

对我国普通高中物理教科书的修改意见

陈敏华

作者简介：陈敏华，浙江省绍兴市柯桥区鉴湖中学物理特级教师，正高级教师（待遇），教育学博士

联系方式：手机/微信 13958552208，电子邮箱 williammhchen@hotmail.com

在中学物理教育实践和研究中，尤其在国际物理课程比较研究中，我发现我国现行普通高中物理教科书（教材）虽然已经有过好几次改革，但一些不足之处一直保留在那里，始终没有消除。这些不足，一定程度上长期影响着师生们对物理学的正确理解，影响着我国中学物理教育质量的进一步提高。

这些不足多数是在物理学的发展历史中遗留下的。因此，这些不足不易被发现。

自从教育部 2017 年颁布了新的普通高中物理课程标准以后，有关出版社正在编写新的普通高中物理教科书。在新教科书正式出版之前，我把所发现的带有共性的不足整理出来，供编者和其他物理教育界同行参考。欢迎大家对我的意见提出批评。

下面我大致按新教科书的编排顺序来逐一分析其中的不足。

一、必修 1

不足 1：物体的加速度跟它的质量成反比。

分析：在这一牛顿第二运动定律的表述中，“物体”和“它”指的是某一物体。在非相对论情形下，某一物体的质量是不变的，因此质量不是一个变量，无所谓物体的加速度与“它的质量成反比”。在相对论情形下，某一物体的质量是随速度的变化而变化的；物体加速时，它的质量会增大。这时，物体的加速度与它的质量的关系不是成反比的关系。所以，无论在相对论还是非相对论情形下，说“物体的加速度跟它的质量成反比”都是错的。

在著名的美国《University Physics》教材中(F. W. Sears 等著, Addison-Wesley Publishing Company, 1976, p70)，对牛顿第二运动定律有这样一个简洁的表述：The rate of change of velocity, for a given body, is directly proportional to the force exerted on it（对于一给定的物体，其速度变化率与它受到的作用力成正比）。

实际上，牛顿在他的《自然哲学之数学原理》（北京大学出版社，2006，p8）中对这一定律也是这样表述的：运动的变化正比于外力，变化的方向沿外力作用的直线方向。

建议：在牛顿第二运动定律中，删除“物体的加速度跟它的质量成反比”。

不足 2：把力的定义停留在“物体间的相互作用”。

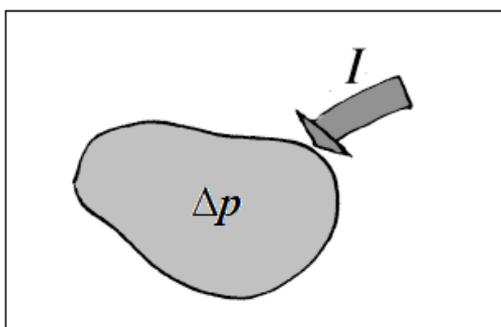
分析：这是个国际性的问题，在国外的教材中也有这个问题：从初中开始，到高中和大学，力的定义始终停留在“物体间的相互作用”。

力不是基本物理量，是用别的物理量来定义的。把力定义为物体间的相互作用，原则上没有错，但这是最低水平的定义。在教育中，物理量的定义是有进阶（progressions）的。力的定义也同样。

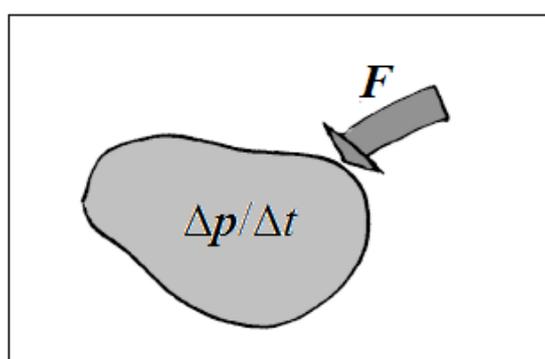
在传统物理教材中，在介绍牛顿第二运动定律 $F=ma$ 后，就介绍力的单位“牛顿”的定义： $1\text{N}=1\text{kgm/s}^2$ 。这就暗示学生， $F=ma$ （或 $F=\Delta p/\Delta t$ ）也是力的定义。甚至，有人明确地说：牛顿第二运动定律就是力的定义。一个由测量数据得到的定律怎么会变成一个人规定的定义呢？

之所以人们会把牛顿第二运动定律当成力的定义，是因为他们忽视了动量传递的介质，混淆了动量传递量（冲量）和系统的动量变化量，与此同时也混淆了描述动量传递快慢的物理量力 F 和系统的动量变化率 $\Delta p/\Delta t$ 。

