曾经说过的内容,这是因为石块已经接受了运动的某种冲印,第一部分运动之后紧接着第二部分运动,但是第一部分运动依然保留着。其结果就是,尽管只有一个施动者在发挥作用,但它在上述连续过程中所赋予物体的运动却是多重的。因为第二个推动力保留了第一个推动力,第三个则保留着第二个。”另参见 *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, p. 201.



在重物中产生了第二个冲力，并添加到第一个冲力之中。如此反复持续，以致重物“总在不断加速，因为它总是与一种永久的动质相联结”。

无疑，以上这些都是非常精致的观念。但是，正如那些最虔诚的亚里士多德主义者相当合理地指出<sup>[34]</sup>，这些观念归根结底是不合逻辑的：因为在第一种假设中，冲力（运动的原因）被混同于它的产物或结果；而在第二种假说中，重性不再被构想为一种力或原因，而是被构想为冲力的某种来源。所有冲力都由此而产生并在运动物体中不断累积。

在上述两种不同的观念中，冲力都产生于时间的每一个瞬间，正如列奥纳多·达·芬奇已经比他的任何一位后继者都更清晰地表述过：“自由下落的重物相对于每一度时间（degré de temps），获得一度运动，相对于每一度运动，获得一度速度”<sup>[35]</sup>。

96 那么，列奥纳多本人（以及其后的贝内代蒂，还有贝内代蒂之后的米歇尔·瓦龙）又怎么会断言速度不是与经过的时间，而是与通过的距离成正比呢？很显然，他们相信这两种陈述是等价的，原因很简单：时间的每一个瞬间实际上对应着物体所通过的距离上的一个点。于是，正如迪昂所说<sup>[36]</sup>：“为了从这个定律：一个重物的运动速度与下落时间成正比，得出另一

[34] 参见本书第一部分：“经典科学的黎明”，前文第43页。

[35] *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, 由 Ch. Ravaisson-Mollien 编辑出版, ms. de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 44, verso. Paris, 1890, 转引自 Duhem, “De l'accélération”, etc., p. 870 sq.: “下落重物在每一度时间中都获得了比在前一度时间中更大的一度运动, 从而也获得了比在前一度时间中更大的一度速度。因此, 相对于每一份双倍的时间来说, 下落和运动速度都会加倍。”另参见 *ibid.*, fol. 45, recto: “自由下落的重物相对于每一度时间, 获得一度运动, 相对于每一度运动, 获得一度速度。我们可以说, 在第一度时间中重物获得了一度运动和一度速度; 在第二度时间中, 它将会获得两度运动和两度速度, 并按如上所述依次类推。”另参见 *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, pp. 514 sq. 关于列奥纳多·达·芬奇的物理学, 参见 R. Marcolongo, “La meccanica di Leonardo da Vinci”, *Atti della Reale Accademia delle Scienze fisiche e matematiche di Napoli*, v. XIX, 1932.

[36] P. Duhem, “De l'accélération”, etc., p. 872.

个定律：重物所通过的距离与下落时间的平方成正比，列奥纳多就必须拥有瞬时速度的观念，或者换句话说，必须拥有流数或导数的观念”。尽管存在时间点（诸瞬间）和路程点的一一对应性，但如果要指出这两种量的非等价性，无疑就会要求列奥纳多和他的后继者们必须已经具备积分的基本观念。

然而，在阿基米德之后，在奥雷斯姆之后，这样的要求也许也并不算太过分。但是，我们也无须太过苛刻了。当我们看到列奥纳多和贝内代蒂借助一种持续运动的模糊观念，如此轻易地从时间滑到空间，从运动的持续滑到通过的轨迹，我们不应该因此而责备他们。毕竟，在空间中去**看**，也就是说，去**想象**，比在时间中去**思考**要更为容易，也更为自然。

迪昂已经非常清晰地向我们解释了，为什么列奥纳多·达·芬奇和贝内代蒂都未能提出正确的落体定律，以及为什么这个任务会留给伽利略来完成。不过，迪昂没有向我们解释的是：在两种等价的关系中（速度与经过的时间成正比，速度与通过的路程成正比，至少在他们看来这两者是等价的），为什么列奥纳多以及其后的伽利略和笛卡尔都毫不犹豫地选择了第二种关系？在我们看来，其中的原因很简单，同时又非常深刻。它完全在于几何学的考虑以及空间关系的相对可理解性这两者在近代科学中所起的作用。<sup>〔37〕</sup>

97

经典物理学诞生的过程包含了一种理性化的努力，换言之，包含了一种空间几何化和自然定律数学化的努力。其实，这两个方面涉及的是同一种努力，因为空间的几何化也不过是意味着将几何学定律应用于运动。而在笛卡尔之前，如果不将某物几何化，又怎么可能将它数学化呢？

此外，正如刚才我们所说，在空间中想象比在时间中思考更为自然，也更为容易。列奥纳多、贝内代蒂和伽利略所强调的观念，实际上看起来

---

〔37〕 空间是理性的，或者至少是理性的图型(schema)，而时间则是辩证的。参见 E. Meyerson, *Identité et Réalité*<sup>3</sup>, Paris, 1926., pp. 27 sq., 276 sq., 280 sq., *De l'explication dans les sciences*, Paris, 1921, vol. I, pp. 151 sq., 261 sq.; II, pp. 204 sq., 377 sq., 380 sq.

也十分“自然”。因为,如果有人设想(就像贝内代蒂所做的那样)重物下落时穿越阿基米德空间,难道人们不是“自然地”倾向于认为,当重物越是远离它们的起点,它们就会下落得越快吗?也就是说,当重物从更高处下落,或者当它们下落至更低处时,它们就会下落得越快,难道不是这样吗?因此,将它们的速度视为所通过的距离的函数,难道不是很自然吗?让我们以一个重物从 100 英尺(pieds)<sup>[38]</sup>的高度下落的情形为例,它将以某个特定的速度落到地面。现在,如果我们让它从两倍的高度下落,它将会以一个更大的速度落到地面。在以上两种情形中,还有什么会比让速度取决于两者间唯一的不同因素(下落的高度,即所经路程的长度)更为“自然”呢?当人们假定高度的变化和速度的增加之间存在某种关系,并将速度确立为高度的函数,甚至假定两者之间存在一种严格的比例,比如说,假定一个从两倍高度下落的物体在落地时将获得两倍的速度,还有什么会比这更为自然呢?<sup>[39]</sup>与上述观念相比,如果我们让下落物体通过它所穿越的某个空间的速度,不是取决于这一空间,而是取决于物体穿越上述空间所耗费的时间(在这里时间显然是速度的函数),这种观念不仅看起来一点都不“自然”,甚至还显得毫无必要地过分复杂化了。<sup>[40]</sup>

很显然,正是运动的观念蕴涵着时间的观念这一事实,迫使思想赋予

[38] 对应的拉丁文为 pèdes,英文为 feet;法文的 pieds 既可指法国古长度单位的“法尺”(相当于 325 毫米),也可指“英尺”(相当于 305 毫米)。由于本书中的论证涉及的均是比例或相对距离,所以我们不妨将它译成我们更为熟悉的“英尺”,下同。——译者

[39] 正是在这一点中包含着错误。因为如果只是说“速度取决于高度”,甚至说“速度仅仅取决于高度”,都是完全正确的:这也正是伽利略动力学的公设。参见本书第三部分,下文第 249 页及以下。

[40] 伽利略完全理解这一点。因此,当他在《两门新科学》中提出匀加速(即相对于时间的匀加速)运动的定义时,他通过沙格列陀之口提出了如下反驳(*Discorsi, Opere*, vol. VIII, p. 203):

沙格列陀:“就此刻我所理解的内容而言,如果我们能够在不改变概念的情况下作出如下定义,似乎可以获得更大的明晰性:即匀加速运动是这样一种运动,在这种运动中,速度随着物体所通过距离的增加而增加。这就使得,例如一个运动物体下落 4 肘尺所获得的速度,将是它下落 2 肘尺距离所得速度的 2 倍,而下落 2 肘尺所得的速度,则是下落 1 肘尺所得速度的(转下页)

了物体下落的时间或绵延(durée)一种重要的价值和作用;但也可能是(或许尤其是)关于物体下落的因果分析(或因果解释)迫使思想赋予了时间这样的价值和作用。推动力或冲力在时间中相继产生;它们的作用首先发生在时间中,而只是以一种派生的方式发生在空间中。倘若我们在某一瞬间暂时忘记了因果关系,忘记了下落、运动和加速的产生:与此同时,由于思想不再保持其固有的倾向,它就会“自然地”滑向空间;由于动力学无法再停留在运动学阶段,它就转变成了几何学。这就是为什么伽利略在比萨时就已经认识到:不可能将一种数学动力学建立在冲力观念的基础之上。正如我们已经看到,由于他用对本质的寻求取代了对原因的寻求,伽利略一下子就转向了我们可以称之为“彻底几何化”的道路。

从青年伽利略在比萨时的早期著作开始,这位阿基米德主义者和柏拉图主义者<sup>[41]</sup>的努力就已经指向一个明确的目标,那就是使物理学数学

99

---

(接上页)2倍。因为在我看来毫无疑问的是,一个从6肘尺高度下落的物体所具有的冲击力分别是3肘尺高度下落的物体的2倍、从2肘尺高度下落物体的3倍以及从1肘尺高度下落的物体的6倍。”

萨尔维亚蒂:“在错误方面有您这样一个同伴使我深感安慰,而且我还可以告诉您,您的推理显得如此真实可信,具有如此大的可能性,以至于当我向我们的作者本人提出这种见解时,他也没有否认他自己在某一段时间内曾经陷入到同样的错误之中。因为这两个命题是如此高度可信,以致当我向许多人提出来时,我从来没有发现任何一个不是立即同意这两个命题的人。但是,使我感到非常吃惊的是,如此可信的两个命题竟然只用几句非常简单的话就被证明不仅是错误的,而且也是不可能的……”至于伽利略的反驳,参见本部分第59号注释。

[41] 一般的科学思想史家,尤其是那些研究伽利略的历史学家,很少重视伽利略的深刻而自觉的柏拉图主义。在我们看来,甚至连那些已经指出了他的柏拉图主义的历史学家也没有恰如其分地评估这种柏拉图主义的实际重要性,也没有充分意识到它的自觉性特征。这些历史学家包括:斯特劳斯(参见他为其《对话》的德译本所撰写的导言, *Dialoge über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, Leipzig, 1891, p. xlix); 卡西尔(参见 E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, vol. I, Berlin, 1911, p. 389); 伯特(参见 E. A. Burtt, *The Metaphysics of Sir Isaak Newton. An essay on the metaphysical foundations of modern physical science*, London, 1925, p. 71); 以及奥尔什基(参见 L. Olschki, *Galilei und seine Zeit*, Halle, 1927, pp. 164-174)。

化。在他之前,没有任何人(甚至贝内代蒂也没有)如此自觉、如此耐心、如此执著地追求这个目标。首先,他试图使亚里士多德的物理学数学化:他的努力以失败而告终。随后,他以冲力观念为基础重新开始尝试,但是他再一次遭到了失败。其实,这种失败在事后(*post factum*)又变得非常容易理解。因为冲力的观念是如此模糊和混乱,如此接近感性经验,它本身又是一种无法测量的性质的观念,这样的观念又怎么能够用数学方法表达出来呢?如何计算冲能(*élan*)<sup>[42]</sup>的逐渐耗尽呢?要想做到这一点,只能通过使用“运动”和“活力”<sup>[43]</sup>等观念来替代上述模糊的观念:这是一种根本的转变,而继续沿用一种过时的术语则掩盖了(并支持了)这种转变。<sup>[44]</sup>如何认定前后相继的冲力会在运动物体中逐渐累积呢?要想做到这一点,人们只能再一次以基本观念的根本转变为代价,只能借助于外部原因<sup>[45]</sup>(吸引或冲击)的反复作用,只能通过每一个外部原因都产生了一个持续的效果,用这样的观念来替代“冲力的累积产生于内部原因”的观念。

100

当然,伽利略并没能完全实现这些转变:这要等到笛卡尔和牛顿才能最终完成。但是,我们已经看到,从比萨时的早期著作开始,青年伽利略就已经发现了贝内代蒂、卡尔丹、塔尔塔里亚等人的推理中存在着严重缺陷。他们的所有学说都建立在不合逻辑或模棱两可的推理之上。假定一种恒定不变的原因能够产生一种变化的结果就是自相矛盾的。一个重物在阿基米德空间中的下落,绝对不可能是一种自行加速的运动。假定这

[42] 这里的冲能是指冲力所具有的能量。——译者

[43] 法语:force vive,拉丁语:vis viva;“活力”的观念后来演变成了“动能”的观念,英译本译为“momentum”(动量)是错误的。——译者

[44] 或许有人会反驳我们说,一种关于“耗尽”的公式(似于傅里叶公式)是完全可以想象的,这种公式可能会出现在开普勒那一类的物理学中。这样说当然没错,但是这种说法恰恰需要将冲力(这种“冲能”或“肌肉努力”的残留物)“想象”为一种“量”(grandeur)。

[45] 值得关注的是,即便是在涉及物体间相互吸引的那些理论中(如开普勒或牛顿的理论),这种相互关系也会被分开,并代之以两种单向的关系。

样一种运动就相当于假定了一种能够从无到有(ex nihilo)的创造。恒定的原因只能产生恒定的结果。因此,重物的下落也只能以一种恒定的速度进行。事实上,如果一个下落物体的运动在不断加速(直到达到它的固有速度),这是因为它在运动开始时被减速了。

可惜的是,这种天才的观念是自相矛盾的(在其中读者也许能够辨认出希帕克斯的观念<sup>[46]</sup>),或者更确切地说,是与一种空间的几何学观念不相容的。因为这种观念必然预设了“重物拥有趋向其目标的某种倾向”和“重物与其目标之间存在一段距离”这样的观念;然而,这些预设的观念却没有再给一种恒定的速度留下什么位置<sup>[47]</sup>。

因此,伽利略开始了另外的尝试。由于这一次直接从阿基米德处得到启发,他试图用流体动力学的术语(或者毋宁说,仿效流体动力学的典范)来构建一种物理学。在“古人”的影响下,他放弃了“重”和“轻”之间所有质的区别;抛弃了向“上”的自然运动的观念;从此以后,所有的运动都将用物体对于其周围介质的(可量化的)反作用来解释。

几乎在同一时期,伽利略通过另一次尝试力图将运动定律还原成杠杆原理。我们可以说,此时伽利略试图构建的是一种刚性连接的物理学(physique de liaisons rigides)<sup>[48]</sup>。

我们不知道伽利略为什么没有继续尝试去构建这种“流体动力学的物理学”,也不知道他为什么没有继续尝试构建一种“刚性连接的物理学”。但是,对此也许我们可以提出一种猜测:无论是“流体动力学的物理学”还是“刚性连接的物理学”,这两者都要求一种物理空间;两者都不容

---

[46] 参见本书第一部分,前文第 70 页。伽利略(*De Motu, Opere*, vol. I, p. 321, 参见 Duhem, “De l'accélération”, etc., p. 892)曾表明他是在形成了自己的观念之后才读到了亚历山大关于希帕克斯理论的阐述。这是有可能的。但无论如何,博纳米科也同样阐述过希帕克斯的理论,参见前文第 37 页。

[47] 尽管伽利略自己没有这样说,但我们还是可以认为,伽利略确实发现了希帕克斯理论的错误特征。

[48] 参见本书第一部分,前文第 71 页及以下。

许空间的完全几何化,甚至都不容许虚空中的运动。然而,虚空中的运动,空间的几何化,这些却是伽利略物理学的基本要素;对他来说,这也是冲力物理学所带来的最关键的東西。尽管他已经抛弃了这种动力学,但他将会一直保留着上述战利品。

我们必须强调伽利略抛弃冲力观念,即抛弃“物体运动的内部原因”这一观念的极端重要性。当然,他还会保留着“冲力”这一术语<sup>[49]</sup>,但它的涵义已经完全改变了:“冲力”从运动的原因变成了运动的效果。至于“冲力”作为运动原因的观念已经彻底消失了。这种混杂、模糊、晦涩的观念在伽利略的思想里完全找不到任何等价物。或者我们可以说,它已被速度和运动等观念所取代。早在比萨时期,伽利略就已经研究了某些抽象和特殊的情形(或者说,某些简单情形)的运动:例如“围绕着某个中心”的圆周运动,介于下降的加速运动和上升的减速运动之间的水平运动等等。在上述情形中,伽利略认识到(与冲力理论的本义正相反),运动似乎能够永久地持续下去。<sup>[50]</sup> 冲力的理论家们(或者至少是他们当中的某一些,如皮科洛米尼和布里丹)曾经断言:在某些情形中(尤其是在圆周运动的情形中),冲力是永恒的(不朽的)。他们说,在这些情形中,既然此刻冲力没有任何阻碍需要去克服,那么此后它又为什么会减弱呢?在这种推理中,人们无疑可以辨认出某种关于真理的模糊揣测,但伽利略却不可能接受这样的揣测。他已经清楚地看到,如果冲力被定义为运动的原因,那么它必将在产生运动的过程中逐渐耗尽。但是,如果说冲力自身会保持不变,那是因为在运动的持续这一事件中,冲力根本没有发挥任何作用。并不是冲力在维持和延续运动:运动完全能够自行保持下去。既然运动蕴涵着作为其本质特征的速度,那么,说运动能够自我保持,也就意味着

[49] 牛顿仍然使用这个术语。

[50] 参见本书第一部分第 167 号注释。

速度也同样能够自我保持。运动和速度(尤其是速度)可以说正经历着某种本体论地位的改变:它们从某种原因所产生的、并且只能在产生它们的原因(例如:按压)的持续作用下才能存在和延续的某种结果,变成了就像一个不动物体所处的静止状态那样,能够自行维持、自我保持并相对独立的实体。<sup>[51]</sup> 这就是“抽象”运动的情形。至于“具体的”或“机械的”运动,正是在帕多瓦时期伽利略构思了这种观念,并将这种观念从冲力学说混乱的大杂烩中逐渐分离和解脱出来。事实上,也正是在他在帕多瓦讲授的机械学课程中,伽利略表述了他的“动量”(moment)<sup>[52]</sup>观念,即重量与速度的乘积。这一观念无疑曾被《机械问题》(*Questions mécaniques*)<sup>[53]</sup>的作者猜想,还被冲力理论家们在他们的偶然重性(*pesanteur accidentelle*)的观念中更多地揣测过,他们认为偶然重性来源于重物的运动本身,来源于它的速度,或者更确切地说,来源于它的冲力。迪昂强调这一事实是很有道理的。不过,迪昂并没有指出上述偶然重性的观念在伽利

102

[51] 因此,静止和运动就变成了一些状态,并具有相同的本体论地位。然而,对于亚里士多德和经院哲学家来说,静止只是一种匮乏,而运动是一种过程。由此可得,静止的持续无需原因(一种匮乏并不需要一个原因来使之持续),而运动只有作为维持它的原因的某种结果才能存在。因此,“原因终止,结果便终止”(cessante causa cessat effectus)这个原理适用于运动。参见下文第 131 页。

[52] [关于 *momento*, 可参见 Stillman Drake 所给出的注释 (eds. Drake and Drabkin, *Galileo On Motion and On Mechanics*, p. 144):“……*momento* 是伽利略的术语之一,这个术语没有单一的近代同义词。伽利略没有采用‘位置重量’(positional weight)这一中世纪的传统概念,而是使用 *momento* 这个词来将重量或力的观念与其作用的有效距离的观念结合在一起,同时,他也认识到其他因素(尤其是速度)也会参与重性的有效作用,因此,他开始将 *momento* 这个词用于指称重量和速度的乘积。所以 *moment* 这个词有时指的是‘静态矩’(static moment),有时指的是‘动量’(momentum)”。——英译注]

以上英译注中出现的意大利语 *momento*, 本书英译者 John Mephram 直接用它来对译法文的 *moment*, 特此说明。鉴于英译注中所说的情况,中译本一般采用“动量”这个译法,同时在正文中用括号加注原文。——译者

[53] [Pseudo-Aristote], *Quaestiones Mechanicae*, II, 24.



略这里所发生的关键性转变。<sup>[54]</sup>

伽利略的动量观念实际上蕴涵着我们刚刚提到过的关于具体运动(或具体速度)的本体论地位的显著提升;不再需要作为原因的冲力(*impetus-cause*),也不再需要任何一种中介:运动直接与重性相联结。简言之,运动(或速度)干脆就直接替代了冲力。我们可以清晰地看到,这种替代包含着非常重要的后果:因为,当产生运动的冲力不能够自我保持时,作为其结果的运动也因而必然应当逐渐减速并最终达到静止状态;而当运动(或速度)被提升至独立实体的行列时,它就完全能够无定限地保持下去。物体一旦开始运动,就不再需要停下来,甚至也不再需要减慢速度。伽利略就这样获得了正确解答落体问题的基础。

1604年,当伽利略重新开始考虑重物下落的问题时,正如我们已经看到,他已拥有了将下落时间与通过的距离相联系的公式;我们刚才已经揭示,伽利略也拥有了关于“运动守恒和速度守恒”的重要原理。另一方面,他已经放弃了寻求因果解释的尝试,而只是力图找到某个原理或公理,这个原理将使他能够推导出落体的各种描述性定律。然而,我们同样已经看到,只有在运动分析中引入因果考虑,才会将时间观念置于首要地位(这里的运动是指一般运动,尤其是指下落运动)。因此,毫不奇怪的是,放弃因果解释,其结果是强化了几何化的倾向,从而也强化了空间化的倾向。伽利略想做的是描述运动,而不是思考运动。他所看到的是,物

---

[54] 术语的延续性(牛顿还在谈论冲力)误导了迪昂,他没有注意到这个概念或术语在伽利略这里所发生的深刻转变。正是这种误解解释了(但并没有证明)他的以下判断完完全全是错误的(P. Duhem, “De l'accélération”, etc., p. 888):“……尽管推翻已被接受观念和反驳各种传奇故事总要冒些风险,但我们还是应该明确提出以下主张:伽利略在动力学问题上所发表的观点深深铭刻着逍遥学派各种原理的烙印;这些观点几乎极少偏离16世纪大多数物理学家所接纳的学说;它们甚至明显落后于他的几位前辈们的洞见”。一些同样缺乏坚实基础的相似判断还出现在以下著作中:*Les Origines de la Statique*, vol. I, paris, 1905, pp. 260 sq. 以及 *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, pp. 560 sq.

体以变化的速度通过了某段路线和距离,他将这段路线(或轨迹)看作速度函数的变量。伽利略所做的上述几何化努力主要依靠想象来支持和证实,尽管这种几何化的努力不受因果思维的束缚,但它也没能达到预定的目标:动力学的目标是将时间数学化,然而,伽利略却取消了这一目标。他所做的努力导致了失败,但他并没有立即觉察到这种失败。因为,伽利略先是通过某个推理从正确的描述性公式导向了一个错误的原理,随后再通过将以上推理倒转方向再做一遍,他就从错误的原理出发,重新导回了他开始推理时所拥有的正确结果。

事实上,以下就是他所写的内容:<sup>[55]</sup>

---

[55] Galileo Galilei, *Frammenti attenenti ai Discorsi, etc.*, *Opere*, vol. VIII, p. 373. 意大利语原文如下: “*Io suppongo (e forse potrò dimostrarlo) che il grave cadente naturalmente vada continuamente accrescendo la sua velocità secondo che accresce la distanza dal termine onde si parti: come v. g. partendosi il grave dal punto a e cadendo per la linea ab, suppongo che il grado di velocità nel punto d sia tanto maggiore che il grado di velocità in c, quanto la distanza da è maggiore della ca, e così il grado di velocità in e esser al grado di velocità in d come ea a da, e così in ogni punto della linea ab trovarsi con gradi di velocità proporzionali alle distanze de i medesimi punti dal termine a. Questo principio mi par molto naturale, e che risponda a tutte le esperienze che veggiamo negli strumenti e machine che operano percottendo, dove il percuziente fa tanto maggiore effetto, quando da più granda altezza casca: e supposto questo prinzipio, dimostrerò il resto.*

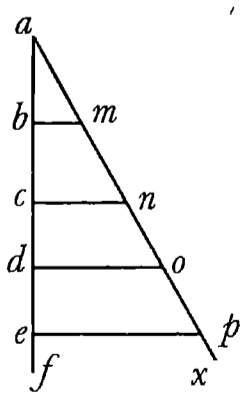
*Faccia la linea ak qualunque angolo con la af e per li punti c, d, e, f, siano tirate le parallele cg, dh, ei, fk; e perchè le linee fk, ei, dh, cg sono tra di loro come le fa, ea, da, ca, adunque le velocità ne i punti f, e, d, c sono come le linee fk, ei, dh, cg. Vanno dunque continuamente crescendo i gradi di velocità in tutti i punti della linea af secondo l'incremento delle parallele tirate da tutti i medesimi punti. In oltre, perchè la velocità con la quale il mobile è venuto da a in d è composta di tutti i gradi di velocità auti in tutti i punti della linea ad, e la velocità con che ha passata la linea ac è composta di tutti i gradi di velocità che ha auti in tutti i punti della linea ac adunque la velocità con che ha passata la linea a d alla velocità con che ha passata la linea ac, ha quella proporzione che hanno tutte le linee parallele tirate da tutti i punti della linea ad sino alla ah, a tutte le parallele tirate da tutti i punti della linea ac sino alla ag; e questa proporzione e quella che ha il triangolo adh al triangolo acg, cioè è il  $\square^{\circ}ad$  al  $\square^{\circ}ac$ . Adunque le velocità con che si è passata la linea ad, alla velocità con che si è passata la linea ac, ha doppia proporzione di quella che ha da a ca. E perchè la velocità alla (转下页)*

我假定(或许我还能证明这一点):一个自然下落的重物将随着它离开出发点的距离的增加而不断加速;例如,如果重物从A点<sup>[56]</sup>

velocità ha contraria proporzione di quella che ha il tempo al tempo (imperò che il medesimo è crescere la velocità che sciemare il tempo), adunque il tempo del moto in ad al tempo del moto in ac ha subduplicata proporzione di quella che ha la distanza ad alla distanza ac. Le distanze dunque dal principio del moto sono come i quadrati de i tempi, e, dividendo, gli spazii passati i tempi eguali sono come i numeri impari ab unitate; che risponde a quello che ho sempre detto e con esperienze osservato; e così tutti i veri si rispondono.

E se queste cose son vere, io dimostro che la velocità nel moto violento va decrescendo con la medesima proporzione, con la quale, nella medesima linea retta, cresce nel moto naturale. Imperò che sia il principio del moto violento il punto b ed il fine il termine a. E perchè il progetto non passa il termine a, adunque l'impeto che ha auto in b fu tanto, quanto poleva cacciarlo sino al termine a; e l'impeto che il medesimo progetto ha in f è tanto, quanto può cacciarlo al medesimo termine a; e sendo il medesimo progetto in e, d, c, si trova congiunto con impeti potenti a spingerlo al medesimo termine a, nè più, nè meno; adunque l'impeto va giustamente calando secondo che sciemia la distanza del mobile dal termine a. Ma secondo la medesima proporzione delle distanze dal termine a va crescendo la velocità, quando il medesimo grave caderà dal punto a, come di sopra si è supposto e confrontato con le altre prime nostre osservazioni e dimostrazioni; adunque è manifesto quello che volevamo provare.” 同时参见 *ibid.*, p. 380 以及 p. 383: “Assumo, eam esse cadentis mobilis per lineam *al* accelerationem, ut pro ratione spacii peracti crescat velocitas ita, ut velocitas in *c* ad velocitatem in *b* sit ut spacium *ca* ad spacium *ba*, etc. Cum autem haec ita se habeant, ponatur *ax* cum *al* angulum continens, sumptisque partibus *ab*, *bc*, *cd*, *de*, etc., aequalibus, protrahantur *bm*, *cn*, *do*, *ep*, etc. Si itaque cadentis per *al* velocitates in *b*, *c*, *d*, *e*, locis se habent ut distantiae *ab*, *ac*, *ad*, *ae*, etc., ergo se quoque habebunt ut lineae *bm*, *cn*, *do*, *ep*.

Quia vero velocitas augetur consequenter in omnibus punctis lineae *ae*, et non tantum in adnotatis *b*, *c*, *d*, ergo velocitates illae omnes sesè respicient ut lineae quae ab omnibus dictis punctis lineae *ae* ipsi *bm*, *cn*, *do* aequidistanter producuntur. Istae autem infinitae sunt et constituunt triangulum *aep*; ergo



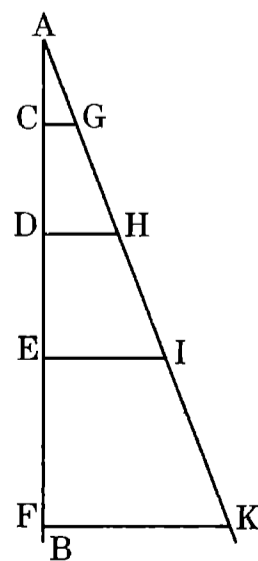
go velocitates in omnibus punctis lineae *ab* ita se habent ad velocitates in omnibus punctis lineae ut triangulus *abm* ad triangulum *acn*, et sic de reliquis, hoc est in duplicata proportione linearum *ab*, *ac*.

Quia vero pro ratione incrementi accelerationis tempora quibus motus ipsi flunt debent imminui, ergo tempus quo mobile permeat *ab* ad tempus quo permeat *ac* erit ut *ab* linea ad eam quae inter *ab*, *ac*, media proportionalis existit.”

[56] 在法文版原文中,插图上各点均用大写字母表示,但在正文和注释引文中,各点均用小写字母表示。这样的情况在本书前后文还有多处。为统一起见,英译本均校改成了大写字母;凡属类似情况,中译本均随之做出校改,不再一一注明。——译者

出发,沿着路线 AB 下落,我就假定,重物在 D 点所获得的速度 (degré de vitesse) 将会比它在 C 点获得的速度更大,因为距离 DA 比距离 CA 更大;因此,重物在 C 点和 D 点的速度之比就等于距离 CA 和 DA 之比,故当重物通过路线 AB 上的每一点时,它都将拥有一个跟这个点与 A 端的距离成正比的的速度。在我看来,这个原理非常自然,而且它与所有的实验吻合得相当好,例如,我们可以在通过冲击来运作的各种机器或仪器上观察到这些实验。在这些实验中,物体下落的高度越高,冲击所产生的效果就越大。如果我们假定了这个原理,我就能够证明其他所有的命题。

假定另有一条直线 AK 与路线 AF 成任意角度,假定 CG、DH、EI、FK 是从点 C、D、E、F 引出的平行线。由于线段 FK、EI、DH、CG 两两之比等于线段 FA、EA、DA、CA 对应的两两之比,由此可得,物体在点 F、E、D、C 的速度又可由线段 FK、EI、DH、CG 的长度来表示。因此,物体在路线 AF 上所有各点的速度将随着从对应各点引出的平行线段长度的增加而增加。此外,由于运动物体通过 AD 的速度包括它在路线 AD 上所有各点获得的速度,而它通过 AC 的速度也包括它在路线 AC 上所有各点获得的速度,由此可得,物体通过路线 AD 的速度与通过路线 AC 的速度之比,等于从 AD 上所有各点引出的所有平行线段(一直引到 AH)[的总和]与从路线 AC 上所有各点引出的所有平行线段(一直引到 AG)[的总和]之比;而这个比例就是三角形 ADH 与三角形 ACG 之比,也就是说,是 AD 与 AC 的平方之比;因此,物体通过路线 AD 的速度与它通过路线 AC 的速度之比,等于线段 DA 与 CA 的平方之比。又由于速度之比是时间之比的倒数(因为增大速度与减少时间是同一回事),由此可得,物体通过 AD



与 AC 的运动时间之比,等于距离 AD 与 AC 的平方根之比。<sup>[57]</sup> 因此,物体离开起点的距离之比等于时间的平方之比,由此可得,在各相等的时段内通过的距离之比等于从 1 开始的各奇数之比。这既符合我向来的说法,也符合我们观察到的各种实验。这样就使所有的真理都变得融贯起来。如果上述观点正确无误,我将证明,当物体沿着同一直线做受迫运动时,运动物体的速度将会逐渐减小,而且这种减速所遵循的比例等于它在自然运动中加速所遵循的比例。

106 伽利略的推理似乎合理可信,然而,它却是错误的。因为,我们很容易发现,它包含着双重错误。<sup>[58]</sup> 速度之比是时间之比的倒数,这无疑是正确的;但前提是要要求比较的基础,即通过的距离保持相等,上述关系才能成立;如果通过的距离不同(就像我们目前所研究的情形),上述关系则不能成立。运动物体的总速度是它通过的路程中所有各点获得的(瞬时)速度的总和,这无疑也是正确的;正如这个总速度也同样是物体在运动的所有瞬间所获得的速度的总和。但是,这两种“总和”并不相同:相对于时间来说是均匀不变的增加,但相对于空间而言则并非如此,反之亦然;尤其是与所通过的空间按线性关系增加的速度“总和”,并不能够用三角形来表示。这种表示只有针对一种速度随时间均匀增加的情形才是有效的。伽利略再一次走向彻底几何化,并且把需要用时间来描述的问题转换成了用空间来处理。

---

[57] 伽利略认为:(1)物体通过路线 AD、AC 的速度之比等于距离 AD 与 AC 的平方之比;(2)速度之比是时间之比的倒数;(3)因而,物体通过 AD 与 AC 的运动时间之比等于距离 AD 与 AC 的平方根之比;但我们从文本中看不出他如何能够从前两点推出第三点,只能暂时存疑。  
——译者

[58] 参见 P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, p. 570 sq.

蹊跷的是，伽利略后来觉察到了他的错误<sup>[59]</sup>（即他在选择落体加速运动的“原理一定义”时所犯的错误）；相比之下，无论迪昂怎么说，笛卡尔从未觉察到自己的错误。更为蹊跷的是，当伽利略试图证明，这个一开始在他看来如此“自然”的原理其实是荒谬的，这时他所用的推理本身居然也是完全错误的。<sup>[60]</sup>

但是，也许并不是这个似是而非的推理在引领着伽利略的思想（这预设了伽利略必须熟悉正确的推理方法）。我们猜想，更为可能的情况应该是，“具有公理性质的原理”没能发挥伽利略指派给它的应有作用，这一事实使他的失败更为直接地显示在他面前；不言而喻的是，他也不可能从中推导出那些描述性的公式来。<sup>[61]</sup>对伽利略来说，他甚至不可能正确地运用这个原理。很可能，这就已足够了；很可能是对同一问题的反复研究让伽利略看到了他的错误所在。毫无疑问，这个错误就在于他忽略了“运动和时间的极其密切的关系”<sup>[62]</sup>，也许还在于他忽略了因果性这一要素。后来，伽利略对吉尔伯特所提出的“吸引”（attraction）观念大为赞赏<sup>[63]</sup>，

107

---

[59] 以下就是伽利略的推理（参见 *Discorsi, etc., Opere*, vol. VIII, p. 204），迪昂（*op. cit.*, p. 578）和卡韦尼（*Storia del metodo sperimentale in Italia*, vol. IV, Bologna, 1895, p. 295）都认为这个推理是结论性的：“如果速度与已经通过或即将通过的距离保持着相同的比例，那么物体将在相等的时间内通过这些距离。因为，如果重物通过 4 肘尺的距离所用的速度是它通过最初的 2 肘尺所用速度的 2 倍（因为前一个距离是后一个距离的 2 倍），那么这两个运动所需的时间是相等的。但是，如果不是在一种瞬时运动中，同一个物体不可能在相同的时间内分别通过 4 肘尺和 2 肘尺距离，而且我们也看到了，下落重物的运动发生在时间之中，重物通过 2 肘尺距离比通过 4 肘尺距离所需的时间更少。因此，认为速度正比于距离而增加的观点是错误的。”这个推理所包含的错误与我们在前面讨论过的推理错误相类似：伽利略在此将一种只适用于（按照时间进行的）匀加速运动的计算方法应用于其速度正比于通过的距离而增加的运动。参见 E. Mach, *Mechanik*<sup>8</sup>, Leipzig, 1921, p. 245 以及 P. Tannery, *Mémoires scientifiques*, vol. VI, p. 400 sq.

[60] 一种正确的推导原本应该会将伽利略引向笛卡尔所发现的公式。参见下文第 122 页及以下。

[61] 事实上，这个公式将会是一个指数函数。

[62] 伽利略自己的表述，参见下文第 137 页。

[63] 参见本书第三部分第 258 号注释。

而且他总是公开赞誉吉尔伯特为“伟大的英国物理学家”<sup>[64]</sup>，这些都使得上述假设变得相当合理可信<sup>[65]</sup>：下落物体之所以会加速运动，那是因为 在每一个后续的瞬间，它都受到了地球同样的瞬时作用——吸引。因此，加速运动的公式(或本质定义)不应该以空间为基础，而应该以时间为基础。

## 二、笛卡尔

现在，让我们转向笛卡尔。

1618年，伊萨克·毕克曼偶然结识了“迪佩龙先生”(M. du Perron)<sup>[66]</sup>。没过多久，毕克曼就发现，自然慷慨地赐予了这个年轻的法国人许多非凡的禀赋。<sup>[67]</sup> 因此，他写信向笛卡尔求助，请求笛卡尔帮他解决重物的加速下落这个令人生畏的难题。

毕克曼和笛卡尔合作的故事是一出阴错阳差式的真实喜剧。尽管这个故事已经被讲述过很多次了<sup>[68]</sup>，然而，我们相信再次来回顾一下也绝不会毫无益处。

毕克曼并没有泛泛地问笛卡尔物体为什么会下落；他已经知道了物

[64] 然而，伽利略从未采纳过吉尔伯特的理论，也从未尝试使用吉尔伯特的“吸引”观念来表述落体理论。这一点很容易解释：吉尔伯特的物理学是一种泛灵论的物理学，而且在牛顿之前，没有人能够将“吸引”数学化，甚至连开普勒也未能做到。

[65] 参见 P. Duhem, “De l'accélération...”, p. 907.

[66] 指笛卡尔。笛卡尔的全名为 René du Perron Descartes。——译者

[67] 此外，笛卡尔也不甘心一直默默无闻。参见 *Journal de Beeckman*, Descartes, Œuvres, éd. A. T., v. X, p. 331: “笛卡尔亲口对我说，在算术和几何中，他已经没有什么东西可选择了；也就是说，在这九年中，他已经取得了人类天赋所能达到的最高成就。”

[68] 尤其参见 P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, Vol. III, *Les Précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, 1913, pp. 566 sq. 以及 G. Milhaud, *Descartes savant*, Paris, 1920, pp. 25 sq.; 同时参见 J. Sirven, *Les années d'apprentissage de Descartes*, Paris, 1928.

体下落的原因。无疑,他是从吉尔伯特<sup>[69]</sup>或者开普勒那里知道这个原因的。物体会下落,那是因为地球在吸引它们。他也没有问物体为什么会加速:他同样已经知道了加速的原因。物体在下落时会加速,那是因为在运动的每一瞬间,它们都再次受到了地球的吸引。这些新的吸引在每一瞬间都赋予物体一个新的运动增量,而与此同时,先前被激发起的运动仍然保持着。事实上,从1613年开始,毕克曼就已经提出了以下这个重要的命题:物体一旦开始运动,就会永远保持其运动状态。也就是说,从1613年起,他就已经知道了运动守恒定律。<sup>[70]</sup>

108

---

[69] 吉尔伯特的著作(Guilielmi Gilberti Colchestrensis, *De Magnete*..., Londini, MDC)将地球看作一个大磁体,并用地球的吸引来解释物体的下落,从而引起了极大的反响,并在物理学概念的发展和转变过程中发挥了至关重要的作用。因此,这部著作受到了伽利略的高度赞扬,并为开普勒、伽桑狄和牛顿所追随和效仿。然而,吉尔伯特的“吸引”观念与新科学的精神背道而驰(这种“吸引”是一种神秘的力,并且类似于一种灵魂),因此在伽利略与笛卡尔看来,这种观念是无法利用的。但是,伽桑狄和牛顿的努力也正是集中在这一点上:将吉尔伯特的“吸引”转变成一种不指向其对象的力。

[70] *Journal de Beeckman*, 1613, Descartes, *Œuvres*, éd. A. T., vol. X, p. 60, note f:“运动中的物体一旦发动,就不会静止下来,除非它受到阻碍。所有的事物一旦运动起来,就不会静止,除非由于受到外界的阻碍。随着阻碍逐渐减弱,被推动的物体将会运动得更久。当一个东西被抛射到高处时,如果它不被[空气的]回旋所推动,那么在它回到地面之前,我们感觉不到它的静止;如果它静止,这不是因为它受到对等的阻力,而恰恰是因为受到不对等的阻力,因为其他东西或者空气的其他部分会反过来重新推动物体。”然而,我们不应该混淆运动守恒定律与惯性定律,这样的混淆仍然很常见,比如说迪昂(参见 P. Duhem, “De l’*accélération*”, etc., p. 904)以及在他之前的沃尔威尔。惯性运动意味着直线运动的持续性,运动守恒定律则完全不包含这样的意义。因此,毕克曼相信圆周运动的守恒性。他将一个大烛台用线悬挂起来,这样他就很容易观察其圆周运动。通过观察烛台的圆周运动,他向我们解释了行星圆周运动的持续性,因为他认为运动守恒定律是普遍适用的(A. T. v. X, p. 225):“以下定理适用于直线运动的情形:物体一旦被推动,就会永远运动下去,直到被外界事物所阻碍。在真空中不需要做这种考虑:无论物体是大或小,重或轻,拥有或大或小的表面,具有这样或那样的形状等等,它们都是一旦运动起来,就会一直运动下去,以上这些偶性完全不会造成任何阻碍。此外,当烛台以地球的周年运动的方式运动时,如果[烛台的]绳子被剪断,使得烛台保持在高空不下落,而是像天上的星体那样继续漫游,那么我们没有任何理由认为,它为什么不会继续做圆周运动,直到它更加频繁地受到空气的阻碍。”毕克曼的例子并非独一无二:霍布斯也像毕克曼那样,(转下页)



109 因此,在遇到笛卡尔之前,毕克曼已经知道了所有上述内容。这意

(接上页)相信圆周运动的持续性。因此,最先清晰地构想和提出惯性定律的荣誉,既不能归于毕克曼,甚至也不能归于伽利略,而只能单独赋予笛卡尔。从1614年起,他开始反驳冲力观念(*Ibid.*, p. 236):“抛到真空中的石头不间断地运动着,而空气会阻碍它的运动。新的空气总会碰到石头,并使石头的运动减少。之所以哲学家们会谈论印在石头里的力,这是因为:谁能确切地构想这种力是什么,或者它以什么方式使石头持续运动,或者它借助什么在石头的某个部分中埋下种子呢?心灵最容易认为,运动在真空中不会静止,因为不会出现什么原因来改变运动,也没有什么正被某种原因所改变。”1618年,毕克曼在他于卡昂(Caen)发表的一些论文的某个推论中宣称(*Ibid.*, p. 237):“由手中抛出的石头,它的前进不是由于某种力的出现,也不是由于要避开真空,而是由于石头必然会自行保持由手赋予它的运动。”

当毕克曼日记的一些新片断由德瓦尔(Cornélis de Waard)出版时(*Correspondance du P. Marin Mersenne*, vol. II, Paris, 1936, pp. 118 sq., 123 sq., 235 sq., 280 sq. etc.),本文已经写成,甚至已经发表。毕克曼的日记明显改变了过去我们对这位荷兰物理学家的印象,或者更确切地说,是我们过去从未形成的印象。另外,他那些珍贵的日记至今仍未编辑出版,这一点尤其令我们深感遗憾。因为按照我们现在的理解,毕克曼完全配得上笛卡尔送给他的“极聪明的人”(vir ingeniosissimus)这一称呼;而且更重要的是,从此以后他将被我们视为科学观念发展史一个极其重要的环节。最后,他对于笛卡尔的影响看来要比我们至今为止所想象的还要深刻得多;尤其是笛卡尔在他的《哲学原理》(Principes)中提出的几条关于运动和碰撞的定律,它们在毕克曼所建立的定律中都已有雏型(参见 *Correspondance*..., II, App. I, A, pp. 633 sq)。此外,毕克曼学识渊博,对同时代的科学文献也非常熟悉。因此,对于很多笛卡尔没有读过的著作,毕克曼无疑也向笛卡尔转告了他所了解的情况。

毕克曼属于一个我们可以称之为“布鲁诺—吉尔伯特”传统的思想潮流。就像布鲁诺一样,他也承认宇宙的无限性,认为有无限多的恒星;他与布鲁诺一样都是虚空观念的支持者,他把虚空等同于以太和精细物质;就像吉尔伯特和开普勒一样,他正是在这种以太中看到了吸引的根源和载体;早在笛卡尔和帕斯卡之前,他就已经解释了密闭管道中的液体由于空气压力而升高的现象。我们在此尤其关注的是,在笛卡尔之前,毕克曼就已经提出了运动守恒原理,反驳了冲力观念,并对抛射体问题给出了一种正确的解答。因此,从1620年起他就宣称:“与物体性(corporeitas)相比,由上帝一次性创造的运动并不更少地保持在永恒之中”,尽管他不知道该如何从这种观点出发去解释一种无可置疑的事实,即当柔软物体发生碰撞时运动会停止(从而造成了运动的消失),他写道(*Correspondance*..., II, p. 123):“这就是说,我们不能认为,在真空中的运动会变得越来越快,而是所有的物体都会由于遇到对等的[阻力]而趋于静止。因此,上帝只是以尽可能小的速度一次性地推动尽可能多的物体,并以此来维持运动。随后,那些趋于静止的物体总会不间断地创生和再生出这种倾向”。从1629年起,他断言上述运动的消失仅仅是表面现象,运动依然保持着,只不过已分解到构成物体的各个部分和各种原子之中(参见 *ibid.*, p. 259 sq)。显而易见,毕克曼的成就是巨大的。然而,我们也不应该过分夸大这些成就,而且也不应该像上述博学的编者所做的那样,把惯性原理的发明归到毕克曼的名下(参见 *Correspondance*..., II, p. 122, 236, 272)。因为德瓦尔写道(p. 236):“在这些注释的第一个中,(转下页)

味着他已经知道了很多，甚至已经知道了落体问题的全部物理学结构。<sup>〔71〕</sup>但是，尽管他已经完全理解了问题的物理学方面（比笛卡尔的理解要好得多），但他还是不能够用数学的方式来把握它。他不能从他所拥有的原理出发推导出各种结果；他也不能找到适当的公式来计算重物下落的速度和通过的路程。<sup>〔72〕</sup>

110

他想问笛卡尔的正是以上这些内容。

因此，他问笛卡尔<sup>〔73〕</sup>：

假定我的原理成立，即：**在虚空中物体一旦开始运动，它就将永远运动下去**，再假定下落的石头与地球之间存在虚空，那么，如果我们已经知道物体在**2小时中**通过的距离，我们能否知道这个物体在1小时中通过的距离呢？

问题的表述相当奇怪。毕克曼没有以看上去更为自然的方式来提出问题，即他没有这样问：当我们已经知道一个下落物体在1小时中通过了

---

（接上页）他错误地将惯性原理仅仅应用于天界的圆周运动，但是没过多久（1613年7月—1614年4月），他就将它扩展应用到直线运动：**任何事物一旦运动起来，除非由于外界的阻力，否则它就不会停止；而且阻力越小，运动持续时间就越长**”。由此可知，德瓦尔恰恰犯了与毕克曼本人相同的错误，即当毕克曼断言（*Correspondance*...，p. 360）：“**物体在真空中一旦被推动，就会永远运动下去，或者沿直线运动，或者围绕中心做圆周运动，这就是地球的周日运动和周年运动的性质**”，毕克曼没有注意到（当然我们也根本不会为此而指责他）：圆周运动的守恒与直线运动的守恒是完全不相容的。

〔71〕 还要等到至少三十年之后，直到伽桑狄的《从受迫运动到平移运动》（*De motu impresso a motore translato*，Paris，1643），我们才能在其中（再一次）看到一种与毕克曼的观念同样清晰的关于下落机制的观念。我们在此强调毕克曼的成就，是因为在我们看来这些成就有点被过分低估了。

〔72〕 在此顺便提一下，这个事实也反驳了迪昂关于奥雷斯姆公式（或定律）在16、17世纪获得广泛传播的观点（参见 *Etudes sur Léonard de Vinci*，v. III，p. 580 sq 以及其他一些地方）。恰恰相反，我们的印象是上述公式几乎不为人所知。

〔73〕 参见 Descartes et Beeckman，*Physico-mathematica*，Œuvres，A. T.，v. X，p. 75 sq.

多少距离,我们能否知道它在2小时中通过的距离呢?我们已经看到,他是以相反的次序提出上述问题的。

很显然,毕克曼确实已不再将下落视为一种“自然”运动,而是视为地球对于物体的某种吸引的结果。物体自身已不再能体会到往一个方向运动而不往另一个方向运动的倾向,甚至一般说来,已经完全体会不到任何运动倾向(如果没有受到某种外部力量的推动,物体将会自然地停留在静止状态;就像物体能够维持静止状态一样,物体也能够一直保持新的运动状态)。毕克曼也不再像贝内代蒂和青年伽利略那样,将下落设想为一种能够无定限持续下去的运动,他只能重新将下落设想为一种具有通常的自然目标(地球)的运动。<sup>[74]</sup> 因此,他将下落描述为一种从A到B的运动:从一座塔的顶端(或者位于地球上方的任何一个点)一直到地球的运动。只有这种运动(完整的运动)我们才能够进行计算和测量,也就是说,计算和测量运动所通过的距离和所使用的时间。我们必须从此出发,才能够通过分析来重建运动的那些先前阶段。<sup>[75]</sup>

111 笛卡尔构想下落运动的方式与毕克曼不尽相同。因此,他的答复是不正确的。但是,毕克曼并没有看出这一点。

事实上,按照毕克曼的说法,对于他提出的问题:“为什么在虚空中下落的石块总是会以不断增大的速度下落”,笛卡尔“从(毕克曼的)原理出发”回答说<sup>[76]</sup>:

---

[74] 蹊跷的是,对于一位哥白尼主义者来说,毕克曼的观念总体上是非常自然的,相对于贝内代蒂和伽利略的观念而言,它构成了一种显著的进步;但从另一方面来看,它却近似于一种下落的传统观念,即指向某个目标的运动。

[75] 我们已经看到(我们还会再看到),伽利略并不这样推理。他总是从贝内代蒂关于一种阿基米德空间的观念出发,并将下落运动当作一种特殊类型的运动来研究。他不会从具体的例子出发。

[76] 参见 *Journal de Beeckman*, in Descartes, *Œuvres*, éd. A. T., vol. X, p. 58, 拉丁语原文为:“Lapis cadens in vacuo cur semper celerius cadat: Moventur res deorsum ad centrum terrae, vacuo intermedio spatio existente, hoc pacto; Primo momento, tantum spacium conficit, quantum per terrae trationem fieri potest. Secundo, in hoc motu perseverando superadditur(转下页)

当物体和地球之间存在一个虚空时，物体将按照以下方式向下运动，即向着地球的中心运动：在第一个瞬间，物体由于受到地球的牵引(traction)<sup>[77]</sup>，它将尽其所能地通过一段空间；在第二个瞬间，物体维持着先前的运动，并在其中添加了一个由地球吸引所产生的新的牵引运动，以致在第二个瞬间中，物体通过了双倍的空间；在第三个瞬间，双倍空间还保持着<sup>[78]</sup>，由于地球的牵引又在其中添加了第三个牵引运动，以致在同一瞬间中，与第一个瞬间相比物体通过了三倍的空间。

我们很快就会看到，这些考虑是笛卡尔的推理被转换成了毕克曼自己的说法，并使得正确解决所提出的问题和计算下落时间成为可能。因此，让我们继续来看毕克曼的阐述<sup>[79]</sup>：

但是，如果这些单元不再可分，那么物体在1小时中下落通过的

---

(接上页) motus novus tractionis, ita ut duplex spacium secundo momento peragretur. Tertio momento, duplex spacium perseverat, cui superadditur ex tractione terrae tertium, ut uno momento triplum spacii primi peragretur. ”

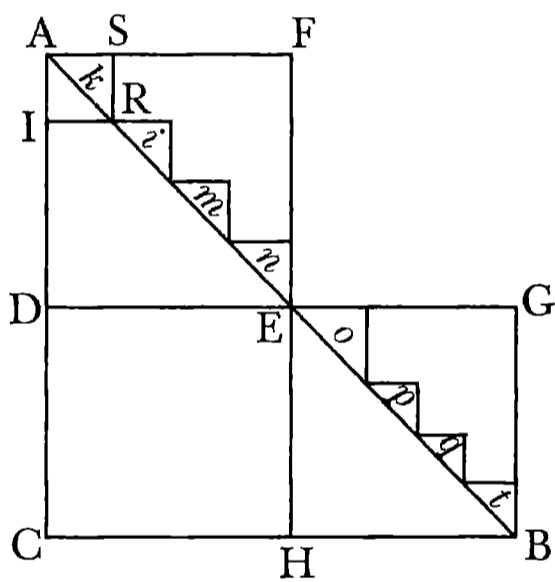
[77] 这是一段极其重要的文本，因为它清晰地显示了吸引(attraction)的观念和倾向(tendance)的观念之间的全部差别：吸引是从外部作用于物体，它拉着物体趋向地球。因此，下落运动是一种受迫运动：这真是一种恐怖的说法(*horribile dictu*)。当然，开普勒通过将吸引变成一种相互作用，使得上述情况变得并不那么令人震惊。但是，笛卡尔却明确地将下落的自然运动等同于由碰撞而产生的受迫运动。参见下文第131页及以下。

[78] “双倍空间还保持着”(duplex spatium perseverat)，也就是说，使得物体在一个瞬间中通过双倍空间的双倍速度还保持着。

[79] *Journal de Beeckman*, A. T., v. X, p. 58, 拉丁语原文为：“*Lapis cadentis tempus supputatum*: Cum autem momenta haec sint individua, habebit spacium per quod res una hora cadit ADE. Spacium per quod duabus horis cadit, duplicat proportionem temporis, id est ADE ad ACB, quae est duplicata proportio AD ad AC. Sit enim momentum spatij per quod res una hora cadit alicujus magnitudinis, videlicet ADEF. Duabus horis perficiet talia momenta, scilicet AFEGBHCD. Sed AFED constat ex ADE cum AFE; atque AFEGBHCD constat ex ACB cum AFE et EGB id est cum duplo AFE. Sic si momentum sit AIRS, erit proportio spatii(转下页)

112

空间就可以用三角形 ADE 来表示。物体在 1 小时和 2 小时中分别下落通过的空间之比等于时间之比的平方,也就是说,这个比例等于三角形 ADE 与三角形 ACB 之比,也等于 AD 与 AC 的平方之比。假定物体在 1 小时中下落通过的空间单元(moment de l'espace)为某个任意的大小,例如用图形 ADEF 来表示,那么在 2 小时中,物体就将通过相等的三部分空间,即可用图形 AFEGBHCD 来表示。但是,图形 AFED 包含了三角形 ADE 和三角形 AFE。图形 AFEGBHCD 则包含了图形 ACB 加上三角形 AFE 与 EGB,即三角形 ACB 加上两倍的三角形 AFE。



因此,如果空间单元缩小为 AIRS, 1 小时和 2 小时所通过的空间之比为“三角形 ADE 加上 4 个小三角形 klmn”与“三角形 ACB 加上 8 个小三角形 klmnopqt”之比,也就是说,klmnopqt 的面积再次是 klmn 的两倍。但是,klmn 的面积已经比三角形 AFE 减小了很多。

(接上页) ad spatium, ut ADE cum *klmn*, ad ACB cum *klmnopqt*, id est etiam duplum *klmn*. Ast *klmn* est multo minus quam AFE. Cum igitur proportio spatii peragrati ad spatium peragratum constet ex proportione trianguli ad triangulum, adjectis utrique termino aequalibus, cumque haec aequalia adjecta semper eo minora fiant quo momenta spatii minora sunt; sequitur haec adjecta nullius quantitatis fore quando momentum nullius quantitatis statuitur. Tale autem momentum est spatii per quod res cadit. Restat igitur spatium per quod res cadit una hora se habere ad spatium per quod cadit duabus horis, ut triangulum ADE ad triangulum ACB.

Haec ita demonstravit M. Perron, cum ei ansam praebuissem, rogando an possit quis scire quantum spatium res cadendo conficeret unica hora, cum scitur quantum conficiat duabus horis, secundum mea fundamenta, viz. *quod semel movetur, semper movetur, in vacuo* et supponendo inter terram et lapidem cadentem esse vacuum. Si igitur experientia compertum sit, lapidem cecidisse duabus horis per mille pedes, continebit triangulum ABC 1000 pèdes. Hujus radix est 100 pro linea AC quae respondit horis duabus. Bisecata ea in D, respondet AD uni horae. Ut igitur se habet proportio AC ad AD duplicata, id est 4 ad 1, sic 1000 ad 250, id est ACB ad ADE.”

因此,由于通过的空间之比由两个不同的大三角形作为比例项,并在其上添加一些相等大小的小三角形构成,又由于随着空间单元越来越小,这些相等的添加物也将变得越来越小。由此可得,当上述空间单元变成几乎没有大小时,这些添加物就变得微不足道了。以上就是物体下落时空间单元的变化情况。因此,无论如何,物体在1小时中通过的空间与它在2小时中通过的空间之比就等于三角形 ADE 与三角形 ACB 之比。

因此,如果我们所做的实验显示,物体在2小时中下落通过了1000英尺,则三角形 ABC 就代表着1000英尺。<sup>[80]</sup> 由此可得,与代表2小时的线段 AC 相对应的根(racine)为100。<sup>[81]</sup> 在D点将 AC 113 分为相等的两半,AD 将对应于1小时。由于三角形 ACB 与 ADE 之比也可表示为 AC 与 AD 的平方之比,因此三角形 ACB 与 ADE 之比为4比1,或1,000比250。

这个解答既简洁明了又正确无误:通过的空间被确认为正比于时间的平方。但这不是笛卡尔的解答:众所周知,毕克曼在解读“迪佩龙先生”的解答时弄错了。<sup>[82]</sup> 事实上,以下就是笛卡尔本人留给我们的另一种解

---

[80] 顺便指出,笛卡尔与伽利略一样,都不是用一条线,而是用一个面来表示落体所通过的空间。这是因为,无论是伽利略还是笛卡尔,他们首先考虑的并不是通过的空间,而是已经实现的运动。笛卡尔所说的不可分割的“元素”或“速度元”(moment)并不是一个“瞬间”(instant),而是完全等同于伽利略所说的“速度”(degré de vitesse);这是一种瞬时运动或瞬时速度,是运动的极小值,或者毋宁说,是运动的微分。既然它是这样一种运动,它就必然具有两个维度。因此,无限多的“元素”或“速度”的总和,也就理所当然要用图形(三角形或矩形)来表示。在我们看来,迪昂未能理解的正是这一点。

[81] 伽利略认为:三角形 ABC 代表着1000英尺;但我们从文本中看不出他如何能够由此推出 AC 为100,但这一点并不影响整体论证。不知道是否属于原文中的计算错误,只能暂时存疑。——译者

[82] 参见 P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, Vol. III, p. 570 以及 G. Milhaud, *Descartes savant*, p. 27.

答。

在他的《私想集》(*Cogitationes Privatae*)中,笛卡尔简要地提到<sup>[83]</sup>:

几天前,我偶然结识了一位极聪明的人,他向我提出了以下问题:

他说,一块石头在1小时中从A下落到B;这块石头始终受到地球相同的吸引力,而且它也不会失去先前的吸引所赋予它的速度。据他所说,在虚空中运动的物体将会永远运动下去。然后,他问上述石头通过一段给定的空间需要用多少时间。

首先,我们必须指出,笛卡尔不仅确认他收到了毕克曼的问题,也确认他知道了毕克曼解决问题的那些原理。<sup>[84]</sup>但是,对于他而言,这些原理并不像对于毕克曼那样具有一种真理的价值。对于笛卡尔来说,这只是一些假说而已。更何况,即便是这些假说,笛卡尔也并不完全理解。但是,这并不妨碍他解答所提出的问题,甚至也不妨碍他给出两种不同的解答。可怜的毕克曼并没有问那么多,他只是想知道石头实际上是如何下落的。笛卡尔则并不满足于此,他还要向毕克曼解释石头如何能够下落。<sup>[85]</sup>

---

[83] *Cogitationes Privatae* (A. T., vol. X, p. 219 sq), 拉丁语原文为: “Contigit mihi ante paucos dies familiaritate uti ingeniosissimi viri, qui talem mihi quaestionem proposuit: *Lapis, aiebat, descendit ab A ad B una hora; attrahitur autem a terra perpetuo eadem vit, nec quid deperdit ab illa celeritate quae illi impressa est priori attractione. Quod enim in vacuo movetur semper moveri existimabat. Queritur quo tempore tale spatium percurrat.*”

[84] 我们知道,笛卡尔后来否认他曾经从毕克曼处学到任何东西。参见笛卡尔在1630年11月4日致梅塞纳的信(*Lettre à Mersenne*, A. T., vol. I, p. 171 sq)以及另一封致毕克曼本人的信(*Lettre à Beeckman*, A. T., vol. I, p. 157 sq)。

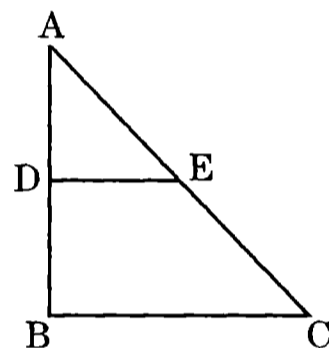
[85] 吉尔松已经指出了笛卡尔思想的这一典型特征:笛卡尔热衷于解释一种现象,远甚于他对确立这种现象的关注。参见 E. Gilson, *Etudes sur le rôle de la pensée médiévale dans la formation du système cartésien*, Paris, 1930.

以下就是他的回答：<sup>[86]</sup>

114

我已解决了这个问题。让等腰直角三角形 ABC 代表距离(运动),从点 A 到底边 BC 的距离的不等代表运动的不等。<sup>[87]</sup> 因此,物体在 ADE 所代表的时间内通过 AD,在 DEBC 所代表的时间内通过 DB:在此需要指出的是,较小的距离代表着较慢的运动。而 ADE 的面积是 DEBC 的三分之一:因此,通过 AD 所需的时间是通过 DB 所需时间的三倍。

但是,我们还可以用不同的方式提出这个问题:即假定地球的吸引力总是与运动的最初时刻保持相等:当前一时刻的吸引力还维持着它的作用时,后一时刻出现的一个新的吸引力又开始产生作用。在这种情况下,问题只有通过锥体才能得到解答。<sup>[88]</sup>



多么奇怪的补充! 我们可以清晰地看到,对于笛卡尔的心灵来说,下落的物理机制问题是多么陌生。他几乎不怎么关注毕克曼已经解决了的那部分内容。他在设想另一种“可能的”情况,在这种情况下吸引力每一瞬间都在不断增加;这样,在第二个瞬间,物体将被两倍大小的力所牵引;

[86] *Cogitationes Privatae*, A. T., v. X, p. 219, 拉丁语原文为:“Solvi quaestionem. In triangulo isoscelo rectangulo, ABC spatium [motum] repraesentat; inaequalitas spatii a puncto A ad basim BC, motus inaequalitatem. Igitur AD percurritur tempore, quod ADE repraesentat; DB vero tempore quod DEBC repraesentat; ubi est notandum minus spatium tardiozem motum repraesentare. Est autem AED tertia pars DEBC; ergo triplo tardius percurret AD quam DB. Aliiter autem proponi potest haec quaestio, ita ut semper vis attractiva terrae aequalis sit illi quae primo momento fuit; nova producitur, priori remanente. Tunc quaestio solvetur in pyramide.”

[87] “运动的不等”(motus inaequalitatem)是指“速度的变化”。

[88] “问题只有通过锥体才能得到解答”(solvetur in pyramide),也就是说,速度不再按平方指数增加,而是按立方指数增加。



在第三个瞬间,被三倍大小的力所牵引,如此等等。在这种情况下,物体的下落速度当然就会加快很多。

“吸引力”的这样一种增加又是如何可能的呢?笛卡尔没有问自己这个问题。事实上,他并不是从物理学的角度,而是从纯粹数学,或纯粹几何学的角度来看待这个问题:所涉及的问题是建立两个序列的变量之间的关系。既然已经碰到了这个问题,为什么不去尝试一下某个有趣的假设呢?

笛卡尔是一位几何学家,一位纯粹的数学家。看来正是因此,笛卡尔才没能很好地掌握毕克曼的那些“原理”,并对他的问题给出了错误的解答。他看待问题(和被研究的现象)的方式与毕克曼完全不同。

与毕克曼相同的是,笛卡尔也从已完成的下落出发。但是,与毕克曼相反,他以一种静态的方式看待下落。或者毋宁说,他所关注的只是下落的轨迹。或者我们还可以说,他本能地取消了时间。

对笛卡尔来说,ADB这条线很自然地代表了通过的轨迹(对毕克曼来说,它代表着经历的时间<sup>[89]</sup>)。因此,问题就转化为:物体以一个“均匀变化”的速度通过一段轨迹;问题也就在于确定轨迹上每一点的速度。对于毕克曼来说,三角形ADE和三角形ABC代表通过的距离(轨迹),而对笛卡尔来说,则代表了物体的运动,即已实现的“速度之和”。于是,他非常合情合理地断定:由于“速度之和”是三倍,物体也将以三倍快的速度通过距离DB。时间重新出现,但已经出现得太迟了。彻底的几何化、空间化、时间的取消(在这里时间是无法取消的),对物理学方面、因果方面和对过程的忽略等等,这些因素最终导致了笛卡尔(就像过去的伽利略,以及伽利略之前的贝内代蒂和米歇尔·瓦龙那样)将匀加速运动设想为一种其速度的增加与通过的路程成正比、而不是与经过的时间成正比的运动。

---

[89] 奇怪的是,对于毕克曼和伽利略来说(参见前文第104和105页;*Dialogo*, p. 251, *Discorsi e dimostrazioni*, g. III, l. II, prop. 1 et 2),时间的流逝总是用一条垂直线来表示,而不是像我们通常所做的那样,用一条水平线来表示。

现在,如果我们确实可以对我们的观念进行任意的规定,那么我们就应该争取尽量把握自然现象的本质(这也正是伽利略留给我们的教训),也就是说,我们既不应该忽略原因,也不应该遗忘时间。

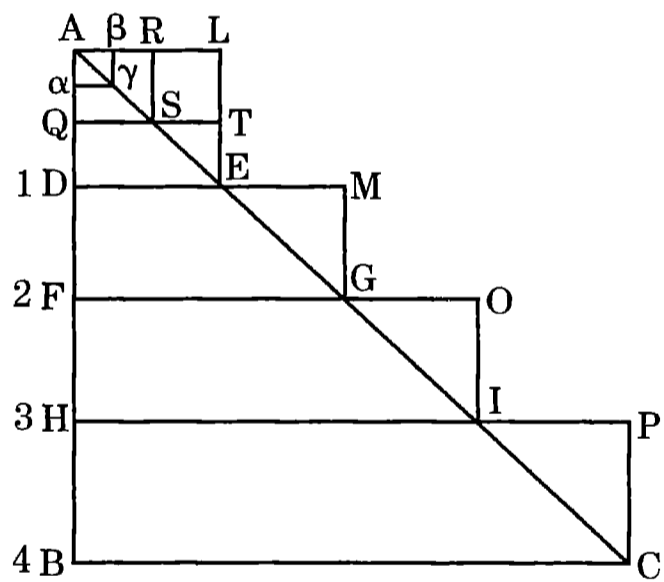
我们刚刚说过,笛卡尔没能很好地掌握毕克曼物理学的那些“原理”。我们还可以进一步说,他也没能理解他的朋友所取得的进步。<sup>[90]</sup> 其实, 116  
连毕克曼自己都未能十分清晰地理解这种进步。《数学物理笔记》(*Physico-mathematica*)的文本既证实了我们关于笛卡尔错误的来源的分析,在我们看来,它也充分显示了上述不理解。因此,我们将相关文本全文引述如下:<sup>[91]</sup>

---

[90] 这种决定性的进步就在于:(a)明确地断言了运动的守恒定律,从而使运动从冲力观念的束缚中解放出来;(b)取消了内在于运动物体的所有原因。在物理学史上我们第一次能用一种恒定的力的延续或持续作用来解释一种变化的结果。

[91] Descartes et Beeckman, *Physico-mathematica*, *Œuvres*, éd. A. T., vol. X, p. 75 sq., 拉丁语原文为:“In proposita quaestione, ubi imaginatur singulis temporibus novam addi vim qua corpus grave tendat deorsum, dico vim illam eodam pacto augeri, quo augentur lineae transversae *de*, *fg*, *hi*, et aliae infinitae transversae quae inter illas possunt imaginari. Quod ut demonstrarem, assumam pro primo minimo vel puncto motus, quod causatur a primo quae imaginari potest attractiva vi terrae, quadratum *alde*. Pro secundo minimo motus, habebimus duplum, nempe *dmgf*: pergit enim ea vis quae erat in primo minimo, et alia nova accedit illi aequalis, Item in tertio minimo motus, erunt 3 vires; nempe primi, secundi et tertii minimi temporis, etc. Hic autem numerus est triangularis, ut alias forte fusius explicabo, et apparet hunc figuram triangularem *abc* repraesentare. Immo, inquires, sunt partes protuberantes *ale*, *emg*, *goi*, etc. quae extra trianguli figuram exeunt. Ergo figura triangulari illa progressio non debet explicari. Sed respondeo illas partes protuberantes oriri ex eo quod latitudinem dederimus minimis, quae indivisibilia debent imaginari et nullis partibus constantia. Quod ita demonstratur. Dividam illud minimum *ad* in duo aequalia in *q*; iamque *arsq* est [primum] minimum motus, et *qted* secundum minimum motus, in quo erunt duo minima virium. Eodem pacto dividamus *df*, *fh*, etc. Tunc habebimus partes protuberantes *ars*, *ste*, etc. Minores sunt parte protuberante *ale*, ut patet. Rursum, si pro minimo assumam minorem, ut  $\alpha\alpha$ , partes protuberantes erunt adhuc minores, ut  $\alpha\beta\gamma$ , etc. Quod si denique pro illo minimo assumam verum minimum, nempe punctum, tum illae partes protuberantes nullae erunt, quia non possunt esse totum punctum, ut patet, sed tantum media pars minimi *alde*, atqui puncti media pars nulla est. Ex quibus patet, si imaginetur, (转下页)

在您提出的问题中，我们可以设想，在每一个瞬间<sup>[92]</sup>都有一个新的力添加到使重物向下运动的原有的力之中，我认为这个新的力将以与横线 DE、FG、HI 逐渐增长的同样方式不断增加，而且我们可以想象在上述横线之间还有着无限多的其他横线。如果我想证明这一点，我就先假定将我们所能设想的、由地球的第一个吸引力所引起的第一份运动的最小量或点<sup>[93]</sup>，用正方形 ALDE 来表示。对于第二份最小运动，我们就用双倍的图形，即 DMGF 来表示：事实上，当第一个力还在第一份最小运动中保持其作用时，另一个新的、与前者大小相等的力已经添加进来。同样地，在第三份最小运动中，将会有三个力，即：第一、第二、第三份时间最小量所对应的力，等等。这个数是三角数（也许我将在别处更详尽地解释这一点），它显然可以用三角形 ABC 这一图形来表示。然而，你也许会说，还有一些超出三



角形图形之外的突出部分，如 ALE、EMG、GOI 等等。因此，三角形的图形就不能表示上述级数（progression），那么，我就会回答说，这些突出部分来源于这样一个事实，即我们给予了这些最小量（minima）一种广延，而这些最小量

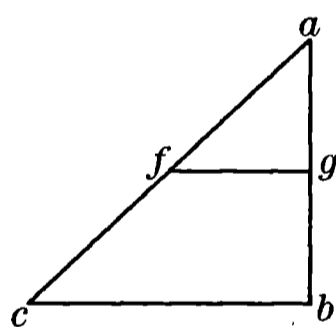
（接上页）verbi gratia lapis ex  $a$  ad  $b$  trahi a terra in vacuo per vim quae aequaliter ab illa semper fluat, priori remanente, motum primum in  $a$  se habere ad ultimum qui est in  $b$ , ut punctum  $a$  se habet ad lineam  $bc$ . Mediam vero partem  $gb$  triplo celerius pertransiri a lapide, quam alia media pars  $ag$ , quia triplo majori vi a terra trahitur; spatium enim  $fgbc$  triplum est spatii  $afg$ , ut facile probatur. Et sic proportione dicendum de caeteris partibus.”

[92] 注意这个“在每一个瞬间”（*singulis temporibus*）；只要笛卡尔一思考“力”，它就会同时想起“时间”。

[93] 运动的最小量或点（*minimum vel punctum motus*），这与笛卡尔所称的“速度元”（*moment*）以及伽利略及其前辈们所称的“速度”（*degré de vitesse*）完全是同一回事。

原本应该被设想为不可再分,也不包含任何部分的。这一点可以用以下方式来证明。我在 Q 点把最小量 AD 再分成两个相等的部分;那么,ARSQ 将表示(第一份)最小运动,而 QTED 将表示第二份最小运动,在这第二份最小运动中有两个力的最小量。我们再以同样的方式分割 DF、FH 等等。那么,我们就拥有了 ARS、STE 等突出部分。显而易见,它们比突出部分 ALE 小了很多。当我们更进一步,如果对于上述最小量 AQ,我再假定一个更小的最小量,例如  $A\alpha$ ,那些突出的部分还会变得更小,如  $\alpha\beta\gamma$  等等。如果最终我以真正最小量(即一个点)来代替上述最小量,那么这些突出部分将会完全消失。因为它们将不再是一个完整的点,而只是最小量 ALDE 的一半;显而易见,一个点的一半只能是无。

由此可清晰得出,例如,如果我们想象一块石头在真空中受到来自地球的某种力的牵引,使得石头从 a 运动到 b,而且这种力永远以相等的大小从地球发出并作用于石头,那么,当前一个力仍然保持其



作用时,在 a 处的前一个运动就被带入到在 b 处的后一个运动之中,就像点 a 被带入线段 bc 一样。至于 ab 的其中一半 gb,与通过另一半 ag 相比,石头将以三倍快的速度通过 gb,因为此时

石头也将以一个三倍大的力被地球所牵引。事实上,很容易证明,此时石头通过的空间 fgbc 也是空间 afg 的三倍。这样,我们就可以说其余部分都是相应成比例的。 118

很难想象会有一个文本像上述笛卡尔的文本那样,把数学上最高度的简洁优美<sup>[94]</sup>和物理学上最无可救药的模糊混乱结合在一起。笛卡尔

[94] 关于这一点,迪昂写道(*op. cit.*, p. 576):“毕克曼所说的内容……[当然,这些内容是笛卡尔原本应该说的],与比萨的机械学家(*Mécanicien de Pise*)的推理相比有着——(转下页)

确实没能理解毕克曼的那些“原理”；因此，他轻而易举地抛弃了毕克曼的思想战利品：运动守恒原理。他用力的守恒原理取代了运动守恒原理。他从“速度与力成正比”这种观念<sup>[95]</sup>出发，得出了“恒定的力产生恒定的速度”这样的观念。因此，他重新陷入了冲力物理学的传统观念。他设想，之所以下落物体会加速运动，那是因为物体在运动结束时比在运动开始时受到地球更强烈的吸引，或者用他自己的话来说，是因为地球的吸引力在石头中产生了一个逐渐增大的推动力：因此，他补充说（我们在此针对以上第一个假设所引述的段落内容已经包含在我们已在前文引述的《私想集》的文本之中），力也是积极活跃的，不仅仅是速度才如此。<sup>[96]</sup>

119 有人仿佛觉得，笛卡尔一方面（假设性地）接受了毕克曼的运动守恒原理，另一方面又并不信任这个原理。也有人仿佛觉得，当笛卡尔试图解决下落问题时，他宁愿抛开毕克曼阐述的观念，因为对于笛卡尔来说，这

---

（接上页）种完全不同的精确性和一种完全不同的意义”。“比萨的机械学家”的推理并不像迪昂所说的那样糟糕；正如我们已经看到，而且我们在下文还将看到，这些推理运用了卡瓦列里不可分割之物的几何学。至于笛卡尔的推理，我们可以在格拉迪(Gradi)那里找到几乎完全相同的推理（参见 Caverni, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, vol. IV, Bologna, 1895, p. 306 sq.）。

[95] 如果我们也像笛卡尔那样取消时间，并将力的作用设想为无时间的或瞬时的，那么这种观念就是完全正确的。因此，正如牛顿所说（*Philosophiae naturalis principia mathematica*, Londini, 1687, Axiomata sive leges, Lex II, p. 12），无可置疑的是，“如果某种力产生某种运动，那么，两倍的力将会产生两倍的运动，三倍的力将会产生三倍的运动，或者是一次性同时产生，或者是被逐渐相继印入。”关于笛卡尔的瞬时主义，参见让·瓦尔的出色著作：Jean Wahl, *Le rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, Paris, 1920.

[96] 我们已经说过，毕克曼本人远远没有理解自己，没有理解他的“原理”所蕴含的内容。德瓦尔编辑出版的文本完全证实了这一点。可以说毕克曼是如此不理解自己的观念，以致他否定了下落加速的连续性，而采纳了一种不连续的理论（参见 *Correspondance du P. Marin Mersenne*, vol. II, p. 291 sq.）。此外，他像亚里士多德一样，也认为向上抛出的物体在回落之前会停止运动。我们清晰地看到（尽管这一点看起来有些自相矛盾），对于毕克曼来说，运动的新观念还远非那么清晰，只有到了笛卡尔才完全澄清了这种新观念，并深刻理解了它所蕴涵的全部内容。但是，只有到了10年甚至15年之后，当笛卡尔撰写《指导心灵的规则》（*Regulae*）和《论世界》（*Monde*）时，当他下决心将运动只看作数学家眼中所见到的运动时，他才完全做到了这一点。

些观念显然还是太过新颖、太过奇特、太过困难了。事实上,毕克曼(暗含地)引入的运动观念(这已是经典物理学的运动观念)可以说正处于数学领域(几何学领域)和物理学领域(时间领域)之间狭窄的交界线上。但是,要划出这条分界线却是相当困难,像笛卡尔这样的人在把握这条分界线,在维持物理学和抽象空间之间的精确界限时遭遇到的困难(即使再没有其他入这样做)已足以充分证明这种困难。这就是为什么笛卡尔要避开这种运动观念。因为,这种运动是一种悖谬的实体,它是运动物体的某种状态,然而,它却能够从一个运动物体传递给另一个运动物体;它体现着变化,同时却又维持着自身的同一,它看起来就像是一种不合法的存在;因此,笛卡尔几乎是本能地,同时也是有意地用那些更坚实(也更清晰、更易于想象<sup>[97]</sup>)的观念(一方面是推动力的观念,另一方面是运动轨迹的观念)来取代毕克曼的运动观念。

然而,笛卡尔的数学推导却获得了辉煌的成功。这很容易理解:事实上,毕克曼的问题和笛卡尔取而代之的问题在形式上并没有任何区别。无论问题是涉及力、距离还是涉及速度都没有关系,因为它总是关系到同一件事,即计算某个相对于时间而言均匀增加的量的变化节律。因此,当笛卡尔考虑吸引力的问题时,他必定是想到了某种时间中的变化,或者是某物在时间中的产生。正是当他试图用空间的术语来表达他的积分结果,并在他那富有想象力的表达和趋向彻底几何化的冲动的驱使下,笛卡尔才陷入了错误之中。令人奇怪的是,即使是用他自己的力的物理学,笛卡尔原则上也是应该能够避免这种错误的。<sup>[98]</sup> 结果他还是犯了错误,这

---

[97] 唉!令人遗憾的是,笛卡尔的物理学是一种想象的物理学。对于他来说,一种清晰的概念通常只是一种能够被清晰地想象的概念。参见 L. Brunschvicg, "Métaphysique et Mathématique chez Descartes", *Revue de Métaphysique et Morale*, 1927; 另参见下文第 144 页及以下。

[98] 他只要严格维持力和速度之间的平行性(parallélisme),并继续根据因果性进行思考,也就是说,从时间出发进行思考。

是因为他用轨迹代替了运动,因为他用轨迹(而不是用时间)作为他的函数的变量。

120 在我们看来,笛卡尔对毕克曼的观念的重新表述(或重新解释)是如此奇特;同时,它又如此清晰地揭示出了人类心灵的深层倾向,揭示出为了获得这样一种运动观念人类心灵必须克服的重重困难(十年后,笛卡尔将会宣布运动是如此简单和清楚,以致我们根本不需要也不可能对它给出定义)。如果在此不引用另一段文本来继续澄清笛卡尔的表述,我们必定会感到后悔。因此,我们希望读者不会为此而抱怨我们。

笛卡尔继续写道:<sup>[99]</sup>

这个问题还可以用另一种更为困难的方式来解决。我们可以设想石头停留在  $a$  点, $a$  和  $b$  之间的空间是虚空。设想第一次,如今天九点,上帝在  $b$  点创造了一个对石头的吸引力;设想在随后的各个瞬间,上帝总是紧接着创造出一个又一个新的吸引力。每一个新的吸引力都与在第一个瞬间创造出的吸引力大小相等,并且逐个附加到先前业已创造出的吸引力之中,越来越强有力地牵引着石头。在虚

---

[99] Descartes et Beeckman, *Physico-mathematica*, *Œuvres*, éd. A. T., vol. X, p. 77, 拉丁语原文为:“Aliter vero potest haec quaestio proponi difficilius, hoc pacto. Imaginetur lapis in puncto  $a$  manere, spatium inter  $a$  et  $b$  vacuum; iamque primum, verbi gratia, hodie hora nona Deus creet in  $b$  vim attractivam lapidis; et singulis postea momentis novam et novam vim creet, quae aequalis sit illi quam primo momento creavit; quae iuncta cum vi ante creata fortius lapidem trahat et fortius iterum, quia in vacuo quod semel motum est semper movetur; tandemque lapis, qui erat in  $a$ , perveniat ad  $b$  hora decima. Si petatur quanto tempore primam mediam partem spatii confecerit, nempe  $ag$ , et quanto reliquam: respondeo lapidem descendisse per lineam  $ag$  tempore  $1/8$  horae; per spatium  $gb$ ,  $7/8$  horae. [这里明显错了:前后两个数字次序颠倒了] Tunc enim debet fieri pyramis supra basim triangularem, cuius altitudo sit  $ab$ , quae quocunque pacto dividatur una cum tota pyramide per lineas transversas aequae distantes  $ab$  horizonte. Tanto celerius lapis inferiores partes lineae  $ab$  percurret, quanto majoribus insunt totius pyramidis sectionibus.”

空中,这种吸引力就更为强烈,以致石头一旦开始运动就会永远运动下去。再假定原先在 a 点的石头,在十点时运动到了 b 点。如果我们问石头需要用多少时间才能通过前半路程(即 ag),以及再需要用多少时间才能走完 ab 的剩余路程,我会回答说:石头将在  $7/8$  小时内通过线段 ag<sup>[100]</sup>,在另外  $1/8$  小时内通过线段 gb。事实上,我们需要以三角形为底面、ab 为高作一个三棱锥,然后用一些水平等距的横截线以任意一种方式对整个锥体进行分割。石头将以更快的速度通过 ab 的那些位于下方的被截取部分,因为这些部分被包含在整个锥体的那些较大的横截面之中。<sup>[101]</sup>

当笛卡尔认为上述构想问题的方式“更为困难”时,他并没有错。因为,这一次他采纳了毕克曼的运动守恒原理。但是,他在这个原理之上添加了一个吸引力稳步增加的过程(我们也明白了他在这里为什么要请求上帝的帮助)。令人奇怪的是,笛卡尔考虑了种种可能的情形,但是,唯有一种情形他没有研究:那恰恰是毕克曼早已提请他研究的情形。

121

毕克曼怎么会没有注意到笛卡尔的错误,并因此而为他自己发现了一个正确的解答而要求获得应有的荣誉呢?也许,我们已永远不可能彻底澄清这一点。我们应该承认这个事实:毕克曼正在寻求一个物理学问题的解答,他向笛卡尔提出了一个明确的问题(一个数学问题),他很自然地将他收到的答复应用于他所提出的问题。因此,当笛卡尔说到空间时,毕克曼就理解为时间。<sup>[102]</sup>更确切地说,当笛卡尔从时间滑向空间时,毕克曼就避免这种滑动。因此,当笛卡尔相对于毕克曼犯某一个错误时,毕

[100] 在笛卡尔这里,线段总是代表轨迹。

[101] 也就是说,速度正比于时间的三次方。这是《私想集》中的第二个假设。

[102] 参见 P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, Vol. III, p. 570.



克曼自己就相对于笛卡尔犯一个反方向的错误,这样就使得毕克曼最终能够以某种方式重新恢复了问题的原貌。这大体上就是 G. 米约<sup>[103]</sup>的解释。不得不承认,我们看不到有其他解释的可能。我们应该承认这个事实:毕克曼并没有注意到,笛卡尔本人的解答不同于他归于笛卡尔的解答。他也没有注意到,笛卡尔的这个解答所用的物理学原理也不是他自己的那些原理。他也确实将他记下来的解答归功于笛卡尔。

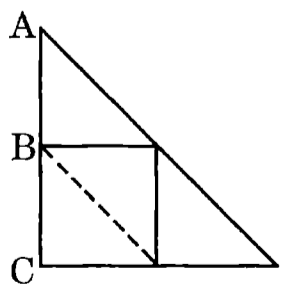
难道这不正表明了,对于毕克曼来说,落体问题首先是一个数学问题?难道这不正表明了,毕克曼就是在他的解答(积分的实现)中看到了他的年轻朋友的功劳?

结论还可以推进得更远。如果毕克曼并没有看到他自己的解答(速度与经历的时间成正比)和笛卡尔的解答(速度与通过的距离成正比)之间的区别,这是因为,对毕克曼来说,这种区别本身就不存在;这是因为,毕克曼相信这两种解答是完全等价的。<sup>[104]</sup>

122 毫无疑问,在我们的读者看来,这种说法似乎极其不合情理。然而事实上,我们不应该忘记,毕克曼也许是一个出色的物理学家,但他却是一个相当平庸的数学家:我们也将看到,笛卡尔本人尽管是一个天才的数学家,但他从未能意识到自己所犯的错误,甚至在伽利略的著作中再次见到正确的公式时<sup>[105]</sup>,他也未能意识到它有别于自己以前所提出的公式。由

[103] 参见 G. Milhaud, *op. cit.*, p. 28 sq.

[104] 我们可以说,此处毕克曼的情况完全类似于前文所引证的列奥纳多·达·芬奇和贝内代蒂的情况。



[105] 参见 1634 年 8 月 14 日笛卡尔致梅塞纳的信 (*Lettre à Mersenne*, A. T., vol. I, p. 303; A. M., v. I, p. 265), 在其中笛卡尔提到他已翻阅了毕克曼从周六到周一之间借给他的那本伽利略的《对话》:“毕克曼先生周六晚上到过我这里,他把伽利略的书借给我看。但他今天早上已把书交给多尔特(Dort),以致这本书只在我手中呆了 30 小时。不过,我已把书完整地翻阅了一遍,我发现他在运动这个问题上研究得相当不错,尽管他的论述中只有极少的内容我认为是完全正确的。但是,就我所看到的内容而言,当(转下页)

此我们再次可以看到,经典物理学和笛卡尔哲学中那些对我们来说已经习以为常的观念,那些既简单又清楚的观念,要获得和掌握它们是多么艰难!甚至对于像伽利略和笛卡尔这样的人来说也还是如此艰难!

时光飞逝,转眼笛卡尔离开与毕克曼那次难忘的相遇已有十年之久。十年后,笛卡尔再次有机会来关注落体问题。这一次是他的朋友梅塞纳向他提出了问题。而他的答复几乎在所有方面都与他曾经给予毕克曼的答复完全不同<sup>[106]</sup>,除了有一点例外:与十年前完全一样,笛卡尔还是给了他的朋友一个错误的公式。在这个与以前完全相同的公式中,运动物体的速度依然不是物体所经历的时间的函数,而是通过的距离的函数。

笛卡尔写道<sup>[107]</sup>:

123

首先我假定,运动一旦被赋予物体,除非有什么别的原因来阻止它,否则它就会以某种方式保持下去。也就是说,在虚空中的物体一

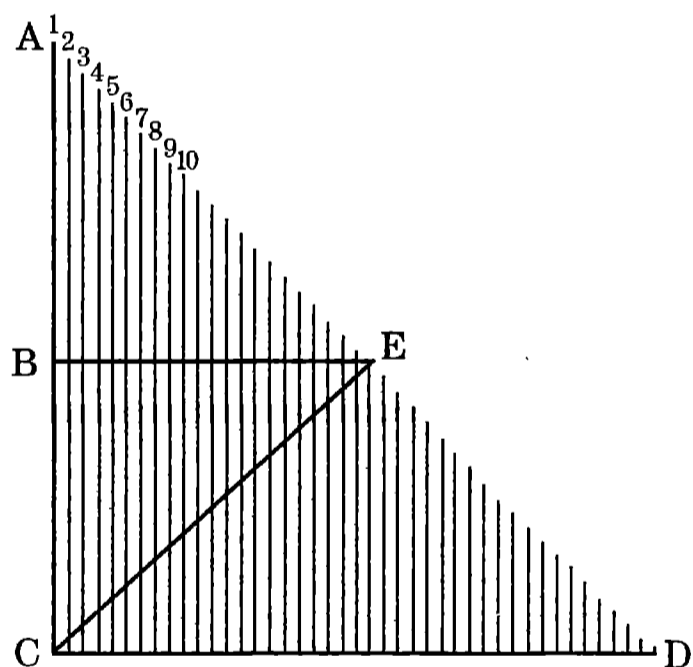
---

(接上页)他顺从公认的观点时比他背离这些观点时错得更多。然而,也有一个例外,即当他论及潮汐时,我发现他的观点相当牵强。我自己也曾在《论世界》中用地球的运动来解释潮汐现象,但我所用的方式与他的方式完全不同。然而,我不得不认为,我在他书里碰到了几种我的思想,其中有两种我认为我以前曾写信告诉过您。第一种是:当重物下落时,它们所通过的距离之比等于它们下落所用时间的平方之比,也就是说,如果一个球用了3个瞬间从A下落到B,那么它只需用1个瞬间就可以从B继续下落到C,等等。我这样说有很多限制条件,因为实际上这种思想绝不会像他认为他已经证明了的那样完全正确。”笛卡尔的限制条件相当奇怪,然而在他的物理学中,这种限制条件却完全可以理解。伽利略的解答预先假定了虚空和吸引力,然而,笛卡尔现在却不能接受这两个假定中的任何一个。但是,我们在此所感兴趣的并不是这一点,而是以下这个事实:即笛卡尔相信他在伽利略的书中发现了他自己对问题的解答,尽管这种解答与他自己的解答完全不同。关于这种“不同”,参见我们已在前文第59号注释中引用过的P. Tannery的文章。

[106] 奇怪的是,迪昂认为这两个答复完全相同(参见 Duhem, *op. cit.*, p. 569)。另外,为了理解笛卡尔的论证,迪昂发现他不得不将上述论证中所附的图翻转过来(*ibid.*, p. 566)。

[107] 参见1629年11月13日笛卡尔致梅塞纳的信(*Lettre à Mersenne*, A. T., v. I, p. 71; éd. Adam-. Milhaud, v. I, p. 85 sq.)

