



基于“历史力量”的动量概念教学新路径

彭佳 吴先球

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2019-06-28)

摘要:通过对3个版本高中物理教材中动量教学设计思路的分析,在教育重演理论指导下,借助历史的力量,以物理学史为教学主线重构动量概念教学路径,以期在追根溯源中引导学生从不同的角度认识“动量产生的原因”,回答“Why”的问题;并进一步在“动量与动能”的历史争论中深入动量的本质,回答“What”的问题,从而更好地促进学生在历史重演中动态的生成动量概念。

关键词:动量 历史 动量守恒 动量产生的原因

初学动量时,许多学生会迷惑不解:有了速度作为描述物体运动状态的物理量,为什么还要提出动量这个概念,即动量产生的原因是什么?传统中学物理教材通过“演绎推理”“科学探究”和“案例分析”等方法引入动量,并不能很好地回答这个问题,导致学生的学习往往浅尝辄止,难以深入其本质。

1 教材设计思路分析与问题提出

1.1 理论的力量——演绎推理

旧的人教版教材(2003)中动量是利用物理知识内部逻辑,通过数学方法“演绎推理”得到的,利用牛顿第二定律 $F=ma$ 和运动学方程 $v=at$ 联立得到 $Ft=mv$,定义冲量概念 $I=Ft$ 和动量概念 $p=mv$,从而逻辑外推出动量定理。这种利用理论力量的展开方式是大部分教材编写时所遵循的设计思路,原意旨在调动学生原有认识结构的基础上从逻辑的角度内推出新的知识。

但这种教材展现方式疏离了学生的感性认识,因缺少体验性而显得枯燥乏味,从奥苏贝尔有意义学习理论来看,学生由于缺少兴趣和内部学习动机,难以主动地将新知识与原有的认知结构建立有意义

的、实质的联系,从而影响动量概念的生成。

动量作为高中比较抽象的物理概念与学生的原有认知水平之间存在一定的“剪刀差”,超出了学生的最近发展区,所以仅靠演绎推理很难让学生认识到动量产生的原因。

1.2 实验的力量——科学探究

新人教版教材(2010)主要是通过实验“探究碰撞中的不变量”来建立动量概念的。通过探究完全弹性碰撞和非完全弹性碰撞前后有哪个物理量保持不变,猜想质量和速度的不同组合关系。通过探究实验发掘出质量与速度的乘积之和在碰撞前后保持不变,从而意识到 mv 这个物理量具有一定的特殊意义,进而将其定义为动量。这种引入方式使学生在探究过程中获得丰富的感性认识,亲身经历了一次科学探究过程,在亲身探究中寻找动量这个“不变量”,回答了学生为什么要定义动量这个概念。

但在现实的物理教学过程中如果只靠实验,学生容易产生动量概念是从实验中偶然得到的错觉,认为动量只是 m 和 v 的简单组合,容易导致对“动量的本质”理解不够透彻。

作者简介:彭佳(1993-),女,在读硕士生,主要从事物理教学与应用方面的研究。

指导教师:吴先球(1968-),男,教授,研究方向为:信息技术在物理实验中的应用。

1.3 案例的力量——物体碰撞

粤教版教材(2011)以分析物体的碰撞现象展开,从历史上典型的碰撞实验出发,再到生活中的各种碰撞实例,探究和分析各种碰撞的形式及其所遵循的物理规律.从能量的角度对弹性碰撞和非弹性碰撞下定义,进而引出冲量、动量的概念.这种引入方式帮助学生认识到动量及相关知识的介入可以顺利解决生活中瞬时、高速等碰撞现象中牛顿运动定律无法解决的问题,有利于引导学生从之前的宏观物理向微观物理世界过渡.

通过教材分析可以发现,3版高中物理教材从不同的角度引出动量概念,各有风格特点,但也存在

一定的不足;未能对动量概念产生的原因及动量的本质进行深度的探究.基于此,本文尝试借助“历史的力量”,以物理学史为教学主线重构动量概念教学路径.

2 基于历史力量的动量概念教学新路径

教育重演论指出,学生物理概念学习的过程与科学家研究物理学的过程有着内在的相似性,可以说作为个体的人在学习物理的过程中重演着人类探索物理的过程^[1].所以可以借助“历史的力量”,在追根溯源中从不同的角度认识动量产生的原因,在“动量与动能”的历史争论中深入动量的本质.具体的教学路径如图1所示.