如下图所示， I 是冲量，用来描述运动传递的多少，即冲量是通过系统边界面所传递的动量，其值分布在边界面上，其定义式可写为 $I \equiv T_p$ ； Δp 是系统的动量变化量，其值分布在系统空间区域中。因为动量是守恒的，所以 $\Delta p = I$ 。因此，冲量是动量传递量，这是冲量的定义；系统的动量变化量等于冲量，这不是冲量的定义，而是动量守恒定律。如果系统内的动量在产生（但没有消灭），那么 $\Delta p > I$ ；如果系统内的动量在消灭（但没有产生），那么 $\Delta p < I$ 。



再看下图。力 F 是描述运动传递快慢的物理量，即力是单位时间通过系统界面所传递的动量，其值分布在边界面上，其定义式可写为 $F \equiv T_p / \Delta t$ ； $\Delta p / \Delta t$ 是系统的动量变化率，其值分布在系统空间区域中。因为动量是守恒的，所以 $\Delta p / \Delta t = F$ 。因此，力是单位时间的动量传递量（即动量流），这是力的定义；系统的动量变化率等于力；这不是力的定义，而是动量守恒定律。如果系统内的动量在产生（但没有消灭），那么 $\Delta p / \Delta t > F$ ；如果系统内的动量在消灭（但没有产生），那么 $\Delta p / \Delta t < F$ 。



实际上，牛顿从来没有说过他的第二定律是力的定义。在他的《自然哲学的数学原理》中，他对力是这样定义的（定义4）：

“外力是一种对物体的推动作用，使其改变静止的或匀速直线运动的状态。”

建议：在定义力之前，先引入动量，告诉学生动量是描述运动多少的物理量（正象质量是描述惯性多少的物理量一样）。运动和惯性都是物质的性质。对性质是可以说多少的。有了动量，我们就可把力定义为：单位时间通过系统边界的动量。

在物理课程和教学中，我们要遵循力的定义的进阶原则：

在小学高年级，我们可以告诉学生：力是物体间的相互作用（强调物体间）；

在初中，我们可以告诉学生：力是运动传递的快慢（强调运动这一性质）；

在高中，我们应当告诉学生：力是单位时间通过系统边界的动量（强调物理量）。

二、必修 2

不足 3：混淆在不同参考系下的速度转换与速度矢量的分解。

分析：教材中所举的蜡块的运动分解、小船渡河等问题是在一个参考系（玻

璃管或河水)中的速度转换到另一个参考系(地面)的速度的问题。这个例子与后面讲到的对平抛运动的速度的分解(和合成)是完全不同的情况。在平抛运动的速度分析中,我们对在同一参考系(地面)下的速度进行分解(或合成)。

在相对论中,对于速度从一个参考系变换到另一个参考系的问题,需要运用公式(对于一维运动):

$$v = \frac{v' + v_0}{1 + \frac{v'v_0}{c^2}}$$

当速度很小(与光速相比)时,上式才可简化为:

$$v = v' + v_0,$$

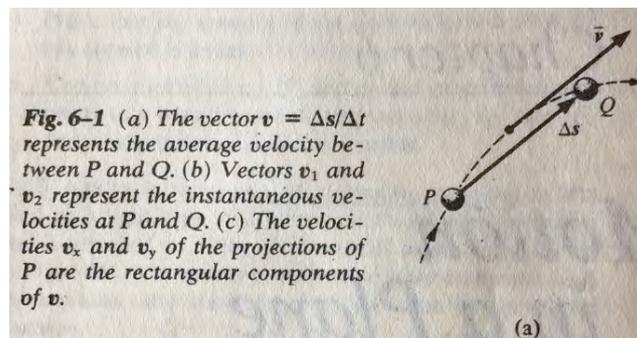
然而,不管速度大小如何,上面所提到的是两个完全不同的问题。在平抛运动和圆周运动的速度的分解中,是在同一参考系下对一个矢量的分解,跟速度在不同参考系下的变换是两回事。

建议: 在教材中要严格区分它们,不要将蜡块运动、竹筏过溪运动、自动扶梯上人的运动和小船渡河等问题过早搬到中学来分析。

不足 4: 把线速度定义为弧长/时间

分析: 现行教材都把线速度定义为弧长/时间。实际上,在线速度的定义式 $v = \Delta s / \Delta t$ 中, Δs 不是弧长,而是弦长。试想,如果 Δs 是弧长,这个矢量的方向是如何确定的? 实际上,线速度(linear velocity)中的“线”是直线的意思。线速度就是描述直线运动中那个速度。在这个名称中加个“线”字,是为了区分后面将要介绍的角速度(angular velocity)。

关于线速度的定义和 Δs 的含义,可参看 Sears 等著的《University Physics》1976 版 p90, Fig.6-1:



建议：告诉学生，线速度的定义是弦长/时间，与直线运动的速度是同一定义，它们是同一物理量。

不足 5：不引入引力场的概念，把引力场强度说成是自由落体加速度，把分布在引力场的重力势能说成是分布在物体中的能量。

分析：重力势能不是物体的，是引力场的。教材没有引入引力场这一物质概念，这是与新课程标准所强调的物质观相矛盾的。我们认为，教材应该在讲自由落体加速度时就引入引力场（或叫重力场）的概念。不引入引力场，学生就不可能知道自由落体加速度描述的不是自由落体的性质，而是引力场的性质；不引入引力场，学生也不可能知道重力势能是储存在引力场中的能量，正象弹性势能储存在弹簧中的能量一样；不引入引力场，超距作用观这一错误的物质观就不可能在教材中消除。

建议：在讲自由落体和重力势能之前先引入引力场的概念，告诉学生引力场是客观存在的物体； g ($=9.8\text{kg/m}^2$) 是描述引力场性质的物理量，叫作引力场强度（跟后面将要学到的电场强度相似）；重力势能分布在引力场中，当物体自由下落时能量从引力场流入物体。

不足 6：片面强调守恒量。

分析：例如，有的教材这样说：正因为自然界中存在着“守恒量”……在物理学中寻求“守恒量”已经成为物理学研究的一种重要思想方法。

守恒量是物理量。物理量是人们创造出来的工具，不是自然界中“存在着”的。我们无论如何不能向学生说“某一物理量是自然界中存在着的”，这是不符合正确的物质观的。物质是客观存在的，而物理量是人们创造的。

守恒一定是对物理量来说的，并且是对广延量（*extensive quantity*）来说的。比如，温度是强度量（*intensive quantity*）。因此，对温度说守恒或不守恒是无意义的。某一广延量是否守恒，这是由大量实验测量获悉的。广延量有守恒的，也有不守恒的。如果我们一唯地寻求守恒量，就会在思想上忽视不守恒量。实际上，人们已经发现不少不守恒的量，如熵和物质的量是不守恒的。因此，把寻求守恒量当作一种好的思想方法是片面的，对物理学的研究是有害的。

建议：强调守恒量是对的，但只强调守恒量而忽视不守恒量是片面的。告诉学生，守恒和不守恒是对广延量来说的。一个广延量守恒不守恒是对它测量的

结果。

三、必修 3

不足 7: 用同一名称“电荷”表示“带电体、电性和物理量”三个不同概念。

分析: 比如,有的教材这样表述电荷守恒定律:电荷既不会创造,也不能消灭,只能从物体的一部分转移到另一部分,或者从一个物体转移到另一个物体。在任何转移的过程中,电荷的总量不变。这个规律叫做电荷守恒定律(law of conservation of charge)。(顺便指出,这个英文宜改为:law of conservation of electric charge)。

我们知道,守恒定律一定是物理量(并且是广延量)的守恒,因此,电荷(electric charge)在这里一定指物理量。然而,我们从上面这个电荷守恒定律的表述中可以看出,教材作者把“电荷”当作物质:电荷既不会“创造”……电荷的总量“不变”。如果作者把“电荷”作为物理量来表示的话,就不会用“创造”这个词,因为“电荷”作为物理量本来就象其他所有物理量一样是物理学家们创造出来的工具(tool);如果作者把“电荷”作为物理量来表示的话,就不会再在电荷后面加个“总量”一词,而直接说“电荷不变”。

显然,教材作者混淆了物质和物理量。

再比如,有的教材在后面又有这样的定义:电荷的多少叫电荷量(electric quantity)(顺便指出,这个英文宜改为:electric charge。参见《英汉物理学词汇》,科学出版社,1985)。

显然,“电荷”在这里不是指物理量,而是指性质。在物理学中,对性质是可以说多少的,如惯性的多少叫质量。

我们发现,各种版本的教材都欠区分物质、性质和物理量这三个概念。例如,有的教材中有这样一句话:正电子与电子质量相同,与电子的电荷量相等但符号相反……

正电子是一种物质,电子质量和电子的电荷量是物理量。正电子不可能与电子质量相同,也不可能与电子的电荷量相等。

显然,这句话应改为:正电子的质量与电子的质量相等,正电子的电荷绝对值与电子的电荷绝对值相等。

在电学中,我们必须区分带电粒子、电性和电荷。电荷是描述电性多少的物

理量，正象质量是描述惯性大小的物理量一样。在这里，电性和惯性都各自指一种性质。

建议：把电荷作为物理量。把“电荷的多少叫作电荷量 (electric quantity)”改为：“电性的多少叫作电荷 (electric charge)”。严格区分带电体、电性和电荷三个概念。

不足 8：混淆电场和电场强度

分析：比如，在一本教材中有这样一段话：电荷 A 对电荷 B 的作用力，就是电荷 A 的电场对电荷 B 的作用；电荷 B 对电荷 A 的作用力，就是电荷 B 的电场对电荷 A 的作用。

