

# 关于牛顿运动基本三定律的发现过程和年代问题

阎康年

(中国科学院自然科学史所)

关于牛顿运动基本三定律的发现过程和年代问题,多年来,一直存在着各式各样的说法。有的认为运动第一、二定律是伽利略发现的,牛顿只不过是抄袭和“搞拿来主义”。有的认为运动三定律是牛顿在1665—1666年间发现的。牛顿自己则在不同的时间也有不同的说法。总之,与引力平方反比定律和万有引力定律之发现相似,众说不一,看法很多,长期以来存在争论。笔者在对牛顿有关论著、书信和资料分析与考证后,认为有必要提出以下一些看法,供有关工作者参考。

## 一、区分几个有关的基本概念

笔者认为,长期以来在这个问题上所以引起争论,主要原因是未能很好区分以下几个基本概念,即应当把哪一个运动定律的发现和作为一个整体的“运动基本三定律”的发现区别开来,只有后者才是牛顿力学体系的基石之一。应当把发现物体惯性运动的现象和上升为科学的定律相区分,把惯性律和运动基本三定律的第一定律在概念上区别开来。运动第二定律是既定性和定量地科学描述作用力、质量和加速度关系的定律。它是动力学最基本的定律,但却只能在打破静力学最普遍的(也可以说最高的)运动形态——惯性运动时产生。因此,只有实现从静质量向动质量的质量概念的突破,才可能真正建立起来。根据这些认识,下面详细探讨一下运动基本三定律的发现过程和年代问题。

## 二、伽利略及古人是否发现了运动第一定律?

牛顿在《惯性律片断》手稿中写道:“所有那些古人知道第一定律,他们归之于原子在虚空中直线运动。因为没有阻力,运动极快而永恒。”<sup>[1]</sup>牛顿在这里指的是原子论的伟大继承者卢克莱修及其先师伊壁鸠鲁。伊壁鸠鲁在致赫罗多德的信中说:“当原子在虚空里被带向前进而没有东西与它们碰撞时,它们一定以相等的速度运动。”<sup>[2]</sup>卢克莱修继承和发挥了这个看法。

但他们没有也不可能做原子等速直线运动的实验,而只是一种猜测和推理,所以并没有形成科学的定律。十四世纪奥坎曾提出惯性公例的普遍性,后来达·芬奇和斯台文也都做过惯性运动的实验。但是,真正通过切实的实验和定量分析而形成科学的惯性运动规律的,则是伽利略。伽利略在1590—1592年间进行大量落体实验后,于1600年发现物体沿斜面上升运动时为等减速运动,下降时为等加速运动。于是,他通过理想实验方法,得出物体沿水平光滑平面运动时,则“运动一旦进行,没有外力的干涉,就不会停止,沿水平面运动的速度也永不会改变。”<sup>[3]</sup>这就是伽利略发现的著名惯性律。但是,他同时认为,等速圆周运动也是惯性运动,并进而推论行星是按等速圆轨道的惯性运动才永恒地运转下去。所以,伽利略虽然发现了惯性律,但在概念上却存在问题,而弥补这个不足的人则是笛卡儿。笛卡儿在《哲学原理》中论述了物体永远保持它的静止或运动状态,除非受到外因的作用。并进一步明确指出,惯性运动的物体永远不会使自己趋向曲线运动,而只保持在直线上。至此,惯性律才算比较完善地建立起来,但还不是运动第一定律。

惯性律的发现在科学思想史上,有着特殊的重大意义。亚里士多德的运动观在伽利略之前居统治地位,他的基本出发点是定性地研究宇宙间的自然运动,它定义自然运动为落向宇宙中心的物体运动,并用这个运动速度大小定义重量概念。伽利略则开始时认为自然运动应指的是落向地球中心的运动,用物体含的原子数量及其相对比较中来定义重量(质量)。后来,他把落体运动和惯性运动并列为最基本的运动即自然运动,这明显表现在他处理抛物体运动时,将其分解为落体加速运动和直线惯性运动上。至牛顿时,只认为惯性运动才是唯一的自然运动,而落体运动因受引力的作用才产生的。所以,用今天的话来说,只有惯性运动才是零力场中的运动。研究惯性运动具有特殊的意义,它不但可作为运动的第一定律,而且从打破惯性出发就可以研究运动状态变化与作用力的关系及作用力与反作用力的关系。所以运动的第一定律又是运动第二、三定律的基础和发现万有引力定律的必要前提。从这个过程可以看出,惯性律的发现在运动观及动力

