

196 势能（增补）

主题

我们发现，在各种不同的教科书或文献中有以下关于势能的表述或定义：

1.（大学教材）“在地面附近，如果将质量为 m 的物体举高 h ，则克服重力 mg 所做的功为

$$W=E=mgh.$$

这部分能量储存在物体中。当我们让这个物体自由落下时，这部分能量会等量地转化为动能。”

2.（中学教材）“为了把地球上质量为 m 的物体举高 Δr ，必须给它提供能量。因此，它的势能将增加……”

3.（维基百科，关键词“势能”）“要克服重力运动，必须给物体做功。这功作为势能储存起来了。”

4.（大学教材）“…… V 叫做质点 m 的势能。”

5.（大学教材）“这个功作为势能 mgh 储存在由地球和滑雪者所组成的系统中。”

6.（中学教材）“在相对于任意选择的参考系中，地球和质量为 m 的物体所组成的系统的位能（positional energy）或势能（potential energy）为： $E_{\text{pot}}=m \cdot g \cdot h$ 。

……

弹簧常数为 D 、拉伸长度为 s 的弹簧的弹性势能为……”

7.（大学教材）“在许多情况下，给系统所做的功没有引起单独一个质点的动能变化，而以所谓的势能“储存”了起来。”

8.（大学理论物理教材）“除了动能，我们把势能 V 定义为：

$$V= E_{\text{pot}} = -\int F dx.$$

9.（德国布鲁克豪斯百科全书，1926，关键词“能量”）“物体中内在的机械能（位能或势能）既由它与环境的相对位置引起（例如，被举高的物体或在水库中的水），也由它最小构成部分之间的相对位置（例如，构成弹性体的各部分的相对位置）引起……”

10.（大学教材，1936）“由物体与环境的相对位置引起或由它最小构成部分

之间的相对位置引起的做功的能力叫做其势能。势能通过作用力和.....的乘积来测量.....”

11. (德国布鲁克豪斯百科全书, 1910, 关键词“能量”)“能量既可以是实际的(即能用来实际做功的)动能,也可以是没有实际做功的静止的势能(或叫静能)。”

负担

对于能量(或其他广延量),我们可以确定其密度和流密度,即我们可以提及能量分布的地方(空间区域)。

那么,对于势能情况又是怎样的呢?在不同情况下,势能分布在哪里?

对于这个问题,学生们根本得不到答案,或所得到的几个答案是不一致的。

1. 我们先来看在地球上被举高的物体。

在上面所引用的内容中,第1条说得最清楚:势能包含在物体中。“包含”这个词清晰地告诉我们能量所在的地方。

所引用的第2、3条内容表达得也很清楚:物体的势能增加了,这势能储存在物体中。第4条内容引自一本大学理论物理教材,也持相同的观点: V 是质点的势能。(顺便提一下,作者也会说“ m 是能点的质量”吗?)

然而,问题出来了。如果这能量包含在物体中,那么我们是否可以得出这样的结论:月球的势能包含在月球中?或者,让我们来考虑一个由两个质量相同的天体构成的双星系统。这两个天体中的哪个天体具有势能?或者,让我们再回到原来的例子:“在地球的引力场”中的小物体(如一块石头)(有人会这样说)。我们也可以换个角度来说:在石头的引力场中的地球。这样,我们能得到相同的势能值。现在这势能是谁的了?是地球的吗?

正因为如此,有些作者显得更加小心了。例如,所引用的第5条(大学教材)和第6条(中学教材)内容都说能量储存在地球和另一个物体(滑雪者或物体)所组成的系统中。这意味着,在月球的例子中它储存在“地-月”系统中,而在双星系统中它储存在双星系统中。然而,这又如何理解呢?是不是这两个物体都共享着这能量?如果是,它们各占多少比例?作者们并没有把场作为“地球-物体”系统的组成部分。他们是否因为考虑到读者还不熟悉场的观念?

