



牛顿如何使用惯性定律

陈国贤

(莆田第二中学 福建 莆田 351199)

姚珩

(闽南师范大学物信学院 福建 漳州 363000)

(收稿日期:2022-03-04)

摘要:牛顿的第一定律不是实验观察的归纳,而是一个公理,牛顿首先运用它建立两个脉冲力合成作用在物体上后,物体会因惯性沿着对角线做直线运动.接着他再次与三次,应用惯性定律分别证明《原理》中的第一个命题——物体受向心力作用必满足面积律,及其逆命题.由此可体会牛顿如何诠释与运用惯性定律,并有助于教师在教学上对物理核心概念的把握.

关键词:惯性定律;固有力;向心力;面积律;牛顿

1 引言

牛顿的第一定律或惯性定律不是从实验观察中归纳出来的,它是继承了前人的思想,从古希腊的接触作用,经过伽利略所描述圆球滑到水平面时会持续运动下去,是借着圆球内在冲力——不必靠接触却能将作用效果传送出去^[1],再经过笛卡儿的固有力^[2],逐渐形成一种形式概念——惯性力或惯性.另外,牛顿将伽利略的不受外界阻碍,与笛卡儿不受外部制止的想法,以不受“外力”作用的新观点来描述,由此建立起来深刻的创新思维.其中历经近2000年,揭示了物理学从感官经验提升到抽象形式的发展过程中,心智转变的艰难程度,也彰显出牛顿第一定律在物理学史上所扮演的重要角色.

1687年牛顿在《原理》一书中的第一节,写下史上首次出现的外力概念^[3]:

定义4:外力是施加在物体上,用来改变其静止或匀速运动的作用.

外力是牛顿个人的专用术语,它代替了前人所言的阻碍与制止的用语,此定义也说明了牛顿

心中有关外力的所有意义.接着他将外力与笛卡儿匀速直线运动的状态对应在一起,建立起第一定律:

定律1(公理1):任意一物体若不受外力作用,则它将保持静止状态或做匀速直线运动.

牛顿就是用《原理》中这些基本的定义与三大定律,完成全书的论证,建立起他具有独特价值的思维体系,成功地诠释了许多自然现象.

牛顿提出3个定律的目的主要是希望能清晰描述天体和地表物体的运动现象,为达到此目标,他首先便需使用固有力、向心力与惯性定律,来驳斥笛卡儿和惠更斯所主张的离心力.下面将简单说明牛顿如何具体地使用第一定律,藉以了解惯性定律的根本内涵.

2 牛顿首次使用惯性定律——建立物体受两力作用后的合成位移

《原理》中提出3个重要的定律之后,即刻出现的就是推论1,在那里牛顿首次使用了惯性定律.

推论1:当两个力同时作用在某个物体,这个

物体将沿着平行四边形对角线运动,同时它也可以描述为两个力分别单独作用在物体上的运动.

在证明中牛顿写着:一物体在A点若受到外力M瞬间作用后,由第一定律,在给定的时间,将以匀速自A运动到B,如图1所示;同理,在A处受到另一外力N作用后,将以匀速自A运动到C.(牛顿在此视作用于A点之上的M与N外力为瞬间的脉冲力,他延续着笛卡儿所主张作用必须靠接触或撞击才能发生^[2]).

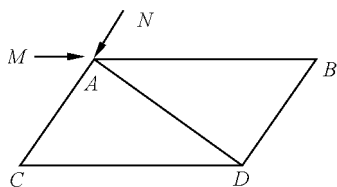


图1 牛顿首次使用惯性定律——两脉冲力

M与N瞬间作用完后物体的位移AD

若两力可合成为一力,在此力作用完后,由第一定律,物体必会以直线运动,唯一可能就是物体需沿着以AB与AC为邻边的平行四边形对角线AD前进.

由此可知,第一定律不是第二定律的特例,而是真正应用于论证之中,且牛顿眼中的外力都是以瞬间脉冲力来代表,两外力的合成是脉冲力的合成,而非推力或拉力的合成.这是牛顿首次使用惯性定律的方式;在脉冲力作用完成后,物体将遵循惯性定律,做匀速直线运动.

3 第二次使用惯性定律——证明面积律

利用上述的推论1,在《原理》的命题1——由向心力可得到面积律,牛顿第二次使用了惯性定律:

命题1(定理1):从不动力心到围绕的运动物体所描绘出的图形,其面积与时间成正比.

证明:如图2所示,假设时间被分成几段相等部分,在第一段时间中物体受固有力划出直线AB.根据第一定律,如果没有阻碍,物体将沿直线Bc直接运动到c,且 $Bc = AB$,因此由中心连成的径长AS、BS、cS,可绘出相等的面积SAB与SBc.

