

高中物理教材中的普遍性错误Ⅲ： 误解守恒和不守恒定律^①

陈敏华

(浙江省绍兴市柯桥区鉴湖中学, 绍兴 312031)

【摘要】通过对物质、性质和物理量三者关系的辨析, 我们系统地透视了我国现行高中物理教材, 发现存在三大类常见错误: 忽视物质的存在、等同物质和物理量、误解守恒和不守恒定律. 本篇重点阐述第三类常见错误.

【关键词】物质 性质 物理量 高中物理教材

通常人们认为, 物理学是研究物质(substance)的. 然而, 在物理学中我们是以物理量(physical quantity)为工具(tool)的; 一个物理量只能从某一角度描述物质的性质(property), 无法穷尽物质的所有性质. 从这个意义上来说物理量是无法直接描述物质的, 而只能描述物质的性质. 比如, 运动(motion)是物质的一种性质. 正如基尔霍夫所说, 力学的研究对象是运动. 这样, 力学中的所有物理量都是从不同的角度来描述运动这一性质的. 同样, 电学的研究对象是电(electricity)这种性质. 正如电荷是描述电这种性质多少的物理量, 动量是描述运动这种性质多少的物理量; 正如电容是描述容纳电荷本领的物理量, 质量是描述容纳运动本领的物理量(即惯性); 正如电势是描述电荷集中程度的物理量, 速度是描述动量集中程度的物理量; 正如电流是描述单位时间流入系统边界的电荷, 力是描述单位时间通过系统边界的动量, 等等. 同样, 热学的研究对象是热(heat)这种性质, 温度、熵和熵流等是从不同的角度描述热这种性质的物理量.

因此, 物质、性质和物理量之间的关系可以概括为: 我们可以从物质中抽象出若干性质, 用物理量来描述某一性质的某一方面, 但不能用物理量直接描述物质(图1).

物质、性质和物理量之间的这一关系像一个透镜, 可以帮助我们透视现行物理教材, 从中找出一些不足之处. 我们发现, 现行高中物理教材中至少存在以下三方

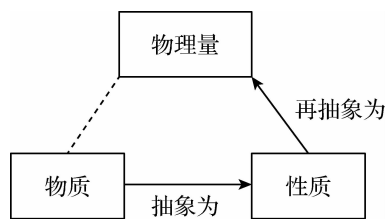


图1 物质、性质和物理量辨析

面的不足: (1) 忽视物质的存在, (2) 等同物质和物理量, (3) 误解守恒和不守恒定律. 我们利用这一“透镜”在平时教学中审视了我国现行高中物理教材中的这三方面的不足. 经过几年的积累, 我们以人民教育出版社出版的普通高中课程标准实验教科书《物理》必修1、2和选修3-1、3-2、3-3、3-4、3-5(2010年版)为例, 列出相应的不足之处; 对每一主题提出了教材中的不足, 分析了其原因, 提出了修改建议. 我们发现, 这些问题带有一定的普遍性, 在其他高中物理教材中也不同形式地表现着.

我们已经分析了第一、二方面的不足之处^{[1][2]}, 本文分析第三方面的不足之处.

通过对物理量的测量我们发现, 对于某些广延量(如动量、电荷和能量等), 某一系统的这些量的增加(或减少)完全是由于别的系统的这些量的减少(或增加)所引起的. 这种广延量我们叫作守恒量(conserved quantity). 然而, 不是所有广延量都是守恒的. 例如, 熵是不守恒的广延量. 显然, 对于强度量来说, 无所谓守恒或不守恒.

^① 本文系作者主持的浙江省教科规划2013年重点研究课题“传统物理课程的不足之研究: 课程考古学的方法”(SB067)的研究成果之一.