一旦开始运动,就会以相同的速度<sup>[108]</sup>一直运动下去。然后,您再假定在 A 点的一个重物在它的重性推动下向 C 点运动。我认为,如果自从它一开始运动,它的重性就抛开它不管,它也会保持同样的运动直到它到达 C 点。但此时物体从 A 到 B 的运动,既不会比从 B 到 C 的运动快,也不会比它慢。现在,由于情形并非如此,而是当物体还保持着推动它向下运动的重性时,在每一个瞬间都有使它下降的新的力添加进来,因此,物体通过距离 BC 的速度要比通过 AB 的速度快得多,因为在物体通过 BC 时,它不仅保持着推动它通过 AB 的全部冲力,而且由于每一个新的瞬间物体都再次受到了的重性的作用,从而增添了一个新的冲力。至于速度增加的比例,可以通过三角形 ABCDE 来表示;因为第一条线代表着在第一个瞬间被赋予速度的力,第二条线代表第二个瞬间被赋予速度的力,第三条线代表第三个



瞬间被赋予速度的力,如此等等。这样就形成了三角形 ACD,它代表着重物从 A 下落到 C 的过程中速度的增加情况;三角形 ABE 则代表着这个重物通过前半距离的过程中速度的增加情况;梯形 BCDE 代表着物体通过后一半距

[108] 注意这个细节。毕克曼只是说:以相同的方式永远运动下去;笛卡尔则明确指出:以相同的速度。当然,毕克曼也只会这样理解;对他来说,这是不言而喻的。但是,我们必须指出这一点,因为一个物体完全可以在不保持它的速度的情况下永远运动下去,甚至“以相同的方式”永远运动下去,例如,以一直加速的方式,或者相反,以一直减速的方式运动下去。运动守恒定律无疑蕴涵着速度的守恒;但是,有必要明确阐述这一点。笛卡尔只需要在速度守恒之上再添运动方向的守恒就足以提出惯性原理。这种添加是充分的,但也是绝对不可缺少的。因此,与迪昂(“De l'accélération”, etc., p. 904)和德瓦尔(*Correspondance*, vol. II, pp. 236, 237)的观点正相反,我们认为,在至今为止我们已引述过的文本中,无论是笛卡尔还是毕克曼都没有表述出惯性原理。

离(即 BC)的过程中速度的增加情况。很明显,由于梯形 BCDE 是三角形 ABE 的三倍大,由此可得,重物从 B 下落到 C 也将是从 A 下落到 B 的三倍快;也就是说,如果重物从 A 下落到 B 需要 3 个瞬间,那么它仅用 1 个瞬间就可以从 B 下落到 C。这也意味着,在 4 个瞬间中,它所通过的路程是前 3 个瞬间通过路程的两倍。因此,在 12 个瞬间中,他通过的路程是前 9 个瞬间所对应路程的两倍,在 16 个瞬间中,它通过的路程则是前 9 个瞬间对应路程的四倍,其余依此类推。<sup>[109]</sup>

我们刚刚说过,笛卡尔寄给梅塞纳的关于落体问题的解答与他在毕克曼的影响下所构想的解答很不相同。事实上,曾经被毕克曼运用得如此卓有成效的“吸引”观念现在已经完全消失了。事实上,通过回到冲力的观念,笛卡尔对落体问题的解释与贝内代蒂或者斯卡利杰<sup>[110]</sup>所给出的解释仅有极其微小的区别:重性作为物体的本质属性在每一个瞬间都产生了一个新的冲力,推动物体向下运动;“加速”来源于这样一个事实,即这些冲力是在每一个新的瞬间相继产生的(这种“加速”观念相当于把通  
过“吸引”<sup>[111]</sup>的术语发展而成的观念转换成用“冲力”的术语来表达);事

125

---

[109] 笛卡尔所想象的落体运动比实际的落体运动进行得更快。事实上,在 3 个“瞬间”和 4 个“瞬间”内分别通过的距离之比等于  $3^2$  与  $4^2$  之比,即等于 9 比 16。因此,在 4 个“瞬间”中通过的距离并不等于 3 个“瞬间”通过距离的“2 倍”。五年以后,当笛卡尔翻阅《对话》时,如果他能记起这个计算,他就不可能认为他的解答与伽利略的解答是相同的。因为在伽利略的书中,前后相继的[相等]时段中通过的距离之比等于从 1 开始的各奇数之比(*sicut numeri impares ab unitate*),而在笛卡尔这里则并非如此。但是,在笛卡尔阅读伽利略的书时,他对于就实际的落体问题给出一个精确数值的解答已经完全不再抱任何期望。因此,伽利略所研究的(而且之前他本人也研究过的)在虚空中下落的抽象情形已不再令他感兴趣:虚空的观念是荒谬的,它对于一种研究清晰观念的物理学毫无用处。

[110] 参见前文第 93 页及以下。

[111] 重性连续地产生出一些瞬时力(即冲力),推动着物体,并在运动过程中保持着。实际上这里的冲力(就像在卡尔丹那里,以及有时在伽利略那里)完全等同于运动和速度。这是一种传统观念在新物理学内部的遗迹。至于抛弃“吸引”(attraction)的观念,它是笛卡尔思想的典型特征;与这种含糊的观念(超距作用)相比,笛卡尔显然更喜欢“重性”(gravité)的观念。

实上,每个冲力也都产生了一个恒定速度的运动;因此,只有通过新的冲力的逐渐累积,加速过程才能得到解释。从此以后,毕克曼的原理(运动守恒原理)实际上将会被毫无保留地加以肯定(尽管并没有提到毕克曼)。但是,极为蹊跷的是,上述运动守恒原理竟被再次引向冲力守恒原理。

笛卡尔关于落体运动(即匀加速运动)的公式推导也与先前的推导大不相同,正如我们已经说过,只有最终的公式是相同的。与以前一样,笛卡尔从时间滑向了空间,从物理学滑向了几何学。

事实上,只要笛卡尔开始思考加速的实在机制(物理机制),他就会看到冲力一个接着另一个在时间的相继瞬间中产生和涌现。相反,只要他一转向运动的数学研究,他就立即用空间代替时间,用通过的距离代替经历的时间。

说实话,笛卡尔用作他的公式推导的基础的图形不是很清晰。它完全不同于以前的图形,除了有一点例外:即从高到低的垂线 AC 还是代表着下落轨迹。就像以前一样,笛卡尔的思想还是受到了几何学想象的诱惑。他的推理似乎如下所述:在下落的第一个瞬间,第一个冲力产生了一个运动,这个运动(独自)带着物体以一个给定的速度向 C 运动。这个冲力将在整个运动路程中一直发挥作用。因此,它就由象征着整个运动轨迹的直线 AC 来表示。第二个冲力产生了某一个(绝对)速度的运动,这个速度与由第一个冲力所产生的速度大小相等。但是,这第二个冲力并不是从运动一开始就发挥作用,而可以说是在离开 A 点某段距离时才突然作用于物体;第三个冲力还要运动得更远些<sup>[112]</sup>才开始发挥作用,其后依此类推。因此,冲力之和就可由在它们各自发挥作用期间物体经过的各部分路径(通过的路程)之和来表示。

我们可以说,笛卡尔已经忘记冲力是连续发挥作用的,或者毋宁说,

---

[112] 当然,这些距离是无限小的。

他将这种连续看做是沿着物体通过的轨迹展开在空间之中。<sup>[113]</sup> 甚至到了1629年,由于笛卡尔还是没能完全掌握他的守恒原理所引入的新运动观念,他总是把下落的因果概念与它的数学分析分离开来,把下落的“时间性演变”和它的“几何学表示”分离开来。

虽然梅塞纳没能很好地理解笛卡尔的解释,但他并未抱怨笛卡尔。因此,笛卡尔再次试图向他解释,并写信对他说:<sup>[114]</sup>

在您的上一封信中,您问我为什么我认为在下落的第一个瞬间重性赋予物体的速度是一,在第二个瞬间是二,等等。如果不会冒犯您的话,我会回答说,我想说的并不是这个意思,而是指在第一个瞬间重性赋予物体的速度是一,在第二个瞬间由同样的重性再次赋予物体的速度也是一,等等。现在,由于第一个瞬间是一,第二个瞬间也是一,加起来就等于二,再加上第三个瞬间的一就等于三,速度就这样按算术比例增加。现在,我认为,我已经充分证明了,重性永恒地伴随着它所在的物体;如果重性不是持续地推动物体向下运动,它就不可能伴随着物体。因此,如果我们假定,比如说,有一块铅由于重性的作用而下落,而且假定从开始下落的第一个瞬间起,上帝就取消了这块铅的所有重性,以致从此以后,这块铅不再重于空气或羽毛,但是因为铅块已经开始下落,所以它依然会继续下落,尤其在虚空之中更是如此。因为我们不可能给出任何理由来说明,为什么它的速度只会减少而不会增加。现在,如果经过某段时间之后,上帝又将重性归还给了铅块,但只是还给它一瞬间。这一瞬间过后,上帝又再次取消了它的重性。难道在这第二个瞬间,重性不是像它在第一

[113] 从某种意义上说,这一点是完全正确的:实际上加速发生在运动过程中的每个点。

[114] 参见1629年12月18日笛卡尔致梅塞纳的信(*Lettre à Mersenne*, A. T., vol. I, p. 89; éd. Adam-. Milhaud, v. I, p. 97 sq.),原文是用拉丁语写的。

个瞬间所做的那样推动着铅块吗？对于其他各个瞬间，我们也同样可以这么说。由此可以肯定地得出，如果您在空虚的空间中 (*in spatio plane vacuo*) 从 50 英尺的高处让一个球自由下落，那么无论这个球是由什么材料做成，它通过前 25 英尺的高度所用的时间，总是恰好为它通过后 25 英尺高度所用时间的三倍。但在空气中，情况就完全不同了……

说实话，与笛卡尔在前一封致梅塞纳的信中所说的内容相比，这个新解释并没有增加任何新东西。值得我们再次引起注意的是：重性是添加到运动物体之中并推动物体向下运动的原因，笛卡尔的观念再次变得与冲力理论家们的观念多么相似！这纯粹就是贝内代蒂的观念。<sup>[115]</sup> 我们还要注意的是，笛卡尔在页边空白处补充道：“必须牢记，我们已经承认，在虚空中，物体一旦被推动，它就会永远运动下去，我将会在我的论文中证明这一点”。最后，值得我们注意的是，在这同一封信中，笛卡尔提到了毕克曼，并在提到他时写道：“**就像我一样**（黑体为我们所加），他也承认，物体一旦开始运动，如果不被某种外力所阻止，它就会通过它自身固有的力 (*sua sponte*) 持续运动下去，因此，在虚空中物体就会永远运动下去……”

在随后的几年中，笛卡尔还有很多次机会回到落体问题。然而，他再也没有试图去给出落体运动的公式，他再也没有去尝试建立落体定律。这是因为，在 1630 年前后，笛卡尔的思想经历了一次非常深刻的转变 (*évolution*)。这种转变是如此深刻，又是如此根本，以致我们可以称之为**一场革命** (*révolution*)。方法论的反思，对于人类思想及其与实在之间的关系**的沉思**，以及笛卡尔在《*指导心灵的规则*》 (*Regulae ad directionem*

---

[115] 参见本书第一部分：“经典科学的黎明”，前文第 51 页及以下。

ingenii)<sup>[116]</sup>中为我们表述得相当出色的种种关注,这些努力都开始结出累累硕果。因此,从今以后,笛卡尔将“根据理性的秩序”,而不再根据物质的秩序来重建物理学(和物理世界)。

我们无须再强调这场思想革命的具有决定意义的重要性。<sup>[117]</sup>我们只需指出,上述秩序的倒转使得笛卡尔能够以一种无与伦比的清晰性去把握并为我们阐明新的运动概念以及新科学的基础;它使得笛卡尔能够确定新科学的结构及其本体论性质;它也使得笛卡尔能够以完美的明晰性表达出了新科学的很多内容,而在此之前,这些内容只能被含混地表达在(或模糊地隐藏在)毕克曼和伽利略等人的思想之中(我们在研究过程中应该已经对这一点有所“阐明”了);最后,它还使得笛卡尔能够表述出惯性原理;这些辉煌的成就足以将作为科学家的笛卡尔(Descartes-savant)和作为哲学家的笛卡尔(Descartes-philosophe)置于同一行列,即都置于第一流的行列。

128

然而,令人奇怪的是,同一场思想革命却也让笛卡尔与所有的具体成就失之交臂,包括那些“新科学”的具体成就,以及在他那个时代发展起来的数学物理学的具体成就;而且对于这种数学物理学的创立,笛卡尔本人甚至还曾经给予了如此强有力的支持。

这一事实已是众所周知。正如他在《哲学原理》(*Principes*)中对我们显示的那样,笛卡尔的物理学不再包含任何可用数学方法来表达的定律。<sup>[118]</sup>事实上,他的物理学与亚里士多德的物理学几乎同样地非数学

---

[116] *Regulae ad directionem ingenii* 是笛卡尔在 1628 年左右用拉丁文写成的手稿,生前未发表,直到笛卡尔去世 50 年后才在荷兰阿姆斯特丹出版。中译本可参见笛卡尔:《探求真理的指导原则》,管震湖译,北京:商务印书馆,1991 年。关于书名涉及的问题及其译法,详见管震湖先生的中译本附录(第 141 页)。——译者

[117] 参见布兰舒维克的名著:L. Brunschvicg, *La Causalité physique et l'expérience humaine*, Paris, 1925 以及 *Le Progrès de la conscience dans la philosophie occidentale*, Paris, 1927.

[118] 参见 E. Bréhier, *Histoire de la philosophie*, t. II, Paris, 1928, p. 93 sq.



化。至于重物下落问题,《哲学原理》未置一词。

这是一种偶然? 还是一种必然? 在我们看来,这个问题相当重要。

决定只从清晰到清晰,有条理地逐步推进,从开始处开始,也就是说,从“那些最简单和最容易的观念”开始,众所周知,这样的决定意味着自然的彻底数学化,实际上也就意味着自然的几何化<sup>[119]</sup>;它也意味着必须从那些简单和清晰的观念出发,去建构(或重构)并系统发展出他的物理学所使用和蕴涵的全部观念;这最终意味着必须完全抛弃所有的“模糊”观念,而物理学(甚至数学物理学)还在大量使用这些观念。

在他致梅塞纳的一些信件中,笛卡尔对他的新信念给出了极其清晰的表达。1638年9月12日,笛卡尔在信中写道<sup>[120]</sup>:“如果没有澄清重性究竟是什么,以及整个世界体系究竟是什么,关于速度我们就不可能说出任何正确和可靠的东西”。在他对伽利略的著名批评中,笛卡尔(勉强)承认伽利略的“哲学研究亦属不凡”。<sup>[121]</sup> 他批评伽利略的,首先是伽利略的研究工作“没有条理”,而且也没有将所使用的观念的分析一直推进到底;<sup>[122]</sup>因此,伽利略还一直保留和使用着诸如“重性”、“虚空”这样的观

[119] 参见 E. Meyerson, *Identité et Réalité*<sup>3</sup>, Paris, 1926, p. 282 sq.; *La déduction relativiste*, Paris, 1925, pp. 135 sq.

[120] *Lettre à Mersenne*, 12 sept. 1638, A. T., v. II, p. 355.

[121] *Lettre à Mersenne*, 11 oct. 1638, Descartes, *Œuvres*, éd. A. T., vol. II, p. 380: “我发现,一般说来,当他尽其所能地抛弃经院哲学的错误,并试图用数学推理来研究物理学问题时,他的哲学研究亦属不凡。在这一点上我的意见与他完全一致,我也认为除此之外没有其他途径可以发现真理。但是,在我看来,他的不足之处在于:他总是不停地离开主题,他永远不会停下来去完全解释清楚一个问题;这一点显示了他并不是在有条理地研究这些问题,显示了他只是在寻求某些特殊结果的原因,而没有考虑到那些自然的最初原因。因此,他是在没有基础的情况下建立理论的。”

[122] 从某种观点来看,笛卡尔对于伽利略科学的批评是正确的,如果不是在事实上正确的话,那么至少在原则上是正确的。因为笛卡尔指责伽利略构造了一种违反常识和日常经验的数学物理学(参见 *Le Monde*, A. T., vol. XI, p. 41),这种构造是没有合法依据的,也就是说,没有将它建立在一种形而上学基础之上。原则上看,笛卡尔是正确的;但事实上他是错误的:伽利略是一位柏拉图主义者。

念,这些观念可以说明明显有着它们的感性来源,伽利略并没有从那些简单清楚观念出发,即从“广延”和“运动”这些纯粹理智的观念出发去试图重建上述观念。

在1631年的秋天,笛卡尔写信给梅塞纳说:

关于在虚空中重物下落的速度,我不会收回任何我曾经说过的话:因为如果假定虚空真如大家所想象的那样,那么其余的一切就可以获得证明;但是,我相信没有人可以毫无错误地设想虚空。在我答应在年底寄给你的两章内容中,我会尝试解释清楚什么是重性、轻性、硬度等等(*quid sit gravitas, levitas, durities, etc.*)。这就是为什么现在我就此一直克制自己不给你写太多。<sup>[123]</sup>

应该解释清楚什么是重性、轻性、硬度等等,而且应该从运动观念出发,从我们所拥有的最简单的观念出发解释所有这些内容。<sup>[124]</sup>

这真是一种相当悖谬的说法:运动问题难道不是(至少)从亚里士多德以来的哲学问题吗?各种大部头的《论运动》(*De Motu*)难道不是充斥

130

---

[123] *Lettre à Mersenne*, oct-nov. 1631, A. T., vol. I, p. 228. 在1638年(*Lettre à Mersenne* du 11 oct. 1638, 我们前面刚刚引用过这封信),笛卡尔写道(A. T., vol. II, p. 386):“他假定了下落重物的速度总是以同样的方式增加。我以前也曾像他那样认为,但现在我相信可以通过证明知道他是不正确的”,因为伽利略的推导恰恰建立在虚空观念的基础之上,而且他还忽略了阻力和决定加速的推动力(而这些是不可能忽略的)。最后,在1640年,笛卡尔写道(*Lettre à Mersenne*, 30 août 1640, A. T., vol. III, p. 164 sq.):“我已经好几次写信告诉过您,我不相信落体的速度会一直按照时间的平方比例(*in ratione duplicata temporum*)增加,但是我认为,在物体开始下落时,它的速度很可能近似地按照这种方式增加,然而这种方式不可能一直持续下去。我甚至认为,当物体到达某个速度时,它们的速度就不可能再增加了。这一点已被您关于雨滴所写的内容所证实,等等。”在此也顺便指出,自从笛卡尔认为上述落体定律是错误的,他就不再声称他是这个定律的原创者。

[124] 参见 *Regulae ad directionem ingenii*, XII; *Œuvres*, éd. A. T., vol. X, pp. 419-420.

着那些哲学图书馆吗？笛卡尔完全意识到了他的说法的出人意料之处。因此，他对我们解释说，他所涉及的完全不是哲学家们所说的运动，而是涉及完全不同的东西。

哲学家们假定了许多种运动，他们认为物体不用改变位置也能实现这些运动……而在我看来，我不知道还有哪一种运动会比几何学家们的那些线更容易构想：它使物体从一个位置移动到另一个位置，并连续地占据这两个位置之间的所有空间。<sup>[125]</sup>

因为哲学家们还应该为更多的失误而感到内疚。例如：

他们完全没有像对待静止那样来赋予运动一种更可靠和真实的存在，他们说，运动只是某种存在的匮乏。而我认为，静止和运动是两种不同的性质；当物质呆在同一个位置时，我们就应该赋予它“静止”这种性质；而当物质变动其位置时，我们就应该赋予它“运动”这种性质。<sup>[126]</sup>

由此显然可得，运动不是一种过程，而是一种状态，而且也正是作为这样一种状态，它在笛卡尔的思想所构建的新“世界”中遵循着在“旧世界”中适用于状态的那些定律。因此，在上帝让物质遵循的所有“规则”中，第一条便是：

物质的每一部分总会继续保持其原有的**状态**<sup>[127]</sup>，只要它与其他

[125] *Le Monde*, A. T., vol. XI, p. 39.

[126] *Ibid.*, p. 40.

[127] 黑体为我们所加。

部分的碰撞没有迫使它改变自己的状态。也就是说：……如果它停留在某个位置，除非它受到其他部分的驱赶，否则它将永远不会离开这个位置；一旦它已经开始运动，它就总会以同样的力保持其运动，直到其他部分使它减慢或停止运动。<sup>[128]</sup>

哲学家们并不是不熟悉这个守恒定律。相反，他们假定它对许多事物成立，其中就包括“静止”，但是“他们却将运动排除在外，而它却是最明确地希望这条规则能涵盖的事物。不要认为只是由于这一点我就试图反驳他们：他们所说的运动跟我所设想的运动有着如此巨大的差别，以致很容易发生这样的情况，即在一方看来是正确的东西，在另一方看来并不正确”<sup>[129]</sup>。

我们清楚地知道，笛卡尔是有道理的：他的“运动—状态”(mouvement-état)(即经典物理学的运动)与亚里士多德的物理学和经院物理学的“运动—过程”(mouvement-processus)不再有任何共同之处。正是由于这个原因，它们在本质上服从完全不同的定律：当运动物体处于亚里士多德的秩序井然的宇宙(Cosmos)之中时，“运动—过程”显而易见需要一个维持它的原因；而当运动物体处于笛卡尔的“广延世界”(Monde-étendue)中时，“运动—状态”显然能够自行维持，并在笛卡尔哲学在它面前打开的完全几何化的无限空间中沿着直线无定限地持续下去。

我们早已说过，我们无需再强调笛卡尔的工作多么重要以及多么具有决定性意义。他的工作确实以一种无与伦比的可靠性完成了宇宙(Cosmos)的解体并奠定了新本体论的框架。但是，现在也让我们来看一看笛卡尔工作的另一面。

笛卡尔的运动是最清楚和最容易认识的事物。他曾经对我们说过，

[128] *Le Monde*, A. T., vol. XI, p. 38.

[129] *Ibid.*

这种运动不是哲学家的运动。但是,它也不再是物理学家的运动,甚至也不是物体(*corps physique*)的运动。它是几何学家的运动,或者说,是一些几何学实体的运动:是一个点描绘出一条直线的运动,是一条直线画出一个圆的运动……但是,与物理运动相反,这些运动没有速度,也不在时间中发生。彻底几何化(笛卡尔思想的这种原罪)导致了非时间化:它保留了空间,但取消了时间。<sup>[130]</sup> 它将实在消融在几何学之中。但是,实在进行了报复。

毫无疑问,落体定律是一个“抽象定律”。无论是笛卡尔(我们暂且将他在提出这个定律时犯了错误这一事实搁在一边)和毕克曼以前提出的落体定律,还是伽利略在此期间提出的落体定律,都是一个抽象定律,一个在人类的日常经验中无法严格实现的定律,因为它假定了虚空的存在;或者严格说来,由于它不考虑空气的阻力,所以只有在虚空中才能成立。此外,正如笛卡尔已明确指出,它还假定了重性作用总是保持不变。只有在我们还不了解重性的本质的情况下,我们才会接受这样的假定。但是,笛卡尔现在知道了以下这个事实:重性绝不是物体的某种简单和基本的性质;它也不再是重物被地球所吸引的某种表现。它产生于某种推力,是物体被大量微粒,被围绕着地球做旋涡运动的精细物质推向地球的结果。<sup>[131]</sup> 因此,我们看到,假定虚空的存在是多么不合情理:不仅虚空自身不可能,不仅接受虚空的存在会迫使我们承认关于一种超距作用(吸引)的模糊和神秘

[130] 必须指出,对于笛卡尔和笛卡尔主义者来说,广延(*étendue*)是一种实体或本质属性(*attribut essentiel*),而绵延(*durée*)则被混同于存在,时间只是一种样式(*mode*),甚至只是一种主观的样式。

[131] *Lettre à Mersenne*, 16 octobre 1639, A. T., vol. II, p. 593 sq. :“为了理解绕地球旋转的精细物质如何推动重物趋向地心,请您在某个圆形容器中放一些细铅砂,同时在其中掺杂几片木头,或者掺杂比铅更轻、但比铅砂更粗大的其他物质,然后,当您非常快速地旋转这个容器时,您将会看到这些细铅砂正推动着所有的木片或其他类似物质趋向容器的中心,就像精细物质推动着地球上的物体一样,如此等等。”关于笛卡尔的引力理论,参见穆仪的杰出著作:P. Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, Paris, 1934.

的观念,而且更具体来说,假定虚空的存在丝毫也不能使物体更容易下落:相反,它会使下落变得不可能。笛卡尔写道:“可以肯定的是,如果围绕地球旋转的精细物质不在那儿旋转了,那么没有任何物体还会有重量……”<sup>[132]</sup>

然而,在笛卡尔以前曾就落体问题“写信告知”梅塞纳的那些内容中,他“不仅假定了虚空,而且还假定了使石头运动的力,这种力总是在恒定地发挥着作用,这明显违反了自然定律:因为所有自然力量所发挥作用的大小,都取决于它们作用的对象在多大程度上倾向于接受它们的作用;而可以肯定的是,当一块石头正在极其快速地运动时和当它极其缓慢地运动时,这两种情况下石头接受某种新运动,或者接受某个速度增量的倾向是不一样的”。<sup>[133]</sup> 由此可知,加速并不是均匀的;因此,推理本身的基础就坍塌了。

令人惊讶的是,笛卡尔似乎误解了他自己曾明确表述过的运动相对性定律。<sup>[134]</sup> 同样令人惊讶的是,他还提到了自然力量……因为在笛卡尔的世界中,在这个几何学被实在化(Géométrie réifiée)的世界中,只有一种“自然力量”:运动。而对于这种力量来说,笛卡尔的命题是完全成立的。事实上,在笛卡尔的世界中,物质之间只有唯一的交流方式:接触,也只有唯一的作用方式:碰撞。很明显,如果一个物体与正以给定速度运动的另一个物体发生碰撞,那么前者从后者处感受到的冲击力要取决于前者自身的运动状态。因此,一个下落物体所能感受到的连续冲击将会变得越来越微弱,因此,这个物体的速度将不会无限制地增加,而是会接近某个极限:精细物质自身的运动速度。事实上,这也就解释了重物在自由下落时是如何加速的:

[132] *Lettre à Mersenne*, 25 décembre 1639, A. T., vol. II, p. 635.

[133] *Lettre à Mersenne*, oct-nov. 1631, A. T., v. I, p. 230; A. M., v. I, p. 211.

[134] 参见本书第三部分,下文第 338 页。事实上,笛卡尔根本没有误解相对性观念;相反,他运用了这种观念。

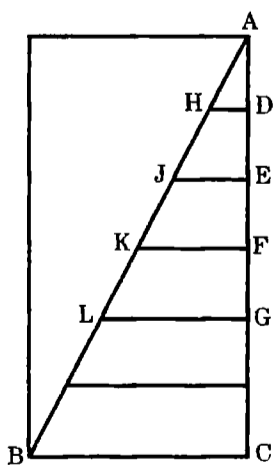
在第一个瞬间,精细物质推动着下落物体,并赋予它一个速度;……在物体刚开始下落时,这个过程以双倍的比例(*ferè rationem duplicatam*)进行。但是,当物体下落了几个图瓦兹(*toises*)<sup>[135]</sup>之后,这个比例就会完全消失,速度不再增加,或者几乎不再增加。<sup>[136]</sup>

现在,既然下落机制被还原成了碰撞机制,显然,重物的性质,即它的物理构成,就应该在其中起着决定性的作用。事实上,物体透光程度的不同,将会直接影响它们对精细物质微粒通过的阻力的大小;这也就意味着它们在多大程度上经受着这些微粒的碰撞。由此可知,物体将会以不同的速度下落。实际上,笛卡尔曾在信中对梅塞纳写道:

134

至于您问我伽利略关于下落物体运动速度所做的计算,它与我的哲学根本不一致。在我看来,例如有两个铅球,一个重1磅,另一个重100磅,它们之间的比率与同样重量(也是一个重1磅,另一个重100磅)的两个木球之间的比率并不相同,甚至也不同于另外两个铅球(一个重2磅,另一个重200磅)之间的比率。这些都是伽利略无法区分的情形,而这也让我相信伽利略并未达到真理。<sup>[137]</sup>

[135] 法国旧长度单位,1图瓦兹约相当于1.949米。——译者



[136] *Lettre à Mersenne* du 11 mars 1640, A. T., v. III, p. 37 sq. 另参见 *Lettre à Mersenne*, 11 juin 1640, A. T., vol. III, p. 79. :“落体在运动结束时比在运动开始时所受到精细物质的推动更小,我这样说不是因为什么别的理由,而只是因为运动结束时,落体速度与精细物质的速度之间的差距更小。例如,如果物体A不动,物体B以每刻钟通过1里(*lieue*)的速度向C运动,此时当B碰撞A时,A所受B的推动比另一种情形(即当A自身已经以每半小时通过1里的速度向C运动时)更大,而当A已经运动得与B同样快时,也就是说,当A的速度也已经

达到了每刻钟通过1里时,A就完全不会再受到B的推动。”

[137] *Lettre à Mersenne*, nov.-déc. 1632, A. T., vol. I, p. 260; éd. Adam-Milhaud, vol. I, p. 234.

无疑,伽利略并未达到真理。但是,这个真理是什么呢?依据事物的本性(*in rerum natura*),物体又是如何下落的呢?

一开始,笛卡尔希望能够“现在就确定,如果一块石头不是在虚空中(*in vacuo*),而是在我们生活的真实的空气中(*in hoc vero aer*)下落,那么它将会以什么样的比例加速”<sup>[138]</sup>。但是,几年之后,笛卡尔发现这个问题比原来他所以为的还要困难得多。当然,对于伽利略相信所有物体都以同样的速度下落的观点,他认为肯定是错误的。而且同样错误的是,伽利略还相信各种运动是相互独立的。在抽象中情形可能会如此,但是,在现实中,“至于他就一门大炮朝着水平方向平行发射所说的情况,我相信如果您精确地进行这个实验,您就会发现某些足以令人觉察的差别”<sup>[139]</sup>。笛卡尔是有道理的:当运动物体穿过空气时,空气阻力支撑着物体。但是,怎样才能提出实际的测量方案呢?笛卡尔最终无法给出这个方案,他沮丧地写信给梅塞纳说道:

我得请求您原谅,因为我恐怕无法回答您关于空气如何阻碍在其中运动的重物这个问题。这个问题取决于如此多的其他因素,以致我无法在一封信中给出清晰的阐述。我只能说,无论是伽利略还是其他任何人,他们都不可能就此问题给出任何清晰和有说服力的观点,除非他们首先知道重性是什么,以及拥有正确的物理学原理。<sup>[140]</sup>

[138] *Lettre à Mersenne*, nov.-déc. 1632, A. T., vol. I, p. 260; éd. A. T., vol. I, p. 231; éd. Adam-Milhaud, vol. I, p. 211.

[139] 我们知道,伽利略曾经断言,一枚从塔顶水平抛出的炮弹将会与另一枚从塔顶垂直下落的炮弹在同一瞬间落地。参见 *Dialogo, Opere*, v. VII, p. 181;另参见 *Lettre à Mersenne*, 19 août 1634, A. T., v. I, p. 305, éd. Adam-Milhaud, v. I, pp. 265, 287.

[140] *Lettre à Mersenne*, 22 juin 1637, A. T., v. I, p. 392, A. M, v. I, p. 364. 另参见 *Lettre à Mersenne*, 12 sept. 1638, A. T., v. II, p. 355:“因为除非首先对‘重性究竟是什么’以及整个世界体系给出一个正确的解释,否则不可能针对速度说出任何合理而又可靠的(转下页)



135 这样说当然没错。但是，笛卡尔自己确实拥有这些“正确的物理学原理”，他也知道重性是什么，那么，他为什么会拒绝为我们解答这个问题呢？因为这个问题太过复杂了。因为在笛卡尔自己的物理学中，即在一种关于“充实”(le plein)和“连续”(le continu)的物理学中，所有事物之间都相互依赖，所有事物之间都瞬时地相互作用。人们无法孤立出任何现象，从而无法提出任何数学形式的简单定律。<sup>[141]</sup>

人们无法孤立出任何现象，因此，人们也就无法发展出像伽利略的物理学那样的“抽象”物理学。在伽利略的世界，即一个阿基米德的世界里，人们可以通过忽略真实、具体情形的复杂性来进行抽象，这种抽象是完全合法的。这使得伽利略能够抽离出简单的情形(或者说，理想的情形)，并从这种情形出发解释复杂和具体的情形。但是，笛卡尔能够发展的只是一种具体的物理学，伽利略的抽象不会将笛卡尔引向简单的情形：它只会将他引向无法设想的情形。为了发展出某些类似于伽利略物理学的内容，笛卡尔需要研究的不是简单情形，而是一般情形。<sup>[142]</sup>但是，这种关于某个物体在理想流体内部运动的研究，远远地超出了他所拥有的数学手段。按照笛卡尔自己的说法，这种研究已经超越了人类知识的界限。实验研究也同样不可能。因为，我们如何才能测量上述问题的最重要的已知条件，即精细物质的运动速度呢？

因此，极为奇怪的是，笛卡尔未能成功地推导出正确的落体定律，因为他没有掌握毕克曼向他建议的运动新观念，因为他不知道如何将落体现象的物理学(因果)研究与他的数学分析整合为一体。因此，就在他已

---

(接上页)观点。然而，因为我并不想承担这项工作，我已发现一种忽略上述考虑的方法，这样我就能将它与其他考虑分离开来，以便我能够在没有它的情况下解释其他考虑。因为，尽管没有任何一种运动不具有某个速度，但是人们能够考虑的只是这个速度的增减，而当人们谈论一个物体的运动时，总会同时假定这种运动按照某个速度而发生，这个速度对运动来说是最为自然的。因此，如果人们完全不考虑这个速度，情况也完全相同。”

[141] 参见 E. Bréhier, *Histoire de la philosophie*, Paris, 1928, t. II, p. 97 sq.

[142] 参见 G. Bachelard, *La Valeur inductive de la relativité*, Paris, 1929.

经完全阐明了运动观念,已经成功表述出了惯性原理这一近代科学的基本原理的同时,他竟然放弃了落体问题!我们已经说过,原因就在他不懂得保持平衡:通过将广延与物质相等同,他已经用几何学取代了物理学。再强调一次,彻底几何化,时间的取消,正是由于这些原因,关于清楚观念的物理学,一种向柏拉图回归的物理学,最终导致了失败,一种与柏拉图自己的失败何其相似的失败!<sup>[143]</sup> 136

### 三、再论伽利略

现在,让我们回到伽利略。

《伽利略全集》的第二卷收入了一个片断<sup>[144]</sup>,这个片断来自他的“新科学”的初稿。此外,这个片断还出现在《两门新科学》(*Discours et Démonstrations*)中。在上述片断中,伽利略写道:

在前一章里我们已经考察了匀速运动的那些性质。现在,我们应该来讨论一下加速运动。

首先,对于我们在自然中发现的这种运动(加速运动),我们有必要来恰当地研究和阐释它的定义。因为,尽管人们可以任意地发明某种运动,并思考这种运动可能具有的特性(例如,有些人已经想象出诸如蚌线和螺线这样一些曲线,并花了很多心血来研究这些曲线的特性。这些曲线就是在某些运动的帮助下构想出来的,尽管我们在自然中并未发现这些运动),然而,在这些运动,尤其是在重物下落

[143] 正是对这种失败的警觉才使得笛卡尔物理学在《哲学原理》中呈现出某种实用主义的面貌。

[144] Galileo Galilei, *Opere*, vol. II, p. 261 sq. 另参见 *Discorsi e dimosrazioni matematiche intorno à due nuove scienze*, *Opere*, vol. VIII, p. 197.

的运动中，自然却采用了一种确定的加速方式。现在，只要我们将要提出的加速运动的定义与自然加速运动的本质相吻合，我们就可以来研究这种运动方式的各种特性。经过长时间的努力，我们已经有信心能做到这一点。在上述努力过程中，我们主要受到了以下这个原理的引导，即所有通过自然经验呈现于感官的事物都应该符合我们将要从定义中推导出来的那些征象(symptômes)，并与这些征象保持一致。最后，在探究自然加速运动的定义的过程中，我们对于其他自然作品的特征和用途的洞察，就像指路之手一样引领着我们。在这些作品中，自然总是习惯于使用最直接、最简单和最容易的方法。

137

因为，我估计没有人会认为，游泳或飞翔能够以一种比鱼儿和鸟儿通过自然本能来运用的方式更简单和更容易的方式来实现。

因此，当我看到一块原先是静止的石头从高处下落，并不断获得新的速度增加时，为什么我就不能够相信，这些增加是以所有方式中最简单和最明显的那种方式发生的呢？运动物体保持不变，运动原理也保持不变，为什么其余事物就不能同样保持不变呢？你也许会说：因此，速度保持不变[均一]。绝非如此。事实上，可以肯定的是，速度并不相同，而运动也不是匀速的。因此，我们不应该在速度中，而应该在速度的增加中，即在加速中寻求和确定同一性（或者毋宁说，寻求齐一性和简单性）。当我们仔细地研究这个问题，我们就会发现，没有一种增加会比总是以相同的方式增加更为简单的了。现在，只要我们将注意力集中到**运动和时间的极其密切的关系**<sup>[145]</sup>，我们就很容易理解这种方式。因为，我们只有通过时间和空间的不变性才能定义和设想运动的齐一性和不变性（因此，我们才将在相等时段内通过相等距离的运动称为“匀速运动”），我们同样可以设想，速

[145] 黑体为我们所加。

度增加的不变性就是在相等时段内实现的。<sup>[146]</sup> 因此,我们就可以在心灵中认识到,当一种运动是在(任意)相等的时间内<sup>[147]</sup>都会增加相等的速度时,这种运动就是一种均匀持续的加速运动。也就是说,无论我们假定的相等时段是多长,从运动物体离开静止状态并开始下落的第一个瞬间算起,物体在第1个时段和第2个时段内获得的速度的总和是物体单独在第1个时段内获得的速度的2倍;运动物体在3个时段内总计获得的速度则是3倍;在4个时段内总计获得第1个时段内所获速度的4倍。这样一来,如果物体以在第1个时段中获得的速度(或动量)继续运动,并在此后保持这个均匀的速度继续前进,那么这个运动与在第2个时段中获得速度后实现的运动相比,前者就比后者慢了1倍。

138

由此看来,如果我们假定速度的强度(intension)<sup>[148]</sup>随着时间的推延(extension)而增加,我们就似乎不太会搞错。<sup>[149]</sup>

---

[146] 黑体为我们所加。

[147] 黑体为我们所加。

[148] 速度的强度(intension)或程度(degré)是指运动物体的瞬时速度,笛卡尔称之为速度的“元素”或“点”。

[149] 阿尔贝里曾将这个令人赞赏的片断视为伽利略最早期的著作,并将它归入比萨时期的著作一起出版;而法瓦罗则将这个片断归入帕多瓦时期的著作一起出版,并将它的创作年代推迟到了1604年。我们不能接受上述创作年代的推定。因为:(1)伽利略致帕奥罗·萨尔皮的信写于1604年10月16日,然而,伽利略在信中告诉我们,要发现加速运动的正确定义还需要“心灵的长期努力”。这一点已被许多片断所证实,这些片断已被法瓦罗编辑出版在《两门新科学》的附录之中(*Opere*, vol. VIII, p. 370 sq.),它们基于错误的原理而给出了落体定律的错误推导:如果从1604年起伽利略就已经拥有了正确的推导,那么所有这一切就会变得无法理解;(2)伽利略对于不可分割之物的计算方法的运用,将会迫使我们假定他比卡瓦列里提早20年就已经发展出了这种方法。

因此,在我们看来,尽管我们无需再回到卡韦尼的假设(Caverni, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, vol. IV, Bologna, 1895, p. 295),他将这项发现推迟到了1622—1623年,但我们应该接受沃尔威尔的假设,他将这项发现的时间确定在1609年。所以,我们应该将这个片断的创作年代推迟到法瓦罗指定的年代之后。

伽利略关于匀加速运动的定义明确假定了速度的连续增加,尤其是假定了从静止开始的连续增加。<sup>[150]</sup> 用伽利略自己的话来说,这个定义意味着物体将会“经历所有的速度(degrés de vitesse)和慢度(degrés de tardiveté)”,也就是说,在运动开始时,物体将会无限缓慢地运动。从比萨时期开始,伽利略就已经接受了这种观念。即使是在当时那些最优秀的人看来,这种观念也理所当然地令他们感到离奇和难以置信。<sup>[151]</sup> 因为,怎么能假定一种运动可以无限缓慢地发生呢? 怎么能设想从静止到运动,也就是说,从无到有的某种连续过渡呢? 相反,难道人们不应该假定在物理实在之中,运动的极小量总是对应着作用的极小量吗?<sup>[152]</sup> 卡瓦列里本人就对此犹豫不决,并要求伽利略作出解释。<sup>[153]</sup>

卡瓦列里的问题并没有让伽利略感到措手不及。在前面我们引述过的片断中,伽利略本人就已经预料到了这种反驳:<sup>[154]</sup>

当物体从静止状态开始运动,如果从运动的第一个瞬间开始,它就在不断增加新的速度,如果速度与时间的流逝按照同样的比例增加,两者遵循同样的定律,而且从第一个瞬间开始,物体的速度又总

[150] 这个假定并非毫无作用:证据是笛卡尔本人只承认瞬时作用,并质疑这个假定。参见 *Lettre à Mersenne* du 11 octobre 1638, A. T., vol. I, p. 399; 另参见下文第 144 页及以下。

[151] 参见 Mersenne, *L'Harmonie universelle*, t. I, Paris, 1636, p. 74:“人类心灵不能理解,一种连续的运动怎么可能会比另一种更缓慢,这一点已使得西班牙哲学家阿里亚加以及许多其他哲学家不得不认为,运动的缓慢只不过是几段静止中间的某种间隔,尽管我们的感官并没有感知到这些间隔,而且当运动更缓慢时,这些间隔的时间就会更长,数量会更多……;在石块和重物朝着地球中心下落的自然运动中,他也做了这样的假定……”另参见 *Correspondance du P. Marin Mersenne*, v. II, p. 291 sq.

[152] 在其他人当中,毕克曼也持有这样的观点。参见 *Correspondance du P. Marin Mersenne*, v. II, pp. 260, 400。这种观念一点都不荒谬:这正是量子论的观念。

[153] 1626 年 3 月 21 日卡瓦列里致伽利略的信,参见 *Lettre à galilée, Opere*, vol. XIII, p. 312。

[154] 参见 *Opere*, v. II, p. 262。

是不断获得新的增加,那么我们就有理由认为,在第一个瞬间之后,我们不可能确定出如此短的一个时段,以致它短到无论如何也找不出介于它与第一个瞬间之间的更短时段。同样地,当物体离开静止状态之后,我们也不可能确定出如此小的一个速度,或物体运动得如此缓慢的一个运动状态,以致下落物体在它之前已经不再拥有一个更缓慢的运动状态。由于慢度可以增加到无穷大,或者说速度可以减小到无穷小,我们必须承认,运动物体一定曾经有过某个瞬间,在这个瞬间它运动得如此缓慢,以致如果它以这种方式再运动几年时间,它也无法通过一指宽(un doigt)的距离。

的确,这看起来令人吃惊,甚至有些荒谬。然而,

尽管初看起来令人吃惊,但这绝不是错误的。实验(它几乎不亚于理论证明)能向任何人显示这一点。

实验<sup>[155]</sup>涉及到想象我们从木桩上方松开一个重物,重物自由下落并把木桩打入地下(在伽利略那里,所涉及的几乎总是思想实验,这一点几乎无需再重复了)。伽利略指出,木桩的下降运动取决于重物碰撞它的速度。当重物从一个极其微小的高度下落时,它就不产生(或者几乎不会产生)任何碰撞效果。伽利略从这个事实得出,此时木桩的运动也几乎是一种无限缓慢的运动。

这个实验论证让伽利略感到非常高兴。他在《两门新科学》中以略有修改的方式复述了这一论证(我们将在下文以较大的篇幅引述这个论证)。但是,伽利略也清楚地认识到,实验论证还不足以构成一种理论证

---

[155] 参见 *Opere*, v. II, p. 263.

140 明。因此,他通过以下设想来加强他的“实验”:<sup>[156]</sup>

我们应该牢记,同样的速度可以在不同长短的时间内获得。有许多种原因会造成这样的效果,其中我们尤其关注的原因是运动所通过的距离。事实上,重物并不仅仅倾向于垂直地朝着所有重物的中心运动,它们还倾向于沿斜面朝着水平方向运动。斜面的倾斜度越小,这种运动就进行得越缓慢。因此,最缓慢的运动将发生在与水平面所成仰角最小的斜面上;那种无限缓慢的运动(即静止<sup>[157]</sup>)将发生在水平面上。现在,重物可以通过不同运动方式获得不同的速度,这些方式的差别是如此巨大,以致当重物垂直下落时,它在一分钟内所获得的速度,相当于它在斜面上运动1小时、1天、1月甚至1整年后才可能获得的速度。即便重物沿斜面加速下降也是一样。

这些“性质”之间并不矛盾,它们完全有可能存在。这一点可以通过下面的例子来说明,即“通过一个几何学的例子,在其中用一些线来表示速度,用另一条线的匀速运动来表示时间的持续流逝,这就为我们证明了,速度在数目上确实是无限的”。

这真是一个奇怪的推理,而且这个推理显然预设了它正想证明的内容。此外,这个推理还不言而喻地假定了,如果物体从一个给定的高度下落,无论它沿什么路线运动(垂直下落或沿斜面运动),它总会获得相同的速度。<sup>[158]</sup>

---

[156] 参见 *Opere*, p. 264.

[157] 将静止等同于“无限缓慢”似乎又在“静止”和“运动”之间重建了某种连续性。但是,实际上,这只是一种假象:从无限到有限的过渡并不比从无到有的过渡更容易。

[158] 落体的速度只取决于下落的高度,这个命题被伽利略确立为一条“公设”或公理。参见本书第三部分,下文第249页。

《对话》只是一本半科学的著作<sup>[159]</sup>，它巧妙地回避了连续性的问题。但是，《两门新科学》重新来解决这个问题，其中第三天对话的第二节涉及的就是加速运动的研究。在这一节一开始，伽利略就通过他的朋友沙格列陀提出了以下反驳：

沙格列陀：“尽管我既不能够对这个定义，也不能够对其他作者的任何定义提出合理的反驳，因为所有的定义都是任意的，但我还是并无冒犯之意地认为，如果一个定义是被抽象地(in abstracto)构想出来并获得接纳，人们就完全可以怀疑，这样的定义是否能适用于重物下落所发生的自然运动<sup>[160]</sup>，怀疑它能否在上述运动中获得证实。既然上述作者似乎断言，他所定义的运动就是重物的自然运动，那么我很希望他能够帮我消除心中的疑虑，以便我今后可以更加专注地倾听那些命题及其证明。”<sup>[161]</sup>

很明显，这里所涉及的关键是数学化在物理学中的合法性问题。沙格列陀清楚地知道，在纯粹几何学或纯粹运动学中，人们有权谈论在零和某个数值之间插入一个包含无限多的量(或分数)的序列，以致不允许这样做反而是不合理的。但是，究竟是什么样的权利允许人们将数学领域的抽象考虑带进实在领域呢？因此，沙格列陀继续说道：<sup>[162]</sup>

我设想一个重物从静止状态，也就是说，从完全没有任何速度

---

[159] 关于《对话》和《两门新科学》的文体结构和思想结构，以及赋予对话者的角色，参见本书第三部分，下文第 212 页及以下。

[160] 值得注意的是，伽利略在此所提到的“自然运动”已经失去了它在亚里士多德物理学和中世纪物理学中所具有的理论含义，它只是指物体可自发进行的运动，与需要借助外力才能进行的运动相区分，参见本书第三部分的第三节内容。——译者

[161] *Discorsi e dimosrazioni*..., Giornata III, l. II (*Opere*, vol. VIII, p. 198).

[162] *Ibid.*, p. 195.



的状态开始下落。再设想从运动的第一个瞬间开始,它的速度和它所经历的时间就按照相同的比例不断增加。例如,在8次脉动的时间里,物体获得了8级速度,因此在4次脉动中它就仅获得4级速度,2次脉动获得2级,1次脉动获得1级。由于时间可无限细分,因此,当前面提到的速度一直按照同样的比例继续减小时,在物体从无限缓慢(即从静止)出发的运动过程中,没有任何一个速度是我们无法找到的(无论这个速度有多么小,或者毋宁说,无论物体运动得多么缓慢)。因此,如果在第4次脉动之后,物体所拥有的速度如上所述,同时这个速度保持不变,那么它将会使物体在1小时内通过2英里。如果物体以在第2次脉动结束时所具有的速度向前运动,它将会在1小时内通过1英里。由此可得,在越来越靠近物体从静止开始运动的最初几个瞬间里,那时物体将会运动得如此缓慢,以致如果它以同样的慢度继续运动,无论经过1小时、1天、1年或1000年,它也无法通过1英里的路程,甚至还有可能在更长的时间中,它都无法通过一只手的宽度。看来这种现象令**我们的想象力相当难以适应**<sup>[163]</sup>,尤其是当我们的感官向我们显示,一个重物下落后总会立即获得很大的速度时,我们的想象力就更难适应上述现象。

142

沙格列陀援引实验证据来反对抽象的运动学推理。伽利略也同样通过援引实验(或者更确切地说,通过提议做一个实验)来解答沙格列陀的困惑:<sup>[164]</sup>

---

[163] 黑体为我们所加。沙格列陀说得完全有道理:想象力拒绝接受数学推理。因此,问题恰恰在于要用后者来取代前者。

[164] *Discorsi e dimostrazioni*..., Giornata III, l. II (*Opere*, vol. VIII, p. 200).

一开始,这也同样是令我冥思苦想的困难之一。但是,没过多久,我就解决了这个困难。这还多亏了让您的心灵产生困惑的同一个实验。您说这个实验显示了,当重物刚刚从静止开始下落时,它就获得了一个相当大的速度;但我却认为,这个实验向我们显示了,无论一个运动物体有多重,它的最初冲力总是非常缓慢和微弱的。例如,您可以将一个重物放在一种容易弯曲变形的材料之上,松开手直至让重物仅仅用其重量来压迫这种材料。显然,如果此时将重物提起1肘尺(*coudée*)<sup>[165]</sup>或2肘尺,然后再让它下落到同一种材料上,它就会通过冲击产生一个比原来仅由重量单独作用时更大的新压力。这种效果是由下落重物(的重量)与它在下落中获得的速度(两者联合作用)而产生的<sup>[166]</sup>,而且下落的高度越大,也就是说,下落物体的速度越大,上述效果也就越显著。因此,下落重物的速度可以用冲击的质和量来进行精确的衡量。现在,如果我们让一块大石头从2肘尺的高度落到一根木桩上,它并不能使木桩打进地下多大距离;如果石头从1肘尺的高度下落,只能使木桩打进更小的距离;如果仅从一手宽的高度下落,木桩打进的距离还要更小;最后,如果石头仅从一指宽的高度下落,把这种情形与将石头毫无冲击地直接放在木桩上相比,它还能将木桩打进地下多大距离呢?当然会很小。如果石头仅被抬高一张纸的厚度,这种效果就会变得完全无法觉察了。另外,既然冲击的效果取决于撞击物体的速度,那么当冲击效果小到无法觉察时,我们还会怀疑此时的速度是无比微小,而运动是无比缓慢吗?因此,这就是真理的力量,同样一个实验,初看起来似乎向我们显示了一回事,但在更仔细地考察之后,却向我们揭示了相反的

---

[165] 古长度单位,对应于英语的 *cubit*,自肘部至中指端,长约18至22英寸。——译者

[166] 速度和重量的乘积就是动量(*momento*),参见前文第102页。[同时参见前文第52号注释。——译者]

情况。

143 不过,伽利略认为,这是一个涉及科学自身之基础的重要问题。我们无法通过诉诸实验来解决如此重要的问题。实验会加强或削弱推理,但它并不能代替推理。因此,伽利略告诉我们:<sup>[167]</sup>

但是,在我看来,即使不依靠上述实验(尽管上述实验无疑也是结论性的),仅仅通过推理来理解这个真理也并不困难。设想我们让一块很重的石头在空气中保持静止,然后取走它的支撑物并放开它;由于石头重于空气,它就会开始下落。这种下落并不是一种匀速运动,而是一种开始时很慢,随后会不断加速的运动。现在,假定速度既可以无限增大,也可以无限减小,那么我有什么理由相信,这个从无限缓慢(即静止)出发的运动物体立即会得到10级速度(degrés de vitesse),而不是4级、2级、1级、0.5级、0.01级,或者甚至是任意一个无限小的速度呢?请听我说,我不相信您会拒绝承认,在以下两种情形中,即当一块石头从静止开始下落,以及当这块石头在某个推动力的作用下被向上抛至同一高度时,前者速度的增加与后者速度的减小和丧失是以相同的方式进行的。然而,在后一种情形中,在我看来您无法怀疑,当上升石头的速度逐渐减小时,如果它不经历所有的慢度,它就不可能到达静止状态。

亚里士多德主义者辛普里丘反驳说:

但是,如果慢度越来越大,而且其数量是无限的,它们就永远不可能被完全穷尽。这样一来,这个正在上升的重物将永远不可能到

---

[167] *Discorsi e dimosrazioni*..., Giornata III, l. II (*Opere*, vol. VIII, p. 201).

达静止,它将会以不断减速的方式无定限地运动下去。<sup>[168]</sup>然而,这并不是我们所观察到的事实。

伽利略认为,很容易看出,以下情形将使他的观点变得相当难以理解:因为,要理解他的观点,就必须形成“在有限的时间内经历无限多个速度”这样的观念,而为此又必须先形成另一种不可思议的观念:“瞬时速度”的观念,即一种可以说是“不动的运动”的观念,一种似乎与时间失去了密切联系的运动观念<sup>[169]</sup>,换言之,一种运动微分的观念。因此,伽利略继续说道:<sup>[170]</sup>

144

如果运动物体在每一个速度都要停留一些时间的话,它就永远不可能到达静止;但它只是经历而已,并不在那儿多停留一瞬间;而且无论一个时段有多短,它都包含着无限多个瞬间,因此,这些瞬间在数目上足以对应于逐渐减少的、数目无限的速度。至于这个上升的重物不会在同一个速度上停留任何时间,这一点可以从以下情况看出来:事实上,如果我们已经确定了停留的某段时间,运动物体就会在这段时间的第一瞬间和最后一瞬间处于相同的速度,那么从最后一瞬间开始,它就会像从第一瞬间到第二瞬间上升某个高度那样,再上升相等的高度。这样一来,物体就会以同样的方式从第二个瞬间过渡到第三个瞬间。最终,物体将会以上述方式永远继续其匀速

---

[168] 就算实际上情况的确如此,即在一种不断减速的运动中并不存在必然的静止,那么贝内代蒂也早已让我们看到了这一点(参见本书第一部分,前文第57页)。但是,伽利略原本可以援引亚里士多德本人的权威,因为亚里士多德在他的《物理学》(*Physique*, l. V, c. 6, 230b; l. VI, c. 8, 238b)中对我们解释说,从来就不存在运动的最初瞬间,也不存在运动的最后瞬间;相应地,静止也不存在最后或最初的瞬间。

[169] 实际上,情况绝非如此。恰恰相反,只有瞬时运动的观念,即运动元和速度元,或“运动和速度的元素”的观念,才使得解决芝诺悖论所揭示的困难成为可能。

[170] *Discorsi*, III, l. II, p. 201; 同时参见 *ibid.*, I, p. 62.

运动。

由于就“无穷小”的观念所提出的反驳已被排除,从此以后,我们就可以放心大胆地接受以下匀加速运动的定义:

### 定 义

如果一种运动的元素(moments)或速度(degrés de vitesse)从静止开始,或者说从运动的最初瞬间起,就随着时间的增加而增加,那么我就将这种运动称为“匀加速运动”或“等加速运动”。

我们必须承认,伽利略的解释并没有让所有人感到满意,尤其是没有让笛卡尔感到满意。笛卡尔首先承认的是连续性:难道速度不是一种“量”吗?难道连续性不是这种量的属性(proprium)吗?但是,自从他用在“充实”中运动的具体物理学替代了在“虚空”中运动的抽象物理学之后,他就产生了很多疑惑。因此,他在给梅塞纳的信中写道:<sup>[171]</sup>

至于伽利略说下落物体会经历所有的速度,我并不相信它在通常情况下会如此发生,尽管它偶尔如此发生则并非不可能,而且对于 M. F.<sup>[172]</sup>用来反驳伽利略上述观点的论证,我也有所不满。在这个论证中,他说“物体或是在第一瞬间,或是在某一特定的时间获得速度”(acquiritur celeritas, vel in primo instanti, vel in tempore aliquo determinato);因为两种观点都不正确……

笛卡尔的犹豫很明显,而他犹豫的原因也很容易理解:一方面是因为

[171] *Lettre à Mersenne*, 11 octobre 1638, A. T., v. II, p. 399 sq.

[172] 可能是指 Frenicle。

他的数学化思想促使他承认加速的连续性,或者至少是承认连续加速的可能性;另一方面是因为他的非时间主义(l'intemporalisme),或者至少是他的物理学所蕴涵的瞬时主义,促使他断定不连续变化是有可能发生的。因为笛卡尔完全理解:连续性意味着时间性,意味着一种有限瞬时作用的不可能性,而伽利略所给出的各种理由归根结底将会重新肯定运动和时间这两者之间存在极其密切的关系。因此,笛卡尔作出了决定:<sup>[173]</sup>

我刚才重新检查了一遍我关于伽利略的笔记,在其中我的确没有说过,下落物体不会经历所有的慢度;但是,我确实说过,除非先知道重性是什么,否则这一点就无法确定,这样说其实是同一回事。您关于斜面的例子的确证明了所有的速度都是无限可分的,这一点我同意,但我不同意的是,当一个物体开始下落时,它将会经历无限分割后得到的所有速度。当我们用木棒击打一个球时,我不相信您会认为,当这个球开始运动时,它会比木棒运动得更慢。您也不会否认,当一个物体被其他物体推动后,从它被推动的最初时刻开始,它就会以某个特定的速度开始运动,这个速度与推动者的速度成正比。<sup>[174]</sup> 现在,在我看来,实际上重性就是地球上的物体被精细物质推向地球中心所造成的,由此你就很容易看出我的结论。但是,我们不应该认为,这些物体一开始就能像精细物质那样快速地运动,因为精细物质只是在间接地推动它们,而且它们的运动还受到了空气的

---

[173] 笛卡尔所做的决定实际上是一种想象的决定。

[174] 参见伽利略本人在其《对话》原著样本上所加注的评论(Galilei, *Addition manuscrite sur son exemplaire du Dialogo*, Opere, vol. VII, p. 48):“无论一个运动物体有多重,无论它的运动速度有多快,如果它去碰撞任何一个处于静止状态的物体,那么,即便静止物体是最微弱的、阻力最小的物体,这个运动物体也永远不可能通过碰撞将它自己的速度传递给静止物体:这个结论明显可以从以下事实得出,即如果运动物体刚一接触静止物体,后者就从前者那儿接受了相同的速度,那么我们将不会听到碰撞的声音,或者更确切地说,碰撞将不会发出声音,但是,实际上我们却听到了碰撞的声音。”

较大阻碍,尤其是对那些最轻的物体来说更是如此。<sup>[175]</sup>

146 重物下落的运动是匀加速运动。但是,这种运动的原因是什么呢?重性又是什么呢?笛卡尔明确告诉我们,这些答案是不可或缺的。然而,伽利略拒绝回答<sup>[176]</sup>,甚至拒绝这些问题。无疑,他本人由衷地信服吉尔伯特是有道理的:也就是说,伽利略深信,重性是某种类似于磁吸引的事物,而地球则是一个巨大的磁体。<sup>[177]</sup>但是,信服是一回事,证据则又是完全不同的另一回事。无论是吉尔伯特本人,还是开普勒都没有提出任何证据。因为当时还没有人能够针对吸引和磁性提出一个理性的(即数学的)理论;尽管伽利略的研究已经扩展到磁体和磁力,但他也无法提出这样的理论。因此,人们不得不在没有理论的情况下进行研究。此外,无论落体运动的原因是什么,可以肯定的是,这种原因的作用是连续的,从而它所引起的运动也一定会表现为某种特定类型的运动。因此,伽利略对我们说:<sup>[178]</sup>

在我看来,现在还不是恰当的时机来着手研究这种自然运动的加速原因。关于这个问题,不同的哲学家已经发表了各种不同的理论。有些人认为,它是由于某种吸引,这种吸引将物体拉向地球中心;另一些人认为,它是由于物体需要穿越的介质的剩余部分逐渐变得越来越少;还有另一些人认为,它是由于周围介质的某种延展,这些介质返回到运动物体的背后,并持续地推它和压它。尽管所有这些奇思妙想以及其他很多理论原本都应该考察一下,但是,这样做几乎不会带来任何好处。无论加速的原因是什么,目前我们只需要……通过以下方式研究和证明加速运动的某些性质(*passions*)也就足够了:即研究从静止

[175] *Lettre à Mersenne*, 22 janvier 1640, A. T., vol. III, p. 9 sq.

[176] 参见前文第 88 页,以及第三部分,下文第 258 页及以下。

[177] *Dialogo*, pp. 426 sq.

[178] *Discorsi*, p. 202.

出发后,速度元如何按照一个十分简单的比例随着时间的增加而增加,也就是说,在相等的时间中速度实现了相等的增量。当这些性质被推导出来后,如果碰巧它们在重物自然下落的加速运动中得到了证实,我们就可以认为,原先假设的定义确实表达了重物的运动,随着运动的持续和时间的增加,重物的确在不断加速。

在推导匀加速运动的各种“偶性”,即推导关于下落时间、速度和通过的路程三者之间关系的偶性时,伽利略给出了两种不同的形式。研究一下这两种推导形式还是不无裨益的。 147

《对话》中所给出的证明建立在加速连续性的基础上,并涉及了“瞬时速度”、“速度元”(moment)以及用通过的距离来定义的“速度总和”等观念<sup>[179]</sup>。伽利略告诉我们:<sup>[180]</sup>

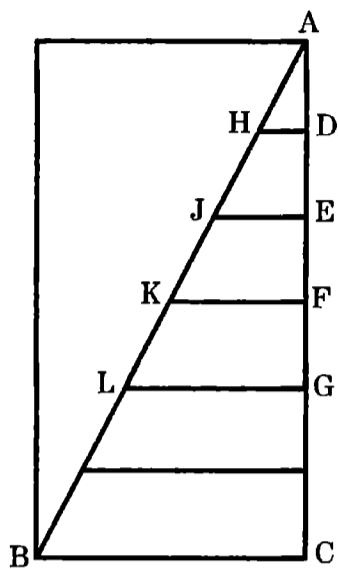
在加速运动中,速度的增加是连续进行的,而且……速度每时每刻都在变化,它们的数目是无限的。因此,我们最好通过画一个三角形 ABC 来举例说明我们的观念,在三角形的边 AC 上标出我们所需要的任意长度的相等部分 AD、DE、EF、FG 等等,再从点 D、E、F、G 出发引出一些平行于底边 BC 的直线。然后,我希望你将 AC 的这些相等部分想象为一些相等的时间;从点 D、E、F、G 引出的平行线

---

[179] 《对话》中的证明开始于一个具体例子的分析:当一个物体被向上抛出时,它在上升之后又重新落回到它的出发点。在这个运动的第一部分(上升阶段),物体的运动速度一直在减小,而在第二部分(下降阶段),运动速度则一直在增大。这两部分运动中的每一部分都在相同时段中通过了相同的距离,并(当然是按照相反的方向)经历了相同的速度序列。这两个序列显然是互补的:如果我们将上升物体和下降物体在运动开始后的某一瞬间  $n$  所具有的速度加在一起,我们总会得到同样的数值。很显然,这个数值等于物体的最大速度。因此,在整个运动中,物体所通过的距离与当它以最大速度在上述相同时段中所通过的距离相等。但是,由于物体进行了双重运动(上升和下降),每部分的运动将会是整个运动的一半,也就是说,是运动物体以最大速度在上述相同时间中所进行的运动的一半,从而所通过的距离也是一半。

[180] *Dialogo*, p. 255 sq.





代表在相等的时间内均匀增加的速度；点 A 代表静止状态，运动物体从 A 点出发，将在时间 AD 中获得速度 DH；在下一段时间里，速度将会从 DH 增加到 EJ；随后，速度将在连续的时间中随着直线 FK、GL 的增长而变得更大，等等。现在，由于加速每时每刻都在以连续的方式发生，而不是从这一时段跳到另一时段，而且既然端点 A 被假定为速度最小的时刻，即被假定为静止状态和后续时间 AD 的第一个瞬间，很显然，运动物体在时间 AD 中获得速度 DH 之前，已经经历了无限多个其他速度。这些速度是在时间 DA 中所包含的无限多个瞬间中获得，它们从 D 到 A 逐渐减小，并对应于直线 DA 上的无限多个点。因此，为了表示在速度 DH 之前还有无限多个速度，我们就必须想象我们从直线 DA 上的无限多个点引出了无限多条直线，这些直线平行于直线 DH，并且总是越来越短。最终，我们可以用三角形 ADH 的面积来表示上述无限多的线段。通过这种方式，我们就表示了运动物体在某种运动中通过的全部距离，这种运动开始于静止并均匀地加速，其间经历和运用了无限多个逐渐增加的速度，而这些速度又对应于从 A 点开始引出的、平行于直线 HD 以及直线 JE、KF、LG、BC 等无限多条平行直线；而且上述运动还可以一直随意持续下去。现在，让我们补全平行四边形 AMBC，不仅将在三角形中画出的那些平行线一直延长到边 BM，而且将我们想象从边 AC 上的所有点开始画出的无限多条平行线都延长到边 BM。直线 BC 是三角形无限多条直线中最长的一条，它代表了运动物体在加速运动中获得的 maximum 速度，三角形的整个面积则代表了物体在时间 AC 中通过以上这段距离曾经具有的所有速度的全体与总和；同样地，平行四边形也代表了同样多的速度的全体与总和，但其中的每个速度都等于前一运动的 maximum 速度 (vitesse maxima) BC。正如平行

四边形的面积是三角形面积的两倍,后一速度总和也恰是三角形所表示的逐渐增加的诸速度之和的两倍。因此,如果运动物体在下落时运用了各种速度(这些速度的增加方式可用三角形 ABC 来表示),并在某段时间内通过了某段距离,那么,非常合理和可能的是,通过利用平行四边形所对应的均匀速度,物体在相等的时间内以匀速运动通过的距离是它在加速运动中所通过距离的两倍。

看到伽利略将自己的推理结论形容为“合理的”与“可能的”,我们无疑会有点吃惊。但是,我们相信,伽利略借助另外两位对话参与者沙格列陀和辛普里丘之口说出的反驳,为我们阐明了上述表达的意义。因为,沙格列陀反驳说<sup>[181]</sup>,伽利略的证明是一个完美的数学证明。而亚里士多德主义者辛普里丘对此表示同意<sup>[182]</sup>,他说:“没错。但是,数学的严格性在自然科学中是完全无法适用的。”看来,这就是伽利略的科学所面临的主要问题:即对实在进行数学化的合法性问题<sup>[183]</sup>(我们稍后将会回到这个问题,并用它所需要的足够篇幅来论述这个问题)。因为,辛普里丘(即亚里士多德)并非完全没有道理。实在是复杂的,它不会服从各种简单的几何学图式(schéma),甚至也不会服从各种运动学图式。实在的物体在实在的空间中下落,这与抽象物体在几何空间中下落完全是两回事。伽利略非常清楚地知道这一点。正因为此,他才会说(因为涉及到了实在物体),这些物体按照他已推导出来的运动学定律而运动,这是“可能的”。

149

在《两门新科学》中,情况并不完全相同。无疑,这里伽利略所追求的目标比在《对话》中还要更进一步,即发现实在世界的实在定律。但是,此时上述研究已被自觉地分成了两个环节或两个阶段:首先是对于“抽象”

---

[181] *Dialogo*, p. 256.

[182] *Ibid.*, p. 256.

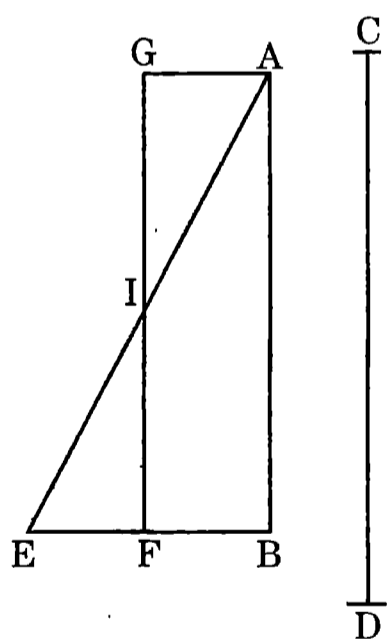
[183] 参见本书第三部分,下文第 277 页及以下。

情形或“简单”情形的纯粹几何学研究,然后再将这种研究结果与具体情形进行对照。伽利略想要研究其“偶性”的匀加速运动不再首先被构想为地球上某个实在物体的实在运动,而是被构想为一种阿基米德的“抽象”物体在几何空间中的运动。因此,推理不再仅仅是可能的,推理的结论直接作为已被证明的结论呈现给我们。以下就是伽利略的推理:<sup>[184]</sup>

150

一个从静止出发做匀加速运动的物体通过一段给定的距离所需的时间,等于同一物体以某种匀速运动通过同一段距离所需的时间,这种匀速运动的速度等于上述匀加速运动的最大速度和最小速度的平均值。

设线段 AB 的长度表示物体从静止出发以匀加速运动通过距离 CD 所用的时间,设垂直于 AB 的线段 BE 表示物体在时段 AB 的最末瞬间的速度(即时段 AB 中的最大速度),连结点 A 与点 E,并从 AE 上所有各点画出平行于 EB 的对应线段,这些线段表示物体在 A



这一瞬间之后逐渐增加的速度。接着,设点 F 将线段 BE 等分为两半,引直线 FG、AG 分别平行于 BA 和 BF,我们就可以得到面积等于三角形 AEB 的平行四边形 AGFB,且平行四边形通过其边 GF,在 I 点将线段 AE 等分为两半。如果三角形 AEB 中的那些平行线被延长到 IG,那么,包含在四边形中的所有平行线之和

[184] *Discorsi*, III, l. II; *Theorème I, prop. 1*, p. 208. 没有什么比伽利略为他的证明所附的图更耐人寻味了。他似乎已经意识到他用来表示通过的距离或运动轨迹的方式(即他用一个面来表示一条线)是多么不自然,而且这种表示方式又是多么容易将我们引向彻底几何化的错误,一种伽利略自己也曾经犯过的错误。用一条线应该也同样能够表示运动轨迹,但是,伽利略不知道如何做到这一点。因此,他只能在附图的旁边画上一条线,一条与附图本身毫无关联的线。

就等于包含在三角形 AEB 中的所有平行线之和,因为包含在三角形 IEF 中的所有平行线等于包含在三角形 GIA 中的所有平行线,至于包含在梯形 AIFB 中的那些平行线则是两者所共有的。线段 AB 上的所有点及每一个点分别对应于时段 AB 中的所有瞬间及每一个瞬间,从这些点引出的包含在三角形 AEB 中的那些平行线代表着逐渐增加的速度;类似地,包含在平行四边形中的那些平行线代表着同样多的、但不是逐渐增加、而是相等的[均匀的]速度;因此,很明显,由三角形 AEB 中那些逐渐增长的平行线所表示的加速运动与由平行四边形 AGFB 的平行线所表示的匀速运动包含同样多的速度元(moments de vitesse)。因为,加速运动前半段所短缺的元素(即由三角形 AGI 包含的平行线所表示的那些元素)可以用由三角形 IEF 包含的平行线所表示的那些元素来补偿。因此,很显然,如果有两个物体,其中一个从静止出发做匀加速运动,另一个做匀速运动,其速度元等于前一加速运动的最大速度元的一半,那么这两个运动物体将在相等的时间内通过相等的距离。证毕。

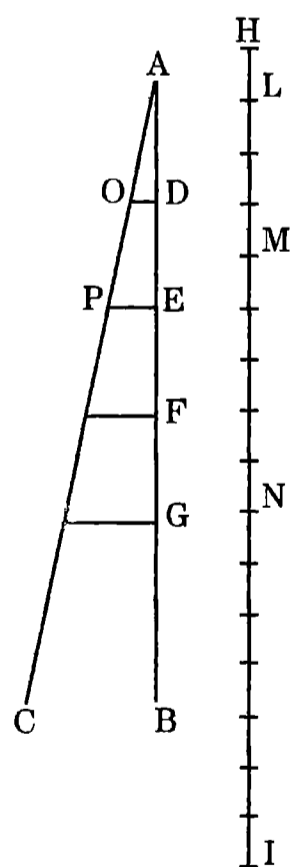
151

我们清楚地看到,《两门新科学》的证明运用了一些与《对话》相同的观念与方法,如速度元、瞬时速度、所有元素或速度的整体或总和。然而,这个证明更直接,也更自然:运动不再被细分为许多部分,而是被当作一个整体来考虑。因此,对于物体所通过距离的计算也不再涉及“可能运动”的观念,即在完成加速运动之后,运动物体可能会实现的那种匀速运动的观念。加速运动,或者更确切地说,它的速度或速度元的总和,现在直接就等于一种匀速运动的速度总和,而这种匀速运动的速度则等于加速运动所达到的最大速度的一半。这样做可能会带来某种好处。但是,这种好处在很大程度上又被以下事实所抵消,即与《对话》的证明相比,更为严重的是,《两门新科学》中伽利略的推理只适用于一种已完成和已结束的运动。无疑,上述推理方法已被构想为一种绝对普遍的方法,它能够

适用于所有的加速运动,只要这些运动是匀加速运动,不论这些运动对应的距离和时间是多少。但是,这种方法只能将所有的加速运动作为已完成的运动来把握。伽利略所给出的证明所欠缺的,恰恰是未能显示出“运动和时间的极其密切的关系”,未能显示出时间的决定性作用。因此,在《两门新科学》中,伽利略在第一条定理(这也是《对话》中获得证明的唯一定理)之外又添加了以下第二条定理<sup>[185]</sup>:

如果一个物体从静止出发并以匀加速运动下落,它在任意时间中通过的距离正比于时间的平方,即距离之比等于时间的平方之比。

设从任一瞬间 A 开始所经历的时间用线段 AB 的长度来表示,在 AB 上任取两段时间 AD 与 BE;设 H 点表示运动的初始点,直线 HI 表示运动物体从 H 点出发以匀加速运动下落所经的路线;设 HL 代表物体在第一段时间 AD 中通过的距离,HM 代表物体在时间 AE 中下落的距离;我认为,HM 与 HL 之比等于时间 AE 与时间



AD 的平方之比。画直线 AC 与直线 AB 成任意交角,从 D 点和 E 点引出平行线 DO 和 EP;其中 DO 代表在时段 AD 中的最末瞬间 D 所达到的最大速度,[EP 代表在时段 BE 中的最末瞬间 E 所达到的最大速度]。<sup>[186]</sup> 正如前面已经证明,以下两种运动在相等时间内通过的距离相等:一种是运动物体从静止出发做匀加速运动,另一种是运动物体在相等的时间内做匀速运动,其速度等于前一种加速运动的最大速度的一半,因此可以肯定的是,距离 MH

[185] *Discorsi*, III, l. II, Theor. I, prop. 2, p. 209.

[186] 此处法文版出现了明显的错误,不知是排版印刷错误还是柯瓦雷原文的笔误,已根据英文版校改。——译者

和 LH 分别等于以 PE 和 OD 一半的速度在时段 EA 和 DA 中做匀速运动分别通过的距离。因此,如果能表明距离 MH 和 LH 之比等于时段 EA 和 DA 的平方之比,我们就已经证明了我们的定理。而在第一节的命题 4 中我们已经证明,两个做匀速运动的物体通过的距离之比,等于速度之比和时间之比的乘积;但在这里,速度之比与时间之比相同(因为 PE 的一半与 OD 的一半之比,或者 PE 与 OD 的全长之比,都等于 AE 与 AD 之比)。因此,通过的距离之比等于时间的平方之比。

距离之比等于时间的平方之比。这就是一个最终获得的公式,这个公式可以根据经过的时间为我们直接给出通过的距离,而且在这样做时,它可以任由运动持续下去而不需要停下来。此外,这个公式还使我们能够得出一个推论。在伽利略看来,这个推论代表了他在思想上所取得的最大胜利,因为它使运动(从而也使时间)置于整数定律的管辖之下。

很显然,由此可得,如果我们从运动开始时或从第一个瞬间开始,给出任意数目的相等时段,如 AD、DE、EF、FG,在这些时段中,物体所通过的距离分别是 HL、LM、MN、NI,这些距离相互之间的比将会是从 1 开始(ab unitate)的奇数之比,如 1、3、5、7 等奇数之比,因为这就是代表时间的诸线段的平方差之比,而这些线段则依次超出一个相等的差额,这个超出的差额等于最短线段的长度;换言之,这些平方数从 1 开始一个紧接着另一个。因此,尽管在相等的时段中,速度按照自然数序列增加,但在各相等时段中物体所通过的距离却是按照从 1 开始的奇数序列逐渐增加。<sup>[187]</sup>

[187] *Discorsi*, III, l. II, Theor. I, prop. 2, p. 210; 另参见 *ibid.*, III, p. 129 sq.

关于匀加速运动的各种性质的推导已经大功告成。但是，“这就是自然在重物下落中所运用的加速过程”，真是如此吗？这一点始终有可能受到质疑。当亚里士多德主义者提出这样的质疑时，他至少会要求伽利略向他“演示这些实验中的某一个，因为你曾说过，这些实验数量是如此之多，而且在各种不同的情况下，它们都与已被证明的结论保持一致”。<sup>[188]</sup>

伽利略认为，上述“要求相当合理，而且也很符合科学惯例和共识，这种惯例要求将数学证明应用于各种关于自然的结论（比如，这也正是透视学、天文学、力学、音乐等领域常见的做法）；那些作者都要求将符合实验作为他们的原理的证实，而这些原理是整个理论大厦的基础”。<sup>[189]</sup>

伽利略和亚里士多德主义者的观点看上去完全一致。但是，其实同样的语词掩盖了完全不同的涵义。亚里士多德主义者的经验主义所要求的，是能够用做理论基础的那些“实验”。伽利略的认识论既是先天论的（*aprioriste*），又是实验论的（我们甚至可以说：这两者互为原因）。这样的认识论为他提供的是从一种理论出发构造出来的实验，这种实验的作用是确定或否定从原理推导出来的定律能够应用于实在，而那些原理自身则另有基础。

因此，伽利略将要对我们详细解说的“实验”（这次涉及的是真实的实验）完全不可能对经典物理学产生什么影响，尽管许多科学史家坚持要把这种影响强加于经典物理学之上。

伽利略所设计的实验充满了不可思议的想象力，用沿斜面下落代替自由下落的思想也确实是一种天才的特征。但是，我们也应该清楚地看到，上述实验的操作并不与它的观念处在同一层次。

实验的具体操作如下：<sup>[190]</sup>

[188] *Discorsi*, III, l. II, Theor. I, prop. 2, p. 212.

[189] *Ibid.*, p. 212.

[190] *Ibid.*, p. 212 sq.

取一块木板或木尺,长约 12 肘尺,宽约半肘尺,厚约 3 指,在木尺边上的厚处挖一个一指多宽的凹槽。将这个凹槽挖得很直,以及做得非常光洁和平滑,在凹槽里面裱上一层羊皮纸,目的也是使凹槽尽可能变得光滑。然后让一个很硬、很圆及非常平滑的青铜小球沿着凹槽向下滚落。将按照我们刚刚说过的方式做成的木尺的一端比水平面随意地抬高 1 肘尺或 2 肘尺,让小球就像我们刚才所说的那样沿凹槽滚落,然后我们用以下将要描述的方法记下整个滚落过程所需的时间。我们多次重复了同一实验,以便精确地核实上述时间值,在上述重复中,我们从未发现超过十分之一次脉动的时间差别。在精确地完成上述操作之后,我们再让同一个小球只沿着四分之一长度的凹槽滚落,我们发现测得的滚落时间总是严格地等于前一种滚落所需时间的一半。

幸运的是,伽利略告诉我们说:“……这个实验……已被重复了 100 次,我们总是发现通过的距离与时间的平方成正比,而且无论斜面(即小球滚落的凹槽)的倾角是多少,上述结论均成立”。伽利略还说:“对于不同倾角的斜面来说,小球的滚落时间之比与我们的证明所指出的比例完全一致。”

这实在是非常幸运。因为,否则没有人能够料想到实验和预测之间会保持如此严格的一致性。更何况,尽管伽利略做出了十分肯定的断言,但还是有人试图质疑这个断言。质疑的理由很简单,即这样一种严格的一致性严格说来是不可能的。关于这一点,也许可以用伽利略用来测量时间的方法本身来解释:<sup>[191]</sup>

为了测量时间,我们将一个装满水的大水桶悬挂在空中;在水

---

[191] *Discorsi*, III, l. II, Theor. I, prop. 2, p. 213.



桶的底部凿穿一个小孔,这个小孔正好可以让一条细小的水流从中漏出,而在小球沿着凹槽的全长或局部滚落的全部时间中,我们用一个水杯来接住小孔漏出的水流;将这样收集起来的水分别用一个很精确的天平进行称重;水的不同重量之间的差别与比例就给出了不同滚落时间的差别与比例,正如我曾说过,这些结果是如此准确,以致这些操作被重复了很多次,所得结果之间从未出现过显著的差别。

我们多么容易理解笛卡尔为何要“拒绝”<sup>[192]</sup>伽利略的所有实验!他是多么正确啊!因为伽利略的所有实验,至少是所有导致某种测量、产生某个数值的真实的实验,都被他的同时代人发现是错误的。<sup>[193]</sup>

尽管如此,伽利略还是正确的。因为,正如我们刚刚已经看到,他根本不是在经验领域中寻求他的理论基础。他清楚地知道,这是不可能的,而且他也知道,实验,甚至是那些在具体条件下所进行的实验(比如,在空气中,而不是在虚空中;在一块光滑的木板上,而不是在一个几何平面上等等),都不可能给出通过分析抽象情形所预测的结果。因此,他并不要求实验能做到这一点。抽象情形是一种假定的情形,而实验应该能确认

---

[192] *Lettre à Mersenne*, avril 1634 (A. T., v. I, p. 287, A. M., v. I, p. 254).

[193] 参见 Mersenne, *L'Harmonie universelle*, I, p. 112:“推论 I。我怀疑伽利略是否做过那些沿斜面下落的实验,因为他根本没有谈论过实验,而且他所给出的比例也经常与实验相矛盾:我希望有更多的人尽可能小心谨慎地在各种不同的斜面上进行同样的实验,以便他们能看到他们的实验是否与我们的实验相一致……。推论 II。那些看到我们的实验的人以及帮我们做过这些实验的人都知道,实验所用的斜面非常笔直又非常光滑,使得运动物体不得不沿直线下落;实验所用的球又圆又重,无论是对于平面、球以及球的下落来说,这些实验都不可能进行得更精确了。从中可以得出的结论是,实验不能够产生一种科学,我们也不应该过于信赖单独的推理,因为它并不总是与各种现象的真理保持一致,而经常会背离这种真理:但这一点将不会妨碍我谈论一个均匀倾斜的平面,这样的斜面应该是使得重物在每一点都处处维持相等重量并产生相等压力的斜面”。参见作者本人的文章:《伽利略与比萨实验》(“Galilée et l'expérience de Pise”, *Annales de l'Université de Paris*, 1936)。

这种假定是一种好的假定。实验应该在它能力所及的限度内做到这一点,或者毋宁说,应该在我们能力所及的限度内做到这一点。因为,正如最近曾有人说过:“当第二位小数已经没有任何意义时,再试图去测量第五位小数又有什么用呢?”<sup>[194]</sup>

## 结 论

我们清楚地看到,伽利略的推理方式始终保持不变。无论是在《对话》中,还是在《两门新科学》中,它都与我们在这项研究开始时曾引述过的伽利略致帕奥罗·萨尔皮的信中所体现的推理方式保持相同。可以说,它处处都体现为一种“回归的”(régressive)和“分解的”(résolutive)推理,或者(在这个术语的最深刻的意义上来说)是一种“分析的”(analytique)推理。伽利略总是从现象、从实验材料、从加速运动的各种“征象”向上回溯(或向下深入)至落体运动的本质定义。他处处都在寻求原理,也就是说,在寻求这种运动的本质。这种本质能够被表达为定义,并使得推导和证明落体运动的各种“性质”和“征象”成为可能。关于这种推导的两次尝试(一次导致了失败,一次获得了成功),我们已经借助对于笛卡尔的文本所做的分析进行了阐明,而对于这两次尝试的比较,则使得我们能够理解导致失败和成功的原因。 156

伽利略的思想(或者毋宁说,他的精神状态)明显有别于笛卡尔的思想或精神状态。它不仅仅是数学的,而且是“物理—数学的”(physico-mathématique)。伽利略并不想就加速运动的各种可能的方式提出任何假说:他所寻求的是加速运动的实在方式,即自然实际运用的那种方式。伽利略不像笛卡尔,他没有从一种因果机制出发,以便随后将它表达为一种纯粹几何学的关系,甚至用这种几何学关系来代替因果机制。他从“自

[194] 参见 R. Poirier, *Remarques sur la probabilité des inductions*, Paris, 1931.

然定律都是数学定律”这样的观念出发(这种观念无疑是某种预设的观念,但它却构成了伽利略自然哲学的基础)。实在是数学的化身(Le réel incarne le mathématique)。因此,在伽利略那里,经验和理论之间没有隔阂。理论和公式并不是从外部应用于现象,它们并不“拯救”这些现象,而是要揭示出这些现象的本质。自然只会回答那些用数学语言提出的问题,因为自然是由测量和秩序所统治的领域。之所以实验“就像手那样”引导着推理,那是因为,在一个以恰当的方式完成的实验中,也就是说,面对一个以恰当的方式提出的问题,自然显露了它的深层本质。不过,只有理性才能把握这种本质。

伽利略告诉我们要从经验出发;但是,这种“经验”并不是感官的原始经验;他所寻求的定义所要符合的,或者要与之保持一致的材料不是别的,而只可能是他已经事先知道的关于物体下落的两个描述性定律(描述各种下落征象的定律)。

伽利略还告诉我们,他始终被简单性的观念所引导。但这种简单性并不仅仅是一种形式上的简单性:它还涉及其他东西。无疑,它所涉及的是类似的东西,但依然是不同的东西:一种实在的简单性,或者毋宁说,是一种被研究现象与自然本质的内在一致性。

157 这种实在的现象就是运动。伽利略既不知道运动是如何产生的,也不知道加速是如何(在某种力的作用下)产生的。事实上,与笛卡尔一样,他也没能从吉尔伯特的工作中获益,没能将这种他不知道该如何数学化的模糊观念(吸引的观念)付诸应用。但无论如何,运动涉及的正是这样一种实在的现象,一种自然实在地产生的现象,这也意味着,运动所涉及的是某种在时间中产生的现象。<sup>[195]</sup>

---

[195] 相反,正如我们已经看到,笛卡尔在伽利略遭受失败的地方获得了成功;因为表述出(至少是明确表述出)惯性原理的是笛卡尔而不是伽利略,伽利略终其一生都被困在现象之中。参见本书第三部分,下文第 276 页。

正是这种直觉,这种对于现象的实在特征的恒常持久的关注,才使得伽利略能够避免笛卡尔的错误和他自己的错误。运动首先是一种时间中的现象,它在时间中发生。因此,伽利略试图将加速运动的本质定义成时间的函数,而不再定义成所通过空间的函数:空间只不过是某种实在(这种实在本质上是时间性的)的结果、性质或征象。

的确,人们无法想象时间。所有对于时间的图像式描述都会面临滑入彻底几何化的危险。但是,通过构想和理解时间的连续性特征,通过坚持不懈的努力,思想或理性能够毫无危险地用空间来象征性地表示时间。正因为此,匀加速运动才会成为一种相对于时间而加速的运动。

因此,时间观念对于伽利略的思想(或在伽利略的思想中)所起的作用,就相当于实在因果性的观念对于毕克曼和笛卡尔的思想(或在他们的思想中)所起的作用。然而,恰恰是由于以下这一事实,即伽利略能够(或知道如何)避免关于运动产生方式和加速产生方式(力、吸引等等)的所有具体描述,才使得伽利略能够在“运动”这一狭如刀刃的交界地带保持了平衡。只有在运动现象中,实在才与数学保持一致。

伽利略在笛卡尔失败的地方获得了成功。他懂得在他的思想中,并通过他的思想去把握和保持关于运动的悖谬观念,并使这种观念成为他推理的基础。笛卡尔没能做到这一点,至少在他研究的开端没能做到。

那么,我们应该为此而责备笛卡尔吗?难道在上述笛卡尔的反对中没有显示出某些重要而深刻的东西?在我们看来,我们更愿意相信以下事实:即运动的经典观念既不像人们所说的、也不像笛卡尔所说的那样清楚分明(笛卡尔后来重新开始研究这种运动观念,这将使得他能够表述出惯性原理,我们可以说,他在这一点上对伽利略进行了报复)。变化是一种状态……同(Même)就是异(Autre)……看来只有通过“力”,人们才可能让这些概念相互协调一致,就像柏拉图的造物主曾经做过的那样。

### 第三部分

## ■ 伽利略与惯性定律 ■

### Galilée et la loi d'inertie

161

### 引 言

对于“物理学家—笛卡尔”来说,最值得称道的荣誉莫过于他对惯性原理提出了一个“清楚分明”的表述,并将它置于其应有的地位。

当然,有人会反驳我们说,在笛卡尔做出上述发现的时候,也就是说,在他出版其《哲学原理》(*Principes*)时(即在《对话》出版 12 年后,以及《两门新科学》出版 6 年后),这项发现既不值得太过称赞,也并不那么困难了。因为在 1644 年,惯性定律已不再是一种闻所未闻的新观念:恰恰相反,由于伽桑狄、托里拆利和卡瓦列里等人的研究和著述,它已开始呈现出一种被普遍接受的真理形象。或许有人还会补充说,即便伽利略本人没有明确表述这个定律,或者至少没有把它确立为运动的基本定律,他的物理学在字里行间却是如此渗透着这个定律,以致一位像巴利阿尼这样的思想家(无论如何,他都无法与我们刚刚提到过的那些人相比拟)就能够自然而然地从中得出这个定律。<sup>[1]</sup>

或许人们还会援引牛顿的评价:牛顿将发现惯性原理的全部功劳都归于伽利略,对笛卡尔的贡献则只字未提。如果我们为了维护笛卡尔的权利而强调以下事实,即笛卡尔在他的《论世界》(*Monde*)中已经表述了

---

[1] 参见 E. Wohlwill, “Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes”, *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., vol. XV, p. 379 sq.

