



正确理解弹性势能的概念

李学生

山东大学物理学院 山东济南 250100

Abstract 摘要: 分析了经典弹性势能概念的局限性, 重新定义了弹性势能, 并且推广给出了势能的一般概念。
[李学生. 正确理解弹性势能的概念. *Academ Arena* 2021;13(1):1-3]. ISSN 1553-992X (print); ISSN 2158-771X (online). <http://www.sciencepub.net/academia>. 1. doi:[10.7537/marsaaj130121.01](https://doi.org/10.7537/marsaaj130121.01).

Keywords 关键词: 轻质弹簧; 弹性势能; 势能; 质量

中图分类号: O 313.1

文献标识码: A

1. 问题的提出

现在一般力学教材给出弹性势能的定义为一发生弹性形变的物体的各部分之间, 由于有弹力的相互作用, 也具有势能, 这种势能叫做弹性势能 (elastic potential energy)。在工程中又称“弹性变形能”。例如被压缩的气体、拉弯了的弓、卷紧了的发条、拉长或压缩了的弹簧都具有弹性势能。同一弹性物体在一定范围内形变越大, 具有的弹性势能就越多, 反之, 则越小。弹性势能是存储在材料或物理系统的构造中的潜在机械能, 因为执行工作以扭曲其体积或形状。当需要压缩和拉伸或大体上以任何方式变形时, 弹性能量就会发生。弹性理论主要发展为固体和材料力学的形式 (注意, 拉伸橡皮筋所做的工作不是弹性势能的一个例子, 它是熵弹性的一个例子) 弹性势能方程用于机械平衡位置的计算。在数学上, 方程可以表示为:

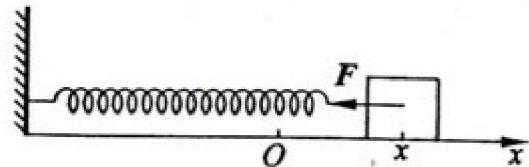
$$U = \frac{1}{2} k \Delta x^2$$

上面的定义其实是不完善的, 下面首先以弹簧的弹性势能为例说明一下这个问题, 上述概念只谈到了弹簧的弹性势能, 没有涉及弹簧的动能, 不少人理解为忽略弹簧的动能, 只研究其势能, 取名为轻质弹簧。可是这样会造成矛盾, 例如在地面系把一个弹簧压缩后放入真空中, 它的势能不断变化, 如果不考虑弹簧的动能, 显然不满足能量守恒定律。

2. 问题的解决

从上面的分析可以看出只具有弹性势能而不具有动能的弹簧是不存在的, 弹弓和弯曲的树枝等发生弹性形变的物体具有势能, 在变化的过程中也具有动能, 实践中可以忽略动能, 是近似处理。轻质弹簧在忽略弹簧质量的同时也忽略了弹簧的势能和动能, 现在部分中学教材甚至高考中研究轻质弹簧的弹性势能, 这是不准确的, 严格讲应该表述为与轻质弹簧接触质点的弹性势能, 例如在弹簧振子

中 $E_p = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 x^2$, 如果这样表达弹性势能, 就可以看出弹性势能属于质点, 而不是属于弹簧。在大中学阶段可以只研究质点的弹性势能, 作为专家可以研究弹簧的弹性势能。当考虑弹簧质量时, 可以宏观考虑为若干个受弹力作用的质点, 必须研究弹簧的动能了。



我们可以把牛顿第二定律和欧姆定律进行类比, 合外力相当于电压, 质量相当于电阻, 加速度相当于电流。导线抽去电阻、电感等属性后用电器的电压等于导线两端的电压一样。类似于不考虑电阻、电感等属性的导线不能承担电压和消耗能量一样, 轻质弹簧不能单独承受力^[1], 也不能储存能量^[2], 千万不要认为弹簧振子中弹簧具有势能, 忽略动能。这样动能定理就不成立了, 外力做功了, 动能却没有变化。有人认为弹簧振子中弹簧具有微弱的质量, 忽略质量, 这显然是错误的。这就像我们忽略摩擦, 再考虑微弱摩擦力一样的荒唐。没有质量和具有势能二者不可兼容, 理论上不存在运动过程中只具有势能不具有动能的物体, 实验中的弹簧是忽略动能 (近似处理)。有人认为理想的弹簧只具有势能不具有动能, 是一个弹性体, 但是这个假设违背物理学的基本原理, 例如文献[3]构造了一种只具有势能而不具有动能的弹簧, 是荒谬至极的。弹簧振子不是质点+实物弹簧, 而是质点受到线性回复力, 在水平面上受稳定约束的弹簧振子运动模型, 实质上是一个与距离 r 成正比有心力作用下质点的运动问题^[4]。

