

高中物理教材中的普遍性错误 I：忽视物质的存在^①

——以人教版高中物理教材为例

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的高中物理教材,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。本篇重点阐述第一类常见错误。

【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,物理学是无法直接研究物质的,而是研究物质的性质的。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^[1]。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、熵和熵流等物理量是从不同的角度描述热这种性质的物理量。

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;对每一主题提出教材中的不足,分析其原因,提出修改建议。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存在。

本文分析了第一方面的不足之处。教材中忽视物质存在的现象主要表现在忽视场的存在。这是超距作用(action-at-a-distance)这一错误观点遗留下来的痕迹。牛顿有一句名言:“我不杜撰假说(Hypotheses non fingo)。”牛顿当时对地球和月球之间的局域情况了解不足,不知道地球和月球之间的这个系统就是我们今天叫作引力场的物质。这样,超距作用这一错误观点可以从牛顿时代以来的所有物理教科书中找到。在我国现行高中物理教材中,在力学中几乎不引入引力场这一概念,即使在电磁学中引入了电场和磁场的概念,仍消除不了忽视电场和磁场的超距作用痕迹。

忽视场的存在的现象在物理教育中所带来的后果是严重的。在物理教育中,如果我们忽视场的存在,我们如何向学生讲清相关物理量是描述场的性质的呢?

一、忽视引力场的存在

1. 物理必修2,第66页

主题:重力势能。

不足

严格说来,重力势能是地球与物体所组成的物体系统所共有的,而不是地球上的物体单独具有的。

既然严格地要这样说,为何要不严格地那样说?难道我们要给学生以物理学是不严格的印象吗?

况且,这样说也并不严格。如果说重力势能是地球与物体共有的,那么,地球和物体各占多少比例?这个比例如何计算?

^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。



分析

势能这一概念产生于1890年以前,当时人们还没有意识到能量可以局域地分布。^[2]将重力势能指向地球上的物体,带有超距作用的概念,因为在这里仍然把地球和物体作为系统,没有把引力场包括在内。

我们通常讨论地球引力场中的一个小物体的势能,如苹果落地的情况。在这一过程中,苹果“获得”了动量,而地球“失去”了动量;引力场的动量几乎等于零,没有参与动量的交换。对于能量,这时情况就不一样了。地球的动能没有变化(因为地球的质量比苹果的大得多)。苹果所获得的能量并不来自地球,而来自引力场。

如果地球和小物体用弹簧(而不是引力场)连接,情况也是这样。在这里,动量也在地球和小物体之间交换,而能量在小物体和弹簧之间交换。

我们用水平放置的弹簧振子为例来证明上面这一结论。

图1表示两个在气垫导轨上的物体和弹簧组成一个振动系统。当它们振动时,动量在A、B之间流动(图2),能量在弹簧和A、B之间流动(图3)。^{[3]2-5}

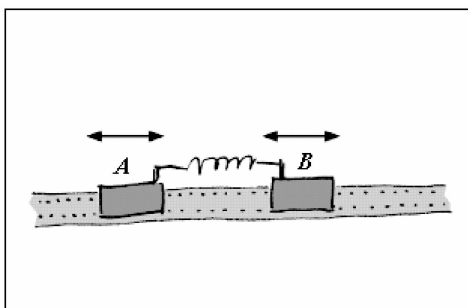


图1 两个在气垫导轨上的物体和弹簧组成一个振动系统(此图引自参考文献3)

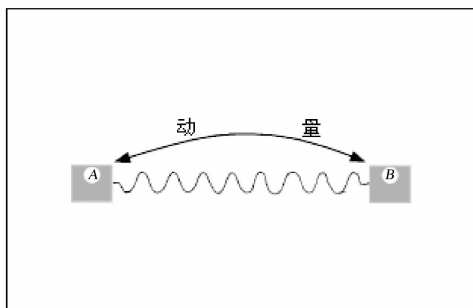


图2 动量在物体A和B之间来回流动
(此图引自参考文献3)