学的产生和发展上有多么重要的作用。

### 三、牛顿之前并没有产生运动第二定律

古人既然研究了物体的惯性运动,其逻辑发展则必然是探讨打破惯性运动时外力与运动变化的关系问题,但正因为他们只具有静质量的概念,就不可能深入到问题的本质而上升为科学的定律。伊壁鸠鲁从原子的直线运动出发,认识到原子在虚空中受到冲击而改变其运动的方向。他说,“快慢现象的产生,是由于有还是没有发生冲撞”,从而把原子运动的方向和速度的改变与作用力联系起来。这只是一种定性的思辨性的思想,并不能成为科学。伽利略在这个问题上的重要突破是第一次发现了加速度概念,并将加速度和作用力直接联系起来,从而否定了亚里士多德将速度和力相联系的直观物理学思想,开创了动力学的研究。他认为加速度究竟按什么比例增加,“直到目前为止,还没有一个哲学家或数学家懂得”,“作用力必按物体运动的速度的变化而成比例地增加”。但是,伽利略只具有静质量概念,即物质含有的原子数量(以原子质量为单位 $1$ )或物质的数量。而对动质量概念还处于朦胧不清的状况,他没有从物质内在性质去探索作用力与加速度的比例关系,也就不可能真正建立起动质量概念,更不可能发现运动第二定律了。所以,那种说运动第二定律是伽利略发现的或牛顿是向伽利略搞“拿来主义”的结果,都是无根据的,错误的。

应当说明,静质量的定义:“物体所含物质之量”,最早可能是 $F \cdot$ 培根在1620年《新工具》中提出来的。有些作者认为是牛顿最早提出的,这是不对的。牛顿在1684年8—10月《论运动》短文及《自然哲学的数学原理》(以下简称《原理》)中为质量所下的定义,与 $F \cdot$ 培根的完全一样。培根是牛顿终生信奉的实验哲学的创始人,又是英国人,故培根的著名代表作牛顿不可能不看见过。此外, $F \cdot$ 培根提出“作用力依赖于质量”,这是第一次将力和质量明确联系起来。但像伽利略一样,没有将作用力、质量和加速度三者的内在定量联系找出来。

综上所述,在牛顿之前动质量概念既未建立,作用力与质量和加速度的定量关系也尚未建立起来。因此,不可能发现运动第二定律。

### 四、牛顿运动基本三定律是怎样发现的

知识有其继承性,再伟大的天才也不可能凭空建立雄伟的科学大厦。牛顿和伽利略一样,都笃信古原子论。在物质组成和运动规律的研究上,都是受古原子论的观点的启发而走上科学研究道路的。牛顿一再明确说伽利略、刻普勒和笛卡儿等人的科学发现对他

