

# 基于核心问题探讨的“牛顿第一定律”教学探索

林辉庆 (杭州市余杭高级中学 浙江 311100)

**摘要** 高中“牛顿第一定律”的教学,重要的不在于加强应用练习或实验,而在于围绕核心问题,进行深入的概念探讨。文章综合有关的物理学史、学生的前概念和往届学生的学习困难提出了核心问题和课堂讨论问题,设计了教学实施方案。

**关键词** 牛顿第一定律 前概念 核心问题 教学实施方案

文章编号 1002-0748(2023)1-0017

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

## 1 高中“牛顿第一定律”教学的误区及对策

高中“牛顿第一定律”的内容很大部分已经在初中学习过,不同的只有两处,一处是推导“物体在光滑水平面上会做匀速运动”的方法不同,初中用小车从斜面滑入水平面的运动情况推导,高中用伽利略理想斜面实验推导;另一处是对惯性的学习要求不同,初中只学习惯性概念,高中进一步学习惯性大小及其量度,且这两处内容似乎也较容易,因此,教师普遍认为高中“牛顿第一定律”的教学需要充实内容。

实际教学中充实“牛顿第一定律”教学内容的方法有两种:增加应用练习或增加实验。平常教学大多采用第一种方法。公开课教学(包括发表的教学方案),大多采用第二种方法,有的公开课几乎就是一个接一个的实验<sup>[1-2]</sup>。

一个众所周知的事实是,学过“牛顿第一定律”的高中生,面对学习或生活中有关物体运动的情境,往往仍然用有关的前概念进行判断。这表明,通常的教学,包括加强应用练习和加强实验的教学,对促使学生将前概念转化为科学概念是低效的。

应用练习是重要的教学方法,但它只有在学生基本上理解了知识意义的前提下,才能使其加深对知识的理解;实验也是重要的教学方法,但它的作用或者是为知识应用创设情境,或者是为知识建构提供经验事实,而不能代替知识建构。从亚里士多德到伽利略再到牛顿的众多科学家,在研究物体运动原因时所面对的是我们熟悉的经验事实:要使静止于地面的物体运动起来,必须推它或拉它,撤去推力或拉力,物体最后会停下;被投掷出去的物体,离开手的推动后,会继续运动一段时间,等。就是对这些

常见的现象,众多杰出的科学家前赴后继,不断探索,竟用了二千多年才建立了牛顿第一定律,这足见物体运动原因问题之复杂,需要大量的智力投入,才能搞清其中的因素及相互间的关系。因此“牛顿第一定律”教学,重要的不在于应用练习,也不在于为学生提供丰富的实验现象,而在于创设问题情境,激发学生主动思维,进行深入的概念探讨,将前概念转化为科学概念。

要促使学生前概念转变,创设的问题情境必须涉及前概念和转变为科学概念的过程。为此,教师应该深入研究有关的物理学史、学生前概念、教科书和往届学生学习遇到的困难,寻找出从前概念发展到科学概念的关键步骤,由此确定对应的核心问题。引导学生展开充分的深度卷入前概念和生活经验的核心问题,方能实现前概念的转变和科学概念的建构。

## 2 教学情况分析

### 2.1 有关的物理学史

从古希腊时代到 17 世纪末牛顿经典力学的建立,人类对物体运动原因的认识大致经历了如下 4 个层次。

第一层次,外力推动说。约在公元前 300 多年,亚里士多德根据经验提出“力是维持物体运动的原因”的观点,认为物体运动与否、运动方向和快慢都由力直接决定。亚里士多德当然知道被抛出的物体还会继续运动一段时间,他对此的解释是:物体刚离开投掷者时,由于向前冲而在尾部形成虚空,周围的空气就会补充进来对物体产生向前的推力,推动物体继续前进<sup>[3]</sup>。

第二层次,冲力说。到 14 世纪,巴黎大学校长

布里丹提出“冲力说”以反对亚里士多德对抛射体运动的解释。他认为，投掷者在推动物体运动时，对物体加上了一种“冲力”，这种“冲力”留存于物体中使物体被抛出后继续运动；物体离开投掷者时获得的“冲力”与其速度和质量成正比。<sup>[4]</sup>

第三层次，惯性定律。到17世纪中叶，伽利略第一次用严密的科学方法得到，运动的物体在光滑水平面上会一直运动下去，认识到物体具有保持速度不变的性质，即惯性。

笛卡尔稍迟于伽利略提出：如果运动物体不受力的作用，将一直作匀速直线运动。伽利略的结论是在重力场中得到的，从而只适用于地球附近，他所说的水平面是与重力垂直的面，沿水平面的运动是圆周运动。笛卡尔的成果突破了伽利略结论的局限，适用于整个宇宙，是惯性定律的准确表述<sup>[3][5]</sup>。