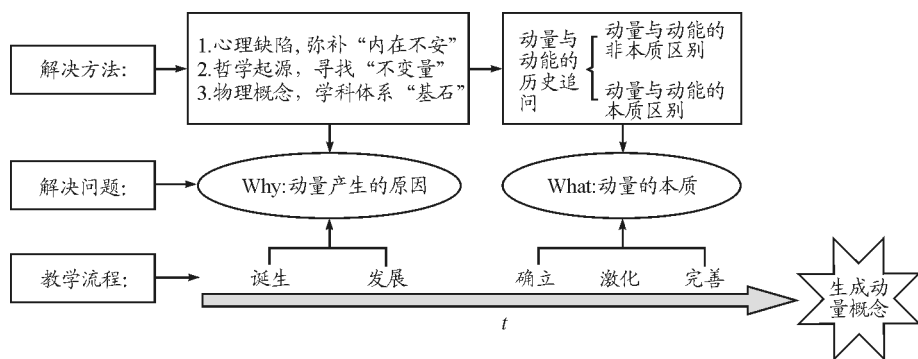


图1 基于历史力量的动量概念教学路径

3 基于历史力量的动量概念教学设计思路

本文借用动量的历史演进过程,如表1所示,将动量概念教学分为5个阶段.通过历史重演让学生

认识到“动量”概念的确立并不是一蹴而就的,也是经历了由不同的科学家不断完善的有血有肉的曲折过程,促进学生在“破”与“立”中加深对动量概念的正确认识.

表1 基于历史力量的动量教学设计思路

演进过程	时间	物理学家	对动量的贡献
诞生	1638	伽利略	定义动量:重量和速度的乘积
发展	1644	笛卡尔	提出动量守恒的思想(基于上帝的不变性)
确立	1668	惠更斯	指出动量的矢量性
	1687	牛顿	确立了质量和重量的区别; 推论的形式提出了动量守恒; 给出了动量的准确定义
激化	1686	笛卡尔 / 莱布尼兹	争论 mv 和 $\frac{1}{2}mv^2$ 谁作为运动的量度
完善	1747	达朗贝尔	指出 mv 和 $\frac{1}{2}mv^2$ 分别从不同角度度量运动的守恒性
	1880	恩格斯	辩证法角度给出最终总结

3.1 动量概念的诞生——伽利略

现代哲学的研究成果表明,历史是必然性与偶然性共同作用的结果.意大利物理学家伽利略在研究打击现象时,偶然间发现打击的效果与锤子的重量以及它的速度有关,为了研究自身理论的方便,他把重量和速度的乘积定义为“动量”,动量这个近似概念就此诞生.

3.2 动量概念的发展——笛卡尔

3.2.1 动量守恒思想的提出

后来法国哲学、数学家笛卡尔继承和发展了伽利略的观点,在1644年发表的《哲学原理》一书中指出:“当一部分物质以两倍于另一部分物质的速度运动,而另一部分物质却大于这一部分物质的两倍时,我们有理由认为这两部分的物质具有相等的运动量,并且认为每当一部分的运动减少时,另一部分的运动就会相应地增加.”^[2]这里,笛卡尔不仅肯定动量是物体运动的量度,还表明了守恒的思想,他认为“上帝把运动放进宇宙,由于运动只是在创世时一下子赋予宇宙的,所以世界上运动的总量必然是个常量”,笛卡尔就这么简单粗暴地从“上帝的观念”提出了他的动量守恒思想.但是由于当时质量概念还未建立,也没有考虑到动量的方向性,所以动量概念还处于雏形阶段.

3.2.2 动量产生的原因

(1) 心理缺陷,弥补“内在不安”

相关的心理学研究表明:人类有追求“完美对称、守恒不变”的生理和心理倾向,当观察者看到他视野内的观察对象或研究对象不对称、不一致、不守恒时就会在心理上产生一种不舒服和紧张的感觉,等到他想方设法填补了空缺,使对象达到了一种新的对称守恒时,便会感到轻松满意^[3],这种心理上的“欠损感”,使得人们处于一种无尽不安中,为了弥补或者逃离不安,人们内在的心理倾向于去追寻一种对称守恒的状态,这也诱发了伟大先哲对宇宙运动总量守恒的哲学设想.

(2) 哲学起源,寻找“不变量”

为了在多变的宇宙中寻找某些“不变量”,先哲

们遥望星空,仰天发问:整个宇宙运动的总量是否不变?为了证明运动的总量是守恒的,需要一个合适的物理量来度量运动,所以“动量”就是基于这种寻求“不变”的哲学初心而提出的.