惯性定律,那么人们最终会回应我们说,正如我们自己前面所述,笛卡尔应该感谢的是毕克曼的运动守恒原理。<sup>〔2〕</sup> 162

毫无疑问,所有上述观点都是非常正确的。我们丝毫不想贬低在笛卡尔和伽利略之间奠定了经典科学基础的那些人的功绩。我们尤其不想贬低伽利略的作用与功绩,哪怕只是稍微贬低一点点:正如大家随后将会看到,我们所做的恰恰相反。<sup>〔3〕</sup> 然而,在伽利略那些小心谨慎而又有所保留的文本之后,在伽桑狄那些含糊不清的解释之后,在托里拆利那些虽然具有令人钦佩的明晰性、但总是摆脱不了完全数学化的枯燥乏味的公式之后,当我们终于看到笛卡尔简明扼要的表述,我们似乎不可能不接受以下这个明显的事实,即在思想的明晰性和自觉性方面出现了一种决定性的进步。这种进步是如此明显,以致我们为了刻画伽利略与笛卡尔的思想关系,完全可以将帕斯卡那段广为人知的名言<sup>〔4〕</sup>稍做修改后(*mutatis mutandis*)用于描述上述两人的差别,即“一个只是未经更长时间和更广泛的思考而不经意地写下了一个词语,另一个却在这个词语中发现了一系列惊人奇妙的后果……并使之成为整个物理学的坚实持久的原理……”

惯性定律是一个再简单不过的定律:它仅仅是说,一个物体,如果听任其自然,它就会长久地保持在静止或运动状态,直到某物来改变这种状态。<sup>〔5〕</sup> 同时,惯性定律又是一个至关重要的定律:因为它蕴涵着一种决

---

〔2〕 参见本书第二部分:“落体定律”,前文第108页及以下。

〔3〕 我们原以为自己已经足够清晰地表达了我们对于伽利略的天才的钦佩之情。至少对于所有毫无偏见的心灵来说,这种表达是如此清晰,以致不可能再产生任何误解。但不幸的是,总还有些其他人……于是,我们看到了自己被米利归入伽利略的“敌人”和“贬低者”的行列。参见 A. Mieli, “Il tricentenario dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche* di Galileo Galilei”, *Archeion*, v. XXI, fasc. 3, Roma, 1938.

〔4〕 Pascal, *Pensées et opuscules*, éd. Brunschvicg, Paris, 1907, p. 193.

〔5〕 这就意味着:如果任其自然,物体将会保持静止或者无限度地做一种匀速直线运动;换言之,物体将会保持其速度和方向。参见 Laplace, *Exposition du système du monde*, *Œuvres*, vol. VI, l. III, c. 2, pp. 155 sq.; Lagrange, *Mécanique analytique*, Paris, 1853, pp. 308 sq.

定自然的一般解释的运动观念,蕴涵着一种关于物理实在本身的全新的  
163 观念。这种新观念宣称运动是一种状态,而且它一方面严格地把运动与  
静止对立起来,另一方面却又将两者置于相同的本体论层次。<sup>〔6〕</sup> 它或隐  
或显地承认了,无论物体是运动还是静止,无论物体处在这两个对立状态  
中的任何一个,对物体来说都完全没有任何影响。此外,物体无论处在其中  
任何一个状态,这个事实也不会以任何方式改变物体;也就是说,这两个  
状态中的任何一个都不会在处于这些状态的物体之中引起任何更改或  
变化,换句话说,从这两者之一向另一个对立状态的过渡,物体本身绝对  
不会表现出任何变化。因此,这种新观念也意味着,除非是相对于另一个  
假定正处于运动(或静止)的物体而言,否则我们不可能赋予一个给定物  
体以某种静止状态(或运动状态),而且这两个状态之中的任何一个都可  
以被完全任意地赋予两个物体中的某一个(或另一个)。<sup>〔7〕</sup> 因此,运动被  
设想为一种状态。但是,这不是一种普通的状态:这是一种“状态—关系”  
(état-relation)。<sup>〔8〕</sup>

运动的经典观念不仅蕴涵着运动物体与运动无关的思想,而且也蕴  
涵着一种运动与另一种运动无关的思想:两种运动永远互不干扰。<sup>〔9〕</sup> 惯  
性原理宣称能够永恒持续的,正是这种奇怪的实体(真正说来,是某种实  
体关系)。它的悖谬并不亚于中世纪物理学的那些著名的实体性质  
(qualités substantielles)。

---

〔6〕 正是因为运动和静止在经典科学中获得了同样的本体论地位(即作为一种状态的地位),运动才能被构想为一种像静止那样既无需改变、也无需原因(施动者)的状态,一种能够永恒持续的状态。用中世纪的术语来说,伽利略和笛卡尔的运动不再是一种“流动的形式”(forma fluens),而变成了一种“固定的形式”(forma stans)。参见本书第二部分:“落体定律”,前文第130页,以及参见下文第324页及以下。

〔7〕 当然如此,只要我们仅仅将运动设想为运动自身,并且不让力介入运动,换言之,只要我们仅仅研究纯粹运动学(phoronomie pure),而不再关注动力学。

〔8〕 实际上,被保持的是速度和方向。

〔9〕 对于亚里士多德的物理学和冲力物理学来说,两种运动总会相互干扰。

然而,惯性原理并没有向我们担保所有运动的永恒持续性。如前所述,它所担保的只是**匀速直线运动**的永恒持续性。这个原理并不适用于圆周运动,也不适用于旋转运动。<sup>[10]</sup> 古代和中世纪的物理学认为圆周运动是自然运动,直线运动是受迫运动,并将两者对立起来;经典物理学则倒转了这一关系:对它来说,直线运动变成了自然运动,而圆周运动从今以后将被视为受迫运动。<sup>[11]</sup> 然而,单单这样说可能还不够:因为对于经典物理学来说,没有所谓的**自然运动**。严格说来,也没有所谓的**受迫运动**:没有任何一种运动是来源于运动物体的“本性”(nature),而且静止也并非来源于这样一种“本性”。很显然,人们不可能把“强迫”加之于运动物体的本性:我们刚刚说过,运动物体与它所处的状态完全无关;另一方面,这也就意味着,只有通过“力”(如果不再通过“强迫”),人们才能使运动物体从一个**状态**转变到另一个**状态**:所有的运动(或者至少是运动的开始),正如所有的静止(或者至少是所有运动的停止),所有的加速和减速,都蕴涵着某个原因,或者更确切地说,都蕴涵着某个**力**。<sup>[12]</sup> 这个力必须被构想为相对于运动物体来说是完全外在和非固有的,而物体本身则是**惯性的**。<sup>[13]</sup>

164

在我们今天看来,运动的经典观念(伽利略、笛卡尔和牛顿的运动观念)不仅是自明的,甚至还是“自然的”。然而,这种“自明性”直到非常晚近才出现:它距今几乎还不到3个世纪的时间。我们将它的出现归功于

---

[10] 我们为强调这种不言而喻、或者应当不言而喻的区别而感到抱歉。但不幸的是,由于未能认识到“断言圆周运动的持续性”和“断言直线运动的持续性”这两者之间的根本区别(或者毋宁说,两者的对立。因为这两种观点是互不相容的),大多数致力于研究惯性原理起源的著作(甚至连那些最优秀的著作)都深受其害。

[11] 对于经典物理学来说,圆周运动不是一种匀速运动,而是一种加速运动。我们再次为这样的提醒而感到抱歉。

[12] 在经典科学中,力的作用所产生的不是运动,而是加速。

[13] “*inertis*”(惯性、惰性)这个词对于它的发明者开普勒来说意味着:对于运动的自然阻碍(参见下文第186页及以下);对于经典物理学来说则意味着:(1)物体与所处的运动和静止等状态无关;(2)上述状态的持续性;(3)对于所有从一个状态到另一个状态的变化阻碍。



笛卡尔和伽利略。

165 惯性原理并不像雅典娜从宙斯的头颅蹦出来那样一蹴而就地从笛卡尔或伽利略的思想中脱颖而出。相反,人类心灵经历了漫长而艰苦的努力,才逐渐形成了这种关于运动的新观念(惯性原理既是它的基础,也是它的表达,同时,它也蕴涵着一种关于物理实在的新观念),并越来越准确地将它表达出来。伽利略与笛卡尔的革命(它无论如何也不失为一场革命)经历了长时间的酝酿过程。我们在此要研究的正是这段酝酿过程的历史。<sup>[14]</sup> 这段历史构成了理解伽利略著作的一个不可或缺的序言。在这段历史中,我们看到了人类心灵顽强地对付着同样的问题,不知疲倦地遭遇到同样的困难与障碍,然后缓慢和艰难地为自身锻造出能够克服这些困难与障碍的工具。

经典物理学首先研究的就是有重物体的运动,即首先是在我们周围的有重物体的运动。因此,正是在解释各种日常经验现象(落体现象,抛射体现象,等等)的努力中,开始了导致发现惯性定律的思想之流。但是,奇怪的是,上述努力既不是直接、也不是主要从这里开始。新物理学并不仅仅诞生于地球,它也同样诞生于天穹,而且正是在天穹中,它找到了它的完成与终结。

经典物理学具有天上的“开端”和“终结”,或者用更严肃的话来说,经典物理学因天文学而诞生,并在它的整个历史中都与天文学保持着紧密

---

[14] 发现惯性原理的历史已经多次被人研究。读者可参见以下出色的著作:E. Wohllwill, “Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes”, *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vol. XIV, XV; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 8<sup>e</sup> éd., Leipzig, 1921; 以及迪昂的名著:P. Duhem, “De l’accélération produite par une force constante”, *Congrès International de Philosophie*, II<sup>e</sup> Session, Genève, 1905; 以及 *Etudes sur Léonard de Vinci*, 3 vol., Paris, 1909-13. 最后还有梅耶松用于论述惯性原理的那个令人赞赏的章节, 参见 E. Meyerson, *Identité et Réalité*, 3<sup>e</sup> éd., Paris, 1926.

联系,这一事实蕴含着深远的意义和重要的后果。它表达了宇宙(Cosmos)的观念或概念(一个层次分明、秩序井然的封闭统一体)被宇宙(Univers)的观念或概念(一个通过其定律的统一性联结而成的开放整体)所取代;<sup>[15]</sup>它意味着在未能完善、或者至少是未能建立和阐述一门“天界力学”的同时,要想建立和阐述一门“地界力学”是不可能的;它也说明了伽利略和笛卡尔为何会有部分的失败。

## 一、哥白尼学说的物理学问题

166

现在,我们言归正传。正如我们刚刚说过,新物理学是因为天文学才逐渐发展起来的,更确切地说,是因为需要回答哥白尼天文学提出的各种问题,尤其是因为需要回应亚里士多德和托勒密提出的各种物理学论证(他们利用这些论证来反驳地球运动的可能性)才逐渐发展起来的。

### 1. 哥白尼

其实,要回应那些为地心说辩护的“几何学”论证并不困难。这些人从以下这一点,即所有的圆周运动(或旋转运动)都蕴涵着运动围绕它进行的某个不动轴或不动点,来推出地球的静止不动,他们显然是混淆了几何学与物理学。<sup>[16]</sup>因此,在揭示了他们上述论证的空洞无效之后,哥白尼继续说道:<sup>[17]</sup>

---

[15] 参见 E. Bréhier, *Histoire de la Philosophie*, t. II, fasc. 1, Paris, 1929, p. 95. :“笛卡尔将物理学从希腊宇宙(cosmos)的困扰中解放出来;也就是说,从各种满足我们审美需要的事物所形成的某种特权状态的图景中解放出来……并不存在什么特权状态,因为所有状态都是相同的。因此,关于目的因的研究以及关于善的考虑在物理学中没有任何位置。”

[16] 参见 N. Copernic, *De revolutionibus orbium coelestium*, livre I, Paris, 1934; l. I, cap. V, pp. 76 sq.; cap. VI, p. 81.

[17] *Ibid.*, l. I, cap. VII, pp. 85 sq.

这就是为什么这些古代哲学家试图找到某些其他理由来坚持认为地球(静止地)停留在世界的中心,而且他们援引重性(*gravité*)和轻性(*légèreté*)作为主要的原因。因为土元素是最重的元素,所有的重物都会趋向地球,并朝着地球内部下落。然而,由于地球是球形的(重物依照其本性从四面八方垂直落向地球表面),如果它们不是被地球表面所阻挡,它们就会一直落到地球中心并在那儿会合……但是,看来物体试图趋向地心是为了最终在那儿保持静止。因此,地球更应该静止于中心,接纳所有落向它的物体,并由于自身的重量而静止地停留在中心。他们同样试图通过一个基于运动及其本性的推理来证明同样的结论。因为亚里士多德曾经说过,一个简单物体的运动是简单运动;<sup>[18]</sup>简单运动包括两种,一种是直线运动,另一种是圆周运动,而直线运动又分为向上和向下两种运动。因此,所有的简单运动或是趋向中心(即向下运动),或是远离中心(即向上运动),或是环绕中心(即圆周运动)。向下运动,即趋向中心的运动,仅仅适合于像土和水这样被认为是重的元素。相反,像气和火这样的轻元素则适合于远离中心并向上运动。因此,直线运动与四种元素相匹配;相反,环绕中心的运动则与诸天体相匹配,这看起来相当合理。以上就是亚里士多德的教导。

因此,亚历山大里亚的托勒密说<sup>[19]</sup>,如果地球在旋转,即使只做周日旋转,也会与刚刚说过的道理相违背。因为要使地球每24小时就转一整圈,这个运动必定极其剧烈,速度也快得无与伦比。在急剧旋转的情况下,物体似乎完全不可能再聚集在一起,而必定会四散分

---

[18] 运动来源于物体的本性(*nature*),并且表达了这种本性。只要所涉及的是一个简单物体,这个物体的本性就只能产生出一种同样简单的运动。参见 *Aristote, De Coelo*, l. I, c. 2; *Physique*, l. II, 1 以及 l. V, 2.

[19] *Ptolémée, Almageste*, I, 7.

裂,除非它们通过某种力结合在一起。<sup>[20]</sup> 因此,托勒密说,如果情况是这样,那么地球早就应该分崩离析,消散在天空之中(没有比这更为荒谬的了):更有甚者,所有生物以及所有与地球可分离的事物都绝不可能安然无恙。自由下落的物体也不再能够垂直落到它们的预定地点,因为在此期间,如此迅速的运动早已使预定地点在落体之下移开了。此外,我们也将会一直看到云和所有空中漂浮之物不断向西运动。

人们没有理由低估上述反驳的价值。当然,人们也可以像哥白尼<sup>[21]</sup>以及其后他的支持者们那样作出回答。他们认为重性不是别的,而只是使整体的各部分聚集到一起的自然倾向,认为地上的“重物”绝不是“为了到那里去保持静止”才试图靠近世界的中心,而仅仅是在趋向它们的整体——地球。然而,有待解释的是,它们为什么要趋向地球的中心呢?这一点并不容易解释。有待回应的还有那些从落体的直线运动所引出的论据。

168

说实话,哥白尼对这些论据的回答相当肤浅,甚至只是一种字面的回答。

事实上,哥白尼并没有看出“离心”论据的缺陷。他就像面对其他论据那样认真对待和处理。因此,他向他的对手们提出了同一个、也是唯一的一个反驳。通过将原本假定只适用于天穹(*les cieux*)<sup>[22]</sup>的一种观念扩展应用到地球,他断言了地球的圆周运动的自然特征。由于这种运动是自然的,因此,一方面,它就不会产生托勒密所说的那些灾难性后果(一种自然的[naturel]运动会摧毁运动物体自身的本性[nature]),这是一种语

---

[20] 黑体为我们所加。

[21] N. Copernic, *De revolutionibus orbium coelestium*, l. I, cap. IX, p. 101.

[22] 由于天穹根据它们的本性在旋转,此外,它们又没有重量,因此天穹不会受到离心力的影响。

词上的自相矛盾[*contradictio in adiecto*]);另一方面,由于它对地球来说是自然的,它也就自然地驱动着所有来源于地球并且分享着地球本性的物体,甚至当这些物体不再直接接触地球时也是如此:因为它们仍然与地球在物理上紧密相连。

哥白尼认为(他无疑是有道理的),亚里士多德主义者都是从他自己的物理学出发进行论证,他们将这种物理学视为理所当然。他们非常自然地运用着自己的范畴,将地球的运动视为“受迫运动”。这也正是他们那些反驳所蕴涵的前提。因此,哥白尼回应道:<sup>[23]</sup>

169 ……但是,如果有人认为地球正处于运动之中,他一定会说,这种运动是自然运动,而不是受迫运动。物体顺应其本性而运动所产生的效果与物体因受到外力而运动所产生的效果截然不同。因为受到外力或强迫的物体总会分崩离析,不能长久维持。但是,受其本性推动的物体总会以一种恰当的方式维持运动,并使物体保持在最佳状态。因此,托勒密没有必要担心地球和地球上的所有物体会因旋转而分崩离析,因为这种旋转产生于一种自然作用,这种作用与人工作用、或者某种来源于人类技艺的作用完全不同。更何况,天穹比地球更大,运动速度也更快,他为什么就不为整个世界担心呢?由于这种简直无法形容的剧烈运动使天穹日益远离中心,天穹不就因此变得无比巨大了吗?一旦运动停止,天穹不就随之而崩溃了吗?

我们曾在别处指出<sup>[24]</sup>,从亚里士多德主义者的观点来看,哥白尼对于反驳的上述回击是多么软弱无力。现在,让我们来看看哥白尼对后一个反对地球运动的论据的回答,这个论据利用了与地球相分离的各种物

[23] N. Copernic, *De revolutionibus*, l. I, cap. VIII, pp. 89 sq.

[24] *Ibid.*, 1934, Introduction, pp. 19 sq.

体的运动,即鸟的飞翔、云的运动以及重物的垂直下落。这正是亚里士多德主义者的最强有力的论据。因为从亚里士多德物理学的观点来看,运动是“存在”于运动物体之中、影响着运动物体并表达着它的本性的一种过程。重物在其下落中从 A 运动到 B,即从位于地球表面上方的某个点朝着地球运动,或者更确切地说,是朝着地球的中心运动。它沿着连接这两个点的直线运动。如果在它下落过程中,地球开始转动,并相对于上述直线(点 A 和地球中心的连线)发生了某种运动,而无论这个点、这条直线或沿直线运动的物体均完全不参与这种运动:地球的运动并不影响与其相分离的物体。如果地球在重物之下躲开了,那还真糟糕!重物只能沿着自己的道路继续前进,它不可能去追赶地球。由此可见,如果地球处于运动之中,一个从塔顶抛出的物体决不会落至塔脚,一个垂直向上抛出的物体也不会落回到它出发的地点。更不必说,从一艘船的桅杆顶端下落的一枚炮弹决不会落到这根桅杆的脚下。<sup>[25]</sup>

以下就是哥白尼对上述论据的回答:<sup>[26]</sup>

但是,关于云和其他飘浮在空中的物体,以及关于那些向下落、或反之向上升的物体,我们可以说些什么呢?很简单,不仅地球和与其相连的水元素这样(即自然地)运动着,相当大的一部分空气以及所有以同样的方式与地球相联系的物体也都这样运动着。这或者是因为空气靠近地球,并与土性和水性的物质相混合,从而分享了与地球相同的本性,或者是因为这部分空气的运动是一种从地球那里获得的运动,是由于空气靠近地球并毫无阻碍地分享了地球的永恒运动……这就是为什么最靠近地球的空气似乎是静止的,那些悬浮在

170

---

[25] 在我们看来,这种观念无疑是相当奇怪的。然而,只要我们将运动想象为类似于一种波的传播,我们就不会再觉得这种观念奇怪了。

[26] N. Copernic, *De revolutionibus*, l. I, cap. VIII, pp. 93 sq.

空气中的物体也同样如此，除非被风吹动或被另一种力推动，否则它们就不会四处游走。

至于那些下落或上升的物体，我们认为它们的运动对于世界来说具有两重性，一般都是由直线运动和圆周运动复合而成。<sup>〔27〕</sup> 因为受其重量牵引而向下运动的都是含土元素最多的物体。无疑，这些含土的部分会保持它们所属整体的同一本性。火性物体受火力驱使向上运动也是由于相同的原因。因为地上的火首先就需要用物质来维持：因此有人说，火焰只不过是燃烧着的烟……

如果我们将哥白尼的回答视为一种与亚里士多德主义者针锋相对 (*ad hominem*) 的回答，那么它就是一种十分有力的回答。但就其自身而言，哥白尼的回答却是软弱无力的。因为，如果自西向东的运动对于所有地球上的物体来说都是自然运动，我们又如何能够假定推动它们的这种自然倾向完全不会影响它们自东向西的运动呢？（尽管这种自然倾向的确解释了云朵、空气、鸟儿以及在空气中下落和上抛的物体为什么会跟随地球一起运动，而不会“落在地球的后面”。）由于重物被一种向下的自然运动所驱动，因此，赋予它们一种向上的运动就十分困难。如果地球上的物体是被一种向右的自然运动所驱动，那么，实际上我们就几乎不可能让它们向左运动。

然而，在哥白尼的论证中，可以说已经包含了随后即将发展起来的某种新观念的萌芽。哥白尼的论证将“天上的力学”的定律运用于地上的现象：当他这样做时，将宇宙 (*cosmos*) 分为月上区和月下区的划分已被悄然放弃。此外，哥白尼的论证为我们解释了以下两种事实：一是物体不会  
171 “落在地球的后面”；二是重物在下落时沿着一条对我们而言是垂直的直

---

〔27〕 因此，一般说来，物体的运动将会是一种混合运动，而哥白尼说，圆周运动与直线运动相结合“就像疾病与动物相结合”。

线运动,并落到它被抛出的那座塔脚下:他在物体“参与着地球的运动”这一事实中找到了上述解释。<sup>[28]</sup>

为了使哥白尼的论证脱离荒谬而变成可接受的论证,应该在他的论证中做出什么样的改变呢?需要做的事情相当多:必须用一种物理学解释(或者更确切地说,用一种力学解释),来代替重物参与地球的运动(分享地球的“本性”)这种想象的解释;也就是说,必须使那些蕴涵在他的论证之中的观念变得明确起来,尤其是要明确以下这种观念,即对于受同一运动所驱动的一组物体来说,所有物体都参与的这一运动可以抛开不予考虑;换言之,必须从以上论证中剥离出“物理系统”的观念,不仅要像哥白尼所做的那样引入运动的视觉相对性,还要引入运动的物理学相对性。但是,为了成功做到这一点,就意味着必须抛弃亚里士多德的运动观念,并代之以另一种运动观念;而这反过来又意味着:必须抛弃亚里士多德哲学,并代之以另一种哲学。因为(随后我们将会越来越清晰地看到这一点)在整个辩论中涉及的并不仅仅是一个简单的科学问题,它还涉及了哲学问题。

## 2. 布鲁诺

提出“物理系统”的观念是布鲁诺所做的工作。无疑,他的著作瑕瑜互见、内容芜杂甚至相当混乱,而且从我们现在的科学观点来看,他的著作被他思想中浓厚的泛灵论气息所污染。然而,这种晦涩混乱的思想却在科学史中发挥了重要的作用。<sup>[29]</sup> 这种作用首先是一种积极的作用,因

---

[28] 地上的物体按照它们所拥有的“地球”本性进行着与地球本身相同的圆周运动。正因为此,对于同样参与这个运动的我们来说,这个圆周运动一直无法被我们感知。

[29] 在我们看来,布鲁诺的影响比人们通常所认为的要大得多,也比各种文本所显示的要大得多。例如,可以肯定的是,伽利略对他非常熟悉:之所以伽利略从未提到他,并不是对他一无所知,而是因为伽利略的谨慎。因此,伽利略小心翼翼地避免提到马修斯·沃什尔(Mattheus Washer)以及开普勒本人对于《星际讯息》(*Nuntius Sidereus*)中叙述的那些发现所给出的布鲁诺式的解释,即便是在反驳这种解释时也是如此。参见 Kepler, *Dissertatio cum Nuntio Sidereo*, *Opere*, v. III, 1, pp. 105 sq.



为布鲁诺通过某种天才的直觉,已经领会了新天文学的无限论(infinitisme)。因此,他以一种无与伦比的胆量,用他自己关于无限宇宙(Univers)的直觉来挑战中世纪秩序井然的有限宇宙(Cosmos)的图景。其次,这种作用也是一种消极的作用,因为布鲁诺把他的那些形而上学和宇宙学的论断(如存在许多世界,甚至许多有人居住的世界)与天文学论断,从而也与新物理学的论断相联系。从教会的眼光看来,他使得两种不同的论断紧密相联,这就成为哥白尼和伽利略被判有罪的隐秘的(但却是真正的)原因。<sup>[30]</sup>

在为哥白尼天文学辩护的过程中,布鲁诺也遇到了哥白尼曾经遭受到的那些物理学反驳。为了回应这些反驳,他自然而然地发展了他的导师所构想的各种观念。但是,在发展这些观念的过程中,布鲁诺相当巧妙地利用了冲力物理学来转变这些观念。

亚里士多德主义者援引关于风、云、鸟的论据来反驳地球运动的可能性。而布鲁诺回答说,由于地球周围的空气是被地球的运动所带动,因而风、云、鸟的运动完全可以通过与静止的空气中相同的方式发生。至于垂直下落的论据,也有可能通过同样的方式解决。布鲁诺写道:<sup>[31]</sup>

从您对有人从风和云引出的论据所回答的内容中,还可以得出对另一个论据的回答。这个论据是由亚里士多德在《论天》(*De Coe-*

[30] 教会在针对哥白尼(1616)和伽利略的谴责中没有提到布鲁诺的名字。但毫无疑问的是,正是布鲁诺的先例使教会看到了新天文学可能对教会构成的威胁。

[31] Giordano Bruno, *La Cena de le ceneri*, III, 5 : *Opere Italiane*, éd. Wagner, Lipsiae, 1830, p. 169 sq., 意大利语原文为: “Da quel, que rispondete a l’argomento tolto da venti et nuvole, si prende ancora la risposta de l’altro che nel secondo libro del cielo e mondo apporto Aristotele, dove dice, che sarebbe impossibile, che una pietra gittata a l’alto potesse per medesima retitudine perpendicolare tornare al basso; ma surebbe necessario, che il velocissimo moto della terra se la lasciasse molto a dietro verso l’occidente.”

10)<sup>[32]</sup>的第二卷中提出来的,在那儿亚里士多德指出,向上抛出的一块石头不可能沿着同一垂直路线回落;地球非常快速的向西运动一定会将它远远地抛在后面。

布鲁诺认为,这个著名的论据毫无价值,因为它忽视了一个极其重要的事实:即上述经验(石块向上抛出)发生在地球上这一事实。他由此得出结论:“所有垂直和倾斜的关系都必定随着地球的运动而改变。”<sup>[33]</sup>

173

哥白尼区分了地球的“自然”运动和位于地球上的所有物体的“受迫”运动,与哥白尼相反,布鲁诺明确将这两者看成类似的。在运动的地球上发生的事情完全对应于在水面上航行的船上发生的事情:在这种情况下,船的整体运动也不会对其各部分的运动产生任何影响,“因为船本身的运动有别于船上各种物体的运动。”<sup>[34]</sup> 如果真实情况不是这样,必定会出现如下结果,即当船在海上航行时,没有任何人能够将某物从某一侧船舷沿直线抛到另一侧船舷,而且任何人都不可能跳起后将双脚落回到原先起跳的地点”<sup>[35]</sup>。这是可以从亚里士多德的相应观念推导出来的结论。然而,亚里士多德主义者却拒绝得出这个结论,甚至拒绝承认这个结论。布鲁诺继续在发生在船上的运动和发生在地球上的运动这两者之间进行类比:后一种情形所发生的情况完全不同于亚里士多德的设想,因为“所

---

[32] Aristote, *De Coelo*, II, 14.

[33] G. Bruno, *op. cit.*, p. 170, 意大利语原文为:“*Per che essendo questa proiezione dentro la terra, è necessario, che col moto di quella, si venga a mutar ogni relazione di rettitudine et obliquità.*”

[34] 黑体为我们所加。

[35] *Ibid.*, 意大利语原文为:“*Per che è differenza tra il moto del nave, e moto di quelle cose, che sono ne la nave, il che se non fusse vero, seguitarebbe, che, quando la nave core per il mare, giammai alcuno potrebbe trare per dritto qualche cosa da un canto di quella a l'altro, e non sarebbe possibile che un potesse far un salto, o ritornare co' piè, onde li tolse.*”

有位于地球上的物体都和地球一起在运动”<sup>[36]</sup>。只有当(石块的)运动根源外在于地球时,亚里士多德以假设的方式提出的各种现象(向西运动的滞后,等等)才有可能发生。

无疑,如果<sup>[37]</sup>

174

从地球之外的某个地点向地球抛掷一个物体,由于地球的运动,(这个物体)将会失去(它的运动的)垂直度。这种情形就类似于在一艘船上看到的情形:当船顺流而下时,如果河岸上的某人将一块石头完全笔直地抛向船舶,石头肯定会偏离它的目标,而且这种偏离的大小与船的速度成正比。但是,如果抛石者处于上述船舶的桅杆上,那么无论船运动得多快,他的抛掷都不会偏离目标。因此,将石块或者所有其他重物从桅杆顶端抛向其脚下的某一点,或者抛向船舱或船身的任何其他部分,它都会沿直线到达那儿。同样地,如果船上某人沿着(垂直的)直线将一块石头抛向桅楼或桅杆顶端,无论船怎样运动,只要它不来回摆动,这块石头都会沿着同一直线重新落回下面。

与哥白尼的推理相比,我们清楚地看到了布鲁诺推理的新颖之处:之

[36] G. Bruno, *op. cit.*, p. 170 意大利语原文为:“*Con la terra dunque si muovano tutte le cose, che si trovano in terra.*”

[37] *Ibid.*, 意大利语原文为:“*Se dunque dal loco extra la terra qualche cosa fusse gittata in terra, per il moto di quella perderebbe la retitudine. Come appare ne la nave, la qual passando per il fiume, se alcuno, che si ritrova ne la sponda di quello, venga a gittar per dritto un sasso, verrà fallito il suo tratto, per quanto comporta la velocità del corso. Ma posto alcuno sopra l'arbore di detta nave, che corra quanto si voglia veloce, non fallirà punto il suo tratto: di sorte che per dritto dal punto, ch'è ne la cima de l'arbore, o ne la gabbia al punto, ch'è ne la radice de l'arbore o altra parte del ventre e corpo di detta nave, la pietra o altra cosa grave gittata non vegna. Così se dal punto de la radice al punto de la cima de l'arbore, o de la gabbia, alcuno ch'è dentro la nave, gitta per dritta una pietra, quella per la medesima linea ritornerà a basso, muovasi quanto si voglia la nave, pur che non faccia de gl'inchini.*”

所以“地球上”的物体会参与地球的运动,并不是因为它们分享了地球的“本性”,而仅仅是因为它们“在地球上”,这些物体参与地球运动的方式与“在船上”的物体参与船的运动的方式完全相同。这就意味着(况且布鲁诺也这样说过),所涉及的不再是参与某种“自然”运动的问题,而仅仅是参与运动的问题,即涉及运动物体隶属于某个力学系统的问题。这种支持着布鲁诺推理的力学系统(即诸物体通过参与某种共同运动联结成一个整体)的观念在亚里士多德物理学中没有立足之地。

亚里士多德将运动设想为运动物体的“本性”的某种功能或表达。他将运动看成是某一位置 A 到另一位置 B 的过渡,并设想这些“位置”可以相对于宇宙(Cosmos)的中心和周界来确定。因此,对于某个特定的物体来说,从一个给定的位置出发只可能有唯一的“自然”运动。在布鲁诺看来,这意味着:亚里士多德将这些“位置”构想为外在于地球的物理学系统。因为对于布鲁诺来说,这些“位置”并不是相对于宇宙(Cosmos)来确定,而是相对于这个或那个力学系统来确定。因此,同一“位置”可以隶属于不同的力学系统,而且从某个位置出发的物体可以进行完全不同的运动:这取决于它们各自所属的力学系统。对于这个结论,所有的亚里士多德主义者都会避之唯恐不及,但布鲁诺却明确断言了这一点。

他告诉我们:<sup>[38]</sup>

175

---

[38] Giordano Bruno, *La Cena de la Ceneri*, III, 5, *Opere italiane*, éd. Wagner, Lipsiae, 1830, V. I, p. 171, 意大利语原文为:“Teo. Or per tornare al proposito, se dunque saranno dui, de quali l'uno si trova dentro lo nave, che corre, e l'altro fuori di quella, de' quali tanto l'uno, quanto l'altro abbia la mano circa il medesimo punto de l'aria, e da quel medesimo loco nel medesimo tempo ancora l'uno lasci scorrere una pietra, e l'altro un'altra, senza che le donino spinta alcuna, quella del primo, senza perdere punto, nè deviar da la sua linea, verrà al prefisso loco; e quella del secondo si trovarà tralasciata a dietro. Il che non procede da altro, eccetto che la pietra, ch' esce da la mano de l'uno, ch' è sustentato da la nave, e per conseguenza si muove secondo il moto di quella, ha tal virtù impressa, quale non ha l'altra, che procede da la mano di quello, che n' è di fuori, ben che le pietre abbino medesimo gravità, medesimo aria tramezzante, si partano — possibil fia — dal medesimo punto, e patiscano la medesima(转下页)

因此，我们可以想象有两个人：一个位于一艘航行着的船内，另一个位于船外。两个人都将手放在空气中的同一点，并在同一时间同一地点分别释放一块石头，而且不给石头施加任何推动：第一个人释放的石头既不会失去目标，也不会偏离（垂直的）路线，它将会到达预定的地点；第二个人释放的石头则将被带向船尾。上述差别只能来自以下原因：即第一块石头从乘船航行的人手中开始下落，因而石头跟随船的运动而运动，拥有某种冲印力（*vertu impressa*），而从位于船外的人的手中下落的石头则不具有这种冲印力。尽管这两块石头拥有相同的重性，且如果让它们（尽可能）从同一地点出发，受到相同的推动，并穿越相同的空气，上述差别依然存在。对于上述差别，我们无法给出任何别的原因，只能认为是由于这些物体通过某种联系或附属关系与船相联结，并跟随船一起运动。这就使得与船一起运动的那块石头携带着施动者的动质，而另一块石头则不参与船的运动。由此我们可以非常清晰地看到，石块既不是从其出发点，也不是从其到达点，而是从已被赋予石块的动质的有效性才获得这种沿直线运动的动质。正因为此而产生了所有的差别。在我看来，这已经足够可以答复前述论据了。

无疑，布鲁诺并没有错，至少没有全错。冲力（*impetus*）、动质（*vertu*）或力（*force*）激励运动物体并产生运动，这样的观念实际上足以颠覆亚

---

（接上页）*spinta. De la qual diversità non possiamo apportar altra ragione, eccetto che le cose, che hanno fissione, o simile appartenenze ne la nave, si muovono con quella; e l'una pietra porta seco la virtù del motore, il quale si muove con la nave, l'altro di quello, che non ha detta partecipazione. Da questo manifestamente si vede, che non dal termine del moto, onde si parte, nè dal termine dove va, nè dal mezzo, per cui si muove, prende la virtù d'andar rettamente, ma da l'efficacia de la virtù primieramente impressa, da la quale dipende la differenza tutta. E questo mi par che basti aver considerato, quanto a le proposto di Nundiano.*”

里士多德的物理学体系(布鲁诺告诉我们,冲力或“冲印力在其持续期间一直推动着物体”<sup>[39]</sup>)。当我们向上抛出某物时,我们就对运动物体赋予了相应比例的轻性<sup>[40]</sup>,尽管介质是运动的必要条件,但它却没有在上述运动中发挥任何作用,因为如果没有空间<sup>[41]</sup>,任何位置移动都不可能在其中发生)。上述观念尤其足以建立“诸物体的物理学整体”这样的观念,足以说明它们的统一性,解释它们即使没有直接接触也可以拥有持久的联系。尽管如此,对于建立新物理学,甚至对于奠定哥白尼天文学的基础来说,上述观念都还是远远不够的。甚至仅就建立布鲁诺的物理学而言,上述观念也仍然不够。这是因为,尽管布鲁诺对船的运动和船上物体的运动作出了区分,而冲力物理学无疑也与这种区分相一致,但冲力物理学绝不等同于这种区分。因此,在布鲁诺之前关于这种著名理论的支持者中,没有任何人曾想过要像布鲁诺那样从船的运动中得出各种结论。

176

正如我们已经看到,这种区分(大致相当于运动相对性原理)意味着对亚里士多德的位置理论的明确否定。更确切的说法应该是:上述区分来源于这种否定。

我们已经说过,但在此依然值得再说一次:从形而上学来看,亚里士多德的位置理论建立在宇宙(Cosmos)观念的基础之上,这个宇宙是由各自拥有自己本性的物体组成的秩序井然的整体,在这个整体中,几何学(或空间)的排列(或分布)表达了各种“本性”之间的差别,并通过这种差

---

[39] Giordano Bruno, *Acrotismus Camoerracensis*, art. XXXV (*Opera latina*, v. I, 1, Napoli, 1879, p. 138), 拉丁语原文为:“virtus impressa quandiu durat, tandiu pellat: ut ubi quis pilam sursum jaciat, illi levitati proportionale impressit; ad cuius certe lationis differentiam nihil facit medium, quamvis ad lationem simpliciter sit necessarium, quia, nisi sit spatium per quod feratur, nulla latio esse potest.”

[40] 我们可以在青年伽利略那里发现相同的学说,参见本书第一部分:经典科学的黎明,前文第 62 页。

[41] 布鲁诺的空间就像贝内代蒂的空间一样(参见前文第 59 页)是“间隙”(intervallum)而不是“位置”(locus);这一点也揭示了柏拉图主义的影响。

别来获得说明；从物理学来看，亚里士多德的位置理论则建立在物体的“自然”运动理论的基础之上，也就是说，建立在“重”物向“下”运动和“轻”物向“上”运动的事实之上。<sup>〔42〕</sup>

177 现在，布鲁诺明确拒斥的正是亚里士多德学说的上述物理学基础和形而上学基础。

首先拒斥的是物理学基础。布鲁诺告诉我们：<sup>〔43〕</sup>

我们在亚里士多德那里发现的关于重性和轻性的理论是完全错误的。在这一点上，我们断定以下命题是非常正确的：重和轻不再用来形容自然构成的自然物体。这两者既不再用来形容它们的整体，也不再用来形容它们的部分（就其作为部分而言），如果这一点既适用于地球，也适用于在同一位置拥有各种构成部分的星体。

正如我们所见，这是哥白尼已经公开发表的理论。因此，布鲁诺继续论述道：<sup>〔44〕</sup>

〔42〕 参见第一部分：“经典科学的黎明”，前文第 18 页及以下。

〔43〕 G. Bruno, *Acrotismus*, art. LXXIV, p. 185, 拉丁语原文为：“Disciplina de gravi et levi, quae est apud Aristotelem, prorsus perversa est pro quo hasce verissimas ponimus propositiones. Grave et leve non dicuntur de corporibus naturalibus, naturaliter constitutis, nec de ipsis integris sphaeris, nec partibus earum: si terreno globo et cuicumque astro constantes in una sede conveniat habere partes.”

〔44〕 *Ibid.*, art. LXXX, p. 189, 拉丁语原文为：“Gravitas et levitas nihil aliud est praeter appulsum partium ad locum suum, in quo vel moveantur, vel quiescant, et per quod ferridebeant, pro quo quaelibet pars tum gravis tum levis esse intelligitur, quae, ubi nata est, esse degens, neque gravis est neque levis; relinquitur ergo gravis levisque ratio respectiva tantum, per absolutas enim differentias mundi locales nullum est. Quocirca bene Plato in Timaeo dicit: in coelo non esse aliud quidem sursum, aliud vero deorsum, si ex omni parte simile est et undique oppositis pedibus ambulabat unusquisque ipse sibi. Hunc frustra refricat Aristoteles, sicut etiam, cum gravius bene dicebatur in Timaeo, esse quod ex pluribus est, levius autem quod es paucioribus.”

物体之所以拥有重性和轻性,只不过因为物体的各部分正被推向它们的位置,在那儿它们或是运动或是保持静止……这就是为什么任意某个部分有时被认为是重的,有时又被认为是轻的。然而,在它诞生之处和应在之处,它却既不是重的,也不是轻的。因此,“重”和“轻”只是一种相对的区别,相对于世界的绝对位置差别来说,它们没有任何意义。因此,柏拉图曾在《蒂迈欧篇》(*Timée*)中正确地說道,在天界没有任何事物处在上面,也没有任何事物处在下面,因为所有的部分都是相同的。

为了清晰地表明这一点,在亚里士多德和柏拉图之间的重大争议中(这是一种非常宝贵的指示信息),布鲁诺反对前者并支持后者的立场。他补充说道:“亚里士多德试图就这一点提出反驳是徒劳无益的。”况且,结果还会有什么不同呢?因为在重性的理论方面,柏拉图通常总是正确的;柏拉图说(还是在《蒂迈欧篇》中)重和轻并不是作为物体的性质而存在,存在于物体中的只是“较重”(不那么重)或“较轻”(不那么轻)。布鲁诺说道:“较重的物体是由较多的部分构成的物体,较轻的物体则是由较少的部分构成的物体。”

至于拒斥形而上学基础或宇宙论基础,这早已是众所周知,以致我们 178  
只需强调以下这一点(正如我们已经说过),即使布鲁诺不是第一个宣告空间无限性的人,他也至少是这样做的先驱者之一。此外,他最先用自己的无限宇宙(Univers)来反对传统的有限宇宙(Cosmos);他还将哥白尼只是犹犹豫豫、欲言又止地提及的天地同一性观念推到了它的逻辑极限。

布鲁诺告诉我们<sup>[45]</sup>:

---

[45] G. Bruno, *Acrotismus*, art. LXIII, p. 175, 拉丁语原文为:“Mundus, quem antiqui philosophorum parentes genitum esse dicunt, postmodumque sempiternum, inter quos est Empedocles non est UNIVERSUM, sed haec machina huicque machinae similes.”



古代的哲学家们曾说过,世界一旦被创造出来,此后就成为永恒。……这个世界(monde)不是指宇宙(Univers),而是指上述机器以及其他类似的机器……

在一个大大扩展但仍然是有限的“世界”中,不仅地球被等同于一颗行星:就连在哥白尼体系中占据宇宙中心的太阳本身,也已经失去了它的特权地位。无疑,太阳在我们的世界中还保留着中心位置。但是,我们的世界(即太阳系)只不过是填充着布鲁诺的无限宇宙的无限多“机器”的其中之一而已。因此,太阳并不位于宇宙的“中心”,因为在这个无限宇宙中,有无限多的星体(无限多其他的太阳)按照永恒确定的定律在运动着。这个无限宇宙既没有中心也没有边缘;没有任何东西限制着空间的无限性。<sup>[46]</sup> 因此,没有什么比亚里士多德试图把他的有限宇宙论建立在所谓的运动分析或分类的基础上更为荒谬可笑了。向上的运动! 向下的运动! 对于布鲁诺来说,“上”和“下”就像“左”和“右”一样,都是纯粹相对的概念。只要人们愿意,每一样事物都可被置于某物的左或右,也可被置于某物的上或下。至于“环绕中心”的圆周运动,空间的所有点均可被视为中心,因为任何一点都不是真正的中心。无限空间的所有点都是完全等价的,每个星体上的所有居民都可以自认为处于宇宙的中心,从而也处于静止状态。

---

[46] G. Bruno, *Acrotismus*, art. LXXII, p. 183, 拉丁语原文为: “Certis ergo legibus infinita astra in immenso spatio feruntur, universo uno infinito, immobileque manente; cujus sicut nulla est circumferentia, ita nec ulla forma, et in quo aeteris est finire atque terminare singula; quae non minus apta sunt ad motum (sive per se moveantur per aetereum campum, sive magis secundum deferentis lationem), si angularis, quam si sphaericae sint figurae. Nullum interea astrorum, quodcunque et qualecunque sit illud, sive sol, inquam, fuerit, sive tellus, in medio vel in universi circumferentia dicere possis, ubi omnium singula circumquaque infinitum spatium habere convincentur. Hinc habes, quomodo omnia dicere possis in medio, vel nulla. Apparebit autem omnibus astrorum, incolis se universi medium obtinere.”

每个星体上的所有居民……这是一种危险的观念。布鲁诺(还有伽利略)将为这种观念付出沉重的代价。 179

每个星体上的所有居民都可以自认为处于静止状态……,但是,任何人都没有权利这么做。因为布鲁诺的宇宙的无限性意味着空间的完全几何化:其中既不再有任何特权“位置”,也不再有任何特权方向。<sup>[47]</sup> 这反过来又意味着,空间或物体与运动<sup>[48]</sup>或静止完全无关。

空间不再阻碍物体的运动。的确,它为什么还要阻碍呢? 一个物体从一个位置到另一个位置的过渡,并不是从“它的”位置移动到另一个不是“它的”位置:所有的“位置”都是它的位置,因为所有的位置都完全等价。由于完全相同的原因,物体也不再反抗运动,因为它总是从它的位置运动到它的位置。因此,所有物体都具有同样的运动倾向。它们也具有同样的静止倾向,因为物体都处在它们自己的位置之中,它们不必再趋向任何其他地方。<sup>[49]</sup>

由此我们看到:空间才是物体的真正“位置”。它甚至是亚里士多德的各种“位置”的位置本身,因为亚里士多德的位置(即包围着物体的诸表面)本身就处于布鲁诺的空间之中。宇宙本身也位于空间之中:位于支持

---

[47] G. Bruno, *Acrotismus*, art. LIII, p. 169: “Quam levi persuasione motus, ipse movetur et nos movere contendit Aristoteles! ubi trium suarum lationum differentias concludit ex trium magnitudinum seu dimensionum differentia. Nos enim nullum sursum vel deorsum nisi respective intelligimus, neque diceremus unquam principium, unde motus, esse rationem dextri: ad unum quippe situm quod est dextrum ad alium secundum alias loci differentias invenietur, puta sinistrum, ante, supra. Mitto quod, cum infinita sint mundana corpora et infinita mundi dimensio, nec deorsum esse poterit, neque medium, neque sursum.”

[48] *Ibid.*, art. XXXV, p. 138, 拉丁语原文为: “Spacium…nullam ad motum differentiam habet.”

[49] *Ibid.*, art. XXXII, p. 130: “Minime verum est, quod recta movetur magis mutare locum, quam quod circulo torqueatur.”

和容纳实在之物的广袤无限的虚空之中。<sup>[50]</sup>

布鲁诺驳斥了亚里士多德主义者就无限的逻辑不可能性和形而上学不可能性所提出的反对意见,也驳斥了他们关于虚空的物理不可能性的反对意见。<sup>[51]</sup>相反,亚里士多德的有限(有界的 Cosmos)是不可知、虚假和不可能的,而无限才是可知、真实甚至是必要的。<sup>[52]</sup>当然,无限也不再是潜无限,而是实无限。因为在布鲁诺看来,物质本身处处并总是处于现实之中。虚空则被明确等同于包容所有物体的空间。虚空是一种无限,这种无限的部分处处隐藏在物体之下:无疑,除非在那些物体相互接触的地方,空无的空间实际上并不存在。事实上,空气和以太总是充满着空间。但是,这并不妨碍这样一个事实,即从形而上学角度并就其本身来看,虚空只不过是物体填充的那个对象:它是充实的必要容器(réceptacle)<sup>[53]</sup>和支撑物。这也正是术语“位置”的真正含义,是人们应

[50] G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXVII, p. 123: "Vacuum est spatium, in quo tot corpora continentur. Ipsum est unum infinitum, cujus partes ibi tantum sine corpore esse intelligimus, ubi corpora corporibus continguntur et alia moventur intra alia." *Ibid.*, art. XXXV, p. 140: "Vacuum vero spatium, in quo corpora continentur, est unum infinitum cujus partes alicubi sine corpore esse intelligantur." *Ibid.*, art. XXXVII, p. 142: "Vacuum tum separatum quid a corporibus, tum ipsis imbibitum, tum unum continuum dicere non formidamus: id enim necesse est."

[51] *Ibid.*, art. XXVII, p. 123: "Infinitum dicimus non solum ut materiam, sed et ut actum. — *Ratio*: Non est materia infinita sine aliqua potentia et actu, sed ubique actus, alicujusque formae participes: non est enim vacuum sine aere vel alio corpore; sive vacuum capias ut spatium, sive ut disterminans; non est locus sine locato."

[52] *Ibid.*, art. XXIV, p. 121: "Nobis non impossibile est simul infinitum dicere corpus. Et locum quemdam corporibus esse. — *Ratio*: Si non superficies, sed spatium quoddam locus est, nullum corpus, neque ulla pars corporis illocata erit, sive maximum, sive minimum, sive finitum sit ipsum, sive in finitum." *Ibid.*, art. XXVI, p. 122: "Finitum Aristotelis est ignotum. falsum et impossibile: notum, verum atque necessarium est infinitum plurium philosophorum: ... Finitum ipsum et terminus universalis est inconveniens, falsus et impossibilis..." 另参见本书第一部分,前文第 58 页所引贝内代蒂的文本。

[53] *Ibid.*, art. XXX, p. 126: "*Ratio*: Potuit sane Plato dixisse, materiam esse receptaculum quoddam et locum quoddam receptaculum esse." 同时参见 *ibid.*, p. 130.

该给这个问题(即“在哪里”?)的真正答案。物体在哪里?布鲁诺的回答是:在虚空中,或在空间里。空间既是它们的公共容器,也是容纳所有物体的“不动的位置”。之所以空间是“不动的位置”,是因为它是无限的,因为这样一种无限是无法运动的。<sup>[54]</sup>相反,所有的有限物都是可动的。亚里士多德断言运动必须预设“位置”为前提,他还断言虚空使运动变得不可能(在虚空中的运动将会是一种瞬时运动,并具有无限大的速度)。绝非如此!布鲁诺回答说:运动需要预设的前提根本不是“位置”,而是空间。虚空绝不会使运动变得不可能,相反,它是运动的必要条件:所有的运动都在虚空中发生,都趋向虚空,甚至从虚空开始。<sup>[55]</sup>此外,在虚空中的运动绝不会在瞬间发生,也不会具有无限大的速度。<sup>[56]</sup>亚里士多德的推理完全无法成立。

181

面对布鲁诺思想的大胆和激进,我们一直深感吃惊。他的思想使关于世界和物理实在的传统图景发生了一种变革,一种真正的革命。宇宙

---

[54] G. Bruno, *Acrotismus*, art. XXIII, p. 120: “*Ratio*: Infinitum, quia infinitum, maxime non nutat, non trepidat; infinitas enim est maxima immobilitatis ratio, ideo infinitum seipsum, firmare dicitur; quia ex sua ratione habet, atque natura firmitatem.” *Ibid.*, art. XXXIV, p. 134: “*Ratio*: Vacuum est, a quo corpora recipiuntur, et in quo corpora continentur; recipiuntur autem ab eo, dum eodem spatio semper immobili permanente (quo nihil fixius esse potest) aër vel aliud alii in ipso cedit. Interim igitur nihil per vacuum feri intelligitur, quasi ante ibi nihil extiterit, quia aër est ubi nullum aliud corpus sensibile apparet.”

[55] *Ibid.*, art. XXXV, p. 135: “Non igitur ullus erit motus, si non si vacuum, omne enim movetur aut e vacuo, aut ad vacuum, aut in vacuo.” *Ibid.*, art. XXVIII, p. 123: “Translatio corporum indicat magis locum esse spacium, quam quidcunque aliud. Est igitur receptaculum corporum magnitudinem habentium, ad nullam quattuor causarum reducibile, sed per se quintum causae genus referens. — *Ratio*: Hoc (spacium) neque elementum est, neque ex elementis, non enim elementa corporea habet, nec incorporea; haud quidem corporea, quia non sensibile; haud incorporea, quia magnitudinem habet. Porro vacuum est, seu spacium, in quo sunt corpora magnitudinem habentia.”

[56] *Ibid.*, art. XXXV, p. 136: “Non necessarium est moveri in instanti quod movetur per vacuum.” *Ibid.*, p. 137: “In his omnibus quod ad motum spectat vacuum nihil conducere videtur, cui non motum vel quietem sed locum et continentiam tantum est administrare.”

的无限性、自然的统一性、空间的几何化、对位置的否定、运动的相对性：我们已经非常接近牛顿了。中世纪的宇宙(Cosmos)已被摧毁。我们可以说，它已经携带着亚里士多德的物理学，一起消逝在虚空之中。它为一种“新科学”腾出了自由的空间，尽管布鲁诺自己并未能建立这种新科学。

那么，究竟是什么使得布鲁诺在前进的道路上裹足不前呢？无疑，首先是他的思想的冲动本身，还有他的思想的宗教灵感，他的思想的泛灵论特征，“宇宙”(Univers)以及存在的巨链对他而言所具有的情感价值。但是，使他停步不前的同样还有事实、经验和现象。

物体下落，地球转动，行星环绕太阳做圆周运动。亚里士多德解释了所有这些现象；布鲁诺根本不知道该如何解释它们。<sup>[57]</sup> 这就是布鲁诺思想的不足之处的一个根源。因为仅仅用一种形而上学去反对亚里士多德的物理学是不够的，我们需要的是另一种物理学。无疑，新物理学只能来自一种新的形而上学。但是，布鲁诺的泛灵论的和反数学的形而上学还不能使它产生：他的形而上学只会促使他坚持以前巴黎学派的物理学(冲力动力学)以及哥白尼的物理学。因此，我们看到了一幕奇特的场景：冲力，运动的“力—原因”，诸整体聚集到一起的倾向，诸整体的自然圆周运动，诸天球的自然圆周运动，星体受灵魂的指挥<sup>[58]</sup>……一种深刻的形而上学直觉曾将这个人推到如此深远和高超的境界，但他却还是半途折回、裹足不前并最终停下脚步。

然而，我们也不要过于苛刻了：思想厌恶虚空，只有当一种科学理论被另一种科学理论代替之后，它才会彻底消失。而这另一种科学理论，只有到了牛顿才会被提出来。

[57] 因此，他用“星体没有重量”这一事实来解释行星圆周运动的可能性，参见 *Acrotismus*, art. LXV: “Tellures superiores igitur non sunt graves neque leves, sicut neque terra ista, ubi mole sua in regione infinita consistit. [天上的星体既不重也不轻，它们不像地球，地球是由无限区域中的物质所构成的。]”

[58] *Ibid.*, art. LXXIV, pp. 176 sq.

### 3. 第谷·布拉赫

在我们看来,布鲁诺用来反对亚里士多德主义者的论证的各种推理显得相当具有说服力。然而,必须指出,在布鲁诺那个时代,它们并没有说服任何人。它们既没有说服第谷·布拉赫,甚至也没有说服开普勒。在与罗特曼的论战中,第谷·布拉赫悄悄地提出了亚里士多德主义者的各种古老的论证(当然是通过将它们装扮成近代的形式)。<sup>[59]</sup> 开普勒一方面受到了布鲁诺的影响,另一方面又认为必须回到哥白尼的论证才能战胜亚里士多德主义者的观点。因此,他通过引入一种新观念来充实哥白尼的论证,或者毋宁说,用一种物理学观念(吸引力的观念)来代替哥白尼的想象观念(本性共同体的观念)。

第谷对于地球运动的反驳(以及对于哥白尼的各种论证的反驳)并非完全无关紧要。实际上,第谷告诉我们:“自然运动”(与“受迫运动”相对立)的观念很难容许一个物体同时被两种不同的运动所推动,这些运动必定会相互干扰。当第谷指出这一点时,他的说法是完全有道理的。当他认为哥白尼就那些与地球相分离的物体(云、空气等等)的运动提出的解释“几乎不可信”时,他也同样有道理。然而,奇怪的是,在没有注意到哥白尼和亚里士多德共同持有以下命题的情况下,第谷径直明确地否定了哥白尼的论证建基于其上的这个“原理—公理”(principe-axiome)。他告诉我们:认为一个整体的分离部分还保留着整体的动质,这样的观点是错误的。恰恰相反,上述整体的分离部分从不会这样做。<sup>[60]</sup>

而当第谷重新提出关于从高塔顶端下落的物体和垂直向上抛出的物

---

[59] 正是第谷·布拉赫发明了关于大炮发射的著名论证,并将其引入到讨论之中。这个论证后来变得非常流行。

[60] 参见 Tycho Brahe, *Astronomicarum Epistolarum liber*, Uranienburgi, MDXCII, p. 188 sq.; éd. Dreyer, Hafniae, 1919, p. 218 sq.

体的传统反驳时<sup>[61]</sup>,他就没那么幸运了。但是,他很喜欢这个论据。在这一点上,他非常准确地看到了亚里士多德主义者最强有力的反驳(尽管第谷在天文学上做出了许多革新,但在物理学上,他依然是一个亚里士多德主义者)。因此,他拒绝接受布鲁诺的论证。他在给罗特曼的信中写道<sup>[62]</sup>:“如果某些人相信,在一艘正向前运动的船内向上抛出一枚炮弹,这枚炮弹会落回到当船处于静止状态时的相同位置,那他们就大错特错了。事实上,船运动得越快,炮弹就落后于船的运动越多。”

在我们看来,也许第谷的执著并没有为他带来有利的证据。但是,我们还是要公平一点。如果从一个亚里士多德主义者的观点来看,布鲁诺的说法确实令人难以置信。<sup>[63]</sup>

然而,单是拒绝布鲁诺的论证,或者诉诸经验都还是不够的。因此,第谷通过在传统的论证中引入一种新近的发明:大炮,来力图使传统的论证变得更为现代化。<sup>[64]</sup>

[61] *Astronomicarum Epistolarum liber*, p. 188; éd. Dreyer, p. 218.

[62] *Astronomicarum Epistolarum liber*, *ibid.*

[63] 因为,我们可以来想象一艘停泊在一座桥下的船:很明显,一枚从桥顶(A点)落下的炮弹落到船上的某个点(B点),B点精确地位于炮弹出发点(即A点)的下方,就像在一艘静止的船上从桅杆顶端下落的一枚炮弹将会落到这根桅杆底端的甲板上。现在,我们再来想象这艘船正处于运动之中;很显然,从桥顶A点开始下落的炮弹绝不可能落到甲板上的B点,这个点在炮弹开始下落时正处于A点的下方:因为在炮弹下落期间,船以及船上的B点都已经移开了。我们能够承认这种情形将会与炮弹从桅杆顶端下落的情形不同吗?亚里士多德主义者不能承认这一点。因为,让我们假定,船上的桅杆与船正在其下通过的桥一样高,再像布鲁诺所做的那样,假定在同一瞬间,即在桅杆顶端恰好接触到上述桥顶A点的同一瞬间,我们同时放下两枚炮弹:一枚从桥顶A点放下,另一枚从桅杆顶端放下。亚里士多德主义者永远不会承认,在这两枚在同一瞬间并从同一地点自由下落的炮弹中,其中一枚垂直下落并掉进了水中,另一枚在空中画出一条奇怪的曲线,并最终落到了同一根桅杆的底端。有什么样的迹象表明会发生这样一种情形呢?我们有什么样的理由来接纳这样一种区别呢?难道这不是假定了炮弹“知道”它该往哪里去以及“记得”它与船和桅杆之间(过去的)联系吗?亚里士多德主义者合情合理地认为,这样的观念显得过于拟人和虚构了。

[64] *Tychonis Brahe, Astronomicarum Epistolarum liber*, p. 189; éd. Dreyer, p. 219, 拉丁语原文为:“Et quid, quaeso, fiet, si Tormento Bombardico majori versus Ortum (转下页)”

第谷写道：

请问，如果我们从一门大炮向东发射一枚炮弹……然后又从同一地点的同一门大炮向西发射另一枚炮弹……那么，会发生什么样的情形呢？我们可否认为，这两枚炮弹……将会在地球上通过相同的距离？

第谷想暗示的是，为了达到炮弹射出相同距离的发射效果，上述炮弹应该通过某种方式知道它们必须做些什么，尤其是要知道它们必须符合（哥白尼的）理论，根据这一理论，所有“地球上的”物体都必须跟随地球一起运动。但第谷无法接受这样的理论。他还认为，即使人们承认，这一理论对那些没有被任何固有运动所推动的物体来说是成立的，人们也不可能将它运用到炮弹的情形，甚至不可能将它运用到自由落体的情形。从第谷的观点来看，炮弹的情形与其他情形完全不同：炮弹正处于一种极其快速的受迫运动之中。这样一种运动怎么可能与旋转的“自然”运动同时共存，而且前者既不干扰后者，也不被后者所干扰？因为，正如我们已经多次指出，从“前伽利略物理学”的观点来看，没有什么比不同运动的相对独立性更令人难以置信了。接受这种相对独立性，就相当于接受了一种不产生结果的原因。因此，第谷继续向我们解释<sup>[65]</sup>，如果“由大炮的火药所产生的违反自然而又极其猛烈的受迫运动”与地球极其快速的自然运

---

（接上页）directo, explodatur globus ferreus, sive plumbeus, sive etiam lapideus, atq: ex eo ipso versus Occasum in eodem loco disposito, idque utrinque ad pariles cum horizonte angulos respectu prioris inclinationis elevato? Au fieri posse putandum, ut globus utrinque eadem pulveris quantitate et vi emissus tantudinem in terra permeet spatii, ob naturalem motus scientiam qua globus quilibet e terrestribus formatus totam terram concomitaretur?”

[65] 第谷想说的是，尽管炮弹的圆周运动（即它跟随地球一起进行的运动）是一种自然运动，但从其快速性来看，它接近于火药爆炸所产生的受迫运动，因此，它所产生的效果应该类似于后一种运动所产生的效果：即应该阻止炮弹落到地球上。



动能够毫无阻碍地相互结合,那将会是多么奇怪的事情。因为按照哥白尼和布鲁诺的观点<sup>[66]</sup>:

在被发射出的炮弹中将会有三种运动:一种是炮弹由于其重性而沿直线趋向地球中心的运动;另一种是按照它与地球组成的本性共同体,炮弹不知疲倦地摹仿着地球的转动;还有第三种运动产生于……火药爆炸所带来的强迫,这种强迫将通过一种冲力迫使炮弹飞向一个按照其固有本性根本不愿去的地方。然而,这种极其猛烈

---

[66] Tycho Brahe, *op. cit.*, p. 189 / 219, 拉丁语原文为:“Ubi igitur manebit violentissimus ille motus e puluere Bombardico praeter Naturam concitatus, qui sane alteri illi naturali, quo Terra in gyrum verti deberet, ut admodum pernici, quodammodo aemulus est”? Sunt igitur iam in globo sic emisso tres motus: Vnus quo is ratione gravitatis per lineam rectam centrum. Terrae peteret: Alter quo per consensum, totius Terrae convolutionem ad amussim imitaretur: Tertius vero ille, qui fit per violentiam, quam vis Nitri sulphurosata, et carbonibus inflammata, instar Tonitruum et Fulminis, cogit globum rapidissimo impetu eo pergere, quo minime suapte Natura vellet. Cumque is violentissimus motus alterum, quo gravia necessario, et naturaliter recta descendunt, adeo impediatur, ut nisi post longe emensum spatium, imo vix quidem antequam violentia illa se remiserit, atque in quietem paulatim desierit, Terram contingere possit, quidnam quaeso, obtinebit secundus ille motus, si et is naturalis esset (in circuitum videlicet convolutio) privilegii, ut in A? re etiam tam tenui per violentissimam illam concitationem, contra Naturam factam, nihil prorsus impediatur! Experientia enim testatur, quod globus eiusdem magnitudinis et ponderis, eo, quo diximus modo, vice versa vi pulveris bombardici ejusdem quantitatis, et validitatis emissus, idem proxime spatium de superficie Terrae post se relinquat, tam versus Ortum, pari, ut dixi, ejusdem Tormenti inclinatione, quam versus Occasum eiectus, A? re praesertim satis tranquillo existente, et hanc, vel illam impulsionem nihil per accidens promovente, vel retardante: cum tamen ob Terrae motum diurnum (si quis esset) concitatissimum, globus versus Ortum emissus nequaquam tantum spatium de superficie Terrae emetiri posset, praeveniente nonnihil suo motu Terra, atque is, qui versus Occasum pariformiter explosus est, Terra tunc aliquid de superficie, motu proprio subtrahente, et ob id spatium interceptum augente. Nam ut dilucidius haec intelligantur; e maxima Bombarda quam duplicem Cartoam vocant, globus ferreus, ad obliquum emissus, intra duo minuta temporis vix motu fessus Terram pertingit quibus viginti millia passuum majorum motu diurno in parallelo Germaniae convolvi deberet, si motioni diurnae obnoxia esset Tellus.”

的受迫运动将会干扰另一种运动,即重物必然和自然地沿直线下落的运动。因此,只有当炮弹通过了一大段距离,甚至只有等这种强迫被逐渐耗尽,(上述炮弹)渐渐恢复平静之后,它才能落到地球上:所以,我就会问,上述第二种运动(即沿着圆周的旋转运动)的效果是什么呢?它又怎么会完全不受另一种违反自然而又极其猛烈的共存运动(concitation)的干扰呢?因为经验向我们显示了,如果相同大小和重量的炮弹从相同力量的大炮以相同数量的火药朝着某一个或另一个方向发射,正如我们已经说过,只要炮弹是从相同倾角的大炮射出,只要空气保持相当平稳,只要没有偶然因素来促进或阻碍这种推动,无论向东还是向西发射,炮弹在地球表面几乎都会通过相同的距离。然而,由于地球极其快速的周日运动(如果存在这样一种运动的话),当炮弹向东发射时(此时地球将因其自身固有的运动而迎向炮弹),这枚炮弹与以同样的方式向西发射的炮弹相比,永远不可能在地球表面通过相等的距离……

185

因此,作为一位忠实的亚里士多德信徒,第谷·布拉赫认为,炮弹的受迫运动将会阻碍它落向地球。他认为这种运动将会取消下落运动,但这并不是因为上述运动将炮弹带向高处,而只是因为它出现在炮弹中,而且它比趋向地球中心的运动更迅速及更猛烈。因此,第谷不能理解(按照哥白尼的理论),当一枚炮弹被一种极其快速的自然运动所驱动时,它怎么可能再若无其事地接受另一种受迫运动的影响。第谷认为,如果地球上的物体确实还被另一种运动所驱动,而且这种运动比大炮发射出的炮弹所做的运动还要更迅速,那么这两种运动必定会相互干扰,其中一种运动将会取消另一种运动,从而使所有的炮弹都总是沿着同一方向飞行。因此,如果地球在转动,这些炮弹将在两个方向上相对于运动的地球通过不同的距离。然而,这种情况并未发生,这是因为,假定炮弹所参与的自然运动并不存在,炮弹所拥有的只是驱动它的那种受迫运动。

186

我们不应该嘲笑第谷。其实,当他对我们说,只要还没有人通过更强有力的新论据来清晰地揭示出,(下落和地球转动的)自然运动既不会阻碍、也根本不会影响受迫运动,他就不可能承认地球的运动,他这样说是完全有道理的<sup>[67]</sup>。因此,我们将会看到,开普勒以及其后的伽利略都在这个问题上耗费了相当长的时间。

#### 4. 开普勒

开普勒的反驳论证具有某种非常独特的意义。这并不是因为他的论证给出了最终的解答,而是因为这个论证再一次向我们显示了布鲁诺、伽利略等人的思想中所蕴涵的那些新颖独特的内容。它也向我们显示了他们必须克服的各种障碍的困难程度。最后,它还为我们揭示了这些困难的最终的哲学根源。

事实上,整个争论过程所涉及的不仅仅是科学,它还涉及了哲学、本体论和形而上学。与其说是一些纯粹科学的原因使开普勒停下了脚步,远不如说是一些哲学的原因(尽管我们仍应将惯性<sup>[68]</sup>这一术语本身归功于开普勒),正是这些哲学的原因阻碍了他奠定新动力学的基础。

187 从严格的科学观点来看,开普勒无疑是他那个时代第一流的天才。难道他不是把第一流的数学天才与思想上无与伦比的果决融为一体,而这种

---

[67] Tycho Brahe, *Astronomicarum Epistolarum liber*, p. 189 / 219: “Donecis, vel quispiam alius invictis rationibus liquido ostenderit, qui fieri possit, ut supra modum violentus ille, de quo dixi, motus, a duobus istis quos ille assumit, naturalibus, omnino nihil impediatur, vel etiam hos nullo vestigio interturbet...”

[68] 众所周知,开普勒的惯性(inertie)是某种与经典物理学的惯性非常不同的东西。开普勒的惯性是指重物对于运动的抗拒(而不是指对于开始运动或加速的抗拒,也不是指物体趋向静止的自然倾向)。因此,正是由于这种惯性,所有的运动都蕴涵着某个施动者,当取消这个施动者时,运动最终会耗尽并完全消失。对开普勒来说,一种运动(无论它是什么样的运动)的永恒持续是无法想象的。惯性(即对运动的内部阻碍)在开普勒的物理学中所发挥的作用相当于介质的外部阻碍在亚里士多德物理学中所发挥的作用;因此,开普勒认为,如果物体不具有惯性,那么运动将会是瞬时的。参见下文第 72 号注释。

果决使得他能够将天文学,从而也将物理学和力学从正圆运动的偏执中解放出来?难道他不是写出了一部“天界物理学”(Physique céleste),并且追随柏拉图再次宣告几何学在物质世界的统治地位?<sup>[69]</sup>在他那个时代,“天界物理学”这样的术语组合就像《创造进化论》(Evolution Créatrice)的术语组合<sup>[70]</sup>对于我们这个时代一样令人震惊。然而,从哲学上看,开普勒更接近亚里士多德,而不是笛卡尔或者伽利略。他在哲学上仍然是一个中世纪的人。对于他来说,运动和静止就像光明与黑暗、存在与“存在的匮乏”那样截然对立。<sup>[71]</sup>因此,他还需要一种原因来解释运动的存在和持续。但是,对于静止以及运动的终止则无需原因来解释。<sup>[72]</sup>

无疑,开普勒已经放弃了物体的“自然位置”的传统观念。对于开普勒来说,空间才是物体的“自然位置”。开普勒的空间(就像布鲁诺的空间

---

[69] Kepler, *De Fundamentis Astrologiae certioris*, Thesis XX (Opera, éd. Frisch, v. I, p. 423): “Ubi materia, ibi geometria” [哪儿有物质,哪儿就有几何学]; *Mysterium cosmographicum*, note de 1621 (Opera, v. I, p. 134): “Omnis numerorum nobilitas (quam praecipue admiratur Theologia Pythagorica rebusque divinis comparat) est primitus a geometria. [每一个数的高贵性首先都来自几何学(这种数的高贵性尤其被毕达哥拉斯的神学所赞美,并将其与神圣的事物相提并论)]” 另参见 *Apologia adversus Robertum de Fluctibus* (Opera, vol. V, p. 421 sq).

[70] 在开普勒那个时代,天地二分(或者说 Cosmos 的“月上区”和“月下区”二分),截然对立,就像在我们这个时代,特创论(creationism)和进化论(evolutionism)也是截然对立的两种理论。在他那个时代,只有地界物体才遵循物理学定律,天界物体则由以太组成,不遵循地上的物理学定律,故绝不可能存在“天界物理学”。——译者

[71] 参见下文第 191 页及以下。

[72] 正是物体的自然惯性解释了运动的停止。对于开普勒来说,惯性(参见 Opera, éd. Frisch, vol. II, p. 674; III, pp. 305, 374, 459; VI, pp. 167, 174, 181)是物质普遍具有的一种绝对属性,它是物质“无能”(impuissance)的结果。由于物质在整个宇宙中都是相同的,所以开普勒将这种惯性同时赋予了天上的物体。这些物体就像所有其他物体一样,都应该被某种积极的力量所推动(开普勒认为这种力量是从太阳发射出来的)。一旦物体不再被这种力量所推动,它们就会停止运动。参见 *Epitome Astronomiae Copernicanae*, l. IV, p. 2 (Opera, VI, p. 342): “Si nulla esse inertia in materia globi caelestis, quae sit ei velut quoddam pondus, nulla etiam opus esset virtute ad globum movendum; et posita vel minima virtute ad movendum, jam causa nulla esset, quin globus in momento verteretur. Jam vero cum globorum conversiones fiant in certo tempore, quod in alio planeta est longius, in alio brevius, hinc apparet, inertiam materiae non esse ad virtutem motricem ut nihil ad aliquid.”

一样)已经是如此均匀和同质化,以致对于所有物体来说,每一个位置都变成了“自然位置”。因此,只要没有外力来驱赶它,物体就会一直停留在这个自然“位置”。它不会自行离开这一位置,因为对于开普勒来说,物体是惯性的<sup>[73]</sup>,而且不再具有什么自然倾向。但与此同时:只要一种力不再推动它或将它带往别处,物体就会在任一位置自行停止运动。这也是一种惯性现象。因此,为了使云、鸟以及下落或抛出的石头能够跟随着地球的周日运动,开普勒认为,它们必须与地球相互牵引或被地球所带动,或者毋宁说,它们应该与地球形成一个实在的系统或统一体。<sup>[74]</sup> 现在,由于磁力的吸引,这种物理统一体已经实际存在着:石块、云、空气都已与地球联系在一起,就像各种绳索或链条已将它们与地球连接起来。这就是对垂直抛射现象和其他现象的解释,由于第谷和他的支持者们不知道还有这种力,因而他们也就无法理解或解释这些现象。<sup>[75]</sup> 因为他们没有

[73] 或者说,物体是惰性的。关于开普勒的惯性概念,参见前文第 68 号注释。——译者

[74] 在开普勒这里,“吸引”的观念已经取代了哥白尼援引的“本性统一体”或“本性共同体”的观念。

[75] 事实上,第谷将重性(*gravité*)视为重物的某种倾向,即它们趋向某个特定位置的倾向;而对开普勒来说,重性(或重力)是重物与地球之间的一种相互作用,而且与其说它是一种作用(action),远不如说它是一种对作用的承受(*passion*);参见 Kepler, *Astronomia Nova AITIOΔOPHTOΣ seu Physica c? lestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis*. Introduction (*Opera*, éd. Frisch, v. III, p. 151): “Vera igitur doctrina de gravitate his innititur axiomatibus: omnis substantia corporea, quatenus corporea, apta nata est quiescere omni loco, in quo solitaria ponitur extra orbem virtutis cognati corporis. Gravitas est affectio corporea mutua intercognata corpora ad unionem seu conjunctionem (quo rerum ordine est et facultas magnetica), ut multo magis Terra trahat lapidem, quam lapis petit Terram.

Gravia (si maxime Terram in centro mundi collocemus) non feruntur ad centrum mundi, ut ad centrum mundi, sed ut ad centrum rotundi cognati corporis, Telluris scilicet. Itaque ubicunque collocetur seu quocunque transportetur Tellus facultate sua animali, semper ad illam feruntur gravia. Si Terra non esset rotunda, gravia non undiquaque ferrentur recta ad medium Terrae punctum, sed ferrentur ad puncta diversa a lateribus diversis.

Si duo lapides in aliquo loco mundi collocarentur propinqui invicem extra orbem virtutis tertii cognati corporis, illi lapides ad similitudinem duorum magneticorum corporum coirent loco intermedio, quilibet accedens ad alterum tanto intervallo, quanta est alterius moles in (转下页)

考虑到地球和所有在它之上和属于它的物体形成了一个实在的统一体。他们将这些飞在空中的物体想象为脱离了地球对他们施加的(磁)作用,或者毋宁说,他们将这些靠近地球的物体的物理状况想象为与那些远离地球的物体完全相同。因为,<sup>[76]</sup>

正如有人已经说过,如果地球的吸引力向上延伸到很远的地方,那么可以肯定的是:假设一块石头离开地球大约有地球直径那么远,而地球又处于运动之中,那么这块石头不仅不能跟上地球的运动,而且它的阻力还会抵消地球的吸引力,从而会使它在某种程度上摆脱

---

(接上页) comparatione.” 参见 *Lettre à Fabricius*, du 11 oct. 1605 (Opera, v. III, p. 459) 以及 v. III, p. 511. 很明显,在这种观念中没有轻性的位置,轻的物体只不过是一些“小重量物体”(des minus gravia)。另参见 *ibid.*, v. III, p. 152.

[76] Kepler, *Astronomia Nova AITIOΛΟΓΗΤΟΣ seu Physica cœlestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis*. Introduction (Opera, v. III, p. 152). 拉丁语原文为:“Etsi virtus tractoria Terrae, ut dictum, porrigitur longissime sursum, tamen si lapis aliquis tanto intervallo abesset, quod fieret ad diametrum Telluris sensibile, verum est, Terra mota lapidem talem non plane secuturum, sed suas resistendi vires permixturum cum viribus Terrae tractoriis, atque ita se explicaturum nonnihil a raptu illo Telluris; non secus atque motus violentus projectilia nonnihil a raptu Telluris explicat, ut vel praecurrant, projecta versus orientem, vel destituantur, si in occidentem projiciantur: atque ita locum suum, a quo projecta sunt, vi compusa deserant: neque raptus Turrae hanc violentiam in solidum impedire possit, quam diu violentus motus in suo vigore est.

Sed quia nullum projectile centies millesimam diametri Terrae partem a superficie Terrae separatur, ipsaeque adeo nubes atque fumi, quae minimum terrestri materiae obtinent, non millesima semidiametri parte evolant in altum: nihil igitur potest nubium, fumorum et eorum, quae perpendiculariter in altum projiciuntur, resistentia et naturalis ad quietem inclinatio, nihil inquam potest ad impediendum hunc sui raptum; utpote ad quem haec resistentia in nulla proportione est. Itaque quod perpendiculariter sursum est projectum, recidet in locum suum, nihil impeditum motu Telluris, ut quae subduci non potest, sed una rapit in aere volantia, vi magnetica sibi non minus concatenata, quam si corpora illa contingeret. Hisce propositionibus mente comprehensis et diligenter trutinatis, non tantum evanescit absurditas et falso imaginata impossibilitas physica motus Terrae, sed etiam patebit, quid ad objecta physica quomodocunque informata sit respondendum.”

地球的牵引(*raptus*)。

开普勒认为：

189

受迫运动在某种程度上会使抛射体摆脱地球的牵引，以致物体有时(被向东抛出时)超前于地球，有时(被向西抛出时)落后于地球。因此，在这种力的强迫之下，物体离开了它们被抛出的位置。只要这种受迫运动还在发生作用，地球的牵引就根本不能阻碍固体中的这种强迫力。但是，由于任何一个物体都没能离开地球表面超出地球直径的十万分之一那么远，甚至连含土元素最少的云和烟也没有上升超过地球半径的千分之一那么高，云、烟以及那些垂直向上抛出的物体的运动阻碍和静止倾向在此也都起不了什么作用。之所以我说它们对摆脱地球的这种牵引起不了什么作用，那是因为这种阻力根本无法与地球的牵引力相比拟。<sup>[77]</sup> 因此，垂直上抛的物体总会重新落回它被抛出的位置，一点也不会被地球的运动所阻碍。地球也根本不会在它下面离开，而总会牵引着所有飞在空中的物体一起运动，这些物体通过磁力附属于地球，就像它们已被与地球连接在一起那样。

如果这些命题能被心灵所理解并加以细心地思考，那么，不仅那些反驳地球运动的观点就会烟消云散(人们通过错误的想象得出了这些观点，认为从物理学来看地球运动是荒谬和不可能的)，而且人们也可以清晰地看到应该怎样回应上述物理学反驳，无论这些反驳是如何被提出来的。

---

[77] 正是这种牵引力(*la force de raptus*)解释了为何不存在落后，或者毋宁说，这种落后几乎无关紧要。由此可得，如果重物没有受到地球的吸引(或者毋宁说，牵引)，那么亚里士多德和第谷将是正确的。同理可得，布鲁诺是错误的：船的情况和地球的情况有着很大的差别。参见下文第 199 页。

开普勒认为,他的理论只是在形式上与哥白尼的理论有所区别。<sup>[78]</sup>

190

“无疑,哥白尼更喜欢赋予地球和地球上的物体(因为它们也来自地球)一种相同的运动灵魂,这种运动灵魂在转动地球(即它的躯体)的同时,也同样转动着来自它的躯体的所有微粒……”但是,开普勒认为,哥白尼赋予地球一个灵魂,只是为了使“扩散到所有微粒之中的这种灵魂的力能够在受迫运动中发挥作用”。因此,在开普勒看来,这种理论是“多余的”,在一种有形能力(*faculté corporelle*)已足够用的地方没有必要再去假定一种灵魂能力(*faculté animale*)。因此,开普勒指出:“有形能力所产生的力(我们称之为“重力”或“磁力”)通过如下方式在有形运动中发挥作用,即通过带动那些被地球所吸引的物体,从而使它们参与地球的运动。”

无疑,这种有形能力比灵魂能力更有效。但实际上,哥白尼从未提到过灵魂能力。反而是开普勒自己以前曾经相信行星都有灵魂,而且非常奇怪的是,开普勒认为哥白尼的“本性”(nature)与灵魂是一回事。但是,很多人却认为“本性”的价值无法与灵魂相比,从而无法理解和“领会”开普勒的观点。

因此,开普勒发现他不得不回来关注第谷的反驳,并对其做出明确的回应。

在1605年1月26日的一封信中,开普勒的朋友法布里修斯<sup>[79]</sup>提出

---

[78] Kepler, *op. cit.*, p. 152, 拉丁语原文为:“Etsi Copernico magis placet, Terram et terrena omnia, licet avulsa a Terra, una et eadem anima motrici informari, quae Terram, corpus suum, rotans rotet una particulas istas a corpore suo avulsas: ut sic per motus violentos vis fiat huic animae per omnes particulas diffusae, quemadmodum ego dico, vim fieri facultati corporeae (quam gravitatem dicimus seu magneticam) itidem per motus violentos. Sufficit tamen pro solutis a Terra facultas ista corporea; abundat illa animalis.”

[79] Kepler, *In commentaria de Motibus Martis*, n. 21 (Opera, éd. Frisch, v. III, p. 458), 拉丁语原文为:“D. Fabricius in epistola (d. d. 26 jan. 1605) hanc movit quaestionem, spectans locum Tychonis in Epistolarum collectione (p. 189), ubi Tycho refert, quibus rationibus innixus ipse Rothmannum refutaverit copernicum defendentem. Fabricii verba haec sunt: qua ratione tu Copernico addictus argumentum Tychonis de explosione tormenti solvere vis? (转下页)



了以下问题，这个问题涉及第谷在其《书信集》(*Lettres*)中给出的一段论述<sup>[80]</sup>，在这段论述中，第谷转述了他曾用来反驳哥白尼的辩护者罗特曼的一些论据。法布里修斯写道：

作为哥白尼的支持者，你会用什么推理来回应第谷关于大炮发射的论证呢？的确，如果大炮向东发射，由于地球更为快速的运动，更确切地说炮弹应该落到向西的位置，而根本不可能向东运动。这个论证在反对地球的周日运动方面具有一种海格立斯般的强大力量。<sup>[81]</sup>既然地球的周日运动已被推翻，其他的观点也就很容易被驳倒。

的确如此！但是，开普勒回答说：<sup>[82]</sup>

---

(接上页) *Certe si versus ortum cartrana explodatur, fiet ut ob celeriore motus Terrae emissus globus versus occasum potius locum quietis inveniatur, tantum abset ut versus ortum proferatur. Herculeum certe est argumentum adversus motum Terrae diurnum, quo destructo cetera facile cadunt.*”

[80] 参见前文第 66 号注释所引内容。

[81] 法文为“une force herculéenne”，海格立斯(Hercule)是古希腊神话中的英雄，以力大无穷著称。——译者

[82] Kepler, *op. cit.*, p. 458 sq., 拉丁语原文为：“De objectione Tychoonis, qui tormento impugnat motum Terrae, rogas eadem quae Cancellarius Bavariae nuperrime. Respondeo eadem, misceri motus, non impugnari aut aboleri alterum ab altero. Terra movetur ab occasu in ortum, cum ea omnis copia aeris circumfusi, omne grave, sive jacens sive pendens. Nam cur non et pendens quid impedit? Num gravitas? At ea tendit ad centrum Terrae, ad centrum faciei Telluris, quae lapidi est exposita, quod vi magnetica lapidem attrahit fortius quam si centum catenarum nervorum tensissimorum vinculis quaquaversum esset annexus Telluri. Nam igitur impedit ipsum aer, qui est trajiciendus? At Terram et ipse sequitur, saltem in hac propinquitate. Quid igitur impedit? Nihil tu potes ostendere. Ergo quid impediatur ostendem, sed simul et respondebo. Quodcunque materiatum corpus se ipso aptum natum est quiescens, quocumque loco reponitur. Nam quies ut tenebrae privatio quaedam est, non indigens creatione, sed creatis adhaerens, ut nullius aliqua; motus vicissim est positivum quippiam ut lux. Itaque si lapis loco movetur, id non facit ut materiatum quippiam, sed ut vel extrinsecus impulsus vel attractus vel intrinsecus facultate quadam praeditus ad aliquid respiciente. Hanc dicunt Aristotelici appetentem centri(转下页)

……关于第谷用大炮发射来反驳地球运动的论证，你向我提出的问题与最近巴伐利亚总督提出的问题完全相同。因此，我的回答也是同样的：各种运动相互叠加，一种运动既不会阻碍也不会取消另一种运动。地球自西向东运动，包围着地球的所有空气，以及无论是处于地球表面还是悬浮在空气中的所有重物，也都会随着地球一起运动。的确，悬浮在空气中的重物为什么不随着地球一起运动呢？难道是什么阻碍了它？是重力吗？但是，重力只会趋向地球的中心，趋向面对着石块的地球表面的中心，而地球则通过一种磁力吸引着石块，这种吸引比石块被一百条最有力地绷紧的绳索或纽带捆绑着和牵引着的情形还要更强有力。难道石块将要穿越的空气在阻碍着它跟随地球运动吗？但是，至少在邻近地球的空间中，空气本身也在跟随着地球一起运动。那么，还有什么会阻碍它呢？你无法举出任何东西。因此，我将向你显示是什么在阻碍（石块跟随地球运动），同时，我也将答复上述反驳。

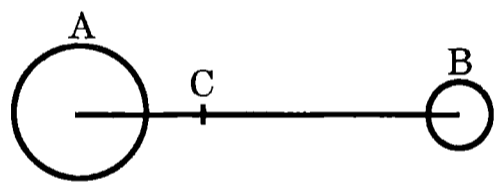
就其自身及其本性而言，一切物体都将注定在它所处的某个位置保持静止不动。因为静止就像黑暗一样，是一种匮乏，它不需要被创造出来，而只是作为某种虚无留下的痕迹附着于被创造的物体。相反，运动就像光明一样，是某种积极的事物。因此，如果石块处于位置运动之中，这并不是由于它是物质性的，而是由于它或是被某物

192

---

（接上页）mundi. Nego, sic enim vere impediretur sequi Terrae motum. Probet, scio, futiles ipsorum probationes ab ignis natura contrarii, quae est *petitio principii*. Nam ignis non petit caelum, sed fugit Terram... Ergo aliter ego definio gravitatem, seu illam vim, quae intrinsece movet lapidem, vim magneticam coagmentantem similia, quae eadem numero est in magno et parvo corpore, et dividitur per moles corporum accipitque dimensiones easdem cum corpore. Itaque si lapis aliquis esset pone Terram positus in notabili aliqua proportione magnitudinis ad molem Telluris, et casus daretur, utrumque liberum esse ab omni alio motu : tunc ego dico futurum, ut non tantum lapis ad Terram eat, sed etiam Terra ad lapidem, dividantque spatium interjectum in eversa proportione ponderum, sitque ut A ad B causa molis, sic BC ad CA et C locus ubi jungentur, plane ea proportione qua statera utitur.”