这里的电荷指带电体，而不是物理量。关于这一点，在“不足 7”中我们已经分析过了。这里我们只分析混淆电场和电场强度的情况。

带电体 A 和 B 周围存在着电场。这电场既不是 A 的也不是 B 的，而是一个独立的物质系统。那么，为什么作者会这样说呢？原来，根据库仑定律，如果 A 和 B 可视为点电荷，它们受到的电场力分别为：

$$F_A = k \frac{q_A \cdot q_B}{r^2} = k \frac{q_B}{r^2} \cdot q_A = E_B \cdot q_A,$$

$$F_B = k \frac{q_A \cdot q_B}{r^2} = k \frac{q_A}{r^2} \cdot q_B = E_A \cdot q_B.$$

从上面两式可以看出，A 受到的电场力等于只有 B 时电场在 A 处的电场强度 E_B 与 A 的电荷 q_A 的乘积，B 受到的电场力等于只有 A 时电场在 B 处的电场强度 E_A 与 B 的电荷 q_B 的乘积。然而， E_A 是只有 A 时电场在 B 处的电场强度，而不是 A 的电场； E_B 是只有 B 时电场在 A 处的电场强度，而不是 B 的电场。

教材中的这句话混淆了电场和电场强度 E 这两个概念。电场是物质，电场强度 E 是物理量。实际上，根据库仑定律和电场强度 E 的定义，A 所受到的电场力确实是只有 B 时在 A 处的电场强度与 A 的电荷的乘积；然而，A 所受到的电场力却是它周围的电场所施加的，而不是 B 的电场对它的作用力。

实验表明，在电场线的方向上，电场处于拉伸状态；在等势面的方向上，电场处于压缩状态。由于电场线与带电体直接相连（等势面则不是），带电体是被周围的电场拉着的；两个同种带电体是被它们周围的电场拉开的，两个异种带电体是被它们周围的电场拉拢的。（参见：F.Herrmann. Energy Density and Stress: A

New Approach to Teaching Electromagnetism[J]. *Am. J. Phys.*1989(57): 707-714.)

建议：严格区分电场和电场强度这两个不同的概念。上面教材中的这段话应改为：带电体 A 受到的作用力是它周围的电场施加的，大小等于 A 的电荷 q_A 与只有 B 时电场在 A 处的电场强度 E_B 的乘积。反之，也同样。

不足 9：把分布在电场中的电势能说成是分布在带电体上。

分析：跟重力势能不是分布在被举高的物体中一样，电势能也不是分布在带电体中的，而是分布在电场中的。

带电粒子在加速器中加速的现象，实际上就是能量从电场转移到带电粒子的现象。电场力对带电粒子做功的过程，就是能量从电场转移到带电粒子的过程。

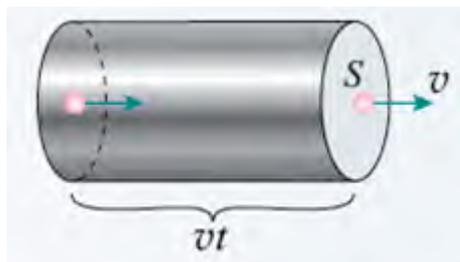
建议：告诉学生，电势能储存在电场中；当电场力做功时，能量从电场转移到带电粒子，电势能减少；当外界克服电场力做功时，外界将能量输入电场，电势能增加。

不足 10：不善于运用电荷守恒定律。

分析：教材在向学生介绍了电荷守恒定律这一重要的定律后，几乎没有运用这一定律。比如，在对电流的微观解释时，有教材这样分析：由于电子电荷为 e ，因此，时间 t 内通过横截面的电荷（量） $q=neSvt$ 。

实际上，这个结论的得出必须应用电荷守恒定律。可是，教材却只字不提这个定律。

$neSvt$ 不是时间 t 内通过横截面的电荷，而是在所分析的这段导体（如下图）的空间区域内时间 t 内所通过的电荷。这两个量是不同的，前者是针对横截面来说的，后者是针对导体空间区域来说的。它们之所以是相等的，是因为电荷守恒。如果导体内电荷产生了， $q < neSvt$ ；如果导体内电荷消灭了， $q > neSvt$ 。



实际上，从左面流入的电流与从右面流出的电流相等。因此， $neSvt$ 是时间

t 内通过这段导体的电荷。

建议：在讲了电荷守恒定律之后，要充分应用这个定律。让学生体会到，电荷守恒定律是电学中的基本定律。

不足 11：混淆电阻器和电阻。

分析：这又是一例对物体（物质）与物理量的混淆。电阻器是一个电路元件，是一个物体；而电阻是物理量。这种错误表述在教材中非常普遍，如有一本教材中就有这样一句话：如果把两个电阻 R_1 、 R_2 串联或并联后看成一个电阻……

建议：不要以为这是语言表达习惯。这不但是一个不好的语言表达习惯，更是一个概念性的错误。不要把电阻器说成电阻。同样，也不要把电容器说成是电容，或把电感器说成是电感。