的影响,在动力学上就是从伽利略和刻普勒成就的基础上发展起来的。约1664—1665年在剑桥大学学习时,就在《流水账》(Waste Book)手稿中用“量”、“可感知的量”和“实体”等表示质量。关于惯性运动规律的研究,在伽利略和笛卡儿之后提出“一个量一旦运动,将永不停止,除非被某外因所阻止”,“一个量将永远在同一直线上运动(不改变其方向和速度),除非受外力的推动”。可见,在刚开始研究动力学时,牛顿就己能正确表述惯性律。在1665—1669年间写的Ms. Add 4003手稿中,提出“惯性是一物体的惯性力,[确保]其运动状态不被任何外力所易于改变”。这里,牛顿对物体运动的探讨从现象的描述开始,深入到问题的实质,指出惯性是运动物体抵抗外力作用的内在性质,以惯性力的形式体现出来,因而突破了伽利略的惯性概念。牛顿论证和验证引力平方反比关系的失败,使他把动力学的研究搁置下来,而且甚至把运动第一、二定律的研究一直延迟到1684年8—10月发现引力平方反比定律之后<sup>[4]</sup>。平方反比定律的证明和证实,使他立即投入发现万有引力定律的准备工作。众所周知,万有引力定律的建立决定于两个主要因素,一个是引力平方反比定律,那时刚刚发现另一个是引力与相互作用物体的质量的定量关系,运动第二定律就是为解决这个问题的需要才进行研究和发现的。

关于运动第二定律的发现问题,早在1664—1665年,牛顿就认识到“一物体必按其被推动的力的途径运动”,就是说运动的方向取决于作用力的方向。1665—1668年间,在Ms. Add 3958手稿中,牛顿把作用力和运动变化及物体的大小联系起来,提出“……运动物体所受的力因运动的大小和物体的大小而改变”,这说明他在这时开始认识到作用力和物体及运动变化之间存在定量的关系,究竟是什么样的关系,当时尚未通过实验和论证。为了进一步回答什么是力这个问题,他说“力是运动和停止的原因”,“或是某种外因,推一物体,产生和破坏其运动,至少改变其运动。或是内因,由于它的作用,物体保持运动或静止,每一实体试图保持其实际状态而不易于受外力所改变”<sup>[5]</sup>。这里,牛顿把力理解为外部的作用力和内在的惯性力两者,因而对力的概念的理解大大深化了。此后,由于上述的原因,牛顿把动力学问题一直搁置起来,直至发现引力平方反比定律之后,需进一步解决引力与质量的关系之时。

1684年8—10月间,牛顿首次定义质量为物质之量,由其密度和大小(即体积)共同度量,明确了静质量的概念问题。同时,又提出惯性力即物体固有之力,“与物体大小成比例,除以我们可接受的方式外,与物质之量完全相同”<sup>[6]</sup>,也就是说惯性力实际上就是静质量。但是,作用力与质量关系是个动力学问题,只有在打破惯性的加速运动中去探索,这是一个动力学质

量概念问题。静质量是由物质内部含有的原子数或物质之量来决定,因此与作用力和运动状况无关。动质量则必须从作用力与运动的变化之间的比例关系去求解。所以这两个质量概念既不同,却又存在内在的联系。这个联系就在于静质量是质量概念的内涵,动质量则是质量概念的外延,即在运动过程中的外在表现。马赫说牛顿一方面从质量定义密度,另一方面又从密度定义质量,陷入了逻辑的循环,这个说法是没有理解问题的实质。是片面的和错误的。

牛顿从水平面上打破惯性运动的实验中,发现作用力等于加速度乘以物体的质量,这是第一次表述在他于1684年8—10月间写的《论物体的运动》手稿中。实际上就是通过动质量概念的突破,发现了运动第二定律。

关于作用力和反作用力关系定律,牛顿在《原理》一卷中就明确说明,华里斯、雷恩和惠更斯在他之前已经先后发现,并在皇家学会上用实验分别做过证明。牛顿早在1664—1665年,在《流水账》手稿中,用图示明确说明二球碰撞时,各自产生的反力相等,方向相反。因为它与质量概念无直接的联系,因而在十七世纪六十年代前期已基本定型了。只是由于动质量概念的突破和运动第二定律的发现,使它具有动力学上的定量关系的新含义,但此前尚未成为运动第三定律。

综上所述,这三个运动定律约在1684年9月左右均已发现。那么,能不能算是发现了运动基本三定律呢?还不能算。因为牛顿约在同年十月左右写的《论均匀介质中物体的运动》一文的手稿中提出了运动基本六定律<sup>[7]</sup>:

- 定律一** 每个物体由其固有的惯性力保持静止或在一直线上匀速运动,除非受推力而不得不改变其运动状态。
- 定律二** 运动的变化与推力成正比,并沿推力方向的直线进行运动。
- 定律三** 任何物体作用于另一物体的力有多大,它的反作用力就有多大。
- 定律四** 一物体在给定的空间中做相对运动,在绝对静止的空间中和沿直线永做等速运动而不做旋转运动的空中做相对运动,结果相同。
- 定律五** 一些物体的共同重心在相互作用过程中,不改变其运动或静止的状态。
- 定律六** 运动球体受到介质的阻力与介质的密度、球体的球面及球体的运动速度均成比例。

但是,1685年初写《原理》一卷时,牛顿改变了看法,认为只有前三个定律才是最基本的,后三个定律只能作为它们的推论。于是,牛顿在《原理》一卷的开始

时,就提出“运动基本三定律”,这就是至今取得世界公认的牛顿运动基本三定律的来历。

通过上述的历史过程,可以看出牛顿为了发现万有引力定律,在发现引力平方反比定律之后,又在动质量概念上取得突破,从而建立了运动第一、二定律。但是,把“运动基本三定律”作为一个整体,并成为牛顿力学体系的主要基石之一,象发现万有引力定律一样,也是在写《原理》一卷的前夕,即1684年末或1685年春天,才一举解决的。过去人们常说牛顿在23岁即1665—1666年时,有三大发现。现在看来,除那时发现太阳光谱外,其他是不确切或不对的。

运动第二定律是应发现万有引力定律的需要才发现的。在牛顿通过打破惯性运动的实验,发现作用力等于质量乘加速度后,为了把作用力与惯性质量的比例关系推广到落体运动的引力与引力质量的关系上,他先在水平面上用磁石吸引铁块模拟地球吸引物体下落,通过实验发现磁力等于铁块质量乘加速度,符合运动第二定律。接着,他进而通过落体实验,又发现引力和落体质量及落体加速度的乘积相等。但为了将这个结果与水平运动的上述结果不但在形式上而且在实质上统一起来,必须在惯性质量和引力质量之间在概念上找出更深刻的联系,即著名的惯性质量与引力质量等价问题。牛顿自己虽然在他的著作和手稿中从未明确谈过这个等价问题,而且这是后人经分析后提出和加给牛顿的,但从问题的实质来看,牛顿不在质量概念上实行这个重大突破,就不可能建立适用于水平运动和落体运动两种情况的、具有普遍意义的运动第二定律,更不可能建立起万有引力定律。

应该指出,作用力和反作用力关系定律上升为运动第三定律,也是应发现万有引力定律的需要才出现的。因为行星绕太阳运行或卫星绕行星运行,是因为两个天体相互作用才使太阳位于某一行星的或行星位于某一卫星的椭圆轨道的一个焦点上,并正常运行。而对于整个太阳系来说,太阳位于太阳系所有天体的质心上,因而并不准确位于某一个行星的椭圆轨道的一个焦点上,这一切都是因各天体相互吸引并处于作用力和反作用力平衡之中。所以用太阳系中某二天体相互作用的引力计算和检验万有引力公式时,严格说来应综合考虑太阳系各天体相互作用的因素。因此,就更需要运用作用力和反作用力关系的定律,并进而使其上升为运动的基本定律之一,也就是说运动第三定律是发现万有引力定律的重要前提之一。

## 五、结 论

通过上面的史料和分析,对牛顿运动三定律的发现过程和年代问题,可得出以下几点结论性的看法:

(下转第640页)

召开,地点另定。4.成立波谱学刊物编辑委员会,吴钦义任主编,邬学文、林贻莛、徐广智任副主编,全体专业委员会委员为第一届编委会委员。由中国科学院武汉物理研究所和华东师范大学物理系筹备刊物出版的有关事宜。刊物的主要内容应当反映我国波谱学研究工作的水平。5.讨论了专业委员会简章,明确了波谱学的范围包括微波波谱学、核磁共振、电子自旋共振、核四