外在地推动或拉动,或是被内在地赋予了某种趋向某物的能力。亚里士多德主义者说,石块趋向世界的中心。这是我所反对的,因为如果情形真是如此,那么石块就会真正受到阻碍,从而无法跟随地球一起运动。我也知道,他们会基于火的相反本性来提出各种毫无用处的证明,这是一种循环论证。因为火并不趋向天空,而只是从地球逃逸。<sup>[83]</sup> 这就是我为什么只将重力(这种内在地推动着石块的力)定义为一种磁力,这种磁力使相似的事物结合在一起,而且在大物体和小物体中起作用的都是同样一种力。这种力根据物体的大小来分配,物体越大,所受的重力也越大。因此,如果一块石头被放在地球的附近,这块石头的大小可与地球相比拟,并且两者在所有其他运动上都互不干扰,那么我认为就会发生以下情况,即不仅石块将会趋向



地球,地球也同样会趋向石块,而且两者将会按照它们重量之比的相反比例来分割它们之间相隔的距离。例如,如果它们的大小之比是 A 比 B,这个比例就等于 BC 与

CA 之比,而 C 点将会是它们会合的位置。很明显,这个比例类似于杠杆的臂长之比。

193

不过,且让我们回到上述问题:<sup>[84]</sup>

[83] 静止是一种匮乏,运动是某种积极的事物,我们由此看到了开普勒是一位多么不折不扣的亚里士多德主义者!火从地球逃逸,在哥白尼或青年伽利略那里也有同样的学说(参见本书第一部分,前文第 35 页及以下,第 69 页及以下)。但是,重力的观念依然标志着一种明显的进步。开普勒的重力与物质具有相同的外延,它是所有物体共同具有的某种普适的力,并且与物体的质量成正比。它不再是某种相似事物聚集到一起的模糊倾向,或者毋宁说,对于开普勒与伽利略而言,所有物体都是“相似的”。

[84] Kepler, *op. cit.*, p. 459, 拉丁语原文为:“Sed contrahe vela. Dixi, si a lapide removeas animo facultatem illam jungendi similia, remansuram in lapide meram impotentiam ad mutandum locum. Ut igitur illa expugnetur, vi et contentione extranea opus est. Dum ergo fingimus lapidem in aere pendentem, negamus ei vim conjungendi similia, hoc est gravitatem, (转下页)”

我已经说过,如果你在思想中取消石块的这种将相似事物结合在一起的能力,那么在石块中将会只剩下无法改变其位置的纯粹无能(*pure impuissance*)。因此,为了驱动石头离开某个位置,我们就需要某种外力或外部作用。现在,让我们想象一块石头正悬浮在空气之中,我们否认它具有将相似事物结合在一起的力(即重力),不过,我们仍然让上述地球的力作用于石块。尽管在现实中这很荒谬但,还是让我们先这样假定,我们这样做只是为了说明我们的情况。因此,这块悬浮在空气中的石头就会拥有一种停留在它的位置的能力,它通过这种能力来反抗地球的动质。这些物质的和有形的属性之间的相互对抗将会产生某种混合,以致每一种力都将根据物体之间的比例或者战胜对方,或者被对方击败。

由此也就产生了我答应过要解释的某种效果,或者说某种阻碍。

---

(接上页)*et tamen eam vim Terrae in lapidem relinquimus. Esto hoc ita, quamvis re vera absurdum sit, tantummodo ut nobis casus constet. Habebit igitur pendulus iste lapis adhuc vim quiescendi in suo loco, ea repugnabit virtuti Telluris circumacturae. Ex pugna materialium et corporearum proprietatum fiet permixtio, ut quaelibet vincatur et vincat vim suam corporum proportione. Itaque hinc evincitur, quod dixi me indicaturum, impedimentum nempe, quo minus pendulus hujusmodi lapis perfectissime sequi possit circularitatem Telluris. Atque hoc impedimentum est verissimum. Quare jam destruamus casum nostrum fictitium et sint illae lineae a superficie Terrae in lapidem tendentes non tantum ut fulcra, sed vere id quod per naturam nobis indicatur, nempe instar nervorum tensissimorum, sic ut lapis iste sit in actu descensus ad superficiem et centrum Terrae : dico, propter hanc impotentiam ad motum omnino futurum, ut lapis hic in descensu nonnihil aberret a perpendiculo ex centro Terrae per superficiem in centrum lapidis ducto et sic Terra ab occasu in ortum eunte, lapidis perpendiculum paulatim in occidentales superficiei partes deveniet : nec Terram omnimode sequetur, sed ab ea relinquetur. Habes causam cur lapis non debeat sequi Terram, qualem tu ad tuae sententiae confirmationem non potuisti dicere. Auti nunc solutionem. Verum est, si lapis notabili intervallo a Terra distaret, fore ut hoc accidat. At nunc sunt 860 miliaria a centro ad superficiem, et vero nulla avis tam alte volat ut dimidium unius miliaris absit a solo; sane quia in aetere non magis apta est volare, quam nos in aere, quam lapis in aqua aptus est natere.”*

由于这种阻碍，一块悬浮在空气中的石头无法完全跟上地球的圆周运动。这种阻碍是非常真实的。因此，我们将抛弃我们假想的情况，并假定地球表面和石块之间的紧密联系并不像拉紧的弦，而是像自然向我们显示的那样，类似于一些极其紧绷的纽带，以致上述石头实际上还能够朝着地球表面和中心下落：我会说，由于石块没有运动的天赋能力，上述石块必然会在其下降过程中有些偏离连接地球中心和石块中心并穿过地球表面的那条垂直线。因此，由于地球自西向东运动，石块的垂直线（即下落路线）将会略微偏向地球表面的西边。石块也将不会完全跟随地球的运动，而会落后于地球。因此，这就是石块不应该跟随地球运动的原因，也是你证明你的观点所需要而你却未能指出的原因。

现在，你来听听我的解答。的确，如果石块离开地球的距离相当远，那么情况可能会如上所述。但实际情况却是：从（地球的）中心到表面有 860 英里，而实际上没有任何一只鸟飞得如此高，以致它能离开地球达半英里远。当然，这也是因为鸟儿不能在以太中飞行，就像我们不能在空气中飞行，石块不能在水中游泳一样。

开普勒由此得出结论，认为因石块对于地球的牵引运动的阻力<sup>[85]</sup>而导致的滞后非常微小，实际上根本无法察觉。因此，第谷的错误正是在于未能理解重力的本性，因而也就搞错了重力的作用。因为第谷和所有的亚里士多德主义者都认为重力是石块的一种固有倾向，这种倾向使石块趋向某个位置。实际上，重力是某种存在于构成物体的物质组分之中的力，它既存在于石块中，也存在于地球中。从某种实用的角度，甚至可以

---

[85] 我们可以看到，物质对运动的阻力，即物质的“无能”（*impuissance*），是某种非常积极的事物；它甚至与吸引（*attraction*）一样，都与质量成正比。参见 E. Meyerson, *Identité et Réalité*, 3<sup>e</sup> éd., App. III, p. 534 sq.

说重力存在于地球中,并从外部吸引着石块。<sup>[86]</sup> 因此,处于运动之中的地球牵引着石块尾随其后,并迫使它跟随着地球的运动。至于石块的阻力,由于各种力之比等于对应物体的有形质量之比,所以上述阻力实际上没有发挥什么作用。因此,我们清晰地看到:这是一种实在的物理作用,而绝不是一种力学状态(运动状态)。这种物理作用解释了石块为何会落到塔脚下,也解释了垂直向上发射的炮弹为何会重新落回到它出发的位置。至于第谷想在以下两种运动之间建立相似性:一种是炮弹的水平运动(即阻止炮弹下落的那种运动),另一种是如果炮弹参与地球的圆周运动,它将会拥有的那种更为快速的运动,考虑到炮弹参与地球的运动(即炮弹被拉动)恰恰是由于重力的吸引,这种相似性并不存在。此外,有必要再次强调,各种力之比等于不同物体的质量之比,无论弹药爆炸所产生的力有多大,当它与地球的吸引力相比时它都变得微不足道。

195

因此,开普勒继续说道<sup>[87]</sup>:

---

[86] 尽管这两种观念具有数学上的等价性,但开普勒就像牛顿一样,不再将重物看作趋向另一个物体,而是看作被另一物体所吸引。

[87] Kepler, *op. cit.*, p. 461, 拉丁语原文为:“Nunc tandem ad tormentum Tychoicum. Cum demonstratum sit, lapidem in perpendiculo cadentem non debere illam lineam egredi in casu, jam facile expeditur et globus tormenti (lapis in obliquum jactus; nubes vento impulsa; avis in aëre volans). Nempe illud verum est, quod statim initio cœpi dicere, misceri motum utrumque, et eum qui a Tellure est in globo, et eum qui a tormento. Itaque et miscentur spatia. Nam respectu totius universi plane plus spatii conficitur eodem tempore, cum globum in ortum ejaculamur, quam cum in occasum; quia illic et Terra in ortum tendit, hic Tellus derogat motui in occasum, volvens globum in ortum. Imo vero plane nunquam ullus globus respectu totius universi in partem tendit contrariam viae Telluris, quia Tellus multo est celerior quam ullius globi jactus. Quod vero spatium in ipsa Telluris superficie attinet, cum quiescens lapis, quamvis in aere pendens, demonstratus sit plane sequi debere Terram, omnino etiam eadem vis per idem Telluris spatium tam in ortum quam in occasum abripiet globum. Nam quacunquē globum impellat, invenit eandem vim lapidis attractricem, eundem etiam effectum promotionis lapidis. Si autem supra casus lapidis in perpendiculo aberasset sensibiliter a suo perpendiculo, sane etiam hoc fieret, ut brevius esset spatium jactus in occasum quam in ortum; non quidem ob causam a Tychoe allegatam, sed ob hac ipsam quam ego diligenter hic explicui.”

现在,让我们来谈一谈第谷的大炮。既然我们已经证明了,垂直下落的石块在它的下落过程中不应该偏离上述垂直线,那么关于大炮发射的炮弹(倾斜抛出的石块,被风吹动的云,在空中飞行的云)的情况就很容易处理了。因为我在开始时说的观点碰巧是正确的:在炮弹中确实存在两种不同的运动,一种来自地球,另一种来自大炮,两种运动混合在一起。因此,两种运动所通过的距离也同样相互叠加。因为当我们向东发射炮弹时,**相对于整个宇宙来说**,炮弹将会比当我们向西发射时在相等的时间内通过更远的距离。因为在第一种情况下,地球与炮弹一样都在向东运动。同样清楚的是,相对于整个宇宙来说,这枚炮弹根本没有趋向与地球运动方向相反的方向,因为地球的运动要比一枚炮弹的抛射运动迅速得多。但是,就炮弹在地球表面通过的距离来说,情况则并不相同:由于我们已经证明,即便静止的石块悬浮在空气中,它也应该跟随地球一起运动,因此,无论向东还是向西发射炮弹,以同样的力发射出的炮弹将在地球上通过相同的距离。因为,无论这个力从哪个方向推动石块,石块的吸引力总是保持相同,因此这个力在推动石块方面产生的效果也相同。但是,就如我们前面已经看到,如果垂直下落的石块明显偏离了上述垂直线,那么就由此可得,向西抛射通过的距离将比向东抛射时更短。然而,出现这种结果并不是由于第谷所提出的原因,而是由于我刚刚已经仔细说明的上述原因。

196

开普勒自认为他已经相当完满地答复了那些无论是传统的还是新近的反驳,但实际上还差得很远。因为,就像在哥白尼的回答中,如果炮弹、石块、云等事物的被向东带动得到了解释,那么它们向西和向东的自由运动就没有得到任何说明。人们甚至可以说,这些自由运动已经变得完全不可能。因为,无论我们想象一种抛射是多么强劲有力,它又怎么可能胜过那些地球吸引“链条”的巨大力量呢?因此,我们无须感到过于惊讶的

是,法布里修斯根本没有被说服,并再次提出了相同的问题。

开普勒不得不重新做出回答,并为此感到有些不快。他在给他朋友的信中写道:<sup>[88]</sup>

关于第谷反对地球运动的论证,你希望我向你解释一下我给出的回答。第谷的论证并不像这台机器(大炮)的冲击那样强劲有力。很明显,它与以下著名的反驳完全一致:如果向上抛出一枚炮弹,而在它上抛期间地球移开了,那么它如何可能再重新落回上抛的同一地点呢?<sup>[89]</sup> 我的回答是:在此期间不仅地球移开了,而且那些与石头相连的磁链也随着地球一道移开,而石块通过这些磁链与地球的邻近和下面的部分相联系,这些磁链沿着最短路径(即沿着垂直线)将石块拉向地球。现在,当石块向上做受迫运动时,所有的磁链几乎被同样绷紧;相反,当炮弹借助大炮的力向东发射时,西边的磁链就被绷紧,而当大炮的蒸汽将炮弹向西推出时,东边的磁链就被绷紧。由地球和所有磁链组成的整体的运动在某种情况下不起任何促进作

197

---

[88] Kepler, *Lettre à Fabricius*, 10 nov. 1608 (*Opera*, v. III, p. 462), 拉丁语原文为: “Cupis tibi declarari solutionem argumenti Tyconici contra motum Terrae. Non est ita horribile, ut illius machinae ictus. Plane co? ncidit cum illa objectione, cur globus sursum missus ad perpendicularum recidat ad locum eundem, si Terra interim abit. Respondendum enim, non tantum Terram interim abire, sed unam cum terra etiam catenas illas magneticas infinitas et invisibiles, quibus lapis alligatus est ad partes Terrae subjectas et circumstantes undique, quibusque retrahitur proxima id est perpendiculari via ad Terram. Quemadmodum igitur hic vis infertur catenis illis a motu violento sursum, quo fit ut omnes illae aequaliter quasi extendantur, ita quoque vis infertur catenis occidentalibus, cum globus vi tormenti in orientem truditur, et vis infertur orientalibus, cum vapor globum protrudit in occidentem. Nihil nec impedit hic nec illic promovit motus universalis Telluris et catenarum omnium. Nam haec motus violentia, quae globum projicit, versatur intus in complexu catenarum omnium, quae tam sunt fortes, ut parum contra illas possit etiam ventus validissimus contrarius, nedum aura quieta et cum Tellure circumiens.”

[89] 事实上,开普勒并非完全正确:正如我们已在前面指出,第谷的论证并不完全等同于以前的亚里士多德主义论证。



用,在另一种情况下又不起任何阻碍作用。因为发射炮弹的运动所具有的强迫力落进了所有磁链组成的复合体内部,这些磁链的力量是如此强大,以致最强劲的逆风也完全无法反抗它们。因此,这些磁链才会使得炮弹安然无恙地跟随地球一起转动。

我们清晰地看到了开普勒所描述(或想象)的石块的运动状况:悬浮在空气中的石块通过无限多弹性的“链条”或“纽带”与地球相联系。它们的整体形成了一个锥体,石块就位于这个锥体的顶点。上述石块就这样被各个方向的链条同时牵引着,每一根链条都具有相同的拉力。但是,那些倾斜“链条”的拉力相互中和与抵消:因此,所有这些拉力的合力垂直指向“下面”,即指向地球。如果我们试图将石块向上推:所有链条的张力都将会做出反抗;如果试图向右或向左推:只要克服上述链条的一半阻力。但是,无论水平运动的方向如何,链条的数目以及相应产生的阻力总是保持相同。无疑,如果地球在转动,那些(东边的)传动链条将会比其他链条更绷紧一点。但这种差别将会非常小:因为石块自身的阻力(即石块的惯性)与地球吸引力这两者在大小上无法相提并论。实际上,石块的惯性完全可以忽略不计。如果没有吸引,情况就会完全不同,因为很显然<sup>[90]</sup>:

198 “即使没有这样的链条,当地球离开时,石块也将会继续悬浮在以太之中,根本没有任何理由会重新下落”。因此,吸引链条的存在解释了抛射体的下落及其被地球所驱动,而且无论抛射体轨迹的长度还是炮弹的速度,它们在大小上都无法与地球的直径、地球和磁力链条的旋转速度等相提并

---

[90] *Ibid.*, p. 462, 拉丁语原文为:“Si vero nullae tales essent catenae, remaneret sane lapis in aethere pendulus abeunte Terra, nec recideret ulla ratione. Facit ad hanc considerationem et hoc, quod nullus jactus, neque quoad lineae longitudinem sensibilis est ad Telluris diametrum, neque quoad motus pernecitatem Telluris catenarumque seu virtutis magneticae. Sic igitur cum habeat hoc negotium et animi mei sententia, noli a me petere, ut veritatem prodam ad comparandum vulgi favorem. Si consuli arti non potest nisi per fraudes, pereat sane; reviviscet nempē.”

论,这使得惯性的效果显得更加微小。“既然如此,既然这就是我内心所持的信念,因此,请你不要让我为了取悦大众而背弃真理。”如果真理之光不被众人所接受,那就真的太糟糕了。但是,开普勒也只能听其自然。他知道,黑暗完全有可能战胜光明:错误的黑夜不就曾经吞没过萨摩斯的阿里斯塔克点亮的光明吗?但另一方面,开普勒又充满信心:阿里斯塔克的著作不是已经在哥白尼的著作中突然重现光明了吗?真理是伟大的,它终究会获胜(*Magna est veritas et prevalebit*)。真理终将获胜,至少开普勒希望如此。他尤其希望真理能在法布里修斯的心灵中获胜,使法布里修斯不再被那些荒谬的反驳所蒙骗。因此,他不厌其烦地继续论述道<sup>[91]</sup>:

显然,你关于风的论证就像风的本性一样不够份量。事实上,我同样接受你的推理中那些正确的成分:如果是运动的地球在穿越静止的风,你从关于风的经验提出反驳就是完全合理的。但实际情况却是:雾气(即风的质料)位于地球磁力场的内部,由于雾气是一些精细物质,它不会受到地球的强烈吸引。因此,任何一种力都很容易使

---

[91] *Ibid.*, p. 462 sq., 拉丁语原文为:“Objectio tua a ventis plane ventorum naturam imitatur, nihil efficit nisi strepitum. Quidquid enim de ventis tute ipse judicas et ego judico: si Tellus per vapidum aërem moveretur, jure objiceres ventorum experientiam. At nunc vapor, materia ventorum, consistit intra complexum virtutis magneticae Telluris; cumque sit substantiae tenuis uit non valde attrahitur ad Terram, sic facile transfertur et abripitur a qualicunque virtute magnetica Telluris. Nam vis magnetica fortissima quidem est ratione suae propriae sedis, nempe Telluris, corporis densissimi: illa tamen langescit in objectu materiae rarioris. Exemplo sit vis illa motus violenti auctor. Puer manu projiciens lapillum propellit illum quam longissime. Idem totis viribus connixus, ut pumicem ejusdem molis eodem projiciat, scopum nunquam assequetur. Sed ad vapores redeo. Illi igitur asportantur cum locis Terrarum sibi subjectis a virtute magnetica Telluris, et sic quiescunt incumbentes iisdem Terrarum locis, quantisper non a causis aliquibus impelluntur, quae causae ex eodem cum ipsis origine nascuntur. Impulsi vero ab iis causis, quae ventum faciunt, facillime a catenis illis magneticis avelluntur in plagam quamcunque, idque aequali spatio, si causa aequalis. Quippe in eorum motu non consideratur longitudo tractus per aetherem, sed multitudo catenarum seu longitudo tratus Terrarum.”

它在地球的磁约束中发生移动,甚至从这种磁约束中挣脱出来。因为磁力在它的中心位置(即在地球中)拥有最大的力量,在那儿物体的密度也最大,而在由较稀疏的物质构成的物体中,磁力变得较弱。将磁力与产生受迫运动的力做一个比较,就可以为我们给出一个例证。如果一个男孩抛射出一块小石头,可以将石头抛得很远。但是,如果让他抛射一块同样大小的轻石,即便他用尽全力,他也永远不可能将它抛得同样远。

不过,且让我们回到雾气的问题:它们被地球(也就是说,被其磁力)所带动,并跟随其下方的地球表面位置一起运动。只要它们不被某些原因推开,它们就会相对于上述位置保持静止。

在后一种情况下,不管方向如何,运动中的雾气总是能够轻易地穿过磁链。开普勒解释说,这是因为:如果我们研究地球重力场内部物体的运动,唯一重要的就是物体在地球上通过的路程,以及物体所穿过磁链的数目,而不是物体在以太中通过的绝对距离。接着,由于非常不合时宜地回忆起了布鲁诺关于船的著名例子,开普勒补充说<sup>[92]</sup>:

事实上,物体并不需要自身做出努力,它们只需要依靠地球或船的力就能通过以太。因此,关于船和船上所载乘客的运动例子是完全适用的,所不同的是:船并不通过一种磁力吸引船上的物体,而只是通过接触带动它们。地球则仍然通过重力吸引着船上的物体,这

---

[92] *Ibid.*, p. 463, 拉丁语原文为:“Nam ad trajiciendum per aetherem non indigent sua opera, contentae virtute Telluris, seu navi. Adeoque genuinum est exemplum navis et vectorum in ea discursantium, nisi quod vectores navis non attrahit magnetica virtute, sed solo contactu rapit, eosdem vero Tellus adhuc attrahit per gravitatis virtutem, quam Tellus non communicat motu navis, vapores vero et projectilia non attrahit aether, itaque a sola sua navi (id est a Tellure) attrahuntur. Non itaque ut in navi ex motu navis contingunt corporum jactationes, dum abripiuntur corpora a locis iis Terrarum, ad quae tendunt, gravitatis momentis, non,(转下页)

种重力没有传递给船的运动。相反,以太并没有吸引雾气和抛射体,因此,它们只受到它们的“船”(即地球)的吸引。

因此,当物体离开地球上的位置时,它们将通过其重量的动量(moments)趋向这些位置,“它们的运动不受地球运动的影响,就像船的运动并不影响船上物体的抛射一样。因为它们并不趋向任何以太区域,而只是被其下方的地球表面通过磁链所吸引”<sup>[93]</sup>。

我们清楚地看到:开普勒不接受布鲁诺的纯粹力学的观点;他也不接受运动能在运动物体中保持和延续;最终说来,他不接受“参与共同运动”这一事实在对应的物体中间创建了某种关联,并且仅仅由于这个事实本身就将这些物体与宇宙的其余部分隔离开来。对于开普勒来说,不存在“力学系统”这样的观念,他所认识到的只有物理学系统,即一种通过实在的(réelle)联系或关联构成的实在统一体。船是一回事,地球又是另一回事。当然,从实际来看,两者的区别很难察觉,在这两种情况下第谷都是错误的。但从理论上讲,两者的区别依然存在。从理论上和哲学上讲,第谷是有道理的。运动和静止并不处在同一本体论层次。运动是一种存在,而静止只是一种存在的匮乏。

况且,我们不得不承认,这十分符合经验常识:否则我们怎么解释必须施加某种力或努力才能推动物体,并且这种力还必须与物体或其质量成正

---

(接上页) inquam, sic etiam jactari necesse est corpora nostra, dum a Terra abripiuntur, neque enim tendunt ea ad ullam partem aetheris, sed ad solius Terrae subjectum planum per catenas magneticas attrahuntur; quo fit demonstratione geometrica, ut ad centrum tendant gravia; etsi non tendunt ad centrum tanquam ad rem geometricam, sed tanquam ad medium corporis rotundi. Nisi enim Terra rotunda esset, ad idem ejus commune punctum omnia gravia non tenderent.”

[93] 开普勒想说的是:重物在离开运动的船上的桅杆顶端时,受到了地球重力的“链条”的牵引作用,但这些重力“链条”并未与船相连;因此,布鲁诺是错误的,船的运动必然会影响在船上进行的抛射过程。

比？如果物体不受运动或静止的影响，我们怎么理解必须施加更大的努力才能赋予物体一种更快速的运动，或者才能推动一个更大的物体呢？

更何况，我们怎么能否认，相对于静止而言，运动往往更需要某种原因来解释？事实上，也许除了笛卡尔之外，没有任何人曾问过为什么在世界中会有静止。相反，所有人都一直在寻找运动的原因或根源。没有任何人（笛卡尔除外）曾想到过关于“静止的量”的观念，但所有人都一直在谈论“运动的量”。

201 在这一点上，开普勒从来没有改变过他的态度。他原本完全能够从一种宇宙的(cosmique)活力论或泛灵论过渡到一种“物理学的”观念，他已完全能够将物质几何化，直到在物质中去掉所有的运动倾向，但他从来不承认运动和静止在本体论上的等价性，不承认物质不受运动和静止这两者的影响。对于开普勒来说，惯性仍然是某种阻碍运动的力。它从未像伽利略或笛卡尔所理解的那样，用来表示某个特定状态的持续，因为对于开普勒来说，运动从来没有成为一种状态。因此，《哥白尼天文学概要》(*Epitome Astronomiae Copernicanae*)的叙述忠实地追随着他在《新天文学》(*Astronomia Nova*)中发展出来的理论的伟大路线。

在《哥白尼天文学概要》中，我们再次发现了关于上抛物体的著名论证：<sup>[94]</sup>

如果地球绕着它自己的轴转动，垂直向上抛出的物体将不会重新落回它们原先被抛出的位置，因为地球的中心保持不动，在上抛期

---

[94] Kepler, *Epitome Astronomiae Copernicanae*, l. I, p. v, Opera, vol. VI, p. 181, 拉丁语原文为：“Si Terra voveretur circa axem, tunc ea, quae recta sursum projiciuntur, non reciderent in locum pristinum, unde sunt projecta, quippe centro quidem persistente, loco vero superficiei, in quo stat projiciens, interim se subducente ex linea ducta ex centro Telluris ad projectile. Si gravia centrum per se peterent nihilque praeterea, sequeretur argumentum. (转下页)

间支持抛射者的地球表面位置已经偏离了地球中心与抛射体的连线。如果重物本身就趋向地球的中心,这个论证将会是结论性的。但是,我们在前一个段落中已经说过,重物的运动目标首先和本身就不是地球的中心,它只是偶然和次要地趋向地球的中心,也就是说,之所以重物会趋向地球中心,仅仅是因为这个中心恰好是重物本身就首先寻求的所有物体的中心和最内在的点,它们被这个点所吸引。

现在,正如重物寻求着地球的躯体本身,它们也同时被地球的躯体所寻求。它们向着地球的最近部分的运动比向着最远部分的运动更为强烈。这就是为什么当垂直位于重物下方的这些最近部分处于运动之中,而且重物正落向这个运动的地球表面时,它们还是跟随着地球做圆周运动,就好像它们已被垂直地固定在重物下方的地球表面的对应位置,又如同它们被无数根倾斜的悬线或纽带牵引着,这些纽带的拉力一根比一根弱,并且逐渐收拢并连接到重物自身。

202

但是,我们已经说过,物体通过它们的自然惯性来反抗外加的运动。如果这一点是真的,那么重物就可从地球的上述牵引中,从垂直

---

(接上页) *At dictum in priori themate, motus gravium scopum non esse centrum per se primo, sed per accidens et secundario, quia scilicet centrum est medium et intimum corporis, quod gravia per se et primo petunt et a quo gravia attrahuntur.*

*Cum autem gravia petant Terrae corpus per se petanturque ab illo, fortius itaque movebuntur versus partes viciniores Terrae, quam versus remotiores. Quare transeuntibus illis partibus vicinis perpendiculariter subjectis, gravia inter decidendum versus superficiem transeuntem illam insuper etiam circulariter sequuntur, perinde ac si essent alligata loco, cui imminet, per ipsam perpendicularem, adeoque per infinitas circum lineas, ceu nervos quosdam obliquos, minus illa fortes, qui omnes in sese paulatim contrahi soleant.*

*Atqui dixisti, corpora materiata naturali sua inertia reniti motui sibi ab extra illato; id si verum est, gravia igitur extricabunt sese nonnihil ex hoc raptu exque suo illo perpendiculo ceterisque vinculis. Extricarent sese nonnihil, si abscederent a Terra intervallo tanto, quod ad semidiametrum Terrae vel saltem horizontis visibilis proportionem haberet sensibilem."*

束缚或其他束缚中获得一点自由。事实上,如果重物能够离开地球相当于地球半径那么远的距离,或者至少相当于可见视域的半径那么远的距离,那么重物就能从地球的束缚中获得一点自由。

但是,由于上述情况从未发生过,又因为与惯性的力量相比,地球的吸引力简直大得无法估量,所以重物运动的这种滞后就完全无法觉察。至于第谷的反驳,开普勒再次忠实地转述了它的主要内容:<sup>[95]</sup>

---

[95] Kepler, *Epitome Astronomiae Copernicanae*, l. I, p. v, vol. VI, p. 182 sq., (包括下文引文的)拉丁语原文为:“At saltem emissi globi bombardici, alter in ortum, alter in occasum, cadent inaequalibus intervallis a loco primo; longius in occasum, quippe partes Terrae versus occasum sitae obviabunt globo, tendentes in ortum, brevius in ortum, quia partes orientales Terrae, in quas, si immobiles starent, globus fuerat casurus, fugiunt globum versus ortum. Non recte fit, quod comparantur spatia mundi, quasi Terra longissime absente ab emisso globo, cum de hoc solo agatur, pomum quod alter tenet manibus, quorsum ei facilius excutitur a socio ejusdem navis vectore, non quam longe a navi aut per quantum spatium inter navem et litora. Nam si litora consideres, quantum fugit navis a loco superiore, in quem excutitur pomum, tanto fere languidior, respectu litorum quiescentium, est excussio, cedente quippe deorsum, quod excutienti substernitur, enervata resistantia; ita quod erat defluxus navis adjecturus saltui pomi, detrahit iterum cessio ejus, quo nitebatur flictus. Et vicissim, quod erat pernecitas navis praereptura saltui pomi deorsum, hoc addit resistantia fortior violentiae flictus; fortius enim deorsum excutit vis eadem, cum a navi deorsum et rapitur, quam cum in litore stat immobilis. At cum, ut par est, vires nudaе considerantur manus pomum prehendentis ipsiusque pomi pondus, vis equidem infertur utrinque eadem, nihil ad hanc magnitudo effectus, qui foris extra navem, compositis causis, est secuturus, etsi respectu navis solius (non etiam litorum) idem proxime futurum est ab ipsa intervallum.

Idem igitur iudicium mutatis mutandis et de bombardis esto. Equidem globus magnus, duobus minutis horae unius perdurans in volatu per aerem, trajicit in occidentem per unum milliare Germanicum in Terra, interimque Terra, subjecta aequatori, obviat per octo miliaria; quare respectu spatii mundani rapitur globus adhuc in contrariam motus violentiplagam, scilicet in orientem, septem miliaribus nihilque prodest ei aliud explosio in contrariam plagam, nisi quod octavum milliare absumit facitque, ut globus tardius in orientem sequatur; excutere non potest pulvis globum penitus veluti de manibus Telluris, semper ille in virtute trahente haeret irretitus; si rupit prehensionem indicis, haeret in prehensione succedentis minimi digiti. E contra globus, in orientem emissus ejusdem temporis intervallo, promovetur raptu ipsius Terrae pro octo(转下页)

如果一枚炮弹向东发射,另一枚向西发射,那么它们将会落到离开初始发射地点不同的距离。其中向西发射时落地距离较大,因为地球西部正迎着炮弹向东运动;向东发射时落地距离较小,因为当地球东部保持不动时,炮弹将要落到的那个地点已经躲开炮弹向东运动了一段距离。

但是,开普勒再次指出,第谷的推理是错误的。第谷在推理时好像炮弹离开地球非常遥远,而不是位于地球上。再次考虑与船相类似的情况,开普勒解释说,相对于地球,即相对于船航行所在河流的不动河岸来说,从航行的船上向前或向后抛射的任何一个物体无疑都存在可觉察的差别。从地球的角度来看,通过的距离并不相等,抛射的力以及被抛物体所受的冲击也不相同。抛射的力和运动的力或者相加或者相减,如此等等。但是,所有这些复合的原因及其结果,对于那个站在船上的人来说都不存在。对于他来说,无论船是运动还是静止,物体总是具有相同的重量,无

203

---

(接上页) *milliaria additque nonum ipse, violenter quippe explosus itidem in ortum. Ita sive in orientem sive occidentem explodatur, semper in orientem fertur, tantum paulo plus hic quam ille. At hoc compositum spatium mundanum nihil attinet ad spatium in Terra, quod homines metiri possunt; hoc utrinque fere idem est, quia vis eadem, quia vincula magnetica utrinque eadem, ex quibus globus velut eripitur inque ulteriora transponitur.*

*Concurrunt tamen in occasum promotionis duae causae. Nam globus, se ipso iners ad motum, si non raperetur versus ortum, permaneret se ipso in occidente, loco in ortum abeunte, facilius igitur de loco in occasum promovebitur a violento motu; at in ortum vincenda est illi motui non tantum prehensio magnetica Telluris, sed etiam inertia materialis globi, restitantis in occasu. Esto hoc ut supra de oceano concessum; at quidquid sit, in globo certe bombardico inaestimabile quippiam est, nec ulla proportio sensibilis alterius pugnae ad alteram. Nam si globus bombardicus exploderetur eadem vi pulveris, positus extra virtutem Telluris attractoriam, transvolaret is non tantum per unum aut per octo milliaria spatii mundani, sed plane per incredibilem eorum numerum.*

*Posito etiam, quod differentia sit perceptibilis se ipsa, tandem deerit occasio experimentandi. Quis enim certum me reddet de eadem vi pulveris in utraque explosione ceterisque circumstantiis utrinque iisdem?"*



论向那个方向抛射，物体总是通过相同的距离。

因此，在进行必要的修正后(*mutatis mutandis*)，我们可以在大炮的情形中以同样的方式进行推理。让我们来考虑一枚炮弹，它在空中飞行了2分钟，在地球上向西通过了1德里(mille allemand)，在此期间，地球在赤道上往相反方向通过了8德里。因此，相对于宇宙空间来说，上述炮弹被某种受迫运动往相反方向(即向东)带出了7德里的距离，而当我们把炮弹朝着与地球的上述运动相反的方向发射时，火药的爆炸所起的作用只不过是减少这8德里的距离，以及使炮弹向东的运动减慢。因为火药并不能完全将炮弹从地球的控制中摆脱出来……炮弹总是处于地球吸引力的作用范围之内。相反，在同一时间向东发射的炮弹先是被地球的牵引带出了8德里的距离，然后，由于炮弹被火药的爆炸猛烈地向东发射出去，因而它就自行添加了第9德里。因此，无论是向东发射还是向西发射，炮弹总会向东运动，尽管在一种情形比另一种情形中运动得稍远一些。然而，上述(宇宙的)复合距离与人们能够在地球上测量的距离毫不相干。在地球上，炮弹在上述两种情况下所通过的距离几乎完全相同，因为炮弹所受的力相同，所处的磁束缚也相同。

204

现在，向西的有效推动来源于两种原因的结合。因为炮弹自身相对于运动来说是**惯性的**，如果它没有被向东带动，它将会自行留在西边，又由于西边的位置正向东移动，所以一种受迫运动推着炮弹向西运动就会比向相反方向运动更为容易。因为当向东运动时，这个运动不仅要克服地球的磁吸引，而且还要克服物质球体(炮弹)将其自身保持在西边的惯性……但是，无论如何，炮弹的上述阻力是无法测量的，而且这两个力之间也毫无关系。事实上，如果这枚炮弹处于地球的引力场之外，并以相同的火药爆炸力被发射出去，那么它将不会只在宇宙空间飞行1德里或8德里的距离，而一定会是一个大得

难以置信的距离。

尽管上述差别本身是可以觉察的,但毋庸置疑的是,实施这种实验的可能性并不存在。因为,有谁能够向我保证,在这两种情况下,火药的爆炸力以及所有其他的环境条件都保持相同呢?

这就是开普勒就此所说的最后一句话。我们清楚地看到,开普勒失败的哲学根源(或者毋宁说,其形而上学根源)完全可以从以下事实获得解释:即他始终拒绝将一个物体的静止与它的运动置于相同的本体论层次上。

## 二、《关于两大世界体系的对话》和 反亚里士多德派的论战

205

如果声称伽利略的著作完全起源于他对宇宙论问题的关注,并将他的工作完全归结为一种捍卫哥白尼宇宙观的斗争(就如亨利·马丁<sup>[96]</sup>以及更晚近的沃尔威尔<sup>[97]</sup>所做的那样),这无疑是有些夸大了:我们不要忘了还有《两门新科学》(*Discorsi e dimostrazioni*)。但毋庸置疑的是,对宇宙论问题的关注确实在伽利略的思想和研究中发挥了至关重要的作用。从他的青年时期开始,从他在比萨撰写关于运动的论文和对话的草稿开始,我们看到很多问题已被提了出来,而且只有参照哥白尼的宇宙观才能理解这些问题的全部意义。<sup>[98]</sup>

---

[96] 参见 Th. Henri Martin, *Galilée*..., Paris, 1868.

[97] E. Wohlwill, *Galileo Galilei und sein Kampf für die Copernikanische Lehre*, 2 vol. Hamburg-Leipzig 1909-1926.

[98] 参见 E. Wohlwill, *op. cit.*, vol. I, p. 105 sq. 以及本书第一部分:经典科学的黎明,前文第 73 页及以下。

此外,我们也看到他在上述问题中遭遇到了(在他的时代无法解决的)各种困难,这些困难在此后的四、五十年中一直阻碍着伽利略思想的发展。

在比萨时期,困扰伽利略的中心问题是运动的持续性问题。很显然,当他研究两个处于不同位置的球体(一个位于宇宙中心,另一个位于这个中心之外)的旋转运动的情形时,他在脑海中所浮现的正是哥白尼学说所提出的情境。毫无疑问,他分析其运动时所用的大理石球就代表着地球,而这个球的运动就代表着地球的运动。<sup>[99]</sup>

但是,伽利略所获得的结果(此外,这个结果还与冲力物理学的基本前提相矛盾)突出地显示了新天文学和新物理学在前进的道路上所遭遇的种种困难以及这些困难的根源。

因为,伽利略的分析所获得的结果是圆周运动的自然持续性,或者更确切地说,是圆周运动的特权地位。<sup>[100]</sup> 日常经验,尤其是哥白尼关于地球圆周运动(轨道运动和旋转运动)的“经验”,已经强有力地证实了这种特权地位,而关于行星圆周运动的天文学观测又证实了地球的圆周运动。正是这种圆周运动的特权地位构成了伽利略未来要去努力突破的障碍。

前面我们已经说过,经验几乎不支持新物理学<sup>[101]</sup>:物体下落和地球转动,这就是新物理学所无法解释的两个事实。这两个事实也使得新物理学刚开始上路就步履艰难。

与人们通常所说的恰恰相反,我们在常识经验中无法找到惯性定律

[99] 参见 Galilée, *De Motu*, p. 304 (*Opere*, Ed. Nazionale, vol. I), 引文可参见本书第一部分第 154 号注释。

[100] 参见本书第一部分,前文第 73 页及以下。

[101] 就像塔纳里曾经非常出色地评论道(P. Tannery, *Galilée et les principes de la dynamique*, Mémoires scientifiques, vol. VI, Paris, 1926, p. 399):“为了评价亚里士多德的动力学体系,如果我们抛开近代教育给我们带来的成见,如果我们试图重新回到 17 世纪初一位独立的思想家可能具有的精神状态,那么我们将不得不承认这样一个事实,即亚里士多德的体系远比我们现在的体系更符合人们对于现象的直接观察。”同时参见本书第一部分第 20 号注释。

的起源。惯性定律既不是常识经验的概括,也不是常识经验的理想化。我们在经验中发现的是圆周运动(或者更一般地说,是曲线运动)。除了物体下落这一特例之外,我们从未发现任何直线运动,而落体运动恰恰不是一种惯性运动。然而,经典物理学力图要做的正是从直线运动出发解释曲线运动。这真是一种相当奇特的思想路线,这种思想路线所涉及的并不是从关于深层实在的假定去解释现象材料(就像天文学所做的那样,它通过实在运动的某种组合来解释现象,即各种视运动),甚至也不是将这些现象材料分解成一些简单的组分,然后再重建上述现象(人们常常把伽利略方法的创新之处归结为这种分解与合成的方法,但在我们看来,这种观点是错误的)。严格说来,上述思想路线所涉及的是:从不存在之物,从未曾存在之物,甚至从绝不可能存在之物,来解释存在之物。

从不可能之物出发去解释实在之物:这的确是一种奇特的思想路线, 207  
一种十足悖谬的思想路线!我们将这种思想路线称为“阿基米德的思想路线”,或者更确切地说,“柏拉图的思想路线”:即从一种理想实在出发去解释(或者毋宁说,去重建)一种经验实在。这是一种悖谬、困难而又危险的思想路线,伽利略和笛卡尔的例子立刻就会让我们了解到它所包含的主要矛盾:一方面,它必然会要求一种彻底的转换,一种柏拉图的数学世界对于经验实在的根本替换,因为只有在这个数学世界中,经典物理学的理想定律才能生效并得以实现;但另一方面,它又使这种根本的替换变得完全不可能。因为它并未解释经验实在,而是取消了经验实在。它并没有拯救现象,反而使得经验实在和理想实在之间产生了一道由无法解释的现象所构成的难以逾越的鸿沟。从比萨时期开始,伽利略的阿基米德主义所面对正是这些无法解释的现象。

众所周知,在亚里士多德的物理学中,所有运动都被分成两个大组(或者毋宁说,被分为两个大类):“自然”运动和“受迫”运动,伽利略所抨

击的正是这种分类本身。他提醒我们说,这种分类是不恰当的。<sup>[102]</sup> 因为这两个术语并非互不相容,有些运动必须被视为既是自然运动又是受迫运动。此外,更重要的是,还有些运动不能归属于上述两个类别中的任何一类,因为这些运动既不是自然运动也不是受迫运动。例如,当一个球体位于宇宙中心时,它所做的圆周(旋转)运动就是这样一种运动。无疑,这种运动对于球体来说并不是自然运动,因为球体自身并没有任何运动倾向;然而,我们也不能认为它是受迫运动:因为球体并没有受到任何强迫,它一直停留在它的位置之中。它的运动并没有改变任何东西,既不增加也不减少它的重量。此外,由于球体位于宇宙中心,即位于其自然位置之中,所以它没有任何重量,而球体越是这样就越不可能改变它的重量。<sup>[103]</sup>

208 但是,这个位于宇宙中心的球体的例子绝不是唯一的例子:实际上,所有(围绕中心的)圆周运动都是这样一种既非自然又非受迫的运动。这种运动同样没有改变什么,也就是说,它既没有增加也没有减少重量。最后,当一个球形重物沿着水平面滚动时,它的运动也是一种既非自然又非受迫的运动,因为这种运动同样没有增加也没有减少重量。伽利略告诉我们,由上述例子可知,如果我们能够消除所有外部阻碍的作用(一个绝对光滑的平面,绝对坚硬和绝对球形的物体,等等),那么这些物体的运动将永远不会停下来,它们的运动完全可以无定限地持续下去。<sup>[104]</sup>

[102] 参见 Galilée, *De Motu*, p. 305, 引文可参见本书第一部分第 154 号注释。

[103] 例如,天界物体没有重量。一般说来,一个处于其固有位置的物体“没有向下运动的倾向”,因此,它也没有重量。参见本书第一部分,前文第 72 页及以下。

[104] *Ibid*, pp. 300, 304, 引文可参见本书第一部分,前文第 74、78 页。另参见 *Le Meccaniche, Opère*, Ed. Nazionale, vol. II, p. 180: “Nella superficie esattamente equilibrata detta palla resti come indifferente e dubbia tra il moto e la quiete, si che ogni minima forza sia bastante a muoverla, siccome all' incontro, ogni pochissima resistenza, e quale è quella sola dell'aria che la circonda, potente a tenerla ferma. Dal che possiamo prendere, come per assioma indubitato, questa conclusione: che i corpi gravi, rimossi tutti l'impedimenti esternied adventizii, possono esser mossi nel piano dell'orizzonte da qualunque minima forza. [因此,非常清楚的是,当球位于一个精确平衡的表面上时,它将会在运动和静止之间处于某种完全中(转下页)]

但是,一个水平面实际上会是什么呢?更确切地说,对于一个重物而言,一个水平面究竟是什么?再确切地说,对于一个位于地球上的真实的重物来说,一个真实的水平面究竟是什么?它完全不是几何学的水平面,也不是阿基米德的物理学水平面。在地球上可实现的一种几何学的水平面上,例如,在一个与地球表面相切的平面上,重物将会处于一种完全不同的状况。因为重物如果沿着这种平面运动,它将会逐渐远离地球(或宇宙)的中心,所以它的位置会逐渐升高。因此,它的运动将会是一种受迫运动,而实际上,这种运动类似于一个物体沿着斜面,即沿着一个由低到高的平面逐渐上升的运动:因此,这种运动不仅不能无限期地延续,相反,它必定会趋于停止。如果存在唯一的运动,它既非自然运动又非受迫运动,它既不使重物升高又不使它降低,它既不使重物远离又不使它趋近地球(宇宙)的中心,那么,这唯一的运动就是物体沿着地球圆周所做的运动。因此,这种运动将会是一种圆周运动。换言之,真实的水平面是一个球面。<sup>[105]</sup>

我们清楚地看到,上述推理证实了以下经验:即圆周运动在物理实在中占据着一种绝对的特权地位。同时,我们也不得不接受如下结论:几何观念不能原封不动地应用于物理实在。我们也可以这样说(当然不是用伽利略的术语):真实的空间既不是阿基米德空间,也不是欧几里得空间,它与后两者的区别正如球面与几何平面的区别。

209

这就是伽利略所面临的状况。无论在比萨、在帕多瓦还是在佛罗伦

---

(接上页)立的不确定状态,以至于任何最小的力都足以推动它;另一方面,任何微小的阻力,例如仅仅是包围着它的空气所产生的阻力,也将能够使它保持静止。由此我们可以将以下结论视为一个不容置疑的公理:如果所有外部和偶然的阻碍都已被完全消除,那么,任何一个最小的力都能够推动位于水平面上的重物。]”

[105] 参见 *De Motu*, p. 300, 引文可参见前文第 78 页。同样的推理也出现在 *Dialogo dei due massimi sistemi del mondo (opere, vol. VII)*, pp. 46 sq; 53 sq; 172; 以及 *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze*, (*Opere*, V. VIII), p. 268.

萨,他所面临的状况几乎完全相同。对于伽利略来说,有一种不可否认但同时又无法解释的现象,而且是伽利略的动力学所不能忽略的现象<sup>[106]</sup>:即关于重量的现象,即“有一些重物,并且这些重物会下落”这样的现象。还有另一种与上述现象紧密关联的现象:真实的直线是一个圆周,真实的平面是一个球面,圆周(而不是直线)才是具有特权地位的物理学路线。<sup>[107]</sup>

伽利略所明确断言的正是这一点。他告诉我们:

说实话,直线运动是某种在宇宙中不可能存在的事物。在宇宙中不可能有**自然的**直线运动。因为直线运动就其本质来说是无限的。既然直线运动是无限和不确定的,那么任何一个物体在本质上就不可能拥有进行直线运动(即朝着它不可能到达之处运动)的原则,因为在无限中没有终点。正如亚里士多德本人所说,自然不会做它所做不到的事情,物体也不会朝着它不可能到达之处运动。<sup>[108]</sup>

这是一段奇特的文本,以后我们还将会回到这段文本(此外,这段文

[106] 正如我们在下面将会看到,伽利略的动力学可被称为一种“下落动力学”。

[107] *Dialogo*, I, p. 53.

[108] Galilée, *Dialogo*, I, (*opere*, vol. VII), p. 43. 边注为:“直线运动本质上是无限的。直线运动对自然界来说是不可能的。在一个秩序井然的世界中不可能存在直线运动。”正文为:“这个原则一旦建立,我们就立刻可以得出如下结论:如果宇宙中所有的物体在本质上都是运动的,那么它们所做的运动就不可能是直线运动,而只能是圆周运动;其理由相当显而易见:因为任何做直线运动的物体都在改变位置;而且当它继续运动时,它一直在进一步远离其出发地点以及它陆续通过的所有位置;如果这样一种运动对物体来说是自然合适的,那么就可以得出,物体从一开始就不是处在自然位置之中,从而世界的诸部分也就不是处于完善的秩序之中;但是,我们已经假定了它们已处于完善的秩序之中,因此,它们不可能通过其本性来决定改变位置,从而也就不可能沿直线运动。”

本也得到了许多其他文本的确证<sup>[109]</sup>)。人们通常认为伽利略物理学已将我们从某些观念中解放出来,但在这段文本中,我们却发现这些观念中的大部分依然存在。

210

如果情形确实如此,那么伽利略又怎么可能成为近代物理学的奠基者(或奠基者之一)呢?因为,正如我们曾经说过,近代物理学恰恰奠基于直线相对于圆周的优越性,奠基于空间几何化和惯性定律。抑或这只是一种假象?一个创造性误读的案例?难道伽桑狄、托里拆利、卡瓦列里等伽利略的后继者和追随者都仅仅是误解了伽利略?难道是由于他们忽视了他们的导师反复强调的观点,忘记了真实平面与几何平面的区别并将两者等同起来?难道是由于同样的原因,他们从伽利略的学说得出了其中并未蕴涵的结论?众所周知,这就是沃尔威尔的观点<sup>[110]</sup>,但这种观点遭到了马赫<sup>[111]</sup>、尤其是卡西尔<sup>[112]</sup>的激烈反驳。相反,后两者认为,伽利略的物理学在字里行间是如此渗透着惯性原理,以致伽利略本人不可能没有意识到这个原理。

那么,伽利略究竟有没有表述出(或者至少是提示了)惯性原理呢?我们认为,这是一种过于简单化的二难推理,历史的现实比上述情况更复

---

[109] 参见 *Dialogo*, I, p. 56 (边注):“有限及有界的圆周运动并不打乱宇宙某一部分的秩序。在圆周运动中,圆周上的每一点既是起点又是终点。只有圆周运动是均匀的。圆周运动能够永恒持续下去。直线运动天然就不能持续存在。直线运动是为了使被打乱的自然物体恢复其原先的完善秩序而赋予它们的。只有静止和圆周运动适用于维持宇宙秩序。”另参见 *ibid.*, p. 166. 萨尔维阿蒂:“任何物体都不可能永远沿着直线一直运动下去。”

[110] 参见 E. Wohlwill, “Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes”, *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., v. XV, p. 387. 同时参见: A. Höfler, *Studien zur gegenwärtigen Philosophie der mathematischen Mechanik*, Leipzig, 1900, p. 111 sq.

[111] 参见 E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt*. 8<sup>e</sup> éd., Leipzig, 1921, p. 133 sq 以及尤其是 p. 265 sq.

[112] 参见 E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, Berlin, 1911, p. 397:“惯性定律的发现……与伽利略研究的基本思想内在无误地联系在一起,通过对于这种联系的观察,我们就不应该再怀疑伽利略是否完全洞悉了他的新原理的普遍性和适用范围。”然而,沃尔威尔是正确的,甚至比他自己所认为的还要正确得多。



杂、微妙和丰富。此外，这种二难推理也漏过了真正富有教益和值得关注的唯一问题：当有人告诉我们，伽利略的后继者和追随者是如此轻而易举地接纳了惯性原理，为什么在他力争把实在数学化的过程中，伽利略本人没能提出，至少是没能明确提出（这一点连卡西尔自己都不会否认）惯性原理呢？因为，问题不仅仅在于指出一个事实，还必须理解这个事实。为此，我们就必须研究这个伟大的佛罗伦萨人的真实思想本身。

211 这正是我们试图开始研究的内容。<sup>[113]</sup> 耐人寻味的是，我们将会看到：如果伽利略确实在他的工作中遭到了失败（沃尔威尔的观点大致是正确的），这是因为伽利略与笛卡尔正相反，他既不知道如何（或不能够）摆脱现象的羁绊，也不知道如何（或不能够）接受“将实在数学化”不可避免会带来的后果：空间的完全几何化，这同时也意味着宇宙（Cosmos）的解体 and 宇宙（Univers）的无限化。<sup>[114]</sup>

我们已经说过，近代物理学既诞生于地球，也同样诞生于天穹。<sup>[115]</sup>

[113] 因此，我们将会大量引用伽利略自己的话，因为我们所感兴趣的是伽利略思想的进展本身，而不是伽利略思想的各种结果。

[114] *Notae per il Morino* (J. B. Morini, *Famosi et antiqui problematis de Telluris motu vel quiete hactenus optata solutio*, Paris, 1631), *Opere*, v. VII, p. 565: “Noi non cerchiamo quello che Iddio poteva fare, ma quello che Egli ha fatto. Impero che io vi domando, se Iddio poteva fare il mondo infinito o no : se Egli poteva e non l’ha fatto, facendolo finito e quale egli è de facto, non ha esercitato della Sua potenza, in farlo così, piu che se l’avesse fatto grande quanto una vecchia. [我们要问的不是上帝能够做什么，而是他事实上做了什么。假如我要问你，上帝能做出无限的世界还是不能？如果他能而他事实上没有做，而是把世界做成有限的，并且世界也的确如此，那么这样做的时候，他就没有尽他的能力，因为对于他来说，做大如同做小一样容易。]” 另参见 *Dialogo*, I, p. 43, 在那里，伽利略宣称在亚里士多德说过的内容当中，“我同意并接纳他的以下说法，即世界是一个具有全部维度，从而也是最完美的体系；我还想补充说，正因为如此，世界必定是秩序井然的，也就是说，构成它的诸部分必然已被安置在一种最高和最完美的秩序之中；我不相信您或者任何其他其他人会否认这个假定。”

[115] 参见 P. Tannery, *Galilée et les principes de la dynamique*, *Mémoires scientifiques*, v. VI, Paris, 1926, pp. 404 sq. 以及 P. Painlevé, *Les axiomes de la mécanique*, Paris, 1922, p. 31 sq.

它构成了天文学(或者更确切地说,宇宙论)事业的一个不可分割的组成部分。《对话》和《试金者》(*Essayeur*)等伽利略的著作首先就是哥白尼主义的著作,而伽利略的物理学也是一种哥白尼主义的物理学。这种物理学必须为哥白尼这位伟大天文学家的著作(尤其是为地球运动)辩护,并反击各种老的反驳和新的攻击。伽利略比任何人都看得更清楚,这种新物理学应该与旧物理学完全(*toto coelo*)不同。因此,为了建立这种新物理学,首先必须摧毁旧物理学,也就是说,必须摧毁支持旧物理学的哲学基础本身。伽利略也清楚地知道,为了建立一种数学的、阿基米德的新物理学,他必须改造和重建所有的概念,而且必须用一种哲学来尽可能牢固地支持这种新物理学。因此,伽利略的著作才会呈现为一种“科学”与“哲学”的精致混合物,以致对于任何一位历史学家来说,除非他不再想去理解伽利略的著作,否则他根本不可能将伽利略思想的这两种要素分离开来。

《关于两大世界体系的对话》声称自己论述的是两个对立的天文学体系<sup>[116]</sup>,但实际上它并不是一部天文学著作<sup>[117]</sup>,甚至也不是一部物理学著作。它首先是一部批判的著作,一部辩论和论战的著作;同时,它又是一部教育的著作,一部哲学的著作;最后,它还是一部历史的著作:“伽利略思想的历史”。 212

一部辩论和论战的著作:正是这一点(在相当程度上)决定了《对话》的文体结构<sup>[118]</sup>:正是为了反驳传统的科学与哲学,伽利略才举起了他的

---

[116] 参见 U. Forti, *Introduzione Storica alla lettura del DIALOGO SUI MASSIMI SISTEMI di Galileo Galilei*, Bologna, 1931.

[117] 《对话》的天文学部分极其贫乏。伽利略不仅毫不重视开普勒的发现,甚至也不重视哥白尼著作的具体内容。他按照一种最简单的形式来表述日心说(太阳位于中心,诸行星围绕着太阳做圆周运动),而且他也确切地知道这种形式是错误的。这种故意的简化完全类似于笛卡尔在《哲学原理》中所进行的简化。在一部天文学著作中这样的简化是无法解释的,而在一部哲学著作中却非常容易理解。

[118] 关于《对话》的文体结构及其总体布局,参见斯特劳斯(L. Strauss)为他自己关于伽利略这部著作的德译本(*Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, Leipzig, 1891)所撰写的导言,更晚近的著作则可参见 L. Olschki, *Galilei und seine Zeit*, Halle, 1927。(转下页)

武器。尽管《对话》的反驳直接指向亚里士多德主义传统,但它却不是(或者几乎不是)写给那些亚里士多德的追随者。它不针对帕多瓦或比萨的哲学家们,也不针对撰写各种《论运动》(*De motu*)的作者和《论天》(*De Coelo*)的注释家们:它所针对的读者是那些“绅士”(honnête homme)。〔119〕因此,它不是用大学和学院里的学术语言(拉丁语)来撰写,而是用宫廷和市民所使用的通俗语言(意大利语)来撰写。更何况,所有的革新者都曾经采用过这样的做法:这让我们想起了培根和笛卡尔。

伽利略正是想在他的论战中赢得这些绅士的支持。一方面,他需要说服这些绅士并使他们真正信服;另一方面,他又不应该让他们感到厌烦和难以忍受。也正是(部分地)由于这个原因,才有了这部著作的对话形式、闲谈的轻松口吻、经常出现的离题与反复、辩论所呈现的混乱面貌:因为这就是当那些绅士们在威尼斯贵族的沙龙里,或在美第奇家族的宫廷里交谈和讨论时很容易出现的情形。因此,伽利略利用了各种各样的“武器”:寻求证据并试图给出证明时平静从容而客观公正的讨论;激情雄辩而令人信服的演说;还有最后一种、也是辩论者最强有力的武器:尖锐、讽刺、刻薄的批评,嘲弄对手的玩笑,使对手变得荒谬可笑,并借此暗中破坏与摧毁对手的权威依然残余的影响。〔120〕

一部“教育”的著作:因为它所涉及的不仅仅是劝说、说服和证明,它还涉及(甚至可能更多地涉及了)引导那些绅士读者逐渐进入一种能被劝

---

(接上页)伽利略这部著作的文体结构,或者毋宁说,它的对话形式对他而言与这种对话形式对于柏拉图而言同样重要;由于某些相似的、同时也是非常深刻的原因,这一点也与科学知识的概念本身相联系。因此,我们将不得不向读者提供一些例证。即便这样会使我们的论述显得有些冗长与反复,那也是不得已而为之。因为伽利略的著作在近代思想中占据着独特的地位,如果不理解他的著作,我们就不能理解近代思想。

〔119〕 每一部文学著作都是写给特定的读者阅读的。《对话》不是写给 20 世纪的读者,而是写给 17 世纪的意大利人,就像柏拉图的对话是写给公元前 4 世纪的雅典人。

〔120〕 参见第二天对话的刚开始部分。

说和说服的状态,进入一种能够理解证明并接受证据的状态。<sup>[121]</sup> 为了做到这一点,一种边摧毁边教育的双重工作看来是必须的:一方面,要摧毁传统和常识的偏见和心理习惯;另一方面,又要创造新的心理习惯和推理能力来替代它们。

正因为此,这部著作对于我们这个时代的读者来说(这些读者已经受益于伽利略革命的许多结果)才会显得如此单调和冗长,甚至令人难以忍受;正因为此,才会有许多重复,许多回溯性的概述,对于同一论证的反复批评,大量的例子……因为,它必须教育读者,使他们学会不再迷信权威、传统和常识。它必须让他们学会思考。

一部哲学的著作<sup>[122]</sup>:因为伽利略所反对和攻击的不仅是传统的物理学和宇宙论,还包括其对手的整个哲学和世界观。况且,在伽利略那个时代,物理学仍然与宇宙论及哲学紧密关联,或者毋宁说,物理学和宇宙论是哲学的一部分。如果伽利略是与亚里士多德的哲学作斗争,那么他所代表的就是他所归属于其中的另一派哲学的利益:即代表着柏拉图哲学的利益,或者某种柏拉图派哲学的利益。<sup>[123]</sup>

正因为此,从《对话》一开始,伽利略就对宇宙(Cosmos)的观念,对截 214

---

[121] 这也是为什么伽利略的推理并不总是处在同一层次上。

[122] 关于伽利略这部著作的哲学特征,参见 E. Cassirer, "Wahrheitsbegriff und Wahrheitsproblem bei Galilei", *Scientia*, Septembre-octobre 1937.

[123] 在哲学史中存在着多个柏拉图和多种柏拉图主义,尤其是存在着以下两种不同类型的柏拉图主义:一种是佛罗伦萨学园的柏拉图主义(或者更确切地说,是新柏拉图主义),这种柏拉图主义是一种神秘主义、数秘学(arithmologie)和巫术的混合体;另一种是数学家的柏拉图主义,如塔尔塔里亚和伽利略的柏拉图主义,这种柏拉图主义仅仅是一种数学主义,并不包括更多的内涵。未能区分出这两种柏拉图主义(对于前一种来说,《蒂迈欧篇》是一篇关于巫术宇宙论的论述;对于后一种来说,《蒂迈欧篇》则是一篇关于数学物理学的论文),在伯特出色的著作中只是一个小小的瑕疵(参见 E. A. Burtt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, London, 1925),但在斯特朗的著作中则变成了一个致命的缺陷(参见 E. Strong, *Procedures and Metaphysics*, University of California Press, Berkeley, 1936)。关于这两种柏拉图主义,可参见 L. Brunschvicg, *Les étapes de la philosophie mathématique*, Paris, 1922, pp. 69 sq. 以及 *Le Progrès de la conscience dans la philosophie occidentale*, Paris, 1927, pp. 39 sq.

然区分天与地、天上世界和月下世界的传统观念展开了抨击。<sup>[124]</sup> 为此，伽利略充分利用了新天文学提供的全部现象以及《星际讯息》(Nuntius Sidereus)的全部发现，这些发现揭示了月亮是一个与地球完全相似而且具有相同本性的物体。正因为此，《对话》的整本著作都散布着各种受柏拉图影响的暗示。毫无疑问，著作采用对话形式是在仿效柏拉图，而且著作还开始于一个伪柏拉图主义的宇宙传说。书中还暗示了苏格拉底的方法，事实上，伽利略的代言人成功地运用了这种方法。所有这些都是为了告诉我们：请注意！在相互对立的两个伟大哲学家的古老斗争中，我们站在柏拉图这一边。<sup>[125]</sup>

[124] 因此，从《对话》一开始(p. 42 及以下)，伽利略就为我们揭示了亚里士多德的物理学和宇宙论是建立在对圆的完善性的信念以及如下信念的基础上，即亚里士多德认为“圆周运动比直线运动更完善；至于圆周运动在多大程度上比直线运动更完善，他用圆与直线相比所具有的完善性来证明。他将圆周称为‘完善的’，将直线称为‘不完善的’：直线之所以不完善，是因为如果直线是无限的，它就缺乏目的与终点；如果直线是有限的，在它之外就总会有余地使它可以被延长出去。这正是亚里士多德整个世界结构的基石和基础；在这个基础上，它构建了天界物体的所有其他属性：如非重非轻，不生不灭，除了位置变动之外不会发生任何嬗变，等等。他声称所有这些属性都是只做圆周运动的简单物体的特性，至于重性、轻性、易朽性等相反的属性，他将它们赋予那些自然地沿着直线运动的物体。由此可得，如果我们在上述内容的牢固基础中发现了某种缺陷，那么，我们就有理由怀疑在其上构造的所有其他内容。”然而，对伽利略来说，在各种数学的线之间做出一种完善性的区分是荒谬的(参见 *Il Saggiatore, Opere*, VI, p. 293, 在那里，伽利略说从未读到过包含各种数学图形高贵性程度的等级序列)，从天界的不变性看出一种完善性的标志，这一点也同样没有什么根据(况且这种不变性也几乎不可靠)。因为，为什么情形不会恰恰相反，即月下世界的生命与可变性反而比天界毫无生机的不变性具有更高贵的完善性呢？(*Dialogo*, I, p. 85)难道亚里士多德主义本身不是将运动视为一种实在而将静止仅仅视为一种存在的匮乏？最后，我们还要注意：伽利略认为，不应该只用一些经验事实去批判亚里士多德，而应该用另一个体系去反对他。在这个新体系的构建过程中，应该拒斥人类中心主义这种狂妄自大的想法(*Dialogo*, III, p. 399)。

[125] 在我们看来，伽利略的柏拉图主义是一个极其重要的事实，我们在下文还会回来论述这个事实。在研究了这位伟大的佛罗伦萨人之后，一些晚近的历史学家已经指出了这一事实。例如，斯特劳斯翻译出版了一个出色(尽管有时显得有些“现代化”)的《对话》德语译本(G. Galilei, *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, aus dem Italienischen übersetzt und erläutert von E. Strauss, Leipzig, Teubner, 1891, p. XLIX)。他正确地指出了柏拉图主义对于《对话》形式本身的影响，并补充说：“伽利略以其特殊的偏好提及了柏拉图关于无意(转下页)

一部“历史”的著作：当然，严格来说，伽利略并没有在其中讲述他的思想的历史。但是，他清醒地意识到，当他本人从亚里士多德的物理学过渡到冲力物理学，再从冲力物理学过渡到《两门新科学》中的物理学，他曾经付出了多么巨大的努力。因此，他让我们在著作中，以某种方式和他一起重新经历一遍他本人曾经走过的历程；因此，在数页之间，就会出现属于完全不同思想阶段和思想层次的论证。<sup>[126]</sup> 因此，尽管仍然使用着（往往是完全相同的）传统术语，然而这些术语的含义却在逐渐发生改变<sup>[127]</sup>，从而也就不存在一种严格的术语。因此，整部《对话》也就沉浸在

（接上页）识的知识与回忆的学说，这个学说影响了他的表述方式；他不仅要传播被认识到的真理，而且要展示认知活动中的心理过程；他为我们提供了一个与著名的拉斐尔雅典学园的数学家群体相对应的文学群体，前者以绘画的方式展示了认识的各个阶段。整个布局编排让我们想起，并且希望让我们想起柏拉图的对话，这正是伽利略艺术才华的十分精彩的标记”；卡西尔在他的《近代哲学与科学中的认识问题》（E. Cassirer, *Erkenntnisproblem*, v. I）中认为，伽利略重新提出了科学知识的柏拉图主义理想，对于伽利略（和开普勒）来说，从这种柏拉图主义理想就可推出将自然数学化的必要性，因为（p. 389）“柏拉图关于（概念化）把握的理想只适用于那些能够维持恒常统一性的事物”。遗憾的是（至少在我们看来），也许我们可以说，卡西尔已经将柏拉图“康德化”了。因此，对他来说，伽利略的“柏拉图主义”就表现为：伽利略赋予功能（p. 402）和定律（p. 397）一种优先于存在和实体的地位。这样一来，伽利略就倒转了“功能跟随存在”（*operatio sequitur esse*）这个经院哲学的命题；奥尔什基在其著作《伽利略与他的时代》（L. Olschki, *Galilei und seine Zeit*, Leipzig, 1927）中十分正确地谈到了伽利略著作中所体现的“柏拉图的自然观”（p. 350），并从一种“把数学的思考方法运用于把握自然过程”（p. 360）的角度来看待伽利略著作的本质。他甚至（追随马赫）评论说，伽利略往往“信任理论甚于观察”（p. 268）。然而，奇怪的是，这一点并未妨碍奥尔什基告诉我们如下结论：伽利略的动力学来源于弹道学研究（p. 206）；技术是“他的研究的前提条件”（p. 207）；伽利略延续了文艺复兴时期的工程师传统，“在伽利略的方法中，实验具有举足轻重的地位，并且对于实验结果的几何学概括只不过是使用一种严格的概念语言来描述它；只有在具体的经验基础上，这种语言才显得具有其意义与目的”（p. 212）；最后还有伯特（E. Burtt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, 1925），在我们看来，伯特最深刻地理解了经典科学的形而上学基础：一种柏拉图式的数学主义。

[126] 在批评亚里士多德主义时尤其如此。奥尔什基认为（L. Olschki, *Galilei und seine Zeit*, pp. 198-204）伽利略是在讲述他自己的历史，甚至认为《对话》所做的是将实际上属于其作者思想不同发展阶段的各部分内容整合在一起（p. 355）。

[127] 例如，术语 *impetus* 的含义就从“力”（即激起物体运动的原因）变成了“动量”（*moment* = 运动与质量的乘积 = 运动的量）。

某种半清晰半模糊的思想氛围之中：这是一种思想能真正获得进步的氛围。最后，我们也因此可以看到某种谨慎和保留，它故意让某些问题停留在阴影之中；它还避开了某些过于困难、或者过于危险的名词和学说。<sup>[128]</sup>

216 现在，让我们打开《对话》。在其中，对话者<sup>[129]</sup>的角色已从本质上做出了清晰的界定。<sup>[130]</sup> 萨尔维阿蒂是伽利略的代言人，代表着新科学的数学智识。沙格列陀是“开明之士”(*bona mens*)，代表着已从亚里士多德传统的偏见和常识的错觉中解放出来的聪慧之士。因此，他能够领会伽利略论证所包含的新真理，他甚至已经领会了可从这些论证中发展出来的各种后果。辛普里丘代表常识，他的思想充斥着经院哲学的偏见，相信官方科学和亚里士多德的权威，并在传统的重负之下苦苦挣扎。

在讨论过程中，通常都由辛普里丘负责提出地心天文学的支持者们用来反对哥白尼的各种新老论据。然而，当转到反对哥白尼的物理学论据时，即转到关于云、鸟等古老的论据时，转到重物在地球上垂直下落的论据时，辛普里丘就把提出论据的位置让给了萨尔维阿蒂。这是因为，与其他论据不同，物理学反驳是不得不认真对待的论据。为了讨论和反驳这些论据，萨尔维阿蒂需要公然利用伽利略的力学研究，而且就算他投入全部的敏锐和警觉也不为过。

我们很熟悉这些反驳，我们也很熟悉那些回答。至少初步看来，伽利略的回答与布鲁诺的回答没有太大的区别；与布鲁诺一样，伽利略也是用

[128] 因此，他从未提到布鲁诺，也极少提到开普勒。

[129] 此外，这些对话者绝不只是一些简单的面具，一些作者现成使用的化名。萨尔维阿蒂和沙格列陀也是历史人物，不仅这两人具有鲜明的个性，甚至连辛普里丘也是如此：他们是一些鲜活的生命，就像柏拉图对话中的各种人物一样栩栩如生。参见 E. wohlwill, *op. cit.*, v. II, pp. 85 sq.; A. Favaro, “Amici et correspondenti di Galileo”, VIII, *Nuovo Archivio Veneto*, 1903 以及 G. Gabrieli, “Degli interlocutori dei Dialoghi Galileiani...”, ... *Rendiconti dell'Accademia dei Lincei*, 1932.

[130] 参见 *Annuaire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes*, 1936-1937.

运动相对性原理和冲力动力学来反驳亚里士多德派的论证。

当辛普里丘转述《论天》的著名段落<sup>[131]</sup>时,他告诉我们<sup>[132]</sup>:

如果地球正处于运动之中,那么无论它是在宇宙中心自转,还是在中心之外做圆周运动,地球都不可避免会处于受迫运动之中,因为这不是它的自然运动。如果这是它的自然运动,那也将会是它的所有部分的自然运动。但是,地球的这些部分却正朝着地球中心做直线运动。如果地球的运动是违反自然的受迫运动,那么它就不可能是永恒的,而世界的秩序却是永恒的。因此,地球静止不动……第二,除了原动天(*premier mobile*)之外,所有做圆周运动的其他物体都落在后面,而且具有不止一种运动<sup>[133]</sup>;因此,地球也必然同样具有 217  
双重运动。如果是这样,恒星在天穹中的方位必然会发生变化,但这种变化并没有被观察到。相反,恒星总是在相同的位置出现和升起,在相同的位置降落,没有发生任何变化;<sup>[134]</sup>第三,地球的部分和整体的运动都自然地趋向宇宙的中心,因此,地球位于宇宙的中心。

辛普里丘继续说道:

接着,亚里士多德探讨了地球各部分的运动到底是自然地趋向宇宙的中心,还是趋向地球的中心。他的结论是:它们的天性首先是趋向宇宙的中心,而只是碰巧趋向地球的中心。最后,他用从重物实

---

[131] Aristote, *De Coelo*, II, 14.

[132] *Dialogo*, II (*Opere*, v. VII), pp. 150 sq.

[133] 所有的天界物体(所有的行星)都具有双重运动,并且都“落后”于天穹的运动。

[134] 如果地球在旋转,那么它应该同样具有一个轨道运动,从而会在天穹的外观上引起某些变化。哥白尼已经回应了这个反驳,他提出的理由是恒星天球无比巨大,地球的轨道与其相比只能被设想为一个点。参见 Copernic, *De Revolutionibus*, l. I, c, VI.



验中得出的第四个论据来支持上述结论,这些重物是从高处向下降落,垂直到达地球的表面。同样地,被垂直上抛的物体将沿着同一路线垂直向下回落。这些论据清晰地证明了,上述运动确实趋向地球的中心。亚里士多德最终指出,天文学家们还提出了许多其他理由来论证以下观点,即地球在宇宙的中心保持静止不动。其中一个理由是:我们所能观察到的恒星的所有视运动都与“地球位于宇宙中心”这一结论保持一致。如果地球不位于宇宙的中心,就不可能产生这种一致性。托勒密和其他天文学家所提出的其他论据,如果您需要,我可以马上就提出来,或者等您谈完了您对亚里士多德论据的看法之后再提。<sup>[135]</sup>

我们知道,亚里士多德的论据决不是可以随便忽略的。伽利略不得不逐个讨论它们。但在这样做之前,在转向讨论辛普里丘还保留着的那些托勒密的论据<sup>[136]</sup>之前,伽利略认为还有必要用更大的篇幅来详细说明从重物下落引出的著名论证,因为辛普里丘在其叙述中有点过快地略过了这个论证。同时,还有必要用“长跑、射石炮、运动中的船”等更“近代的”证据来补充关于“塔、空中抛物”等传统证据。<sup>[137]</sup>

因此,萨尔维阿蒂将天文学论据的研究推迟到另一天去讨论。他接着说道<sup>[138]</sup>:

[135] 由于其他论据都是一些天文学的专门论据,我们在此不打算研究它们。关于这些论据的研究构成了《对话》“第三天”的内容。

[136] 尤其是关于离心力的论据。

[137] 我们知道,这些证据几乎没有带来什么新内容,实际上它们只不过是同一个论据的不同形式而已。因此,看到伽利略如此不厌其烦地叙述和讨论这些论据,有些人也许会深感惊讶,并质疑伽利略做这么多无谓重复的原因。然而,其实原因很简单:这些“近代的”论据(如关于长炮、射石炮等论据)是由伟大的天文学家第谷·布拉赫提出并流传开来的;人们从所有“时髦”的亚里士多德主义者那里听到的也正是这些论据;它们也是那些产生的影响最大的证据。

[138] *Dialogo*, II, p. 151 sq.

重物从高处下落,并沿着一条垂直线到达地球表面,这个论据通常被认为是最强有力的论据。有人说,这是支持地球静止的无可辩驳的论据:因为,如果地球具有周日转动,那么,位于地球上的一座塔也将会参与这种转动。如果有人让一块石头从塔顶自由下落,那么在石块下落期间,这座塔已被地球的转动带出了几百肘尺的距离。因此,石块应该落在地球表面的某个地点,这个地点离开塔底与上述距离同样远。人们还用另一个实验来证明这种效果,即在一艘静止的船上,让一个铅球从桅杆的顶端自由下落,标出它落到船上的位置,这个位置就在靠近桅杆底部的地方。但是,当这艘船处于运动中时,如果再让同一个球在同一地点自由下落,此时它落到船上的位置将会偏离前一个位置一段距离,这段距离应该等于铅球下落的这段时间内船所驶过的距离。这只能是因为,自由下落的铅球所做的自然运动是沿着直线趋向地球的中心。人们还可以用“一个物体被向上抛出一段非常远的距离”这样的实验来加强上述论据,例如,大炮垂直于地平线向上发射一枚炮弹,炮弹上升和下落所用的时间已经足以使我们和大炮一起在纬线上被向东带出几英里远。因此,炮弹决不会重新落回到靠近大炮的地方,而会落到大炮西面的某个地点,这个地点离开大炮的距离等于地球在此期间已向东运动的那段距离。人们还会提出第三个,也是最有说服力的实验:如果人们用一门长炮向东发射一枚炮弹,再以同样的仰角和射程向西发射另一枚炮弹,那么向西发射的炮弹的实际射程就会比向东发射的炮弹远得多。因为当炮弹向西飞行时,大炮正被地球向东带动。因此,炮弹落到地球表面的地点离开大炮的距离应该等于两个运动路程之和,一个是炮弹自身向西运动的路程,另一个是大炮被地球向东带动的路程。相反,如果炮弹向东发射,落地距离则等于炮弹自身向东运动的路程减去大炮在发射期间被地球向东带过的路程。例如,假定炮弹自身的射程是5英里,在炮弹飞行期间,地球在对应的纬度上走了3英

里,那么,当炮弹向西发射时,它将会在距离大炮 8 英里远的地方落到地面,这个距离由炮弹自己向西运动所通过的 5 英里和大炮向东运动通过的 3 英里构成。但是,当向东发射时,炮弹实际只会射出 2 英里远,因为这就是从炮弹自身向东飞行的 5 英里中减去大炮的同方向运动所通过的 3 英里后所剩下的距离:然而,实验却表明,炮弹向不同方向发射时所得的射程完全相等。因此,大炮静止不动,地球也同样保持静止不动。此外,与先前的实验一样,向南和向北发射的炮弹也证实了地球的静止不动。因为,如果地球在运动,人们将永远不可能击中事先瞄准的目标。因为当炮弹在空中飞行时,上述目标总会被地球沿着某一路线向东带动,因此,所有的射击都会沿着相同的路线向西偏离。

此外,在**所有**射击的情形中都将会发生同样的事情:炮弹将会根据其向东或向西的发射方向不同,相应出现向上或向下偏离目标的情形……<sup>[139]</sup>

现在,让我们来看看伽利略的批判。他的批判既非常深刻,同时又十分简单。伽利略告诉我们,亚里士多德派的推理只不过是一些谬误推理。它们预设了需要证明的内容。上述批判无疑是正确的。但是,亚里士多德主义者完全可以不接受这种批判,这种批判只是重复了哥白尼早已提出过的指责:即亚里士多德并不像他所声称的那样,从事实出发进行推理,恰恰相反,他从理论出发进行推理。<sup>[140]</sup> 对此,亚里士多德主义者完全有理由回答说:

- a) 不这样做就不可能进行推理;
- b) 伽利略自己也是这么做的。

[139] *Dialogo*, II, p. 153.

[140] 参见前文第 168 页。

亚里士多德的推理确实预设了一种理论,或者毋宁说,一种关于运动的特定观念:运动是一种会影响运动物体的过程。此外,它还预设了感官知觉能使我们直接把握物理实在<sup>[141]</sup>,甚至预设了感官知觉是把握物理实在的唯一手段。因此,一种物理学理论永远不能怀疑感知的直接材料。

然而,伽利略明确拒绝了上述观点。他从以下两个针锋相对的假定出发:

a) 物理实在无法通过感官来获取,恰恰相反,它只能通过理性来把握;

b) 运动并不影响运动物体,物体与激励它的任何运动无关,运动只会影响运动物体和不动物体之间的关系。

尽管在伽利略看来,亚里士多德的推理是一种谬误推理,但就其自身而言,它却是无懈可击的。

然而,辩证地看(至少从《对话》内部来看),无疑伽利略仍有权指称亚里士多德的推理是一种谬误推理。这是因为,在阐述关于地球静止不动的物理学和力学证据之前,伽利略已经提出了两个运动相对性原理:运动的力学相对性原理和视觉相对性原理。<sup>[142]</sup>

当然,人们从未否认运动的视觉相对性原理。哥白尼已经从中总结出:在地心说和日心说两种天文学之间,我们不可能进行纯粹视觉的区分。因为从物理学角度看,天穹的视运动完全可以用两种天文学中的任何一种来进行物理解释。<sup>[143]</sup>正是这一点说明了亚里士多德和托勒密提出的各种物理学证据的重要性。

运动的视觉相对性是不容置疑的。因此,伽利略告诉我们,从讨论一

[141] 参见 *Dialogo*, p. 153.

[142] 参见 *Dialogo*, I, pp. 57, 101, 139, 141.

[143] 参见 Copernic, *De Revolutionibus*, l. I, c, V. 以及 Galilée, *Dialogo*, II, 139, 141.

开始,它就应该被确立为“原理”<sup>[144]</sup>:

因此,让我们将以下想法确立为我们研究的原理:无论我们将何种运动赋予地球,由于我们是地球的居民,因而也就必然参与了这种运动。如果我们只是观察地球上的物体,那么这种运动就根本无法察觉,就像完全不存在一样。相反,对于与地球相分离、从而不参与这种运动的所有其他物体和可见对象来说,这种运动必然是共同可见的。这样一来,如果要研究任何一种运动是否能被赋予地球,正确的方法就是观察和思考在所有与地球相分离的物体中是否显示出一种对应的视运动,而这种视运动同等地适用于所有上述物体……

这种为所有与地球相分离的物体所共享的运动恰恰就是周日运动。因此,从视觉或天文学的角度来讲(*optice ou astronomice loquendo*),人们既可以将这个运动赋予地球,也可以将它赋予天穹,或者就如沙格列陀在开玩笑时指出<sup>[145]</sup>,人们可以随意将原动天的角色赋予地球或者赋予天穹。

事实上,伽利略所提出的“原理”比视觉相对性原理还要广泛得多。当他提出我们不可能觉察到我们自身所参与的运动时,他已经提出了运动的物理相对性,他甚至已将这种物理相对性设定为视觉相对性的等效物。因为,如果运动对于其参与者来说完全无法觉察,那么就由此可得,地球的运动对于发生在地球上的现象不会产生任何影响。用近代的术语来说,这就意味着赋予了所有运动,尤其是赋予了圆周运动某些惯性运动的特征。

我们还会有机会回到这个问题。现在,且让我们先继续跟随伽利略

---

[144] *Dialogo*, II, p. 139 sq.

[145] *Ibid.*, p. 148.

的论述：

因此，请注意：运动之为运动，并且作为运动而起作用，只是相对于它与那些不参与这个运动的物体的关系而言。而相对于那些同等地参与了运动的物体来说，运动没有任何效果，就像完全不存在一样。<sup>[146]</sup> 因此，当一艘船上装载的货物离开威尼斯，经过科孚岛 (Corfou)、克里特岛、塞浦路斯并开往阿勒颇 (Alep)，在此过程中，威 222  
尼斯、科孚岛、克里特岛等均保持静止，并没有和船一起运动。但是，对于船上满载的那些袋子、箱子和包裹来说，并且相对于船本身而言，船从威尼斯到叙利亚的运动就好像完全不存在，也不给它们的关系带来任何改变。这是因为，船的运动是全体袋子、箱子和包裹所共有的运动，而且它们全都同等地参与了运动。如果在船上的货物中间，某个袋子相对于某个箱子只移开了 1 寸，而这些货物所组成的整体的运动则通过了两千里路程，那么对于箱子来说，前一个运动也将比后一个运动更大。<sup>[147]</sup>

初看起来，伽利略丝毫没有做任何革新。他的学说似乎也能被一位亚里士多德主义者所接受。但也只是初看起来如此。因为人们通常很容易混淆亚里士多德的运动相对性和伽利略的运动相对性，而我们必须避免这种混淆（更确切地说，我们应该将伽利略的运动相对性称为“笛卡尔的”或“牛顿的”运动相对性）。因为对于亚里士多德来说，运动之为运动，必然蕴涵着一个基准点或参考点，而位置运动则尤其蕴涵着一个作为参

---

[146] 相对于运动物体自身来说，这个运动“就像是无”；然而，这个“无”并不需要“原因”。换言之，这个运动就其本身来说就像静止一样几乎不产生任何作用，这使得将运动和静止放在同样的本体论地位上成为可能。参见本书第二部分，前文第 130 页及以下，以及下文第 323 页及以下。

[147] *Dialogo*, II, p. 141 sq.

照点的不动点。但是,由于运动并不仅仅被视为两个端点间的某种简单的关系,而是(让我们再重复一次)被视为某种真实地影响着运动物体的过程,所以参考点或参照点就必须是一个实际上真正静止不动的端点:即世界,特别是世界静止不动的中心。伽利略的运动观念则完全不蕴涵这样的内容:运动被构想为不会影响运动物体的某种“状态—关系”(état-rapport),这种运动也丝毫不意味着存在某个真正绝对静止的点。它只意味着存在某个点,或者更确切地说,存在某个“不参与”上述运动的物体:如袋子和箱子相对于彼此,船相对于箱子,科孚岛和克里特岛相对于船,等等。伽利略由此正确地得出结论:当运动为多个运动物体所共有时,就这些物体之间的相互关系而言,运动不产生任何影响,就像完全不存在一样;因为它们之间的关系没有发生任何改变,运动只会对这些运动物体与那些不参与这一运动的其他物体之间的关系产生影响。

223 由此我们也就十分自然地得出了对前面萨尔维阿蒂所阐述的论据的回答:事实上,如果石块与塔共同参与了地球的同—运动,那么对于它们两者来说,这个运动就像不存在一样,而且所发生的一切就像这个运动真的不存在那样,也就是说,就像地球处于静止状态时那样。我们有必要立刻指出,这一点蕴涵着十分重要的后果:它尤其蕴涵着运动的相容性,甚至还隐含着“任何一种运动都不会干扰另一种运动”这一事实,即“在(推动同一运动物体的)各种运动中,一种运动相对于另一种运动来说就像完全不存在一样”这一事实。而这一点正是亚里士多德主义者所无法接受的。因为对他们来说,运动表达了运动物体的本性(nature),运动本身就要按照这种本性来界定。对他们来说,运动不应该被视为某种外在于运动物体和施动者的自在存在的实体。不同运动之间是否相容,要取决于这些运动与运动物体的本性是否相同。因此,他们不会接受伽利略的反驳。如果地球在转动,地球的圆周运动与落体的直线运动将会属于在其类别和本性上完全不同的两种运动,根本没有任何理由将这两种运动结合在一起。当然,在极力劝说之下,亚里士多德主义者也会承认人们可以

让重物同时进行两种运动,但恰恰因为如此,这样的情形就会是一种“力学”运动、(或至少部分地是)一种受迫运动的情形。<sup>[148]</sup>

现在,让我们来考虑石块自由下落的情形。那么,究竟是什么迫使石块跟随着塔一起运动呢?正如我们已经正确地假定,没有任何东西将石块与塔相联系,塔几乎没有任何可能这样做,但是,这个假定几乎一点都不可信。相反,当地球在转动时,假定从塔顶落下的石块表现得与实际情况完全不一样,这样反而会可信得多,也就是说:“就像从一艘船的桅杆顶端下落的石块,当船保持静止不动时,正如经验已经证实,石块将会落在桅杆的脚下,而当船在河面上运动时,石块的下落地点将会偏离桅杆(而落在后面)”<sup>[149]</sup>。众所周知,这就是第谷的论证。但事实上在提出这个论证时,第谷做得有些过度了。当他同意将地球过程(船)与宇宙过程(地球)放在同一层次来讨论时,他已经在很大程度上违背了亚里士多德主义的立场,因为这一立场完全建立在地界定律和天界定律之间的本质区别之上(在《对话》一开始,伽利略就已经细心地向我们提醒了这一点)。<sup>[150]</sup>当然,伽利略也会利用这一点,他会像布鲁诺那样,从船得出关于地球的结论,从地球得出关于天穹的结论。<sup>[151]</sup>

224

---

[148] 在我们看来,可以肯定的是,“伽利略—笛卡尔”的运动观念严格说来是自相矛盾的,而且惯性定律归根结底蕴涵的是牛顿的绝对运动和绝对静止的观念。然而,这个问题已经让人们费了不少笔墨,此处不再赘述。关于这些讨论的概要,可参见 E. Mach, *Die Mechanik, etc.*, 8<sup>e</sup> éd., pp. 231 sq.; 同时参见 P. Duhem, *Le Mouvement absolu et le mouvement relatif*, Montligeon, 1907 以及 A. Sésmat, *Systèmes de références et mouvements*, fasc. II, *Mécanique newtonienne et gravitation*, fasc. IV. *Le système absolu de la mécanique*, Paris, 1937.

[149] *Dialogo*, II, p. 167.

[150] *Ibid.*, p. 42.

[151] 讨论那些反对地球运动的传统论据有着双重目的:首先是为了摧毁关于两个世界和两种物理学的传统观念,并断言自然及其定律的根本统一性;其次是为了发展一种关于运动的新理论(或者更确切地说,一种关于运动的新观念),并使得这种新观念能够深入“读者—听众”的心灵。

然而,断言自然的统一性无疑会导致一种向下的同化,在这种同化中,“天界自然”丧失了其特权地位,被降格到“地界自然”的同一层次上;但是,这种向下的同化却开始于一种完全反向的运动:向上的同化,即将天界自然具有的某些属性和特权赋予地球以及地界自然。因此,首(转下页)



因此,伽利略明确指出:

萨尔维阿蒂<sup>[152]</sup>:“您说,当船静止不动时,石块落在桅杆脚下,而当船运动时,石块落到远离桅杆脚下的某个地方。相反,从‘石块落在桅杆脚下’这一事实,我们就可以推知船静止不动,从‘石块落在远处’这一事实就可得出船处于运动之中。因此,从‘石块落在塔脚下’这一事实,我们就可推知地球的静止不动。这就是您的推理,不是吗?”

辛普里丘表示同意。

萨尔维阿蒂继续说道:“现在,请您告诉我,如果在一艘高速行驶的船上,让一块石头从桅杆的顶端自由下落,石块准确地落在当船静止不动时石块落到船上的同一地点,那么这一下落现象对您确定船是运动还是静止会有什么用呢?”

辛普里丘:“完全没有任何用处。”

萨尔维阿蒂:“很好。您做过这个船上的实验吗?”

辛普里丘:“我没有做过。但是,我确信提出这个实验(作为论据)的作者已经做过仔细的观察。更何况,产生上述区别的原因已被如此清晰地认识到,以至于不会再留下任何的疑问。”

225

萨尔维阿蒂反驳说,从来没有任何人做过这个实验。<sup>[153]</sup> 所有这些作

---

(接上页)先并不是星辰被等同于地球,而是恰恰相反,是地球先被转变成了一颗星辰,并因此而被赋予了一种自然的圆周运动。只是到了后来,这种趋势才倒转过来,同化改变了方向,人们才开始意识到星际讯息的真正含义。因为,如果地球是一颗星辰的话,那么反过来说,星辰也只不过是一些地球……

[152] *Dialogo*, II, p. 169 sq.

[153] *Ibid.*, pp. 171, 208. 伽利略是正确的:从来没有任何人做过这个实验,但这一点并不妨碍安东尼奥·罗科在《对话》出版之后写道(*Esercitazioni filosofiche di Antonio Rocco, Opere*, vol. VII, p. 677):“一个从航行中的船的桅杆顶部落下的石头会直接落到(转下页)

者都只是因循着前人的权威,因为如果他们做了这个实验,他们就会看到,就像任何做过这个实验的人都将会看到的那样,石块在任何情况下都会落在桅杆的脚下,从这个事实无法得出任何支持或反对船在运动的结论,因而从“石块落在塔的脚下”这一事实也无法得出任何支持或反对地球运动的结论。现在,轮到辛普里丘来提问了:

辛普里丘:“您如此确信地谈论这一事实,那么您做过这个实验吗?因为,如果您和其他人都没有做过这个实验,那么这种讨论就毫无用处。既然这种讨论所涉及的事情是如此远离人类的理性,那就只有实验才能对此做出裁决。”<sup>[154]</sup>

现代的读者也许会发现,这一次亚里士多德主义者辛普里丘是对的。因为,除了通过某个实验,人们还能怎样在两个竞争和对立的理论中间做出裁决呢?因此,上述现代的读者可能会期望看到萨尔维阿蒂向辛普里

---

(接上页)桅杆的底部,我不相信这样的事情;如果我看到了这样的事情,那么我会努力寻找其他的原因,而不是归因于地球的转动。”实际上,这个关于船的实验只有到了1641年才被伽桑狄实现。实验引起了极大的轰动:参见 *Recueil de Lettres des sieurs Morin, De la Roche, De Nevre et Cassend, et suite de l'apologie du sieur Gassend, touchant la question DE MOTU IMPRESSO A MOTORE TRANSLATO*, A Paris, chez Augustin Courbé... MDCL, 前言中写道:“一直以来,伽桑狄先生都对尝试用实验来证明哲学向他提出的思辨真理抱有浓厚的兴趣。1641年,他碰巧与阿莱伯爵殿下(Monseigneur le Comte d'Allais)一起呆在马赛。除了因其出身高贵而闻名之外,这位王子对各种有益事物的知识与热爱更是享有盛誉。在王子的命令下,一艘战船特意从海上出发,当战船尽可能开足马力全速航行时,它们观察到从桅杆顶端自由下落的石块落到船上的位置与当同一艘船处于静止不动时落到船上的位置并没有什么不同;无论船是否在运动,石块总是沿着桅杆下落,并落到桅杆底端的同一侧。当这个实验进行时,阿莱伯爵殿下以及许多帮忙做这个实验的人都在场。这个实验似乎支持了某个结论,这个结论对于许多没有看到这个实验的人来说是相当悖谬的;也正是由于这个原因,伽桑狄先生用一封致迪皮伊先生(M. du Puy)的书信的形式撰写了一篇名为《从受迫运动到平移运动》(*De motu impresso a motore translato*)的论文。”

[154] *Dialogo*, II, p. 169.