第四层次，牛顿第一定律。17世纪下叶，牛顿在前人研究的基础上，明确定义并区分了外力与惯性：外力是其他物体施加于某个物体改变其速度的作用，惯性是物体自身具有的保持速度不变的性质；外力“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>[6]</sup>。还根据物体在外力作用下保持速度不变的本领定义了惯性大小及其量度。在此基础上，牛顿建立了以运动三定律为核心的经典力学体系，将惯性定律提升为牛顿第一定律。

## 2.2 学生的前概念

学生关于物体运动原因的前概念，主要有亚里士多德式的“外力推动”观点和布里丹式的“冲力”观点。

人自出生后的婴儿期开始，就通过肢体与外界物体的作用，逐渐形成了力是物体运动的原因、物体的运动方向与受力方向相同、物体受到的力越大其速度也越大等观点，并且在生活中一直不自觉但认为正确地用这些观点应对生活中某些需要移动物体的情境，即使在学习了牛顿第一定律之后也是如此。这些观点在一定条件下的有效性决定了它的顽固性，导致有些学生不自觉地将它应用到它不适用的情境。例如，在学习“超重和失重”时，有些学生认为，向上运动的物体受到的合力必然向上，因此外力大于重力，物体处于超重状态；同理他们认为向下运动的物体必处于失重状态。

跑步的人要停下，会感受到一个“冲力”作用而不能一下子停住；速度越大，会感受到“冲力”越大而越不容易停下。人们在生活中还经常观察到，运动

物体的质量和速度越大，与其他物体碰撞时产生的效果也越大。基于这些经验，人们形成了布里丹式的认识：运动的物体由于受到“冲力”作用而不能一下子停住；质量和速度越大，“冲力”也越大。在学习了惯性概念后，学生就不自觉地将“冲力”等同于惯性，认为物体的质量或速度越大，惯性也越大。“冲力”观念由于与人的切身感受相联系而极为顽固，科学的惯性概念的学习也不能轻易改变它。例如，对为什么从高处落下的物体会伤人的问题，一些学生认为是物体速度大惯性大的缘故。

## 2.3 往届学生的学习困难

往届学生学习某一知识的难点和疑问，也可能是当下学生学习这一知识的难点和疑问。往届学生学习了牛顿第一定律之后经常会提出如下3个疑问。

(1) 太空中(例如空间站内)的物体有惯性吗？

(2) 做圆周运动的物体，惯性的表现是要保持圆周运动吗？假如突然失去重力，自由落体还能保持原来的加速下落状态吗？

(3) 为什么用速度而不用其他物理量如位移或加速度描述物体的运动状态？

产生疑问(1)，表明学生很难想象物体在太空中完全不受力时也会保持静止或匀速直线运动，也只有受力才改变速度。学生生活在所有物体都受重力作用的地面环境，缺乏物体在太空中运动的经验，产生这一疑问是可以理解的。

产生疑问(2)，归根结底来说，无疑是学生没有真正理解，不管物体如何运动，如果某时刻开始不受力的作用，它就以这个时刻的速度做匀速直线运动。不过，学生并非直接犯这样的错误。他们认为：力是改变物体运动状态的原因，不受力的物体将保持运动状态不变；因此，做圆周运动的物体，不受力时将保持圆周运动状态不变。加速下落的物体，不受力时将保持加速下落状态不变。可见，这些学生是错误地理解了运动状态概念，这就与疑问(3)相关了。

假设如亚里士多德所言，力是物体运动的原因，直接决定物体的速度(位置变化快慢)，那么，知道物体在某时刻的位置，根据它受到的力，就能确定它在任何时刻的位置，在这种关系中，位置(或对初始位置的位移)是描述物体运动状态的量。而事实上，力是物体速度变化的原因，它决定速度的变化快慢，我们是由物体在某时刻的速度，根据它受到的力，确定它在任何时刻的速度，进而确定整个运动过程的，在这种关系中，速度是描述物体运动状态的量。可见，

之所以用速度描述物体的运动状态,在于力是改变物体速度的原因,即不受力时物体速度不变,受力时速度才改变。

因为速度是描述运动状态的量,所以当说到物体的运动状态不变时,是指其速度不变,物体或保持静止,或做匀速直线运动。

学生产生这3个疑问,归结为他们没有认识到:在任何情况下,不受力时物体速度不变,受力时速度才改变。其中的关键和难点是,在任何情况下,不受力的运动物体做匀速直线运动。