不足 12：守恒定律的表达不统一。

分析：物理学中有很多守恒定律：能量守恒定律、电荷守恒定律、动量守恒定律，等等。然而，教材中对不同的守恒定律表达很不一致。比如，对能量守恒定律，有一本教材是这样表达的：能量既不会凭空产生，也不会凭空消失……而对电荷守恒定律则这样表达了：电荷既不会创生，也不会消灭……。

产生和消灭是对守恒量（广延量）来说的。所有守恒定律最好都采用相同的词和相同的表达方式，不要一会儿用“产生”，一会儿用“创生”；一会儿用“消灭”，一会儿用“消失”。否则，学生还以为它们有什么区别呢。

建议：把能量守恒定律表述为“能量既不会产生，也不会消灭”；把电荷守恒定律表述为“电荷既不会产生，也不会消灭”。对其他守恒定律也同样。

不足 13：把能量当成物质。

分析：这又是一例对物质与物理量的混淆。能量是物理量，是用来测量的，其单位是 J。可是，教材中有许多地方把能量当成了物质。

比如，有教材这样说：……热和光被其他物质吸收之后变成周围环境的内能……

热指的是一种性质，光指的是一种物质，内能是物理量（其单位是焦耳）。性质和物质不可能变为物理量。

又有教材这样说：…能量在数量上虽未减少，但在可利用的品质上降低

了……

能量是物理量，只有数值，无所谓品质。对能源才可以说品质。

甚至有教材这样说：……光本身就是由一个一个不可分割的能量子组成的，频率为 ν 的光的能量子为 $h\nu$ ， h 为普朗克常量。这些能量子后来被称为光子（photon）。

电磁辐射是一种物理系统，单独用能量来描述电磁辐射是不够的。光子是电磁辐射的基本组成部分。显然，这个基本组成部分不是能量子。光子还需要用除能量以外其他的物理量（如动量、角动量、温度、化学势等）来描述。（参见：陈敏华. 物理实在和物理量[J]. 物理教师, 2013.2, p73-74, 83）

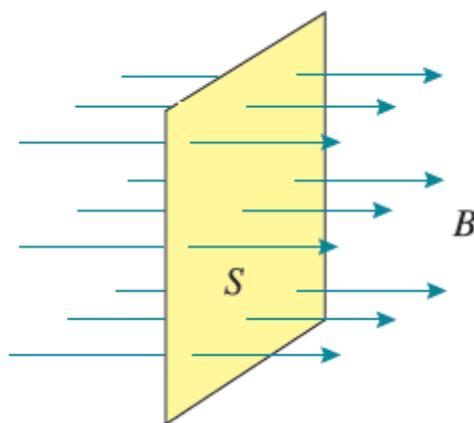
教材中的这些表述其实是唯能论的反映。唯能论之所以是错误的，是因为光子的能量特征不能替代它的全部特征。唯能论在前提上就是根本错误的。（参见：董春雨. 物理基本概念的演变[M]. 太原：山西教育出版社，1998：135-136.）

建议：不能把能量当成物质。比如，不能说“能量子 $h\nu$ 就是光子”，而应该说“一个光子的能量为 $h\nu$ ”。

不足 14：混淆面和面积

分析：这又是一例对性质与物理量的混淆。

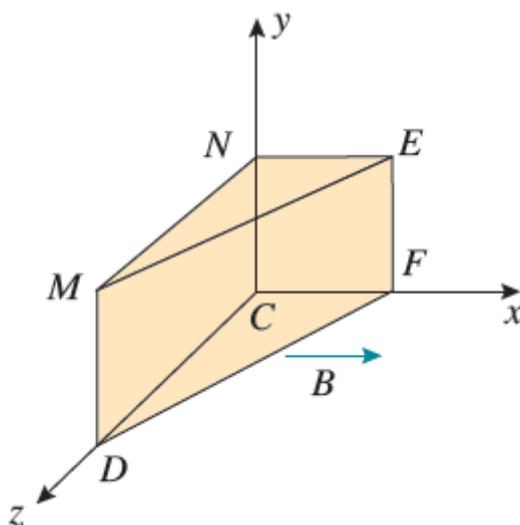
比如，有教材在定义磁通量时这样说：有一个与磁场方向垂直的平面，面积为 S （如图），我们把 B 与 S 的乘积叫作穿过这个面积的磁通量……



面（surface）是一个物体的性质。例如，上图中黄色的这块板，其实它至少有左右两个面，而教材中选取的只是其中一个面，即右边的这个面。面积（area）是表示面的大小的物理量。

混淆面和面积，会严重影响学生对磁通量的正确理解和运用。比如，对于下面这个出现在某一教材中的习题，学生很难理解和解决：

如下图，求通过面积 S_{MNCD} 、 S_{NEFC} 和 S_{MEFD} 的磁通量。



$MNCD$ 、 $NEFC$ 和 $MEFD$ 都对应着两个不同的面，它们的面积是不同的（法线的方向不同），计算出来的磁通量的值相差一个正负号。在没有指明哪个面的情况下，我们是不能让学生去计算磁通量的。