丘详细阐述某个实验。但是,他将会吃惊地听到,萨尔维阿蒂宣称实验完全没有任何用处。实验不仅对萨尔维阿蒂本人没有用处,而且对于刚刚要求进行实验的辛普里丘也毫无用处。

226 萨尔维阿蒂<sup>[155]</sup>:“在我看来,没有实验,我也确信结果将会像我告诉您的那样发生,因为它必然会这样发生。并且我还会补充说,您自己也知道不可能产生其他的结果;尽管您会声称或者试图假装您不知道这一点。但是,我是一位如此出色的思想助产士<sup>[156]</sup>,以至于我将会让你不得不承认这一点”。

让我们在此暂停片刻。我们刚刚引述的这段内容(它在伽利略的著作中绝不是孤立的<sup>[157]</sup>)在我们看来极其重要:我们认为,它支配着伽利略著作的全部解释,从而也就从总体上支配着经典科学的全部解释。

因为,这里所涉及的正是实验在科学中的地位和作用问题。经典科学通常被我们描绘成建立在实验的基础之上,被描绘成实验推理的丰富多产与经院物理学的繁琐乏味的先验论之间的截然对立。因此,伽利略通常被看做一位谨慎而精明的观察者<sup>[158]</sup>,实验方法的创立者<sup>[159]</sup>,一个总在称重、测量和计算的人。他拒绝因袭从原理出发进行抽象的先验推理的思想道路,相反,他寻求将新科学建立在经验的坚实基础之上。当然,

[155] *Dialogo*, II, p. 171 sq. 另参见 *Lettre à Ingoli*, *Opere*, VI, pp. 542, 546.

[156] 黑体为我们所加。

[157] 参见 *Il Saggiatore* (*Opere*, VI, p. 328 sq.); 以及 *Lettre à Ingoli* (*Opere*, VI, p. 545): “io sono stato doppiamente miglior filosofo di loro, perchè loro al dir quello ch'è il contrario in effeto hanno anco ajunto la buggia, dicendo d'aver ciò veduto dall'esperienza, ed io ne ho fatto l'esperienza, avanti la quale il natural discorso mi aveva molto fermamente persuaso che l'effeto doveva succedere come appunto succede.”

[158] 参见 E. Jouguet, *Lectures de Mécanique*, Paris, 1924, vol. I, p. 111.

[159] 参见 E. Mach, *Die Mechanik*, 8<sup>e</sup> éd., pp. 127 sq.

这样说不无道理。很明显,正是对行星真实运动的观察将开普勒引向了天文学的变革;同样明显的是,正是通过将他的望远镜对准天穹并观察天穹,伽利略才给了中世纪的宇宙(Cosmos)以致命的一击;同样可以肯定的是,伽利略的著作充斥着许多对实验和观察的呼吁和诉求<sup>[160]</sup>:包括单摆实验、斜面实验等等,充斥着针对某些人的激烈抨击,这些人由于所见到的事实违反原理就拒绝承认这些事实(正如他们拒绝承认神经是出自大脑而不是出自心脏,因为亚里士多德教导了相反的结论)<sup>[161]</sup>,他们甚至不敢去看他们的原理声称不可能出现的事物<sup>[162]</sup>;伽利略的著作还充斥着许多段落,在这些段落里伽利略宣称了自然的无限丰富性,谴责了那些声称能预言什么能做或什么不能做的人的傲慢自负……然而,并不是伽利略的代言人萨尔维阿蒂,而是亚里士多德主义者辛普里丘被描绘成实验的捍卫者。相反,萨尔维阿蒂宣称实验是无用的。

227

我们还会回到这个问题。此刻我们只需牢记这个事实:好的物理学是被先验地做出来的。<sup>[163]</sup>

证据就是:萨尔维阿蒂宣称,为了认识什么是正确的,辛普里丘本人无需求助实验(这种说法令辛普里丘大为震惊,甚至大为愤怒)。因为所涉及的事物根本不是“远离人类的理性”,而恰恰相反,它们最接近人类的理性。它们如此接近人类的理性,以致在所有的实验之前,人类就已经拥有了关于物理世界的本性的各种正确原理。他知道了真理,但却没有意

---

[160] 《对话》“第一天”的内容有很大一部分被用于讨论在平滑和粗糙的不同表面上光线反射的光学实验;以及讨论以下这个悖论的实验证明,即一面被阳光照亮的镜子通常比安放镜子的那面墙看起来显得更暗;还有关于“一个光滑的球体可见性很差”这个事实。伽利略由此得出,如果月亮是一个光滑的球体,那么我们将有可能会完全看不到它。参见 *Dialogo*, I, p. 91 sq; *Il Saggiatore*, p. 281.

[161] *Dialogo*, II, p. 134.

[162] *Ibid.*, p. 138.

[163] 只有在演绎之后人们才会进行实验;参见前文第 157 号注释引自 *Lettre à Ingoli* 的文本。

识到这一点。因此，他没有必要学习真理（这种学习甚至是不可能的）。只要向他提出各种恰当的问题，向他（和我们）显示他已经知道了真理，这就够了。

这就是为什么萨尔维阿蒂会向我们重新提起青年伽利略在比萨时开始其运动研究时所做的分析：

萨尔维阿蒂问辛普里丘<sup>[164]</sup>：“现在，请您告诉我：如果您有一个平面，它像镜子一样光滑，并用像玛瑙一样坚硬的材料做成。它并不平行于水平面，而是有些倾斜。您在这个平面上放一个完美球形的圆球，这个球用像铜那样沉重并极其坚硬的材料做成。如果您松开手让它处于自由状态，您认为球会怎样呢？您不会（就像我以为的那样）认为球会保持静止不动吧？”

辛普里丘：“那个平面是倾斜的吗？”

萨尔维阿蒂：“是的，因为我们正是这样假定的。”

辛普里丘：“我绝不相信它会停在原地不动。相反，我确信它将会沿着斜面自动滚下来。”

从没有任何人教过辛普里丘这个回答。正是他的自然判断向他给出了这个答案：因此，对于读者来说<sup>[165]</sup>，这就证明了辛普里丘所要求的实验并不总是必需的。萨尔维阿蒂对苏格拉底方法的运用使得我们能够隐约看见他的先验论立场，能够看见他追随柏拉图的立场。事实上，我们不可能不从中辨认出这种方法，也不可能不想起《泰阿泰德篇》（*Théétète*）和《美诺篇》（*Ménon*）。因此，

[164] *Dialogo*, II, p. 171. 另参见本书第一部分，前文第 75 页及以下。

[165] 再提醒一次：我们绝不能忘记读者的角色。事实上，读者才是对话中最重要的角色。

萨尔维阿蒂继续说道<sup>[166]</sup>：“那么，这个球的运动将持续多久，以多快的速度运动呢？请记住我曾说过，这是一个完美球形的球，一个完全光滑的平面，以便排除所有外在和偶然的障碍；同时，我还希望您不考虑空气阻力，也不考虑其他任何可能存在的偶然障碍。”<sup>[167]</sup>

辛普里丘：“我完全理解您的意思。对于您的问题，我的回答是：只要斜面往下无限延伸，这个球的运动就会无限地(*in infinito*)持续下去并不断加速；因为这就是运动着重物的本性，它总是越走越有力(*vires acquirit eundo*)；而且斜面的倾斜度越大，物体的运动速度也就越大。”

萨尔维阿蒂：“但是，如果想要让这个球沿着同一平面朝上运动，您认为它会这样做吗？”

辛普里丘：“它当然不会自动向上运动，但可以将它用力向上推或向上抛。”

萨尔维阿蒂：“那要是用强加于它的某个冲力向上推，它的运动会怎样？会持续多久呢？”

辛普里丘：“它的运动将会逐渐减慢，速度会一直减少，因为这种运动违背它的本性，运动持续的长短取决于**推动力量**(*impulsion*)<sup>[168]</sup>的强弱和斜面倾斜度的大小。”

萨尔维阿蒂<sup>[169]</sup>：“这样您就说明了一个运动物体沿着两个不同平面运动的各种性质。您说，位于下降平面的重物将会自动滚落，并会不断加速，必须用力才能使它保持静止；而位于上升平面的物体则

---

[166] *Ibid.*, p. 172.

[167] 一个完全光滑的平面，一个完美球形的球，等等；这意味着我们已不再处于可感实在的世界中，而是处于几何学被实在化之后形成的阿基米德世界中。参见本书第一部分，前文第77页及以下。

[168] 黑体为我们所加。原文为：*impulso*.

[169] *Dialogo*, II, p. 172 sq.

需要用力才能使它向上运动或保持静止,并且赋予它的**运动**<sup>[170]</sup>会逐渐减弱,最终将完全消失。您还说,两种不同情况的差别来源于平面倾角(*inclinaison*)或仰角(*élévation*)的不同大小;倾角越大,速度也越大。相反,沿着上升平面用同样的力抛出同一个物体,仰角越小,物体向上运动的距离就越远。现在,请您告诉我,如果将同一运动物体放在一个既不下倾又不上仰的平面上,将会发生什么呢?”

辛普里丘:“这样我倒要想一想再回答。既然平面不向下倾斜,物体就不会有运动的自然倾向;既然平面不向上升高,物体就不会有运动的自然阻力。因此,球应该处于某种与运动的推进和阻碍都无关的状态,因而,在我看来它应该自然地保持在停止(或静止)状态。”

萨尔维阿蒂:“当我们让球处于静止状态时,我也会这样认为;但是,当我们给予它一个朝某个方向的冲力时,又会发生什么情况呢?”

辛普里丘:“其结果是,它将会朝这个方向运动。”

萨尔维阿蒂:“但是,这将是怎样一种运动呢?是像在下降平面上的持续加速运动,还是像在上升平面上的逐渐减速运动?”

辛普里丘:“我看不到任何加速和减速的原因,因为平面既没有向下的倾斜(*déclivité*),也没有向上的倾斜(*acclivité*)。”

萨尔维阿蒂:“的确如此。但是,既然没有使球减速的原因,那就不更应该有使球静止的原因。<sup>[171]</sup>那么,您认为这个物体的运动将会持续多长时间呢?”

辛普里丘:“这个既不下降也不上升的平面有多长,运动就会持续多久。”

[170] 黑体为我们所加。原文为:*movimento*。

[171] 静止被伽利略设想为仅仅是一种无限大的慢度。由于伽利略不承认运动和静止这两种状态中的其中一种会突然过渡到另一种,因此一种引起静止的原因必须使物体逐渐减速,相反,如果没有引起减速的原因,那么也就不可能有引起静止的原因或原则。很明显,这种观点是与亚里士多德、冲力物理学和开普勒的观点相对立的。参见前文第192页。

萨尔维阿蒂：“因此，如果空间没有界限，这个运动也就会同样没有终点，也就是说，这个运动将会是永恒的，对吗？”

辛普里丘：“在我看来，的确如此，只要这个运动物体是以经久耐用的材料做成。”

关于水平运动的永恒持续性（及其速度持续性）的原理就这样得到了。研究伽利略（以及研究物理学）的历史学家们通常会引述以上这个段落和其他一些段落，并将它们视为惯性原理的某种狭义表述。<sup>[172]</sup>但实际上，此时的伽利略还是与在比萨时一样，他还是无法从重性这种重物的自然性质中抽离出来，还是不能忘记真实的水平面是一个球面。随后的讨论非常清晰地显示了这一点。

230

萨尔维阿蒂<sup>[173]</sup>：“这一点（运动物体的持久性特征）是早已被假定了的，因为我们曾说过，我们已决定取消所有外在和偶然的障碍，在这种情况下运动物体的易损性（*fragilité*）就属于某种偶然障碍。<sup>[174]</sup>因此，请您告诉我，球在下降平面上会自发运动，而在上升平面上没有外力就不会运动，您认为原因是什么呢？”

辛普里丘：“这是因为重物倾向于朝着地球的中心运动，而只有通过施加外力才能让它朝着地球的周边运动：而下降的平面将使物体更靠近中心，上升的平面则会使物体更远离中心。”

萨尔维阿蒂：“因此，为了使一个平面既不下降也不上升，这个平面的所有部分必须与地心保持等距离。但是，世界上是否存在这样一种平面呢？”

---

[172] 参见 E. Wohlwill, “Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes”, *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, v. XV, pp. 14 sq., 132 sq., 134.

[173] *Dialogo*, II, p. 173 以及 *ibid.*, I, p. 53.

[174] 对于亚里士多德主义者来说，这是一种本质的障碍。



辛普里丘：“这样的平面很多。譬如我们地球的表面，只要它足够光滑，而不是像现在这样凹凸不平以及群山覆盖。此外，风平浪静的水面也是这样一种表面。”

萨尔维阿蒂回答说：“那么，海面不也正是这样一种表面吗？因此，在这个表面上运动的一艘船，一旦向它施加一个冲力，它就会永远匀速地运动下去。如果有一块石头位于这艘船的桅杆顶端，它不是也正被船带动着沿圆周运动吗？因此，只要外在的阻碍全都被排除，这个**运动不就在石块之中永不消失了吗？**<sup>[175]</sup>而且这个运动不就具有了与船相同的速度了吗？”

因此，我们又回到了那个关于运动持续性的传统问题，即当运动物体与其施动者相分离后，运动是否能够持续的问题，而且我们似乎又重新置身于布鲁诺的情境。<sup>[176]</sup>那么，是否我们也不得不像布鲁诺那样，在亚里士多德的介质作用理论和巴黎学派的冲力学说之间作出选择呢？<sup>[177]</sup>

既可以说“是”，也可以说“不是”。无疑，亚里士多德的学说将被完全抛弃。但是，巴黎学派的理论却不会被原封不动地接纳。它将会经历（或者更确切地说，它已经经历了）一种深刻的变化：**冲力已不再被理解为运动的原因，它已被等同于运动本身。**

亚里士多德主义者对于冲力理论所提出的最有力的反驳是一个本体论反驳：一种偶性不能从一个物体传递给另一个物体，因此，冲力也不能这样传递。伽利略回答说，如果冲力是指一个引起运动的力，上述反驳无疑是有道理的。但是，**运动本身却可以在物体之间传递。**

伽利略运用了“巴黎学派”的一些老论据来反驳亚里士多德的理论。

[175] 黑体为我们所加。原文为：*d'un moto indelebili in lei.*

[176] 参见前文第 172 页及以下。

[177] 这就是迪昂的解释，参见 Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 560 sq.

风很容易吹动一片羽毛或一块软木,但却不能吹动一块石头或一枚炮弹……当用手或射石炮抛出一块石头或一枚炮弹时,它们的飞行距离将会比一片羽毛或一大块软木被抛出时远得多;重摆的运动时间要比轻摆长很多;如果我们用两种不同的方式逆风射出一支箭,一种是将箭头朝前射出,另一种是将箭身横着射出,那么在前一种情况下箭将飞得更快更稳……由于亚里士多德将运动机能(motricité)置于空气之中,他的错误就在于将物体被推动的难易程度与它积累和保存运动的能力混为一谈。无疑,前者与轻性相联系,而后者则与重性相联系。当然,介质也会对物体的运动产生影响:一般说来,这种影响会是一种阻碍作用。但是,运动则是物体本身所固有的。由此我们可以得出,当石块与桅杆分开之后,船的运动所具有的冲力依然永不消失地印(indélébilement imprimé)在石块之中,而且这种运动对于石块向下的“自然”运动既不产生阻碍作用,也不产生延缓作用。由此可得,尽管石块仍保留着船的速度,而且它的真实运动轨迹还可以随意延长,但与石块从静止的船上的桅杆顶端落到桅杆脚下所用的时间相比,石块在运动的船上下落将不会使用更多的时间。此外,当一枚炮弹从塔顶被水平射出后(无论它射出了两千步、三千步、六千步或一万步远),它都会与另一枚没有受到任何推动力而直接下落的炮弹恰好在同一时刻落地。<sup>[178]</sup>

正如我们所料,这些离奇而又悖谬的结论并不足以说服辛普里丘接受伽利略关于运动相对性以及各种冲力相互独立的学说。他的疑虑还远远没有消除。他谦逊地告诉我们,也许这是因为他自己的过错,因为他的理解力不像沙格列陀那样敏锐。无论怎样,在他看来,“如果石块所参与的运动<sup>[179]</sup>在它和船相分离之后还会以一种永不消失的方式<sup>[180]</sup>保存在石

232

[178] *Dialogo*, II, p. 180. 正是沙格列陀这位“开明之士”从伽利略的学说中引出了这些结论。

[179] *Ibid.*, p. 181. 黑体为我们所加,原文为:*Moto participato dalla pietra.*

[180] 黑体为我们所加。

块之中,那么同理可得,如果有人骑在一匹快速奔跑的马上,让一个球从他的手中自由下落,那么这个球在落向地面期间也应该同样继续其运动,并且跟随着马的奔跑而不会落在后面。然而,我不相信能够看到这样一种结果,除非骑马者将这个球朝着马奔跑的方向抛出;因为若非如此,我相信它会停留在它落向地面的那个地方。”

现代的读者也许会有些不耐烦的情绪了。读者会说,这些没完没了的重复又有有什么用呢?辛普里丘的例子并没有带来任何新内容,也根本没有澄清上述讨论,难道这不是很清楚吗?他甚至可能会猜想,伽利略是想要嘲笑这位亚里士多德主义者,并向我们显示他是多么愚蠢。这位现代的读者想错了。骑马者的例子带来了新内容,并使我们又向前迈进了一步。伽利略让辛普里丘来提出这个例子并不是为了嘲笑他。恰恰相反,他向我们显示了辛普里丘是非常机智的。

因为,球从桅杆顶端下落的情形和球被骑马者松开下落的情形,这两者对于我们来说是相同的。但是,对于16世纪的物理学来说则并非如此:抛出(*jeter*)一个球和松开(*lâcher*)一个球并不是一回事。伽桑狄以后还将会来论述这个问题。<sup>[181]</sup>此外,从桅杆顶端下落的球无疑也离开了桅杆,但与骑马者松开下落的球相比,前者分离得还不够彻底。因为球在落到地球上之前在空气中继续运动,和球在到达地球之后仍继续运动,这是完全不同的两回事。

因此,伽利略将向我们证明这两种情形的等价性(这两种情形曾被辛普里丘区分为“抛出”一个球和“松开”一个球)<sup>[182]</sup>:

---

[181] 梅塞纳在他翻译的伽利略的《机械学》(*Galilée, Mécaniques*, Paris, 1634)的“前言”中还惊讶地指出了这个由辛普里丘所提出的事实!同时参见 Gassendi, *De moto impresso a motore translato*, Paris, 1642, pp. 22 sq.

[182] *Dialogo*, II, p. 181. 伽桑狄的《从受迫运动到平移运动》(*De moto impresso a motore translato*)的整个第一部分都被用来确立这种等价性。

当您用手臂抛出一个球时,在球离开您的手之后,您的手臂给予球的这个**运动**<sup>[183]</sup>将保留在球中,并继续推动球运动得更远,但除了这个运动之外,在球中还会留下什么运动呢?至于这个冲力是来自马,还是更多地来自您的手,这是无关紧要的。您的手,从而还有您手上的球,难道不是和马本身跑得一样快吗?这一点毫无疑问。因此,只要手一松开,球就离开手,并已具有一个**运动**<sup>[184]</sup>,这个运动并非通过您自己个人的运动而产生于手,而是产生于与马的运动相关的某种**运动**。在此过程中,马的运动先是被传递给您,传递给您的手臂,再传递给您的手,最后才传递给球。因此,我想告诉您,如果(在奔跑期间)骑马者用他的手臂将上述球朝着与马奔跑前行的反方向抛出,当球落到地面时,尽管它已被反方向抛出,但它仍有时会跟随马奔跑前行,有时会保持静止不动,只有当它从手臂接受**运动**后获得的速度**大于马奔跑的速度**时,它才会朝着马奔跑前行的反方向运动。有些人说,骑马者能够朝着马奔跑的方向向空中抛出一支长矛,然后骑在马上跟着它,最后再重新接住它。这样说是很愚蠢的,因为要使抛射体落回手中,就必须将它垂直向上抛出,就像抛射者处于静止不动时那样……

233

从此以后,不言而喻的是,由于箭(或者所有被骑马者抛出的其他物体)已经参与了马的运动,当它被抛向空中时,它就会保留着这个运动;或者毋宁说,是由于在骑马者与长矛组成的力学系统中(就像在船的力学系统中一样),系统的共同运动“就像完全不存在一样”。

为了帮助萨尔维阿蒂,沙格列陀还举出了许多其他现象。要详细分析这些现象会占用我们过多的时间,对我们而言也没有什么用处。但是,

---

[183] 黑体为我们所加。

[184] [本段以下各处的]黑体均为我们所加。

沙格列陀(还有萨尔维阿蒂自己)则以这些现象为例来阐明伽利略物理学的各种重要原理:运动的相对性、相互独立性与守恒性。向我们提出这些表面上看来自相矛盾和令人震惊的例子,其目的正是为了让读者熟悉新物理学的各种原理,比如:在一艘航行的船上写信的例子;让球沿着各种斜面滚动的例子,这些斜面被固定在运动的四轮马车的某一侧,这个球有时停止或甚至向后滚动,有时又落到地面并向前滚动,甚至会在滚动中超过马车;玩滚球游戏者的例子,他通过赋予球一个旋转运动,可在将球向前抛出的同时让球向后滚动;球时而滚动,时而跳跃至空中的例子,球还能在空中及地面以不同的速度运动<sup>[185]</sup>……提出这些例子还有另一个目的(而且也是一个相当重要的考虑),那就是为了让读者在其思想中区分开平动和转动。因为在新物理学中,能够自动保持的不只是旋转运动,而是所有的运动本身。

234

对于一位现代的读者来说,他无疑会觉得上述讨论已经相当冗长,而且几乎有些不耐烦了。这是因为他早已被说服了,因为长久以来他早已对运动的经典观念习以为常,而对于一位与伽利略同时代的读者来说则并非如此。某物既存在又不存在,某物能自我保持,又能从一个物体传递给另一个物体,在伽利略时代的读者看来,这样的观念比亚里士多德的“运动—过程”观念还要晦涩得多。这种看法并非毫无道理。当然,这位伽利略时代的读者不会否认沙格列陀提出的各种现象。但是,他还会怀疑,并且通过辛普里丘之口再次<sup>[186]</sup>提出要诉诸实验:“我希望我们能找到一种方法来做一个关于上述抛射体运动的实验……”,而沙格列陀建议用一辆敞篷的小马车,在马车上装一个弩,将弩调整到一个适中的仰角,以使它具有最大的射程;然后再开动马车,一次让弩朝着马车前进的方向发

[185] *Dialogo*, II, p. 186 sq., p. 197.

[186] *Ibid.*, p. 194. [英译者在此指出,柯瓦雷此处提到“通过辛普里丘之口”(par la bouche de Simplicio),这是错误的。因为在《对话》原文中,柯瓦雷下引的这句话出自萨尔维阿蒂之口。——译者]

射,另一次让它朝着相反方向发射,每次都仔细地标出马车所处的位置。这样我们就可以看出朝着某个方向的射程是否比另一方向的射程更远。<sup>[187]</sup>

在辛普里丘看来,上述实验设想得相当不错。<sup>[188]</sup> 因此,他告诉我们<sup>[189]</sup>:

辛普里丘:“关于弩的射程,即箭落到地面的地点与此时马车所处的位置之间的距离,我不会怀疑,当弩朝着马车运动的方向发射时,其射程显然要比朝着相反方向发射时更小。例如,假定弩的射程本身是300肘尺,那么,当弩朝着马车运动的方向发射时,马车将会通过上述300肘尺中的100肘尺。由此可得,当箭落地时,箭与马车之间的距离只有200肘尺。相反,当朝着另一方向发射时,马车将会朝着与箭相反的方向运动,当箭飞行了300肘尺时,马车自身则朝相反方向通过了100肘尺,它们之间的距离将会是400肘尺。”

235

萨尔维阿蒂:“有什么办法能使上述两次发射的射程相等呢?”

辛普里丘:“除了让马车静止不动之外,我不知道还有什么其他办法。”

萨尔维阿蒂:“当然如此。但我所问的是当马车全速前进时的情况。”

辛普里丘:“也许可以在朝马车奔跑方向发射时把弓拉紧些,而在朝相反方向发射时把弓放松些。”

萨尔维阿蒂:“因此,还是有其他办法的。但是,弓要拉紧多少和放松多少呢?”

---

[187] *Dialogo*, II, p. 194.

[188] 顺便指出,这个实验也只能是一种“想象的”实验。事实上,在伽利略的学说中,那些最重要的实验都是一些“思想实验”(expériences de pensée)。

[189] *Ibid.*, p. 195.

辛普里丘：“在我们的例子中，我们已经假定了弓可以射出 300 肘尺远，所以在朝马车奔跑的方向发射时，只需把弓拉紧到能够射出 400 肘尺远，而朝另一方向发射时，把弓放松到只能射出 200 肘尺远，因为这样一来，两次发射相对于马车射出的距离都会是 300 肘尺，马车自身运动所走的 100 肘尺一次要从 400 肘尺中减去，另一次要加到 200 肘尺中去，从而使两次射程都变为 300 肘尺。”

让我们再说一次，辛普里丘的推理一点也不荒谬。在亚里士多德的物理学中，抛射体的运动是来源于介质的反作用：因此，上述抛射体的运动完全独立于其运动源的运动。对我们来说，这正像一束光波的传播运动独立于其光源的运动一样。

沙格列陀所设想的实验相对于大炮论证就如同运动的船的例子相对于重物从塔顶下落的例子。在上述两种情况下，我们都从地上的物理学现象得出了关于天上的物理学现象的结论。在这两种情况下，我们都取消了运动的“自然”特征。

让我们回到《对话》。实际上，我们正处于关键时刻之一。

萨尔维阿蒂问道<sup>[190]</sup>：“那么，弓的松紧程度对箭会产生什么影响呢？”

辛普里丘回答说：“拉紧的弓能使箭以**更快的速度**<sup>[191]</sup>射出，放松的弓则使箭以**较慢的速度**射出；对于同一支箭来说，当它每次以更快的**速度**射出时，它都能射得更远。”

萨尔维阿蒂：“因此，为了使两支朝不同方向发射的箭落地时离开运动着的马车相同的距离，只要使箭在以上例子的第一次发射中

[190] *Dialogo*, II, p. 195.

[191] [本段中所有的]黑体为我们所加。

以 4 级速度射出,而在另一次发射中则以 2 级速度射出。但是,如果每次都用同样张紧的弓,箭就每次都会获得 3 级速度。”

辛普里丘:“正是如此。这就是为什么在马车奔跑时,如果用同样张紧的弓发射,却不能得到相等的射程。”

萨尔维阿蒂接着说道<sup>[192]</sup>:“然而,当马车运动时,马车上的所有东西都与马车一起以相同的速度运动,难道不是吗?”……

辛普里丘:“当然如此。”

萨尔维阿蒂:“那么,由于弓、箭、弓上的弦都参与了马车的运动,已经获得了 1 级速度<sup>[193]</sup>,因此,当箭被朝着马车的运动方向射出时,由于马车在这个方向上载着弓箭以上述速度前进,箭就已经获得了 1 级速度,弓弩向箭再赋予了 3 级速度,以至于当箭离开弓弩时,它已经具有了 4 级速度;相反,当箭被朝着相反方向射出时,同样张紧的弓赋予了箭同样的 3 级速度,而箭正随马车以 1 级速度朝相反方向运动,以致在箭离弦之后只剩下 2 级速度。但是,您自己已经指出过,为了使射程相等,必须使箭一次以 4 级速度射出,另一次以 2 级速度射出。因此,无需改变弓,马车的运动本身也能调整射程,这个实验向那些不愿或不能认识理性的人<sup>[194]</sup>证明了这一点。因此,如果您将这个推理运用于大炮的例子,您就会发现,不管地球是运动还是保持静止,无论炮弹向哪个方向发射,以相同的力发射总会获得相同的射程。”

让我们在此停留片刻。

我们已经获得的这些成果(运动守恒定律,圆周运动的齐一性和无定

---

[192] *Dialogo*, II, p. 196.

[193] [本段中所有的]黑体为我们所加。

[194] 对于那些能够“认识理性”的人来说,辛普里丘所寻求的这种“感觉实验”(l'*esperienza sensata*)显然是毫无用处的。



237 限持续)实际上从《对话》一开篇就已经被提出来了。<sup>[195]</sup> 正如我们所见,运动相对性原理则在“第二天”对话一开始就已被提出来,并支配着此后的所有讨论。尽管就其本身来看,这些原理也许是自明的,尽管对于理性来说,它们是(用一个非伽利略的术语来表达,它们可能是)先天的<sup>[196]</sup>,但它们却是如此离奇古怪,包含的结论又是如此出人意料,以致辛普里丘看似已经承认它们,但实际上并未完全接受。他一有机会就会提出反驳。这是因为他的思想(受过教育的人的思想)是如此地充满着旧习和成见(那些通过学校教育所获得的观念),以至于他不借助这些传统观念就完全无法思考。他只是无可奈何地接受了运动守恒定律(因为他别无选择,而且也可以说是他自己推出了这个定律),因为他还是继续用亚里士多德的范畴思考运动,因为运动的新概念对于他来说既不清晰也不习惯,他还会立即退回到已被超越的层次,重新提出那些原则上已被驳倒的反对意见。因此,他必须习惯于用这些新获得的观念进行思考。<sup>[197]</sup>

那么,伽利略又是如何让这些观念渗透进读者的思想呢?他是不是也像笛卡尔所做的那样,干脆抛弃运动的经院定义,并代之以他自己的运动定义呢?绝非如此。伽利略所采用的是渐进转变的方式。他接续着历史传统,而从这个角度来看,他所取得的进展才是绝对不可忽略的。关于亚里士多德论据的讨论正相当于从哥白尼遗留的问题重新开始:即自然运动和受迫运动之间的质的区别,这种区别能够解释两种运动的效果差异。一种难以觉察的逐渐转变是:地球的自然运动(这种运动完全合乎逻辑地通过地球的“本性”或“形式”来解释)被赋予了地球上的物体,而且这样做不再是根据“它们与地球组成了一个本性共同体”,而只是根据“它们

[195] 参见 *Dialogo*, I, p. 53.

[196] 伽利略的天赋观念论(*innéisme*),就像笛卡尔的天赋观念论一样,都是一种柏拉图主义的体现。

[197] 更确切地说,需要接受教育的甚至不是辛普里丘,而是读者。但是,读者只有通过辛普里丘才能接受教育。

参与了地球的运动”这一事实。还有一种渐进的转变是：地球的运动在我们看来只是根据“它是一种圆周运动”这一事实就具有了某种特权属性，这种属性通过一种新的渐变扩展到了在海上航行的船……自然运动的特权地位已经完全消失了。从今以后，运动能够之所以自我保持，不再因为它是自然的，而仅仅因为它是一种运动。正是运动作为运动本身能够自我保持，并且永不消失地印在运动物体之中。辛普里丘自己也理解并接受了这一点，因为当他面对一个绝对球形的球在水平面上滚动的情形时，他不再寻求是什么原因使得球的运动能够永远持续下去：只要没有原因使它停下来，这就够了。

238

同样的策略也支配着冲力观念的转变。在开始攻击亚里士多德的物理学时，伽利略借助了“巴黎学派”物理学长期积累和发展而成的武器库，他从中取出了他所需要的各种观念和反驳论证。但事实上，在人们被冲力观念本身的混杂和模糊的特征说服之前，伽利略早就抛弃了被视为运动根源和原因的冲力观念。因此，在《对话》期间，冲力曾先后被等同于动量(moment)、运动和速度，这些接二连三的渐进转变不知不觉地引导读者去理解关于运动本身能在运动物体中自我保持的悖论，去理解关于速度“永不消失地印”在运动物体之中的悖论。

从理论上讲，圆周运动的特权地位已经被打破了：能够自我保持的是运动本身，而不是圆周运动。但也只是从理论上看来如此。实际上，《对话》没能走得更远。尽管有人曾这样说过，但我们不会向前滑动，更加不会一直滑到惯性原理。因为无论是在《对话》还是在《两门新科学》中，伽利略从来没有断言过直线运动的永久守恒。原因很简单，那就是：有重物体不可能做这样一种直线运动，而对于伽利略来说，没有重量的物体就不再是物体，从而也就根本不可能运动。<sup>[198]</sup>

---

[198] *Dialogo*, II, p. 193. 沙格列陀：“好，萨尔维阿蒂，我刚刚想到了另一个值得注意的问题。那就是：根据以上这些考虑，直线运动完全不可能存在，而自然界也从来没有使(转下页)

### 三、伽利略的物理学

伽利略的物理学是一种关于重物的物理学,或一种关于落体的物理学。这就是为什么落体运动会在伽利略的物理学中发挥着极其重要的作用。这种作用是如此关键,以致我们完全可以将伽利略的物理学刻画为一种“落体物理学”。因为落体运动不仅被伽利略视为一种自然运动,而且它还是伽利略所承认的唯一的自然运动。\*

当然,“自然运动”这一术语对于伽利略来说所具有的含义(或者毋宁说,它在伽利略物理学中的含义)与它对亚里士多德所具有的含义并不相同。亚里士多德区分了各种不同类型的自然运动,这些运动驱动着不同的物体,运动的多样性本身就表达了物体的不同本性。在亚里士多德的各种自然运动中,伽利略的物理学只留下了唯一的一种,而且这种自然运动是所有物体所共有的。毫无疑问,这一点表明所有物体都具有同样的本性<sup>[199]</sup>,尽管它并没有为我们揭示出这种共同的本性究竟是什么。

在伽利略的物理学中,运动从来不会揭示和表达运动物体的本性。我们已经提到过,运动是多么地外在于运动物体:我们还记得,运动是某种不会影响运动物体本身的事物(运动本身就像某种虚无或非存在之物<sup>[200]</sup>),而且运动物体只有相对于其他物体才会具有某种运动。运动和静止都属于纯粹的偶性。因此,从亚里士多德赋予这些术语的严格意义来看,在伽利略那里既没有自然运动,也同样没有受迫运动。因为伽利略

---

\*(接上页)用过它。甚至连你一开始承认直线运动所具有的那种作用,即当自然物体从整体中分离出来并处于无序状态时,物体借以回到它们原先位置的那种作用,如今也已被取消,并被赋予圆周运动。”相应的边注为:“自然界似乎已完全将直线运动排斥在外。”

[199] 参见本书第一部分,前文第 71 页及以下;以及第三部分,前文第 186 页及以下。

[200] 参见前文第 162 页及以下,以及第 219 页及以下。

无法接受亚里士多德的区分。很久以前,他就对这种区分提出了反驳,认为这种区分既不穷尽也不绝对,因而无法适用于运动本身。<sup>[201]</sup>事实上,所有的“自然运动”和“受迫运动”都可以相互转化:向上抛出的球会回落;沿着斜面滚落的球会滚上对面的另一个斜坡;摆锤不会停留在摆动过程的最低点,它总会在上升后又再次下降;如果有个洞可以贯穿整个地球,那么从地球的这一面抛入洞中的石块也不会停留在地球中心,而是会继续上升到相对的另一个表面。<sup>[202]</sup>这些都是冲力物理学的理论家们提出的经典例证<sup>[203]</sup>,这些例子是如此风行一时,以致伽利略总是忍不住一再提起。

240

但是,如果情况确实如上所述,如果在伽利略物理学中,当“自然的”和“受迫的”这些术语应用于运动时已不再具有原先的理论涵义,那么,它们还会用来指什么呢?很简单,它们被用来表明以下两种运动之间的常识区别:一种是物体可自行发生的运动(下落,向下的运动);另一种是物体只有借助于某种外部作用才能进行的运动(抛射,向上的运动)。伽利略在他的物理学中保留了某种常识的区分,在我们看来,这个事实极具重要性。

我们还会回来讨论这个问题。现在,让我们先回到下落问题。所有人都知道,而且伽利略也明确告诉我们,下落是一种有重物体的自然运动。<sup>[204]</sup>而在伽利略的物理学中,所有物体都是“有重物体”。没有任何物

---

[201] 参见本书第一部分,前文第73页及以下。

[202] 参见 *Dialogo*, I, p. 46-47; II, p. 253:“如果通过中心将地球凿出一个洞,那么沿着这个洞下落的重物将会从它的速度获得一种冲力,当到达中心时,它所获得的冲力将足以使它穿过中心,并推动它向上运动一段空间,这段空间与它原先下降的空间相等。”另参见 *ibidem*, p. 262:“自然运动会自行转化为所谓‘反自然的’或‘受迫的’运动”。

[203] 参见 Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 185 sq. 我们不得不立即指出,亚里士多德主义者绝不会承认这些例子。例如,安东尼奥·罗科就在他的《哲学论集》(*Esercittazione filosofiche, Opere*, VII, p. 689)中回应伽利略说:“至于挖洞的地球的例子,我坦然地否认在球到达地心后,球会继续运动,并从另一个半球向天空运动。”

[204] *Dialogo*, I, p. 53.

体不拥有重量。更不用说,没有任何物体是“轻的”。与亚里士多德相反,伽利略不承认在物体中存在一种可称为“轻性”的固有性质。也正是由于这个原因,对他来说,向上的运动不是一种自然运动(即不是一种自发的运动)。没有任何物体能够自行向上运动。如果它向上运动,那是因为它其他物体推动了它,并将它挤出了它原先占据的位置。所有的上升运动都是某种挤压运动。

从他最早期的物理学著作开始,伽利略就已经采纳了这些观念。<sup>[205]</sup>我们知道,这些观念既非完全独创,也非十分新颖。早在伽利略之前,巴黎学派的唯名论者就已经广泛探讨了这些观念。哥白尼及其后的贝内代蒂提到过这些观念,博纳米科也阐述过这些观念。无疑,伽利略正是从他们那里获得了这些观念。<sup>[206]</sup>

此外,伽利略从未声称上述观念是他自己所提出的观念。但是,他既没有提到贝内代蒂,也没有提到哥白尼,相反,他断言这些观念都是一些非常古老的观念。他还断言,他关于“重性是物体普遍具有的性质或属性”的理论,也只不过是继承了那些古代哲学家(尤其是柏拉图)的理论。<sup>[207]</sup>

对于青年伽利略来说,重性是一种物体的自然属性,甚至是它们唯一的自然属性。这恰好非常清晰地说明了,为什么下落运动是一种自然运动,以及为什么它是一种普遍的自然运动。

在青年伽利略的物理学中,重性是一种运动的来源。由于重性是物体唯一的自然属性,因而它也是运动的唯一自然来源。另一方面,由于它是所有物体具有的一种普遍的自然属性,它会使所有物体都产生向“下”的自然运动。

---

[205] 参见本书第一部分,前文第 70 页及以下。

[206] 参见 Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum liber*, Taurini, 1585. 另参见本书第一部分,前文第 56 页及以下;第 35 页及以下。

[207] 参见 *Dialogo*, I, p. 44 sq, 另 *De Motu*, p. 300 已有相关论述。

现在,我们已经看到,在《对话》的物理学中,所有物体都是有重物体。在《两门新科学》的物理学中,情况也完全一样。当它们被放在斜面上时(更简单来说,当它们失去支撑时),所有物体都会“下落”,并自然地向下运动。<sup>[208]</sup>

因此,人们会试图将伽利略物理学的特征刻画为“重性的物理学”,就像笛卡尔的物理学已被刻画为“碰撞的物理学”,牛顿物理学则被刻画为“力的物理学”。表面看来,上述观点无疑有其合理之处。然而,严格来说,这种观点是错误的。因为实际上伽利略拒绝将重性视为物体的某种自然性质,他也同样拒绝将重性视为“向下”运动的来源或原因。理由很简单,这是因为伽利略十分清楚地意识到,他自己并不了解重性究竟是什么。事实上,在伽利略那里,重性并不是物体的某种理论属性。它是一种经验属性,一种常识的性质。正是这一点解释了伽利略在《对话》和《两门新科学》中所表现的奇特态度:在这两本著作中,他总是向我们谈论重物,而避免向我们谈论重性。

当然,伽利略一开始先告诉我们,重性只不过是物体朝着地球中心(或诸重物聚集的中心)运动的一种自然倾向,而重物聚集的中心既可能是地球的中心,也可能是整个宇宙的中心。<sup>[209]</sup>这种做法我们完全能够理解。为了能将重性的适用范围扩展到所有物体,伽利略一开始先就重性提出某种说法,并使这种说法能被所有人,尤其是能被亚里士多德主义者理解和接受。难道他不应该这样做吗?因此,伽利略说,为了使物体能够开始其运动,物体必须拥有趋向某个特定位置的独特倾向,否则它就会一直静静地停留在它自己的位置上。<sup>[210]</sup>伽利略还将用同样的倾向来解释

242

[208] 参见 *Dialogo*, I, p. 48 sq ; 171 sq ; 以及 *Discorsi*, III, p. 205.

[209] 参见 *Ibid.*, p. 58. 重性是“世界上所有球体的诸部分都趋向它们各自的中心的自然倾向”。

[210] *Ibid.*, pp. 44, 56. 伽利略像亚里士多德一样,也认为(除太阳外)物体不可能一直在某个位置保持静止。参见 *Ibid.*, p. 44: 萨尔维阿蒂:“不管由于什么原因,如果有(转下页)

如下事实：下落运动的加速，下落沿直线进行，等等。不过，我们也不要把这些解释太当真了：我们正处于《对话》的开端，随后，情况将会发生彻底的改变。一开始，我们将不得不区分地球的中心和宇宙的中心（伽利略指出，如果确实有这样一个宇宙中心的话，它无疑会在太阳上<sup>[211]</sup>），而且按照哥白尼的理论，我们还不得不用“部分会聚集到它们的整体”的自然倾向来解释下落运动。<sup>[212]</sup> 但是，再说一次，这只是论证的最初阶段而已，随后伽利略的批判将会逐渐消解传统物理学的各种基本观念，以便对它们进行重构和再造，直到最终剥夺了重性观念用于解释现象的所有肯定性价值。

243 物体下落，即地球的各部分被向“下”推动，这是一种日常经验。但我们所知道的也就这么多。因为我们并不知道这种运动的“原因”，无论这种原因是外部的还是内部的，我们都一无所知。当我们说，物体具有“重性”、“向下的倾向”或者“趋向中心的倾向”，我们只不过是指出了一种现象，并没有解释它。因此，当辛普里丘生气地反驳说，所有人都知道这个结果（向下运动）的原因，所有人也都知道这个原因就是“重性”，萨尔维阿

---

（接上页）些物体正处于静止状态，但它们的本性却是能够运动的，并具有趋向某个特定位置的倾向，那么一旦获得自由，这些物体就会开始运动。但是，如果它们对所有的位置都无动于衷，由于它们没有什么理由朝某一方向而不朝另一方向运动，它们就会始终保持静止。由于具有前述倾向，物体才会在其运动中不断加速。一开始，它的运动极其缓慢。它只有先经历所有较小的速度，或者毋宁说，只有先经历所有更大的慢度，才会到达特定的速度。因为静止就是一种慢度无限大的运动，如果一个物体要从静止出发到达某个特定的速度，那么除非它先经历一个较小的速度，甚至在此之前还要经历一个更小的速度，否则它绝不会直接到达这个特定的速度。因此，更合理的说法是，物体首先经历那些接近它出发时的速度，然后才是那些离得最远的速度。但是，物体从其出发并开始运动的速度是一个极其缓慢的速度，即相当于静止的速度。只有当物体通过其运动有所收获时，运动的加速才有可能发生，而这种收获只可能是物体更接近它所希望到达的位置，即它的自然倾向将它推向的那个位置，而且它将会通过最短的路线（即沿直线）趋向那个位置。”

[211] 参见 *Dialogo*, I, p. 58：“如果我们有可能赋予宇宙一个中心的话，那么我们一定会发现，太阳正处于这个中心。”另参见 *ibid.*, III, p. 349.

[212] *Ibid.*, p. 58；另参见 Copernic, *De Revolutionibus*, l. I, c. V.

蒂回答说<sup>[213]</sup>：

您错了，辛普里丘先生，您应该这样说：所有人都知道它被称为“重性”。然而，我并没有问您它的名称，而是问这种事物的本质：我们已赋予这个本质一个名称，而且由于我们每天无数次的频繁经验，我们对这个名称变得日益习惯和熟悉，但除此之外，我们并不知道这个本质，就像我们不知道星体圆周运动原则的本质一样。<sup>[214]</sup>实际上，就如我刚刚说过，除了我们已为上述本质指定了一个特殊的专有名称，即将它称为“重性”，我们并不理解是什么样的原则和动质在推着石块向下运动，正如我们也不理解当石块与抛射者分开之后，究竟是什么在推着它向上运动，不理解是什么推着月球做圆周运动。关于这种动质，我们对它使用一个更一般的术语：**冲印力**（*vertu impressa*）。<sup>[215]</sup>至于以上提到的原则，我们则使用“精灵”（*intelligence*）、“辅助形式”（*forme assistante*）或“持久形式”（*forme informante*）这样一些术语，并使用“本性”（*nature*）这个词作为无限多其他运动的原因。

我们清晰地看到了自比萨以来伽利略的思想走得有多远：伽利略宣称轻性只是一个纯粹的“名称”，当这个名称被错误地实体化之后，就被用来指称某种潜在的原因所产生的结果（向上的运动）。从今以后，重性也将遭受同样的命运：它也只是一个“名称”而已。同样被看做一个名称（而

---

[213] 参见 *Dialogo*, II, p. 260.

[214] *Ibidem*: 辛普里丘：“很好。但是，既然重物 and 轻物不可能有任何内在或外在的原则使它们做圆周运动，那么地球也将同样不可能做圆周运动了。”萨尔维阿蒂：“我并没有说地球没有任何内在或外在的原则使它做圆周运动。我只是说，我不知道在这两个原则中，是哪一个使它做圆周运动。我不知道这个原则，但这并不意味着我有权利排除这个原则。”

[215] 黑体为我们所加。



且也仅仅是一个名称!)的还有著名的冲印力(*vis impressa*),即巴黎学派曾声称是抛射体运动的内在原因的冲力。我们十分清楚地看到,伽利略正在灌输并逐渐引向一个最终的结论:所有的“内在原因”都只是一些“名称”而已。<sup>[216]</sup>

但是,重性无疑是某种东西,甚至是某种十分重要的东西。然而,这种绝对基本的属性并不构成物体的“本性”,它也不是物体的某种本质属性。事实上,在《试金者》中,有一段文本众所周知,它还被完整地复述在“致托斯卡纳大公爵夫人的信”(Lettre à la Grande Duchesse de Toscane)<sup>[217]</sup>中。在这个相当著名的段落里,伽利略概述了他的自然哲学的基础,但其中并没有提到重性。在这段文本中(它奇特而意味深长地使我

---

[216] 伽利略告诉我们,重性只不过是一个“名称”。这意味着他采纳了一种实证主义的唯名论立场,因为他不知道重性的本质(就像他不知道光的本质一样)。但是,在这两种情况下,只是因为他别无选择,他才决定采纳上述立场。事实上,他清楚地知道,重性是一种力,这种力与磁吸引具有同样的本质。因此,他公开宣称自己是吉尔伯特的磁哲学的支持者(*Dialogo*, III, pp. 431 sq, 429 sq.)。他像吉尔伯特一样,相信地球是一个巨大的磁体。但是,他不知道磁力是什么。他自己也做过一些研究,并记录在《两门新科学》中,但这些研究并未能使他建立一种真正的理论,即关于磁的数学理论。吉尔伯特的理论是一种泛灵论的理论,甚至连开普勒的理论也是如此。参见前文第 188 页及以下。

[217] 参见 *Il Saggiatore, Opere*, vol. VI, p. 341 sq., 意大利语原文为:“*Per tanto io dico che ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, a concepire insieme ch'ella è terminata e figurata di questa o di quella figura, ch'ella in relazione ad altre è grande o piccola, ch'ella è in questo o quel luogo ch'ella si muove o sta ferma, ch'ella tocca o non tocca un altro corpo, ch'ella è una, poca o molta, nè per veruna imaginazione posso separarla da queste condizioni; ma ch'ella debba essere bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta, di grato o ingrato odore, non sento farmi forza alla mente di doverla apprendere da cotali condizioni necessariamente accompagnata; anzi, se i sensi non ci fossero scorta, forse il discorso o l'immaginazione per sè stessa non v'arriverebbe giammai. Per lo che vo io pensando che questi sapori, odori, colori, etc. per la parte del soggetto nel quale ci par che riseggano, non sieno altri che puri nomi, ma tengono solamente lor residenza nel corpo sensitivo, sicche rimosso l'animale, sieno levate e annichilate tutte queste qualità.*”另参见 *Ibid.*, p. 350: “*molte affezioni che sono reputate qualità risedenti ne' soggetti esterni, non hanno veramente altra esistenza che in noi, et fuor di noi non sono altro che nomi.*”

们回想起了笛卡尔的类似论述),他对我们解释说:

只要我一想到某种物质实体或有形实体,我就会同时感到有必要将它构想为:它有着明确的边界;它具有这样或那样的形状;它与其他物体相比是大的还是小的;它处于这个或那个时间和地点;它是在运动还是正保持静止;它是否接触着另一个物体;它在数量上是一个,还是少量或大量;而且无论借助任何想象的努力,我都不可能将这些条件与物体分开。但是,至于它应该是白的还是红的,苦的还是甜的,喧闹的还是安静的,气味是否宜人,我就不觉得,我非得要将物体理解为必然伴随着这样一些属性。因此,如果感官没有受到刺激,无论是理性还是想象都永远不可能获得这些属性。由于这一点,我最终认为,这些味道、气味、颜色等等只存在于主体这一边……<sup>[218]</sup>它们只不过是一些名称,并且只可能存在于有感觉能力的物体之中,以致如果我们消灭了生物,那么,所有这些性质也将会随之被消除和摧毁。

245

我们清楚地看到:构成物质或物体的本质的那些事物,是那些缺了它们物体就不能被思考(因而也就不能存在)的事物。基于同样的理由,无论对于伽利略还是对于笛卡尔来说,它们就是物体的各种数学性质:数、形状、运动,它们分别对应于:算术、几何、运动学。重性没有被包括在内。

伽利略宣称,诸如颜色、气味、热、声音等性质是纯粹主观的,它们的存在本身依赖于生物的存在。但是,在这些纯粹感性的性质中间,我们也没有发现重性。

那么,重性究竟在哪里呢?它不在任何地方。或者说,它在虚无和存在之间。在可感现象的虚无和数学实在的存在之间,重性占据着一种中

---

[218] 用近代的术语来说:它们完全不在客体之中,不具有任何客观实在性;它们只存在于认识主体或感知主体之中。

介位置,或者毋宁说,占据着一种中介物的地位。因此,重性只是一种现象的存在。

然而,我们怎么能否认现象的存在呢?物体下落……当然,这是一些物理的物体:几何的物体根本不会“下落”。正是这种物体“下落”的现象意味着:物体能自发地进入运动状态。也正是这种现象才使物理学成为一种专门的科学,并与几何学区分开来<sup>[219]</sup>:因为物体是有重的;尽管重性不是一种数学的、清晰的观念,它也并不是指某种物体的基本性质,但物理学这门关于运动和静止的科学却不能没有这种观念。那么,物理学会怎样使用这种观念呢?无论我们称它们为“数学物理学的物体”、“伽利略的物体”,还是用它们真实的名称来称呼它们:“阿基米德的物体”,这些物体都只不过是一些被赋予了重性的几何“物体”或欧几里得“物体”。换言之,重性是它们所具有的唯一“物理”属性。

246 因此,根据定义,我们可以说:阿基米德的“物理”的物体是一些有重物体。<sup>[220]</sup>正是由于这一点,它们才能成为“运动物体”,而几何的物体根本不可能成为运动物体。<sup>[221]</sup>因此,它们才会下落,才会拥有一种向下运动的自然倾向,几何学的物体根本做不到这一点。

因此,看来重性确实与运动密切相关,或者毋宁说,运动(没有运动就没有物理学)显得与重性现象密切相关。正是伽利略思想中这种深刻的阿基米德主义(我们已经强调过这种阿基米德主义)与他的实在论<sup>[222]</sup>一起解释了伽利略为何不可能成功地表述出惯性原理。这样的解释比归因

[219] 就其本身来说,几何的物体既不具有任何运动倾向,也不具有任何静止倾向。当我们在下文论述笛卡尔的动力学时,我们将会看到这个事实的后果。也正因此,笛卡尔将会发现他不得不上帝既创造出运动,也创造出静止。

[220] 这也是托里拆利公开支持的观点。参见 Torricelli, *Opera Geometrica*, Florentiae, 1642, p. 8 sq., 参见本文第三部分附录中第 10 号注释所引用的文本。

[221] 一个没有重量、纯粹数学的“物体”不可能自行运动。参见下文第 275 页。

[222] 伽利略并不试图构造一个抽象的数学世界,而只是试图把握这个实在的、运动的、从而也是在时间中的世界的数学本质。参见本书第二部分:落体定律,前文第 155 页及以下。

于他不自觉地受到了经验的影响更为合理。

在伽利略物理学中,无论如何,重性都仍然是一种运动来源。我们已经说过,它甚至是伽利略物理学所承认的唯一运动来源。因为碰撞所做的只是将一种已经存在的运动(或速度)从一个运动物体传递给另一个运动物体:相反,下落则会产生运动。因此,在伽利略物理学中,为了产生运动(或者说,为了赋予物体一个速度),就必须让物体从“上”往“下”降落。<sup>[223]</sup>

重性是一种运动来源,这是一个非常容易接受的命题。这是一个合情合理的命题,甚至是一个常识命题。这同样也是亚里士多德物理学的一个命题。但是,亚里士多德的物理学显然无法接受“重性是唯一的运动来源”:因为接受这个命题就意味着需要同时接受物质的均一性,意味着不再将宇宙(Cosmos)划分为天界和月下世界两个不同的区域,并且承认同样的定律和同样的物理学同等地适用于地球和天穹。

这恰恰是伽利略的论点。在《对话》一开始,我们就可以发现那个关于宇宙起源的奇特神话(为了再次标示自己的哲学偏好,伽利略将这个神话归在柏拉图的名下,尽管柏拉图从来没有教导过相同的内容)。在这个神话中我们看到,在赋予行星沿着各自轨道的圆周运动之前,上帝先让行星下落。<sup>[224]</sup>当然,伽利略向我们描述这个神话只是为了让我们了解亚里

247

---

[223] *Dialogo*, I, p. 53: 萨尔维阿蒂:“但是,如果物体沿着一条既不向上也不向下偏斜的地平线运动,那么这种运动将会是一种环绕中心的圆周运动。所以,除非在圆周运动之前已经有了直线运动,否则圆周运动绝不会自然产生出来。但是,一旦它已经产生出来,它就会以均匀的速度永远持续下去。”

[224] *Ibid.*, p. 44:“因此,我们有理由可以说,自然界在赋予原先处于静止状态的物体以某个特定的速度时,总是让他在某段时间中以直线运动通过某段空间。假定了这一点之后,我们可以设想上帝在创造某个物体(比如说,木星)时,就决定赋予它某个确定的速度,并且此后它一直保持着这个均匀的速度:我们可以依照柏拉图的说法,认为木星首先应该做一种加速的直线运动;然后,当它到达某个特定的速度时,才将直线运动改成圆周运动,此后圆周运动的速度自然就应该是均匀的了。”值得注意的是,沙格列陀在《两门新科学》中重复了这种毫无根据的说法,参见 *Discorsi*, IV, p. 283.

士多德主义和伽利略主义、古代科学和经典科学的对立,并让我们更好地把握经典科学中各种基本原理的哲学意义:尤其是定律齐一性原理的哲学涵义。

我们可以说,伽利略的思想反方向地经历了哥白尼思想的初始步骤:哥白尼将针对天穹而建立的定律应用于地球;<sup>[225]</sup>相反,伽利略则将针对地球而建立的原理应用于天穹。

下落运动已被确认为地球上唯一的自然运动。伽利略宣称在天穹中情况也完全相同,行星的圆周运动根本不是一种“自然的”(即自发的)运动。任何人(即便是上帝)也不可能使用不同的方法,或者更确切的说,不可能使用不同于我们在地球上所用的方法来产生运动。

无疑,伽利略还是相当谨慎的。他并没有质疑上帝的全能。上帝当然可以直接创造运动。但是,那将会是一次多余的奇迹。<sup>[226]</sup>单是创造物体的奇迹已经是足够困难的了。在一种好的科学中,人们不应该再要求上帝进行第二次、况且也是完全不必要的创造。此外,即便上帝直接创造了运动,这种运动也不会是一种自然运动。

与亚里士多德相比,情况发生了彻底的倒转。对于亚里士多德来说,行星的圆周运动被构想为自发运动,它证明了地球和天穹的不同本性。相反,对伽利略来说,行星的圆周运动被构想为一种派生的运动,它证明了地球和天穹具有相同的本性。这是因为,圆周运动(围绕中心的运动)的特权地位恰恰要通过重性现象来获得解释。<sup>[227]</sup>

重性现象制约着运动现象,也解释了运动现象。下落运动是所有物体在不受任何干扰时的自然运动。此外,下落运动作为一种运动(从运动

[225] 参见前文第 165、170、224 页。

[226] 笛卡尔要求他的上帝创造这种奇迹,牛顿则为他的上帝免去了这项工作。

[227] 布鲁诺仍然认为,行星之所以会转动,是因为它们没有重量。参见前文第 177 页及以下。

学上来说)具有一些完全独特的性质。它不是一种普通的运动。它不仅是一种总在不断持续加速的运动,这意味着物体被这种运动激发之后将会逐渐获得所有的速度(degrés de vitesse)和慢度(degrés de lenteur)。它不会漏过任何一个速度,也不会停留在任何一个速度(这使得它完全有能力赋予任一给定物体一个特定大小的运动或速度<sup>[228]</sup>)。无论物体是自由下落,还是沿着斜面降落,它所进行的运动处处都表现为同一种特定类型的运动。<sup>[229]</sup>此外,无论是什么物体下落,不仅它的运动类型相同,而且就连它所实现的运动本身也都完全相同。因为,无论是什么物体下落,也就是说,无论它的重量大小或物理构成如何,它总是以相同的速度下落。<sup>[230]</sup>

当我们考虑所有这些特性,尤其是当我们考虑以下这个事实:即无论是什么物体,它们全都按照相同的定律并以相同的速度下落,我们就会理解伽利略为何要试图将他的动力学发展成一种落体动力学。当伽利略通

249

---

[228] *Dialogo*, I, p. 45, 边注为:“在静止和任意给定的速度之间,存在着无穷多个更小的速度。”

[229] *Ibid.*, p. 46; II, p. 248; *Discorsi*, III, p. 198 sq. 另参见本书第二部分:落体定律,前文第 88 页。

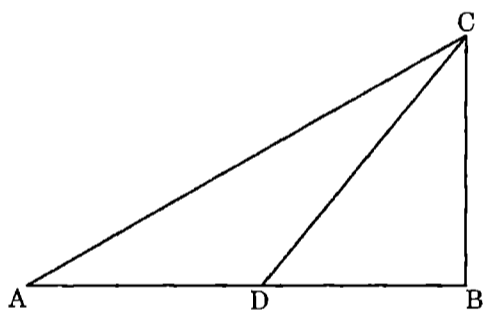
[230] 参见 *Dialogo*, II, p. 249:萨尔维阿蒂:“……一磅重的球和十磅、一百磅、一千磅重的球都将在相同的时间内走完一百码的相同高度。”另参见 *Discorsi*, p. 128 sq. 研究伽利略和研究物理学史的历史学家通常都会混淆以下两个完全不同的命题:(1)第一个命题是伽利略在比萨通过实验确立的命题(但事实上他从未做过,而且也没有必要去做这些实验)。根据这个命题,相同本性的物体以相同的速度下落(参见 L. Cooper, *Aristote, Galileo and the tower of Pisa*, Ithaca, 1935, 以及作者本人的论文“Galilée et l'Expérience de Pise”, *Annales de l'Université de Paris*, 1937)。但是,实际上贝内代蒂早已确立了这个命题(参见本书第一部分,前文第 59、67 页);(2)关于第二个命题,《两门新科学》第一次为我们给出了它的证明。根据这个命题,不管其本性如何,所有物体都以相同的速度下落。

下落速度以什么样的比例增加,除非我们知道下落距离按照从 1 开始(*ab unitate*)的奇数序列比例增加,也就是说,除非我们知道所通过的距离之比等于下落时间的平方之比,否则上述观察所得的一般知识就毫无用处。<sup>[231]</sup>

发现运动的数学定律,发现下落运动遵循着数的定律:这一点确实值得自豪。

伽利略的动力学完全建立在以下这个“公设”(postulat)的基础上:“同一物体沿着高度相等但倾斜程度不同的斜面向下运动所获得的速度相等。”<sup>[232]</sup>萨尔维阿蒂在评论上述公设时补充说<sup>[233]</sup>:

作者将从斜面的顶端向底端所在的水平线所引的垂线称为一个斜面的高度。例如,如果直线 AB 平行于水平面,在直线 AB 上倾斜着两个平面 CA 和 CD,作者就将垂直于水平线 BA 的垂线 CB 称为斜面 CA 和 CD 的高度,而且作者假定,同一运动物体沿着不同的斜面 CA 和 CD 下降,它在端点 A 和 D 所获得的速度相等,因为斜面的高度(即 CB)相同。同时,我们还要理解另一点,即当上述同样的物体从 C 点下落到 B 点之后,也将在 B 点获得相同的速度。



250

与他关于匀加速运动的那个非常著名的定义相比,伽利略的上述“公

[231] 参见 *Dialogo*, II, p. 248. 萨尔维阿蒂补充说,关于这一点的证明(就像有关运动的许多其他结论的证明一样)是一种纯粹数学的证明,参见 *Discorsi*, III, p. 190.

[232] *Discorsi e dimostrazioni*, III, *Opere*, vol. VIII, p. 205. 值得注意的是,对于托里拆利来说结论也相同。但是,伽利略的这条公设对托里拆利来说变成了一条公理。参见 Torricelli, *Opera geometrica*, p. 98.

[233] *Discorsi*, III, p. 205.

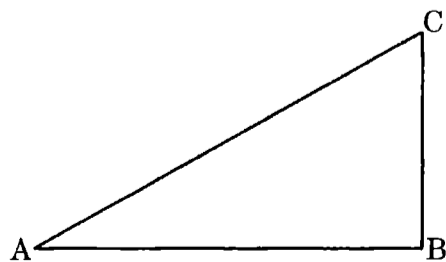
设”并没有使用更多的动力学观念。<sup>[234]</sup>但是,它比上述定义(或者更确切地说,比推导出上述定义的那些论证)更好地向我们显示出,伽利略的思想在多大程度上仍被重性现象,被物体向下的自然运动的观念支配着。因为伽利略的公设没有提到任何原因,没有提到任何力。他不仅避开了“重性”(gravité)这个名称,而且也避开了“重物”(grave)这个名称。他似乎不言而喻地假定了:所有被放在斜面上的物体都会一边下降一边加速!

但是,对我们来说,伽利略的公设看起来绝不是自明的。无疑,我们也不会想到要将它置于一篇力学论文的开头。然而,伽利略却这样做了,而且沙格列陀认为<sup>[235]</sup>:

只要所有外在的偶然障碍都已被完全排除,我们就完全有可能毫无争议地接受这个假设,如斜面是非常坚固和光滑,运动物体是完美的球体,以至于斜面和运动物体都不会出现任何凹凸不平。由于所有的阻碍和障碍都已被排除,自然之光就会毫无困难地向我显示,

[234] 参见第二部分:“落体定律”,前文第 144 页。

[235] 参见 *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 205. 在《对话》中,沙格列陀在理解上述伽利略公设的含义时感到有些困难。然而,一旦他理解了它的含义,他就立即接纳了这个公设。参见 *Dialogo*, I, p. 47: 萨尔维阿蒂:“您论证得非常好。而且,既然我知道您会毫不犹豫地承认,冲力的获得是按照运动物体对起点的远离程度和对它的运动所趋向的中心的接近程度来计算的,那么,如果您承认以下命题,即‘当两个相同的运动物体沿着不同的路线降落,如果在降落过程中它们不会碰到任何障碍,那么,每当它们对于中心的接近程度相等时,它们就会获得相等的冲力’,您觉得会有什么困难吗?”沙格列陀:“这个问题我不怎么理解。”萨尔维阿蒂:“我来画个图把问题讲得更清楚一点吧。现在,我画一条与地平线平行的直线 AB,从 B 点向上画一条垂直线 BC,然后再画一条斜线 CA 把前两条直线连接起来。显然,斜线 CA 可以代表一个非常坚硬而又十分光滑的斜面。我们让一个用极其坚硬的材料做成的圆球沿斜面滚落,让另一个完全相同的圆球沿着垂直线自由下落。现在,我问您是否承认,当那个沿斜面 CA 滚落的圆球到达 A 点时,它所获得的冲力与另一个沿垂直线 CB 下落的圆球到达 B 点时所获得的冲力是否相等?”沙格列陀:“我坚信它们是相等的。因为,这两个圆球实际上都向着中心靠近了一段相等的距离,而且就像我们已经承认的那样,它们所获的冲力都同样足以将它们送回到相同的高度。”





如果一个完美球形的有重的球沿着路线 CA、CD、CB 下降,那么,当它分别到达端点 A、D、B 时,它将会获得相等的冲力。

251 沙格列陀强调必须排除所有的“外在障碍”,这一点很有道理。这是因为,伽利略物理学的定律是一些“抽象”定律,它们不能原封不动地适用于真实物体。当然,这些定律也针对某种实在,但这种实在并不是日常经验的实在,而是一种理想和抽象的实在。关于这一点我们已经没有必要再去提醒自己。我们已经过于习惯这种抽象了。我们所需要的甚至是一种相反的提醒:即严格说来,数学物理学所对应的理想和抽象的世界并不是真实的世界。<sup>[236]</sup> 但是,即便对于这个抽象世界来说,伽利略的公设在我们看来也绝非不言而喻。对于我们来说,它并不具有某种直接的自明性。我们的“自然之光”并没有清晰地照亮它。这是因为,我们并不是在贝内代蒂和阿基米德的世界中长大。在很久以前,我们就已经不再是阿基米德主义者了。

现在,让我们回到关于运动的研究。我们刚刚看到,速度是在下落中并通过下落获得的。但是,速度是怎样失去的呢?在伽利略物理学的阿基米德世界中,对于运动的所有外在障碍都已经被事先“排除”,那么,速度只能通过再次上升才会失去。事实上,伽利略的公设意味着:纯粹的平移(水平移动)无需耗费能量就可进行。无论重物平移通过了多少距离,这个距离都与能量无关,已获得的冲力或动量(moment)也保持不变。<sup>[237]</sup>

---

[236] 我们已经是如此习惯于将计算活动的那些结果(或条件)实体化后变成实在之物,以致我们或者天真地假定了测度可能性的那些界限是实在的某些属性(例如,我们天真地假定了物质终极成分的同—性,这些成分就是一些分子、原子和电子),或者将上述假定变成了一种“公设”。新近的物理学史为心灵的这种倾向提供了一些令人如此震惊的例证,使我们认为毫无必要再执著于这种倾向。

[237] 参见 *Dialogo*, I, pp. 46-47 以及 *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 205.

相反,显而易见的是,如果将一个重物提升到一个特定的高度,那么无论通过了多少距离,所耗费的能量都保持相同。上述能量将精确地等于重物下落通过相同高度所获得的能量。换言之,重物下落所获得的冲力或动量将会恰好让它重新上升到同一斜面的顶端。<sup>[238]</sup>

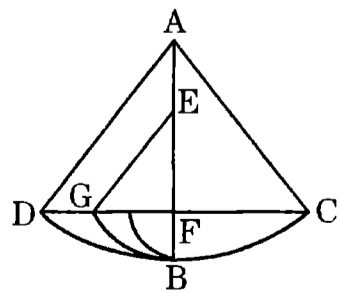
这就是伽利略的运动观念必然蕴含着的一些结论。因此,从一开始 252  
伽利略就没有费力为我们去证明它们。实际上,他只对我们说,如果我们想象有一个完美的球沿着一个斜面下降,然后又沿着另一个斜面上升,如果我们消除所有影响实验进行的阻碍,“(尤其是在两个斜面拐角处的冲力损失),那么我们的心灵就很容易设想上述冲力(事实上,这个冲力包含着全部下落过程所获得的力)完全能够使运动物体重新上升到相同的高度”<sup>[239]</sup>。换言之,对伽利略来说,这个命题是自明的。当然,他还是建议我们只把这个断言当成一个公设,因为它的绝对真理性将会留到以后再建立。我们清楚地知道,这只是一种说辞而已。当然,伽利略还是用一个极其巧妙的单摆“实验”预先向我们阐释了上述公设。当这个摆由同一点下落后,无论它上升所经的弧线是哪一条,它总会上升到相同的高度,即上升到同一水平面。<sup>[240]</sup>这个实验构想之巧妙令人惊叹。不过,这仍然只是一个思想实验(伽利略也并没有向我们隐瞒这个事实)。我们还想补充关键性的一点,即伽利略的推理恰恰预设了他想要证明的公设。

要注意:我们绝不是在为此而责难伽利略。我们研究的目的也并不 253

[238] 参见 *Dialogo*, I, p. 47 (前文第 235 号注释所引用的内容) 以及 *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 202.

[239] 参见 *Discorsi e dimostrazioni*, III, pp. 218, 244.

[240] 参见 *Discorsi*, III, p. 206; 另参见 E. Jouguet, *Lectures de Mécanique*, v. I, p. 98: “设想这张纸代表一堵竖直的墙,有一枚钉子被钉在墙上,钉上用一根长 2 肘尺或 3 肘尺,垂直于地平线的悬线 AB 悬挂了一个一、二两重的小铅球。在墙上画一条水平线 CD 与悬线 AB 成直角,AB 离墙约有 2 指宽的距离。现在,我们将悬线 AB 和球移到位置 AC,然后再放开球。我们将会看到这个球沿着弧 CB 下落,越过 B 点,(转下页)



是想发现伽利略推理的各种形式错误,而是想揭示伽利略思想的深层结构,尤其是想考察重性现象和重性观念在伽利略思想中所起的作用。说实话,应该能够使我们的研究任务变得更容易一些。为了评价上述作用,并且让我们看到重性的动力学价值,只需引述伽利略对他的第一个“公设”所给出的证明也就足够了。

这个公设后来被转变成了一个定理<sup>[241]</sup>,它使一个物体的下落速度取决于其下落高度,而不管通过的距离是多少。但在此期间,伽利略所建立的落体定律则让下落速度取决于经历的时间,即下落持续的时间。显然,垂直下落(自由下落)和沿斜面下降所用的时间不可能相等。因此,伽利略将向我们显示,落体定律(伽利略认为它同样适用于重物沿斜面下降的运动<sup>[242]</sup>)恰恰可以导出上述定理。他通过萨尔维阿蒂之口告诉我们<sup>[243]</sup>:

---

(接上页)并沿着弧 BD 一直回升到接近水平线 CD,还差的一小段距离完全是由空气的阻力与悬线的阻力所引起。由此我们完全有理由得出,球在沿着弧 CB 下落到 B 点时所获得的冲力将足以让它沿着另一段相等的弧线 BD 回升到同样的高度。多次重复这个实验之后,我们再在墙上紧挨着垂直线 AB 之处(例如,在 E 点或 F 点)钉一个钉子。这个钉子凸出墙面约五六指宽,这样一来,稍后当悬线 AC 转动时,球先画出弧线 CB,当球到达 B 点时,悬线将会碰到 E 点的钉子,而球将被迫通过以 E 点为圆心画出的一段圆弧 BG。由此我们可以看到球在 B 点获得的相等冲力能够做什么:它能够将运动物体沿着弧 BD 一直送回到水平线 CD 的高度;或者,您也会乐意看到球到达了水平线上的 G 点;如果钉子被钉在更低的位置(例如,在 F 点),其结果也完全相同。此时,球将会画出弧线 BJ,而且球的升高将总是终止于水平线 CD。但如果钉子的位置太低,以致钉子以下悬线的长度使得球不可能到达 CD 的高度时(当钉子距离 B 点比距离 CD 更近时就会发生这种情况),悬线将会绕着钉子自动卷起来。这个实验使得我们所假定的原理的真理性不容置疑。由于两段弧 CB 和 DB 相等而位置相似,因而沿着弧 CB 下落而获得的动量(moment)就与沿着 DB 下落所获得的动量相同。但是,沿着 CB 下落到 B 点所获得的动量却能够使同一运动物体沿着弧 BD 回升。因此,沿着 DB 下落所获得的动量就等于将同一运动物体沿着同一段弧从 B 回升到 D 所需的动量。因此,一般说来,沿着任一段弧下落所得的动量都等于使同一运动物体沿着相同的弧上升所需的动量。但是,正如实验所显示,由于使运动物体沿着不同的弧线 BD、BG、BJ 上升的所有动量都相等(因为它们都是由沿着弧 CB 下落所得的同一动量所造成的),所以,沿着弧 DB、GB、JB 下落获得的所有动量也全都相等。”

[241] 参见 *Discorsi*, III, p. 215.

[242] 参见 *Ibid.*, p. 218. 另参见 *Dialogo*, I, p. 48.

[243] 参见 *Ibid.*, p. 216.

我们已经确立了如下命题,即一个运动物体从静止出发沿着任一斜面下降,物体的速度或冲力的大小随着时间的增加而增加(这正是我们的作者为自然加速运动所给出的定义)。因此,正如先前的命题已经指出,通过的空间正比于时间的平方,进而也正比于速度的平方。在第一种运动中所获得的冲力是多少,在相同的时间内所获得的速度也就与之成正比,因为这两者都随时间同比例增加。

现在,由于运动物体的速度取决于冲力或初始动量(moment),而且这些冲力或动量随着斜面的倾角而变化,因此沿一个斜面下降的运动物体,其运动速度越慢,它的运动时间就越长,当它达到斜面运动轨迹的最底端时,其速度与自由下落时所获得的最终速度相同。

254

因此,伽利略公设的证明、空间与时间的衔接就这样借助动力学观念得以实现。下落重物的速度也得以明确地与初始冲力的大小相联系。

那么,我们是否已经回到了冲力物理学?或者,甚至就如迪昂所认为<sup>[244]</sup>,我们从未离开过冲力物理学?对于这个重要问题,我们应该进行更为细致的研究。事实上,伽利略的冲力究竟是指什么呢?<sup>[245]</sup>

伽利略告诉我们<sup>[246]</sup>:

让我们首先考虑一个非常熟悉的事实,即当同一个物体沿着不同倾角的斜面下降时,它所获得的动量(moment)或速度是不同的,其最大值将出现在垂直方向。如果沿着倾斜的路线下降,随着这些路线逐渐偏离垂直方向(即越来越倾斜),物体的速度逐渐减小,支撑

[244] 参见 Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 567.

[245] 参见本书第二部分,前文第 101 页及以下;以及第三部分,前文第 237 页及以下。

[246] 参见 *Discorsi*, III, p. 215.

着物体并使物体能沿其下降的这个斜面将会减小运动物体所获得的冲力、能量(*le talento, l'énergie*)以及我们所称的“下落动量”。

为了使我们能更好地理解上述事实,假定直线 AB 是垂直线, AD、AE、AF 等直线与水平线成不同的倾角。当重物沿着垂直线 BA 下降时,我认为重物的全部冲力和**最大冲力**都发生垂直方向。当重物沿着 DA 下降时,冲力相应减小,沿着 EA 下降时则更小。当重物沿着倾角更大的路线 FA 下落时,冲力还会继续减小。最后,当重物沿着水平面 CA 运动时,冲力将完全消失。此时运动物体处于一种对运动和静止均无所谓的状态,既不自动表现出往任何方向运动的倾向,也不表现出任何反抗推动的阻力。因为,正如一个重物或由许多重物组成的整体不可能自然地向上运动并远离所有重物都趋向的公共中心,除非在其运动中,它的重心正逐渐靠近这个公共中心,否则它就不可能自发地开始运动。因此,当物体沿着水平面运动时,这个水平面在一个与上述公共中心等距的表面上延伸,它没有任何倾角,这时运动物体的冲力或动量将会是零。

255

因此,运动物体的冲力只不过是它的重性所赋予它的推动力(*impulsion*):它绝不再是巴黎学派物理学的那种能产生运动的内部原因。它与物体的动量(即重量和速度的乘积)是同一回事。在已到达其下降终点的运动物体中,它是总能量或总冲力;在刚开始运动的物体中,它是物体的重量与其初始速度(即速度微分)的乘积。最后,对于静止的物体来说,冲力就是虚速度(*vitesse virtuelle*)。<sup>[247]</sup>

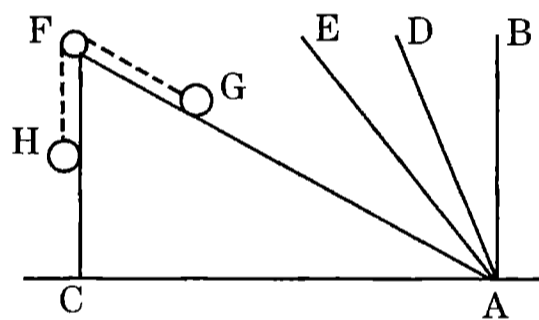
这种冲力(初始运动、推动力或速度的微分)随着重物所处斜面的不同倾角而变化。为了测量这种冲力,同时也为了测量它的变化,我们只要考虑以下这个事实:显然,重物下降的冲力与刚好足以阻碍它的运动,或

[247] 参见 *Discorsi*, III, p. 216.

使它停止运动的阻力或最小的力大小相等；那么<sup>[248]</sup>，

为了测量这个力或阻力，我将会利用另外一个物体的重性。设想一个运动物体 G 静止地位于斜面 FA 上，物体 G 被一根绕过 F 点的线连接到到另一个重物 H，考虑到 H 沿着垂直线下降或上升的距离总是等于 G 沿着斜面 AF 上升或下降的距离，而不是等于 G 垂直上升或下降的距离。很明显，只有在垂直方向上，运动物体 G（或所有其他运动物体）才会发挥其阻碍作用。例如，在三角形 AFC 中，物体 G 从 A 到 F 的向上运动是由横向的水平运动 AC 和垂直运动 CF 合成；那么，正如我们已经说过，对于水平移动来说，运动的阻力为零，因为这种水平移动既不减小又不增加重物离开公共中心的距离，

对于一个水平面来说，这个距离总是保持不变。因此，只有当运动物体沿着垂直线 CF 上升时才会遇到阻力。既然重物 G 从 A 运动到 F



只是由于它沿着垂直线 CF 上升才会遇到阻力，而另一个重物 H 则将沿着垂直线下降整个 FA 的距离，又因为不论物体运动的距离是大还是小，上升和下降的关系总是保持不变（因为它们一直联结在一起），那么我们就可以断定，当两个物体处于平衡状态（即静止状态）时，按照在所有力学运动的例子中均已获得证明的定律，它们的动量、速度或运动倾向（即它们在相同时间内通过的距离）应该与它们的重性成反比。<sup>[249]</sup> 因此，为了阻止 G 的下落，只需用一个比 G 更轻的重物 H 就足够了，且 H 和 G 两者的重量之比等于较小的距离 CF 与较大的距离 FA 之比。因此，只要 G 与 H 的重量之比等于 FA 与

256

[248] 参见 *Discorsi*, III, p. 216 sq.

[249] 参见 *Le Meccaniche, Opere*, vol. II, pp. 156, 164, 168, 170, 185.

FC 的距离之比,平衡就会跟着出现,也就是说,重物 H 与 G 此时将具有相同的动量(moment),从而两者将会停止运动。既然我们已经同意,对于一个运动物体来说,冲力(能量、动量或运动倾向)与足以使它停止不动的力或**最小阻力**大小相等,那么,我们就由此可得,重物 H 足以阻止重物 G 的运动。因此,将其全部动量都作用于垂直方向 FC 的较小重量 H 就成为作用于斜面方向 FA 的较大重量 G 的分动量(moment partiel)的精确量度。但是,同一重物总动量的量度却是它自己的重量(因为,为了阻止一个重物垂直下落,必须由另一个重量相等的重物来提供反作用,同时这个等重的物体还必须在垂直方向上能自由运动)。因此,沿斜面 FC 作用在 G 上的冲力或分动量与同一物体 G 作用于垂直方向 FC 的总冲力(最大冲力)之比就等于重量 H 与重量 G 之比。由作图可知,这一比值正好等于斜面高度 FC 与斜面长度 FA 之比。

伽利略的推理使冲力变成了一种量(grandeur),并且(通过将动力学与静力学相结合<sup>[250]</sup>)用阻力来测量冲力,最终说来,是用抵消了推动力的**重量**来测量冲力。<sup>[251]</sup> 这种推理不过是照搬了阿基米德的推理。由于伽利略对重性本身进行了动力学解释,“取决于位置的重性”(gravitas secundum situm)变成了一种“取决于位置的冲力”(impetus secundum situm),静力学也就转变成了动力学。

257 如果情形的确如此,如果从其最深层的基础来看,伽利略的动力学是阿基米德式的动力学,而且它完全建立在重性观念的基础之上,那么其结果就将是:伽利略不可能表述出惯性原理。因此,他也确实从来没有这样做过。

[250] 参见 E. Jouguet, *Lectures de Mécanique*, v. I, p. 106, n. 119; pp. 111 sq.

[251] 因此,他认为开普勒的“惯性”是完全多余的。

因为,为了能够提出惯性原理,也就是说,为了能够断言**直线运动**(而不是一般运动)的永恒持续性,为了能够想象一个物体在任其自然并**取消所有支撑**的情况下能保持静止或继续**沿直线运动**,而不是**沿曲线运动**<sup>[252]</sup>,伽利略必须能够不再将下落运动构想为一种自然运动,相反,他必须将它构想为一种“外加的”和“受迫的”运动,即构想为外力所引起的运动。这就意味着,伽利略必须通过将他的自然哲学的数学主义推进到底,最终不仅从物体的本质构成(constitution essentielle)中,而且也从其“实际”构成(constitution “effective”)中排除重性。换言之,伽利略必须能够把物体的实际存在还原到它们的本质规定性。而这反过来又意味着:他必须不再是一位阿基米德主义者,而应当变成一位笛卡尔主义者。

人们有时会说(我们自己也曾说过),伽利略通往惯性原理的道路是被行星圆周运动的天文学经验所阻断<sup>[253]</sup>,这种圆周运动是一种无法解释的运动,因而是一种完美的“自然”运动。这个观点在我们看来不容置疑。然而,天文学(或者更确切地说,关于星体宇宙的研究)并不是阻碍伽利略发现惯性原理的唯一障碍:伽利略坚信宇宙是有限的,这也是横亘在他思想面前的一道不可逾越的障碍。光是这道障碍也足以导致伽利略的失败。此外,天上的物理学与地上的物理学是完全一致的:因为地上的物理学完全建立在重性的动力学观念的基础之上,这种观念将重性视为运动的来源和物体所无法容纳的构成属性,因此,地上的物理学也无法接受直线运动的特权地位。<sup>[254]</sup>

---

[252] 对于伽利略的前辈们来说,抛射体的直线运动是理所当然的:只有在趋向终点时运动轨迹才变得弯曲。对伽利略来说,轨迹从运动一开始就弯曲了:因此,对他来说,抛射体的直线运动就变得完全不可能。

[253] E. Wohlwill, “Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes”, *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., vol. XV, p. 129 sq., 346 sq.; 另参见前文第 165 页。

[254] 参见 *Dialogo*, II, p. 62, 在那里伽利略将圆周运动描述为不仅对于天界物体,而是对于所有物体来说都是“自然的”;以及参见 *Dialogo*, II, p. 193, 在那里伽利略告诉我们,直线运动在这个世界中不存在。



258 我们刚刚已经看到,伽利略之所以不可能表述出惯性原理,可以用以下两方面原因来解释:一方面,是因为他拒绝完全放弃宇宙(Cosmos)的观念,也就是说,他不愿放弃一个秩序井然的世界的观念<sup>[255]</sup>,并拒绝承认空间的无限性;另一方面,是因为他不能够将物体(或物理学所研究的物体)构想为“没有重性这种构成属性”的物体。

伽利略为什么会拒绝接受空间的无限性呢?对于我们来说,这是一个不可能回答的问题。我们不得不满足于这样一个事实:伽利略的宇宙是一个有限的宇宙。<sup>[256]</sup>也许(但这只是一种假设)伽利略是被布鲁诺的榜样吓坏了。我们想说的是:布鲁诺从宇宙无限性学说中导出了各种后果,伽利略被这些后果的例子吓坏了。<sup>[257]</sup>

伽利略为什么不能抛开关于重性的考虑呢?很简单,因为他不知道重性是什么。他完全可以抛开重性的全部理论,但却无法抛开重性本身,因为重性是经验和常识的直接材料。就像他的导师阿基米德一样,伽利略也无法解释重性。对于重性他无法提出任何假设。

当然,有人会反驳我们说,我们的上述解释完全适用于阿基米德,但却不适用于伽利略。在没有任何关于重性的物理学理论的情况下,阿基米德才不得不把重性当作一个事实接受下来。尽管对于阿基米德的时代来说,情形确实如此,但对于伽利略的时代而言,情况已不再是这样了。当时已经存在着一种关于重性的物理学理论,那就是吉尔伯特的重性理论,开普勒在做了一些修改后也采纳了这个理论。既然伽利略几乎就像

[255] 参见 *Dialogo*, I, p. 42 sq., 前文第 108 号注释所引用的文本。

[256] 参见前文第 114 号注释所引用的文本,以及 *Dialogo*, III, p. 324, 375, 388. 另参见 *Lettre à Ingoli, Opere*, vol. VI, pp. 518 sq.; 524sq.

[257] 我们在前面已经说过(参见前文第 215 页),尽管伽利略熟悉布鲁诺的工作(这一点毫无疑问),但他从未提到布鲁诺:当开普勒寄给他一份布鲁诺对《星际讯息》(*Nuntius Sidereus*)的各种发现的解释时,伽利略没有回应。我们可以明显感觉到:布鲁诺的名字是一种忌讳。参见 *Dissertatio cum Nuntio Sidereo, Opere*, vol. III, 1, pp. 105 sq.

钦佩哥白尼一样信服吉尔伯特<sup>[258]</sup>,并通过沙格列陀之口宣称<sup>[259]</sup>“吉尔伯特是有道理的,地球确实是一个巨大的磁体”,那么,伽利略为什么没有采纳吉尔伯特的重性理论呢?在我们看来,答案显而易见:尽管伽利略钦佩吉尔伯特,尽管他也接受吉尔伯特关于重性的磁本质的理论,但他无法利

259

---

[258] 参见 *Dialogo*, III, pp. 432 sq. : 萨尔维阿蒂:“我对这位作者感到无比的赞赏、钦佩和羡慕,因为过去无数才智卓越之士都曾处理过这个问题,他们一点都没注意到什么,但他却能提出这样重要的概念体系来。在我看来,他所做的许多新颖和坚实的实验观察也值得大书特书。与他相比,那些愚蠢和虚伪的作者真是丢脸啊!他们写书并不只是写他们懂得的东西,而是把一切道听途说、庸俗愚昧的东西都写了进去,从没有尝试通过实验去证实一下。”接着,伽利略对吉尔伯特提出了一些批评,稍后他继续说道:“但是,这不应当削弱第一个观察者的荣誉。竖琴的最初被创制出来时肯定很粗糙,而且它的演奏肯定更粗糙。但是,我并不因此就减少对最先发明竖琴的人的尊重。相反,如果说在随后的许多世纪里,有一百位艺术家在演奏竖琴这个职业上达到了极其完善的程度,那么我对最初发明者的钦佩也要比对上述一百位艺术家的钦佩还要多得多。”吉尔伯特的坚定的哥白尼主义无疑同样增进了伽利略对吉尔伯特的好感。参见 G. Gilberti Colchestrensis, *De Magnete*, Londini, 1660, l. VI, c. III, p. 220: “Jam verum cum coelum totum, et vastam mundi amplitudinem, in gyrum rotari, absurdus quam dici potest vulgares philosophi imaginantur: relinquitur ut terra diurnam immutationem perficiat. Dies igitur hic qui dicitur naturalis est meridiani alicuius telluris a sole ad solem revolutio. Revolvitur vero integro cursu, a stella aliqua fixa ad illam rursus stellam. Quae natura moventur corpora motu circulari, aequali et constanti, illa in suis partibus varijs instruuntur terminis. Terra vero non Chaos est, nec moles indigesta; sed astrea sua virtute, terminos habet motui circulari inservientes, polos non mathematicos, aequatorem non imaginatione conceptum, meridianos et parallelos; quos omnes permanentes, certos, naturales in terra invenimus: quos tota philosophia magnetica plurimis experimentis ostendit.” [现在,尽管流俗的哲学家们仍在想象整个天穹和广袤的世界都在转动(这一点真是荒谬得无法形容),但事实却是地球每天都在自转一圈。因为除此之外,没有第三种方式可以解释那些表观的旋转。因此,我们所称的“自然日”就是地球的一条经线从太阳出发回到太阳的一次循环。当它从一颗恒星再次回到这同一颗恒星时,它就整整旋转了一圈。如果物体按其本性做着一种稳定不变的圆周运动,那么它的各部分就会具有各种不同的界限。因而地球既不是一团混沌,也不是一个偶然的大杂烩。相反,星辰的特性使它具有适合于圆周运动的各种限制,也就是说,南北极并不仅仅是一些数学描述,赤道、经线以及纬线也不只是一种虚构。我们在地球上所发现的一切都是那么永久、恒定和自然,它们在磁哲学中已被许多实验所证明。] 同时参见 *ibid.*, p. 225, 228.

[259] 参见 *Dialogo*, III, p. 431.