### 3 核心问题和课堂讨论问题

#### 3.1 核心问题

从有关的物理学史、学生的前概念和往届学生的学习困难,可以看出本课教学应着力解决如下3个核心问题。

**核心问题1:**亚里士多德“力是维持物体运动的原因”的观点与牛顿第一定律是完全对立的,还是在一定条件下一致的?

由于亚里士多德观点在一定条件下是有效的,因而无法被简单地否定。但如果让它与牛顿第一定律不加区分、不加联系地同时存在于头脑中,人们就可能不自觉地将它用到不适合的情境。为避免这种情况,应通过讨论让学生认识到亚里士多德观点是牛顿第一定律在一定条件下的近似,如此也能更好地理解牛顿第一定律,理解科学理论的本质。

**核心问题2:**如何理解完全不受力的运动物体(例如处于远离所有天体的太空中)做匀速直线运动?

从亚里士多德“力是维持物体运动的原因”的观点,发展到牛顿“物体的运动由外力和自身惯性共同决定”的观点,伽利略和笛卡尔等人发现“不受力的运动物体做匀速直线运动”的结论是关键步骤。往届的教学经验表明,理解“不受力的运动物体做匀速直线运动”也是学生学习的难点。这个结论不能从实验中归纳出来,也不能用实验直接验证,为了克服这个难点,应该创设多种问题情境,促使学生通过多角度的深入探讨,从思维上把握这个结论。

**核心问题3:**如何区分惯性与外力对物体运动的不同影响?惯性大小的确切含义是什么?量度是什么?

外力与惯性同时体现于物体的运动中,且惯性的表现很像某种力的作用(如汽车刹车时,乘客感到受到向前的“冲力”作用),很难区分。历史上,布里

丹的“冲力”概念,是外力与惯性、惯性大小与运动物体由于惯性产生的效果(如停下需要的时间)的“混合物”。后来,尽管伽利略与笛卡尔发现了物体的惯性,但他们仍然没能给出力的清晰定义,还经常将力与惯性相混淆<sup>[7-8]</sup>。直到17世纪末,牛顿明确定义了力并与惯性相区分,定义了惯性大小并与运动物体由于惯性产生的效果相区分,才建立起以牛顿第一定律为基石的力学体系。区分惯性与外力、惯性大小与运动物体由于惯性产生的效果,是认识力与运动关系最困难的步骤,自然也是学生最难搞清的地方。为克服这一难点,应该引导学生深刻反思并讨论跑步要停下时的亲身感受,区分混杂在这种感受中的两对概念。

#### 3.2 课堂讨论问题

核心问题是真正理解知识必须克服的认知困难,但它不一定直接适合于课堂讨论,有时需要将其拆分成几个子问题,或改变其表达方式,将其改编为适合于学生思考和课堂讨论的问题。结合教科书、学生的生活经验和课堂讨论特点,可以将上述3个核心问题,改编为如下6个课堂讨论问题。

**问题1:**人用力推静止于地面的物体,物体会运动起来,撤去推力,物体会很快停下。对这个现象,牛顿运动定律如何解释?亚里士多德“力是维持物体运动的原因”的观点在什么条件下是成立的?

**问题2:**所谓理想实验,就是根据一定的事实,假设理想化的条件,通过推理得出结论的过程。伽利略的理想斜面实验,事实根据是什么?经过怎样的推理?得出什么结论?

**问题3:**初中用小车从斜面滑入水平面的运动情况,推出物体在光滑水平面会做匀速运动的结论,高中用理想斜面实验推出这个结论。从推理的严密性上说,两者有何不同?

**问题4:**伽利略和笛卡尔对牛顿第一定律的建立分别有什么贡献?后者对前者有什么超越?请设想,在太空中有初速度的物体会怎样运动?说出你猜测的依据。

**问题5:**我们都有这样的体验:跑步要停下时,会受到一个向前的“冲力”而不能一下子停住。反思自己在这个过程中的感受,说说这个“冲力”与摩擦力和空气阻力有什么不同。

**问题6:**人跑步的速度越大,要停下时感受到的“冲力”也越大,停下用的时间也越长。这是否表明物体的速度越大其惯性也越大?惯性大小的确切含义是什么?它由什么决定?

问题 1 对应核心问题 1, 问题 2、3、4 对应核心问题 2, 问题 5、6 对应核心问题 3。

#### 4 教学实施方案

教学过程以课堂探讨为中心, 分为课前学习、课堂探讨、反思总结和课后拓展 4 个环节。

##### 4.1 课前学习

学生课外自学教科书, 并思考回答上述 6 个课堂讨论问题。指定 6 个学习小组各重点研究一个问题, 在课堂中向班级介绍研究结果, 作为课堂讨论的起点。

##### 4.2 课堂探讨

对每个问题的讨论按照“观点呈现→质疑探讨→结果总结”的程序进行。作过重点研究的小组, 投影并解说研究成果, 全班在此基础上质疑讨论, 然后教师投影“参考答案”, 学生学习参考答案并结合讨论形成自己的观点。下面是各个问题的参考答案。