建议：一定要区分面和面积这两个不同的概念。比如，在对磁通量的定义的表达中，我们应该这样说：有一个与磁场方向垂直的两个面。我们选取其中一个面，其面积为 S （如图）。我们把 B 与 S 的乘积叫作穿过这个面的磁通量。

不足 15：赫兹发现电磁波的时间表述有误。

分析：对赫兹发现电磁波的时间，不同教材有不同的表述，有的说在 1886 年，有的说在 1887 年，有的说在 1888 年。甚至，同一版本的教材在不同地方也有不同的表述。

为了发现电磁波，赫兹做了不止一个实验。在 1886 年 11 月 13 日，他做了对于发现电磁波来说非常关键的第一个实验，并于 1887 年发表了第一篇相关论文。然而，这是他发现电磁波的整个过程的第一阶段，在后来他又深入地做了其他实验，发表了其他论文。他发现电磁波的最后一篇论文于 1888 年 12 月 13 日发表。1888 年是公认的赫兹发现电磁波的年份。

我因翻译和引进德国卡尔斯鲁厄物理课程，曾两次在赫兹发现电磁波的所在

大学卡尔斯鲁厄大学访问和讲学，查阅了赫兹发现电磁波的一些相关资料，并于2008年7月在《物理教学》中发表了“赫兹发现电磁波的时间表述”一文。在德国，我还看到了卡尔斯鲁厄大学的赫兹纪念章（见下图）和2013年卡尔斯鲁厄铸币厂为纪念赫兹发现电磁波125周年颁布的10欧元纪念币（见下图）。



建议：我们可以向学生介绍赫兹在1886年做了“一个捕捉到了电磁波的实验”，但不能说他这时已经完全“证实了麦克斯韦的电磁场理论”。我们更应该向学生介绍，赫兹在以后又做了更深入的实验，从理论上进行了充分的论证，最后于1888年完成发现了电磁波的全部工作。

四、选择性必修1

不足 16：把动量当成标量来使用。

分析：我们都知道，动量是矢量。可是，一不小心，有人会把它当成标量来使用。

比如，有一教材向学生提了这样的问题：如图，静止的两辆小车用细线相连，中间有一个压缩了的轻质弹簧。烧断细线后，由于弹力的作用，两辆小车分别向左右运动，它们都获得了动量，它们的总动量是否增加了？



本来这是一个很好的问题，其目的是为了让学生明白动量是矢量。可是，教材却把学生很可能会回答错误的结论当作一个正确的结论先告诉了学生：“它们都获得了动量”。

既然动量是矢量，在分析之前就得规定动量的正方向，比如向右为正。这样，细线烧断后，左边的小车确实获得到了动量，而右边的小车不是获得动量，而是失去了一部分动量。可是，右边的小车原来是没有动量的，怎么办？它只能出现“动量赤字”——负动量。所以，“它们都获得了动量”是把动量错当成了标量得出的结论。

建议：动量是矢量。这不但要体现在对动量的定义上，更要体现在对动量的运用上。任何物理量都是人们定义出来的概念性工具（conceptual tools），而概念的掌握不仅在定义上，还在对它的运用上。在上面教材中的这段话中，把“它们都获得了动量”删除。应该等学生回答时说出这一错误结论时，把它当作一个很好的教学资源来利用。

不足 17：混淆“系统动量不变”和“动量守恒”这两个概念，把“系统所受合外力为零”错当成动量守恒定律的条件。

分析：在一本教材中，对两个例题进行分析时，明显地把“系统所受合外力为零”错当成了动量守恒定律的条件：

对例题 1 的分析：……摩擦力远小于系统的内力，可以忽略。因此，可以认为碰撞过程中系统所受合外力的矢量和为 0，动量守恒。

对例题 2 的分析：……但是所受的重力远小于爆炸时的作用力，所以可以认为系统满足动量守恒定律的条件。

在各种教材中，一般把动量守恒定律表述为：

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。这就是动量守恒定律（law of conservation of momentum）。

这个表述是正确的。显然，从这个表述中我们可以看出，“一个系统不受外力，或者所受外力的矢量和为 0”是“这个系统的总动量保持不变”的条件，而不是“动量守恒定律”的条件。在上面对两个例题的分析中，混淆了“系统动量保持不变”和“动量守恒”这两个完全不同的概念。动量守恒的物理意义是：动量既不会产生，也不会消灭。之所以当合外力为零时系统的动量保持不变，就是因为动量守恒。如果在某一时间内系统内动量产生了，系统的动量就会大于 0；如果在某一时间内系统内动量消灭了，系统的动量就会小于 0。

另外，从动量守恒定律中可以明显地看出，系统的动量的变化跟内力毫无关系。例题 1 和 2 中的这两个系统的动量之所以可近似地看作不变，是因为碰撞时间（或爆炸时间）很短所致。当然，如果合外力很大（跟内力无关），系统在短时间内所改变的动量也是很大的。