有些作者显得更加小心:他们只是简单地说这能量储存了起来(第7条),而并没有指明它储存在哪里。然而,读者有理由想知道这能量所储存的地方。这

是因为，当我们一提到“储存”这个词时，就清楚地表明了能量的实物型特点；当一个物体或一个量被储存了起来，它们一定有一个所储存的场地。

2. 在大学物理教材中，势能是作为在“保守场”中的力的路径积分来引入的（第 8 条）。根据这一观点，势能这一概念不仅仅局限于引力场。因此，我们也可以对在另一个带电体的电场中运动着的“试探电荷”作出相应的表述，或对被拉伸的弹簧作出相应的表述。毫无疑问，这些能量分别储存在电场和弹簧（第 6 条）中。

在 1926 年出版的百科全书中的表述（第 9 条）更有意思。我们可以从中看出，作者在解释中犹豫不决地想把场包括进去。这一表述也告诉我们，我们至今仍肩负着沉重的物理学的历史负担。

3. 无论我们最终有否找到这能量所分布的地方，但我们总会形成这样的印象：能量是力学中的一个重要物理量，是以后的教学主题中一块重要的基石。

4. 最后，关于它的名称。我们为何叫它为势能？是因为它静止地储存在系统中吗？毕竟，对于一个带电的电容器，它的极板上的电荷并没有被叫作“势荷”（potential charge）。

历史

看来，有几件事纠缠在一起。

能量刚由焦耳和迈尔引入的时候，人们清楚地知道它是用来描述力学和热学过程的。尽管如此，在 19 世纪人们普遍地认为这个世界从根本上来说可以用力学来解释。这一观点一直流传了下来。显然，哈密顿质点力学给这一观点起到了强化作用。普朗克、坡印亭和亥维赛（译者注：亥维赛，Oliver Heaviside，1850-1925，英国物理学家）的著作，以及米伊（Gustav Mie）1898 年发表的一篇优秀评论文章都没有改变这一观点。甚至，吉布斯和亥姆霍兹对热力学的发展也没有起到改变这一观点的作用。为什么学生仍然在学习机械能守恒定律，而没有学习电能或化学能守恒定律？“能量是运动的积分”成了理论物理学中的一个信条。有摩擦的过程成为这个世界中被人们所回避的恶魔。

我们再来讨论与“势”有关的表述：离地面较高处的物体比离地面较低处的物体具有更多的能量。这是什么意思？我们能观察到物体具有较多或较少的能量：通过观察物体是否在运动，物体是冷的还是热的，物体是否处于压缩状态……然而，上面这两个物体除了“位置”不同外其他都是相同的。尽管如此，人们仍

认为其中一个物体比另一个物体具有更多的能量。这时，“势”这个字看上去刚好可用来描述这种情况。实际上，只要场还没有被认识，这两个物体的差别只有其位置了。势能成了一种诺言：“只要你给我机会，我就会做功。”

然而，即使到了人们已经发现质量和能量是同一物理量后，人们仍然在使用这一古老的话语（见第 10 条和第 11 条）。在一本受人尊敬的大学教科书（第 10 条）中（这本书在 1957 年还在印出来），能量被认为是一种“能力”。

建议

要向学生说清楚能量分布在什么地方，这地方的能量变化了多少，流到哪里去了。（对于其他广延量，特别对于动量和熵，也要这样来说。）

当我们拉一根弹簧时，能量储存在弹簧中了。对于通常情况下的胡克弹簧，能量按其长度均匀地分布在弹簧中。

如果将一个带电体旁的另一带电体移走，能量就储存在电场中（或从电场中被取走）。这意味着，这实际存在的场不仅仅属于两个带电体中的其中一个。每位同学都应该知道能量密度的表达式。

在给电池充电时，能量就储存在电池中了……等等。

对于引力场，我们会发现一个问题：在这里，能量密度是负的。在广义相对论中，这是一个无法回避的问题。当一个物体下落时，它的能量会增加。这能量来自引力场。这引力场的形状取决于地球和所研究的物体。引力场的能量在减少，即引力场的能量的绝对值在增加。为了描述能流，我们需要引入第二个场，“引力磁力场”（gravitomagnetic field）。同样，在电动力学中，为了计算坡印亭矢量，除了电场外，我们还需要磁场。

在地球上的多数情况下，由于引力的耦合常量非常小，引力磁力场的力（相当于电动力学中的磁力）是很小的。相反，引力磁力场中的能流却表现得非常明显。即使我们不想计算能流的分布，我们也需要知道它是怎样计算出来的。这是因为，只有这样我们才有可能用前后一致的语言来描述引力现象：下落的物体从引力场中接收到能量。我们根本不需要说这能量仅仅是“蓄势待发的”。

参考文献

[1] Mie, G.: *Entwurf einer allgemeinen Theorie der Energieübertragung*, *Sitzungsbericht der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen*

Akademie der Wissenschaften, CVII. Band, Abtheilung II. a, 1898, S. 1113-1181

Friedrich Herrmann

(陈敏华, 2021 年 1 月 2 日译毕于浙江省绍兴市柯桥区鉴湖中学)