



# 伽利略 笛卡尔 牛顿对发现牛顿第一定律的贡献

张琦超 林辉庆

(杭州市余杭高级中学 浙江 杭州 311100)

(收稿日期:2022-02-15)

**摘要:**在考证有关文献的基础上分析伽利略、笛卡尔和牛顿对发现牛顿第一定律的贡献,以及后者对前者的超越.

**关键词:**牛顿第一定律 惯性 贡献 超越

高中物理必修第一册“牛顿第一定律”依次简要地介绍了伽利略、笛卡尔和牛顿对发现牛顿第一定律的贡献<sup>[1]</sup>. 只从书面上看,这3位科学家的研究成果似乎没有什么大的区别,因此,很多学生和教师希望更具体地了解他们的成果以及后者对前者的超越,希望知道牛顿是否只是直接引用伽利略或者笛卡尔的成果作为运动第一定律. 搞清这些问题,也有助于我们更好地理解牛顿第一定律. 下面在考证有关文献的基础上对这些问题作出回答.

## 1 伽利略发现“圆惯性”现象

伽利略对力学的研究开始于对亚里士多德一些错误观点的批判,其主要成果发表于1632年出版的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》(简称《对话1》)和1638年出版的《关于两门新科学的对话》(简称《对话2》)中.

亚里士多德证明地球静止不动的一个主要证据是,从高处自由落下的物体沿竖直线运动;他认为,如果地球是转动的,那么,在物体下落的时间内地面将向东运动一段距离,物体应该落到释放点西边的地面上. 伽利略在《对话1》中反驳道:即使地球是转

动的,如果从高处下落的物体保持原来随地球的匀速圆周运动,那么它对于地面的运动轨迹也是竖直线,因此,物体竖直下落的现象不能作为地球静止不动的证据. 伽利略还提出一个可观察的实验现象证明物体自身能保持原来的速度:从匀速运动的船的桅杆顶端释放的重物,竖直下落至桅杆底端<sup>[2]</sup>.

为批驳亚里士多德物体的运动必须靠力来维持的观点,伽利略在《对话1》和《对话2》中的多个地方作过如下推测:由于物体沿斜面下落接近地心而加速,冲上斜面远离地心而减速,那么,当物体处于与地心等距离的水平地面上,应该既没有加速也没有减速的趋势;这时如果运动的物体不受地面摩擦和空气的阻碍作用,就会沿地面一直匀速运动<sup>[2,3]</sup>.

在《对话2》中,伽利略进一步从实验事实出发论证自己的观点. 如图1所示,从B点释放的摆球,不管是一直绕A点,还是先绕A点后绕C点或D点转动,都能上升到另一侧几乎与B点等高的位置. 他认为,摆球之所以没有上升到B点的高度,是由于空气阻力和摆线伸缩的缘故,如果排除这些影响,摆球就能上升到B点的高度<sup>[3]</sup>. 从这个结果出发,伽利略通过图2所示的对接斜面理想实验推出:

作者简介:张琦超(1983-),男,本科,中教一级,主要从事高中物理教学.

通讯作者:林辉庆(1962-),男,本科,中小学正高级,主要从事高中物理教学.

在水平面上的物体一旦获得速度,只要没有加速或减速的外因,就会以这个速度一直运动下去<sup>[4]</sup>.

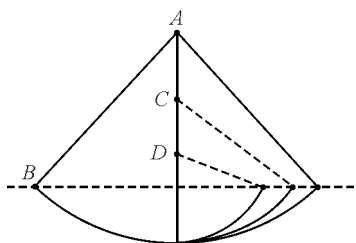


图1 摆的升高实验

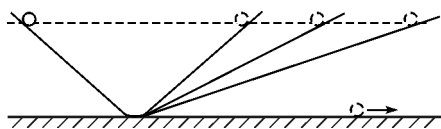


图2 对接斜面理想实验

需要说明,伽利略并没有完全摆脱亚里士多德的地心说,也认为重力是物体的内在属性,是无法排除的.他所发现的惯性运动是物体绕地心的匀速圆周运动,而不是普遍适用于整个宇宙的匀速直线运动.尽管如此,他的发现由于在如下两方面纠正了亚里士多德的错误,使力学的发展走上了科学的道路.

