

从不靠接触到无外力作用下惯性定律的思维转换

陈国贤

(莆田第二中学 福建 莆田 351100)

杨艳玲

(清华附中福州学校 福建 福州 350000)

姚 珩

(闽南师范大学物理与信息工程学院 福建 漳州 363000)

(收稿日期:2021-12-06)

摘要:惯性定律的发现与完善有其漫长的发展历程,由中世纪冲力学说——物体不必靠接触而能继续保持运动开始;经过伽利略提出物体自斜面下滑后,能沿着地球表面继续做圆周运动;接着笛卡尔加以扩充,引入了状态的概念,主张物体在不受外在原因或制止下,将沿着直线持续地运动下去;最后牛顿在《原理》一书中首次定义外力一词,并指出物体若不受外力作用,它的运动状态将维持不变,完成了今日所称的惯性定律.了解这3位科学家的思维转换,有助于理解物理学的关键概念与原理的形成.

关键词:惯性定律 外力 伽利略 笛卡尔 牛顿

牛顿第二运动定律是经典力学的基础,它是由第一定律发展得到的.本文将简单地介绍牛顿第一定律建立起来的历史过程,并清晰地指出运动“状态”与“外力”这两个重要概念如何慢慢地被引进物理思维里.

1 古希腊的运动观

早期希腊时代的自然哲学主要在探讨自然界中的变化现象,而位置的变化就是运动.亚里士多德认为运动物体都有其目的地,轻物会往上升,重物会向下落,因为轻物的最终目标在天际,重物的最终目标在世界的中心——地心.这种物体顺着其本性朝向其目的地的运动,称为自然运动,不按照自然运动方式的运动称为受迫运动.例如要让物体向上运动,则必须用手向上抛掷;要让静止在平面上的车子运动,则必须不断施加作用.在当时已使用推、拉、挤压与“作用”(action)的名词,但并没有“力”(force)的概念.

那为何脱离了投掷者的石块还能继续运动呢?亚里士多德认为:当投掷者投出石块的同时,他也推

动了附近的空气介质,空气会不断挤压,使得石头能持续运动下去.此论述保持着物体的作用必须靠接触来传递的一致性.

2 不靠接触的作用形式——中世纪的冲力概念

后来学者质疑:若石块系着一条细绳,水平投出,空气应该较易推动细绳,如此细绳将被推到石块的前方,而非在石块后方,这与事实不符.为了消除由于引入空气介质解释所造成的矛盾,6世纪的非洛彭诺斯认为:当物体脱离了推动者之后,能继续运动,是因为推动者给予物体一个运动力,是这个动力维持了物体的运动.

14世纪法国哲学家布里丹继承菲氏的想法,认为运动的物体是从推动者那里获得原动力或“冲力”(impetus),并将该力储存在物体内部,它能让物体继续维持运动下去.他说:被抛物离开投掷者,它会受到投掷者所赋予的冲力推动,只要冲力大于阻力,它便会持续运动下去^[1].

他破除了古希腊时期所坚持运动物体必有其目的地的观点,并认为冲力与物体的速度和所含的物

质多寡有关,非常接近于今天所说的动量,可以说是惯性的最初来源.冲力说代表着作用不必靠物质的接触来传递,而可由一种抽象的形式概念来描述,这个专门术语也一直沿用到牛顿时期.

3 伽利略无外部阻碍的水平运动——圆惯性

伽利略继承了中世纪的冲力理论,靠着它物体得以持续运动下去,在《论太阳黑子》(1612)书中写道^[2]:

如果我们除去所有的外部障碍,在与地球同心的球形表面上的物体将会处在静止或朝向地平线的任何部分做运动,并且它将保持运动;也就是说,如果它处于静止,它将保持静止;若它处于运动(例如,向西),它将继续保持运动.

在不受外界阻碍干扰下重物的自然运动并非只是垂直往下朝向地心,还可以沿着地平线继续运动下去,他再次肯定造成物体持续运动的冲力说.

20年后,伽利略对物体在不受外部阻碍下的运动情形,做了更详细的论述.在所著《两个新世界的对话》的第二天对话里写着如下内容.

萨尔维阿蒂:假如有一个像镜子一样光滑的平面,……在这平面上放一个球,……球放开之后的情形会是怎样?

辛普利邱:……我肯定它会自发地沿斜面滚下来……

萨:这个球会滚多久和多快呢?记住我说过……在完全没有外部的和偶然的阻碍.

辛:……只要斜面延伸下去,球将无限地继续运动.

萨:……现在请告诉我,同样的运动物体放在一个既不向上也不向下的平面上,会是怎样?……

辛:只要平面不上升也不下降,平面多长,球体就运动多远.

萨:如果这样一个平面是无限的,那么,在这个平面上的运动同样是无限的,也就是说,永恒的了,是不是?

前述对话就是大家经常引用的内容,被认为是伽利略惯性定律的出处.需要注意,他并未使用球不

受“外力作用”一词,他说的是:在完全没有外部的和偶然的阻碍下,圆球的运动情形,在此情形下,圆球会沿着“直线”继续运动下去吗?

萨:……把所有外部的和偶然的阻碍都排除掉,……在向下的斜面上,圆球会自然地运动,而在向上的斜面上,圆球需靠推促,才能运动,你认为这是是什么原因呢?

辛:我认为这是因为重物的本性总是朝向地心运动,若重物要从地球表面朝向上运动,则必须推动它,因为向下的表面接近地心,而向上的表面远离地心.