用这种理论,因为它不是一种数学理论,甚至也不是一种可数学化的理论。<sup>[260]</sup> 吉尔伯特的吸引力是一种有灵的力<sup>[261]</sup>,开普勒的吸引力无疑并非如此,或者不再如此。但是,从前者泛灵论的遗产中它还保留着能够自动指向其对象的特性。我们可以说,开普勒的吸引力知道它应该往哪里去,知道它要吸引的物体位于何处。<sup>[262]</sup> 这是一种神秘的特性,伽利略自己关于磁体的研究并未能成功地澄清它并将它数学化,因此,这种特性对于物理学来说是无法利用的。

因此,伽利略曾有三次机会接近惯性原理,如此接近,以至于我们可以说,惯性原理对他而言已是触手可及,但每一次他都在最后一刻退缩了。我们认为,没有什么比分析伽利略对惯性原理的这三次拒绝更富有教益了。

第一次是当讨论离心力问题时,圆周运动的原理曾岌岌可危。我们还记得,托勒密曾以这个问题为基础提出了一个反对地球运动的论证,断言这个运动的巨大速度将使地球分崩离析。萨尔维阿蒂依照伽利略喜欢

<sup>[260]</sup> 参见 *Dialogo*, III, p. 432: 萨尔维阿蒂:“我希望吉尔伯特最好能多一点数学家的气质,尤其是在几何学方面有一个全面深入的基础。”关于吉尔伯特物理学的非数学特征,参见前文已引著作:E. A. Burt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, p. 68 sq.

<sup>[261]</sup> 参见 Gilberti, *De Magnete*, l. V, cap. XII, p. 209: “*Vis magnetica animata est, aut animatam imitatur, quae humanam animam dum organico corpori alligatur, in multis superat. Admirabilis in plurimis experimentis magnes, et veluti animatus. Atque haec est una ex illis egregia virtus, quam veteres in caelo, in globis et stellis, in sole et luna animam existimabant. Suspiciabantur namque non sine divina et animata natura posse motus tam varios fieri, corpora ingentia certis temporibus torqueri, admirabiles potentias in alia corpora infundi.*” [磁力是有灵的,或者说它就像是一个灵魂,而且当磁力聚合成一个有机体时,它在许多方面都超过了人的灵魂。令人惊叹的是,许多实验都显示了,磁石自身是有灵的。磁石拥有这个显著的特性,就相当于古人认为天穹、天球、星辰、太阳和月亮都有一个灵魂。因为它们相信,如果没有一个神圣和有灵的自然,就不可能产生出如此多样的运动;各种庞然大物就不可能按照固定的时间旋转;其他物体也就不可能被注入如此奇妙的力量。]因此,吉尔伯特相信星辰有灵魂。

<sup>[262]</sup> 牛顿的吸引力并不指向某个对象。它是一个关于距离的函数。

加强对手论证的惯用方法, 试图<sup>[263]</sup>

……更清晰地显示出以下论断在多大程度上是真实的, 即当重物围绕着一个不变的中心快速转动时, 会获得一个离心运动的冲力。将一个装满水的容器系在一根绳子的一端, 另一端用力紧握在手中; 以手臂加绳子的全长为半径, 以肩关节为中心, 使容器快速转动, 以便容器能在运动中画出一个圆周长来。无论这个圆周是平行于水平面、垂直于水平面或以任何一种方式倾斜, 其结果是在所有情况下水都不会从容器中流出来, 旋转容器的人也始终感觉到绳子在拉他, 感觉到绳子在努力离开他的肩膀。如果我们在容器的底部凿一个孔, 我们将会看到水分别向天空、向侧面或向地下喷射。如果我们用小石子来代替水放进容器, 我们将会同样感觉到绳子的拉力。最后, 我们可以看到, 小孩子们通过将上述石头固定在木棒的一端并使木棒快速旋转, 从而把石头扔到很远的距离: 所有这些论据都证实了以下结论, 即当旋转运动的速度很快时, 这个旋转将赋予运动物体一个朝向圆周的冲力。因此, 如果地球正在自转, 那么它表面(尤其是在赤道附近)的运动与上述运动相比就会快得无法比拟, 它必然会将所有物体都抛向空中。

严格说来, 萨尔维阿蒂所复述的论据毫无价值, 因为它混淆了在地球表面任取一点的线速度和地球旋转的角速度(但在伽利略之前, 没有任何人曾经指出这一点)。因此, 萨尔维阿蒂随后指出<sup>[264]</sup>:

至今为止, 我们都承认并同意托勒密认为无可置疑的以下结果,

---

[263] 参见 *Dialogo*, II, p. 216. 另参见前文第 167 页。

[264] 参见 *Ibid.*, p. 237.

261

即石头的抛射是由于轮子绕其中心快速旋转,上述抛射因随着旋转速度的增加而增大。由此人们就推论说,地球的旋转速度比任何人为转动的机器的旋转速度还要大无数倍,因此,对于石头、动物等物体的抛射就会极其猛烈。现在,我注意到,这个推理包含着一个很大的错误,因为我们不加区别地把两种不同的速度进行了绝对比较。如果我是在比较同一个轮子,或者两个相同轮子的速度,那么当轮子转动得越快时,石头确实会以一个更大的冲力抛出,而且当转动速度增加时,抛射因也会以相同比例增加。但是,如果速度的增加并不是由于加大同一个轮子的转动速度而获得,即不是由于在相等的时间内增加了轮子的转动次数,而是由于增加了上述轮子的直径,即当转动一周所用的时间保持不变的情况下轮子变得更大了,这样一来,大轮子的速度只是因为它的圆周加大才变得更快:任何人都不应该因此而认为,大轮子的抛射因将会按照大轮子的圆周速度大于小轮子的圆周速度的同等比例而增加,因为这个结论是完全错误的。我们可以用一个十分简单的实验来证明这一点:用一根1肘尺长的木棍,我们可以将一块石头扔得很远,而用一根6肘尺长的木棍,即使长木棍固定着石头的那一端比短木棍对应的一端转动得两倍快<sup>[265]</sup>,它也不能将石头扔得同样远,因为长木棍每转动1周,短木棍就要转动3周。

因为,正如沙格列陀指出,只有转动速度(角速度)才是唯一重要的。沙格列陀说道<sup>[266]</sup>：“地球的转动并不比任何一个小轮子的转动更容易抛射物体,因为它转动得如此之慢,以致它用了24小时才刚转了一周。”

我们清楚地看到,托勒密的论证是完全错误的。但这一点并不妨碍

[265] 值得注意的是,冲力处处都被表示为速度的函数。

[266] 参见 *Dialogo*, II, p. 244.

它成为一个至关重要的论证,也不妨碍它为我们揭示出某些与伽利略反复强调的论点完全不可调和的内容。因为伽利略已经向我们反复指出,如果对于完全参与了这个运动的各种物体来说,上述运动本身就好像没有或完全不存在,尤其是如果在被赋予了旋转运动的地球上,所有事情都像在静止不动的地球上那样以完全相同的方式发生,换言之,如果运动相对性原理总是普遍和绝对地有效成立,并且如果这个原理尤其适用于“围绕某个中心”的圆周运动,那么,地球的旋转运动与任何其他运动一样,都不会产生离心力。在亚里士多德的物理学或者托勒密的物理学中,离心力的存在是不言而喻的:对他们来说,“围绕中心的”圆周运动只是对于没有重性的天体或天球才是自然的,但对于重物来说则并非如此。现在,伽利略却让我们看到,情况绝非如上所述,恰恰是对于重物来说,圆周运动才拥有一种特权地位。当然,由于地球的转动非常缓慢,它的运动所产生的离心力也就非常微弱。然而,不管它是如何微弱,它总是能产生某些可观察的效应。那么,如果地球转动得更快些,情况又会如何呢?

262

因此,伽利略力图向我们证明,不管地球转动的速度如何,托勒密所预言的结果永远不可能发生。伽利略的证明是如此巧妙,以致我们为它的错误而深感惋惜。但是,这个证明却为我们揭示了一个具有重要意义的事实:所有导致运动的推动都沿着直线进行<sup>[267]</sup>,而且重物的圆周运动只不过是两种直线运动复合而成的结果。<sup>[268]</sup> 我们正处在惯性原理的门槛处,然而伽利略却拒绝跨过这道门槛!

托勒密的推理是错误的。然而,它还算合情合理。沙格列陀认为,地球表面极其快速的运动与一个1米直径的轮子的圆周极其缓慢的运动相比,两者都同样不太可能抛射出一块石头。沙格列陀的观点是正确的,但

---

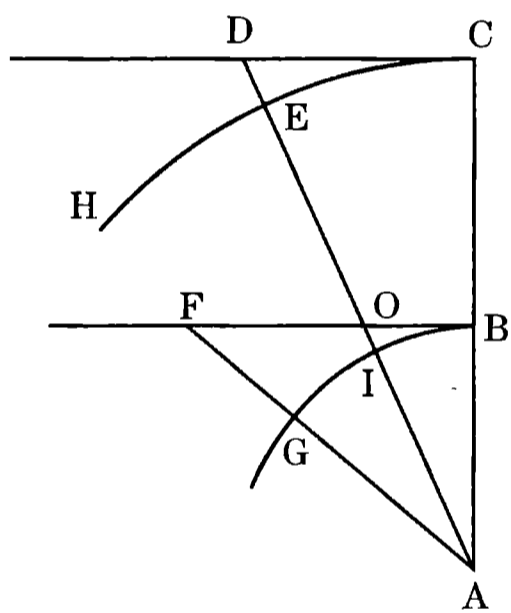
[267] *Dialogo*, II, p. 201.

[268] *Ibid.*, p. 222.

它却显得相当不合常理<sup>[269]</sup>：在这两种情况下，推动石头的速度截然不同，难道不是这样吗？当然是这样。但是，伽利略对我们解释说，这一点并不重要。为了更好地解释这个问题，他甚至画了一幅图来向我们说明<sup>[270]</sup>：

263

萨尔维阿蒂：“假定有两个大小不同的轮子围绕同一中心转动；BIG 是小轮的圆周，CEH 是大轮的圆周；最后，假定半径 ABC 垂直于地平线。从点 B 和点 C 引出两条切线 BF 和 CD，在 BG 和 CE 两条弧上，我们截取两段相等长度的弧 BG、CE，我们假定这两个轮子以相同的速度绕其中心转动，使得放在 B 点和 C 点的两个运动物体



（比如说，两块石头）被两个轮子的圆周以相等的速度带动，也就是说，在同样的时间中石块 B 走过了弧 BG，石块 C 通过了弧 CE。我认为，小轮转动时抛射石块 B 的力量要比大轮转动时抛射石块 C 的力量大得多。我们已经说明过，由于抛射是发生在切线方向，当石块 B、C 离开其轮子

并从 B、C 两点出发开始其抛射运动时，它们将被转动所产生的冲力沿着切线 BF 和 CD 抛射出去；因此，这两块石头将在切线 BF、CD 的方向上拥有相同的抛射冲力，而且如果没有别的力使它们发生偏离，它们将会被[沿着上述切线方向]抛射出去。沙格列陀，难道不是这样吗？”

沙格列陀：“在我看来，的确如此。”

萨尔维阿蒂：“确实有某种转动冲力改变了石块的运动，并将石块沿切线方向抛射出去。但是对我们来说，这种力是什么呢？”

[269] 对于沙格列陀来说，它也同样显得不合常理。 *Dialogo*, II, p. 238.

[270] *Ibid.*, p. 242.

沙格列陀：“或者是石块自身的重性，或者是某种使石块附着在轮子上的东西。”

萨尔维阿蒂：“但是，要使运动物体偏离它受到冲力后所引起的运动，难道不需要根据偏离的大小对它施加大小不等的力吗？也就是说，力的大小要根据运动物体发生偏离时在相同的时间内通过的距离而定，难道不是这样吗？”

沙格列陀：“是的。因为在推动一个物体时，要使它具有的运动速度更大，我们就必须使推动力也变得更大。”

萨尔维阿蒂：“那么，请您想一想，为了使位于小轮子上的石块偏离它本应沿着切线 BF 被抛射出去的运动，并使石块继续附着在轮子上，它自身的重性就要将它拉回一段与割线 FG 相等的距离，或者毋宁说，拉回一段与从点 G 向直线 BF 所引的垂线相等的距离；而在大轮子上，这一后退的距离不会超过割线 DE 的长度，或者说后退一段与从点 E 向切线 DC 所引的垂线相等的距离，这段距离明显比 FG 短，而且轮子越大，这段距离就越短。因为这两个石块必须在相等的时间内拉回来，也就是说，必须在运动物体通过两段相等的弧 BG 和 CE 所用的时间内拉回来，所以沿 FG 拉回石块 B 必须比沿 DE 拉回石块 C 要快得多。因此，与使石块 C 留在大轮子上相比，要使石块 B 留在小轮子上，我们就需要一个大得多的力。这也就相当于说，如果一个力刚刚足以阻止大轮子上的石头被抛射出去，那么这个力并不能阻止小轮子上的石块被抛射出去。因此，很明显，轮子越大，抛射因就越小。”

264

萨尔维阿蒂的推理无可挑剔。但是，为了使它变得可理解，他还必须发展一整套的离心力理论，并且首先说明离心力既非沿着径向也非朝向圆周。相反，离心力总是沿着切线方向并垂直于轮子的半径。<sup>[271]</sup>

[271] 参见 *Dialogo*, II, p. 217 sq.



然而,由此似乎可以得出(而实际上也确实可以得出),当两个轮子具有相同的角速度时,放置在大轮子上的运动物体比放置在小轮子上的同一物体具有更大的线速度,从而也拥有一个大得多的冲力。因此,当两者具有相同的角速度时,与短的投石器或短木棍相比,一个长的投石器或一根长木棍可将石块抛射得更远。伽利略回答说,如果物体最终能离开轮子(或投石器)的话,情况无疑会是如此。但是,物体不可能自动做到这一点,这是因为,即便是最微小的力也足以将它留在轮子上。

事实上,当物体处于圆周运动时,它所具有的冲力指向其运动所在圆周的切线方向,并试图脱离这个圆周。但是,这种脱离是如何发生的呢?这个问题是提给辛普里丘的,但他没能很好地理解这个问题。由于辛普里丘从来没有想过这个问题,所以他不知道该如何回答。但是,萨尔维阿蒂安慰他,认为他所缺少的只是一些术语。至于问题的实质,萨尔维阿蒂对他说<sup>[272]</sup>:

265

既然您已经知道了先前的内容,那么您也将会以同样的方式知道剩下的内容。不,您已经知道了剩下的内容。您再想想,您就同样能自己回忆起来。但是,为了节省时间,让我来帮助您回忆吧。迄今为止,您单靠自己就已经认识到,抛射器的圆周运动赋予抛射体一个沿切线方向的冲力,当它们相分离时,抛射体沿着在分离点处与圆周相切的直线继续其运动,并不断远离抛射者。您已经说过,如果抛射体不会由于它自己的重量而增加一种向下的运动倾向,并因而使运动路线发生弯曲的话,抛射体将会沿着上述切线继续运动。在我看来,您同样单靠自己就知道了,这种弯曲总是趋向地球的中心,因为所有的重物都趋向那里。现在,让我们稍微往前回溯一点,请问:如果运动物体在分离之后继续其直线运动,它是否总是同样地远离中

[272] *Dialogo*, II, p. 219. 请注意萨尔维阿蒂所用的苏格拉底方法。

心(或者远离圆周,如果您愿意这样说的话),而它先前的运动[即分离]曾经属于这个圆周。也就是说,如果一个运动物体离开切点并沿着上述切线运动,它是否同样地远离接触点以及上述圆周呢?

辛普里丘明白了。因此,他回答说<sup>[273]</sup>:

不是。因为当切线靠近接触点时,切线只是微微偏离圆周,并与圆周形成一个极小的角度。但是,随着切线离开圆周越来越远,它与圆周的距离总在以更大的比例增加……

伽利略对被抛出石块的未来命运不感兴趣。他所感兴趣的,是在分离的那一瞬间,即在石块结束其圆周运动并开始其直线运动的那一瞬间所发生的事情。因此,他将讨论引回到这个问题<sup>[274]</sup>:

萨尔维阿蒂:“那么,一开始抛射体相对于先前运动所在圆周的偏离是极其微小的,对吗?”

辛普里丘:“小得几乎观察不到。”

萨尔维阿蒂:“现在,请您告诉我:抛射体从抛射者的运动获得了沿切线做直线运动的冲力,如果它本身的重量不把它往下拉,它就会这样一直运动下去。但它既然有重量,在分离之后,它将在何时开始向下倾斜呢?”

辛普里丘:“我认为它会马上开始倾斜,因为没有任何东西支持它,它本身的重量不可能不起作用。” 266

萨尔维阿蒂:“因此,当石块从高速旋转的轮子上抛出时,它在具

[273] *Dialogo*, II, p. 219.

[274] *Ibid.*, p. 220 sq.

有向地球中心运动的自然倾向的同时,也具有向这个轮子的中心运动的相同的自然倾向,那么,它就很容易回到轮子,或者毋宁说,它绝不会脱离轮子。因为在石块开始分离时,由于接触角极其微小,从而分开的距离也是如此微小,以至于将石块向着轮子中心拉回去的任何一个最微小的倾向都足以使石块保持在圆周上。”

伽利略的推理尽管是错误的,但还算合情合理。因为当轮子的旋转赋予石块一个运动(冲力)时,由轮子圆周和石块运动方向这两者所形成的角无限小,从而这个冲力的径向分量也无限小。伽利略由此得出,只需一个无限小的力就足以抵消上述径向分量。

为了使抛射能够发生,由旋转产生的速度必须超过下落速度,这既是必要条件又是充分条件。当然,这里并不涉及切向速度,而只涉及分离速度或径向速度。但是,尽管径向速度无限小,为什么它就不会比下落速度更大呢?

伽利略认为这是不可能的。即使情况就像亚里士多德派的学说所认为的那样,下落速度随着物体重量减轻而减小,这还是不可能的。甚至,即使运动物体重量的减轻使下落速度减小到无限小,即使抛射受到以下“两种原因”的促进,“即运动物体的轻性与它对于静止点的靠近,这两种原因都可以增加到无限大”,结论还是一样。既然上述双重的无限都不足以使抛射发生,因此,单是其中一种无限就更加不足以使抛射发生了。<sup>[275]</sup>

伽利略的证明极为奇特。他对我们说<sup>[276]</sup>:

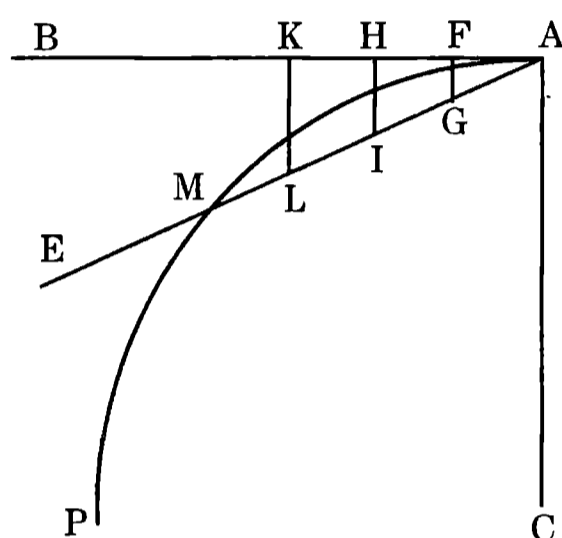
让我们向中心画一条垂线 AC,再引一条水平线 AB 与 AC 成直角,抛射运动将沿着 AB 进行,即如果重性不使抛射体的运动向下弯

[275] *Dialogo*, II, p. 228.

[276] *Ibid.*, p. 225.

曲, 抛射体将沿着 AB 一直匀速运动下去。仍从 A 点引出另一条直线 AE, AE 可与 AB 成任意角度, 让我们在 AB 上标出几段相等的距离 AF、FH、HK, 并从这些等距点引出垂线 FG、HI、KL。由于我们曾在别处指出, 当重物从静止出发开始下落, 它总是随着时间的增加而获得更大的速度, 所以, 随着时间的流逝, 我们可以设想距离 AF、FH、HK 代表着相等的时间, 而垂线 FG、HI、KL 则代表着物体在上述时间内获得的速度。这样, 在 AK 这段时间中获得的速度就可由 KL 来表示, 在 AH 这段时间中获得的速度由 HI 来表示, 在 AF 这段时间中获得的速度由 FG 来表示, 显而易见, 速度 KL、HI、FG 与对应的时间 KA、HA、FA 具有相同的比例。

267



如果再从 FA 上任选一点引出其他垂线, 当这些点逐渐趋近 A 点时, 我们总会找到越来越小的速度, 直到无限小, 而 A 点则代表着时间的最初瞬间和静止的初始状态。这种逐渐退向 A 点的情况, 代表着运动物体可以通过靠近静止的最初状态来减低物体向下运动的最初倾向, 由于这种靠近可以无限增加, 因而上述运动倾向也可以减低到无限小……由于上述原因, 物体向下运动的速度可以减低至足够小, 以至于它不足以再将运动物体拉回到轮子的圆周, 也不足以再阻止和消除抛射的发生。与此相反, 为了使抛射不能发生, 抛射体为了回到轮子需要下降的那些距离必须缩得很短, 以至于无论物体下落得多慢, 甚至下落速度减慢至无限小, 仍足以使物体返回轮子。因此, 必须减小这些距离, 这种减小不仅要趋向无限, 而且要趋向无限的无限, 以至于它能超越物体下落速度减小时所发生的双重无限。但是, 一个量如何可能减小到比另一个正在无限减小的量还要更小呢? 辛普里丘, 您看看, 如果没有几何学人们怎么可能很好地研究自

然！这些速度无限减小……它们总是确定的，并且按比例对应于一些平行线，这些平行线被包含在两条直线所形成的夹角（ $\angle BAE$ ）中，……但是，运动物体为了回到轮子圆周所必须通过的那些距离的减小则与另一种减小成比例，这种减小被包含在另两条直线形成的夹角中，这个夹角比任何锐角更小，也比任何直线夹角都更狭窄。在垂线  $AC$  上任取一点  $C$ ，以  $C$  点为中心、 $AC$  为半径画一段圆弧  $AMP$ ，这段圆弧与一些表示速度的平行线相交，这些平行线是如此之短，以致它们均被包含在上述最小的锐角或直线夹角的内部。而这些平行线位于圆弧和切线  $AB$  之间的那些部分，就是物体为了回到轮子所必须通过的距离，这些距离随着它们逐渐靠近接触点而变得越来越小，而且由于它们只是夹在两条直线之间的那些对应平行线的部分，所以总是比这些对应的平行线更短。当这些夹在两条直线之间的平行线逐渐靠近夹角的顶点时，它们也总是以同样的比例在减小。例如，如果线段  $AH$  在  $F$  点被等分成两半，平行线  $HI$  将是  $FG$  的两倍，如果  $FA$  再被等分成两半，等分点的平行线就会是  $FG$  的一半，如果我们继续无限细分下去，后一条平行线将总是最靠近它的前一条平行线的一半。但是，那些包含在切线与圆周之间的平行线则并非如此。因此，如果您对  $FA$  进行上述细分，并假定从  $H$  引出的平行线是从  $F$  引出的平行线的两倍长，后者将比下一条平行线不止长两倍，依此类推，当我们继续靠近接触点  $A$  时，我们就会发现前一条平行线将会是最靠近它的后一条平行线的三倍、四倍、十倍、千倍、十万倍、一亿倍，直到无限倍。因此，这些平行线的长度迅速减小，这种减小比使抛射体回到（并因而保持在）圆周上所需长度的减小还要迅速得多……

我们已经说过，尽管伽利略的推理极其巧妙和引人入胜，但不幸的是，它是错误的；更为严重的是，它显然是错误的。我们仍然坚持完整地

引述了伽利略的上述推理：因为没有什么比错误更富有教益的了。当然，关于无穷小的推理非常困难，而彻底几何化的诱惑又是如此强烈。然而，这种诱惑并不是无法抗拒的，而且伽利略比任何人都更清楚地了解其中隐藏的危险。

伽利略所犯的错误并不是一种简单的疏忽。他非常清楚地知道，轮子(或投石器)的快速转动能够切断使石块附着于其上的联系。<sup>[277]</sup> 因此，269他也清楚地知道，只要旋转运动足够快，离心力总能战胜和克服任一给定的力。之所以他不愿意将这种可能性适用于地球的旋转运动，甚至没有注意到这样做所产生的矛盾，是因为伽利略认为不能将以下两种作用置于同一层面来考虑：一种是重性所产生的自然力，它的作用是将重物拉向(或推向)地球的中心；另一种是将石块附着于轮子上的某种外在的(偶然的、受迫的)作用。重性一直在自然恒定地发挥作用。伽利略告诉我们，为了使离心力能够战胜重性，重物必须能够**战胜自身和克服自身**。<sup>[278]</sup> 对于伽利略来说，这就意味着，重性奠基于物体所具有的接受和储存运动的能力，同时也解释了这种能力：正是同一物体按照相同的重性接受着地球旋转所产生的线性推动力，并趋向地球的中心。因此，伽利略向沙格列陀解释说，重性的减小与以上所讨论的问题无关，因为物体接受运动冲力的能力也随着重性同等程度地减小。<sup>[279]</sup>

毫无疑问，冲力是沿直线发生的。但是，它只在某一瞬间沿直线发生，而任何运动都不可能在瞬间发生。任何一种真实的运动都不可能沿直线发生：因为重性阻止了它。只有对于一个没有重性的物体来说，直线运动才是可能的。唉！但是，这样的物体却不会是一种实在的物体，而且也不可能接受冲力。

---

[277] 参见 *Dialogo*, II, pp. 216, 221.

[278] 参见 *Ibid.*, pp. 220, 222.

[279] 参见 *Ibid.*, p. 229. 另参见前文第 198 页及以下引用的开普勒的文本。

这真是一件奇特的事情！伽利略已在一般运动（尤其是抛射运动）的分析中取得了进展，但正是这种进展使他无法认识到直线运动的作用，因为这种进展使他觉得在现实中并不存在直线运动。

事实上，受迫运动（或至少是导致受迫运动的冲力）总是沿着直线发生。火枪的子弹沿直线射出，射出的箭、抛出的石头等等都是如此。但是，它们实际上从未沿着直线运动。机械师和炮兵们将炮弹的轨迹分解成一个直线部分和一个弯曲部分，与这些前辈们相反，伽利略取消了直线部分。  
270 既然水平运动与垂直运动互不干扰，既然重力一直在起作用，运动相对性原理就使他认识到，炮弹的轨迹从一开始就已经弯曲了。<sup>[280]</sup> 只有在没有重量的情况下，炮弹才能沿直线飞行。但是，我们显然不可能发射这样的炮弹。

因此，“惯性”直线运动在地球上并不存在，或者更确切地说，它在地球上不可能存在。但是，这种不可能性并没有解释（至少是没有充分解释）伽利略所犯的错误的。无疑，沿着切线的运动是不可能的。但是，伽利略是一个非常出色的几何学家，他应该知道在切线和圆周（地球表面）之间，人们完全可以放置无限多的曲线（甚至无限多的圆周），使得被抛出的石块可沿着上述曲线（或圆周）运动。那么，为什么伽利略拒绝接受、甚至拒绝考虑这种可能性呢？归根结底，我们已经说过，接受上述可能性就意味着要为一种局部相对性而放弃普遍相对性，而这种局部相对性只局限于某种无法实现的情形，严格说来只局限于某种不可能的情形，即直线运动的情形。它也意味着不再将重物围绕中心的运动（这种运动既不增加也不减少重量）视为在物理学中具有特权地位的运动。它还意味着承认在运动的地球上所发生的事情与在静止的地球上所发生的事情并不相同。<sup>[281]</sup> 它尤其意味着承认从塔顶下落的重物严格说来永远不会落到塔

---

[280] 参见 *Dialogo*, II, pp. 225, 229.

[281] 然而，在伽利略看来，至少有一种现象，它在运动的地球上所发生的情形不同于在静止的地球上发生的情形：那就是潮汐现象。《对话》“第四天”的内容将这种现象描述为地球双重运动的结果。

的脚下,就像它们永远不会到达地球的中心一样。

伽利略是如此确信以上观点,以致这种信念又使他犯了另一个错误。在这种信念的引导下,他针对抛射体的复合运动(或者说,针对物体在旋转的地球上下落的复杂的真实运动,这两种说法是同一回事)建立了一个明显错误的定律,即他宣称上述抛射运动的轨迹是一个圆周,而不是一条抛物线(我们已经知道了这一点,而伽利略自己随后也会发现这一点)。<sup>[282]</sup> 这个错误可以通过以下原因来解释,即伽利略在他的推理中不言而喻地接受了:(a)重物自然地趋向地球的中心,当它到达那里时,运动随即终止;(b)如果重力不能将物体带到地球的中心,即如果某物(如地球表面)阻碍了它到达那里,那么物体将会自然地沿着圆周运动。<sup>[283]</sup> 以下就是这段奇特的文本,坦率地说,它总是被人误解:

271

萨尔维阿蒂:“如果趋向地球中心的直线运动是匀速的,地球向东的圆周运动同样也是匀速的,那么我们将会看到,这两种运动将会合成一种沿着螺线的运动,阿基米德曾在他的著作中定义过这种螺线。……但是,既然重物下落的运动是不断加速的,那就必然可以得

---

[282] 参见 *Dialogo*, II, p. 191, 边注为:“假定地球在自转,自然下落的物体所画出的线可能就是圆周”;以及 *ibid.*, p. 192, 边注为:“从塔顶下落的物体沿着圆周运动。物体的运动不会快于或慢于该物体留在塔顶时的运动。该物体所做的运动是匀速运动而不是加速运动”。另参见 *Disorsi*, III, p. 190; IV, p. 268 sq.

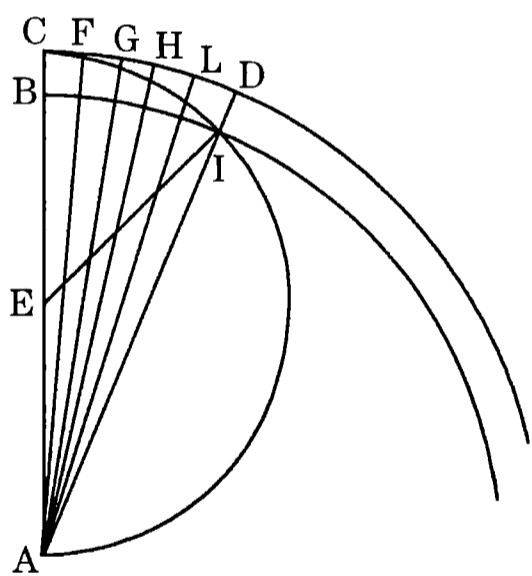
[283] 参见 *Ibid.*, p. 227. 众所周知,卡瓦列里最先证明了抛射体的运动轨迹是一条抛物线(参见 *Specchio Ustorio*, pp. 151 sq.). 然而,有证据表明(参见 E. Wohlwill, “Die Entdeckung” etc., *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, vol. XV, p. 107, 109, n. 2 以及 “Entdeckung der Parabelform der Wurflinie”, *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik*, Leipzig, 1899), 当《燃镜》(*Specchio*)于1632年出版时,伽利略已经知道了这条定律,甚至在很早以前(从1610年起)他就已经知道了。因此,他严辞指责卡瓦列里剥夺了他最先发表这项重要发现的荣誉。但是,为什么他没有在《对话》中发表这条定律呢?为什么他会在那里发表一条不正确的定律呢?就我们所知,无论是沃尔威尔还是任何其他入,都没有为我们给出答案。然而,在我们看来,答案非常简单:在《对话》里,伽利略研究的是在地球上发生的各种现象,因此,他只给出了一条可能的定律。



出,由这两种运动合成的路线总是在以不断增大的比例偏离石块运动所在的圆周。当石块一直留在塔上时,石块重心的运动将会画出上述圆周。一开始,这个偏离必定很微小,甚至微乎其微。这是因为,重物要从静止出发,即从完全没有任何运动的状态出发,逐渐获得一个向下的直线运动,因此它不得不经历处于静止和某个速度之间的所有慢度,正如我们已经解释并证明过,这些慢度有无限多个。

272

假定加速过程就是如此进行,此外,我们再假定**下落重物的运动以地球的中心为其终点**<sup>[284]</sup>,那么,尽管重物的运动路线一直在更快地远离塔顶,或者更确切地说,远离塔顶随着地球的转动而画出的圆周,但是,随着我们不断回溯至运动的出发点,物体的复合运动路线对上述圆周的偏离越来越无限减小。此外,**这一复合运动路线必然终止于地球的中心**。<sup>[285]</sup>现在,我们从这两个假设出发,以A点为圆



心,AB为半径,作圆周BI代表地球。然后,延长半径AB至C点,BC代表塔的高度,塔随着地球沿BI做圆周运动,塔顶在运动中画出圆弧CD。现在,我们在E点将线段CA等分成两半,以E为中心,EC为半径画出半圆CIA。我想我们可以相当确信,从塔顶C落下的石块将沿着CIA做一种由其自身的直线运动和公共圆周

运动复合而成的运动。因为,如果我们在圆周CD上标出一些相等的部分CF、FG、GH、HL,并从F、G、H、L各点分别向中心A引直线:这些直线被包含在两个圆周CD和BI之间的对应部分始终代表着同一座塔CB,它被地球带动着向DI运动。这些直线与半圆弧CI

[284] 黑体为我们所加。

[285] 黑体为我们所加。

相交的各点,代表着下落石块在每一时刻所处的位置。这些点一直在更快速地远离塔顶,这就使得石块沿着塔的运动总是显得越来越快。由于 CD 和 CI 两个圆周之间的接触角无限小,我们也将看到,一开始运动物体对圆周 CFD 的偏离是极其微小的。换言之,物体向下的运动极其缓慢,而且物体越是靠近 C 点,即越是接近静止状态,它的速度就会变得越来越慢,直至变成无限小。最后,人们就会理解,这样一种运动怎么会终止于地球的中心。”

我们清楚地看到:正如我们之前已经说过,对于真实的运动,即对于重物在地球上的运动来说,水平面是一个球面,并将永远是一个球面。

有人可能会反驳我们说,在《两门新科学》中,伽利略最终已摆脱了上述球面和圆周的困扰。这样说当然没错。《两门新科学》不仅代表了伽利略思想的后一阶段,而且更重要的是,它尤其代表了伽利略思想更高的“抽象”阶段。<sup>[286]</sup> 因此,在《两门新科学》中,直线不再是一个圆,水平面也不再是一个球面。《两门新科学》研究的是阿基米德世界,而不是地球上的现实世界。在这个阿基米德世界中,重物并不落向地球的中心。然而,它们依然下落。不过,重力的方向不再朝着一个“中心”<sup>[287]</sup>,重力的“力线”是平行的:正是由于这一点,这个世界的水平面是一个欧几里得平面。但是,这些力线确实存在着,而且正因为此,沿着直线的惯性运动在这个世界中是不可能的。

273

事实上,如果我们考察一下《两门新科学》中的两段文本(在这两段文本中,伽利略最接近沿直线的惯性运动),我们将会看到,伽利略坚决断言了向下运动的自然特性,而且我们也将再一次看到,伽利略还是无法从重

---

[286] 《两门新科学》的出版比《对话》的出版晚了 6 年。但是,《两门新科学》的创作准备(至少就其部分内容来说)无疑要比《对话》这部宇宙论著作的写作早得多,或者我们最多可以说,这两项工作是同时进行的。

[287] 至少并不总是如此,参见前文第 254—255 页所引用的文本。

力中抽离出来。

首先,我们来引述《两门新科学》第三天对话中的一段精彩叙述。这段叙述以一种无比简洁的方式为我们呈现了伽利略物理学的那些基本原理,即运动相对性原理和运动守恒原理<sup>[288]</sup>:

……必须注意以下这个事实,即只要加速或减速的外部原因不破坏运动物体所获得的速度,就其本性来说,它就会永不消失地印在运动物体之中。但这一点唯有在水平运动中才能达到。因为在向下倾斜的平面上存在一个加速的原因,而在向上倾斜的平面上则存在一个减速的原因:由此可得,只有沿着水平面的运动才能永远持续下去。因为,既然它是匀速的,这种运动就既不会减弱,也不会变慢,更不会自行消失。此外,还要考虑这样一种情况:即在这种情况下,就其永恒持续和永不磨灭的本性来说,运动物体的速度是来源于物体的自然下落,而在下落之后,运动物体又转上另一个向上倾斜的平面:那儿将会有一种减速的原因,因为同一物体处在这个平面上会自然下降。因此,两种相反的倾向就在这里形成了某种叠加:一种是在先前的下落中已获得的速度,这个速度就其自身而言将会引导物体朝着无限远处匀速运动;另一种是物体向下运动的自然倾向,当这种向下运动发生时,它总会按照相同的比例在不断加速。因此,当运动物体沿着一个向下倾斜的平面下降之后,又转上另一个向上倾斜的平面,如果我们想探究这种情况下的运动性质,看来我们完全有理由作出如下假定,即假定在下降过程中所获速度的**最大值**本身在上升过程中永远保持不变。然而,在上升过程中,在这个速度最大值上又叠加了一种向下运动的自然倾向,即一种从静止出发的自然加速运动,而且这种加速总是按照既定的比例进行……

274

[288] 参见 *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 243.

我们可以看到：在《两门新科学》的阿基米德世界中，当匀速运动在水平面上永恒持续时，这个水平面已不再是一个球面，而是一个无限的几何平面。无论重物运动的方向如何，它所获得的速度都能在其自身之中永久保持下去。这也意味着，所有重物（或者说所有物体，这两种说法是一回事）在一个水平面上一旦被推动，它就会开始做匀速直线运动，并永远持续下去。我们曾经说过，我们正处在惯性原理的门口，但我们却不会跨越这道门槛。因为伽利略立即补充说，上述物体将会自然地向下运动，当它下降时它会自然地加速，而在上升时则会减慢它的运动。此外，只有当物体在上述平面上运动时，它的直线运动才能持续下去，或者毋宁说，它的运动才能保持其直线性。现在，如果这个平面不足以或不再能支撑它的运动，那又会发生什么情况呢？有一段著名的论述将会告诉我们答案，这段论述出现在第四天的对话中，我们同样从中看到了某种惯性定律的表达<sup>[289]</sup>：

我设想沿着水平面抛出一个运动物体，并消除所有的运动障碍。根据此前已经说过的内容，我们知道，如果这个平面无限延伸，那么上述物体的运动将在这个平面上无定限地匀速保持下去。但是，如果这个平面是有限的，而且它被放置在空气之中，同时，**我们假定物体受到重性的作用**<sup>[290]</sup>，那么，当这个运动物体越过平面的边缘时，它将会在前一个不会消失的匀速运动之中添加上另一个**因其重性**<sup>[291]</sup>而具有的向下运动的倾向。由此就产生了一个由水平运动和下落的自然加速运动复合而成的运动，我将这个运动称为“**抛射运动**”……

275

正如伽利略所证明（这个证明此后也成为经典证明），这个运动

[289] *Discorsi e dimostrazioni*, IV, p. 268.

[290] 黑体为我们所加。

[291] 黑体为我们所加。

的轨迹将会是半支抛物线。

我们可以看到：当平面不足以或不再能支撑重物时，重物就会下落。只有当重物一直留在水平面上，它才会继续沿着直线运动。当它不再留在水平面上时，这个运动本身还会持续下去，但重物将不再沿着直线运动。

当然，有人会反驳我们说，此处伽利略是从物体都“受到重性作用”这一假定出发(*ex hypothesi*)进行推理，这毕竟是一个很平常的假定，况且，我们也不会从其他假定出发进行推理。<sup>[292]</sup>这样说当然是对的。这就是为什么伽利略的推理在我们看来如此“现代”。但是，我们忘记了，通过将重性<sup>[293]</sup>替换为物体之间的牛顿吸引力，我们已经重新解释了“重性”；我们也忘记了，如果我们能将物体设想为受到重力的作用，我们同样可以将它们设想为不受重力的作用。当我们区分重量和质量，并确立那些物理学的基本原理时，我们所做的(或者至少是曾经做过的)就是以上这些事情。而这些事恰恰是伽利略没有做的。之所以伽利略不能这样做，是因为(用现代的术语来说)他混淆了重量和质量。因此，对他来说，重性不是作用在物体之上的一种力，而是某种物体所“承受”的事物，某种属于物体本身的事物。因此，重性无论在时间和在空间中都不会发生变化。一个物体重多少就是多少，时时处处保持不变，无论它被放在何处，它总是以同样的速度下落：无论它是非常靠近地球中心，还是远在星辰之中。<sup>[294]</sup>当然，由于追随阿基米德，伽利略也很善于对实在进行抽象，从而能够忽略重力在地球上表现的实际方向(这一点遭到了辛普里丘和沙格列陀的

[292] 参见 E. Mach, *Die Mechanik*, etc., 8<sup>e</sup> éd., pp. 132 sq., 265 sq.

[293] 在这段文本中，我们只能根据语境对“重性”和“重力”这两种译法略作区分，其实这样的区分是相当勉强的，柯瓦雷在文本中绝大多数地方用的是同一个词：gravité，有一两处用了 pesanteur。——译者

[294] 因此，当他计算一块从月球下落的石头需要花多少时间才会到达地球时(*Dialogo*, III, p. 305)，他假定了石块的加速度并不随它与地球之间距离的变化而变化。然而，奇怪的是，开普勒已经知道这是错误的。

一致指责<sup>[295]</sup>)。为了论证这一步骤,他还将他的阿基米德世界描述为一种原初近似(这一点伽利略是正确的,甚至是双重正确:落体的阿基米德定律是对更复杂的真实定律的某种近似,阿基米德世界则是从几何世界出发对物理世界的某种原初近似)。但是,伽利略无法更彻底地推进“抽象”,这是因为对他来说(就像我们已经多次看到),重性始终是物体的一种不可分离的构成属性。

276

伽利略的物理学用“不存在之物”来解释“存在之物”。笛卡尔和牛顿走得更远:他们的物理学用“不能存在之物”来解释“存在之物”,或用“不可能之物”来解释“实在之物”。我们已经看到,伽利略没有这样做。然而,我们不应为此而责怪他。因为,对于牛顿和笛卡尔来说,这种不可能之物(即沿着直线的惯性运动)的不可能性只不过是比对于伽利略来说更小一些而已。或者毋宁说,对他们而言这种运动的不可能性并不相同,或者说具有不同的结构。

对于牛顿来说,在空间之中被抛出的物体不可能做直线运动,那是因为其他物体的作用改变了它,阻碍了它,并使它偏离直线运动。只有当一个物体独自处于空间中时,它才会沿着直线运动。这当然是一个不可能实现的条件。但是,这个条件只是在现实世界中不可能。因为严格说来,上帝完全能够实现这个条件。

在笛卡尔那里,惯性运动的不可能性具有更深层的意味。无疑,在他那里就象在牛顿那里一样,涉及的可以说是某种外在的不可能性:一个物体不可能沿着直线运动,那是因为其他物体(那些包围着它的物体)阻碍了它这样做。但是,对于笛卡尔来说,一个孤立的物体是无法设想的。就连上帝自身也不可能消除在前进的道路上必然会出现的各种障碍。最后,对伽利略来说,惯性运动的不可能性不再是外在的。如果说没有任何

---

[295] 参见 *Discorsi*, IV, p. 298. 关于托里拆利对这个反驳的回应,参见下文第 299 页及以下。

物体能够沿着直线运动,这并不是因为它必然会遇到某些障碍,或者受到某些阻碍它的吸引力,而是由于物体自身拒绝做直线运动,是由于它的重量将它往下拉。一旦我们取消了这个重量(但这是不可能的),物体的运动也将不复出现,它将随着物体的物理存在一起消失。

因此,我们刚刚已经看到,伽利略并未能表述出惯性原理。在从古代和中世纪的秩序井然的宇宙(Cosmos)通往经典科学的无限宇宙(Univers)的道路上,伽利略没有走完全程。只有笛卡尔才有可能到达这条道路的终点。

277

## 结 论

历史学传统将伽利略视为“经典科学之父”,不管怎么说,这种观点不无道理。因为,正是在伽利略的著作中(而不是在笛卡尔的著作中<sup>[296]</sup>),人类思想史第一次发展出了数学物理学的观念,或者更确切地说,是将物理学数学化的观念。

因此,在整个《对话》进程中,有一个始终在争论不休的重要问题,这个问题支配了《对话》的全部进展,它比两个对立的天文学体系的价值问题还要更为重要(毕竟天文学体系的价值问题只具有有限的意义),这个问题就是两种哲学的各自的价值的问题。因为天文学问题的解决取决于一种物理科学的构造,而这种物理科学反过来又预设了哲学问题的某种先决答案,正是这种答案决定了上述科学的结构与本质。具体来说(*in concreto*),问题就在于我们如何理解数学在关于实在的科学的构造中所

---

[296] 众所周知,笛卡尔的物理学最终导致了彻底的失败(参见本书第二部分:落体定律,前文第133页及以下)。正如穆仪已经正确地指出,它是一种“没有数学的数学物理学”,参见 P. Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, Paris, 1934, p. 144.

起的作用。

数学在物理科学中所起的作用：这并不是一个全新的问题。恰恰相反，两千年来，它一直是哲学思考和争论的主题。伽利略绝不可能对此一无所知。从他还是一名青年学生的时代开始，当他在比萨听了博纳米科的哲学课程，他就已经知道，关于数学的本质和作用的问题构成了亚里士多德和柏拉图之间最重要的争论主题。<sup>[297]</sup>

几年之后，当他回到比萨时（这一次是回到那儿任教），他的朋友和同事雅可比·马佐尼（他曾写过一部论述柏拉图和亚里士多德之间关系的著作）向他证实了这一点：

278

没有……任何其他问题或分歧能像以下问题那样导致了如此多的十分重要而又非常杰出的思辨，这个问题就是：数学在物理科学中作为推理工具和证明中介（terme moyen）的运用是恰当的还是不恰当的；也就是说，它会给我们带来某种真理，还是反而会造造成某些危险和

---

[297] F. Bonamici, *De Motu*, Florentiae, 1695, l. I, p. 54 sq. : “Mathematicae cum ex notis nobis, et natura simul efficiant id quod cupiunt, sic caeteris demonstrationis perspicuitate praeponentur, nam vis rerum quas ipsae tractant, non est admodum nobilis; quippe quod sint accidentia, id est habeant rationem substantiae quatenus subiicitur, et determinantur quanto; eaque considerentur longe secus atque in natura existant; usque adeo ut nonnullis non naturae, sed mentis opera esse credantur. Attamen nonnullarum rerum ingenium tale esse comperimus, ut ad certam materiam sese non applicent, neque motum consequantur, quia tamen in natura quicquid est, cum motu existit; opus est abstractione cuius beneficio quantum motu non comprehenso in eo munere contemplamur; et cum talis sit earum natura nihil absurdi exoritur. Quod item confirmatur, quod mens in omni habitu verum dicit; atqui verum est ex eo, quod res ita est. Huc accedit quod Aristoteles distinguit scientias non ex ratione notionum, sed entium. Caeterum et mathematicae gradus habent : quando ea quae considerat quantum discretum certior est quam ea quae tractat continuum, cum superet perspicuitate demonstrationis, et simplicitate subjecti. nam quantum continuum se habet ad discretum ut includens positionem, punctus enim est unitas cum positione. Et multo praestantior est Astrologia, quippe quod sola ex mathematicis de substantia atque illa quidem perpetua et causas invariabiles habentes disserat. ideoque sit omnium maxime affinis primae philosophiae.”



伤害。因为柏拉图相信数学特别适合用于物理学思辨，因此，有很多次他曾经借助数学来阐释物理学的奥秘。但是，亚里士多德却似乎持有完全相反的看法，并且将柏拉图的错误归因于他对数学的热爱。<sup>[298]</sup>

279 我们清楚地看到：就那个时代的哲学和科学意识来说（因为博纳米科

---

[298] 参见 *Dialogo*, II, p. 423; 另参见 Jacobi Mazzonii, Caesenatis, in *Almo Gymnasio Pisano Aristotelem ordinarie, Platonem vero extra ordinem profitentis, In Universam Platonis et Aristotelis Philosophiam Praeludia, sive de Comparatione Platonis et Aristotelis*, liber primus... Venetiis, MDCXCVII, Apud Joannem Guerilium, p. 187 sq, 拉丁语原文为：“Disputatur utrum usus mathematicarum in Physica utilitatem, vel detrimentum afferat, et in hoc Platonis, et Aristotelis comparatio. Quartae sectionis. Caput sextum. Libri Decimumoctavum, p. 188 : Non est enim inter Platonem, et Aristotelem quaestio, seu differentia, quae tot pulcris, et nobilissimis speculationibus scateat, ut cum ista, ne in minima quidem parte comparari possit. Est autem differentia, utrum usus mathematicarum in scientia Physica tanquam ratio probandi, et medius terminus demonstrationum sit opportunus, vel importunus, id est, an utilitatem aliquam afferat, vel potius detrimentum et damnum. Credit Plato Mathematicas, ad speculations physicas apprime esse accomodatas. Quapropter passim eas adhibet in reserandis mysteriis physicis. Ac Aristoteles omnino secus sentire videtur, erroresque Platonis adscribet amori Mathematicarum... Sed si quis voluerit hanc rem diligentius considerare, forsan, et Platonis defensionem inveniet, videbitque Aristotelem in nonnullos errorum scopulos impegisse, quod quibusdam in locis Mathematicas demonstrationes proprio consilio valde consentaneas, aut non intellexerit, aut certe non adhibuerit. Utramque conclusionem, quarum prima ad Platonis tutelam attinet, secunda errores Aristotelis ob Mathematicas male rejectas profitetur, brevissimis demonstrabo.” 另参见 *ibid.*, p. 190: “Nunc...videamus, quomodo Aristoteles ob non adhibitas opportunis locis mathematicas demonstrationes, maxime recesserit a vera philosophandi ratione. Ille itaque in quarto libro Physicorum multis rationibus probans vacuum non posse dari, illud inter cetera dicit, nempe quod si daretur vacuum, in eo motus fieret in instanti. Existimat enim successionem in motu ex medij, quando a mobili dividitur, resistantia provenire. Ita ubi medium majorem habet resistantiam : ibi mobile diutius moretur, ubi minorem, minus. Et ideo ubi nullam inveniet resistantiam, momento fiet motus. Hanc Aristotelis opinionem omnino falsam, et absurdam esse demonstrant Mathematici, quorum rationes ego compendio colligam. Illud itaque; in primis supponunt ex libro Archimedis de insidentibus motum prodire a virtute motrice. Virtus autem deorsum impellens corpora est gravitas, quemadmodum et illa, quae rursus attolit corpora gravia, est vis corporis gravioris extrudens minus grave ex demonstratis ab Archimede in principio eiusdem libri de insidentibus.” 边注为: *Johannes Baptista Benedictus in disputationibus contra Aristotelem.*

和马佐尼只是表达了他们共同的观点<sup>[299]</sup>),亚里士多德主义者和柏拉图主义者之间的界线是非常清晰的:如果有人宣称数学具有较高的价值,而且他还在物理学中、并相对于物理学而赋予数学一种真实的价值和支配性的地位,那么他就是一位柏拉图主义者;相反,如果有人将数学视为一种“抽象”科学,从而相对于那些专注于实在事物的科学(物理学和形而上学)来说只具有较低的价值,尤其是如果他还声称要将物理学直接建立在经验基础之上,并且只肯赋予数学一种辅助的角色,那么他就是一位亚里士多德主义者。

顺便指出,这里所涉及的绝不是可靠性的问题(没有任何一位亚里士多德主义者会怀疑几何学证明的可靠性),而是涉及实在性的问题;甚至也不涉及数学在物理科学中的应用问题(没有任何一位亚里士多德主义者会拒绝测量各种可测量之物和计算各种可计算之物),而是涉及数学在科学结构中以及对于科学结构本身的作用问题;也就是说,这里所涉及的必然是数学在实在结构中以及对于实在结构本身的作用问题。

同时,我们承认,伽利略同时代人的认识论观念(和历史观念)在我们看来并非毫无价值。说实话,我们感到自己完全同意他们的观点:物理学中的数学主义是一种柏拉图主义(即使这一点当时并未被意识到)。因此,从我们现代的观点来看,经典科学的兴起是一次对柏拉图的回归。

我们刚刚提到的这些讨论,《对话》从一开始就做出了暗示。一开始,辛普里丘就提请注意:“在自然事物之中,我们不应该总是寻求数学证明的必然性”。<sup>[300]</sup> 对此,沙格列陀装出一副不理解的神态回答说:“在我们不能拥有数学证明的地方,您的说法当然没错;但是,如果我们在此能获得它<sup>[301]</sup>,为什么您不愿意使用它呢?”毫无疑问:如果我们能够在自然事

[299] 参见 E. Strong, *Procedures and Metaphysics*, ch. IV, p. 91 sq.

[300] 参见 *Dialogo*, I, p. 38; 另参见 *ibid.*, II, p. 256.

[301] 文中正在讨论的是有关空间维度的数目问题。

物之中达到一个具有数学必然性的证明,那么我们的研究不推进到那儿就是错误的。但是,我们能做到这一点吗?问题就在这里,伽利略对此很清楚。在某个边注中,他总结了完全不同于沙格列陀的观点,即亚里士多德主义者的真实观点:“在自然的证明中,我们不应该寻求数学的精确性”<sup>[302]</sup>。

不应该寻求,是因为不可能获得。因为物理实在是定性的和不精确的,它不会自动屈服于数学观念的严格性。因此,辛普里丘随后向我们指出,哲学(物理学)不必关注细节,不必在运动定律中寻求数的精确性:它应该满足于建立那些最重要的范畴(自然的、受迫的、直线的、圆周的)和那些最重要的定律(力和速度的关系,力和阻碍的关系)<sup>[303]</sup>。为什么?辛普里丘并没有告诉我们,现代的读者会对此深感惊讶:为什么要停留在抽象和模糊的一般性,而不推进到精确和具体的普遍性呢?

现代的读者不知道如何回答,但与伽利略同时代的读者却很容易自行给出这个问题的答案:因为这不可能,因为性质和形式不可能被几何化。地球上的质料从未体现出精确的形式,形式也从未完全界定自身,它总是保持在某种“奥妙”(jeu)之中。在天穹中,情况无疑完全不同:因此,天文学才是可能的。<sup>[304]</sup>但是,天文学也因而不是物理学。没有看到这一点恰恰是柏拉图失败的根源。寻求将自然数学化,我们将会一无所获。

亚里士多德主义者的态度一点也不荒谬。在我们看来,这种态度完全合情合理。如果不从事实出发,亚里士多德以前对柏拉图提出的反对意见是无可辩驳的。因为我们无法证明一种可能,可能(posse)总是要通过存在(esse)来获得证明。为了证明我们针对实在来建立精确的数学定

---

[302] *Dialogo*, I, p. 38.

[303] *Ibid.*, II, p. 242.

[304] 音乐也同样是可能的。音乐是一门数学科学,因为它遵循数的定律。因此,毕达哥拉斯和柏拉图的错误就在于:他们推论并断言了数学的普遍统治(*la panarchie*),但却不理解数学终止于(或终结于)质料开始之处。

律是可能的,我们必须真正建立起这些定律。伽利略完全了解这一点,他正是通过对一个物理学的具体问题(下落问题,或抛射问题)进行数学处理,来引导沙格列陀告诉我们:“我们不得不承认,在没有几何学的情况下 281 想要去解决自然问题,就好比试图去做某件不可能做到的事情”<sup>[305]</sup>。

沙格列陀这位开明之士很容易被说服,我们甚至可以说,他太容易被说服了。但是,亚里士多德主义者却一点也不想放弃他们的立场。因此,伽利略继续其论述<sup>[306]</sup>:

萨尔维阿蒂:“但是,辛普里丘不会这样说。尽管我相信他不会 是逍遥学派的信徒之一,这些逍遥学派的人反对他们的门徒研究数 学,因为他们认为数学会败坏理性,使理性变得不善于思考。”

辛普里丘:“我不会这样指责柏拉图。但是,我同意亚里士多德 的观点,即柏拉图对于他的几何学过于沉迷,过于投入了;萨尔维阿 蒂,因为归根结底,数学的各种精妙之处抽象说来都是正确的,但是, 当它们被用于物理的和感性的质料时,它们就什么也回答不了;例 如,数学家根据他们的原理可以很好地证明:球体与平面在一点上相 切(*sphaera tangit planum in puncto*),这个命题类似于我们现在正 在讨论的命题。<sup>[307]</sup>但是,当我们回到质料的研究,事情就会完全不 同。我想说的是,同样是这些接触角度和比例,一回到质料的和感性 的事物,它们就会化为乌有。”

辛普里丘所提出的论据很值得我们来关注片刻。从亚里士多德主义 的观点(甚至从古代柏拉图主义的观点)来看,这个论据是无可辩驳和决

---

[305] 参见 *Dialogo*, II, p. 229; 另参见 *ibid.*, III, p. 423.

[306] *Ibidem.*

[307] 文中所涉及的是关于离心力的研究。

定性的。因为在实在世界(物理世界)中,既没有直线和平面,也没有三角形和球面,物质世界的物体也不具有规则的几何形式。因此,几何定律不能应用在它们之上。当然,柏拉图主义者会回答说(正如我们已经看到,伽利略就做出了这样的回答):对于物理实在而言,数学定律是一些近似定律。只要我们(在我们所能接受的范围内)假定,物理存在“摹仿”着几何存在,“近似”于几何存在,也就是说,只要我们已经是柏拉图主义者,并假定实在就其终极本质来说是数学的,上述观点就值得肯定。但这还不够,因为我们找不到任何可能的方法来确定几何形式和真实形状之间的近似程度(或者毋宁说,偏离程度)。与此同时,由于质料本身的存在,我们又不得不设定这种偏离的实在性,甚至设定其必然性:因为实在不仅是不规则的,它也是不精确的。正是由于这一点,我们只能拥有一种关于一般之物的科学,个别之物不可能成为科学认识的对象:在本质与其实现之间总是存在某种“奥妙”。个别之物总会偏离正常之物,而且这种偏离也解释了怪物(*monstra*)的存在。但是,这样的偏离从来就不可预见,也无法计算。

如果情况确实如此,那么“伽利略—萨尔维阿蒂”(Galilée-Salviati)所提到的、辛普里丘非常熟悉的那些亚里士多德主义者的观点<sup>[308]</sup>就不像初看起来那样荒谬了。恰恰相反,它变得完全合情合理:因为当一颗心灵习惯于几何推理的严格性和精确性时,他就会更不善于把握实在之物的各种具有细微差别和无法精确化的多样性<sup>[309]</sup>,难道不是这样吗?众所周知,这就是帕斯卡的观点,甚至也是莱布尼茨的观点。<sup>[310]</sup>

现在,让我们来看看伽利略的回答;这个回答极其重要而又具有关键

[308] 参见 *Dialogo*, III, p. 423.

[309] 总有一些无法精确化的实在,总有一些统计性的概念。试图精确地界定一朵云的形状,与试图精确地计算一座城市的人口或一个地理区域的平均温度(精确到几位小数)同样滑稽可笑。参见巴什拉在以下著作中的深刻评论:G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, 1937, pp. 216 sq.

[310] Leibniz, *Lettre à Foucher*, vers 1668, *Philosophische Schriften*, ed. Gerhardt, v. I, p. 392:“物体没有精确的形状,我认为这一点是可以证明的。”

意义,因为,尽管它仍然是一个彻底柏拉图主义的回答,但它并未仅限于复述那些传统的反驳论证,相反,它却显示出了一种具有决定性意义的革新:因为伽利略拒绝了柏拉图主义者和亚里士多德主义者所共有的讨论前提。他拒绝了数学观念的“抽象”特征,同时也拒绝了各种规则形状在本体论上的特权地位。

一个球并不因为它是实在的就不再成为一个球:它的半径也并不因此而变得不相等,否则它就不会是一个球。一个实在的平面(如果它还是一个平面的话)同样也是一个几何平面:否则它就不会是一个平面。<sup>[311]</sup>这一点似乎是自明的。辛普里丘怎么可能否认这一点呢?这是因为,对于他来说,一个实在的球和一个实在的平面都是不可能的。恰恰相反,伽利略的反驳意味着:实在之物与几何之物绝不是异质的,而且几何形式可以通过质料来获得实现。更何况:几何形式总是需要通过质料来实现的。因为,即使我们不可能制造出一个完美的平面或一个真实的球,这些不能成为“球”或“平面”的质料对象也不会因此而没有几何形式。它们只是不规则的,但绝不是不精确的:最不规则的石块也具有一种与完美的球同样精确的几何形式,只是相比之下,石块的几何形式变得极端复杂而已。<sup>[312]</sup>

283

几何形式与质料是同质的<sup>[313]</sup>:这就是为什么几何定律拥有一种实在的价值,并支配着物理学。这就是为什么在《试金者》的那段著名的论述中,伽利略告诉我们:自然所说的是一种数学语言,这种语言的字母和音节是三角形、圆和直线。正是由于这一点,我们才必须使用这种语言来询问自然<sup>[314]</sup>:数

[311] *Dialogo*, II, p. 233, 边注为:“事物在抽象情况下和具体情况下恰恰具有同样的要求。”

[312] 参见 *Dialogo*, II, pp. 234 sq.

[313] 开普勒同样断言了这一点,参见前文第 69 号注释。

[314] 参见 *Il Saggiatore*, VI, p. 232:“哲学被写在这部永远在我们眼前打开着的大书上(我指的是宇宙),但是,除非我们首先学会理解它的语言和阅读书写它的字母,否则我们就不能读懂这本书。它是用数学语言写成的,它的字母是三角形、圆以及其他几何图形。没有这些,人类连一个字都不可能读懂;没有这些,人类只能在黑暗的迷宫中四处游荡”。另参见 *Lettre à Liceti*, du 11 janvier 1641 (*Opere*, XVIII, p. 293).

学理论先于实验。

这种观念不言而喻地蕴涵着一种关于质料的全新观念：质料不再是变化和性质的承担者，相反，它成了永恒不变的存在承担者。<sup>[315]</sup> 我们可以说，从今以后地上的质料被提升到了天界之物的行列。因此，我们已经看到，新科学（几何的物理学或物理的几何学）先诞生于天穹，后下降至地球，又复归于天穹。

因此，对于伽利略的时代来说，数学主义就意味着柏拉图主义。因此，托里拆利告诉我们：“在所有文理科学（les disciplines libérales）中，唯有几何学能够锻炼和磨砺心灵，使它在和平时期有能力装点城市，在战争时期有能力保卫城市”，并且“如果其他情况都一样的话，经受了几何学体操锻炼的心灵将会具有一种十分独特和阳刚的力量”。托里拆利不仅通过上述话语暗示了自己是一位柏拉图的忠实信徒，而且他自己也明确承认和宣称了这一点。<sup>[316]</sup> 通过这样做，他也显示了自己仍然是他的导师伽利略的忠实弟子，而伽利略在回应安东尼奥·罗科的《哲学论集》（*Exercitationes philosophiques*）时，要求他自己判断纯粹物理学方法和数学方法这两种方法的不同价值，并补充说<sup>[317]</sup>：“同时，请您看一看谁的推理更

[315] 参见 *Discorsi*, I, p. 51：“既然我假定质料是永恒不变和永远相同的，那么很明显，关于这种恒定不变的性质，我们也同样能够提出一些可用于论证的证据，就如同它属于简单和纯粹的数学一样。”

[316] Evangelista Torricelli, *Opera Geometrica*, Florentiae, Typis Amatoris Massae et Laurentii de Landis, 1644, II, p. 7, 拉丁语原文为：“Sola enim Geometria inter liberales disciplinas acriter exacuit ingenium, idoneumque reddit ad civitates exornandas in pace et in bello defendendas : caeteris enim paribus, ingenium quod exercitatum sit in Geometrica palestra, peculiare quoddam, et virile robur habere solet : praestabitque semper, et antecellet, circa studia Architecturae, rei bellicae, nauticaeque, etc.”

[317] 参见 G. Galilei, *Esercitioni filosofiche di Antonio Rocco* (Opere, VII, p. 744), 意大利语原文为：“ridottovi a memoria il detto del Filosofo, che ignorato motu ignoratur natura, giudicate con giusta lanze sig. Rocco, qual de' dua modi di filosofare cammini più a (转下页)

正确,是曾说过没有数学就不可能理解哲学的柏拉图,还是指责柏拉图过于沉溺于几何学研究的亚里士多德……”

《对话》从一开始就已经在刻意提醒我们,伽利略是一位柏拉图主义者:事实上,从最初几页起,辛普里丘就已提醒我们注意,伽利略作为数学家,其天性多半倾向于赞同毕达哥拉斯学派关于数的思辨。这就使得“伽利略—萨尔维阿蒂”一方面宣称他认为那些关于数的思辨毫无价值<sup>[318]</sup>,另一方面却又告诉我们:“毕达哥拉斯学派极为推崇关于数的科学,而且柏拉图自己也很钦佩人类的理智,并认为它之所以能够分享神性,恰恰只是因为它能理解数的本性,我对此非常熟悉,而且我的看法和他们差不多”<sup>[319]</sup>。

事实上,由于伽利略认为,人类理智甚至可以通过数学知识达到与上帝的理智同样完善的地步,他又怎么可能不赞成上述观点呢?他又怎么可能不通过萨尔维阿蒂之口告诉我们<sup>[320]</sup>:

萨尔维阿蒂:“从认识事物的**广度方面**(extensive)来看,即对于可理解事物的无限多样性来说,人类的理智微不足道(即使它理解了一千个命题,一千相对于无限来说还是相当于零);但当我们考虑**深度方面**(intensive)的理智时,‘深度’这个词意味着‘深入地’(intensément),即‘完美地’理解任何一个命题,我认为只要它还没有获得事物的本性,从而也未拥有绝对的可靠性,人类理智就没有彻底地理解任何事物。能做到这一点的唯有纯粹数学科学,即几何学

---

(接上页) segno, o il vostro, fisico puro e semplice bene, o il mio, condito con qualche spruzzo di matematica; e nell'istesso tempo considerate chi più giustamente discorreva, o Platone, nel dire che senza la matematica non si poteva apprendere la filosofia, o Aristotele, nel tassare il medesimo Platone per troppo studio della geometria.”

[318] *Dialogo*, I, p. 35, 边注为:“毕达哥拉斯学派关于数的玄秘学说带有神话性质”。

[319] *Ibidem*.

[320] *Dialogo*, II, pp. 129 sq



285

和算术。由于上帝知道一切，所以他的理智熟悉无限多的命题，远远超过人所知道的命题，但是就处于人类理智之中的那些命题而言，我相信在客观确定性方面，人类关于它们的知识完全等同于上帝的理智，因为这种客观确定性达到了理解必然性的程度，而在这一点上，不可能有比必然性更大的确定性了”。<sup>[321]</sup>

辛普里丘：“您这番话听起来非常坚决而且大胆。”

萨尔维阿蒂：“这是一些很普通的命题，一点都谈不上什么莽撞或大胆，这些命题丝毫无损于上帝智慧的尊严，正如说上帝不能将已做之事变成未做之事，也丝毫无损于他的全能一样。但是我认为，辛普里丘，您对此感到不安，是因为您没有听清楚我说的话。因此，为了把我的话解释得更清楚一些，我会说，数学证明赋予知识的内容中所蕴含的真理，与上帝的智慧所认识的真理是完全相同的。但是，我也坦率地向您承认，上帝认识无限多的命题，而我们只认识其中的几个，而上帝认识无限多命题的方式比我们的认识方式要高明不知多少倍。我们的认识方式根据推理来进行，从一个结论过渡到另一个结论，上帝的认识方式则是一种纯粹直觉的方式。例如，圆有无限多属性，为了获得关于圆的属性的科学，我们必须从其中最简单的属性之一开始，并且用一种定义来确定它，然后再通过推理过渡到另一种属性，然后再从这种属性依次过渡到第三种、第四种属性，如此等等。但是，上帝的理智则仅仅通过对圆的本质的单纯理解，他无需通过耗时费力的推理就能了解圆的无限多属性。然而，这些属性可能都已被包含在关于所有事物的定义之中。最后，尽管这些属性是无限的，但是，在它们的本质中以及在上帝的心灵中，它们可能只是一。

尽管我们的智慧被浓云密雾遮蔽着，但当我们掌握了一些获得坚实证明的结论，并且当这些结论对我们来说如此确定无疑，以致我

[321] 我们几乎不必再强调指出这些文本与笛卡尔的那些文本所受影响的相似之处。

们能很快将它们依次温习一遍,我们就能够部分地驱散和澄清上述浓云密雾。<sup>[322]</sup> 因为,归根结底,在三角形中,‘直角所对斜边的平方等于另外两条直角边的平方之和’,这个事实难道不是等价于‘夹在两条平行线之间而且底边相等的两个平行四边形其面积相等’这个事实吗? 而且这后一个事实最终与‘如果两个面积叠加之后我们无法区分其边界,而我们的感知也只能将它们归于同一个,那么这两个面积相等’这个事实难道不是同一回事吗?

286

我们的理智需要花费时间一步一步去获得上述进展,而上帝的理智就像光一样,在一瞬间中就完成了所有步骤。这就相当于说,上帝一直显现在所有的事物面前。因此,我现在得出以下结论,即就理解事物的方式和被理解事物的数量来说,上帝的理智超出了我们的理解力无限倍。但是,我并不会因为这一点而把人类的理解力贬低到完全无用的地步。因为,当我考虑到人类曾经理解、研究和创造过数量如此众多而又如此不可思议的事物,我只会非常清晰地认识到,人类的心灵是一件上帝的作品,而且是他最杰出的作品之一。”

伽利略原本还可以补充说,人类的理解力是上帝的一件如此杰出的作品,以致它从一开始就获得了这些“清楚分明”的观念,这些观念的清晰性保证了真理。因此,它不得不转向自身,只有这样它才能在它的“记忆”中发现那些关于实在的知识的基础,发现这种知识的字母表,即上帝创造出的自然所说的语言(一种数学语言)的各种要素。因为我们不应搞错的是:这并不是一种纯粹内在于理性的真理,也不是一种内在于数学理论和数学推理的真理(我们所研究的对象的真实本质中的非存在不会影响这种内在真理)。无论是伽利略还是笛卡尔,他们都从不满足于这样一种真理和科学的替代品(*ersatz*)。问题所涉及的应该是关于实在的本性与知

---

[322] 参见 Descartes, *Regulae ad directionem ingenii*, VII, A. T., v. X, p. 388.

识的真理。优秀、自觉的柏拉图主义者伽利略所指的正是这样一种知识，一种真正“哲学”知识，即针对实在的本质自身的知识。因此，他通过沙格列陀之口告诉我们：

我想对您说的是，如果一个人自己不认识真理，那么，另一个人也不可能让他认识真理。我完全可以指出一些事物，它们既不是正确的，也不是错误的。但是，对于那些正确的、即必然的事物来说，它们就不可能是错误的。所有的心灵或者能自动认识它们，或者将永远不可能认识。我知道萨尔维阿蒂也持有相同的见解。<sup>[323]</sup>

287

当然如此。因为，对于柏拉图的暗示，对于苏格拉底关于灵魂助产的方法（助产术）的提醒，对于“理解—回忆”学说的提醒，这些都绝不是由于肤浅地迷恋柏拉图著作而产生的文学点缀或餐前开胃品，而这种迷恋本身则是一种佛罗伦萨文艺复兴时期的“柏拉图主义”的反映。这些暗示和提醒也并非从一开始就是迎合那些“绅士”的愿望的结果，这些人长久以来早已对亚里士多德的经院哲学的枯燥乏味深感厌倦。它们也不是产生于用亚里士多德的老师和主要对手，即神圣柏拉图的权威来反对亚里士多德的权威的愿望。恰恰相反：这些暗示和提醒全都应该获得严肃的对待。为了使读者的心灵不会就此再留下任何疑惑，伽利略继续指出<sup>[324]</sup>：

萨尔维阿蒂：“这个问题的解答要取决于某些知识，对于这些知识，您和我都同样熟悉和确信。但是，由于您已经不记得这些知识了，您就看不到这个解答。因此，我用不着教给您这些知识，因为您已经知道了，我只要让您回忆起这些知识，就可以让您能自己解决这

[323] 参见 *Dialogo*, II, p. 183; 另参见前文第 213、227、265 页及以下。

[324] 参见 *Ibid.*, p. 217.

个问题。”

辛普里丘：“您的论证方式已经有很多次让我留下了深刻的印象，它使我认为您倾向于柏拉图的见解，即‘我们的知识是一种回忆 (*nostrum scire sit quoddam reminisci*)’：因此，还是请求您告诉我您的想法，以消除我的这个疑惑。”

萨尔维阿蒂：“我可以用言语和行动向您表明我对柏拉图的见解是怎么想的。在我们至今为止所进行的论证中，我已经不止一次用行动表明了我想：针对我们手头的研究，我还会把具体运用同样的方法，以这个研究为例，您就会更容易理解我关于如何获得知识的想法……”

所谓“我们手头的研究”，指的是对力学定律的推导，这些推导我们在前面已经引述过。因此，我们看到了，伽利略认为他所做的已经远远超出了单纯宣称自己是柏拉图认识论的支持者。通过运用柏拉图的方法，通过发现物理学的真实定律，通过让沙格列陀和辛普里丘，也就是说，让读者重新发现这些定律，伽利略认为他已经用行动证明了柏拉图学说的真理。《对话》以及《两门新科学》展示了一段心灵体验的历史，这也是一段结论性体验的历史，因为它终结于辛普里丘的“承认与遗憾” (*aveu-regret*)：承认数学研究的必要性，遗憾他自己没有研究过数学。<sup>[325]</sup> 《对话》与《两门新科学》也为我们讲述了一段发现（更确切地说，是重新发现）自然所使用的语言的历史，为我们揭示了向自然提出问题应该采用的方式：关于“真实的实验”的理论，或者实验“公设”的表述及其结果的推导应该先于对观察的求助。<sup>[326]</sup> 这同样也是用行动所给出的证据：一种关于柏拉图主义的实验证据。

288

[325] 参见 *Dialogo*, II, p. 333; 另参见 *Discorsi e dimostrazioni*, IV, pp. 269 sq.

[326] 参见 *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 212.

从这一点出发,我们才能理解卡瓦列里以下这段话所蕴涵的深刻意义<sup>[327]</sup>:

有关数学科学的知识,著名的毕达哥拉斯和柏拉图学派都认为它对于理解物理事物来说是极其必要的,我们最卓越的“自然的试金者”(我是指伽利略先生)答应出版他的新运动学说,我希望在他的那些“对话”中,[数学的作用]将会立即变得昭然若揭。

事实上,柏拉图学派的数学化遭遇到了双重障碍:首先是性质,其次还有运动。亚里士多德就以“性质不可能数学化”以及“从数学中不可能推导出运动”来反对将自然数学化的企图。<sup>[328]</sup> 在数中没有运动,各种数学实体也不运动。由于它们是永恒的和非时间的<sup>[329]</sup>,它们怎么可能会运

[327] 参见 Bonaventura Cavalieri, *Lo specchio Ustorio overo Trattato Delle Settioni Coniche e alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume, Caldo, Freddo, Suono e Moto ancora*, Bologna, Presso Clemente Ferroni, 1632, p. 152 sq., 意大利语原文为:“Ma quanto vi aggiunga la cognitione delle scienze Mathematiche, giudicate da quelle famosissime scuole de' Pithagorici, e de' Platonici, sommamente necessarie per intender le cose Fisiche, spero in breve sarà manifesto, per la nuova dottrina del moto promessaci dall'esquisitissimo Saggiatore della Natura, dico dal Sig. Galileo Galilei, ne' suoi Dialogi, protestando io haver'hauuto e motivo e lume ancora in parte intorno, à quel poco, ch'io dico del moto in questo mio Trattato, per quanto alle settioni coniche si aspetta, da i sottilissimi discorsi di quello, e del Reverendiss P. Abbate D. Benedetto Casteli Monaco Cassinenze, Matem. di N. S. e molto intendente di queste materie, ambidue miei Maestri. Rimetto dunque il Lettore in ciò, ch'io supporò al dottiss. libro, che da sì grand'ingegno in breve dourà porsi in luce, e si contenterà di questo poco, ch'io dirò per manifestare, che cosa habbino che fare le Settioni Coniche con così alto, e così nobile soggetto.”

[328] 后一个反驳远比前一个更重要。因为,尽管伽利略和笛卡尔的柏拉图主义可被证实的确不能解释性质,但他们可以抛弃性质,并将它排斥到主体性的领域之中。但是,他们不能将运动主体化。

[329] F. Bonamici, *De motu*, l. I, cap. XI; *Jurene mathematicae ex ordine scientiarum expurgantur*, p. 56: “...Itaque veluti ministrae sunt mathematicae, nec honore dignae, et habitae προπαιδεία, id est, apparatus quidam ad alias disciplinas. Ob eamque potissime caussam, quod de bono mentionem facere non videntur. Etenim omne bonum est unis, is vero(转下页)

动呢？此外，伽利略时代的亚里士多德主义者还会补充说，柏拉图主义者之中的最伟大者，神圣的阿基米德自己也只能提出一种静力学，这种静力学只能将静止数学化，而无法将运动数学化。然而，我们清楚地知道，不认识运动就不认识自然 (*ignoto motu ignoratur natura*)。因此，数学物理学或者柏拉图主义的物理学一直以来都只是一个虔诚的希望 (*pium desiderium*)，甚至没有人曾试图去实现这个希望。

当然，这只是在伽利略之前的情形。且让我们来看看伽利略怎么说（我们现在已经完全能理解伽利略作为柏拉图主义者的自豪）<sup>[330]</sup>：

---

（接上页）*cuiusdam actus est. Omnis vero actus est cum motu. Mathematicae autem motum non respiciunt. Haec nostri addunt. Omnem scientiam ex propriis effici : propria vero sunt necessaria quae quatenus ipsum et per se insunt. Atqui talia principia mathematicae non habent... Nullum causae genus accipit... propterea quod omnes causae definiuntur per motum : efficiens enim est principium motus, finis cuius gratia motus est, forma et materia sunt naturae; et motus igitur principia sint necesse est. At vero mathematica sunt immobilia. Et nullum igitur ibi causae genus existit.”*

[330] 参见 *Discorsi e Dimostrazioni*, III, p. 190, “论位置运动” (*De motu locali*), 拉丁语原文为：“De subiecto vetustissimo novissimam promovemus scientiam. Motu nil forte antiquius in natura et circa eum volumina nec pauca nec parva à philosophis conscripta reperiuntur; symptomatum tamen, quae complura et scitu digna insunt in eo, adhuc inobservata, necdum indemonstrata, comperio. Leviora quaedam adnotantur, ut, gratia exempli, naturalem motum gravium descendendum continue accelerari; verum, juxta quam proportionem eius fiat acceleratio, proditum hucusque non est : nullus enim, quod sciam, demonstravit, spatia a mobile descendente ex quiete peracta in temporibus aequalibus, eam inter se retinere rationem, quam habent numeri impares ab unitate consequentes. Observatum est, missilia, seu proiecta, lineam qualitercunque curvam designare; verumtamen, eam esse parabolam, nemo prodidit. Haec ita esse, et alia non pauca nec minus scitu digna, a me demonstrabuntur, et, quod pluris faciendum censeo, aditus et accessus ad amplissimam praestantissimamque scientiam, cuius hi nostri labores erunt elementa, recludetur, in qua ingenia meo perspicaciora abditiores recessus penetrabunt.” 另参见 *Dialogo*, II, p. 248: 萨尔维阿蒂：“……落体运动并不是匀速的，而是从静止开始在不断加速。这是所有人都知道并且观察到的事实，……但是，除非我们知道落体运动以什么样的比例加速，否则这种众所周知的知识就毫无价值，而直到我们这个时代为止，所有哲学家都还不知道这个加速的比例。我们的院士朋友首先发现了这个比例：他在自己的一些未发表的论文中很有把握地指给我和他的另外几个朋友看，并证明了以下结果，即重物做直线运动的加速是按照从 1 开始的奇数进行的。也就是说，如果随意把时间分为若干相等的时段，在第一段时间中物体从静（转下页）

290

我们将要推进一门全新的科学，它处理的是一个最古老的课题。而在自然中，没有什么会比**运动**更古老了。关于这个课题，我们发现哲学家们已经撰写了卷帙浩繁的著作。然而，关于运动还有为数众多的性质非常值得去了解，但至今为止，它们都未曾被观察和推导过。有人曾经指出了一些最简单的事情，例如，重物的自然运动一直在不断加速。但至今人们还不知道这种加速按照怎样的**比例**进行。因为就我所知，还没有人证明过如下结论：**从静止开始下落的运动物体在相等的时段内通过的距离之比等于从 1 开始的奇数序列之比。**

运动服从一个数学定律。时间和空间通过数的定律联系在一起。伽利略的发现将柏拉图主义的失败转变成了胜利。他的科学是一次柏拉图的报复。

当然，这只是一次不完全的报复。因为正如我们已在别处说过，不是伽利略，而是笛卡尔保证了柏拉图主义的决定性胜利，并将亚里士多德主义赶出了它曾经占据了如此长时间的位置。<sup>[331]</sup>

不过，笛卡尔可能不会接受我们看问题的方式，并拒绝承认自己是一位柏拉图的信徒。<sup>[332]</sup> 在这一点上，他并非全无道理。然而，笛卡尔的天

---

(接上页)止开始运动并通过了 1 厄尔的距离，那么在第二段时间中它将通过 3 厄尔的距离；在第三段时间中它将通过 5 厄尔的距离；在第四段时间中它将通过 7 厄尔的距离，并且按照这样的奇数序列继续加速下去。总之，这等于说，物体从静止开始下落所通过的距离，与通过这段距离所需时间的平方成正比，也可以说，通过的距离与时间的平方成正比。”沙格列陀：“你讲的这件事听起来真是了不起。这个论断有没有数学证明呢？”萨尔维阿蒂：“都有纯粹数学的证明，它们不仅证明了以上结论，而且还证明了许多关于自然运动和抛射运动的其他美妙属性。”

[331] 参见作者向第九届国际哲学会议提交的论文：*IX<sup>e</sup> congrès international de Philosophie*, II, p. 41, Paris, 1937.

[332] 笛卡尔关于哲学史的观念并非总是与我们的对应观念相一致，参见 *Principes*, Préface, A. T., v. IX, p. 5：“我们拥有其著作的最早和最重要的哲学家是柏拉图和亚里士多德，这两位哲学家之间唯一的区别就是：柏拉图追随其导师苏格拉底的榜样，坦率地承(转下页)

赋观念论难道不是柏拉图回忆说的一个远亲吗？笛卡尔的“广延”（étendue）难道不是让我们回想起柏拉图的“空间”（χώρα）吗？<sup>[333]</sup> 他们对于科学难道不是持有相同的观念吗？在《方法谈》（*Discours*）的一个众所周知而且理应如此出名的段落中，当笛卡尔拒斥了关于数学的经院哲学观念（即将数学视为一门只用于机械工艺的科学<sup>[334]</sup>），他难道没有因此而融入经由克拉维乌斯<sup>[335]</sup>并一直到达他的柏拉图主义传统吗？最后，从我们现在所持的观点来看，当笛卡尔宣称数学在物理学中的支配地位时，甚至在他宣称有可能将物理学还原为数学时<sup>[336]</sup>，难道他不是从一开始就已跻身于柏拉图主义者的阵营了吗？

291

然而，这种新柏拉图主义离古代的柏拉图主义是多么遥远！因为，事

---

（接上页）认他没能发现任何具有确定性的事物，并满足于论述那些在他看来只是近似真实的事物。他为此而想出了几个原理，并通过这些原理来试图解释这些事物；相反，与柏拉图相比，亚里士多德则并不那么坦率，虽然他跟着柏拉图学习了二十年，但除了柏拉图的那些原理之外他也没有发现其他原理。亚里士多德完全改变了那些原理的表述方式，并断言它们是真实和确定的，尽管没有任何迹象表明柏拉图曾经这样认为。”

[333] 参见 G. Milhaud, *Les Philosophes-Géomètres de la Grèce*, Paris, 1900, p. 292 以及 L. Robin, *Platon*, Paris, 1935, p. 234.

[334] *Discours de la Méthode*, A. T., v. VI, p. 7.

[335] 参见 Ch. Clavius, S. J., *Opera Mathematica*, Moguntiae, 1611, t. I, *Prolegomena*, p. 5: “Cum igitur disciplinae mathematicae veritatem adeo expetant, adament, excolantque, ut non solum nihil quod sit falsum, verum etiam nihil quod tantum probabile existat, nihil denique admittant quod certissimis demonstrationibus non confirment, corroborantque, dubium esse non potest quin eis primus locus inter alias scientias omnes sit concedendum. [当他们追求、热爱和颂扬数学学科的真理时，真理是不可置疑的，以至于他们不仅不承认任何假的东西，而且也不承认任何可能存在的东西，甚至不承认任何不能够通过最确定的证明加以证实和确证的东西，尽管对于他们来说，在所有其他科学中真理是可以妥协的。]” 转引自：E. Gilson, *Discours de la Méthode, Texte et Commentaire*, p. 128, Paris, 1925.

[336] Descartes, *Lettre à Mersenne* du 11 mars 1640, A. T., vol. III, p. 39 sq.: “就物理学来说，如果我只知道事物可能如何存在，而不能证明它们不可能以另外的方式存在，那么我就会认为我对它们一无所知。因为，我们现在已有可能将物理学还原为数学定律，而且我相信，就凭我现在已知的这点内容就能够做到了。尽管我在我的论文里并没有这样做，因为我不想在那里给出我的原理，而且我还没有看到有什么理由会促使我在将来给出这些原理。”



实上,多亏了笛卡尔,我们从此以后才能通过一种纯粹理智的活动而不再通过一种混杂的知识去理解空间,并因此而用科学取代了神话。多亏了伽利略,运动从此被置于数的定律的支配之下。但与此相应的变化是,这样的空间和数就已经丧失了它们对于柏拉图来说曾经具有或者能够具有的宇宙价值(valeur cosmique)。

伽利略的科学与笛卡尔的科学取得了胜利,但从未有一种胜利付出了如此高昂的代价。

## ■ 重性的消除 ■

### 一、伽利略学派

现在,我们面临一个问题。这个问题甚至在这项研究一开始就已经提到过:如果(我们相信自己已经揭示了)伽利略并没有表述出惯性原理,那么,他的后继者和追随者怎么会认为他们是在伽利略的著作中发现了惯性原理呢?还有另一个问题:如果(我们相信自己同样已经证明了)伽利略不仅没有、而且也不可能设想沿直线进行的惯性运动,这种运动观念甚至使伽利略这样的心灵都在它面前却步,但是,在他的追随者和后继者看来,这种惯性运动的观念却显得如此浅显自明和不言而喻,那么,这种情况怎么可能发生,或者更确切地说,它实际上是如何发生的呢?