图4所示的装置是由图1所示的装置改进的。因为左边的物体固定在导轨上,所以这个装置相当于将物体A换成了质量很大的地球(因为左边的物体实际上是与

地球相连的)。这样,在物体B的振动过程中,动量在物体B和地球之间来回流动,见图5(a)。同样,能量的流动仍按图3所示的规律进行,只不过现在将A换成了地球。

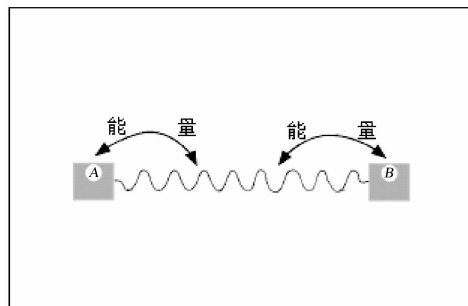


图3 能量在物体和弹簧之间来回流动
(此图引自参考文献3)

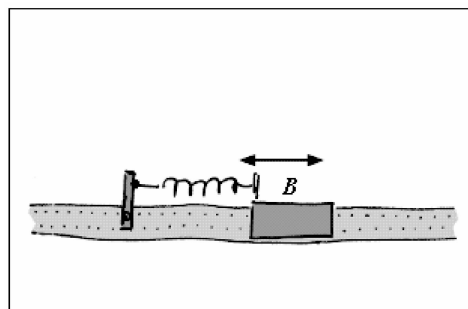


图4 将图1中的其中一个物体换成地球
(此图引自参考文献3)

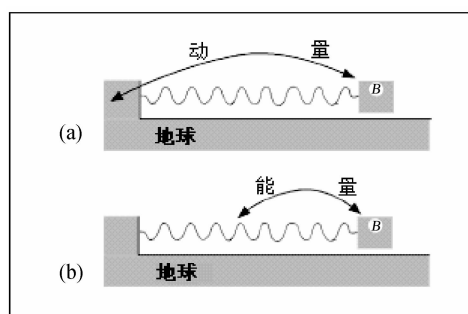


图5 物体B与地球之间动量、能量流动示意
(此图引自参考文献3)

现在,我们应用下面的公式来分析这个装置中能量流动的特殊性。我们来求地球和物体B所含的能量的比例。

$$\frac{E_E}{E_B} = \frac{p_E^2}{2m_E} / \frac{p_B^2}{2m_B} = \frac{p_E^2}{p_B^2} \cdot \frac{2m_B}{2m_E}$$

因为流入或流出地球的动量总是等于流出或流入B的动量,即

$$p_E^2 = p_B^2$$

可见,地球和物体B之间的能量与质量成反比.由于地球的质量远大于物体B的质量,因此,在振动过程中地球得到的能量如此之小,以至于我们可以不考虑它.所以,我们可以说,能量只在B和弹簧之间来回流动,见图5(b).

不向学生交待引力场的存在,不向学生讲清引力势能分布在引力场中,等于在向学生传达超距作用的错误观点.在这种观点指导下,学生不但不能理解经典物理学的知识,更难理解现代物理学的知识.比如,如果认为重力势能是物体具有的,那么我们如何让学生今后在学现代物理学时理解“红移”这种现象(光远离强引力场时由于能量的减小而频率减小的现象)?

建议

避免说一个物体的势能.尽早引入引力场这一概念,并把它作为系统的第三部分.将重力势能改名为引力势能,并明确地向学生指出,引力势能局地地分布在引力场中.

2. 物理选修3-4,第2,13页

主题:振动系统的组成.

不足

对于弹簧振子的组成,教材是这样说的:

弹簧振子是小球和弹簧所组成的系统的名称……

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.

上面第一句话指水平放置的弹簧振子,第二句话指竖直悬挂的弹簧振子.显然,这两句话表明这两种弹簧振子都是由弹簧和小球组成的.

对于单摆的组成,教材是这样说的:

……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,这样的装置就叫作单摆……

虽然教材没有明确指出单摆的振动系统是由什么组成的,但从这里可以看出,它指的就是细线和摆球.

分析

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组成部分.通过分析我们可以得出结论:地球是振动系统的一部分^{[3]4-5}.对于水平放置的弹簧振子,弹簧、物体和地球是这个振动系统的组成;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(甚至是物理教师):“做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.

显然,正确地界定振动系统的边界,对于学生正确理解振动的本质和掌握相关概念都是非常重要的.