建议：把例题 1 的分析改为：……由于摩擦力较小，又碰撞时间很短，虽然系统所受的合外力不为 0，但系统的动量几乎保持不变。

把例题 2 的分析改为：……由于系统所受的重力方向与水平方向垂直，又由于爆炸时间很短，重力几乎不会引起系统的动量变化。

不足 18：对振动系统组成的描述不完整。

分析：几乎所有版本的教材在表述振动系统（弹簧振子和单摆）的组成时是不完整的。比如，有教材是这样说的：我们把小球和弹簧组成的系统称为弹簧振子；轻质弹簧的下端悬挂一个钢球，上端固定，它们组成了一个振动系统，称为竖直弹簧振子；如果细线的质量与小球相比可以忽略，球的直径与线的长度相比也可以忽略，这样的装置就叫做单摆。

机械振动系统组成的界定标准是什么？在机械振动系统中，周期性地来回流动的动量和能量的所到之处都是这个系统的一个组成部分。通过分析我们可以得出结论：对于水平放置的弹簧振子，地球是振动系统的一部分；动量在物体和地球之间通过弹簧周期性地来回流动，能量在物体和弹簧之间周期性地来回流动。对于竖直悬挂的弹簧振子，弹簧、物体、地球和地球周围的引力场是这个振动系统的组成；动量在物体、地球和引力场之间周期性地来回流动，能量在物体、弹簧和引力场之间周期性地来回流动。对于单摆，摆线、摆球、地球和地球周围的引力场是这个振动系统的组成，动量在摆球、地球和引力场之间周期性地来回流动，能量在摆球和引力场之间周期性地来回流动。

当我们问学生：“作简谐运动的物体受到的回复力是内力还是外力？”时，由于他们不清楚简谐振动系统的组成，所以都把它当作外力。其实，对于振动系统来说，回复力是系统的内力。弄清楚这一点，在教学上可以帮助学生辨别固有振动、阻尼振动、受迫振动和自激振动这些概念。固有振动是振动系统不受外力作用时的振动，所以又叫自由振动。阻尼振动是振动系统受外界阻力时的振动。受迫振动是振动系统受周期性变化的外力作用时的振动；当外力的变化频率与振动系统的固有频率相等时就会发生共振现象。自激振动是振动系统在恒定的外力作用下的振动；电铃和钟摆的振动就是自激振动，而不是受迫振动。

建议：根据振动系统与外界的动量和能量的交换情况来正确地界定振动系统的边界，不要受超距作用这一错误的物质的影响，忽略引力场这种构成振动系统的物质。

五、选择性必修 2

不足 19：在对传感器的描述中混淆物质、性质和物理量。

分析：在一本教材中是这样描述传感器的：传感是指这样一类元件，它能够感受诸如力、温度、光、声、化学成分等物理量，并能把它们按照一定的规律转换为便于传送和处理的另一个物理量（通常是电压、电流等电学量），或转换为电路的通断。

力、温度是物理量，可是光、声、化学成分不是物理量。实际上，传感器转换的不是物理量，而是性质。例如，热敏电阻器把热这种性质转换为电这种性质。我们根据描述热的物理量（如温度）与描述电的物理量（如电阻）之间的关系用热敏电阻来测量温度。

建议：物理量不可能被转换。传感器转换的是性质。因此，我们不能说“传感器是转换物理量的”。例如，“热敏电阻能够把温度这个热学量转换为电阻这个电学量”应改为“热敏电阻器能够把热这种性质转换为电这种性质”。告诉学生，我们可以运用热敏电阻器的这一功能来测量温度。

六、选择性必修 3

不足 20：混淆能源和能量

分析：这又是一例对物质与物理量的混淆。例如，有教材这样说：能源的使用过程中虽然能的总量保持守恒，但能量的品质下降了。

能量是物理量，只有数值，无所谓品质。对能源才可以说品质。

建议：把“能量的品质”改为“能源的品质”。

不足 21： 忽视熵的不守恒性。

分析： 几乎所有教材都是这样表述熵增加原理的：一个孤立系统的熵值总是不减少的，这就是熵增加原理。

其实，这个定律表明，熵是不守恒的，会产生，但不会消灭。这跟系统是否是孤立系统无关。因此，这个定律最好叫熵产生原理。它实际上是热力学第二定律的熵表述。

建议： 告诉学生，熵是广延量，是描述热的多少（当然也描述系统的无序程度，但是在大学教的内容）的物理量；熵是不守恒的，会产生，但不会消灭。

不足 22： 质量数和电荷数

分析： 在原子核物理学中，质量数和电荷数实际上指的是核子数和和质子数。质量和电荷都是物理量。物理量是不能被这样来数数的，而核子和质子是可以用这样被数数的：一个核子，两个核子...一个质子，两个质子.....