在我们看来,后一个问题支配着前一个问题。因为恰恰是由于惯性运动,即沿直线永恒运动的观念在他们看来如此自明和清楚,才导致伽利略的追随者和后继者(以及其后的许多历史学家)都相信,这种观念已被表达和显示在其导师的著作之中。对此我们马上会说,惯性原理之所以在他们看来如此自明和清楚,他们之所以能在通往空间的几何化和实在的数学化的道路上超越伽利略,他们之所以能在几乎没有注意到还有最后一重束缚(即重性的束缚,这重束缚曾将伽利略重新拴在物理学的基石之上)的情况下冲破这重束缚,从此在数学实在的天空中自由翱翔,这恰

恰是因为伽利略,因为伽利略的榜样,因为伽利略的教导,因为伽利略的教育。因此,将一种伽利略并未做出的发现归之于他,并在他的著作中发现一些尽管没有明确表述,但却已处于萌芽状态的思想,这样看来也不无道理。

但是,且让我们来更深入地探究上述问题。为此,我们不妨来听听伽利略学派自己会怎么说。

293

### 1. 卡瓦列里

卡瓦列里的《燃镜》(*Specchio Ustorio*)于1632年出版,伽利略的《对话》也在同一年出版。然而,这两部著作的风格是多么地不同!如果我们根据一些内部标准来推测其出版年代,我们会相信《燃镜》写于20年之后。我们可以清晰地看到,伽利略的著作是一部关于辩论和论战的著作,卡瓦列里的著作却只是一部科学的著作。我们可以清晰地感觉到,对于卡瓦列里来说,伽利略的伟大论战已经属于过去。伽利略所取得的胜利是如此彻底;以致人们已不再谈论这个话题。最重要的哲学问题(柏拉图或亚里士多德,数学或感性经验)已被解决。不言而喻的是,物理学是一种数学,而且从关于曲线和圆锥曲线的纯粹几何学研究,可以轻而易举地过渡到对它们在物理实在之中的“效果”的研究。人们几乎不会注意到这种过渡。因此,对各种运动(如落体运动、抛射运动)的研究从一开始就被认为是一种数学研究,此后卡瓦列里置于运动之中的物体也是一些数学物体。

它们当然是一些“重物”。无疑,卡瓦列里也会对我们谈及物体的“内在重性”(gravité interne)。人们不可能不接受这种内在重性,但是,它已不再被设想为某种与物体不可分离的事物。尽管他还是把它称为“内在的”,但对于卡瓦列里来说,这种重性已被完全外在化了。从这一事实我们可以看到,“自然运动”和“受迫运动”之间的所有区分已经从他的思想中彻底消失了。

但是,且让我们来听听卡瓦列里自己会怎么说〔1〕:

尽管我们可以就重物提出各种各样十分美妙而有趣的考虑,然而,现在我们只想尝试确定重物运动所通过路线的本质是什么,这种运动首先是内在重性作用下的运动,其次是被抛射的运动,最后是两者共同作用下的运动,目的是想看一看这些运动路线是否涉及圆锥曲线;如果确实涉及了,我们就要看看会涉及哪些圆锥曲线。 294

因此,我认为,如果我们考虑由内在重性单独作用所引起的重物运动(不管这种重性以怎样的方式起作用),重物的运动总会趋向它们的共同中心〔2〕,也就是说,趋向地球的中心,并且所有的重物都将

---

〔1〕 B. Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio overo Trattato Delle Settioni Coniche et alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume, Caldo, Freddo, Suono e Moto ancora*, Bologna, presso Clemente Ferroni, 1632. cap. XXXIX, p. 153, 意大利语原文为:“*Del movimento de' corpi gravi. Benche intorno à' corpi gravi diversissime' cose si potessero considerare, tutte belle, et tutte curiose, però non cerchiamo altro, se non che forte di linea sia quella, per la quale si move esso grave, mercè prima dell'interna gravità, poi del proiciente, e finalmente dell'uno et dell'altro accoppiati insieme, per vedere, se vi havessero che fare le Settioni Coniche, et quali siano quando ciò sia vero.*”

*Dico adunque, se noi consideremo il moto del grave fatto per la sola interna gravità, in qualunque modo poi ella si operi, che quello sarà sempre indirizzato verso il centro universale delle cose gravi, cioè è verso il centro della terra, et universalmente conspirare tutti i gravi à questo centro, poiche si veggono in tutti i luoghi della superficie terrestre scendere non impediti a perpendicolo sopra l'Orizzonte...*

*Dico piu oltre, che considerato il mobile che da un proiciente viene spinto verso alcuna parte, se non havesse altre virtù motrice, che lo cacciasse verso un'altra banda, andrebbe nel luogo segnato dal proiciente per dritta linea, mercè della virtù impressali pur per dritta linea, dalla quale drittura non è ragionevole, che il mobile si discosti, mentre non vi è altra virtù motrice, che ne lo rimova, e ciò quando fra li duoi termini non sia impedimento; come per esempio una palla d'Artiglieria uscita dalla bocca del pezzo, se non havesse altro, che la virtù impressali dal fuoco, andrebbe à dare di punto in bianco nel segno posto à drittura della canna, ma perche vi è un altro motore, che è l'interna gravità di essa palla, quindi avvienne, che da tal drittura sia quella sforzata deviare, accostandosi al centro della terra.”*

〔2〕 重物的共同中心代替了亚里士多德的宇宙中心。

普遍地趋向这个中心……

其次,我认为,如果我们考虑抛射者朝着任一方向抛出的运动物体,而且没有任何其他的动力将它拉往另一个方向,那么它就只会被这种沿直线赋予物体的抛射力所推动,并沿直线向抛射者所指定的位置运动:由于没有其他动力使物体改变方向,因此,认为运动物体会偏离上述直线方向是不合情理的。例如,当一发炮弹离开炮口时,如果它只受到发射所赋予它的推动力,那么,它就会从发射点笔直飞向位于炮轴延长线上的目标。但是,由于有另一种推动力,即炮弹的内在重性,它就不得不偏离上述直线方向并靠近地球的中心。

因此,如果内在重性不将炮弹拉向地球的中心,炮弹的运动就会沿直线进行。初看起来,卡瓦列里的上述说法似乎没有任何新内容,甚至也没有任何值得注意的内容。因为人们一直在说,受迫运动是沿直线进行的。人们甚至相信它们实际上就是这样运动的,人们相信炮弹在离开炮口后首先会沿直线运动,难道不是这样吗?难道伽利略最伟大的发现之一不是恰恰在于,他认识到了抛射体的运动轨迹从抛射的最初瞬间起就已经弯曲了?卡瓦列里非常清楚地知道这一点。但是,我们要注意,这一点绝对没有阻止卡瓦列里去设想一发没有重性的炮弹,这发炮弹不受重性的力(force de la gravité)的作用,而仅仅在大炮发射作用的影响下运动。在他看来,这个假设一点都不荒谬,甚至也绝非不可能。内在重性就像所有其他的力一样作用在炮弹上(除了有一点例外,即它是一种恒定的力,并持续地发挥作用),而且我们也可以像对其他任何一种力一样,撇开它不予考虑。

因此,卡瓦列里继续说道<sup>〔3〕</sup>:“再次,我还认为这个抛射体不仅会沿

---

〔3〕 B. Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio ovvero Trattato Delle Settioni Coniche et alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume, Caldo, Freddo, Suono e Moto ancora*, Bologna, presso Clemente Ferroni, 1632. cap. XXXIX, p. 155, 意大利语原文为:“Dico ancora, che quel proietto non solo andarebbe per dritta linea nel segno opposto, ma che in tempi eguali passarebbe(转下页)

直线飞向它的目标,而且只要运动物体不在意它的运动方向,只要介质不向它施加任何阻碍,它将会在相等的时间内沿上述直线通过相等的距离,因为没有任何原因使它加速或减速。”如果我们想起伽利略为了超越“冲力等于运动原因”的观念所做的思想努力,想起他在试图接受重物在水平面上运动的齐一性时所使用的某些冗长和艰涩的推理,我们就会恰如其分地欣赏和评价卡瓦列里推理的简洁性。对于提出上述推理的人来说,运动早已被固化为某种真实的实体,这种实体能够自动持续,只要没有任何东西来摧毁和改变它,它就会保持不变。由此我们就会理解,由于对他来说重性变成了一种可分离的力,这种不变的运动才会沿着一条直线而不是沿着一个圆周持续。卡瓦列里说道<sup>[4]</sup>:“因此,仅由内在重性推动的重物只会朝着地球的中心运动,但是,由其他外力所推动的重物则可以朝着任何一个方向前进。”在此,我们再次看到了卡瓦列里与伽利略的区别。坦率地说,卡瓦列里超前于伽利略是显而易见的:为了迫使他的重物“朝任何一个方向”运动,甚至在他写《两门新科学》的时候,伽利略还需要用一个假想的平面来支撑它们,以抵消重性的不可避免的作用。卡瓦列里则完全不需要这样做:为了排除“内在”重性的作用,只要不考虑它就可以了。如果要研究炮弹的具体运动,只需要让上述两种力(抛射力和重力)同时作用于炮弹之上,并通过将两种力单独作用时的“部分”效果简单相加就可以计算出结果,因为很显然,这两种力(即这两种运动)相互之间没有任何影响。

296

---

(接上页) pur spatij eguali della medesima linea, mentre que i mobile fosse a tal moto indifferente; e mentre ancora il mezzo non li facesse qualche resistenza, poiche non ci farebbe causa di ritardarsi, ne di accelerarsi.”

[4] B. Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio overo Trattato Delle Settionì Coniche et alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume, Caldo, Freddo, Suono e Moto ancora*, Bologna, presso Clemente Ferroni, 1632. cap. XXXIX, p. 155, 意大利语原文为:“*si che il grave, mercè della interna gravità, non anderà se non verso il centro della terra, ma quello, mercè della virtù impressali, potrà incaminarsi verso ogni banda.*”

卡瓦列里继续说道〔5〕：

现在，如果在抛射体中有两种动质，即重力与冲印力，正如我们已经说过，每一种都可以单独使运动物体沿直线前进。但将两者复合在一起之后，除非是在以下两种情形中，否则它们将不再使物体沿直线运动：第一是如果冲印力将重物垂直于水平线向下抛射；第二是如果冲印力和重力两者都匀速地推动重物，因为此时重力使物体在相等的时间内向地球中心靠近相等的距离，而重物在这些相等的时间内也将沿着抛射路线通过相等的距离，因此运动物体总会保持在

---

〔5〕 B. Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio ovvero Trattato Delle Settioni Coniche et alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume, Caldo, Freddo, Suono e Moto ancora*, Bologna, presso Clemente Ferroni, 1632. cap. XXXIX, 意大利语原文为：“Essendo due adunque nel proietto le virtù motrici, l' una la gravità, l' altra la virtù impressa, ciascuna di loro separatamente farebbe ben camminare il mobile per linea retta, come si è detto, ma accoppiare insieme non la faranno andare per linea retta, se non in questi due casi, nel primo, quando dallo virtù impressa sia spinto il grave per la perpendicolare all' Orizzonte; il secondo, quando non solo la virtù impressa ma anco la gravità mova il grave uniformemente, perche gli accostamenti fatti in tempi eguali al centro della terra, partendosi da una retta linea, sariano sempre eguali, come anco li spatii decorsi ne' medesimi tempi dell' istessa linea, per la quale viene spinto esso grave; e perciò il mobile farebbe sempre nella medesima linea retta. Ma quando uno de' duoi non fosse uniforme, allhora non caminerebbe il mobile spinto dalla gravità, e dalla virtù impressa, altrimenti per linea retta, ma si bene per una curva, la cui qualità e conditione dipenderebbe dalla detta uniformità, e difformità di moto accoppiate insieme. Hora nel grave, che, spiccandosi dal proiciente, viene indirizzato verso qual si sia parte, per essemplio, mosso per una linea elevata sopra l' Orizzonte, vi è bene la gravità, che opera, ma quella non farà altro, che ritirare il mobile dalla drittura della sudetta linea elevata, non havendo che far niente con l' altro moto, se non per quanto viene il grave allontanato dal centro della terra, astraendo adunque nel grave la inclinatione al centro di quella, come anco ad altro luogo, egli resta indifferente al moto conferitoli dal proiciente, e perciò se non vi fosse l' impedimento dell' ambiente, quello sarebbe uniforme; ragionevolmente adunque si potrà supporre, che i gravi spinti dal proiciente verso qualunque parte, mercè della virtù impressa, caminino uniformemente, non havendo riguardo all' impedimento dell' aria, che per esser tenuissima, e fluidissima, per qualche notabile spatio, può esser, che i permetta la sudetta uniformità.”

同一直线之上。但是,如果这两种运动有一种不一致,那么当物体同时被重力和冲印力抛出时,它就不会沿着一条直线,而将会沿着一条曲线运动,这条曲线的性质和状况取决于复合在一起的两种运动的一致或不一致。因为当重物被抛射者抛出时,它将会趋向某个方向,例如,沿着倾斜于水平面的路线运动。在这个重物中,重力当然一直在发挥作用,但重力所做的只是将运动物体从上述路线的直线方向重新拉回来。除了由于重物正远离地球中心,重力赋予重物一个趋向地球中心(就像趋向所有其他位置一样)的倾向之外,重力所引起的运动与其他运动没有任何关系。因此,(来源于重力或由重力引起的运动)与抛射者赋予重物的运动两者互不相关。如果没有介质的阻碍,后一种运动将会是匀速运动。

297

我们几乎无须再强调指出,抛射运动和下落运动在此获得了同等对待。这种同等对待甚至到了对两者使用相同术语的地步。我们可以清晰地看到,对卡瓦列里来说,所有的运动都具有相同的本性,“受迫运动”与“自然运动”之间的区分只不过是一个术语使用的问题。此外,他还明确告诉我们〔6〕:

---

〔6〕 B. Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio overo Trattato Delle Settoni Coniche et alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume, Caldo, Freddo, Suono e Moto ancora*, Bologna, presso Clemente Ferroni, 1632. cap. XXXIX, p. 157, 意大利语原文为: “*Resta hora, che facciamo riflessione all'accostamento del grave, fatto al centro della terra mercè dell'interna gravita, che vien detto moto naturale, e al discostamento da quello, per l'impulso conferitoli, che si chiama moto violento; che il grave, che si parte dalla quiete, e si move al centro, si vada sempre velocitando, quanto più si accosta al centro, o per dir meglio, quanto più si allontana dal suo principio, e che il violento, o dal centro si vada sempre ritardando, ciò è stato saputo da tutti i Filosofi ancora, ma con qual proportione s'acceleri il moto naturale, et si ritardi il violento, ce lo insegna nuovamente e singolarmente il Sig. Galileo ne' suoi Dialogi alla p. 217, dicendo esser l'incremento della velocita, secondo il progresso de' numeri dispari continuati dall'unita.*”



仍有待思考的是,当重物被内在重性推动并靠近地球中心时,我们将它的运动称为“自然运动”,而当重物由于受到外力推动而远离地球中心时,我们将它的运动称为“受迫运动”。当重物从静止出发并朝着地心运动时,它总是随着它逐渐靠近地心,或者毋宁说,随着它逐渐远离出发点<sup>[7]</sup>而处于不断加速之中,而受迫运动,即离开中心的运动却总是处于不断减速之中。

尽管哲学家们很熟悉这些事实,但只有伽利略在他的《对话》中确定了加速和减速的精确比例。反过来,这又使得卡瓦列里能够利用他自己所发明的计算方法进行推导,从而证明了:无论是什么物体,当我们将它朝着任意方向抛出时,它的运动轨迹都是一条圆锥曲线,甚至是一条抛物线。

298 现代的读者很可能会感到失望,甚至他还可能会指责我们是某种视觉幻象的受害者,而我们自己有时也会以同样的方式指责某些研究伽利略的历史学家。这位读者或许还会对我们说,如果卡瓦列里真的获得了惯性原理的观念,那么他早就已将它表述为一个基本的自然定律,一个基本的力学公理,就像笛卡尔和牛顿所做的那样。他就不会满足于只是一带而过地提及某些表述。在这些表述中,我们看到了某种惯性原理的表达,但是,没有任何人能(甚至伽利略也不能)从中识别出惯性原理。毕竟,这是有可能的,有可能甚至连卡瓦列里自己都未能理解他那些表述的意义。事实上,他也没有说过“运动一旦开始就会无定限地持续下去”这样的话,而且伽利略也确实读过卡瓦列里的《燃镜》,但并未从中获益。因为当伽利略在《两门新科学》中表述运动持续性原理时,他还是加上了我们所熟知的那些限制条件。有可能伽利略从中看到的,只不过彻底数学

---

[7] 注意这种表述方式的延续性,参见本书第二部分:“落体定律”,前文第90页。

化的一个结果或例证而已,他已在《对话》中对这种彻底数学化进行了概述。同样有可能的是,卡瓦列里自己也没有从中看出任何其他东西。

从客观上看,卡瓦列里的表述确实包含了惯性原理。但他是否从主观上想这样去做呢?这一点总是值得怀疑,甚至也应该怀疑。

至于卡瓦列里的真实思想,我们也只能任由他将我们带进上述不确定之中。但无论如何,卡瓦列里都没能赋予惯性原理应有的地位和意义。现在,这一事实本身也为我们澄清了笛卡尔工作的作用和意义。因为,尽管需要进行某种程度的弱化,但我们刚才就卡瓦列里所作的结论也同样适用于托里拆利。

## 2. 托里拆利

因为托里拆利也没有将惯性原理表述为一条原理。与卡瓦列里相同,他也是在**进行抛射体研究的过程中以某种方式表述了惯性原理**。他对我们说:

假定运动物体从 a 点出发,沿着某个(与水平线)成任意倾角的方向 AB 被向上抛出。**很显然,如果运动物体没有受到重力的牵引,它将会沿着方向 AB 的路线做匀速直线运动。**<sup>[8]</sup>

我们惊讶地看到了从伽利略以来(甚至是从卡瓦列里以来)科学的精神面貌所发生的转变。“很显然……”,这就是当托里拆利引入惯性原理时,他认为有必要交代的所有内容。但是,与卡瓦列里的情况相比,我们同样可以质疑:这难道真的是惯性原理吗?毕竟,伽利略也完全清楚地知道,如果重力不将物体向下拉,它们将会沿直线运动,甚至会无定限地运

---

[8] Evangelistae Torricellii, *Opera geometrica*, Florentiae, 1644. De Motu Projectorum, l. II, p. 156. 黑体为我们所加。

动下去。但是,伽利略知道这种情况并未发生,而且永远不可能发生。托里拆利同样知道这一点。因此,他继续说道:

但是,由于内在重性一直在物体内部发生作用,运动物体会立即开始偏离抛射方向,而且偏离程度在不断增加,物体的运动将会画出一条特定的曲线。

我们再次对托里拆利的处理方法感到惊讶:他已无需再花时间去证明各种运动的相互独立性。对于托里拆利的读者(来自伽利略学派的读者)来说,运动的独立性与其守恒性同样自明。但是,在此仍然需要质疑的是:与我们已在伽利略那里看到的内容相比,我们在托里拆利这里是否能发现不同的东西?“很明显”这一表述除了指向一种不仅非实在而且物理上也不可能情况,它还会指向其他什么东西呢?或者毋宁说,面对这种物理上的不可能性,托里拆利将会像他的导师伽利略那样停下脚步,还是会像卡瓦列里所做的那样继续前进呢?事实上,他既没有停下脚步,也没有继续前进。但是,当他深刻地思考了物理科学的结构,思考了几何学应用于物理学的各种条件,思考了“解决方法”的真正本质,或者为了最终使用“分析”(διαίρησις)这一真正的名称(他在伽利略和开普勒的著作中看到了这个名称)来称呼上述方法,托里拆利承认了理性力学所研究的运动在物理上的不可能性,但他重新为几何学争取权利,要求将几何学关于实在的分析推进到底,也就是说,推进到非实在之物,甚至推进到不可能之物。

就像伽利略本人以及所有的伽利略主义者一样,托里拆利是一位阿基米德主义者。他告诉我们<sup>[9]</sup>:“在所有与数学科学有关的著作中,阿基

---

[9] Evangelistae Torricellii, *Opera geometrica*, Florentiae, Typis Amatoris Massae et Laurentii de Landis, 1644. *Proemium*, 拉丁语原文为:“Inter omnia opera ad Mathematicas disciplinas pertinentia, iure optimo Principem sibi locum vindicare videntur Archimedis inventa; quae quidem ipso subtilitatis miraculo terrent animos.”

米德的那些发现似乎能够占据首要地位。这些发现在精致巧妙方面的奇迹令所有的心灵都深感惊讶。”现在，当阿基米德的数学天才被每一个人所了解，他所建立的科学，即力学（我们甚至可以说：数学物理学，这样说即使不忠实于托里拆利的术语本身，但仍然忠实于他想表达的含义）却被某些人攻击为建立在两个错误的命题之上。<sup>[10]</sup> 因为这些人认为，阿基米德将以下两件明显错误的事情假定为真，即：“第一，各种表面实际上没有重力，但它们仍然被赋予了重力；第二，尽管天平两边用于悬挂重物的悬线实际上应该相交于地球的中心，但它们却是等距离的。”托里拆利继续说道：

300

我的看法是：或者上述假定没有任何一个是错误的，或者所有其他的几何原理也都同样错误，并且以同样的方式错误。因为说圆有一个中心，球有一个表面，圆锥有体积，全都是错误的。我说的是几何学通常研究的抽象形状，而不是物理的和具体的形状。因此，我们必须承认圆的中心，球的表面，圆锥的体积以及其他诸如此类的东

---

[10] Evangelistae Torricellii, *Opera geometrica*, De Dimensione Parabolae, Florentiae, 1644, *Prooemium*, p. 8, 拉丁语原文为：“Veniamus ad objectiones quae circa artis fundamenta versantur. Indignor equidem Lucam Valerium, vere nostri saeculi Archimedes, cum optimam causam suscepisset, pessima defensione usum fuisse. Solent ab eruditis culpari figurarum Geometricarum dimensiones, quae Mechanicis fundamentis innixae stabiliuntur, tamquam duplex falsum supponant: alterum quod superficies gravitatem non habentes habere tamen concipiuntur: alterum vero, quod fila quae magnitudines ad libram suspendunt aequidistantia supponuntur, cum tamen in centro terrae concurrere debeant. Ego vero in ea sum sententia, vel nullam ex his suppositionibus esse falsam, vel reliqua omnia principia Geometriae falsa existere eodem modo. Falsum enim est, quod circulus habeat centrum, sphaera superficiem, conus soliditatem. Loquor de figuris abstractis quales Geometria considerare solet; non autem de physicis et concretis. Necesse igitur erit fateri quod circuli centrum, superficies sphaerae, soliditas conici, et reliqua huiusmodi non controversa, nullam aliam habeant existentiam, praeter illam quam accipiunt per definitionem et per intellectum. Eodem prorsus modo gravitas est in figuris Geometricis, quomodo in iisdem est centrum, perimeter, superficies, soliditas, etc.”

西。这类东西无需争辩，它们除了理智和定义所赋予它们的存在之外，不再具有任何其他形式的存在。因此，重力在几何形状中，正如中心、表面、周长、体积等在几何形状中，这两种情形完全相同。

我们清楚地看到：对托里拆利来说，力学仅仅是几何学的一个部分。问题不在于研究物理世界的现象和真实物体的运动（这些现象和运动服从真实的力的作用），也不在于解释下落和重力。在托里拆利的科学中，重力并不是“有重”物体的一种“性质”或“能力”。它是一种量（*grandeur*），或者用托里拆利自己的术语来说，是一个维度（*dimension*）。当然，相对于长、宽、厚来说，这是一个新的维度。但是，几何学家对待这个维度完全就像对待其他维度一样，并不关心这些研究对象的物理可能性。因此，没有任何东西能阻止托里拆利将重力从一个“物体”中剥离出来，并将它赋予一个平面或一条线。我们不在物理世界之中；我们从一开始就已置身于几何学被实在化之后所对应的阿基米德世界中。这个世界中的“物体”与“无宽的线”或者“无厚的面”相比具有同样多的实在性。从本质上看，力学家的推理与几何学家的推理没有区别。与几何学家一样，力学家也可以自由地定义他的研究对象，并通过定义（*ex definitione*）赋予它们一种存在。他甚至可以<sup>[11]</sup>“通过力学推理并借助新的定义来产生某些（几何）形状”。因此，例如他可以将正方形定义为<sup>[12]</sup>“一个四边形，这个四边形上的所有单个的点都具有沿着它们之间的平行线向着世界的任何一个区域运动的‘动量’（*moment*），因为它既是等角的又是等边的。”如

[11] Evangelistae Torricellii, *Opera geometrica*, De Dimensione Parabolae, Florentiae, p. 9, 拉丁语原文为：“Laudarem igitur in Mechanicis contemplationibus nova definitione figuras generare; hoc, aut alio non absimili modo.”

[12] *Ibid.*, 拉丁语原文为：“*Quadratum est quadrilaterum, quod, cum aequilaterum, et aequiangulum sit, singula ipsius puncta momentum habent procedendi versus aliquam mundi plagam per lineas inter se parallelas.*”

果我们没有弄错的话,这就意味着不可能把力学与几何学分开,因为运动的观念也是几何学家在各种定义中所使用的一种观念。<sup>[13]</sup>“对于那些在其思想中应该接受而并未接受阿基米德力学的人来说,这一点足以消解怀疑阿基米德科学的价值和真理的所有理由。”<sup>[14]</sup>

这就是针对阿基米德受到的第一个批评所做出的反驳:即他把重量赋予了几何形状。托里拆利继续说道<sup>[15]</sup>:

现在,我来谈一谈他们认为是错误的第二个假定。这是一个非常普遍的反驳,甚至许多最严谨的人也曾说过,阿基米德认为将重物悬挂于天平两臂的线相互平行,而实际上它们应该相交于地球的中心,因此他们认为,阿基米德的以上观点已将**某些错误的东西**假定(为真)。至于我自己,我宁愿相信力学的基础应该用完全不同的方式来看待(我这样说

302

---

[13] 同样的观念也出现在笛卡尔那里,参见下文第 321 页。

[14] Evangelistae Torricellii, *Opera geometrica*, De Dimensione Parabolae, Florentiae, p. 9, 拉丁语原文为:“Huiusmodi enim definitio omnem demeret occasionem dubitandi, illis, qui Mechanica Archimedis opera, secundum ipsius mentem non accipiunt. Sed hucusque dictum sit pro obliteranda primae falsitatis nota, quod figurae Geometricae graves sint.”

[15] *Ibid.*, p. 9, 拉丁语原文为:“Venio nunc ad secundum (ut aliqui existimant) falsum. Principio, vulgatissima est etiam apud gravissimos viros obiectio illa, videlicet *Archimedes supposuisse aliquod falsum, dum fila magnitudinum ex libra pendentium consideravit tanquam inter se parallela, cum tamen re vera in ipso terrae centro concurrere debeant*. Ego vero (quod pace clarissimorum virorumdictum sit) crediderim fundamentum Mechanicum longe alia ratione esse considerandum. Concedo si fisiae magnitudines ad libram libere suspendantur, quod fila materialia suspensionum convergentia erunt; quandoquidem singula ad centrum terrae respiciunt. Verumtamen si eadem libra, licet corporea, consideretur non in superficie terrae, sed in altissimis regionibus ultra orbem Solis; tum fila (dummodo adhuc ad terrae centrum respiciant) multo minus convergentia inter se erunt. Sed quasi aequidistantia. Concipiamus iam ipsam libram Mechanicam ultra stellatam libram firmamenti in infinitam distantiam esse provectam, quis non intelligit fila suspensionum iam non amplius convergentia, sed exacte parallela fore? Quando ego considero libram, figuras Geometricas ponderantem, non concipio illam esse inter cartas librorum in quibus depicta conspicitur; neque suppono punctum, ad quod magnitudines ipsius tendunt, esse centrum terrae; sed libram fingo in infinitum remotam esse ab eo puncto, ad quod ipsius gravia contendunt.”

并无意冒犯那些非常杰出的人物)。我同意,如果一些物理量(重量)被自由悬挂在天平上,那些物质的悬线将会聚集到一点,因为这些线中的每一根都指向地球的中心。然而,如果考虑这同一个天平并不是位于地球表面(尽管它是由有形物质做成),而是位于太阳轨道之外的更高的区域,那么这些线(尽管还是一直指向地球的中心)将会变得越来越难以会聚,而会变得几乎接近等距离。现在,让我们设想有一架力学天平被置于天秤星座之外、天穹的无限远处:很容易理解这些悬线将不再会相交于一点,而是会严格保持平行。因此,当我考虑一架称量几何形状之重量的天平,我不会设想它正处于那些我能看到的图画的书页之间;我也不会认为这些量所趋向的那个点是地球的中心;但是,我会把这架天平想象为无限远离这些重物所趋向的那个点。

物理实在的分离、空间的几何化、将物理空间等同于几何空间,阿基米德未能完全实现的这些目标(按照托里拆利的说法)现在完全实现了。物理学=力学;力学=几何学。因此,托里拆利毫无顾忌地把他的“有形”天平置于超出星球之外、位于实际上无限远处的“想象”空间之中。几何空间是无限的;不管被创造的宇宙的真实维度是多少,力学空间、从而还有物理空间都依次变成了无限空间。托里拆利的“抽象”空间是布鲁诺的无限宇宙的等价物,并且是一种更精致的等价物。但是,且让我们听托里拆利继续往下说<sup>[16]</sup>:

---

[16] Evangelistae Torricellii, *Opera geometrica*, De Dimensione Parabolae, Florentiae, p. 10, 拉丁语原文为:“Si postea ibi concluderetur triangulum aliquod triplum esse cuiusdam spatii; retrahatur imaginatione ipsa libra ad nostras regiones; concedo quod retracta libra destruetur aequidistantia filorum suspensionis, sed non ideo destruetur proportio iam demonstrata figurarum. Peculiare quoddam beneficium habet Geometra, cum ipse abstractionis ope, omnes operationes suas mediante intellectu exequatur. Quis igitur mihi hoc negaverit, si liberat considerare figuras appensas ad libram, quae quidam libra ultra mundi confinium in infinitam distantiam remota supponatur? Vel quis prohibebit considerare libram in superficie terrae constitutam, cuius tamen abstractae magnitudines tendant, non ad medium terrae punctum, sed ad centrum caniculae, sive stellae polaris?”

如果在此之后,也就是说,在上述天平被置于无限远处之~~后~~并且在我们用这架天平推导出某些公式和关系之后,我们在想象中将它带回到我们所在的区域:无疑,这时我们就破坏了悬线之间的等距性;但是,我们并不会因此而破坏已经证明了的那些形状之间的比例。几何学家借助抽象并通过理智实施了以上所有操作,对于他们来说,这些操作具有独特的优点。因此,谁会否认我(有权利)将假想的天平上悬挂的形状自由地设想为处于世界边缘之外的无限远处呢?再者,当我设想有一架天平正位于地球表面,但是,这架天平之上的抽象的量(重量)却不再趋向地球的中心点,而是趋向大犬星座或北极星的中心点,谁又会阻止我去这样设想呢?

事实上,既然“力学家—几何学家”已特意提醒我们,他放在地球表面的不是一架真实的天平,而是一架数学的天平,并在其上悬挂了一些抽象的“重—量”(poids-grandeurs),那么我们就没有任何理由再去限制他研究“力学—几何学”的自由。托里拆利说道<sup>[17]</sup>:

那些三角形和抛物线,甚至是那些几何球体和圆柱体本身和运动完全无关,它们倾向于地球中心的程度并不比倾向于土星中心的程度更大。因此,如果将这些形状构想为仅仅倾向于地球的中心,那么上述操作就会失去所有的好处。

实际上,托里拆利向我们描述的上述操作,既包括用一种数学的和

---

[17] Evangelistae Torricellii, *Opera geometrica*, De Dimensione Parabolae, Florentiae, p10,拉丁语原文为:“Triangula et parabolae, immo etiam sphaerae cylindricae Geometrici, cum nullam per se habeant motus differentiam, non magis ad ipsius terrae, quam ad Saturni centrum contendunt. Destruit ergo beneficium suum quisquis figuras illas, tamquam ad unicum terrae centrum tendentes, contemplatur.”



“抽象的”物体代替物理的和实在的物体(这就意味着要将自然重力转变成一种可自由变化的“量”或“维度”),也包括将这种“物体”重新纳入实在的空间框架之中。限制重力的可能方向,将它束缚于(或者毋宁说,重新束缚于)地球的中心,上述操作就会完全失去其所有的“好处”。托里拆利继续说道:“因此,我可以将任一图形上的各个点都构想为被赋予了这样一种动质,以致所有的点都沿着平行线趋向空间的任一区域,为什么我就不能做这样的构想呢?”<sup>[18]</sup>因为,这种“动质”只不过是我们可以随意添加到这些点中的某种“量”或者“维度”,而且我们没有必要总是让它停留在这些点中。“如果我们假定这些事实为真,那么通过定义并在定义中赋予图形的各种属性也以同样的方式为真,而且借助力学研究并通过实现上述抽象的论证所推导出来的所有定理也同样是正确的。如果我们所借助的命题是错误的,那么这些定理就根本不可能被证明出来。”就像托里拆利刚刚向我们解释的那样,这是因为这些基本命题和假定完全不是针对(在“实在”这个术语的传统意义上的)某种可感的物理实在,而是针对取而代之的某种抽象的数学实在。

托里拆利继续说道<sup>[19]</sup>:

---

[18] Evangelistae Torricellii, *Opera geometrica*, De Dimensione Parabolae, Florentiae, p10, 拉丁语原文为:“Cur denique non licebit mihi considerare puncta cuiuscunque figurae eiusmodi virtute praedita, ut singula versus eandem mundi plagam per lineas inter se parallelas aequali momento contendant? His ita suppositis, quae vera sunt, quemadmodum sunt verae passionis figurarum, quae in definitionibus adhibentur, vera etiam erunt quaecunque Theoremata per Mechanicas rationes ab ipsis abstrahentibus fuerint considerata, neque per falsas positiones demonstrabuntur.”

[19] *Ibid.*, p. 11, 拉丁语原文为:“Tunc itaque falsum dici poterit fundamentum Mechanicum, nempe fila librae parallela esse, quando magnitudines ad libram appensae physicae sint, realesque, et ad terrae centrum conspirantes. Non autem falsum erit, quando magnitudines (sive abstractae, sive concretae sint) non ad centrum terrae, neque ad aliud punctum propinquum librae respiciant; sed ad aliquod punctum infinite distans conitantur.”

因此,如果悬挂在天平上的量(重量)是一些倾向于地球中心的实在的物理事物,那么,力学的基础,即关于悬线的平行性理论就可以说是错误的。但是,当这些量(不管它们是抽象的还是具体的)既不倾向于地球的中心,也不倾向于任何一个靠近天平的点,而是倾向于某个位于无限远处的点时,上述平行性理论就不会是错误的。

### 3. 伽桑狄

正如沃尔威尔曾经十分正确地指出,伽桑狄的工作深受伽利略工作的影响,这种影响的程度比伽桑狄自己所承认的还要大得多。<sup>[20]</sup>但是,伽桑狄的优点仍然非常突出:他深刻地理解了伽利略。我们想说的是:他理解并澄清了构成新科学深层基础的本体论。此外,多亏了德谟克利特,同时也多亏了开普勒(这一点令人感到奇怪),伽桑狄才得以成功跨越那些曾经阻碍了伽利略思想发展的、来自常识和传统的最后障碍,从而为自己赢得了第一个发表(如果不是第一个阐述)惯性原理的正确表述的不朽荣誉。因此,关于伽桑狄思想的研究也就极其富有教益。此外,在我们看来,它也完全证实了我们已在前面详细阐述过的关于伽利略失败原因的解释。

305

与卡瓦列里和托里拆利不同,伽桑狄根本不是一位数学家。<sup>[21]</sup>他所感兴趣并想要理解的,恰恰是伽利略所研究的各种现象的物理方面,甚至包括其物理机制。然而,正如我们马上就会看到,他在这一点上并没有错:正是能解释重力这一事实使得他能从重力中抽离出来。

---

[20] 参见 E. Wohlwill, "Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes", *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, etc., v. XV, p. 355, n. 2.

[21] 他的数学知识是如此贫乏,以致他无法理解伽利略关于落体定律的推导,并相信为了得到平方定律[即下落距离正比于时间的平方],必须假定一种关于吸引和介质反作用的瞬时作用。参见 Petri Gassendi, *De motu impresso a motore translato*, Paris, 1642, c. XVII, p. 64 sq; c. XVIII, p. 69 sq.

此外,伽桑狄没有用伽利略那样的极端态度来面对实验。因此,他从叙述一个实验开始:即在一艘运动的船上,一发炮弹从桅杆顶端下落的那个著名实验。<sup>[22]</sup>正如我们在前面已经提到,伽桑狄自己做了这个实验<sup>[23]</sup>,并在其后用它来推导新科学的两个基本原理:运动相对性原理以及各种运动的相互独立性原理。

实验反驳了传统学说。石块落到了桅杆的脚下。伽桑狄向他的通信者详尽地解释了石头的运动怎么会在我们看来似乎在沿直线运动。这是由于驱动石头的各种运动的相互结合<sup>[24]</sup>,不管石块是从下向上抛还是从上向下抛,石块实际上都在进行一种复合运动,即画出了一条抛物线<sup>[25]</sup>,只是在我们看来它似乎在沿直线运动。这是因为,只有相对运动才是可观察的。但是,现在我们自己本身也被船携带着一起运动。因此,

对于我们所有在上述(同一艘)船上的人来说,石块的运动看起来就像是垂直的,这并不奇怪。因为只有石块向下的运动对我们来说是可观察的。我们不能观察到石块的向前运动,这是因为向前运动是我们和石块共有的运动。<sup>[26]</sup>

伽桑狄清楚地知道,传统的拥护者并不会就此被说服,或者至少不会满足于这样的解释。因为对他们来说,(水平)运动是否可观察并不重要。

---

[22] 参见 *De motu impresso a motore translato*, c. V, p. 14 sq. 这部著作的整个第一部分都被用于解释运动如何从推动者传递给运动物体,或者更确切地说,用于解释以下事实:如果一个运动物体与某个运动中的系统相联系,那么它将参与整个系统的运动。

[23] 参见本书第三部分第 153 号注释。

[24] 参见 *De motu impresso a motore translato*, c. VI, p. 22 sq.

[25] *De motu*, c. VII, p. 27 sq.

[26] *Ibid.*, c. V, p. 17, 拉丁语原文为:“Neque est jam mirum, si omnibus nobis, qui in eadem triremi eramus, apparebat motus perpendicularis; quippe observabilis nobis solum erat motus lapidis deorsum; nam ille quidem ad anteriora observari non poterat, quoniam erat nobis communis cum lapide...”

水平运动存在着,但是,为了使伽桑狄的解释有效成立,必须在两种运动不会相互干扰的情况下使水平运动能够与下落或抛射运动相互结合。如果对于两种受迫运动而言还算说得过去,但是,在不产生任何干扰的情况下,受迫运动怎么可能与自然运动相结合呢?伽桑狄首先通过质疑传统区分的根据来做出回答。他并不是完全反对使用这两个术语。他认为人们完全可以用它们来指出以下两种运动的区别,一种是自动发生的,或者至少是不违背运动物体本性的运动,另一种是违背物体本性的运动:“因此,将一个球抛向空中,球的抛射运动是受迫的,相反,它在平面上的转动是自然的,因为没有任何东西阻碍它”。〔27〕

但是,如果人们想要赋予上述区分某种更深刻的意义,那么就会导致一些与传统物理学所教导的内容十分不同的结果。因为,首先〔28〕,“……除了原初运动,看来没有任何运动可被认为是受迫的。因为除非一个物体被另一个物体推动,它才会开始运动,否则任何运动都不可能发生。正是由于这个原因,亚里士多德才为物体、甚至为那些下落物体寻找一个外部推动者。”当然,有人可能会援引那句众所周知的谚语:“没有任何受迫的事物能够永恒持续”。现在,这句谚语对伽桑狄来说显得一点也不自明,他认为它是没有根据的,而且设想有一种永恒的强迫力(violence)一点也不荒谬。〔29〕但是,我们姑且略过这一点,并假定这句谚语是正确的。

307

---

〔27〕 *De motu impresso a motore translato*, c. IX, p. 35, 拉丁语原文为:“Preterea cum motus naturalis, et violenti voces non videantur nobis esse confundendae, ea mihi semper utriusque notio visa est commodissima, ut naturalis appelletur, qui aut sponte, aut sine ulla repugnantia fit; violentus, qui praeter naturam, aut cum aliqua repugnantia...Ita trajectio globi per aera violenta, quia praeter naturam; volutio supra planum naturalis quia nihil repugnat.”

〔28〕 *Ibid.*, 拉丁语原文为:“Nullus videtur motus, qui secluto primaevo illo, non possit censerī violentus; quatenus nullus est, qui nisi cum impulsione unius rei in aliam fiat, ex quo effectum est, ut Aristoteles, etiam rerum cadentium quaesierit motorem externum.”原初运动是指天球的运动。

〔29〕 *Ibid.*, 拉丁语原文为:“Neque videri absurdum debet, esse continuam aliquam in rebus naturae violentiam.”

相反,由此便可得出:所有自然的事物必定是永恒的。因此,仅凭它不是匀速运动这一点,下落运动永远不可能被视为自然运动,因为“很明显,永恒性的根源是均一性,运动终止的根源是非均一性。因为只有那些既不增加也不减少的事物才能够永恒持续,没有任何事物能够通过自然力无限地增加或减少。因此,如果有人想在这些复合事物中寻找某种最自然的运动,很明显,那只能是天界的运动,因为它是均一和永恒的,并先于所有其他运动。这多亏了造物主所选择的正圆形式:由于这种形式既没有开端也没有终结,它才可能是均一和永恒的”。〔30〕

因此,正是这种正圆性解释了天界运动的均一性,从而也解释了它的永恒性。也只有正圆性才能解释这一点。因此,地球上的圆周运动(尤其是水平运动)就分享了同样的均一性、永恒性与自然性。

因此,伽桑狄继续说道〔31〕:

---

〔30〕 *De motu*, c. IX, p. 36, 拉丁语原文为:“Et sane cum sit commune effatum, Nihil violentum esse perpetuum; cui est consentaneum, ut quod est naturale perpetuum sit; constat radicem perpetuitatis esse aequabilitatem, cessationis inaequabilitatem; quatenus id solum, quod neque invalescit, neque debilitatur, perdurare potest; nihilque potest naturae vi aut increcere, aut decrecere infinite. Adhaec, si quis requirat motum in hisce rebus compositis, qui sit maxime naturalis, perspicuum videtur eum esse caelestem; quatenus est prae ceteris aequabilis, atque perpetuus; delecta ab authore circulari forma, secundum quam, principio, et fine carentem, esse aequabilitas, et perpetuitas posset.”

〔31〕 *Ibid.*, c. X, p. 38 sq., 拉丁语原文为:“Non repeto heic, quemadmodum lapis a vertice mali, dum navis movetur, apparenter solum secundum perpendicularum cadat, reipsa vero oblique per eam, quam descripsimus lineam; innüo duntaxat lapidem non sponte moveri, quia movetur vi a manu impressa ex translatione manus a navi, cui una cum malo insistit. Atque id quidem seu manus in fastigio mali consistens lapidem dimittat, seu lapis ex radice mali projectus, ubi pervenerit ad summum, postea recidat; ut proinde intelligas posse vel ex hoc capite motum lapidis decidentis, recidentisve dici violentum. Dices, cum hic obliquus motus mistus, seu compositus fit ex perpendiculari et horizontali; id quidem, quod est ex horizontali, existimari posse violentum, at quod ex perpendiculari, id saltem esse naturale. Nam quod lapis quidem sursum projectus, et nihilominus oblique incedens, secundum utrumque violentus sit, videri perspicuum: quoniam utriusque causa externa, impellensque est, illius nempe ipsa vis navis, huius vero vis manus propria: at quod deorsum dimissus, et oblique nihilominus incedens, secundum (转下页)

在此我不会重新论述以下问题，即当船在运动时，从桅杆顶端松开下落的石块怎么会看起来只是沿着垂直线下落，而实际上它却沿着我们描述过的路线倾斜地运动。我只想说，石块并不是在做自发运动，而是被手赋予它的力所推动，这个力又来源于当手和桅杆随着船一起运动时船对手的推动。因此，在以下两种情形之间不存在任何区别：一是位于桅杆顶端的手松开石块；二是从桅杆脚下向上抛出石块，到达顶端之后又重新下落。这就是为什么石块下降的运动和上升的运动都可被称为“受迫运动”。有人或许会反驳我们说，由于倾斜运动是由垂直运动和水平运动混合或复合而成，它当然可以被认为是受迫运动，但垂直运动却是自然的。事实上，很明显，当石块

308

---

(接上页) *utrumque violentus sit, non posse perinde esse in confesso : quippe horizontalis quidem causa similiter externa, impellensque, vis navis est; sed perpendicularis causa non est perinde vis propria manus. Quare et necesse videri lapidem eo motu moveri ab interno principio : esseque proinde eum motum non violentum, sed naturalem. Attamen id videtur primum consideratione dignum, si ex duobus his motibus, perpendiculari nempe, et horizontali, qui obliquum illum componunt, alter habendus naturalis sit, illum horizontalem potius, quam perpendicularem esse. Id vero patet; quia cum projectum pars fuerit aliqua totius, quod secundum horizontem, seu circulariter movebatur, ideo ad ejus imitationem movetur circulariter, ac naturaliter proinde, et prorsus equabiliter; adeo ut, quantumcumque motus perpendicularis increseat semper, aut decreseat; ipse tamen horizontalis uno semper tenore fluat, invariabiliterque procedat. Ac forte res minus mirabilis esset, de impressione ex motu terrae, si quis vellet ipsam supra axem suum mobilem supponere; siquidem lapis dici posset moveri uniformiter, ob spontaneam consequutionem, ad uniformem motum totius; seu cum eo cohaerens, seu abiunctus foret; Sed mirabile sane est de impressione ex navi, equo, curru, aliave re, aut ex sola manu : quando lapis non habet cum rebus eiusmodi, motibusve earum parem relationem. Ex quo par est existimare, motum horizontalem, a quacumque causa is fiat, ex sua natura perpetuum fore, nisi causa aliqua intervenerit, quae mobile abducat, motumque exturbet. Id, ut minus absurdum habeas, concipiendum est mobile, quod tantundem sese reducat, quantum abductum fuerit. Huiusmodi autem esse potest exquisitus, et uniformis materiae globus, si volvi ipsum imagineris supra horizontem, seu ambitum terrae, quem aliunde esse exquisite complanatum concipias. Si supponas enim te illi vel leviculum imprimere motum; intelliges sane hunc motum nunquam cessaturum, sed globum revolutum iri secundum totum ambitum, ac revolutione peracta revolutum, iterum iri, et consequentur iterum, et ita continuo perseveraturum.”*

向上抛出和倾斜前进时,它所做的两种运动都是受迫运动,因为这两种运动的原因都来源于外部,即船本身的力和手自己的力;至于石块松开向下落并倾斜前进的运动,从其两个组成部分来看,这个运动也是受迫运动,但这一点就并非同样明显。因为,即使水平运动的原因一直是外部的,即船的推动或船的力,但垂直运动的原因就不再是手自己的力了。这就是为什么看起来石块必然是根据某种内在原则在进行以上垂直运动。因此,它的运动不是受迫运动,而是自然运动。然而,看来首先值得注意的是,如果合成倾斜运动的这两种运动(即垂直运动和水平运动)的其中之一应被认为是自然运动,那么与其说这种自然运动是垂直运动,还不如说它是水平运动。因为,既然抛射运动是整个水平运动(即圆周运动)的某个部分,那么它就模仿着其整体的圆周运动,因而抛射体也自然地以及完全匀速地运动着。因此,尽管垂直运动会加速或减速,但水平运动却一直在匀速地进行着,并且不变地持续着。如果涉及的是地球的运动,而且我们假定它正绕自己的轴转动,可能这一点就更加不会令人吃惊。因为人们会说,之所以石块在做匀速运动,是因为它自发地跟随着地球整体的匀速运动,不管它与地球是相互分开还是联结在一起。但是,当涉及由船的航行、由其他某个事物或只是由手赋予石块的运动,无疑就会令人感到惊讶了。因为石块与这些事物,或者与它们的运动并不具有类似的关系。由此就可以正确地得出,无论水平运动产生于什么原因,就其本性来说,它是永恒的,除非有某种原因介入使物体偏离方向,并扰乱它的运动。

309

为了使人信服这一点,只要将运动物体设想为处于这样一种运动之中:即所有可能对这种运动造成偏离和扰乱的原因都已被完全消除。例如,当我们想象将一个十分完美、完全光滑并用同种质料做成的球放置在水平面上,即放在“环绕地球的圆周”之上,球的运动就会是这样一种运动:

假定我们赋予它一个运动,即便是一个最微弱的运动:我们能够理解,这个运动将永远不会停止。当这个球转完一圈后,它就会重新开始转第二圈,如此转完一圈又一圈,它的运动将会无定限地持续下去。

伽桑狄对我们解释说,当一个完美的球在水平面上滚动时,它总是相对于这个水平面保持在相同的位置之中:当球的某一半降低多少,它的另一半就会升高多少。我们知道,这个推理来自库萨的尼古拉。此外,就像在一个水平面上(即在一个球面上,在这种情况下特指地球的表面)运动的所有其他物体一样,这个球相对于地球表面,更确切地说,是相对于地球的中心处于一种特权地位之中<sup>[32]</sup>。

310

此外,它的运动永远没有任何理由加速或减速,因为它永远不会远离也不会靠近地球的中心。它的运动永远不会停止,但是,如果它的表面有些不规则(不均匀)的话,它的运动就会停下来。

我们现在就处在与伽利略相同的境况之中:重物一旦开始运动(对于伽桑狄和伽利略本人来说,所有的物体都是“有重的”),就会保持着它们所获得的运动,只要它们“环绕着某个中心”,或者更确切地说,环绕着地球的中心或一般重物的中心做圆周运动,它们的运动就会是恒定、均匀从而也是永恒的。

正是在这一点上,对开普勒的工作(当然还有对吉尔伯特的工作)的思考使伽桑狄又往前迈进了一步,而且是决定性的一步。因为,对于“重力究竟是什么?”这样的问题,伽利略不得不回答:这是指示某种事

---

[32] *De motu*, c. X, p. 40, 拉丁语原文为:“Accedit, quod nulla sit causa, quamobrem suum cursum vel retardet unquam, vel acceleret, quatenus nunquam magis, vel minus a centro terrae abscedit, aut ad id accedit: neque cur proinde unquam debeat a motu cessare, quemadmodum fieret, si supponeres aliquam in superficie inaequalitatem.”



物的一个名称,但我们还不知道这种事物的本质。然而,伽桑狄并未局限于这样的回答,他不仅确定了重力的正面本质,而且尤其是确定了它的反面本质。重力是一种普通的力,它是一种吸引力,是某种类似于磁力的东西。

当然,也许有人会反驳我们说,伽桑狄这样所取得的进展只是一种假象,通过用“吸引”(attraction)这个名称来代替“重力”(gravité)这个名称,我们并无多大收获,甚至可以说毫无收获。因为对于我们用上述“名称”去指示的事物,我们还是不知道它的本质。从某种观点来看,尤其是从伽利略的观点来看,这种反驳是完全合理的。很明显,伽桑狄就像吉尔伯特、开普勒或我们自己一样,都对上述事物的本质一无所知。为了使

311 我们能够想象这种事物并且理解它的作用,伽桑狄使用了各种形象化的比喻(包括细绳、细链、吊钩、微粒作用等各种不同的比喻),但它们根本不能履行他想要它们承担的职责。然而,给出一个解释,即使只是给出了一个字面的解释,这一事实本身仍被证实极具重要性。

吸引力是一种普通的力,这意味着它是一种外在的力。这种力最终会归结为接触、压、推等作用。对于伽桑狄来说(就如同对于笛卡尔来说),没有一种物质的力不通过接触而发生作用。没有任何物质的力能够超距作用,没有任何物体能在它不在场之处发生作用。没有任何物体能够创造运动,它只能传递运动。伽桑狄对此说得很清楚<sup>[33]</sup>:所有运动都产生于一种推动,并且“当我说推动力时,我并没有排除吸引力。因为吸引不过是通过一种向内弯曲的作用机制朝着自身推动。”这样,重力就丧

---

[33] *De motu*, c. XVII, p. 68, 拉丁语原文为:“Neque vero, cum impulsum dico, attractum non intelligo: quippe cum attrahere nihil aliud sit, quam recurvato instrumento versum se impellere; et perspicuum sit lapidem, globumve memoratum tam impelli uno, pluribusve ictibus posse, si quis ipsum antecedendo curvis digitis adigat, quam si subsequendo devexeris propellat.”关于伽桑狄时代所认识到的吸引问题,可参见 *La Correspondance du R. P. Marin Mersenne*, v. II, pp. 234 sq.

失了它的神秘性,或者说丧失了它在本体论上的特权地位<sup>[34]</sup>。因此,重力所产生的运动也同样失去了它不寻常的特征。“重力在地球本身的部分之中,正如它在地球上的所有物体之中,与其说它是一种内在的力,不如说它是一种由于地球的吸引而赋予物体的力。”怎么理解呢?以下关于磁体的例子就可为我们阐明这一点<sup>[35]</sup>:

取一块几盎司重的小铁片并将它握在手中。如果现在在手的下面放一块很强的磁体,我们将会感到所握的不再是几盎司的重量,而是几磅的重量。正如我们都会同意,与其说这个几磅的重量内在于铁片中,不如说位于下面的磁体的吸引赋予了铁片这个重量。同样

[34] 比较一下卡瓦列里和托里拆利为重力祛魅所用的方式与伽桑狄所用的方式是很有意思的:卡瓦列里和托里拆利将重力变成了一种“量”(grandeur)或“维度”(dimension),伽桑狄则追随开普勒(参见前文第 186 页及以下,第 190 页及以下),将重力变成了一种机械力。

[35] *De motu*, II, c. VIII, p. 116, 拉丁语原文为:“...gravitatem, quae est in ipsis partibus Terrae, terrenisve corporibus, non tam esse vim insitam, quam ex attractu Terrae impressam; idque posse intelligi adjuncto exemplo ipsius magnetis. Accipito enim, et contineto manu laminulam ferri paucarum unciarum. Si supponatur deinde manui magnes aliquis robustissimus, experiere pondus non jam unciarum, sed librarum aliquot esse. Et quia fatebere hoc pondus non tam esse insitum ferro, quam impressum ex attractione magnetis manui suppositi; idcirco ubi agitur de pondere seu gravitate lapidis, alteriusve corporis terreni, intelligi potest ea gravitas non tam convenire huiusmodi corpori ex se, quam ex attractione suppositae Terrae.”众所周知,认为地球的吸引等同于(或者毋宁说,类似于)磁吸引是吉尔伯特著作的基本观念,并被伽利略所接受和分享。参见前文第 258 页及以下。至于开普勒,他为伽利略提供了关于“吸引链条”或“吸引纽带”的观念,参见 *ibid.*, c. XV, p. 61 sq.: “Fit denique, ut si duo lapides, duove globi ex eadem materia veluti ex plumbo, unus pusillus alius ingens, simul dimittantur ex eadem altitudine, eodem momento ad Terram perveniant, ac pusillus, tametsi una uncia ponderosior non sit, non minore velocitate, quam ingens, tametsi sit centum, et plurium librarum. Videlicet pluribus quidem chordulis attrahitur ingens, sed plureis etiam particulas attrahendas habet; adeo ut fiat commensuratio inter vim, ac molem, et ex utraque utrobique tantum sit quantum ad motum sufficit eodum tempore peragendum. Id permirum; si globi fuerint ex diversa materia, ut alter plumbeus, alter ligneus, vix quicquam tardius attingi Terram ab uno, quam ab alio, hoc est a ligneo, quam a plumbeo; quoniam pari modo fit commensuratio, dum totidem particulis totidem chordulae destinantur.”

地,当涉及石块或地球上另外某个物体的重量或重力时,我们就会理解,与其说这个重力来自物体自身,不如说它来自地球的吸引。

312 现在,如果情形的确如上所述,如果一个物体的重力只不过是某种外力所产生的效果,那么,我们就很容易在不必改变我们关于物体自身的观念的情况下,撇开重力不予考虑。或者毋宁说,既然重力只不过是某种外部效果,那么就必须将它从我们关于物体自身的观念中排除出去。因此,我们可以想象一个没有重量的物体,即物体没有受到地球的作用(正是这种作用在物体中产生了重力),想象这一点甚至并不十分困难。因为所有的作用都意味着直接或间接的接触,我们可以取消这种接触;如果这样还不够,那就再取消这种作用的原因本身。

伽桑狄说道<sup>[36]</sup>:

让我们设想一块石头被放进了各种想象的空间之中,这些想象的空间一直延伸到我们这个世界之外,上帝可以在这些空间中创造出另外一些世界。你想想,这块石头会从它形成的地方立即趋向地球吗?一旦把它放在某处,由于它既不会趋向上面或下面,也不会从

---

[36] *De motu*, c. XV, p. 59, 拉丁语原文为:“Concipe certe lapidem in spatiis illis imaginarius, quae sunt protensa ultra hunc mundum, et in quibus posset Deus alios mundos condere; an censeas ipsum illico ubi constitutus illeic fuerit, versus hanc Terram convolaturum, et non potius ubi fuerit semel positus, immotum mansurum, ut puta quasi non habentem neque sursum, neque deorsum, quo tendere, aut unde recedere valeat? Si censeas fore, ut huc feratur; imaginare non modo Terram, verum etiam totum mundum esse in nihilum redactum, spatiaque haec esse perinde inania, ac antequam Deus mundum conderet; tunc saltem, quia centrum non erit, spatiaque omnia erunt similia; censebis lapidem non huc accessurum, sed in loco illo fixum permanurum. Restituatur mundus, et in ipso Terra, an lapis statim huc contendet? Si fieri dicas, oportet sane sentiri Terram a lapide, debereque proinde Terram transmittere in ipsum vim quandam, atque adeo corpuscula, quibus sui sensum illi imprimat, seseque restitutam, ac in eodem loco denuo existentem veluti renunciat. Secus enim quomodo capis posse lapidem allici ad Terram?”

该处离开<sup>[37]</sup>，难道它不会宁愿呆在那儿不动吗？此外，我们还可以更进一步：你还可以想象不仅是地球，而且甚至是整个世界都变成虚无，所有的空间都变成了虚空，就像在创世之前那样。那么，很显然，那时的世界就不会再有中心，而且所有的空间都将是相同的。因此，石块将不会趋向这里，而会在它的位置保持静止。假设地球突然又被恢复成原状，那么石块会发生什么情况呢？石块将会立即趋向地球吗？要做到这一点就必须使地球能被石块感知到。<sup>[38]</sup>

313

事实上，地球将会吸引石块，而为了能做到这一点，必须使地球的某种作用能够到达石块。因此，它们之间就必须有某种接触。因为，

如果包围着我们的某个大气空间被上帝完全变成了虚空，而且无论是地球还是其他地方都没有任何东西能到达那里，那么，放在那里的石头是否还会趋向地球，或者趋向地球的中心呢？毫无疑问，放进世界之外的空间中的石块不会再趋向地球或其中心。因为这块石头不再与地球以及世界上的所有其他事物有任何联系，所发生的一切就像世界、地球或其中心并不存在，就像任何事物都不复存在那样。<sup>[39]</sup>

---

[37] 黑体为我们所加。

[38] 伽桑狄言之有理。此外，这也是特勒西奥(Telesio)和帕特里兹(Patrizzi)所接受的结论。

[39] *De motu impresso a motore translato*, c. XV, p. 60, 拉丁语原文为：“...fac jam certum aliquod a? ris nos ambientis spatium fieri a Deo prorsus inane, adeo ut neque ex Terra, neque aliunde aliquid in ipsum perveniat : an constitutus in eo lapis feretur in Terram, centrumve ipsius ? Certe non magis, quam constitutus in spatiis illis ultra-mundanis; quia ipsi nihil neque cum Terra, neque cum alia re quacumque mundi ipsius communicanti, perinde erit, ac si Mundus Terraque, aut centrum non esset, nihilque rerum existeret ?”

因此,重力不仅只是一种外部现象,它不是物体的本质构成部分,甚至它也只是一种效果,一种我们很容易将它消除的效果。如果我们不能在现实中消除它,我们总可以在想象中消除它:为了使任一物体能避免受到重力作用,只需要将它放在足够远的地方<sup>[40]</sup>,或者将它放进虚空之中。

314

因此,你会问我,我假定我们能设想这块石头正处于虚空之中,如果它被任何一个力推动并离开静止状态,那么它会发生什么情况呢?我的回答是:它可能会永不停止地做一种匀速运动,而且它的运动速度的快慢取决于它已被赋予的冲力的大小。我从水平运动的均一性得出了以上结论的证据,这一点我已在前面阐述过了。其后只是由于垂直运动掺杂进来,我们才会看到它停下来。因此,既然在虚空之中不会有任何垂直运动的掺杂,那么无论这种运动发生在哪一个方向,它都将会类似于水平运动,并且它既不会加快也不会减慢,从而也就永远不会停下来。<sup>[41]</sup>

我们清晰地看到:对于德谟克利特主义者伽桑狄来说,没有什么比一个无限和虚空的宇宙(或者至少是一个空间)更容易想象了。当他在吉尔伯特与开普勒的影响下从重性的困扰中解脱出来,对于伽桑狄来说,没有什么比在这个虚无的空间之中放进一个实在的物体更容易想象了,而且

[40] 伽桑狄像所有人一样,尤其是像吉尔伯特和开普勒一样,将吸引作用设想为一种有限的作用。要将这种有限的作用延伸到无限,我们需要牛顿的天才和大胆。

[41] *De motu*, c. XVI, p. 62 sq., 拉丁语原文为:“Quaeres obiter, quidnam eveniret illi lapidi, quem assumpsi concipi posse in spatiis illis inanibus, si a quiete exturbatus aliqua vi impelleretur? Respondeo probabile esse, fore, ut aequabiliter, indesinenterque moveretur; et lente quidem, celeriterve, prout semel parvus, aut magnus impressus foret impetus. Argumentum vero desumo, ex, aequabilitate illa motus horizontalis iam exposita; cum ille videatur aliunde non desinere nisi ex admistione motus perpendicularis; adeo ut, quia in illis spatiis nulla esset perpendicularis admistio, in quamcumque partem foret motus inceptus, horizontalis instar esset, et neque acceleraretur, retardareturve, neque proinde unquam desineret.”

这个物体将会永恒地沿直线运动，它的运动永远不会加快，也永远不会减慢。

但是，还有一个反驳会继续存在。难道开普勒不是假定了物体本质上就是惯性的，不是假定了它具有一种趋向静止的自然倾向或趋向运动的自然无能吗？无疑，他正是这样假定的。但是，开普勒犯了错误。在没有提及开普勒的情况下，伽桑狄解释说<sup>[42]</sup>：

我想补充的是，那些石块和我们称之为“重物”的其他物体，并不具有反抗我们通常赋予它们的运动的那种阻力。你可以清楚地看到，如果一个很大的重物被悬挂在一根线上，我们应该非常容易将它从它的位置上推开，并使它前后运动。

但是，这还不是全部。伽桑狄曾经深入地研究过伽利略，他知道一个

---

[42] *De motu*, c. XV, p. 60 sq., 拉丁语原文为：“Addo saxa, et caetera corpora, quae dicuntur gravia, non eam habere ad motum resistantiam, quam vulgo concipimus. Vides quippe si ingens moles appendatur funiculo, quam levicula vi fit opus, ut e loco dimoveatur, et, prorsum, retrorsumque eat. Cur maiore ergo opus sit, ut cieri deorsum possit? Nec dicas vero esse majorem, ob motum magis pernicem; etenim cum primum deorsum contendit, motus illius pernix non est, sed lentissimus potius, causaque dicenda mox est, ob quam deinceps acceleretur. Adnoto interea vim illam quae ex chordularum insensilium singularibus viribus conflatur, et constat, comprobari tantam, quantam superari oportet, ut manus, aut res alia gravitatem rem, velut lapidem, abducat a Terra. Et vides profecto quid fieri videatur, dum lapis tibi ipsum e Terra atollere conanti resistit, Nempe tot illae chordulae suis deflexionibus, et quasi decussationibus illum implexum detinent; et, nisi vis major interveniat, quae eas deflexiones, decussationesque promoveat, strictionesque fieri ulterius cogat, nunquam a Terra lapis tolletur. Heinc fit, ut quanto vis externa, seu quae a monu, aliave re extrinsecus imprimitur, pluribus gradibus vim illam chordularum superaverit, tanto lapis efferatur sublimius; quanto paucioribus, tanto humilius. Fit etiam, ut impressa vis initio pollens vehementer pellat, quia nondum refracta est; deinceps vero segnius, segniusque, quoniam ipsi semper aliqui gradus adimuntur: donec ille solus supersit, quo exaequetur vi chordularum.”

摆的运动是等时的。因此,他补充说道<sup>[43]</sup>:

315

一旦我们将运动赋予一块悬挂着的石头,它就会以最恒定的方式保持着这个运动,也就是说,它不仅会在相等的时间内,而且会通过相同的弧线来持续地完成所有的摆动,难道你没有看到这一点吗?现在,所有这些都只是帮助我们了解以下这一点:由于在虚空之中既没有吸引也没有排斥,也不存在任何方式的阻碍,当一个运动被赋予运动物体时,这个运动将会是匀速和永恒的。这就使得我们可以推知,就其本身而言,被赋予石块的所有运动都有这种本质。因此,当你往某个方向抛出一个石块,如果你假定在石块被手抛出的那一刻,石块之外的一切事物都已被完全化为乌有,那么石块将会朝着你的手将它抛出的那个方向永恒持续地运动下去。之所以它(实际上)并不这样运动,很显然,这是由于有垂直运动的掺杂。这种垂直运动由于地球的吸引而产生,正是这种吸引使得石块偏离了原来的运动路线(而且它将把石块一直带回到地球上),正如靠近磁体的铁屑也不会做直线运动,而总会朝着磁体偏转。

---

[43] *De motu*, c. XVI, p. 65 sq., 拉丁语原文为:“An non capis fore ut lapis appensus impressum semel motum constantissime tueatur; scilicet omneis vibrationes non aequalibus modo temporibus peragens, sed aequalibus etiam arcubus continuo perficiens? Haec porro omnia alio non tendunt, quam ut intelligamus motum perspatium inane impressum, ubi nihil neque attrahit, neque omnino renititur, aequabilem fore, ac perpetuum; atque exinde colligamus, omnem prorsus motum, qui lapidi imprimitur esse ex se huiusmodi; adeo ut in quamcumque partem lapidem conjeceris, si quo momento a manu emittitur, supponas omnia vi divina, lapide excepto, in nihilum redigi; eventurum sit, ut lapis motum suum perpetuo, ac in eadem partem, in quam manus ipsum direxerit, moveatur. Nisi iam faciat, causam videri admistionem motus perpendicularis, ob attractionem a terra factam intervenientis, quae divergere illum a tramite faciat (neque cesset, quousque ipsum ad Terram usque perduxerit) ut dum ramenta ferri prope magnetem transiecta non recta pergunt, sed versus magnetem divertuntur; aut dum universe rei, quae movetur, oblique occurrimus, ipsamque in obliquam deflectimus plagam.”

因此,之所以物体会下落,之所以它们的运动轨迹会弯曲,这是因为它们受到了外部的影响。我们完全有理由认为,就其自身而言,所有的运动都应该是直线运动,而且所有的运动都应该永恒持续下去。<sup>[44]</sup>

最后一个反驳是:这种运动难道不是某种比静止包含更多内容的东西吗?必须有“力”才能产生和维持运动,难道不是这样吗?当我抛出一个运动物体时,我们就显示出了一种力。这种我们赋予物体的力(即冲力),难道不应该被耗尽吗?绝对不会,因为根本不需要向物体施加一个力来维持这个运动。因此,推动者并没有这样做<sup>[45]</sup>:“推动者所赋予运动物体的唯有运动。我认为当物体与推动者相接触时,它所获得的正是这种被赋予它的运动,而且如果这种运动不被某种相反的运动所削弱,它就会一直持续下去,并成为一种永恒的运动。”因此,运动完全能够自行保持下去。

316

伽桑狄继续对我们说<sup>[46]</sup>:

[44] *De motu*, cap. XII, p. 46, 拉丁语原文为:“praeter causam impellentem, videtur esse necessarium ad attrahentem recurrere, quae id muneris exsequatur. Ceterum, haec vis quatenus alia sit, quam qui totius globi Telluris propria sit, et magnetica dici possit?”

[45] *Ibid.*, c. XIX, p. 75 sq., 拉丁语原文为:“...[mobili] a movente nihil imprimi aliud quam motum... Imprimi, inquam, qualem movens habet, donec mobile est ipsi conjunctum, et qualis continuandus esset, futurisque perpetuus, nisi a motu aliquo adverso labefactaretur.”

[46] *Ibid.*, c. XIX, p. 74, 拉丁语原文为:“Unum addo; nempe licere ex istis intelligi, quid sentiendum sit de difficultate vulgo excitata circa vim impressam projectilibus. Requiritur quippe quidnam haec vis sit in re mobili? quomodo in ea imprimatur? quomodo perduret? quomodo evanescat? Enim vero, cum haberi soleat ut vis activa lapidem movens; videtur tamen vis activa, quae projectionis causa est, esse in ipso projiciente non vero in projecta re, quae mere passive se habet. Id quod in re projecta est, motus est, qui licet interdum nominetur vis, impetus etc. (ut etiam aliquoties a nobis factitatum est, dum, ut facilius intelligamur, familiares voces, quantum possumus, retinemus) non propterea tamen aliud quidpiam est re ipsa, quam ipsemet motus. Et sane unus, idemque motus, vel per Aristotelem, actio simul et passio est; actio prout est a movente, passio, prout in mobili; quare ut in movente est vis activa, qua moveatur, ita in mobili vis passiva, qua moveatur; et dum mobile re ipsa movetur, non in eo querenda est vis activa, quae in movente solo necessaria fuit, sed passiva solum, quae in eo est, et redacta(转下页)



317

我还想补充一点,即由此我们就会理解,对于人们就这种赋予抛射体的力通常会提出的困难,我们应该想些什么。事实上,我们会这样问:这个力在运动物体中做了什么?它是怎样被赋予物体的?它是如何持续,又是如何消失的?现在,我们通常将它视为一种能推动石块的主动的力。然而,这种作为抛射因的主动的力却在抛射者自身之中,而绝不在被抛射的物体之中,后者是纯粹被动的。被抛射物体所拥有的只是运动,尽管这种运动有时被称为“力”、“冲力”等等(正如我们自己也曾经这样做过,即为了使我们更容易被理解,我们也总是尽可能保留那些熟悉的名称),但实际上所指的仅仅是运动本身。当然,按照亚里士多德的观点,同一个运动既是一种作用(action),同时又是一种承受(passion)。就其在推动者之中而言,它是一种作用;就其在运动物体之中而言,它又是一种承受。因为在推动者之中它是赖以推动物体的一种主动的力。当物体运动时,我们就不应该在物体中寻找一种主动的力,这种主动的力只会处于推动者之中,而只能寻找一种承受的力。正如我们已经说过,这种承受的力就在运动物体之中,并一直在发挥作用。现在,即使推动者被分开甚至完全消失,也没有什么会阻碍已获得的运动永久持续下去。因为除了运动之外,我们不会要求推动者将一种力传递给运动物体,以便这种力随后产生一种运动。只要推动者在物体中产生一种运动,这种运动在没有推动者的情况下仍然能够持续下去,这就足够了。现在,只要运动有一个可永久持续的主体,并且没有任何阻碍运动的事

---

(接上页) quidem, ut vocant, ad actum. Neque obstat, quod movens separatum sit, aut interissee etiam, constante motu accepto, possit; nam non propterea requiritur, ut aliam, praeter motum, vim a seipso transmiserit, quae motum deinceps efficiat; sed sufficit ut motum semel in mobili fecerit, qui continuari absque ipso possit. Potest autem; quoniam est ejus naturae accidens, ut modo subjectum perseverans habeat, neque contrarium quidpiam occurrat; perseverare absque continua causae suae actione valeat.”

情发生,它就完全能够自行持续下去,因为这是它的自然属性。即使在没有任何原因持续作用的情况下,它也可以自行持续下去。

当然,此刻我们距离笛卡尔的清晰性和形而上学深刻性还相当遥远。但是,我们已经同样地远离了伽利略的犹豫不决与开普勒的种种错误。对于冲力观念的自觉消除,拥有一个关于重性的理论,以及对空间进行了决定性的几何化,这些都使得伽桑狄最终能够突破某些界限,而这些界限曾经阻碍了伽利略和开普勒这两颗伟大的心灵。

## 二、笛卡尔

318

### 1. 《论世界》(*Le Monde*)

现在,让我们转向笛卡尔,转向 1630 年以后的笛卡尔。让我们来看一看他的《论世界》。

当人们从伽利略转到笛卡尔,从《关于两大世界体系的对话》转到《论世界》(就像我们现在将要做的),人们将会体验到一种十分奇特的感觉,我们可以(无疑是十分勉强地)将这种感觉概括地表述为:精神氛围突然发生了改变。

辩论和论战的时代似乎已距离我们非常遥远。对于笛卡尔来说,问题已完全不再是辩论地心天文学的支持者们提出的论据(尽管一直有人在重复这些论据,甚至不断重提它们):在笛卡尔的著作中,哥白尼学说作为唯一可能的观念被冷静和如实地进行了详细的叙述和展示。从此以后,所有的讨论都已不再是必要的了。

问题也不再是批评亚里士多德的物理学,不再是分析它的基础、缺点

和矛盾之处：偶尔取笑一下原初质料，取笑一下哲学家们的想象的空间<sup>[47]</sup>就已经足够了。对于笛卡尔来说，传统物理学已经死亡，甚至早已被埋葬。人们已不再关注它。人们需要做的，而且也是笛卡尔一心尝试去做的，就是去替换它，去建立和发展一门新物理学（一种真正的物理学），并且向我们描绘一种新的世界图景，尤其是要阐述一种新的物质观念以及一种新的运动观念。

问题是要建立或重建这个世界，并且要用先验的方法来推进和完成这项工作，即要从原因下降到结果，而不是从结果上升到原因。

没有什么会比笛卡尔所用的文学虚构能更好地显示他面对传统理论  
319 时所表现出的淡漠：他告诉我们，他试图向我们描绘的并不是我们这个世界，而是一个完全不同的世界，一个由上帝在想象的空间中某处（离我们无限远的某处）所创造的世界，一个也可以说是由我们自行创造的世界。因此，笛卡尔试图向我们解释的并不是关于我们这个世界的定律。恰恰相反，他试图为我们推导出另一个世界的定律，上帝将这些定律强加给了自然。多亏有了这些定律，上帝才会在另一个世界中创造出了各种物体及其全部的差别和多样性。<sup>[48]</sup>

刚才我们说过，上述说法只是一种文学虚构，只是笛卡尔所开的一个玩笑而已。这一点毫无疑问。因为，事实上笛卡尔试图为我们重建的正是我们这个世界。然而，这个玩笑却为我们揭示出了一种笛卡尔的特有态度：实际上，他所研究的并不是我们这个世界。他没有追问（就像伽利略曾经追问的那样）：自然实际上遵循了什么样的作用方式？他所追问的问题有一点不同，我们可以说，他所追问的是：自然应该遵循什么样的作用方式？所谓自然定律，就是那些适用于自然的定律，是自然不可能不遵

[47] 参见 Descartes, *Le Monde ou Traité de la Lumière*, A. T., v. XI, pp. 32, 33, 35.

[48] *Le Monde*, p. 33, 34. 另参见 *Discours de la Méthode*, A. T., v. VI, p. 72 sq. 达尼埃尔神父(Père Daniel)在他那本非常风趣的《笛卡尔世界漫游记》(*Voyage du Monde de M. Descartes*, Paris, 1690)中,将笛卡尔的这个玩笑用到了笛卡尔自己身上。

循的各种法则。因为正是这些法则本身构成了自然。

笛卡尔的宇宙由极少的事物构造而成,这一点我们已经过于耳熟能详。构成他的宇宙的只有物质和运动;或者更确切地说,只有广延和运动(因为笛卡尔的同质和均一的物质只不过是广延);再进一步确切地说,只有空间与运动(因为笛卡尔的广延是彻底几何化的)。众所周知,笛卡尔的宇宙是几何学的实在化。

在笛卡尔的宇宙中,最重要的定律是持续性定律。存在者(ce qui est)持续存在。上帝将他所创造的事物保持在存在(être)之中。笛卡尔宇宙的两种实在:空间与运动,一旦被创造出来就会永恒持续下去。空间不会发生变化,这一点是自明的。但是,运动也不会变化。一旦运动被上帝放进世界之中,至少运动的量既不会增加,也不会减少。运动量保持恒定不变。这就意味着在笛卡尔的世界中,运动具有其自身的实在性。它由上帝所创造,它甚至在事物之前就已被创造出来。因为多亏有了运动,事物才能存在。可以说,正是运动才使得事物从广延或空间的同质整体中凸显出来。因此,只有在世界中存在运动,甚至预先存在运动的前提下,事物才可能存在。

320

但是,这是形而上学的问题,笛卡尔目前还不愿涉及形而上学。我们可以说,笛卡尔把他的世界看成已处于形成的晚期阶段。世界中已经有了事物,而且在这些事物中也已有了运动。对于我们来说,这就应该足够了。因此,他对我们说<sup>[49]</sup>:

我不会停下来去探究它们运动的原因:因为我只要考虑到以下这一点就够了,即世界刚刚开始形成时,它们就已经开始运动了。假定了这一点之后,我通过我的推理发现,它们的运动永远不可能停

---

[49] *Le Monde*, p. 11 sq.

止。即使这些运动会发生改变,也不过是转换拥有它们的主体。也就是说,如果某种动质或力量汇集在某个运动物体中,并使得这个物体能够自行运动,那么这种动质或力量完全可以将其全部或部分传递给另一个物体。这样一来,尽管这种动质或力量已不再存在于第一个物体之中,但它却不可能完全不存在于世界之中。在这一点上我的推理让我感到相当满意。但是,我还没有机会把这些推理告诉您。然而,如果您愿意,您可以像大部分经院学者(les Doctes)那样去想象,存在着某种原初推动者(Premier Mobile),它以一种不可思议的速度围绕着世界转动,它是世界中存在的所有其他运动的根源与源泉。

然而,这种被移入笛卡尔的新世界的“原初推动者”在其中所起的作用与它在亚里士多德的世界中所起的作用十分不同。如果人们希望它这样做的话,我们也完全可以将它称为这个世界中所有运动的源泉与根源。但是,它的作用也仅限于此,运动一旦被产生出来,就不再需要它了。因为这个原初推动者不需要维持运动(这一点正是本质的区别所在)。运动在不需要“推动者”的情况下就可以自动维持和自行保持,我们清楚地知道,这一点与亚里士多德的本体论完全相反。运动能从一个主体传递给另一个主体,它“转换”着主体。正是由于运动,物体才具有了自行运动的动质和力量。<sup>[50]</sup>

这种奇特的实体是什么呢?它的本体论地位如何?很显然,它不是

---

[50] 参见本书第二部分:“落体定律”,前文第131页及以下。另参见 *Lettre à Mersenne* du 28 octobre 1650, A. T., v. III, p. 213:“他正确地指出,当人们将‘没有物体会自行运动’设定为原理时,人们就大错特错了。因为可以肯定的是,只有当一个物体开始运动之后,它自身才会有力量继续运动下去,正如只有当它在某处停止运动之后,它才会有力量在那儿继续保持静止。”

一种“哲学家们”<sup>[51]</sup>的运动。那么,确切地说,哲学家们的运动究竟是什么呢? 321

哲学家们也假定了许多种运动,他们认为物体不用改变位置也能实现这些运动。他们将这些运动称为“形式的运动”、“热的运动”、“量的运动”(Motus ad formam, motus ad calorem, motus ad quantitatem)等等,这样的运动还有上千种之多。而在我看来,我不知道还有哪一种运动会比几何学家们的那些线更容易构想:它使物体从一个位置移动到另一个位置,并连续占据这两个位置之间的所有空间。<sup>[52]</sup>

我们可以这样认为,哲学家们假定有许多种运动,与此相反,笛卡尔只假定了唯一的一种:哲学家们将这种运动称为“位置运动”。但是,我们也不要太相信表面现象。事实上,甚至就位置运动来说<sup>[53]</sup>,哲学家们也承认他们对它的本性

……了解甚少;为了通过某种方式使之变得可理解,他们不知道还有什么方式会比以下这些术语能将运动解释得更清楚:运动是“潜能的存在”作为“潜在者”的实现(Motus est actus entis in potentia, prout in potentia est),这些术语在我看来是如此晦涩难懂,以致我不得不将原文留在这里,因为我不知道该如何解释它们。(事实上,这些词语:运动是“潜能的存在”作为“潜在者”的实现[le mouvement est l'acte d'un Estre en puissance, entant qu'il est en puissance],

[51] 这里的“哲学家们”特指中世纪的经院哲学家们,下同。——译者。

[52] *Le Monde*, p. 39.

[53] *Ibid.*

在译成法语之后也并没有变得更清晰。)但与此相反,我在此想说的这种运动,它的本质却是如此容易理解,以致那些几何学家(在所有人当中,他们最擅长于清晰地构想他们所研究的事物)也断定上述运动的本质比他们的面和线的本质更简单,也更容易理解:正如他们所说,他们已经用一个点的运动来解释线,并用一条线的运动来解释面。

因此,笛卡尔的运动是最简单和最容易理解的事物,它作为一种纯粹可理解的本质,无论在推理的顺序上还是在事物的顺序上,都出现在所有其他的物质本质之前,甚至出现在空间形式之前,这种运动是几何学家的运动。让我们牢记这一点,正如我们马上就会看到,这一点十分重要。

但是,且让我们继续深入研究。我们刚刚看到了,哲学家们(错误地)区分了许多种不同的运动,但对于位置运动这种笛卡尔认为是唯一真实的运动,他们并未认识它的本质。他们认为运动本质上是从一个状态到另一个状态的过渡,是一种过程。正是由于这个原因,他们拒绝赋予运动一种存在的等级(*degré d'être*),而把这种存在的等级赋予各种性质和状态(样式)。但是,另一方面,他们又在运动中看到了某种潜能的现实化,一种从虚无到存在的过渡,为此他们又赋予运动一种比它的对立面(静止,即运动的缺失)更高的存在等级或实在等级。

因此<sup>[54]</sup>,

他们完全没有像对待静止那样来赋予运动一种更可靠和真实的存在,他们说,运动只是某种存在的匮乏。而我认为,静止和运动是两种不同的性质;当物质呆在同一位置时,我们就应该赋予它“静止”这种性质;而当物质变动其位置时,我们就应该赋予它“运动”这种性质。

---

[54] *Le Monde*, p. 40.

因此,笛卡尔的运动绝不是一种过程,而是一种性质或一种状态。笛卡尔明确地赋予运动和静止完全相同的本体论地位(这一点极其重要,我们稍后还会回来论述这一点<sup>[55]</sup>),这充分解释了为什么在笛卡尔构造的新世界中,运动的维持和无定限延续不再需要原因,就像静止在旧世界中的维持和延续并不需要原因。

然而,笛卡尔继续说道(请原谅我们如此大篇幅地引述大家都知道,或者至少应该知道的文本;但是,重读笛卡尔从来不会是毫无益处的,况且这些文本的内涵又是如此丰富,思想是如此厚重,以至于人们对它们的解读从未停止过):

最后,他们所说的运动具有一种如此奇怪的本性,以至于尽管所有其他事物都以完善为其终点,并只会竭力自我保持,但运动除了趋向静止之外却没有其他的终点和目标;而且运动力图自我毁灭,这违反了所有的自然定律。<sup>[56]</sup>相反,我所假定的运动则遵循着物质中所有的倾向与性质都普遍遵循的相同定律;经院学者们将这些倾向与性质称为“基于事物的理性的各种存在与样式”(Modos et entia rationis cum fundamento in re),并将它们视为“实在的性质”(Qualitates reales),我坦率地承认,与其他性质相比,我在这些“实在的性质”中并没有发现更多的实在性。

323

运动就像静止一样是一种状态。它也像静止一样遵循自然的普遍定

---

[55] 参见本书第二部分:“落体定律”,前文第130页及以下;另参见第三部分,前文第163页及以下。

[56] *Le Monde*, p. 40. 另参见本书第一部分,前文第39—41页。笛卡尔误解了经院哲学的运动学说:趋向静止的是运动物体而不是运动,这是完全不同的两回事。但是,笛卡尔的误解却显示了:笛卡尔并没有真正理解哲学家们的运动。



律,也就是说,遵循上帝已为它建立的关于持续和守恒的定律。

因此<sup>[57]</sup>,

无需进行更多的形而上学思考,我就可以确认那些主要法则之中的两三条,我们必须认为是上帝让自然按照这些法则来行动……

第一条法则是:物质的每一部分总会继续保持其原有的状态,只要它与其他部分的碰撞没有迫使它改变自己的状态。也就是说:如果它具有一定的体积,除非它被其他部分所分割,否则这个体积就永远不会缩小;如果它是圆的或方的,除非它受到其他部分的强迫,否则它将永远不会改变自己的形状;如果它停留在某个位置,除非它受到其他部分的驱赶,否则它将永远不会离开这个位置;一旦它已经开始运动,它就总会以一个同样的力保持其运动,直到其他部分使它减慢或停止运动。

我们清楚地看到,所有的变化都需要一个原因。此外,对于笛卡尔来说,由于他已经从自然中清除了传统物理学的所有形式(性质或力),所有的变化都需要一个外部的原因(对此亚里士多德会说:没错,所有的运动都需要一个推动者)。因此,没有任何物体能够自发变化或自行改变。物体不可能自发地改变其状态,它尤其不可能自行开始运动。<sup>[58]</sup> 但是,一旦它已经在运动,它就会一直保持其运动。它不会自行停止运动,因为运动已不再是一种变化。当然,运动物体会改变其位置;但是,在笛卡尔的世界中,这还是一种变化吗?<sup>[59]</sup>

---

[57] *Le Monde*, p. 38.

[58] 因此,笛卡尔的上帝不得不通过其意志的特殊活动来创造运动。对于笛卡尔的上帝来说,仅仅创造出物质是不够的。

[59] 参见 E. Meyerson, *Identité et Réalité*<sup>3</sup>, p. 123 sq.

关于大小、形状、静止和上千种其他类似的事物，没有人不相信这些事物在旧世界中也遵守这条法则。但是，哲学家们却将运动排除在外，而它却是最明确地希望这条规则能涵盖的事物。不要认为只是由于这一点我就试图反驳他们：他们所说的运动跟我所设想的运动有着如此巨大的差别，以致很容易发生这样的情况，即在一方看来是正确的东西，在另一方看来并不正确。<sup>[60]</sup>

324

我们之前已经说过，并且此刻我们也只能重复以下观点<sup>[61]</sup>：“笛卡尔是完全有道理的：他的‘运动—状态’(mouvement-état)(即经典物理学的运动)与亚里士多德以及经院哲学的‘运动—过程’(mouvement-processus)不再有任何共同之处。正是由于这个原因，它们在本质上服从完全不同的定律：当运动物体处于亚里士多德的秩序井然的宇宙(Cosmos)之中时，‘运动—过程’显而易见需要一个维持它的原因；而当运动物体处于笛卡尔的‘广延世界’(Monde-étendue)之中时，‘运动—状态’显然能够自行维持，并在笛卡尔哲学在它面前打开的完全几何化的无限空间之中沿着直线无定限地持续下去。”

但是，我们的结论也别下得太快了。我们还没有(远远没有)穷尽笛卡尔的运动的独特本质。

我们已经说过，运动是一种状态。但是，除此之外它也是(而且首先是)一种“量”。在世界中存在的运动具有一个确定的量。每一个运动中的物体都拥有某个量的运动，而且这个量是完全确定的。现在，在所有的作用中，即在运动从一个物体到另一个物体的所有“传递”中，或者用笛卡尔的话来说，每次当运动转换它的主体时(这种转换只有通过碰撞或接触

---

[60] *Le Monde*, p. 38.

[61] 参见本书第二部分：“落体定律”，前文第 131 页及以下。

才能发生),它都遵循以下法则<sup>[62]</sup>:

当一个物体推动另一个物体时,如果推动者自身不失去一定量的运动,它就不可能同时将等量的运动给予被推动者;如果被推动者自身不增加等量的运动,它就不可能从推动者处获取这些运动。这条法则与前一条法则一起,两者与所有的经验符合得相当好。在这些经验中我们看到了,之所以一个物体开始或停止运动,是因为它受到了另外某个物体的推动或阻碍。因为,在设定了前一条法则之后,我们就避免了经院学者们在试图解释以下事实时所碰到的困难,即当一块石头在离开抛射者的手之后,为什么它还会继续运动一段时间:因为毋宁说,人们应该问的是,为什么它没有一直运动下去呢?但是,这个原因就很容易理解。因为有谁会否认石块在其中运动的空气会对它产生某些阻碍呢?

这样一来,对于那个曾如此困扰那些经院学者,并且让他们费了如许笔墨的古老问题:“抛射体被什么东西所推动?”(*A quo moveantur projecta?*),现在就获得了一个极其简单和结论性的解答:抛射体被运动、被自身所推动,或者毋宁说,它无需推动(*a motu, ou a seipso, si l'on préfère, a nihilo*),因为抛射体运动的持续性已经蕴涵在“它们在运动”这一事实本身之中。上述解答为我们揭示了,这个如此著名的问题纯粹是一个虚假问题,一个被错误地提出的问题。由此立即可得出,如果消除了所有的外部阻碍(如空气阻碍,等等),运动物体就会一直保持其运动,这个运动既不会停止,甚至永不会减慢。

然而,我们需要注意的一点是,阻碍一个物体的运动,就意味着接受(或者毋宁说,吸收)它的运动。除非一个物体向另一物体让出(部分或全

---

[62] *Le Monde*, p. 41.

部)运动,否则它就不会停止运动,甚至也不会减慢运动。运动(也就是说,运动的量)在世界中是恒定的。因此<sup>[63]</sup>,

如果一个人无法根据我们的第二条法则来解释阻碍的效果,如果他认为(正如他一开始就相信的那样),一个物体的阻碍能力越大,它就越能使其他物体的运动停止,那么他就会在解释以下问题时再次碰到巨大的困难,即当一块石头碰到一个只具有一般阻碍能力的柔软物体时,为什么它的运动会比当它碰到一个有点坚硬而阻碍能力更大的物体时还要减少得更多呢?类似的问题还有:一旦石块多用一点力去碰撞这个有点坚硬的物体,为什么它就会立即倒转运动方向,而不是因此而停止或中断它的运动呢?相反,如果我们设定了上述法则,那么在这里就完全不会碰到任何困难:因为这条法则告诉我们,当一个物体被另一个物体碰撞之后,其运动的减慢并非与后者对前者的阻碍成正比,而只与后者的阻碍被前者的运动所克服的部分成正比,并且通过后者屈服于运动,后者自身就接受了前者所失去的运动力。

这一点非常深刻,也十分巧妙。顺便提一下,笛卡尔的观念使得他能够解释静止物体阻碍运动的现象:这样的物体根本不阻碍运动,它只是吸收运动并从推动它的物体获取运动(这种现象曾经使开普勒大为困惑,尽管他误解了这种现象,但它还是导致开普勒提出了物质的“惯性”概念<sup>[64]</sup>,这种惯性对物质来说是内在和基本的)。正如我们以下将会看到,不管怎样,上述观念还使得笛卡尔能够解释碰撞之后的反弹现象,而且这

---

[63] *Le Monde*, p. 41.

[64] 参见前文第 200 页及以下。

一点是在一种没有给弹性留下任何位置的物理学中做到的。<sup>〔65〕</sup>

但是,且让我们回到我们刚刚引述过的这段文本。笛卡尔在此似乎想通过诉诸经验来论证他的观念。然而,我们在这一点上不要搞错了:笛卡尔非常清楚地知道,经验(至少是日常经验或原始经验)不能被我们用来建立物理学的真正基础。恰恰相反,经验向我们显示了物体根本不是无定限地延续其运动,而是刚一抛出就停止了运动,经验只会助长我们的偏见。不是经验,而是理性向我们揭示了真理,因为<sup>〔66〕</sup>

尽管我们的感官在真实世界中体验过的所有事物似乎都明显违背这两条法则所包含的内容,但在我看来,教导我这些法则的理性是如此强大,以致我不得不认为,我必须在我正向您描述的这个新世界中设定这些法则。因为,尽管人们总是希望能随意选择,但是,如果要把真理建立在某种基础之上,人们还能找到什么样的基础会比把上帝的不变性和确定性本身作为基础更为坚实稳固呢?

对于笛卡尔来说,只有上帝的不变性才能作为守恒定律的形而上学基础,这一点我们已经太过熟悉了。因此,笛卡尔继续说道<sup>〔67〕</sup>:

现在,这两条法则明显来自于这样一个事实,即:上帝是永恒不变的,他总是以同样的方式发生作用,并且总是产生同样的效果。因为,如果假定他在所有的一般物质中放进了某个特定量的运动,那

---

〔65〕 笛卡尔的物理学只承认刚性物体的存在,而这一点却使碰撞变得不可能。因此,尽管惠更斯是一个彻底的笛卡尔主义者,但他还是发现自己不得不假定弹性。而这样一来,他就背叛了笛卡尔。关于惠更斯的物理学,参见穆仪在以下著作中所引用的文献:P. Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, Paris, 1934.

〔66〕 *Le Monde*, p. 43.

〔67〕 *Ibid.*

么,从他创造出运动的第一个瞬间开始,必须承认他总是在世界中保持着等量的运动,否则我们就是不承认他总是以同样的方式发生作用。同时,我们还假定从第一个瞬间开始,上述运动已经不均匀地分布于各种物质之中,这些物质的不同部分或者已经开始保持运动,或者正根据各自拥有的运动力从一个部分向另一个部分传递运动。我们应该认为,上帝必定一直在让它们继续做着同样的事情。以上就是这两条法则所包含的内容。

因此,运动守恒。但是,什么样的运动守恒呢?毕克曼无疑接受了直线运动的守恒性,但他同时也接受了圆周运动的守恒性。<sup>[68]</sup>笛卡尔是从毕克曼那里得知了这个基本定律<sup>[69]</sup>(那时,他和毕克曼一样都不认为这个定律必须依赖于上帝的不变性)。此外,毕克曼以及随后的笛卡尔都认为,运动守恒定律只是针对在虚空中的运动才能成立。然而,在写《论世界》的时候,笛卡尔已不再承认虚空的存在,甚至也不再承认虚空存在的可能性(而虚空是直线运动可能发生的唯一地方)。但是,从此以后他又将运动守恒定律局限于直线运动。因此,令人不解的是,当笛卡尔提出惯性原理时,他刚刚建立的物理学基础却使得这个原理的实现变得完全不可能。当然,笛卡尔完全清楚这一点。因此,他告诉我们,问题所涉及的并不是物体的实际运动或真实运动,而是它们的运动“作用”或运动“倾向”(inclination)。

我将补充第三条法则:正如前面已经说过<sup>[70]</sup>,当一个物体在运动时,尽管它的运动通常总是沿着曲线进行,而且一般说来总是沿着

---

[68] 参见本书第二部分第 70 号注释。

[69] 参见本书第二部分,前文第 107 页及以下。另参见 *Correspondance du R. P. Marin Mersenne*, vol. II, p. 600 sq., Paris, 1936.