建议

对于弹簧振子,我们应该先让学生运用已经学过的力学知识分析由两个物体和一个弹簧组成的振动系统(如图1),并用气垫导轨来演示分析的结果.

通过分析,我们最后可以得出结论:两个物体相互作用时,如果一个物体的质量比另一个物体的质量大得多,那么两个物体之间有动量来回流动,但没有能量流动.因此,弹簧振子实质上也是由两个物体和一个弹簧组成的振动系统,只不过其中一个物体是质量比另一个物体大得多的地球.

对于单摆,我们首先要告诉学生,单摆的振动看上去是二维运动,但如果我们把摆角限定在很小的值,它可以被近似地看成一维运动;这时,摆球的动量的竖直分量比水平分量小得多,摆球的水平动量按正弦规律变化.然后,我们可以给学生演示如图6所示的现象^{[3]11}.这个现象告诉我们,当摆球振动时,小车也来回运动,而且总是与摆球运动的方向相反.这表明水平动量在摆球和小车之间来回流动.如果把单摆安装在地面上,水平动量将在摆球和地球之间来回流动.

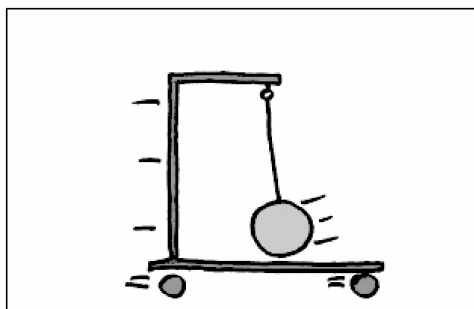


图6 动量在摆球和小车之间来回流动
(此图引自参考文献3)

我们还应该从能量流动的角度来帮助学生分析单摆的振动过程。要使单摆振动，我们必须先把物体提高到一定的高度。这样，我们实际上把能量储存到了引力场中。把摆球放掉后，它就开始运动起来。刚开始时，它的高度越来越小，而速度越来越大。摆球到达最低点时，它的速度达到最大。摆球过了最低点后，它的速度越来越小，能量又从摆球流回到引力场。因此，引力场和摆球是两个储能器。

由此，我们可以告诉学生：单摆这个振动系统由摆球、摆线、地球和地球周围的引力场组成。

二、忽视电场的存在

1. 物理选修3-1，第10页

主题：“电荷”间的相互作用。

不足

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。

分析

这里的“电荷”应理解为带电体。实际上，带电体A和B受到的是它们共同的电场的作用。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。^[5]

建议

不要说“电荷”的相互作用。告诉学生，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。

2. 物理选修3-1，第25页

主题：导体上的电荷分布。

不足

一支缝衣针，带电后由于同种电荷相互排斥，电荷自然要被“挤”到针的两端。

分析

这里的“电荷”应理解为自由电子。实际上，导体内没有电场；“电荷”不是相互挤到针的两端的，而是被针周围的电场拉开的。

建议

应始终将电场当成物质来看待，以彻底抛弃超距作用这一错误观点。告诉学生，在电场线的方向上电场拉着带电体。

3. 物理选修3-1，第26页

主题：静电平衡。

不足

只指出导体受电场的影响，而没有指出导体对电场的影响。教材中的图1.7-5(图7)告诉我们，电场线的分布由于导体的放入而发生了变化。可是，教材没有把这一影响指出来。

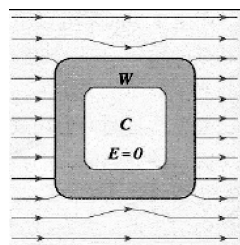


图7 人教版物理3-1第7节图1.7-5

分析

其实，导体在被放入电场中时，导体受到了电场的影响，同时电场也受到了导体的影响。

建议

用电场线和等势面的图(图8)来向学生指出电场受到放入其中的导体的影响。^[4]

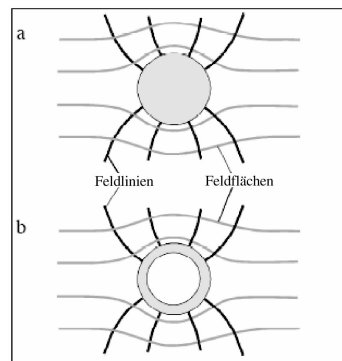


图8 放入导体球后，电场发生了变化。图中深色的线表示电场线，浅色的表示等势面(此图引自参考文献4)

图 7 最好换成用相应的软件(如 Fieldlab)画成的电场线(图 9).