萨:那么对一个既不向下,也不向上的表面来说,它的各部分一定是和地心等距离的了.世界上有没有这样的平面呢?

辛:在风平浪静时,水面就是这样的表面或平面.

萨:……在一个既不向上也不向下的表面或平面上运动,要是排除一切外在的和偶然的阻碍,它一旦获得冲力就会不停地以匀速运动.

由此叙述可知,在排除一切外在的和偶然的阻碍下,伽利略认为圆球并不会沿着直线继续运动,而是在沿着与地心等距离的地球表面上持续下去,也就是绕着地球做圆周运动.

4 笛卡尔的固有力与运动状态

笛卡尔保留了中世纪与伽利略的持续运动的冲力观点,但不赞同圆球会做圆周运动,他从哲学恒定不变性的理念出发,1644年在所出版《哲学原理》第37节中写下他的运动律.

第一自然律:每一物体由于它本身的强力(power),总是保持在同一状态(state);因此当它一旦运动,它就会继续地运动.

他解释说:从造物者不变动的本性中,可以了解到自然的规律,它是物体各种运动的次要因与特殊因.第一自然律代表每一事物只要它是简单与不可切割的,就它本身内在的强力而言,物体总是会保持同一状态,且除非受到外在原因(external causes),它永不改变……,如果它处于静止状态,除

非受到某种外部原因的驱使,我们不相信它会开始运动.同理,如果它在运动,若没有其他物体制止(impede)它,没有任何理由认为它会停止运动.因此可得结论:任何运动物体只要是在自身的强力(或固有力、内有力)作用下,总会继续运动下去.

笛卡尔所言不受外在原因影响下,运动物体保持在同一“状态”,是何意义?他接着指出

第二自然律:一切运动物体本身都是沿着直线进行的;因此沿着圆周运动的物体总是倾向于远离它们的圆心.

笛卡尔认为运动状态代表的不是物体位置,也不是物体的速率,而是物体的速度,包含大小与方向;保持在同一状态代表是维持静止或匀速直线运动.他所说的运动状态与匀速直线运动都是伽利略不曾有过的想法,也是物理史上第一次出现的观点,对日后力学的探讨影响深远.结合上述两个自然律,可将笛卡尔的惯性定律表示如下:

物体不受外在原因影响或制止时,总会因着物体自身的固有力,维持着原来的运动状态;如果在运动,则会继续维持着匀速直线运动.

5 牛顿的外力概念与第一定律

在1687年之前,与力相关的概念只有亚里士多德的阻力、笛卡尔的内有力、惠更斯的离心力与牛顿的向心力4种,并无力或外力的清晰定义.力学专家特鲁斯德尔也认为:在牛顿之前所有“力”的概念只是一个通俗的字,这个字只是很不严谨地用在科学著作里,但是它从来没有被视为是基本的^[3].直到1687年7月在牛顿《自然哲学的数学原理》一书中,史上才首次对力或外力有直接的描述与定义.

定义4:外力(impressed force)是施加在物体上,总用来改变其静止或匀速运动的作用.

牛顿所说的外力并不是来自于日常生活中人们感官经验的推力或拉力所延伸出来,而是为了要探讨自然界行星与地表物体的运动所引入的创新观点,它类似于中世纪的冲力一词,是一个形式概念,不是实验室的测量值.基于此形式概念,牛顿写下了他划时代的惯性定律:

定律1(公理1):任意一物体除非受外力作用,被迫改变其状态,否则它将保持静止或匀速直线运动.

此定律承继着伽利略持续运动下去的冲力观点,笛卡尔的状态概念,但用“外力”取代了伽利略的“外部的和偶然的阻碍”,以及笛卡尔的“外在原因或制止”.此陈述成为日后力学中最基本的定律.

6 讨论与结论

由上述原始文献的探讨,可以看出:

(1)伽利略对圆球自斜面下滑到水平面时会持续下去,是因为圆球获得了运动的冲力,它是一种不必靠接触,却能将作用效果传送出去的形式概念.从古希腊的接触作用到中世纪与伽利略的冲力主张,其中经历近1900年,显示了物理学从感官经验提升到抽象的形式思维,在西方科学发展过程中所遭遇的巨大难度.

(2)伽利略并未说冲力是一种惯性,笛卡尔以内在的强力或固有力代替了冲力,并将伽利略不受外界阻碍下做持续的圆周运动,修正为匀速直线运动,且以物体总是欲维持原初的运动状态来诠释.

(3)牛顿将伽利略的不受外在阻碍,与笛卡尔的不受外在原因和制止,以不受外力作用的创新概念来取代,这是史上首次清楚出现外力一词之处,它也促成了第二运动定律的发生.

在教学中如果直接从牛顿第一定律介绍惯性定律,学生将无法体会“外力”概念的深层意义,他们总会将它视为是推力、拉力、重力或摩擦力的统称,而忽略了它是经过长时间才浮现出来的抽象名词,它是一个形式概念,不是实验测量值.牛顿用它敲开了状态变化与运动轨迹的量化关系,也将行星运动与地表落体运动整合在一起,开启了全新的物理思维方式.

参考文献

- 1 M Jammer. Concepts of Force[M]. New York: Dover, 1957
- 2 C Truesdell. History of Classical Mechanics[J]. Die Naturwissenschaften, 1976(63):53 ~ 62