[70] 参见 *Le Monde*, pp. 19-20.

某种形式的圆周进行,不过,它的每一特定部分却总是倾向于沿直线继续其运动。因此,它们的作用,即它们所具有的运动倾向有别于它们的运动。<sup>[71]</sup>

那么,笛卡尔宣称有别于物体的运动本身的“作用”或运动“倾向”又是什么呢?它有可能是一种内在的力,一种“冲力”吗?绝对不是。这种“作用”或运动“倾向”只可能是运动本身,是能够保持和延续、能够从一个主体传递给另一个主体的运动。这是一种运动状态,笛卡尔相当合理地将它与已完成或已结束的运动做出了区分,这种已完成的运动包含着一种已实现的实际位移,一种处所(place)或位置(lieu)的变化。我们刚刚说过,这是一种运动状态。这种运动状态一方面延续着,另一方面却又只能在某一瞬间存在,笛卡尔以前曾将其称为“运动点”(point de mouvement)或运动“元素”(moment)。<sup>[72]</sup>正是这种点状的运动(运动的微分)总是朝着直线方向<sup>[73]</sup>:

例如,如果让一个轮子绕着它的轴转动,尽管它的所有部分都在做圆周运动(因为它们相互连接在一起,所以不可能做其他运动),然而,它们的倾向却是沿着直线运动,就像如果偶然有某个部分脱离其他部分时,这个倾向就会清晰地显示出来。因为一旦这个部分处于自由状态时,它就会停止做圆周运动,并沿直线继续其运动。

让我们回忆一下伽利略的那些冗长论证(为了显示离心力是一种切向力,伽利略曾经使用过这些论证)<sup>[74]</sup>,并将它们与笛卡尔的以下简要评

[71] *Le Monde*, p. 43.

[72] 参见本书第二部分第 80 号注释以及第 93 号注释。

[73] *Le Monde*, p. 44.

[74] 参见前文第 265 页及以下。

论相比较(笛卡尔认为这些评论已足够了)<sup>[75]</sup>：

同样地,当我们让一块石头在投石器中转动,不仅它一离开投石器就会笔直朝前运动,而且在它处于其中的所有时间里,它也一直压着投石器的中间,并使绳子拉紧:由此显然可以表明,……石块只是由于被迫才沿着圆周运动。

我们应该再一次为引述和强调这些内容向读者道歉。但是,我们认为,为了让我们能感受到这些内容与伽利略的(完全同时代的)著作之间的差别,这样做完全是必要的。在上述引文中,上千年来圆周运动所具有的特权地位从未被如此坚决、如此干脆地否定过。<sup>[76]</sup>

这条法则与另外两条法则一起建立在同样的基础之上,而且只依赖于上帝以一个持续作用来保持每一个事物这一事实。因此,上帝并没有依照某段时间之前事物曾经之所是来保持这个事物,而是精确地依照它被保持的同一时刻事物之所是来保持它。而在所有的运动之中,**只有直线运动是完全简单的,而且我们在一瞬间就可把握它的全部本质。**<sup>[77]</sup> 因为,为了构想直线运动,我们只要想象一个物体正朝着某个方向运动就可以了;在物体运动的过程之中,我们在任意给定的每一瞬间都可以发现这种情形。相反,如果我们要构想圆周运动,或者任何可能发生的其他运动,那么,我们必须至少考虑其

329

---

[75] *Le Monde*, p. 44.

[76] *Ibid.*

[77] 黑体为我们所加。



让我们在此停顿片刻。在我们看来，我们刚刚引述的这段文本至关重要。我们相信，它使得我们能够理解为什么笛卡尔能在伽利略曾经失败之处获得了成功；换句话说，使我们能够理解为什么笛卡尔终于成功表述出了惯性原理。正如我们已经看到，伽利略没有做到这一点，而且也不可能做到。

无疑，最终的原因就在于笛卡尔思想的激进特征。他严格地实施了“试金者”<sup>[78]</sup>已为我们勾勒出的计划，并通过从物体的构成中排除所有超出其本质构成之外的内容来将实在还原为数学（或几何学）。排除所有内容，这意味着也排除了重性，而且重性尤其在被排除之列。我们已经说过，伽利略提出的问题是：自然实际上是如何运作的？笛卡尔的问题是：自然应该如何构成及如何行动？与其说伽利略是一位几何学家，不如说他更是一位物理学家，若非如此，那么他至少同样是一位物理学家。他在现象前面却步，在实在面前屈服。笛卡尔则首先是一位数学家，他拒绝承认现象。因此，伽利略告诉我们<sup>[79]</sup>，他并不想知道上帝是否能够创造出一个无限的世界；只要知道实际上上帝并没有这样做就足够了。相反，笛卡尔向我们解释说，上帝不可能不把世界创造成无限的，只因为空间的有限性是荒谬的。

其实，这些讨论应该已经足够了。我们已经看到，伽利略的有重物体无论在任何一个方向都不能沿着直线运动。它们必然（也是自然地）被向“下”拉。此外，事实上它们也不可能无定限地延续其运动：世界的实际有限性将会阻止它们。在笛卡尔那里则完全不是这样。笛卡尔的物体是一些欧几里得的物体，而不再是一些阿基米德的物体，这些物体既不被向任何地方拉，也不被任何地方吸引。它们不再具有任何倾向，也不再具有任何内在性质。除了空间关系之外，它们与相邻的物体不再具有任何关系；

[78] 原文为 *le Saggiatore*，既可指伽利略本人，也可指伽利略的著作《试金者》。——译者

[79] 参见第三部分第 114 号注释。

它们既不吸引、也不趋向这些相邻的物体。因此，一旦它们开始运动，它们就能沿着同一方向无定限地持续运动下去。

当然，实际上它们并不能做到这一点。（除非通过力学手段，否则）一种沿直线的运动永远不可能实现。但是，对于笛卡尔来说，这一点完全无关紧要。我们刚刚已经听到，他的运动是在瞬时完成的。这一次，笛卡尔既是我们曾称之为“彻底几何化”的思想的受益者，也是其受害者。他忘记了运动与时间的基本关系，而伽利略则记起了这种关系，从而通过解决落体问题而获得了回报。<sup>〔80〕</sup>

330

当然，我们可以说，在伽利略那里，运动也同样集中在瞬间之中；甚至伽利略最伟大的贡献之一就是能够提出速度元、瞬时速度、运动元（或微分）等观念。我们自己也曾经断言过，这种观念就等同于笛卡尔的“元素”（moment）观念。<sup>〔81〕</sup>我们还可以补充说，笛卡尔并没有说，运动不需要时间就能够实现，或者运动能够在一瞬间中实现。相反，他明确否认了这一点，而且<sup>〔82〕</sup>“为了不让哲学家们（或者毋宁说，那些诡辩家们）利用这个机会来卖弄他们肤浅的狡猾”，他要求我们注意以下这一点，即他“并没有说过，由于这一点，直线运动就能在一瞬间完成；他只是说，在物体运动过程中可能给定的每一个瞬间，产生直线运动所需要的一切东西都已存在于物体之中，但是，光有这些东西还不足以使物体产生圆周运动”。尽管如此，正如笛卡尔本人向我们所阐述的那样，笛卡尔的运动与时间确实只有一种间接的关系；也正因此，笛卡尔的运动观念才有别于伽利略提出的运动观念。

笛卡尔曾经告诉我们，他所认识的唯一运动（即几何学家的运动）首先是一种位移，而且也将永远是一种位移。然而，伽利略的运动（或者毋

---

〔80〕 参见本书第二部分：落体定律，前文第 136 页及以下。

〔81〕 参见第二部分第 148 号注释。

〔82〕 *Le Monde*, p. 45.

宁说,伽利略所看到的运动)则首先是一种速度。当然,所有的位移都以某个速度发生,而所有的速度又都意味着某种位移。因此,在伽利略和笛卡尔那里,构成运动的最终元素是等价的。然而,速度和位移毕竟不是同一回事,而且强调运动的这一方面或另一方面,这个事实并非无关紧要。因为,我们刚刚说过的这一点,即所有的位移都意味着某种速度,它对于所有实在的位移来说无疑都是正确的,但对于几何位移来说则并非如此。

331 点的“运动”形成了线,线的“运动”形成了面,这些运动都没有速度。由于没有速度,它们就不是发生在时间之中。然而,笛卡尔将他的运动观念引向的正是这些非时间(intemporel)的“运动”模型,他宣称这样的运动观念才是简单和容易的,甚至是我们观念中最简单、最容易和最清晰的部分。当然如此。因为,恰恰是运动观念与时间观念的联系才造成了运动观念所特有的模糊性。这样一来,我们就很容易理解,研究在时间中的(temporel)运动的哲学家们为何只能以一种非常模糊的方式来定义运动。由于笛卡尔从他的运动中消除了时间,并用“存在”(être)替代了“生成”(devenir),因此,他就不再能在他的运动中发现这种模糊性的踪迹。

但是,我们能够谈论一种几何的运动吗?这种非时间的运动还是运动吗?换言之,如果我们从运动中消除了时间,那么运动还会剩下什么呢?在运动中还会剩下某种东西吗?

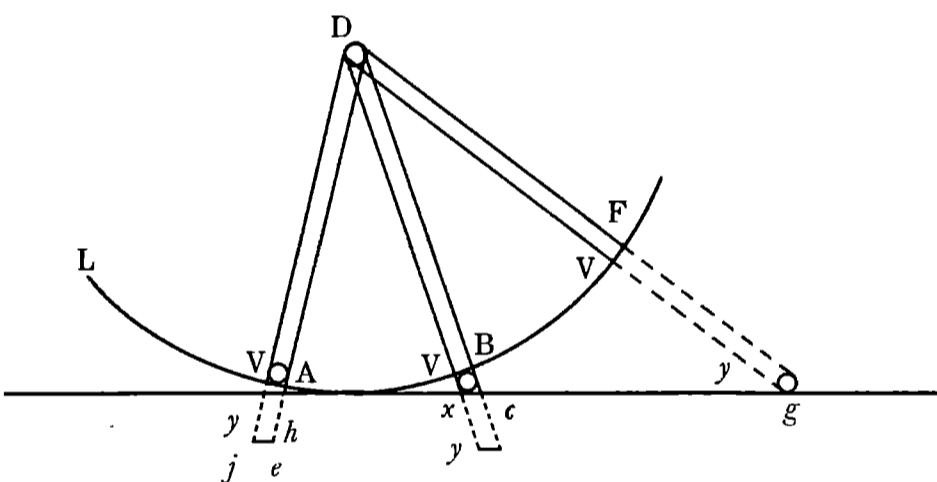
消除了时间,运动不就中止了吗?毫无疑问:或者中止了运动,或者把运动摊开在空间之中。因此,取消了运动的时间特征之后,在运动中剩下的恰恰是那些静止不动的东西:位置、方向、轨迹、函数关系。屈服于彻底几何化的笛卡尔消解了时间的作品:一幅关于不动永恒的运动图像。运动本质上是未完成的,笛卡尔却向我们提供了一幅不动和完成的图像。但是,这也使得笛卡尔能够理解在一瞬间中运动的无限性。

用轨迹来取代运动,这一点十分严重,甚至非常危险。因为它有时会

引向错误。<sup>[83]</sup> 然而,在另一些情况下,这一点又会引向真理。例如,在圆周运动和直线运动两者之间,要知道哪一种更简单,这实际上是非常困难的。但是,我们很容易看出直线比圆更简单<sup>[84]</sup>,因为就像所有的曲线一样,圆只是一条被弯曲了的直线。因此,沿直线的运动在每一点都具有相同的方向,这种运动比另一种必须在每一点改变方向并画出一个圆的运动更为简单。因此,无需冗长的讨论就可以理解这一点<sup>[85]</sup>:

332

例如,如果一块石头在投石器中沿着圆周 AB 运动,如果您想精确地考察它到达 A 点这一瞬间的运动状况,那么您肯定会发现此刻它正处于某种趋向运动的作用之中,因为它没有停在 A 点,而是倾向于朝着某个特定的方向,即朝着 C 点运动,因为在这一瞬间,它所具有的既定作用正是朝着这个方向。但是,您绝不可能在石块中发现究竟是什么使得它的运动变成了圆周运动。因而,如果假定当石块正要离开投石器的时候,上帝要保持这一时刻石块所做的运动,那么可以肯定的是,上帝将不会让它保持着沿曲线 AB 做圆周运动的倾向,而会让它保持着笔直朝着 C 点做直线运动的倾向。



因此,对于笛卡尔来说,正是彻底几何化帮助直线战胜了圆周。然而,相当奇怪的是,笛卡尔热切地想让上帝成为这个胜利的基础<sup>[86]</sup>:

[83] 参见第二部分:落体定律,前文第 87 页及以下,第 113 页及以下。

[84] 对于笛卡尔来说,这一点尤其简单:圆的方程比直线方程高一阶。

[85] *Le Monde*, p. 45 sq.

[86] *Ibid.*, p. 46.

因此,按照这条法则,我们不得不说,唯有上帝才是世界中所有运动的创造者,只要这些运动存在着,只要它们是直线的(正确的)<sup>[87]</sup>运动;然而,正是物质的种种不同的倾向使它们变得弯曲和不规则。正如神学家曾经教导我们,上帝也是我们所有行为的创造者,只要这些行为存在着,只要它们还包含着某些善意;然而,正是我们意志的种种不同的倾向使它们有可能变得邪恶。

333

## 2. 《哲学原理》(*Les Principes*)

就我们所关注的问题(即惯性原理的发现和表述)来说,《哲学原理》没有带来多少新内容,而且,它所带来的内容也并不总是一种进步。然而,它在表述的结构和顺序上却大有改善,例如,物理学的认识论和形而上学的基础和深层结构获得了明确、系统的阐述,并且被置于这部著作的开始部分;阐述也变得更清晰、审慎、准确和细致;总而言之,变得更学术化了。《论世界》中的那种冲动随意和漫不经心已经消失。这一点很容易理解:《哲学原理》是一个新版本,并且面对着不同的读者群。事实上,《论世界》是一部写给“绅士”阅读的著作;《哲学原理》则是为学校而撰写的一部教科书。

此外,自1630年以来,随着时间的流逝,笛卡尔的威望日益提高。他在社会上的地位已经发生了相当大的变化。他不再是以前默默无闻的无名之辈;他已是知名人士、大哲学家,被一些人仰慕,又被另一些人驳斥。他是一个学派的领袖。这必然意味着会发生某种语气上的变化。最后一点,同时也是非常重要的一点是,笛卡尔此时年纪更大,因而也变得更为

---

[87] 按照法语的字面含义,“直线的”(droit)这一形容词还可包含“正当的、正确的”等含义,因此,直线运动(les mouvements droits)同时也可意指“正当或正确的运动”。所以,笛卡尔在《论世界》中用这段一语双关的俏皮话作为结论。参见:亚历山大·柯瓦雷:《牛顿研究》,张卜天译,北京:北京大学出版社,2003年,第77页。——译者

谨慎了。在有些人看来,甚至是过于谨慎了。伽利略的经历,他自己的经历……这些都让笛卡尔感到不得不小心谨慎。不过,他掩饰得相当笨拙。因为,尽管在《论世界》中如此充分展现的哥白尼主义已经从《哲学原理》中完全消失,或者更确切地说,已被一种奇特和古怪的运动理论所掩盖,但是,与此相反,世界的无限性却在《哲学原理》中被明确断言<sup>[88]</sup>:

我们还知道,这个世界没有界限,构成宇宙的广延物质也没有界限,因为无论我们想象这些界限在哪里,我们还是能够想象在这些界限之外还有无定限延展的空间。我们不仅是在想象这些空间,而且我们还设想这些空间实际上就如同我们想象的那样:以致我们会设想这些空间构成了一个无定限延伸的物体,因为……我们设想任一特定的空间都具有广延,这种广延的观念是我们关于物体所应该有的正确观念。

在《哲学原理》中表述的自然的基本定律与在《论世界》中所表述的定律相同,而且两个版本的差别仅在于以下两个方面:一是表述顺序不同;二是在《哲学原理》中笛卡尔更强调这些定律的形而上学基础。 334

总体来说,《哲学原理》所遵循的表述顺序(笛卡尔在其中颠倒了第二条和第三条法则的顺序)比《论世界》所采纳的表述顺序更符合逻辑。从此以后,自然定律就按照不断增加的具体性程度来排列。因此,第一条法则提出了运动守恒定律;第二条法则明确限定了守恒的是直线运动;最后,第三条法则确立了运动传递的定律。

就像在《论世界》中一样,第一条自然定律(或法则)奠基于守恒的一般原理<sup>[89]</sup>:

---

[88] *Principes de Philosophie*, II, 21 (A. T. v. IX, 2, p. 74).

[89] *Principes*, II, 37 (A. T. v. IX, 2, p. 84).

由“上帝不变”和“上帝总是以同样的方式作用于万物”这两个事实，我们可以认识到一些法则，我将它们称为“自然定律”。这些法则是我们在所有物体中观察到的各种运动的第二因……因此，我们很有必要来关注一下这些法则。第一条法则是：每一个个体事物……都将尽其可能地继续保持在相同的状态，除非它碰到其他物体，否则它永远不会改变这种状态。正如我们每天所见，假定物质的某个部分是方形的……如果没有任何其他事物来改变它的形状，它总是继续保持其方形；当它处于静止状态时……它不会自行开始运动。但是，一旦它已经开始了运动，只要它没有碰到任何其他物体来减慢或停止其运动，我们就完全没有理由认为，有朝一日它会以同样的力自行停止运动。因此，我们可以得出以下结论：物体一旦开始其运动，此后它就会一直延续其运动，永远不会自动停止。

就像在《论世界》中一样，笛卡尔向我们解释了相反的信念（即相信物体会自发停止运动的信念）只不过是一种先入为主的成见。由于误解了经验，人们才会产生上述成见，并且这种成见“明显违反了自然定律；因为  
335 静止与运动相对立，没有任何事物会从自己的本性自发地趋向对立面，否则就是说它会自发地趋向自我毁灭”。〔90〕

与《论世界》中相同，笛卡尔认为，当人们正确地理解了日常经验之后，日常经验反而会证实以上第一条定律，而且“抛射体被什么东西所推动？”这个问题也就以同样的方式获得了解答〔91〕：

我们每天都会在被抛向远处的物体中看到以上第一条法则的证据。因为当它们离开推动它们的手之后，如果不依据自然定律，我们

---

〔90〕 *Principes*, II, 37 (p. 85).

〔91〕 *Ibid.*, 38 (p. 85).

就找不到其他原因来说明它们为什么继续……运动,所有的运动物体都将延续其运动,直到它们的运动被另外某些物体所阻止。很显然,我们看到这些物体在其中运动的空气或其他液态物质将会逐渐减小物体的运动速度。

第二条定律同样可由上帝的不变性推导出来,而且它也可以获得经验的证实<sup>[92]</sup>:

我在自然中观察到的第二条定律是,物质的每个部分单独来看从来不会倾向于沿曲线继续其运动,而总是倾向于沿直线继续运动,尽管许多这样的部分经常被迫改变方向,这是因为它们在前进的道路上碰到了其他部分,而且……当一个物体运动时,一起运动的物质总会形成一个圆周和圆环。这条法则就像前一条法则一样,也取决于“上帝不变”这个事实,而且上帝通过一种非常简单的操作来保持物质中的运动。因为上帝并不是按照某段时间以前它曾经之所是来保持运动,而是精确地按照它被保持的同一瞬间之所是来保持这个运动。尽管运动的确不是发生在某一瞬间,但是,很明显,所有的运动物体……都一定会沿着一条直线,而不是沿着一个圆周运动……因为当石块 A 在投石器 EA 中沿着圆 ABF 转动时,在它正处于 A 点的这一瞬间,如果我们假定直线 AC 在 A 点与圆周相切,那么它一定会朝着某个方向,即朝着 C 点并沿直线 AC 运动。尽管石块已经从 L 点沿着一条曲线运动到了 A 点,但是,我们仍无法想象,石块注定会沿着圆周运动。我们也不能设想,当它到达 A 点时,这条曲

---

[92] *Principes*, II, 39 (p. 85).



线会有任何一个部分位于石块之上。<sup>[93]</sup> 经验为我们证实了这一点，因为当石块离开投石器时，它将会笔直朝着 C 点前进，而绝不会倾向于朝着 B 点运动。这让我们清晰地看到，所有沿着圆周运动的物体都持续地倾向于离开这个圆周。当我们让这个石块在投石器中转动时，我们甚至能用手感觉到这个倾向。<sup>[94]</sup>

我们清楚地看到：关于前两条自然定律的表述和推导与《论世界》中所给出的内容没有区别，只不过现在的表述和推导有点过于谨慎，过于平淡和贫乏。但是，第三条定律的表述就运动的传递和交换提出了一些新细节，并建立了一些具体法则（尽管几乎都是错误的）<sup>[95]</sup>：

我在自然中观察到的第三条定律是，当一个运动物体碰到另一个物体，如果前者拥有的沿直线继续运动的力小于后者对它的阻力，那么前者就会失去运动这一规定性，但并不失去任何运动；如果前者拥有的力大于后者对它的阻力，它就会推动后者与自己一起运动，并且它失去的运动和它给予后者的运动同样多。因此，我们会看到，如果我们将一个坚硬物体推向另一个坚硬、结实且体积比它更大的物体，它将会朝着它来时的方向反弹回去，并且不会失去任何运动。但是，如果它碰到的是一个柔软物体，它就会立刻停止运动，因为它已将它的运动传递给了这个柔软物体……

众所周知，笛卡尔关于运动的传递所给出的具体法则几乎全都是错误的。但是，我们已经说过很多次，笛卡尔的错误和他的发现同样耐人寻

---

[93] 当然，没有任何人会想象位于石块中的曲线……笛卡尔将石块与世界的其余部分隔离开来，并思考石块在某一瞬间的运动。

[94] 参见前文第 332 页的图。

[95] *Principes*, II, 40 (pp. 86 sq.).

味和富有教益。因此,我们将不得不回来讨论这些错误,并且追问笛卡尔出错的原因。在我们看来,这些错误通常总是被否认,而不是被解释。如果是这样,那么这些错误就从未被完整地解释过。<sup>[96]</sup>

但是,目前摆在我们面前的却是另一个问题,即笛卡尔向我们表述的这些定律适用于什么样的运动呢?因为我们刚刚提到过,《哲学原理》对我们阐述的运动观念与我们已在《论世界》中发现的运动观念并不完全相同。《论世界》从一种纯粹几何学的观念出发,《哲学原理》则试图以运动相对性原理为基础为我们给出运动的物理学定义。因此(同时也由于一些其他原因),笛卡尔的定义没有再像以前那样激烈地反对运动的经院哲学定义,而是与后者紧密相关。<sup>[97]</sup> 笛卡尔写道:

337

因此,按照人们通常所理解,运动(即从一个位置到另一个位置所发生的运动,因为我只能设想这种运动,而且我不认为还有必要假定其他本性如此的运动)只不过是一种作用,通过这种作用,物体从一个位置过渡到另一个位置。正如我们曾经指出,同一个物体可以在同一时间既改变位置又不改变位置<sup>[98]</sup>,我们也同样可以说,它在同一时间既运动又不运动……<sup>[99]</sup>

但是,如果我们期望按照事物的真相来了解运动究竟是什么,而不是停留在那些只有日常用法作为其基础的概念,那么,为了赋予运动某种确定的本质,我们会说,运动是物质或物体的某个部分从直接接触它、我们认为处于静止状态的那些物体的邻近之处向另一些物

---

[96] 看来毕克曼所起的作用绝对不可被忽略。参见由德瓦尔(Cornélis de Waard)编辑出版的《梅塞纳神父通信集》: *Correspondance du R. P. Marin Mersenne*, vol. II, p. 600 sq.

[97] 参见 P. Duhem, *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*, Montligeon, 1907, pp. 179 sq.

[98] 笛卡尔所举的例子是“当风吹动船驶出港口时坐在船尾的人”,这个人相对于地球在运动,而相对于船则不在运动。

[99] *Principes*, II, 24 (p. 75).

体的邻近之处移动……为了说明运动总是在运动物体中,而不是在施动者之中,我会说,运动本身就是一种移动,而不是力或作用在移动。<sup>[100]</sup>

……而且,由于这里并不涉及使物体开始运动或停止运动的作用问题……很显然,这种移动完全不是在运动物体之外,而只是当一个物体移动之后与它未移动之前相比,物体处于不同的位置,以至于我们可以说,就其自身而言,运动和静止只不过是两种不同的样式 (façons)……<sup>[101]</sup>

此外,笛卡尔还断言:“就其确切的涵义来说,运动只与某些物体有关,而这些物体与我们认为正在运动的那个物体相邻近”,它甚至只与这些物体中“我们认为其处于静止状态<sup>[102]</sup>”的对应物体有关。因为运动是“相互的<sup>[103]</sup>……”

穆仪是研究笛卡尔物理学的最晚近和最有洞察力的历史学家之一,他很好地概括了这些段落,认为笛卡尔在这些段落里充分发展和显示了一种最严格意义上的运动相对性概念:“因此,运动不是一种存在,而只是被移动物体的一种‘样式’;它是完全相对和纯粹运动学的,在它背后没有隐藏任何力”<sup>[104]</sup>。但是,如果运动不是一种存在,而只是一种“样式”,那么,这样的运动如何能够在世界中守恒呢?笛卡尔就此向我们给出了回答。与《论世界》中相比,这个回答甚至增加了不少细节:

[100] *Principes*, II, 26 (p. 76). 这一点与经院哲学的运动学说相对立,根据经院学说,在推动者中的运动等于、甚至多于在运动物体中的运动。

[101] *Ibid.*, 27 (p. 77).

[102] *Ibid.*, 29 (p. 78).

[103] *Ibid.*, 29 (p. 78).

[104] 参见 P. Mouy, *Le développement de la physique cartésienne*, Paris, 1934, p. 19.

在考察了运动的本性之后,我们应该来考虑一下运动的原因。由于这个问题可以从两方面来考虑,我们将首先考虑第一方面(同时也是更为普遍的方面),即是什么原因普遍地产生了世界中的所有运动;然后再考虑问题的第二方面……即什么原因使得物质的每一部分获得了它先前没有的运动。关于问题的**第一方面**,在我看来答案很明显,这个原因不可能是别的,而只可能是上帝。上帝**以他的全能**创造出了物质以及运动和静止,并通过他的日常协同,在世界中现时地保持着等量的运动和静止,这个量将精确地等于上帝在创世时放进世界中的运动和静止的量。因为,虽然运动只不过是推动物质的一种样式,但它却保持着某个特定的量……这个量既不会增加也不会减少……尽管它在物质的某些部分中有时会多一些,有时会少一些。这就是为什么当物质的某一部分的运动速度是另一部分的两倍,而后者的大小又是前者的两倍时,我们应该认为较小者和较大者拥有完全等量的运动;而且每当某一部分的运动减少时,另一部分的运动就会按照相应的比例增加。<sup>[105]</sup>

因此,正是这种由上帝在世界中创造和维持的、相互的、相对的和纯粹运动学的运动,永远在世界中保持着相等的量。笛卡尔向我们明确指出了这一点。然而……在深入研究了笛卡尔所提出的碰撞定律之后,穆仪非常正确地指出<sup>[106]</sup>：“笛卡尔在这里考虑运动的方式与他原则上已赋予运动的相对性是完全不一致的。”现在,笛卡尔的错误不仅可以通过以下事实来获得解释,即笛卡尔“想通过利用一些观念来与经验保持一致,

339

[105] *Principes*, II, 36 (p. 83).

[106] 参见 P. Mouy, *op. cit.*, p. 22.

但他所用的观念因过于简单而无法达成这一目的”<sup>[107]</sup>，而且还可以（甚至尤其需要）通过以下事实来获得解释，即尽管笛卡尔自己曾经十分详尽地阐述过运动相对性的观念，但他从未认真对待这种观念，也从未将这种观念用作他各种推演的基础。事实上，运动的运动学相对性不仅显示出与他的碰撞定律不一致，而且如果我们像笛卡尔明确表示的那样，将运动守恒理解为运动的量的守恒，那么上述相对性也已经显示出与运动守恒定律的不一致。因为，很显然，如果当两个大小不等的物体正相互靠近或相互远离时，我们将同样的速度时而赋予大物体，时而赋予小物体（正是运动的相互性和运动学相对性赋予我们这样做的权利），那么，我们将会获得完全不同的运动量（quantités de mouvement）。然而，我们既不能假定笛卡尔一直没有觉察到如此明显的矛盾，也不能假定他已经忽略了这些矛盾。

笛卡尔的运动观念中所蕴涵的极端相对主义并非来源于他自己的思想。我们认为，他采纳这种极端相对主义只是为了调和哥白尼天文学（或者更直接说来，是他的物理学明显蕴涵的地球可动性<sup>[108]</sup>）与教会官方学说之间的矛盾。这种努力只能导致笛卡尔的力学变得矛盾和晦涩。然而，即便笛卡尔的力学是错误的，就其本身来说，它也并不自相矛盾，而且笛卡尔所提出的（无疑是不准确的）碰撞定律可以十分合乎逻辑地从他的运动观念中推导出来，而他已在《论世界》中非常清晰地阐明了以上运动观念。从这种意义上说，这些定律也为我们澄清了笛卡尔的运动观念。

因此，让我们回到《论世界》。我们还记得，笛卡尔在《论世界》中已经明确提出，运动和静止具有相似、甚至完全相同的本体论地位。这一点马

---

[107] 参见 P. Mouy, *op. cit.*, p. 22. 此外，碰撞现象只是从表面上看才是简单的（这正是穆仪想表达的观点），惠更斯最伟大的功绩（参见 P. Mouy, *op. cit.*, pp. 192 sq.）正是澄清了碰撞现象的实际复杂性，但也由此摧毁了笛卡尔的理论构造。

[108] 关于这一点，可参见穆仪著作中的精辟评论：P. Mouy, *op. cit.*, p. 22 sq.

上就能使我们理解,为什么笛卡尔的运动(与亚里士多德的运动相反)能够在没有推动者和原因的情况下永恒持续。但是,所有的方程和等式都可以被沿着两个相反的方向解读;正如我们已经将运动同化为静止,反过来,我们现在也应该将静止同化为运动。因此,按照笛卡尔的观点,既然静止具有与运动同样多的实在性,那么我们就应该再将静止视为一种纯粹消极的状态,或者视为一种运动的匮乏,一种无限缓慢的运动,如此等等;相反,我们应该将静止视为一种具有实在性的状态,一种具有作用与反作用的积极力量的状态。因此,仅仅指出一个静止物体具有一个等于零的运动量是不够的,此外,还应该指出它具有某个特定的静止<sup>[109]</sup>的量。恰恰是由于物体所具有的这个“静止量”(quantité de repos),当它们被推动时,它们才能阻碍和抵抗这种“推动”。

在笛卡尔的物理学中,运动是分离的原则。相反,静止是联系与聚合的原则,甚至是这种物理学中唯一的聚合原则。当两个部分“相互接触”时,或者甚至当它们相对于彼此保持静止时,它们就通过这一事实本身相互联系,以至于“需要某个力才能分开它们,不论这个力有多小;因为一旦它们已经处于这样的状态,它们就永远不可能自行做出改变”<sup>[110]</sup>。正是一个物体各部分之间的相对静止才形成了这个物体的统一性,甚至形成了它的硬度,“因为,除此之外,我们还能想象什么样的胶质或纽带能让它们更牢固地结合在一起呢?<sup>[111]</sup> ……”

因此,静止是一种积极的力。《哲学原理》为我们明确指出了这一点。<sup>[112]</sup> 但是,这种力的大小(或者用笛卡尔的话来说,它的量)又是多少

[109] “将静止视为一种积极的实在”的观念以及关于“静止的量”的观念,也出现在克雷斯卡的著作之中,参见 H. A. Wolfsohn, *Crescas' Critique of Aristotle*, Cambridge (Mass.), 1929, p. 287 sq.

[110] *Le Monde*, p. 12.

[111] *Ibid.*, p. 13.

[112] *Principes*, II, 43 (p. 88): “……必须指出,根据前面给出的第一条定律,一个物体反作用于另一个物体或阻碍后者作用的力量只取决于以下这个事实,即每个物体都在(转下页)

341 呢？很清楚（至少对笛卡尔来说），对于某个给定的静止物体而言，当另一个大小相等的物体以任意方式相对于它运动时，这个静止物体所具有的静止量精确地等于运动物体所具有的运动量。因此，我们可以说，静止量是一个变化的量，或者我们也可以说，它是关于运动物体的速度的一个函数；这是运动的物理学相对性（即动力学相对性）的一个必然结果。由此必然可得，对于每一对物体来说（其中一个处于静止，另一个正在运动），前者的静止力与后者的运动力之比等于它们的大小之比。因此，笛卡尔告诉我们，如果一个小物体去撞击一个大物体，无论这个小物体的速度有多大，它都永远不可能推动大物体<sup>[113]</sup>（众所周知，伽利略持有相反的观点，即无论一个静止物体有多大，当一个不管多小的运动物体撞击它时，这个小物体总会赋予它一个运动）。将笛卡尔引向错误的绝不是他想与经验保持一致的某种愿望（例如，当我们向着一堵墙抛出一个球，球被反弹回来，但墙显然没有移动）：他完全清楚他所研究的情况永远不会出现在经验之中，将他引向错误的是他想从运动或静止的观念之中得出某种必然的结论。

的确，这是一种多么奇特和古怪的观念！人们甚至还会说，它是一种不幸的观念，因为它将笛卡尔引向了错误，并将他的物理学带入了死胡同。然而，尽管笛卡尔的物理学陷入了错误，但这一点却丝毫无损于它的伟大！因为笛卡尔的观念不可避免地源于“彻底几何化”这种笛卡尔主义的原罪，尽管这种原罪是那样地富有成果！只有以牺牲逻辑上的自洽为

---

（接上页）尽其所能地保持它自身所处的状态。这样一来，如果一个物体与另一个物体结合在一起，它就会具有某种力量来阻碍自己与后者分开；当它与后者处于分离状态时，它就会具有某种力量来阻碍自己与后者结合；同样地，当它处于静止状态时，它也具有一种保持这个静止状态并阻碍任何事物来改变这个状态的力量。”另参见 *Principes*, II, 44: 运动并非与另一种运动相对立，而是与静止相对立。

[113] *Principes*, II, 49 (p. 90): “……如果物体 C 比物体 B 大(无论 C 大过 B 的程度是多么微小), 如果 C 处于完全静止的状态……那么, 无论 B 以多大的速度冲向 C, 它都永远不可能获得足够的力量来推动 C。”

代价(但对于一位哲学家来说,这更是极其严重的罪过),笛卡尔才有可能避免陷入错误。

我们已经看到,几何学家所研究的运动并不是实在的运动;这种运动所推动的“物体”也不是实在的“物体”。严格说来,它们并不“处于静止”,就像它们也不“处于运动”。正是这个原因最终说明了,为什么笛卡尔的上帝在创造他的世界,即在为欧几里得空间赋予某种实在的存在时,他不得不既在世界中创造出运动,又在世界中创造出与运动同样多的静止。



# 人名译名对照表

(根据中文译名的拼音首字母排序)

## A

阿尔贝里 Alberi  
阿尔伯特,撒克逊的 Albert de Saxe  
阿尔居斯 Argus  
阿基米德 Archimède  
阿莱(伯爵)Allais(Comte d')  
阿里斯塔克,萨摩斯的 Aristarque de Samos  
阿里亚加 Arriaga  
阿维罗伊 Averroès  
昂里克,费德里戈 Federigo Enriques  
爱因斯坦 Einstein  
奥尔什基 L. Olschki  
奥康 Occam  
奥雷斯姆,尼古拉 Nicole Oresme

## B

巴利阿尼 Baliani  
巴什拉 G. Bachelard  
贝内代蒂 Jean Baptiste Benedetti  
比卡菲加,洛杜维科 Lodovico Buccafiga

毕克曼,伊萨克 Issac Beeckman  
布拉赫,第谷 Tycho Brahe  
布兰舒维克 Brunschvicg  
布里丹 Buridan  
布鲁诺,乔尔丹诺 Giordano Bruno  
波舍尔特 Borchert  
伯克瑙 F. Borkenau  
伯特 E. A. Burtt  
柏格森 Bergson  
柏拉图 Plato  
博纳米科 F. Bonamico  
(或 Francisci Bonamici Florentini)

## D

达·芬奇,列奥纳多 Léonard de Vinci  
达尼埃尔 Daniel  
戴克斯特惠斯 Dijksterhuis  
德尔·蒙特,吉多巴尔多 Guidobaldo del Monte  
德谟克利特 Démocrite  
德瓦尔 Cornélis de Waard  
迪昂 P. Duhem  
第谷 Tycho Brahe

笛卡尔 Descartes

蒂迈欧 Timée

加塔纳,蒂耶纳的 Gaetane de Tyène

## F

法布里修斯 Fabricius

法瓦罗 Favaro

菲洛波诺 Jean Philopon

## G

哥白尼,尼古拉 N. Copernic

戈尔德贝克 E. Goldbeck

格拉迪 Gradi

格罗斯曼 H. Grossmann

## H

赫森 S. Hessen

惠更斯 Huyghens

霍布斯 Hobbes

## J

伽利略 Galilée

伽桑狄 Gassendi

吉尔伯特,威廉 William Gilbert

吉尔松 E. Gilson

## K

卡尔丹 Cardan

卡诺 Carnot

卡瓦列里 Cavalieri

卡韦尼 Caverni

卡西尔 Cassirer

开普勒 Kepler

克拉维乌斯 Clavius

克劳修斯 Clausius

克雷斯卡 Chazdaï Crescas

## L

拉贝托尼埃 Laberthonnière

莱布尼茨 Leibniz

勒瓦尔 M. Leroy

罗科,安东尼奥 Antonio Rocco

罗特曼 Rothmann

## M

马丁,亨利 Henri Martin

马赫 E. Mach

马佐尼,雅可比 Jacopo Mazzoni

梅塞纳 Mersenne

梅耶松,埃米尔 Émile Meyerson

米利 A. Mieli

米约 G. Milhaud

穆仪,保罗 P. Mouy

## N

尼古拉,库萨的 Nicolas de Cues

牛顿,伊萨克 Isaac Newton

**O**

欧几里得 Euclid

帕斯卡 Pascal

帕特里兹 Patrizzi

皮科洛米尼 Piccolomini

培根 Bacon

**S**

萨尔皮, 帕奥罗 Paolo Sarpi

萨尔维阿蒂 Salviati

沙格列陀 Sagredo

圣托马斯 S. Thomas

司各特, 邓 Duns Scot

斯卡利杰 Julius Scaliger

斯特拉图 Straton de Lampsaque

斯特朗 Strong

斯特劳斯 Strauss

**T**

塔尔塔里亚, 尼科洛 Nicolo Tartaglia

塔纳里 P. Tannery

特勒西奥 Telesio

托勒密 Ptolémée

托里拆利 Torricelli

泰米斯修 Thémistius

**W**

瓦尔, 让 Jean Wahl

瓦龙, 米歇尔 Michel Varron

沃尔威尔 E. Wohlwill

**X**

希帕克斯 Hipparque

辛普里丘 Simplicius

**Y**

亚里士多德 Aristote

亚当 C. Adam

亚历山大 Alexandre

伊壁鸠鲁 Épicurie

# ■ 柯瓦雷的生平与著作<sup>〔1〕</sup> ■

刘胜利 译

张卜天 校

亚历山大·柯瓦雷(Alexandre Koyré)于1892年8月29日生于俄罗斯的塔甘罗格(Taganrog),1964年4月28日逝于法国巴黎,研究领域涉及科学史、哲学史和观念史。

柯瓦雷的工作包括三个方面:首先,他影响了整整一代科学史家的成长,尤其是美国科学史家;其次,在法国,他主要活跃在哲学圈内,他不仅最早推动了20世纪30年代黑格尔研究的复兴,而且还出版了关于其他纯粹哲学家的重要研究著作,其中最著名的是关于斯宾诺莎的研究〔6〕<sup>〔2〕</sup>;最后,他关于俄罗斯思想和哲学倾向的论述是对其祖国思想史的重要贡献〔4, 11〕。柯瓦雷的所有著作都洋溢着一种强烈的哲学观念论气息,即使在涉及宗教问题时也不例外。这种观念论来源于“哲学推理的对象是实在”这个假定。在他研究雅各布·波墨(Jacob Boehme)的著作的序言中,柯瓦雷写下了一段评论,这段评论也许同样适用于他自己的所有著作:“我们认为……伟大哲学家的思想体系是无法穷尽的,它就

---

〔1〕 本文译自吉利斯皮主编的《科学家传记辞典》中题为“KOYRÉ, ALEXANDRE”的词条,原文为吉利斯皮亲自撰写,可参见:Charles C. Gillispie (Editor in chief), *Dictionary of Scientific Biography*, New York: Charles Scribner's sons, vol. 7, 1973, pp. 482-490. 孙永平老师帮助校订了文后的“柯瓦雷著作目录索引”,特此致谢。

〔2〕 方括号中所列序号为本文后附的“柯瓦雷著作目录索引”的序号,下同。——译者

像这个体系所要表达的实在本身一样无法穷尽,就像支配这个体系的最高直觉一样无法穷尽”〔3〕。

柯瓦雷一直是一位柏拉图主义者。事实上,正是他那篇优美的文章《发现柏拉图》(*Discovering Plato*)〔9〕最好地介绍了他的全部著作所共有的观点和价值。这篇文章最初是1940年法国战败后柯瓦雷在贝鲁特(Beirut)发表的讲演的讲稿,1945年它以法语和英语两种版本在纽约出版。不管欧洲文明在当时如何显示出类似希腊化时期的瓦解和衰退,柯瓦雷从未对它感到绝望。他在内心一直秉持的信念是:精神迟早总会获胜。他那思辩式的口吻亦庄亦谐,展现了纯正的柏拉图风格,消除了读者对说教式言辞的抗拒,并向读者揭示了哲学对于个人以及个人对于政治的内涵。正是这些主题为柏拉图的对话赋予了戏剧性的张力。

在上述文章中,柯瓦雷几乎很少提到科学发展过程中的柏拉图主义。但正是这篇文章所揭示的理智与性格、个人卓越与公民责任之间的关系解释了他对于柏拉图的影响所产生的共鸣。他在近代科学的创始者们(尤其是伽利略)的各种动机中发现了这种影响(在其他作品中他也许有些夸大了这种影响)。

柯瓦雷在第弗利斯(Tiflis)〔4〕开始其中学教育,16岁时在顿河畔罗斯托夫(Rostov-on-Don)上完中学。他的父亲弗拉基米尔(Vladimir)既是从事殖民地产品贸易的一名富裕进口商,也是巴库油田(Baku oil fields)的一名成功投资者。胡塞尔是柯瓦雷中学时代的偶像,于是他于1908年前往哥廷根求学。在那里,柯瓦雷除了追随胡塞尔这位现象学导师之外,还遇到了希尔伯特,并且听了他的高等数学课程。1911年,他移居巴黎,并转入巴黎大学(Sorbonne)学习。他在那里听过柏格森(Bergson)、德尔波斯(Victor Delbos)、拉朗德(André Lalande)以及布兰舒维

〔3〕 *La philosophie de Jacob Boehme*, p. viii.

〔4〕 即今天的格鲁吉亚首都第比利斯(Tbilisi), Tiflis 为其旧称。——译者

克(Léon Brunschvicg)的课程。尽管柯瓦雷与他在巴黎的老师们的关系并不像他与胡塞尔及其家人相处时那样亲近(胡塞尔夫人有时甚至把他当自己的孩子看待),但在这种更为冷静的法兰西文明的氛围中,他感到轻松自在。

在战前,柯瓦雷就已在皮卡韦(François Picavet)的指导下开始撰写一篇关于圣安瑟尔谟(Saint Anselm)的论文,随后在巴黎高等研究实践学院(École Pratique des Hautes Études)任教。1914年,尽管柯瓦雷还不是法国公民,但他仍然应征入伍,并为法兰西战斗了两年。接着,当他获悉祖国招募志愿兵时,遂转入一支俄国军团服役,他也因此而回到了俄国,并在西南前线继续战斗直至1917年俄国战败。在随后的内战中,柯瓦雷发现自己正置身于反对组织当中,这些反对组织就好像是一些抵抗力量,他们同时与红军和白军开战。过了一段时间,他决定要从这种混战中摆脱出来。这时战争已结束,他就回到了巴黎。在那里,他与来自一个敖德萨(Odessa)家庭的女儿,多拉·雷贝尔曼(Dora Røybermann)喜结连理。雷贝尔曼的姐姐也嫁给了柯瓦雷的哥哥。在巴黎,柯瓦雷重新开始了研究哲学的学术生涯,此时他才惊讶地发现,在整个战争期间,他学生时代曾租住的那家旅馆的老板一直忠诚地保存着他关于安瑟尔谟的论文手稿。

柯瓦雷一直认为自己的职业是一名哲学家。他的职业生涯始于宗教思想研究,尽管他后来最深刻的工作是在科学史领域中做出的。他早期发表的都是关于神学的著作,这些著作包括:《论笛卡尔的上帝观念及其关于上帝存在的证明》(*Essai sur l'idée de Dieu et les preuves de son existence chez Descartes*, 1922),《圣安瑟尔谟哲学中的上帝观念》(*L'idée de Dieu dans la philosophie de St. Anselme*, 1923),《雅各布·波墨的哲学》(*La philosophie de Jacob Boehme*, 1929)。第一篇论文使他获得了实践学院的毕业文凭和该学院的讲师职位(*chargé de conférence*)。终其一生,柯瓦雷都与实践学院保持着联系。他关于安瑟尔谟的工作虽

然完成得更早,但直到后来才正式发表。这项工作使他获得了大学博士学位,这个学位由于波墨的论文而得以升格为“国家博士”(doctorat d'État)。

如果阅读柯瓦雷后期的科学史著作,我们可以从中辨识出柯瓦雷用以分析上述早期研究主题的典型动机和方法。柯瓦雷所感兴趣的神学传统是各种护教策略中最具思想性的那部分内容,即关于上帝存在的本体论证明。在各种版本的证明中(无论是这种证明的创始者安瑟尔谟,还是笛卡尔所给出的版本),使得主体所把握的人格存在与外部实在之间的联系得以建立的是精神而不是宗教体验。在以上情境中,这种精神的重要方面当然是“上帝”,尽管当柯瓦雷的兴趣转向那些自然哲学家时,它也很容易被理解为是“自然”。他关于笛卡尔的核心观点是:近代哲学家在许多方面都得益于中世纪的先驱者。这个观点如今已毋庸置疑了。此外,柯瓦雷还明确肯定了经院推理的哲学价值,他从不认为“繁琐”(subtleties)是一个贬义词。

对于科学史家来说,以上讨论最有意思的特征是柯瓦雷所发现的笛卡尔对“完美”和“无限”这两个概念的运用。在研究“无限”概念的过程中,柯瓦雷揭示了作为数学家的笛卡尔如何支持着作为哲学家的笛卡尔,并为上述本体论证明赋予了一种安瑟尔谟的推理所无法企及的精致性。在柯瓦雷著作中偶然出现的一些旁白预示了他今后的发展方向,例如:“我们认为,作为数学家的笛卡尔的最令人瞩目的成就是他认识到了数的连续性。通过将分立的数对应于一些线或广延量,他将连续和无限引入了有限数的领域”〔5〕。然而在这本书中,柯瓦雷的注意力仍集中在《沉思集》(Meditations)以及作为神学家和形而上学家的笛卡尔。直到后来在那本优美流畅的《关于笛卡尔的对话》(Entretiens sur Descartes [8])中,柯瓦雷才转向《方法谈》(Discourse on Method)的研究,强调它是笛卡尔

〔5〕 *L'idée de Dieu et les preuves de son existence chez Descartes*, p. 128.

关于几何学、光学、气象学等各种论述的导言。此时，柯瓦雷已不会再赞成他自己年轻时的一个观点，这个观点的大意是：尽管笛卡尔改变了哲学史的整个进程，但对于科学史来说，即便笛卡尔从未存在过，科学史也几乎不会有什么不同。<sup>〔6〕</sup>

事实上，通过对比柯瓦雷关于笛卡尔的两部主要作品的笔调，我们就可以发现他本人的偏好。《关于笛卡尔的对话》是一部热情洋溢的著作，对待笛卡尔的态度是同情甚至热爱。但他的毕业论文则并非如此，不仅它的行文略嫌拘谨，而且作者处理论文主题时也显得并非那么得心应手。尤其是在论述笛卡尔不够坦白的那些段落里，上述局促感更是暴露无遗，但给读者留下的更一般的感受则是：从神学角度论述笛卡尔的这项研究本身就比较牵强。由于当时柯瓦雷已成为实践学院第五部（一个研究“宗教科学”的部门）的教职候选人，也许这件事很自然地影响到了他对于研究主题的选择。然而令人惊讶的是，尽管柯瓦雷将他毕生的大部分时间都献给了科学史研究，而且巴黎的学术架构也没有为科学史这一学科提供适当的资源，但实践学院的上述部门却在柯瓦雷生前一直为他保留着职位。这种情形既显示了法国首都各种公共机构的僵化，也显示了这些机构的管理者的灵活与弹性。尽管有管理者的宽宏大量，柯瓦雷晚年在履行工作职责方面还是感到有些困难。

安瑟尔谟的信仰的质朴和宁静并没有被文本的含混所遮蔽。尽管柯瓦雷论述这位关于上帝存在的本体论证明的创始者的专著在研究主题上并未像他关于笛卡尔的论文那样暗示了他后期的研究旨趣，但在研究方式上却更贴近他的后期旨趣，特别是在同情的理解、透过文本来洞察其作者等方面。

作为一名学者来说，也许柯瓦雷最独特的天赋（这也是他的个人品质在学术上的体现）在于他有能力进入他所研究的人物的世界之中，并为读

---

〔6〕 *La philosophie de Jacob Boehme*, p. vi.



者再现后者在其世界中看到各种事物的方式：比如，安瑟尔谟在某种精神和理智的实在中幸福而又逻辑地把握到了上帝的必然存在；再比如，亚里士多德的物理对象世界是通过常识来把握，并被整理成一种条理分明的哲学；波墨关于各种印记以及人和自然之间的各种对应关系之网；导致哥白尼的诸天球不停自转和公转的简单而又充分的理由是“它们都是圆的”；开普勒对于数的形式与毕达哥拉斯的正立体形的看法；伽利略的由可量化物体所构成的抽象实在，这些物体在几何空间中发生运动学上的联系；最后还有牛顿的开放宇宙，在其中意识已不再位于古希腊哲学的宇宙(cosmos)之中，而是位于无限空间之中。

然而，正是通过对重要文本的细致分析(而不是通过一般的概括和意译)，柯瓦雷才能够从他所研究的人物的思想构造中发掘出丰富而广泛的内涵。他喜欢大段大段地引述文本来配合自己的分析，以使读者有可能弄明白他正在做什么。事实上，他的作品将“文本阐释”(explication de texte)的法国教学技巧应用于学术研究的最高目的。他后期的大部分著作都源自他在法国、埃及和美国等地的许多机构讲授的课程(通常源自个人讲座)，他在这些机构定期授课或仅仅是到那里访学。在那些不太自信的年轻学者看来，柯瓦雷的学识有时会使他显得有些严厉，但其实这并非是他有意造成的。从根本上说，柯瓦雷是一位极富人情味的知识分子，他只是在分析问题时要求严格，但在待人处事方面却极为宽厚。他总是希望去揭示他所研究的人物的价值，而不是去展示他们可能有的浅陋与错误。他也从不会被那些容易达成的目标所诱惑。这样一来，柯瓦雷的自信就与他最真诚的谦逊相得益彰，因为他已将他的天赋用于彰显那些伟人的卓越之处，这些伟人用他们的精神、勇气、想象和品味为拓展我们的文化做出了贡献，并因此而激起了他的钦佩之情。

这种容易与前人心灵相通的倾向促使柯瓦雷对黑格尔哲学以及 19 世纪俄罗斯的思想文化做出了重要的研究。尽管这些研究都没有对科学史产生直接影响，但也许还是应该提一下。他对黑格尔的了解源自他年

轻时对于胡塞尔现象学的浸淫。在 20 世纪 30 年代早期,他想将黑格尔哲学的意义传播到他在巴黎的哲学朋友圈(圈中绝大多数朋友都是柯瓦雷在巴黎高师结识的)。黑格尔哲学对于这个圈子来说,即便不是未知领域,也在很大程度上是相当陌生的。这些论文引起了不错的反响<sup>〔7〕</sup>,有些研究主题相似的读者也许会发现他那篇《关于黑格尔的语言和术语的注记》(Note sur la langue et la terminologie hégéliennes)<sup>〔8〕</sup>尤其具有启发性。类似地,柯瓦雷在两部关于俄罗斯思想史的著作中所发表的论文为法国学者群体引出了一个话题(对此柯瓦雷尤其具有发言权):俄罗斯作家在对待欧洲文化上陷入了进退两难的困境,一方面,如果他们的国家想要发展文明,就必须认同欧洲文化;另一方面,如果俄罗斯想要确立自己的国家认同感,就必须抵制欧洲文化[4, 11]。欣赏柯瓦雷科学史著作的读者们最好也读一读这些研究中写得最长的那篇论文,那是一篇关于恰达耶夫(Tchaadaev)的专论<sup>〔9〕</sup>。尽管这篇论文与读者的研究主题毫无关系,但它却是柯瓦雷所写论文中最精致、最富同情、最发人深思的作品之一。

相比之下,柯瓦雷关于德国神秘主义的研究工作确实影响了他的科学编史学,尽管这种影响有点令人难以捉摸。因为,尽管他竭力去帮助读者理解这一难解的传统,但他本人对德国神秘主义做出的反应却是从那些神学研究主题转回到了他在哥廷根学生时代的科学兴趣。他那篇重要的博士论文一直是关于波墨的最详尽和最可靠的研究,这篇论文清晰地阐述了波墨这位晦涩作者的思想。此外,柯瓦雷还将论述施温克菲尔德(Schwenkfeld)、弗兰克(Sebastian Franck)、帕拉塞尔苏斯(Paracelsus)、

〔7〕 Jean Wahl, “Le rôle de A. Koyré dans le développement des études hégéliennes en France”, in *Archives de philosophie*, 28 (July-Sept. 1965), 323-336.

〔8〕 *Études d'histoire de la pensée philosophique*; 该文最先发表在: *Revue philosophique*, 112 (1931), 409-439.

〔9〕 *Études sur l'histoire des idées philosophiques*, pp. 19-102.

魏格尔(Valentin Weigel)的四篇短论集结成一本小书,书中论及的上述四人都是波墨最重要的思想来源。这本小书于1971年再版时正巧碰上了神秘学的复兴,而这种神秘学却是柯瓦雷本来想强烈反对的。的确,也许有人会认为,波墨也对自然世界感兴趣,甚至与伽利略、笛卡尔和开普勒等同时代人同样感兴趣。然而,以上任何相似之处都是表面的,因为波墨对自然的理解完全是象征性的,对于他来说,各种现象背后的实在性就在于它们拥有神的印记。的确,柯瓦雷完全认识到在近代科学摧毁这些象征性的意义之前,世界如何影响着意识,而且这样的认识也使得他后期关于科学革命的著作变得更加敏锐。但他逐渐感觉到探究神秘主义者各种体验的工作从某种意义上来说是徒劳无益的,因为根据定义,上述体验只有拥有这些体验的人才能了解。也正因此,波墨一直在试图解读人与世界之间的对应关系,而这些对应关系又来自他通常所称的“自我之书”(the book of himself);而柯瓦雷在《伽利略研究》(*Études galiléennes*)开篇就评论说,只有科学史才能为“进步”这一观念赋予意义,因为它记录了人类心灵在把握实在的道路上所赢得的各种胜利。<sup>[10]</sup>

无论如何,贯穿柯瓦雷科学史研究的主题是运动问题。他在一篇名为《关于芝诺悖论的评注》(*Bemerkungen zu den Zenonischen Paradox-en*)的哲学论文中首先界定了这一主题。这篇论文发表于1922年,早于前文所述的神学作品<sup>[11]</sup>,这也是柯瓦雷的第一篇实际发表的作品。<sup>[12]</sup>在其中柯瓦雷论证说,为了理解芝诺悖论,我们不仅需要分析运动,还要分析运动借助时空参量概念化时涉及“无限”和“连续”观念的方式。在回

[10] *Études galiléennes*, p. 6.

[11] *Jahrbuch für Philosophie und phänomenologische Forschung*, 5 (1922), 603-628; 该论文的法文版已收入[17a]。

[12] 在第一次世界大战之前,柯瓦雷曾经发表过一则短评《关于伯特兰·罗素的数的评注》,参见:“Remarques sur les nombres de M. B. Russell”, in *Revue de métaphysique et de morale*, 20 (1912), 722-724.

顾了布罗沙尔(Brochard)、诺埃尔(Noël)、埃弗兰(Evelyn)和柏格森研究芝诺悖论的贡献之后,柯瓦雷(无疑是回想起了自己跟随希尔伯特所做的研究)援引了波尔查诺(Bolzano)和康托尔(Cantor)关于无限和极限本性的研究成果,并区分了以下两种运动:一种是作为过程的运动,这个过程在其本性上就包含着物体;另一种是作为关系的运动,物体本身与这种作为关系的运动无关。曾经有一个脚注预示了柯瓦雷毕生的工作:“古代物理学和近代物理学之间的所有分歧都可被归结为这样一点:对于亚里士多德来说,运动必然是一种活动,或者更确切地说,是一种现实化(潜能作为潜能的现实化[*actus entis in potentia in quantum est in potentia*]),而对于伽利略和笛卡尔来说,运动变成了一种状态。”<sup>[13]</sup>在他生命最后的日子,柯瓦雷经常被问到他会从神学转向科学,有一次他回答说:“我回到了我的初恋”<sup>[14]</sup>。

柯瓦雷的学术生涯充满了跌宕起伏。最初他曾为巴黎大学斯拉夫研究院(*Institut d'Études Slaves*)的一门课程准备过一些有关俄罗斯思想史的资料。1929年,即在《雅各布·波墨的哲学》出版的那一年,柯瓦雷在蒙彼利埃大学文学院谋得一席教职,并从1930年9月起在那里任教直至1931年12月。其间柯瓦雷一直颇为享受法国南部的气候与生活品质,但也常常为无法利用巴黎的各大图书馆而感到遗憾。1932年1月,他被选为实践学院的研究主任(*directeur d'études*),并回到了巴黎,开始在学院讲授关于16世纪科学与信仰的课程。为了准备这门课,柯瓦雷阅读了哥白尼的著作,他发现哥白尼划时代的成就几乎完全不被人所知。于是他着手翻译了《天球运行论》(*De revolutionibus*)的第I卷,即该书理论性和宇宙论的部分,并为之撰写了一则关于历史背景的阐释性的导言。

[13] *Études d'histoire de la pensée philosophique*, p. 30, n. 1.

[14] 在他的论文中,柯瓦雷留下了一份1951年的求职履历,这份履历阐述了柯瓦雷自己对他的研究工作(包括已完成的工作和其后打算进行的工作)的内在关联性的理解;参见 *Études d'histoire de la pensée scientifique*, pp. 1-5.

这是他对科学史本身的第一项贡献。在上述导言中，哥白尼代表着一位研究宇宙的思想家，一位既迂腐保守而又革命激进的思想家，而不再仅仅是一位摆弄各种本轮的学者。说他迂腐保守，是因为哥白尼还沉溺于柏拉图的正圆美学，并将它变成了一种宇宙运动学；说他革命激进，是因为哥白尼坚信几何形式必须与物理实在相符合，只要一种假说能将两者结合起来，那么不管这种假说可能会给传统和常识带来什么后果，它都不致因为太过冒险而不值得采纳。通过这样一种蕴涵，形式本身变成几何的而不是实体的，近代科学就在这条道路的前方。

当1934年柯瓦雷出版其关于哥白尼的著作时，他正以访问学者的身份在开罗大学教课。由于柯瓦雷发现自己与那里的同事与学生非常投缘，故他于1936-37学年和1937-38学年两度回到那里讲课。他为那里的听众所准备的讲稿后来发展成了《关于笛卡尔的对话》这部著作。当时柯瓦雷的研究兴趣已经从哥白尼转向了伽利略，他将一套由法瓦罗(Favaro)编辑的出色的伽利略著作全集带到了埃及，并在开罗安顿下来之后潜心研究。也正是在那里，柯瓦雷撰写了他的名著《伽利略研究》。<sup>〔15〕</sup>这本名著的标题页上显示的出版年份是1939年，但实际上它直到1940年4月，即在德国入侵前才出现在巴黎。当时柯瓦雷和他的妻子又一次待在开罗。但他想在国难当头时为国家出点力，于是他们又匆匆回到了法国，抵达巴黎时恰逢巴黎已经投降。他们掉转头先到蒙彼利埃，然后再取道贝鲁特返回开罗。当戴高乐将军来到开罗时，柯瓦雷已经决定加入“自由法国”组织并为戴高乐效力。由于柯瓦雷持有美国签证，戴高乐认为，如果能有这样一位学识卓越之士留在美国，而且能够在这个其政策有利

---

〔15〕 柯瓦雷此前已发表的两篇论文包含了这项工作的部分内容，分别是：《伽利略与比萨实验》，参见：“Galilée et l'expérience de Pise”，in *Annales de l'Université de Paris*, 12 (1937), 441-453；《伽利略与笛卡尔》，参见：“Galilée et Descartes”，in *Travaux du IX<sup>e</sup> Congrès international de Philosophie*, 2 (1937), 41-47.

于贝当政府(Pétain)<sup>[16]</sup>的国家阐释戴高乐的观点,那么“自由法国”事业或许会从中受益。于是,柯瓦雷夫妇设法转道印度,横渡太平洋,经由旧金山并最终来到纽约。他在纽约加入了一个由法国和比利时科学家与学者组成的团体,并参与了这个团体创建“高等研究自由学院”(École Libre des Hautes Études)的工作。在整个二战期间,他一直在那里以及“新社会研究学院”(New School for Social Research)任教,只在1942年去过一次伦敦向戴高乐汇报工作。在纽约,柯瓦雷逐渐熟悉并融入了美国的生活,这自然使得他愿意在美国度过其晚年的学术生涯,这几乎占了他全部职业生涯的一半时间。

由于战争移开了人们关注学术的视线,《伽利略研究》在战争期间并没有产生多大影响。但在战争刚刚结束的那几年,这本名著却在美国受到了极为广泛和热情的关注。这真是“书逢其时,一举成名”。那时恰逢新一代的科学史家们在日益扩展的美国大学体系中寻找契机,这代人最早以完全职业化的方式来构想科学史这一学科,而且无论当时的大学体系在学术精湛程度和哲学深度方面如何具有缺憾,它对于科学的热忱和灵活度也足以弥补它的缺点。正当科学史家们通过参考文献苦苦寻找题材时,他们就像发现某种启示那样发现了《伽利略研究》,因为这本著作揭示了他们初创的学科可能会具有怎样激动人心的思想意义。此外,这本著作既不是关于各种科学发现和过时术语的枯燥堆积,也不是对于科学精神所创造的各种奇迹的煽情吹捧,更不是对某种哲学体系的掩饰(尽管作者本人支持柏拉图主义),就像实证主义观点谈及科学和马克思主义观点谈及历史时所做的那样。

相反,他们在《伽利略研究》中发现了一段分析细致入微、但却极其激动人心的思想战斗史,这场战斗由伽利略、笛卡尔等伟大的倡导者发起,

---

[16] 贝当(Henri Philippe Pétain, 1856-1951),法国元帅,二战期间维希(Vichy)政府元首。——译者

目的是力图获得经典物理学的那些最基本的概念和公式。这些概念和公式后来显得如此简单,甚至连中学生也能轻而易举地掌握它们。这场战斗所针对的既不是宗教,也不是迷信或无知(关于科学的流俗观点往往会有这样的误解),而是习惯和常识,是那些最伟大的心灵在面对他们自己所执著的信念的逼迫时容易犯错的倾向。事实上,柯瓦雷曾经评论说,关于错误的历史和关于正确理论的历史同样富有教益,而且在某种程度上前者甚至更具有启发意义。因为,尽管错误本身并没有什么歌颂的价值(柯瓦雷并不是非理性主义者),但它们确实展示出了某些限制因素的力量和本质,而理智的欲求必须努力突破这些限制才能创造出知识(在一篇名为《说谎者厄庇墨尼德》[*Epiménide le menteur* ]的隽永的反讽性文章中,柯瓦雷在古典语境下深入探讨了关于“错误”的更严格意义上的哲学问题)。

柯瓦雷研究问题的技巧既注重精雕细琢,又不失宏观概括。就问题本身而言,它注重精雕细琢;就其始终意识到这些问题的广泛意义来说,又不失宏观概括。《伽利略研究》包含独立成卷的三篇论文,第一篇题为“经典科学的黎明”(À l'aube de la science classique),这里的经典科学是指经典物理学。贯穿三篇论文的统一主题是:经典物理学(没有它,近代科学的其他内容都是不可思议的)如何起源于表述落体定律和惯性定律的努力,它们分别是《伽利略研究》第二、第三篇论文所要处理的问题。第一篇论文的副标题是“伽利略的青年时代”,它意味着伽利略的早期学习和最初研究将会重溯物理学从其古代以来所经历的主要历史阶段。柯瓦雷关于亚里士多德物理学的同情式概括既强调了亚里士多德赋予抛射体运动的原因的反常性,又解释了博纳米科和贝内代蒂的推理。贝内代蒂将14世纪的冲力理论发展成了一套解释抛射体飞行和重物下落的思想方案,从他那里,伽利略学到了冲力物理学。然而,只有当伽利略抛弃了作为原因的冲力(causal impetus)的观念之后,他才开始率先将一种关于质的物理学引向一种关于量的物理学。在他青年时期留下的手稿《论

运动》(*De motu*)的分析中,他首先尝试迈出这一步。在上述手稿中,他用阿基米德的方法替代了亚里士多德的方法,并使用“相对密度”等术语论述了物体与其周围介质的相互关系。

在柯瓦雷看来,科学革命的关键问题是如何将亚里士多德意义上的物理量几何化。《伽利略研究》所展现的思想戏剧(在书中经常是由各种阴差阳错构成的喜剧)在伽利略和笛卡尔之间进行了某种对比,两者都力图将落体定律和惯性定律(这两个定律分别是近代动力学最早和最一般的定律)从普通物体的日常表现的遮蔽中提炼出来。最后,伽利略得到了落体定律,而笛卡尔则得到了惯性概念。1604年,伽利略在其私人书信中最先对落体定律的进行了正确表述(即物体从静止开始自由下落所通过的距离正比于它所经历的时间的平方),但同时又把上述定律归之于一个错误的原理(即物体在下落的任一点所获得的速度增量正比于已下落的距离)。

事实上,在匀加速运动中,速度的增加与时间成正比。出人意料的是,15年以后,笛卡尔在与毕克曼的通信中独立重复了同样的混淆。正是这种惊人的巧合揭示了上述错误的深刻之处。表述落体定律的独特困难在于数学与动力学的相互隔阂。无论伽利略多么清楚地意识到需要用数学语言来表述落体定律,他能够用于将运动数学化的工具唯有算术与几何。尽管他的思维是分析性的,他也不得不用比例来表示函数依赖的关系,而时间的流逝能自然地用几何量来表达,这一点一开始对伽利略来说并非那么直观清楚。但伽利略的直觉显然是一位物理学家的直觉,他最终突破了这一点,并且修正了自己的错误。《两门新科学》包含了从匀加速原理出发对落体定律进行的一个完整的数学推导,并在随后用著名的斜面实验来证实这个定律(由于柯瓦雷本人过度怀疑早期物理学的实验成分,他仅仅视斜面实验为一种思想实验)。

在落体问题上,笛卡尔不如伽利略那样幸运。由于笛卡尔执意将物理学等同于几何学,他从未真正觉察到他关于下落的表述与对落体现象



的物理描述不一致。但是,如果说是这种“彻底几何化”(géométrisation à outrance)的倾向对笛卡尔隐藏了物理问题的基本原理,那么,在另一方面,正是这种数学激进主义将他引向了惯性定律,使他可以不必关心“运动会在哪里停止”、“如果物体倾向于沿直线运动到无限远处,那么还有什么东西能将整个世界聚合在一起”等问题。在这些物理问题面前,伽利略最终退回到了传统的运动观念,认为天界仍沿着圆周运动,并留待笛卡尔来明确阐述这个更一般、更普遍的运动定律。将惯性定律归于笛卡尔当然是柯瓦雷在《伽利略研究》中最原创、最惊人的发现之一,也是柯瓦雷论证的核心。由于惯性原理的出现,一个以人为中心、其秩序符合人的目的的有限宇宙(cosmos)的古代观念消逝在令人不安的无限空间之中。在柯瓦雷看来,科学革命包含着人类对自己在世界中生存的意识的一种嬗变,这种嬗变比从古希腊人类文明的开端以来的任何思想事件都更具决定性意义。而这种嬗变之所以会发生,其原因就在于:为了解决那些关于运动的基本问题,人类构想这些问题的广泛界限和参量的方式必须发生转变。

在战后的岁月里,柯瓦雷一方面在巴黎重拾教职,另一方面不时在哈佛、耶鲁、约翰·霍普金斯、芝加哥和威斯康星等大学发表演讲。1964年,西储大学(Western Reserve University)授予柯瓦雷“古典文学博士”的荣誉学位。1955年,柯瓦雷进入普林斯顿高等研究院,次年获得研究院的终身成员资格。从那时起一直到1962年他开始身体欠佳,每年他都会有六个月待在普林斯顿,并在每个春季回到巴黎实践学院讲授他的年度课程。普林斯顿高等研究院的宁静氛围,尤其是那里关于科学史初版著作的罗森瓦尔德藏书(Rosenwald collection),对于柯瓦雷完成其后续著作来说至关重要。在此期间,同事哈罗德·谢尼斯(Harold Cherniss)、埃文·帕诺夫斯基(Erwin Panofsky)的友谊,以及研究院院长罗伯特·奥本海默(Robert Oppenheimer)的敏锐和批评都给了柯瓦雷极大的激励和鼓舞。在上述同事的鼓励和陪伴下,柯瓦雷成为研究院中思想上泰然

自若、感觉上从容自在的极少数学者之一。

柯瓦雷的后期著作进一步延续着他在研究科学革命及其历史与哲学方面时发现的那些主题。《天文学革命》(*La révolution astronomique*)是他生前留下的最后一部已完成著作,这部著作的主体是一篇关于开普勒的天文学变革的内容十分翔实的论文,在这篇论文之前是柯瓦雷关于哥白尼的早期论述的一篇概要,之后是一篇关于博雷利(Borelli)的天体力学的论文。最后一篇论文是柯瓦雷对于科学史研究的最原创的贡献之一,因为尽管博雷利早已因其机械论的生理学而为学者们所熟知,但近代以来极少有研究者论及他的宇宙机器的错综复杂的理性结构。至于《天文学革命》的主要部分,开普勒一直是他最欣赏的人物之一。柯瓦雷欣赏开普勒的勇气,欣赏他的想象力,欣赏他的柏拉图主义以及他的精确。柯瓦雷为开普勒勾勒的形象不同于哥白尼,他将开普勒刻画成一位为行星运动寻求物理解释的天体物理学家,在寻求过程中他提出了那些数学定律。柯瓦雷一点也不贬低开普勒思想的那些异想天开的方面和毕达哥拉斯主义的要素所发挥的重要作用。事实上,也许我们可以说,一直到他关于开普勒的研究,柯瓦雷早年关于德国神秘主义的兴趣才在科学中找到了用武之地。然而,最终说来,开普勒留下的影响之所以如此深远,是因为他对物理事实的忠诚始终支配着他的想象力,并因此而取得了丰硕的成果。

柯瓦雷所感兴趣的那些主题在牛顿综合中到达了它们的结局,他论述牛顿综合的意义的那篇论文也是他最清晰、透彻和全面的作品之一。这篇论文也成为柯瓦雷身后出版的《牛顿研究》(*Newtonian Studies*)的开篇。或许有些令人遗憾,柯瓦雷并没有把《从开普勒到牛顿关于落体问题的文献史》(*A Documentary History of the Problem of Fall From Kepler to Newton*)这篇论文收入《牛顿研究》,因为这篇一丝不苟的专论最好地展示了他在学术研究方面的天才,即他特别善于从细节和总体两个方面处理某个问题在许多分析性的头脑中所呈现的方方面面。与《伽利略

研究》相比,柯瓦雷还没来得及在他关于牛顿的各项研究之间建立同等程度的融贯性。在他生命的最后几年,柯瓦雷一直在与科恩(I. Bernard Cohen)合作筹备一个牛顿《原理》(*Principia*)的集注版,这个集注版目前已经付印。<sup>[17]</sup> 在《牛顿研究》中,柯瓦雷那篇论述《牛顿的假说与实验》的论文将牛顿的名言“我不杜撰假说”(hypotheses non fingo)翻译成了“杜撰”(feign)而不是“构造”(frame),对人们将一种实证主义哲学归于牛顿本人的做法提出了异议。《牛顿研究》中篇幅最长的论文比较了牛顿和笛卡尔的空间学说,细致地探究了两种学说之间差异的神学涵义,这个主题在柯瓦雷的另一本著作《从封闭世界到无限宇宙》(*From the Closed World to the Infinite Universe*)中得到了更为充分的探讨。

《从封闭世界到无限宇宙》早于《牛顿研究》完成,它重溯了书名所体现的形而上学转变过程,这段过程始于库萨的尼古拉(Nicolas of Cusa)的宇宙论,终于牛顿关于无限空间的绝对性和一位与自然相区别的人格上帝的全能性的断言。从神学角度看,贯穿于整个过程的关键问题是上帝和世界的关系。笛卡尔的科学似乎只有通过陷入泛神论才能避开无神论,这个结论尤其适用于亨利·摩尔(Henry More)。对读者来说,柯瓦雷关于这些问题的讨论似乎有点令人摸不着头脑,因为他们的感受力还未能很好地适应旧本体论的形而上学与神学涵义。然而,如果从心理学角度而不是从形而上学角度来理解上述问题,那么这些问题就会变得生动起来。这种解读与柯瓦雷本人对梅耶松(Émile Meyerson)著作的推崇是一致的,他曾将他的《伽利略研究》题献给梅耶松。<sup>[18]</sup> 这种解读也使《从封闭世界到无限宇宙》成为《伽利略研究》的更哲学化的补充篇或姐妹

[17] 参见 I. Bernard Cohen, *Introduction to Newton's "Principia"*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1971. ——译者

[18] 参见柯瓦雷的以下两篇论文:“Die Philosophie Émile Meyersons”, in *Deutsch-Französische Rundschau*, 4 (1931), 197-217; 以及“Les essais d'Émile Meyerson”, in *Journal de psychologie normale et pathologique* (1946), 124-128.

篇,前者关注的是柯瓦雷所称的“世界感”(world-feelings)<sup>[19]</sup>,而后者所关注的则是“世界观”(world views)。

《从封闭世界到无限宇宙》的核心主题是异化,即意识通过创造出科学将自身从自然中异化出来。如果用这样的术语来表达,那么在现代人眼中,关于上帝和世界的各种形而上学焦虑就会显得非常实在,而这正是希腊宇宙(cosmos)的解体所蕴涵的后果:

一方面,作为一个有限且有序的整体、其空间结构体现着完美等级与价值等级的世界的观念,被一个无定限的甚或无限的宇宙观念所取代,这个无限宇宙不再通过天然的从属关系连成一体,而只统一于其最终的基本组分和定律的同一性;另一方面,亚里士多德的空间观念(世界内部的一系列处处有别的处所)被欧几里得几何的空间观念(一种本质上讲无限且同质的广延)所取代,从今以后它被等同于世界的真实空间。<sup>[20]</sup>

然而,尽管柯瓦雷的上述强调可能会助长将科学斥之为反人文的流行思潮,但他的论述却丝毫无助于反科学主义的鼓吹者。值得注意的是,在17世纪所有伟大的天才中,除培根外,柯瓦雷唯一不太同情的就是帕斯卡。因为他一直认为,理智的创造是精神与混乱长期艰苦搏斗之后获得的成就,而不是需要哀惋叹惜的负担。

---

[19] *From the Closed World to the Infinite Universe*, p. 43.

[20] *Ibid.*, p. viii.

## 附：参考文献目录

### I. 柯瓦雷著作的目录索引

在柯瓦雷七十岁生日之际,有人组织编撰了一个两卷本的纪念文集,题为《柯瓦雷文集》(*Mélanges Alexandre Koyré*, 2 vols, Paris, 1964)。该文集第二卷的卷首列出了柯瓦雷主要出版物的清单,包括大约 75 个条目的作品。本文仅限于列出柯瓦雷的各种著作,以及在前文脚注中提到过,或下文[17]、[18]、[19]三本论文集所收录的那些较重要的论文。在其晚年及逝世之后,柯瓦雷的同事和出版商们认为有必要将这些作品收集在一起,并以书籍的形式重新发表。这也证明人们对柯瓦雷的专业研究保有持续的兴趣。了解一下这些论文集的内容,对读者来说是很有帮助的。

[1]《论笛卡尔的上帝观念及其关于上帝存在的证明》(*L'idée de Dieu et les preuves de son existence chez Descartes*, Paris, 1922; German trans., Bonn, 1923)

[2]《圣安瑟尔谟哲学中的上帝观念》(*L'idée de Dieu dans la philosophie de S. Anselme*, Paris, 1923)

[3]《雅各布·波墨的哲学:关于德国形而上学起源的研究》(*La philosophie de Jacob Boehme; Étude sur les origines de la métaphysique allemande*, Paris, 1929)

[4]《19 世纪初俄罗斯的哲学及民族运动》(*La philosophie et le mouvement national en Russie au début du XIX<sup>e</sup> siècle*, Paris, 1929)

[5]《哥白尼的〈天球运行论〉第一卷:导言、译文及注释》(*Des Révolutions des orbes célestes, liv. 1, introduction, traduction et notes*,

Paris, 1934; repub. 1970)

[6]《斯宾诺莎的〈理智改进论〉:导言、文本、译文及注释》(*Spinoza: De Intellectus Emendatione, introduction, texte, traduction, notes*, Paris, 1936)

[7]《伽利略研究》:第 I 部分,“经典科学的黎明”;第 II 部分,“惯性定律:笛卡尔与伽利略”;第 III 部分,“伽利略与惯性定律”。(*Études galiléennes*, Paris, 1939: I, *À l'aube de la science classique*; II, *La loi de la chute des corps, Descartes et Galilée*; III, *Galilée et la loi d'inertie.*)

[8]《关于笛卡尔的对话》(*Entretiens sur Descartes*, New York, 1944; repub. with [9], Paris, 1962)

[9]《柏拉图对话导论》(法),《发现柏拉图》(英)(*Introduction à la lecture de Platon*, New York, 1945; English trans., *Discovering Plato*, New York, 1945; Spanish trans., Mexico City, 1946; Italian trans., Florence, 1956; repub. in combination with [8], Paris, 1962)

[10]《说谎者厄庇墨尼德》(*Epiménide le menteur*, Paris, 1947)

[11]《俄罗斯哲学观念史研究》(*Études sur l'histoire des idées philosophiques en Russie*, Paris, 1950)

[12]《17 世纪德国的神秘主义者、唯灵论者与炼金术士:施温克菲尔德、弗兰克、魏格尔、帕拉塞尔苏斯》(*Mystiques, spirituels, alchimistes du XVI<sup>e</sup> siècle allemand: Schwenkfeld, Seb. Franck, Weigel, Paracelse*, Paris, 1955; repub. 1971)

[13]《从开普勒到牛顿关于落体问题的文献史:在地动假设下的重物自然下落运动》(*A Documentary History of the Problem of Fall From Kepler to Newton: De motu gravium naturaliter cadentium in hypothesisi terrae motae*),发表在 *Transactions of the American Philosophical Society*, 45, pt. 4 (1955), 329-395. 法语译文由 Vrin 出版社出版,书名

为:《从开普勒到牛顿的地球运动与物体下落:该问题的历史与文献》(*Chute des corps et mouvement de la terre de Kepler à Newton : Histoire et documents du problème*)

[14]《从封闭世界到无限宇宙》(*From the Closed World to the Infinite Universe*, Baltimore, 1957; repub. New York, 1958; French trans., Paris, 1961)

[15]《天文学革命:哥白尼,开普勒与博雷利》(*La révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli*, Paris, 1961)

[16]《牛顿研究》(*Newtonian Studies*, Cambridge, Mass., 1965; French trans., Paris, 1966)

[17]《哲学思想史研究》(*Études d'histoire de la pensée philosophique*, Paris, 1961),收入以下12篇论文:

(a)《关于芝诺悖论的评注》(*Remarques sur les paradoxes de Zénon*, 1922)

(b)《十四世纪的虚空与无限空间》(*Le vide et l'espace infini au XIV<sup>e</sup> siècle*, 1949)

(c)《星座之犬和吠叫之犬》(*Le chien, constellation céleste, et le chien, animal aboyant*, 1950)

(d)《孔多塞》(*Condorcet*, 1948)

(e)《路易·德·伯纳尔》(*Louis de Bonald*, 1946)

(f)《耶拿时期的黑格尔》(*Hegel à Iena*, 1934)

(g)《关于黑格尔的语言和术语的注记》(*Note sur la langue et la terminologie hégéliennes*, 1934)

(h)《关于法国黑格尔研究状况的报告》(*Rapport sur l'état des études hégéliennes en France*, 1930)

(i)《论科学观念对科学理论演变的影响》(*De l'influence des conceptions scientifiques sur l'évolution des théories scientifique*, 1955)

(j)《马丁·海德格尔的哲学演变》(*L' évolution philosophique de Martin Heidegger*, 1946)

(k)《哲学家与机器》(*Les philosophes et la machine*, 1948)

(l)《从近似世界到精确宇宙》(*Du monde de l' 'à-peu-près' à l' univers de précision*, 1948)

[18]《科学思想史研究》(*Études d' histoire de la pensée scientifique*, Paris, 1966),收入以下 18 篇论文:

(a)《近代思想》(*La pensée moderne*, 1930)

(b)《中世纪哲学中的亚里士多德主义与柏拉图主义》(*Aristotélisme et platonisme dans la philosophie du Moyen Age*, 1944)

(c)《文艺复兴的科学意义》(*L' apport scientifique de la Renaissance*, 1951)

(d)《近代科学的起源》(*Les origines de la science moderne*, 1956)

(e)《科学宇宙论的诸阶段》(*Les étapes de la cosmologie scientifique*, 1952)

(f)《五百年后的列奥纳多·达·芬奇》(*Léonard de Vinci 500 ans après*, 1953)

(g)《尼科洛·塔尔塔里亚的动力学》(*La dynamique de Nicolo Tartaglia*, 1960)

(h)《贝内代蒂:亚里士多德的批判者》(*Jean-Baptiste Benedetti, critique d' Aristote*, 1959)

(i)《伽利略与柏拉图》(*Galilée et Platon*, 1943) \*

(j)《伽利略与 17 世纪科学革命》(*Galilée et la révolution scientifique du XVII<sup>e</sup> siècle*, 1955) \*

(k)《伽利略与比萨实验:关于一个传说》(*Galilée et l' expérience de Pise : à propos d' une légende*, 1937)

(l)《伽利略的“论重物的运动”:论思想实验及其滥用》(*Le 'De motu*



gravium' de Galilée : de l' expérience imaginaire et de son abus, 1960)

\* \*

(m)《“翻译者,背叛者也”:关于哥白尼与伽利略》(“Traduttore-traditore”, à propos de Copernic et de Galilée, 1943)

(n)《一个测量实验》(Une expérience de mesure, 1953) \*

(o)《伽桑狄及其时代的科学》(Gassendi et la science de son temps, 1957) \* \*

(p)《博纳文图拉·卡瓦列里及其关于连续的几何学》(Bonaventura Cavalieri et la géométrie des continus, 1954)

(q)《学者帕斯卡》(Pascal Savant, 1956) \* \*

(r)《科学史面面观》(Perspectives sur l'histoire des sciences, 1963)

其中:标 \* 者原文是英语,重印于论文集[19];

标 \* \* 号者原文是法语,译成英语后收入[19]。

[19]《形而上学与测量》(*Metaphysics and Measurement*, London, 1968),收入了论文集[18]中(i)、(j)、(l)、(n)、(o)、(q)等六篇论文的英文版。

## II. 二手文献

读者还可在以下文献中找到关于柯瓦雷及其工作的论述:

(1) Yvon Belaval, *Critique*, nos. 207-208 (1964), 675-704;

(2) Pierre Costabel and Charles C. Gillispie, *Archives internationales d'histoire des sciences*, no. 67 (1964), 149-156;

(3) Suzanne Delorme, Paul Vignaux, René Taton, and Pierre Costabel in *Revue d'histoire des sciences*, 18 (1965), 129-159;

(4) T. S. Kuhn, “Alexander Koyré and the History of Science”, in *Encounter*, 34 (1970), 67-69;

(5) René Taton, *Revue de synthèse*, 88 (1967), 7-20.

## 丨 译后记 丨

印象中,自从我加入北大科学史与科学哲学的学习团队伊始,我便为柯瓦雷的著作,为近代科学革命的历史研究所吸引。于是,过去三年的学习中,一个贯穿始终的学习主题就是:读柯瓦雷,读近代科学革命。

科学史家韦斯特福尔曾经感叹地写道:“今天人们对17世纪科学的理解更主要的是基于亚历山大·柯瓦雷的著作”。柯瓦雷研究近代科学革命的主要著作,目前已译成中文的有三种,均已收入“北京大学科技史与科技哲学丛书”。它们分别是:《伽利略研究》、《从封闭世界到无限宇宙》、《牛顿研究》。从时间上看,这三本著作基本涵盖了近代科学革命的整个历史进程:其中《伽利略研究》是柯瓦雷研究科学史的奠基之作,它从澄清伽利略的思想出发来论述近代科学革命的前奏和开端,即近代科学的基本结构和各种思想要素是如何从表述落体定律和惯性定律的艰苦努力中逐渐形成的;《从封闭世界到无限宇宙》以宇宙论和空间观念的转变为主线,论述了近代科学革命的具体历程;《牛顿研究》论述的则是近代科学革命的完成、终结以及各种思想后果。当然,要全面深入地理解近代科学革命的起源、历程、实质及其影响和后果,单是阅读柯瓦雷的著作还是不够的。不过,鉴于相关的研究著作数量太多,我们认为,无论对于何种类型的研究者和思想者来说,从柯瓦雷的著作直接切入近代科学革命的思想脉络,都不失为明智之举。

从记忆中江南那个幽静的小山村,到热闹纷繁的都市职场,再到法文

版的《伽利略研究》，这是一个过于漫长的故事，无法在这里详细讲述。当我结束《伽利略研究》的翻译，走出几个月来的“脚注生活”时，恰是我完成硕士阶段的学业之际。所以，在此首先要深深感谢我的导师吴国盛教授。三年前，是他在著作中呈现的“为学术而学术”的那份激情与执著将我吸引到未名湖畔；是他的言传身教推动我在学术之路上迈出一个小小的步伐；是他引导我们去阅读柯瓦雷，阅读科学革命；最后，也是他的信任、宽容和督促，才让我有勇气去面对翻译《伽利略研究》这项过于艰巨的任务。当翻译工作完成后，吴老师又在百忙之中抽出时间帮我校读了全文，提出了几十处需要修改的问题。这些修改小至标点、漏字、术语和译名的统一，大至全文编排体例的规范与改进，均详细分章列出。所涉及的某些学术问题，师生之间进行了多次的沟通与探讨。这其中的点点滴滴，实在让我感铭于心，也使我更加珍惜这份未名湖畔的师生缘。

其次，还要感谢北大法国哲学中心的杜小真老师和刘哲老师，以及北大法语系的周莽老师为我学习法语所提供的帮助和支持。尤其要感谢杜老师在百忙中帮我校改最初的十几页译稿，密密麻麻的修改记录着我的感动。有了她的热情鼓励，我才能够坚定信心继续往下译。

在整个翻译过程中，最需要感谢的是孙永平老师。我想，正是由于他的帮助，才使得这项几乎是不可能的任务变成可能。他在2007年春季学期开设的“伽利略研究”专题课程使我受益良多。每次课后，孙老师都耐心解答了译者提出的各种疑问。如果没有这门课程，我真的难以想象最终的译稿会是什么样子。另外，孙永平老师帮助译出了部分意大利语注释，吴天岳老师帮助译出了部分拉丁语注释，刘哲老师帮助译出了部分德语注释，在此特别致谢！

本书的翻译，还要特别感谢张卜天师兄的热情帮助。他不仅传授了不少翻译技巧，就译事多有切磋，而且还耐心地帮助译者校改了部分译文以及《柯瓦雷的生平与著作》这一附录。另外，还要感谢张东林、姚大志、肖磊、周奇伟、沈萌激等参与孙永平老师“伽利略研究”课程的同学，以及

柯遵科师兄和熊婵师姐,你们所提供的各种帮助也非常重要。

最后,还要感谢北大出版社王立刚、吴敏两位编辑,尤其是本书责任编辑吴敏的耐心、细致、严谨的审校工作。正是由于他们的努力,才使得本书译稿能继续有所改进。好书遇到了好编辑,不仅是原著之幸,同时也是译者和读者之幸。

尽管有这么多热情的帮助,但毕竟译者专业水平和法语水平都极其有限,加上柯瓦雷的著作本身所特有的难度,我深信本书的翻译必定还有不少缺陷和不足之处。另外,本书注释繁多,注释中的很多引文属中世纪或近代早期的文本,翻译起来十分困难及耗时费力,译者在尽量不影响正文阅读的前提下,保留了部分拉丁语和意大利语的注释未予翻译。恳切希望读者多提宝贵意见,以期未来有机会对译文进行修订。

译者

2007年8月初稿

2008年1月改定