第一,亚里士多德认为必须有力的作用物体才能运动,力是维持物体运动的原因.伽利略的发现表明,物体具有维持其运动的性质——惯性,力是改变物体运动的原因.

第二,亚里士多德认为,静止是物体的自然状态,运动是物体受力作用的被迫状态.伽利略的发现表明,各种速度的匀速运动状态和静止状态,都是物体不受力的自然状态,是等价的.

还有必要提及,伽利略从不同物体在相同的外界作用下加速度不同的现象,隐约感觉到应寻找一个量反映物体这种特性,才能建立起定量的力学<sup>[5]</sup>.这是牛顿建立定量的经典力学体系的先声.

## 2 笛卡尔提出惯性定律的正确表述

笛卡尔是哲学家、数学家和物理学家,1644年出版的《哲学原理》可以看作是他的一本系统的物理学专著.书中在讨论自然界的一般规律时写道:“上帝在创造物质的时候,就赋予物质各部分以不同的运动,而且使所有物质保持创造出来的时候所处

的方式和状态.所以,宇宙中的物质保持着原来的运动的量不变.”<sup>[6]</sup>笛卡尔将这条基本原理应用于单个物质微粒,得到如下定律:

每一单独的物质微粒将继续保持同一状态(大小、形状和速度),直到与其他微粒相碰被迫改变这一状态为止;任何运动,其本身都是沿直线的<sup>[7]</sup>.

这个定律正确地描述了物体的惯性运动,为日后牛顿所直接继承,因此,人们认为是笛卡尔第一次提出正确的惯性定律.

需要指出,笛卡尔认为物质的根本属性是广延(大小和形状),而不是物质的量,他的“运动的量”是物体的体积乘以速度,而不是物质的量乘以速度<sup>[6]</sup>.还有,笛卡尔是从哲学观点和宗教原则出发得出惯性定律的,其认识过程谈不上是科学的.但也不容否认,笛卡尔的惯性思想在如下两个方面突破了伽利略惯性思想的局限.

第一,将惯性运动是匀速圆周运动,修正为匀速直线运动.

第二,将惯性运动是在地球上水平方向的运动,拓展为不依赖于地球的任何方向的直线运动.

笛卡尔的另一个重大贡献是,最先认识到惯性定律是解决力学问题的关键,并将其作为原理加以确立.这对于后来牛顿的综合工作有深远的影响<sup>[7]</sup>.

## 3 牛顿将惯性定律提升为运动第一定律

1661年,牛顿进入剑桥大学学习,接触到亚里士多德关于物体运动的理论,学习了伽利略、笛卡尔和惠更斯等人对物体运动的研究和开普勒对行星运动的研究,产生了对地面上物体和天体的运动作出统一解释的想法.他科学地定义了力概念和质量概念,通过实验研究了两个物体碰撞的相互作用规律,从理论上推导出向心力公式,发明了微积分,进而证明了开普勒的行星运动规律是太阳与行星间与距离平方成反比、与质量乘积成正比的引力作用的结果.1687年,牛顿发表了《自然哲学的数学原理》(简称《原理》),宣告统一解释地面上物体和天体运动的经典力学体系建立.在《原理》中,牛顿第一定律的表述为:

每个物体都保持其静止或匀速直线运动状态,除非有外力作用于它迫使它改变那个状态<sup>[8]</sup>.

只从字面上看,牛顿第一定律与笛卡尔惯性定律没有什么不同,牛顿的贡献在于科学地定义了力和质量概念,并将惯性定律提升为运动第一定律,使其含义更为清晰、深刻,意义更为重大.具体分述如下.