**问题 1 参考答案:**牛顿运动定律解释: 当推力大于摩擦力, 物体从静止开始加速运动, 然后使推力等于摩擦力, 物体做匀速运动, 接着撤去推力, 物体在摩擦力作用下减速运动直至停下。在只把人推物体叫做力、被推物体加速和减速的时间很短的条件下, 牛顿运动定律的解释就转化成了亚里士多德的解释。在古希腊时代, 技术水平较低, 不可能对物体速度变化的过程作细致的研究, 且那时也没有摩擦力概念, 因此, 亚里士多德得出“力是维持物体运动的原因”的结论是自然的。

**问题 2 参考答案:**略。

**问题 3 参考答案:**初中的推理并不能必然得到小车会在光滑水平面上一直运动的结论。例如, 让水平面不断变得光滑, 小车运动的距离从 1 m 增加到 2 m, 再增加到 2.5 m……虽然运动距离一直增大, 但可能只是无限接近于某个定值, 例如 4 m。在高中理想斜面实验的推理中, 小球在第二个斜面上运动的距离  $l = \frac{h}{\sin \theta}$ ,  $h$  一定, 随着  $\theta$  趋向于 0,  $l$  必然趋向无穷大。

**问题 4 参考答案:**关于伽利略和笛卡尔对建立牛顿第一定律的贡献的比较, 见前文“有关的物理学史”中的相应内容。对在太空中有初速度的物体会怎样运动的问题, 可以进行开放性的讨论, 还可以播放中国空间站第二次太空授课叶光富航天员抛出的“冰墩墩”做匀速直线运动的录像<sup>[9]</sup>。

**问题 5 参考答案:**摩擦力是地面对脚底的作用,

空气阻力是空气对人身体的作用, 它们都是外界物体施加于人的, 都有施力物体。跑步的人要停下时感受到的“冲力”没有施力物体, 它是人自身的惯性在减速时的表现。

**问题 6 参考答案:**惯性大小是物体保持速度不变的本领的大小。两个物体在相同的外力作用下, 加速度小的物体保持速度不变的本领大, 惯性大; 加速度大的物体惯性小。在“探究小车速度随时间变化的规律”<sup>[7]</sup>的实验中观察到, 在相同的力作用下, 质量大(小)的小车加速度小(大); 这表明质量大(小)的物体惯性大(小), 质量是物体惯性大小的量度。

物体的惯性大小体现为在一定的力作用下加速度的大小, 而不是体现为要使物体停下来的时间长短。相反, 正是因为人的惯性大小一定, 受一定阻力时加速度也一定, 才有速度大不易停下的结果。

##### 4.3 反思总结

学生通过反思, 归纳本节课学习的主要内容, 提出通过学习仍然存在或新产生的问题。

##### 4.4 课外拓展

思考“反思总结”中提出的问题, 阅读有关的拓展性材料。

需要说明的是, 本课教学以讨论为主, 但可以也应该结合讨论进行必要的实验演示。例如, 讨论伽利略理想斜面实验时, 可以演示摆球从一侧落下, 沿不同路径在另一侧总上升到接近下落时的高度。讨论惯性大小时, 可以演示在相同的力作用下, 不同质量的小车加速度不同。

#### 参考文献

- [1] 余雪妹. 基于物理核心素养提升的教学设计策略——以人教版“牛顿第一定律”教学设计为例[J]. 物理教师, 2018, 39(9): 9—12, 17.
- [2] 鲁斌. 提升生物理核心素养的教学探索——以“牛顿第一定律”的教学为例[J]. 物理教师, 2017, 38(4): 23—27.
- [3] 李艳萍, 申先甲. 物理学史教程[M]. 北京: 科学出版社, 2008. 7: 70, 101—102.
- [4] 关洪. 物理学史选讲[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994. 4: 57.
- [5] 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, 1983. 12: 146.
- [6] [英]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. 8: 2.
- [7] 彭前程, 秦建云. 普通高中教科书·物理 必修 第一册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019. 8: 34—36, 79.
- [8] [意大利]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. 5: 104.
- [9] 百度. 2021 太空授课完整版[EB/OL]. <https://www.baidu.com/>, 2021. 12. 09.