在弹簧振子问题中，是一个完整、理想、双侧束的质点，约束力不改变质点的机械能；考虑弹簧质量，是具有完整、理想、双侧束的质点系，约束力也不改变系统的机械能。

由于质点受到万有引力而具有的势能叫引力势能，由于质点受到重力而具有的势能叫重力势能，而把弹性势能定义为由于弹性形变具有的势能不具有和谐性，因为弹簧振子中质点具有弹性势能而没有形变。赵凯华认为：“研究一个规律的表述所具有的对称性，并设法消除某种不对称因素，从而使其规律的表述具有更多的对称性，这无疑是有重要意义的。因为它不仅满足人类对于美（对称，和谐）的心理追求，而且更重要的是使表述的规律具有更大的普遍性。如果把弹性势能定义为由于质点受到保守弹力作用（并非所有弹力都是保守力，例如非弹性碰撞中的弹力）而具有的势能叫做弹性势能就比较完整了，不但包括弹簧振子中的弹性势能[5]，也包括具有质量的弹簧、弹弓、弓箭等弹性势能，甚至包括光滑斜面上的滑块受到的弹力——支持力等具有的弹性势能[6]和单摆的摆锤受到摆线的约束力具有的势能等。质点只要受到弹力作用就具有弹性势能，不一定发生弹性形变，例如小滑块在光滑斜面上下滑，斜面的形变为 0，质点依然具有弹性势能[6]。

由于质点受到保守弹力作用（并非所有弹力都是保守力，例如非弹性碰撞中的弹力）而具有的势能叫做弹性势能，由于质点受到万有引力而具有的势能叫引力势能，由于质点受到重力而具有的势能叫重力势能，由于质点受到浮力而具有的势能叫浮力势能[7~17]，由于质点受到支持力而具有的势能叫支持力势能，由于质点受到约束力而具有的势能叫约束力势能、、、、，可以给出**势能的一般定义——由于质点受到有势力而具有的能量叫做**

势能，势能的定义式为 $dE_p = (-f) \cdot dr$ （与 $F = \frac{\partial u}{\partial r}$ 等价），当有势力不显含时间（即为保守力）时，势能也可以称为位能。（笔者注：类似地可以定义由于电荷受到电场力而具有的势能叫做电势能，从势能的定义式可以看出单质点的势能是坐标的函数，不具有伽利略变换的不变性。），这样更具有对称性与和谐性。本文把势能和位能区别开来，位能是势能的一种情形，对于保守力二者是一致的，对于显含时间的力是有区别的，此时只有势能没有位能。经典力学教材把二者等同起来，认为只有保守力才存在势能，可是有关文献又指出当势能不显含时间时力是保守力，之间存在矛盾，按照本文的观点矛盾自然解决。

根据 $dE_p = (-f) \cdot dr$ 可以得出力场不显含时间，势能一定不显含时间，这里没有时间变量 t ，文献[18]

的观点是完全错误的，只要质点受到保守力就具有势能，具体数值与势能零点的选择有关，只要势能零点相对于观察者不变即可，文献[18]错误的根源在于势能零点的选取错误。机械能守恒定律是时间均匀性的体现，显含时间的力场能量不守恒。 E_p

$\frac{1}{2} kx^2$ 仅仅适用于弹簧振子中质点的弹性势能，而且不适用于所有的惯性系[5]，不适用于弹簧的弹性势能。赵凯华、罗蔚茵在其《新概念物理教程——力学》一书中说：“追求某种东西守恒是产生科学思想不可少的条件，科学家们常有寻找守恒的强烈愿望，与运动相联系的守恒量长久以来就是物理学家寻找的目标。从守恒的观点来看，势能的概念是不能没有的。”[19]英国著名物理学家狄拉克在被问及：是怎样得到那著名的相对论量子方程时，回答得很干脆，“我发现它美！”这种科学美也与对称性密切相关，爱因斯坦将之发挥到了极致。在他以前，科学家是从定律中发现对称性，爱因斯坦反其道而行之——从对称性中发现定律。他的广义相对论就是一个范例：从引力与加速度等效原理出发，凭协变对称性就能写出引力方程。这种从对称性中找定律的方法被沿用至今，在物理学的前沿探索中发挥着越来越大的作用。所以科学家不只是求真，也在寻美。[20]