一般地,对于某一系统内的每一个广延量 X ,都具有关系式

$$dX/dt = I_X + \sum_X$$

式中, I_X 是 X 的流, \sum_X 是在所研究的区域内 X 的产生率(或消灭率). 上式可以用图 2 来形象地说明.^[3] 由图可知,系统内的 X 的变化率由两个可能的原因引起,一是通过系统边界流入或流出的 X 流 I_X ,二是系统内 X 的产生率或消灭率 \sum_X ; 如果 \sum_X 等于 0,则 X 是守恒的,系统中 X 量的变化只有当有 X 流入或流出这个系统时才会发生. 由此我们知道, X 是否守恒跟系统无关,是 X 本身的性质. 当然 X 是否守恒,这是通过对某一系统的 X 进行测量后才知道的.

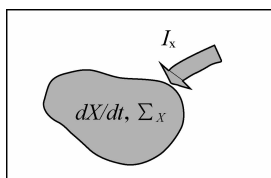


图 2 系统内广延量 X 的变化率由两个可能的原因引起(此图引自参考文献 3)

在现行教材中,对动量守恒定律、能量守恒定律和熵不守恒定律的不恰当表述导致教师和学生对它们的错误理解.

一、动量守恒定律

1. 物理必修 1, 第 67~84 页

主题: 牛顿运动定律.

不足

①教材将动量这一描述运动多少的核心概念移到了选修 3-5,把动量守恒定律与牛顿运动定律割裂开来.

②本章标题是“牛顿运动定律”,后来在节标题中一会儿把它简称为“牛顿定律”(如“牛顿第一定律”“牛顿第二定律”和“牛顿第三定律”),一会儿又用其全称(如“用牛顿运动定律解决问题”),并且用了不恰当的英文注释(如“Newton first law”“Newton second law”和“Newton third law”). 这样使学生忽视了力学是研究运动的这一事实.

分析

力学的研究对象是运动. 牛顿三大运动定律实际上是关于运动的定律. 我们可以根据动量守恒定律用动量来描述牛顿三大运动定律.

牛顿第一运动定律: 如果没有动量流入物体或从物体流出,物体的动量将保持不变.

牛顿第二运动定律: 如果单位时间内流入或流出物体的总动量为 F , 则物体单位时间内所增加的动量 $dp/dt = F$. (这其实就是动量定理. 所以, 动量定理就是动量守恒定律.)

牛顿第三运动定律: 两个物体间发生动量交换时, 单位时间内从一个物体流出的动量等于单位时间内流入另一个物体的动量.

建议

①在这一章中先引入动量这一核心概念和动量守恒定律. 告诉学生, 牛顿三大运动定律、动量定理和动能定理都是动量守恒定律, 是它的不同形式; 它们是等价的, 在具体解决实际问题时不能同时利用它们中的两个或两个以上.

②告诉学生, 力的定义式 ($F = dp/dt$) 刚好与动量守恒定律的其中一种形式 ($dp/dt = F$) 相同; 两者有联系, 又有区别.

③不要在牛顿运动定律这一名称中省去运动这一核心词. 牛顿三大运动定律的英文应改为“Newton's first law of motion”“Newton's second law of motion”和“Newton's third law of motion”.

2. 物理必修 1, 第 82 页

主题: 牛顿第三运动定律.

不足

关于牛顿第三运动定律, 教材举了一些生活和生产中的实例:

“划船时桨向后推水, 水就向前推桨, 从而将船推向前进. 与此类似, 轮船的螺旋桨旋转时也是向后推水, 水同时给螺旋桨一个反作用力, 推动轮船前进. 汽车的发动机驱动车轮转动, 由于轮胎和地面间的摩擦, 车轮向后推地面, 地面给车轮一个向前的反作用力, 使汽车前进. 汽车受到的牵引力就是这样产生的.”

分析

上面教材中的叙述似乎没有违背牛顿第三运动定律, 但从能量的角度来看, 是有问题的. 对于汽车, 如果说地面给车轮的反作用力使汽车前进的话, 那么也就是说汽车是由地面推动的. 这当然不符合我们的日常认识, 因为我们都知, 汽车运动所需的能量来自汽车中的发动机, 或者更进一步说, 来自发动机中的汽油或柴油.