这两个不好的名称很容易导致师生（甚至教材编者）很难理解相应的概念。比如，在一本教材中，就有这样一句话：由于电子的质量比核子的质量小得多，因此，我们可以认为电子的质量数为 0.....

电子的质量数为 0 的原因不是因为电子的质量比核子的质量小得多，而是因为电子根本就不是核子。

建议： 用“粒子+数”来命名这两个物理量，而不是用“物理量+数”来命名。将质量数改为核子数，将电荷数改为质子数。

不足 23： 混淆结合能和分离能。

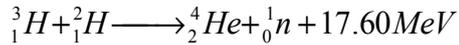
分析： 在原子核物理学中，有两个概念：分离能和结合能。把原子核分成核子时，需要外界给核子间的核场输入能量，即这个系统需要吸收能量。这能量叫作分离能（separation energy）。相反，核子结合成原子核时，核场中的能量会成为核子的动能，最后释放到系统外。这能量叫作结合能（binding energy）。

可是，几乎所有教材都把这两个概念混淆起来，用同一名称“结合能”来表示这两个不同的概念。如有一教材是这样告诉学生的：原子核是凭借核力结合在

一起构成的，要把它们分开，也需要能量，这就是原子的结合能 (binding energy)。

把原子核分成核子时，需要外界给它输入能量，即这个系统需要吸收能量。这能量应该叫作分离能，而不是结合能。结合能是核子结合成原子核时系统所释放的能量。

另外，有些教材把结合能的具体数值写在核反应方程中。例如：

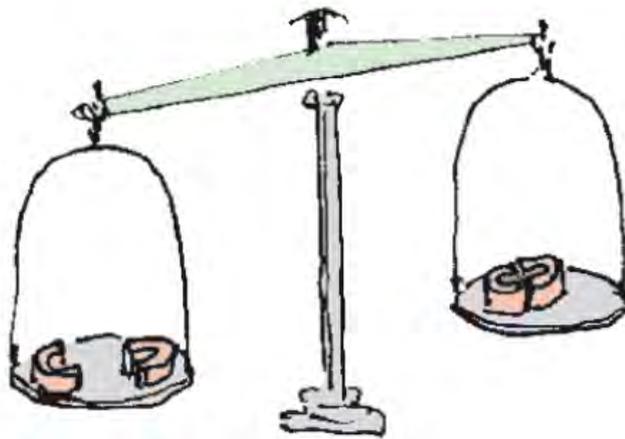


如果不作任何解释，学生就知道这个方程的意思是：在这个核反应中，会释放出 17.60MeV 的能量。并且，在教材中也是作这样的解释的。由于学生知道这个反应前后有质量亏损，所以，他们自然就得出这样的结论：在这个反应中，质量转换成了能量。

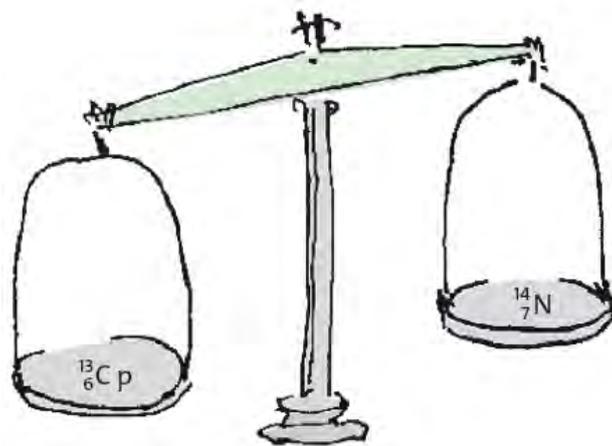
实际上，质量和能量都是物理量，而不是物理实在，它们之间不可能存在转换关系。在上面所介绍的核反应中，系统在反应前后的静止质量减少了。质量亏损所对应的能量表现为反应生成物的动能。

建议：要让学生区分和理解分离能和结合能这两个概念，可运用爱因斯坦的质能方程和以下两个插图：

对第一个插图学生是有直接经验的：把两块吸在一起的磁铁分开需要能量（分离能）。根据质能方程，天平往分离后的磁铁那端倾斜。



同样，把 N14 分离为 C13 和一个质子 p 也需要能量。根据质能方程，天平往分离后的 C13 和质子 p 那端倾斜。



要正确爱因斯坦质能方程，不能把它理解为“质量转化为能量”，而要理解为“质量和能量是描述同一性质（惯性）的物理量”。

不能把核反应中所释放的能量值写在反应方程中。

附：



陈敏华博士曾两次应邀在赫兹 1888 年发现电磁波的大学德国卡尔斯鲁厄大学访问和讲学。



陈敏华博士翻译和引进德国优秀物理课程卡尔斯鲁厄物理课程（该课程作者是卡尔斯鲁厄大学教授 F. 赫尔曼博士）的成果获浙江省人民政府颁发的基础教育教学成果一等奖。