考察这样一个理想试验，一个质点静止在水平地面上，在地面上的观察者看来，质点的动能和势能都不变，机械能守恒；在相对于地面匀速运动的电梯里的观察者看来，质点的动能不变，支持力和重力同时做功，两个力做功之和为0，重力势能的减少量等于支持力势能的增加量，因此势能也不会发生变化，机械能也守恒，满足力学相对性原理。

现在不少力学教材在表述力的作用效果时一方面指出“力是改变物体运动状态的原因”，另一方面指出“力是物体产生形变的原因”，一些初学者往往认为力的作用效果有两种，其实二者本身是一致的，“力是改变物体运动状态的原因”此时物体看做质点。“力是物体产生形变的原因”此时物体不能看做质点，组成物体的各个质点的运动状态也发生了改变，物体产生形变只是一个宏观效果，所以可以统一表达为“力是改变质点运动状态的原因”。牛顿就说过，自然界喜欢简单化，而不喜欢用什么多余的原因以夸耀自己。追求简单性是经典科学奋斗的目标，也是推动它获取成功的动力。开普勒以三条简明的定律揭示了看似复杂的太阳系行星运动，牛顿更是用单一的万有引力说明了千变万化的天体行为。因而现代科学是用简单性解释复杂性，这就隐去了自然界的丰富多样性。普朗克曾经讲过：“在科学史上，一个新概念从来都不会是一开头就以其完整的最后形式出现，象古希腊神话中雅典娜一下子从宙斯的头里跳出来那样。”

Reference 参考文献:

1. 赵志栋, 陈光红. 轻弹簧之“困境”。物理通报, 2016 (5) : 98~101。
2. 唐龙. 例说能量的系统性和相对性。物理教师, 2016 (6) : 18~19。
3. 朱如曾. 弹簧振子相对于运动惯性系的机械能不守恒——关于“对一道中学生物理竞赛试题答案的商榷”的商榷, 物理通报, 2015 年(4): 84~87。
4. 李阳, 王宏, 韩艳玲. 与 r 的一次方成正比有心力作用下质点的运动研究。物理通报, 2015 (12) : 4~7。
5. 李学生, 师教民. 对一道中学生物理竞赛试题答案的商榷[J]. 物理通报, 2014(9): 119~120。
6. 张翠. 斜面上下滑滑块机械能守恒问题新解。物理通报, 2016(9): 115~117。
7. 杨子立. 关于浮力的几点分析。绥化师专学报, 2001 (6) : 99~100。
8. 胡毅, 阮士军. 关于浮力的几点讨论。南阳师范高等专科学校学报, 2004(12), Vol. 24. No. 6: 7~8。
9. 张晓森, 肖玉林. 一类浮力问题的规律性分析。中学物理, 2011(5), Vol. 29. No. 5: 16~17。
10. 郑金. 弹性势能公式的妙用。新课程(中), 2011 (8) : 143。
11. 屈志红. 浮力是否是保守力。锦州师范学院学报, 第 21 卷第 4 期, 2002 (12) : 67~68。
12. 照那木拉. 关于浮力场概念的引入及其 P 的力能二重性。内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2002 (6) : 558~560。
13. 胡义嘎. 浮力是保守力。赤峰学院学报(自然科学版), 第 28 卷第 11 期(上), 2012(11): 18。
14. 罗腊春. 浮力与浮力做功。物理教师, 第 36 卷第 5 期, 2015 (5) : 96~97。
15. 胡义嘎. 浮力势能。内蒙古师大学报自然科学(汉文)版, 1999 年 12 月, 第 28 卷第 4 期(增刊) : 31~33。
16. 胡义嘎. 浮力势能及其四种表示方法。赤峰教育学院学报, 2003 年第 5 期: 104, 106。
17. 孙石, 宋兆丽. 水球浮力势能及弹射速度的计算。吉林师范大学学报(自然科学版), 2003 (8) : 108~109, 113。
18. 朱如曾. 力场与时间有关系统的功能定理及其应用。大学物理, 2016 (10) : 11~16。
19. 赵凯华、罗蔚茵, 力学[M]。北京: 高等教育出版社, 1965: 177。
20. 沈致远. 对称趣谈。文汇报, 2009 年 7 月 3 日第九版。

A Correct Understanding of the Concept of Elastic Potential Energy

Li Xuesheng

(School of Physics, Shandong University, Jinan, Shandong 250100)

Abstract: The limitations of the classical concept of elastic potential energy are analyzed, the elastic potential energy is redefined, and the general concept of potential energy is generalized.

Key wrds: light spring; Elastic potential energy; Potential energy; Mass

12/10/2020