第一,定义科学的外力概念,明确区分惯性与外力对物体运动的不同作用.亚里士多德的外力主要指推、拉、提等作用,伽利略则进一步将摩擦和介质的阻碍作用纳入外力的范畴.不过,他们两人都把重力看作是物体的内在属性,而不是地球对物体的吸引作用.在《对话2》中,伽利略将投掷者“存留于物体中的强迫性推力”不断减小,作为被向上抛出的物体减速上升然后下落的一个可能解释<sup>[3]</sup>,这表明他虽然认识到了物体具有惯性,但还不能区分惯性与外力本质上的不同.在笛卡尔的学说中,碰撞是物体间唯一的作用方式<sup>[4]</sup>.总之,在牛顿之前没有任何人提出科学的力概念<sup>[1]</sup>.《原理》中“定义4”的内容为:“外力是一种对物体的推动作用,使其改变静止或匀速直线运动状态.这种力只存在于作用之时,作用消失后并不存留于物体中,因为物体只靠其惯性维持它所获得的状态.”<sup>[8]</sup>在这里,牛顿科学地定义了外力,并对力和惯性作出了明确的区分:惯性是物体自身维持其运动的性质,外力是其他物体施于这个物体用以改变其运动状态的作用.这使惯性和惯性定律的含义更为清晰了.

第二,建立明确的质量概念,揭示惯性的本质含义.伽利略隐约感觉到应该寻找一个物理量,用以反映不同物体在相同的力作用下速度变化快慢不同的特性,牛顿则明确地定义了这个量.《原理》中“定义3”的内容为:“vis insita 或物质固有的力是一种起抵抗作用的力,它存在于每一个物体中,大小与物质的量相当,并使之保持其现有的状态,或静止,或匀速直线运动.”<sup>[8]</sup>其中“物质的量”即现在物理中的质量,而不是后来定义的以 mol 为单位表示物体中包含粒子数多少的物质的量<sup>[9]</sup>.“起抵抗作用的力”即惯性大小.“固有的”“存在于每一个物体中”表示

惯性是物质固有的属性.牛顿第二和第三定律,进一步给出了质量的定量定义,即两个相互作用的物体加速度的负比值等于它们质量的反比<sup>[9,10]</sup>.质量的定性和定量定义,揭示了惯性和惯性大小是物质固有属性这一深刻含义.

第三,建立经典力学体系,确立惯性定律在其中的基石地位.在运动三定律中,第一定律揭示了影响物体运动的两个因素,即外力与惯性,第二定律进一步揭示了加速度与外力和质量的定量关系,第三定律则在第一、第二定律的基础上揭示了物体间作用与反作用的定量关系.可见,运动三定律是一个以质量概念和力概念为纽带的有机整体,运动第一定律是这个整体的基石.

当然,从古希腊到牛顿时代,还有很多科学家对惯性定律的建立作出过贡献,不过,通过对上述3位科学家所作贡献的分析,就足以使我们了解人们对惯性及其本质的认识是如何逐步深入的,也能使我们对惯性定律获得较为全面而深刻的理解.

### 参考文献

- 1 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心.普通高中物理教科书·物理必修第一册[M].北京:人民教育出版社,2019.79~81
- 2 伽利略.关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话[M].周煦良,译.北京:北京大学出版社,2020.98~106
- 3 伽利略.关于两门新科学的对话[M].武际可,译.北京:北京大学出版社,2020.104,105,107,113,114,135
- 4 李艳萍,申先甲.物理学史教程[M].北京:科学出版社,2003.93,99,101,102
- 5 爱德文·阿瑟·伯特.近代物理科学的形而上学基础[M].徐向东,译.北京:北京大学出版社,2003.74~75
- 6 关洪.物理学史选讲[M].北京:高等教育出版社,1994.80~90
- 7 郭奕玲,沈慧君.物理学史[M].北京:清华大学出版社,1993.25
- 8 牛顿.自然哲学之数学原理[M].王克迪,译.北京:北京大学出版社,2017.1,2
- 9 关洪.力学的基本概念——质量和物质的量[J].大学物理,1984(12):8~10
- 10 阎康年.牛顿的科学发现与科学思想[M].长沙:湖南教育出版社,1989.157