地面确实对汽车施加了一个推力, 或者说, 汽车所增加的动量确实来自地面. 然而, 这个推力没有使汽车的动能增加, 或者说, 汽车所增加的动能来自汽车内部的发动机. “推动”的含义不同于“推力”. “推动”带有与

能量有关的意义。力是描述单位时间流入或流出物体的动量多少的物理量，是关于运动的物理量；而能量是物理学各分支学科的共通概念，不仅是描述运动的，也描述电、热等性质。

建议

要严格区别“推动”和“推力”的含义。我们可以说“汽车受到地面的推力”，但不能说“汽车是地面的反作用力推动的”。同样，我们可以说“船受到水的推力”，但不能说“船是水推动的”；我们可以说“人走路时受到地面的推力”，但不能说“人走路时是由地面推动的”。

我们还建议，取消汽车的“牵引力”这一名称。因为“牵引力”这个名称会让学生认为汽车是由于受到地面的牵引而运动的。

3. 物理必修1，第89~91页

主题：失重。

不足

“值得注意的是，在超重和失重现象中，地球对物体的实际作用力并没有变化。”既然在这个现象中重力没有变化，为何把这一现象叫作失重？

教材把物体对支持物的压力(或对悬挂物的拉力)小于物体所受重力的现象称为失重，并将其用英文注释为“weightlessness”。Weightlessness是完全失重的意思。

分析

重力是一个长期被争论的概念。其原因是我们没有对重力下一个清晰和合理的定义。我们曾经提出将物体的重力定义为“从物体中流出的万有引力动量流”。^[4]这样，失重就具有真正的意义了。失重就是没有引力动量流从物体流过。物体失重时受到的万有引力确实没有变化，相应的动量没有流过物体。在失重时，从引力场流入物体的动量全部被物体所吸收，没有再通过物体流到别处，物体实实在在地失去了重力。

建议

不要把万有引力和重力混淆为一个概念。要用动量和动量守恒定律来解释失重这一关于运动的现象。

把完全失重用英文注释为“weightlessness”。

4. 物理选修3-5，第13页

主题：动量守恒定律。

不足

教材对动量守恒定律是这样表述的：

“如果一个系统不受外力，或者所受外力的矢量和为0，这个系统的总动量保持不变。”

分析

系统的总动量是否保持不变，这跟动量是否守恒无关。即使系统动量在变化，动量仍不会产生和消灭，仍是守恒的。动量守恒这一事实跟所选取的系统无关。

建议

将动量守恒定律简洁地表示为：动量既不会产生，也不会消灭。^[5]

二、能量守恒定律

1. 物理必修2，第76页

主题：机械能守恒定律。

不足

在教材中，机械能守恒定律被表述为：“在只有重力或弹力做功的物体系统内，动能与势能可以互相转化，而总的机械能保持不变”。

一个量是否守恒的依据是它是否既不会产生也不会消灭。机械能原则上是不守恒的量，因为它既会产生也会消灭。

在只有重力或弹力做功的情况下，机械能是守恒的。然而，动能和势能的互相“转化”也不是机械能守恒的条件。在动能与势能不“转化”的情况下，如果系统只有重力或弹力做功，机械能也是守恒的。如，在光滑水平面上的两个小球相互弹性碰撞过程中，一个小球的动能转移到了另一个小球，在转移过程中机械能也是守恒的。有条件的机械能守恒定律，掩盖了机械能实质上的不守恒性。

分析

对于机械能，它实际上是不守恒的，它既会产生，也会消灭。当然，在某一条件下，它是守恒的。可是，过分地强调不守恒量在某一条件下的守恒性，会遮蔽它们本质上的不守恒性。

建议

取消机械能守恒定律，至少不要过多地强调它。

2. 物理必修2，第81页，选修3-3，第56页

主题：能量守恒定律。

不足

在必修2中能量守恒定律被表述为：

“能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化为另一种形式，或者从一个物体转移到别的物体，在转化或转移的过程中，能量的总量保持不变。”