(3) 物理概念,学科体系“基石”

物理概念是构成学科知识体系的基石,是体系大厦的重要组成部分.长期以来,物理学家的科学理想就是要解释测量物理现象,建立物理概念和定律,并用一些概念来描述定理定律,甚至用一些概念来解释、定义另外一些概念,以求得前后的一致.动量这个概念的诞生正是由于伽利略为了解释自己的实验现象而定义的一个物理概念.所以动量概念的产生原因是多方面的,教师可以引导学生从更多的角度来思考“Why”这个问题,更加立体地建构对动量的初步认识.

3.3 动量概念的确立——惠更斯/牛顿

3.3.1 动量具有方向性

接下来,荷兰科学家惠更斯又经过多次碰撞实验的研究和分析,于1668年得出结论:“两个物体所具有的动量在碰撞时可以增多或减少,但是,如果减去反方向运动量时,它们的量值在同一方向的总和将保持不变”^[4].也就是说,如果规定一个正方向,那么通过计算可以看到碰撞前后的总动量是相等的.惠更斯敏锐地洞察了动量是个矢量,具有方向性,对动量的完整认识做出了巨大贡献,但是那个时候重量和质量还常常被物理学家混淆,动量概念还有待进一步的完善.

3.3.2 动量定义的确立

直到1687年,牛顿在《自然哲学的数学原理》一书中指明物质的量度是质量,方才区分开质量和重量这两个基本的物理量,从而厘清了自伽利略以来众多物理学家对质量概念的模糊认识.

此外,牛顿以 mv 作为描述质点运动状态的物理量,并将牛顿第二定律表示为

$$F = \frac{d(mv)}{dt}$$

而不是我们教科书中看到的 $F = ma$,揭示了他以动量为运动量度的思想.并通过牛顿第三定律及其推

论证了动量守恒的思想:根据第三定律

$$\frac{dp_1}{dt} = -\frac{dp_2}{dt}$$

推导出

$$\frac{d(p_1 + p_2)}{dt} = 0$$

也就是动量的变化率为零,所以 $p_1 + p_2$ 不变,即总动量守恒^[5].

牛顿还通过单摆碰撞实验再一次证实了运动的量度是动量,并给出了动量的准确定义:动量是速度和质量的乘积,它是一个矢量,其方向与速度方向相同^[5]. 因为建立了质量的概念和明确了速度的方向性,且把动量作为一个矢量,所以牛顿算是第一次真正意义上建立完整动量概念的人,他定义的动量概念一直沿用至今.

3.4 动量概念的激化——笛卡尔/莱布尼兹

3.4.1 “动量与动能”谁为运动度量的历史争论

动量概念确立以后得到了大多数科学家的认可,但在17~18世纪,由于“力”的概念还不是完全清晰,科学家们在不同的角度上关于“力的作用效果”进行激烈的探讨,从而引起了笛卡尔学派和莱

布尼茨学派关于物体“运动量度”的一场旷日持久的争论^[6]. 1686年,德国哲学家、数学家莱布尼茨指出,笛卡尔关于运动的量度“动量”同落体定律相矛盾,提出了宇宙中能度量物体运动的应该是 mv^2 ,后来,根据科里奥利的建议,用 $\frac{1}{2}mv^2$ 代替 mv^2 ,这种形式就是我们现在所说的动能.

虽然同落体定律相矛盾,可又不能否认笛卡尔的运动量度在许多情况下是正确的. 因此,莱布尼兹把动力分成了“死力”和“活力”. mv 是死力的量度,即相对静止物体之间的力的量度,把 $\frac{1}{2}mv^2$ 拿来作为活力的量度,宇宙中真正守恒的东西正是总的“活力”. 这种观点遭到笛卡尔派的竭力反对,他们各持己见,争论持续了近半个世纪之久,并在这场争论中进一步发展、完善了动量概念.

3.4.2 动量与动能的非本质区别

为什么“两者谁为运动量度”这个问题会引发科学家么这么激烈的争论呢? 通过表2的对比,我们可以发现两者其实在机械运动中并没有本质的区别,只是角度的不同而已.

表2 动量与动能的非本质区别

物理量	量度	定理	不同角度定义“力”	累计效应	本质	守恒量	非本质区别
动量	冲量 $I = F\Delta t$	动量定理 $I = F\Delta t = \Delta(mv)$	$F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$	力在“时间”上的累积效应	动量决定物体受到阻力能够移动多久	动量守恒	机械运动中动量传递的角度
动能	功 $W = F\Delta x$	动能定理 $W = F\Delta x = \Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$	$F = \frac{\Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right)}{\Delta h}$	力在“空间”上的累积效应	动能决定物体受到阻力能够移动多远	能量守恒	机械运动中能量转化的角度

3.5 动量概念的完善——达朗贝尔/恩格斯

3.5.1 达朗贝尔的“最终判决”

直到1743年,这场旷日持久的争论被法国物理学家达朗贝尔在他的《动力学论》中下了最终判决,他称这是一场“毫无意义的咬文嚼字的争论”,认为: mv^2 和 $\frac{1}{2}mv^2$ 是从不同角度来对物体运动进行度量的,并提出“运动的种类不同,运动的量度就不同”的观点,表明了两者之间是“对立统一”的关系.