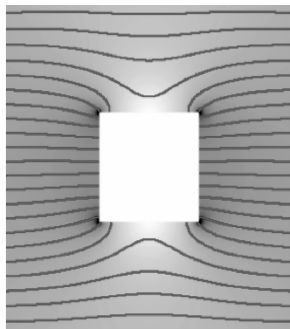


图 9 正方形导体对电场的影响
(此图由 F. Herrmann 和 Michael Pohlig 提供)

4. 物理选修 3-1, 第 27 页

主题: 静电屏蔽.

不足

实现静电屏蔽不一定要用密封的金属容器, 金属网也能起到屏蔽作用.

分析

在谈到金属网的屏蔽作用时, 教材只字不提网孔周

围的电场.

建议

告诉学生, 网孔周围的电场“堵住”了外界电场进入网罩内.

参考文献

- [1]恩斯特·马赫. 科学与哲学讲演录[M]. 庞晓光, 李醒民, 译. 北京: 商务印书馆, 2013: 203.
- [2]Herrmann F, Job G. 物理学历史负担[M]. 陈敏华, 译. 上海: 上海教育出版社, 2014: 24-25.
- [3]Herrmann F. 波动与信息[M]. 陈敏华改编. 上海: 上海教育出版社, 2009.
- [4]Herrmann F. Der Karlsruher Physikkurs · Elektrodynamik[M]. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co KG, 2002: 32.
- [5]Herrmann F. Energy Density and Stress: A New Approach to Teaching Electromagnetism[J]. *Am. J. Phys.* 1989(57): 707-714.

(责任编辑: 余娟平)

(上接第 14 页)

$b+c=\frac{14}{\sqrt{3}}(\sin B+\sin C)=14\sin(B+\frac{\pi}{6}), 0<B<\frac{2}{3}\pi, \frac{\pi}{6}<B+\frac{\pi}{6}<\frac{5}{6}\pi$, 所以 $\frac{1}{2}<\sin(B+\frac{\pi}{6})\leq 1$, 即 $7<b+c\leq 14$, 从而 $\triangle ABC$ 的周长的取值范围是 $(14, 21]$.

【点评】本题的特点是已知三角形的一边和其对角, 求三角形周长的取值范围. 其实质是求三角形另外两条边的取值范围. 一般有两种方法, 一种是根据余弦定理, 得出其余两边的关系式, 即一个二元二次方程, 再利用基本不等式得出其余两边的取值范围. 另一种是根据正弦定理, 转化成角的关系, 利用辅助角公式求出三角形其余两边的取值范围.

正、余弦定理是解三角形的两个重要定理. 根据题目条件, 如果已知两边和其中一边的对角, 通常用正弦定理; 如果已知两边和夹角, 通常用余弦定理. 如果已知条件是边角混合表达式, 通常把表达式中的边全部转化成角, 或把角全部转化成边. 三角形中几何元素的取值范围的问题通常用正弦定理结合辅助角公式或余弦定理结合基本不等式解决. 正、余弦定理的灵活应用, 体

现在问题的等价转化上, 不仅要求学生熟悉三角公式, 而且对运算能力也有较高的要求. 不但要会正用正、余弦定理, 还要会逆用和变形使用定理. 本文从题型、解题方法上对正、余弦定理的灵活运用进行了归类总结, 有助于学生从正、余弦定理的巧妙应用上升到解题模式的合理选择.

参考文献

- [1]人民教育出版社课程教材研究所, 中学数学课程教材研究开发中心·普通高中课程标准实验教科书数学必修 5(A 版)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2007.
- [2]刘亚平. 课例: “余弦定理”的教学[J]. 中学数学教学参考(上旬), 2013(7): 5-7.
- [3]章立丰. 课例: “解三角形应用举例”(第一课时)[J]. 中学数学教学参考(上旬), 2015(3): 23-25.
- [4]郑毓信. 数学方法论[M]. 南宁: 广西教育出版社, 1996.

(责任编辑: 李 佳)