如果当物体到达B点,受到朝向力心S的一个

脉冲力的瞬间作用,使得物体偏离直线Bc,迫使它之后沿着另一直线BC继续运动.根据上述的推论1,物体将位于C点,该点为自点c划出平行BS的直线的交点,也是第二段时间末的端点.

……两三角形SAB与SBc面积相等.在相同时间里,在B点受向心力作用下,描绘出的三角形SBC与SBc的面积也相等(同底等高),故得证.

在前半段证明里,牛顿明确指出“根据第一定律”:由于物理本身内在的固有力,在不受外界影响下,将做匀速直线运动,也就是应用了惯性定律.在后半段,物体受到固有力与指向力心的两脉冲力作用,其合成结果为推论1中所述的平行四边形的对角线BC(图2),间接地使用了惯性定律.

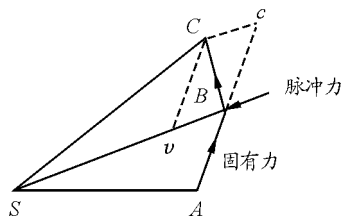


图2 物体受到固有力与朝向S的向心脉冲力作用后的合成位移BC,得到面积律

4 第三次使用惯性定律——惯性定律的逆命题

在说明《原理》中命题2——物体路径若满足面积律必受到向心力作用,牛顿第三次使用了惯性定律:

命题2(定理2):在平面上以任意曲线运动的物体,若自一不动点与物体连线所画出的面积与时间成正比,则此物体必受到指向该不动点的向心力作用.

证明:每一个偏离直线做曲线运动的物体,依据第一定律,都会受到推促它的某种力作用.而使物体偏离直线轨道的此力,在相等时间内使物体经过相等的三角形SAB,SBc和SCD等,其中S为不动点……(根据第二定律)此力将以平行于cC直线方向作用于B处,即沿BS直线的方向(指向不动点S)……

在第一段话里,牛顿再次清楚写下“依据第一定律”,但可看出他依据的是第一定律的逆命题,即:

如果物体不做匀速直线运动,则物体必受外力作用.

此叙述也是惯性定律的另一种正确表示.只有证明此力存在之后,他才可使用第二定律去寻找此力的方向与大小.牛顿就是利用惯性定律,在此处证明出做匀速圆周运动或满足面积律的椭圆运动,必受到向心力作用,而非离心力.

5 结论

牛顿在《原理》首页定义了3种力:固有力、外力与向心力后,便反复应用固有力和向心力的合成来描述物体的运动规则.在著名的三大定律后,他首次使用惯性定律建立了重要的论证基础——推论1——将固有力与向心力视为是瞬间的脉冲力,当此二脉冲力合成瞬间作用完后,物体会因惯性,沿着对角线做直线运动.

接着他第二次应用惯性定律证明全书中的第一定理——物体受向心力作用,则必满足面积律.他第三次所使用的惯性定律是它的逆命题——不做直线运动的物体必受外力的作用,来证明《原理》中的命题2.由以上3处可明白,惯性定律不是

实验的归纳,它是一个公理,是整个牛顿力学的思维基石.

惯性定律最初并非如后人所言主要是用来说明惯性参考坐标系的意义,它也不是牛顿第二定律的特例,而可忽略;反之,若没惯性定律,就无法解释做变速或曲线运动的物体必受外力作用.若此外力不存在,也就无法使用牛顿第二定律来计算此力的大小和方向.

明白了牛顿本人如何使用惯性定律,可对第一定律有较清晰的体会,此定律是为了要描述自然界里天体及落体运动现象而开启的心智创造,它是促成第二运动定律发生的原因,它也是牛顿第二定律的基础.这些脉络可协助教师在教学上能更进一步地掌握住物理的核心概念.

参考文献

- [1] 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,2006.
- [2] DESCARTES R. Principle of Philosophy[M]. Boston: Reidel Pub., [1644]1983.
- [3] 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,2006.

How Newton Used the Law of Inertia

CHEN Guoxian

(Putian No. 2 Middle School, Putian, Fujian 351199)

YAO Heng

(College of Physics and Information Engineering, Minnan Normal University, Zhangzhou, Fujian 363000)

Abstract: Newton's first law is not an induction of experimental observation, but an axiom. Newton first used it to establish that after two impulsive forces were combined and acted on the object, the object would move along the diagonal in a straight line due to inertia. Then he used the law of inertia the second times and three times to prove the first proposition in the Principle—an object subjected to centripetal force must obey the area law and its Inverse proposition. From this, we can understand how Newton interpreted and applied the law of inertia, and help teachers grasp the core concepts of physics in teaching.

Key words: law of inertia; inherent force; centripetal force; area law; Newton