3.5.2 恩格斯的“最终总结”

在此基础上,伟大的革命导师恩格斯从“辩证法”的角度给这一争论最终总结:机械运动确实有两个量度,但也发现,每一种量度适用于某个界限十分明确的范围内, mv 是以机械运动为量度的物理量, $\frac{1}{2}mv^2$ 是以机械运动转化为其他形式的运动能力来量度的物理量,互不相同,但并不矛盾. 至此,这场以动量与动能谁为运动“度量”的历史争论终于画上了完美的句号^[7].

(下转第124页)

具有人文阅读的观念.例如朱熹就曾提出精辟的读书法见解:循序渐进、熟读精思、虚心涵泳、切己体察、着紧用力、居敬持志^[3].

其二,做笔记是物理教师培养阅读方法的很好方式.这实质上是教师精神积累与实物积累的双赢过程.教师在阅读中,可以用做笔记的方式记录、梳理、琢磨学过的知识与方法、闪过的灵感.

最后,主动带着问题进入阅读的状态可增强学习的方向性和目的性,自己明白要干什么,才会去思考“想怎么干”.若仅有外在的压力,而没有内在的驱动力,难以形成持久的冲劲.所以,在问题的指引下,会有主动阅读的欲望,会让自己的潜能变成一种内在要求的驱动力而主动学习.

一个人的阅读史,就是他的精神发展史.阅读不单纯是一种技能,更是一种素养,在不断提升自己精神境界的同时,幸福感也随之而来!

(上接第120页)

3.5.3 动量与动能的本质区别

在上述的分析中,我们已经看到动量和动能都可以量度机械运动转移的能力,仅仅是从不同的角度量度而已,但是在伴随着机械运动和其他运动形式相互转化的机械运动中,两者之间是存在本质区别的.我们在这里推广到“能量与动量”的本质区别的比较:“能量”是所有运动形式运动强弱的普遍量度;而“动量”仅可以作为机械运动强弱的量度.因此,当机械运动中伴随着运动形式的转变即能量的转化时,只有动能才能够真正度量机械运动强度的变化.

4 总结

事实上,科学发展中有争议的概念、定律,也正是学生最难接受、最容易出错的地方,历史上关键的突破和科学家伟大贡献的精髓也正是教学的重点.相比较“理论力量”的逻辑严谨,“实验力量”的具身

若当一名教师无法找到一种职业幸福感时,那做事会很被动,而又不觉得有任何问题,久而久之,连一个该有的自我启发、自我反思等思维上的主动机制也会由放缓操作至完全关闭,到了皮肤不听使唤的光景,就难以回头了.而实践表明:只有当物理教师能在“创新教学”“立德树人”方面追求快乐和幸福时,幸福感才能传递给学生,才能成为新时代一名合格的物理教师.

参考文献

- 1 方武增.新课程下物理教师“崇真求新”分析及课例研究[J].实验教学与仪器,2017(09):3~5
- 2 教育部.普通高中物理课程标准(2017版)[M].北京:人民教育出版社,2017
- 3 孙培青,杜成宪.中国教育史[M].上海:华东师范大学出版社,2006

体验和“案例力量”的应用扩展,“历史力量”具有一种基于人文、情感和态度的浸润效应,可以更好地促进学生的认知发展.

参考文献

- 1 侯新杰.物理学史与物理教学结合的理论与实践研究[D].华东师范大学,2005
- 2 乔际平,刘甲珉.物理创造思维能力的培养[M].北京:首都师范大学出版社,1998.290
- 3 黑川雅之.设计曼陀罗[M].王超鹰,译.河北:河北美术出版社,2015.63
- 4 郭奕玲,沈慧君.物理学史(第2版)[M].北京:清华大学出版社,2005.30
- 5 牛顿.自然哲学之数学原理[M].王克迪,译.陕西:陕西人民出版社,2006.22~23
- 6 李艳平.物理学史教程[M].科学出版社,1970.111~112
- 7 谢开宪.动量与动能——笛卡儿与莱布尼茨之争[J].物理教学,1984(07):29~30