极共振、光磁共振、量子频标物理,以及它们在各个领域中的应用。委员会的任务是在中国物理学会领导下,团结全国从事波谱学的科研和教学工作者,积极开展学术交流活动,促进本学科的发展,不断提高科学技术水平,为“四化”建设作出贡献。

(王金山)

## 第一届全国基础光学学术报告会简讯

第一届全国基础光学学术交流会于1982年6月24日至28日在河北省北戴河市举行。这次会议综合反映了我国有关基础光学的研究发展概况。会议在中国物理学会常务理事、中国光学学会副理事长、基础光学专业委员会主任张志三教授主持下召开,河北省科学院院长赵为一同志出席了会议。

会上共宣读论文80篇。内容包括:(1)光的基本理论与经典光学问题;(2)光谱学与激光光谱学;(3)激光物理学;(4)强光与非线性光学效应;(5)全息术及光学讯息处理;(6)大气光学与导波光学。不少报告涉及的问题远非一个学科的内容,表现了基础光学的研究已渗入其它学科领域,形成跨学科的一些边缘光学问题。

这次会议的报告中也反映了我国在基础光学研究

方面的一些较前沿的课题,如液晶中光学双稳性及光学双稳的某些理论探讨,染料弛豫的微微秒光谱测量,相干 Raman 谱的偏振与相干效应, CARS 谱的表面增强现象,分子双共振光谱测量分子的能量转移,双光子放大的发射现象,光学谐振腔的新表示的描述等等。一类新的光学元件的报道,非相干光的图象处理问题,全息方法与记录材料的发展,以及在集成光学的组件的发展等许多方面都取得一定程度的进展。不少文章所分析的问题表现了深入细致的特点。

会议期间还召开了有关的分支学科的5个专题讨论会,交换了学科发展的看法,座谈了我国在基础光学研究方面与国际先进水平的差距。并举行了大学光学教学的座谈会。

(本刊编辑部)

(上接第637页)

1.运动基本三定律的研究和发现,是由许多科学家和思想家进行长期探索的过程。明显呈现知识发展的继承性。

2.惯性律是由伽利略提出,由笛卡儿完善的。作用力和反作用力关系定律是由华里斯、雷恩和惠更斯发现和验证的。运动第二定律则是牛顿在1684年发现的。但是,这三个定律从实体论上升为本质论,是通过质量概念的突破、严格定量关系的确立和科学的描述才达到的,这是牛顿的功绩。

3.运动基本三定律是一个整体,只有作为一个整体时才能成为动力学的基本定律和牛顿力学体系的基石之一。而这个功绩是属于牛顿的。从这个意义来说,运动基本三定律产生于1684年底或1685年春天的早期,即《原理》一卷开始写作前夕。正式发表于1687年《原理》出版之时。

4.运动基本三定律,特别是运动第二定律,是应发现万有引力定律的需要才发现的,发现的时间在发现引力平方反比定律与发现万有引力定律之间。所以,

运动基本三定律和万有引力定律虽含义和作用各不相同,但从它们的产生过程和内在联系来看,则是相关的和统一的,二者成为牛顿力学体系最主要的基石。

### 参 考 文 献

- [1] A. R. Hall and M. B. Hall, Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton, Cambridge, (1962), p. 315.
- [2] 北京大学哲学系外国哲学教研室古希腊罗马哲学,商务印书馆, (1961), 357.
- [3] Galileo Galilei, On motion and on Mechanics, Trans. by Drabkin, Wisconsin University Press, (1960); p. 143.
- [4] Galileo Galilei, Dialogues Concerning Two New Sciences, Trans. by H. Crew, The Macmillan Co. New York, (1913), p. 215.
- [5] 阎康年, 物理, 10-3 (1981)175.
- [6] John Herivel, The background to Newton's Principia, Oxford. (1965), p. 226.
- [7] ibid., p. 318.
- [8] See ref. [1], p. 267; See ref. [5], p. 312.