在选修3-3中也作了类似的表述。

分析

由于能量是一个守恒量，一个系统的能量增加或减



少完全是由于别的系统的能量减少或增加引起的。能量是物理量，它不会转化，但能转移(或叫流动)。能量不会单独流动，总与别的物理量一起流动。能量在流动过程中，与它一起流动的别的物理量会发生变换。

建议

将能量守恒定律表述为：“能量既不会产生，也不会消灭”。避免说能量转化。

三、熵不守恒定律

物理选修 3-3，第 65 页

主题：热力学第二定律的熵表述。

不足

教材把热力学第二定律用熵表述为：“在任何自然过程中，一个孤立系统的总熵不会减小。”并把它叫作熵增加原理。

分析

教材没有从不守恒的角度来表述与熵有关的规律，从而把这一规律叫作为“熵增加原理”。

一个守恒的物理量应该具有两方面的特性：它既不会产生，也不会消灭。熵在守恒性上缺少了“不会产生”这一特性。因此，我们可以把“熵不守恒定律”表述为：熵会产生，但不会消灭。而熵增加原理，仅指出它“会

产生”的一面，没有指出它“不会消灭”的一面。^[5]

一个量的不守恒性与系统无关，因此，我们无须对这一原理加上“孤立系统”这一条件。

建议

在名称上，用“熵不守恒定律”来代替“熵增加原理”，并把这一原理表述为：“熵会产生，但不会消灭。”

参考文献

- [1] 陈敏华. 高中物理教材中的普遍性错误 I: 忽视物质的存在[J]. 新课程教学(电子版), 2016(10).
- [2] 陈敏华. 高中物理教材中的普遍性错误 II: 等同物质和物理量[J]. 新课程教学(电子版), 2016(11).
- [3] Herrmann F, Job G. 德国卡尔斯鲁厄物理课程·中学物理 1-3 教师用书[M]. 陈敏华译. 上海: 上海教育出版社, 2007.
- [4] 陈敏华. 重力的新定义: 动量流的视角[J]. 物理通报, 2013(2): 94-97.
- [5] 陈敏华. 论物理量的守恒和不守恒[J]. 物理教学探讨, 2015(5): 1-3, 6.

(责任编辑: 余娟平)

教育资讯

2016 年基础教育发展调查报告

【编者按】中国教育在线制作完成的《2016 年基础教育发展调查报告》12 月 1 日发布。下面我们摘录报告的前言部分。

生源下降的整体趋势并没有得到缓解，但是小学一年级招生总量已经超过 1700 万，比上年明显增长 60 余万。从小学一年级入学新生与小学在校生总量上看，一个阶段的生源下降探底，开始小幅回升，但仍需观察。

但是从绝对的人口出生率看，仍然处于一个相对的低端平台期，10 余年来一直处于 1700 余万左右，并没有显著变化，这也决定了未来学生的基本基数，不大可能短期产生根本性改观。

初中阶段招生量与在校生量继续下降，同时，普通高中招生量继续保持微跌的趋势，未来一个阶段高考报名人数增长无望，今年高考报名人数小幅下降 2 万人，停止了连续三年的反弹趋势，也基本反映了高考报名人数开始触底，未来

波动不会太大。

中等职业学校的招生人数下降至 601 万，连续 5 年下降，与 5 年前相比，下降了 31%，占高中阶段招生总量的占比也继续下探，从 51%，下探至 43%，中等职业教育发展堪忧！但是另一方面，大量高校毕业生找不到工作，只是强调家长观念，并不能改变职业教育下滑的现状，如何从根本上下手，改变教育培养的人才结构是根本。

出国留学分流作用仍然显著，尤其是小留学生已经成为出国留学增长的引擎，中学生出国比例仍然处于高速增长时期，国际学校与国际部高烧不退。

(摘自中国教育在线网的《2016 年基础教育发展调查报告》，2016-12-01)