

势能概念在教学中的探讨

沈贤勇

(浙江树人大学基础部 浙江 杭州 310011)

(收稿日期:2016-12-03)

摘要:势能是物理学中的一个重要概念,但传统的讲授往往只关注了势能的特征,而忽视了“势能到底是什么的能量”这个关键问题,造成了学生很难真正理解势能这个概念.由此介绍一种新讲授方法,该方法清楚地说明了承载势能的具体物质基础,从而让学生真正理解势能到底是什么的能量.

关键词:电势能 引力势能 电场 质能

1 引言

势能是大学物理中一个非常重要的概念,各种大学物理教材却给出了各种不同的定义,而这些定义往往不能让学生很好地理解势能到底是什么,因为这些定义本身也只揭示了势能在某一方面的特征,而没有指出势能到底是什么的能量这个根本问题.比如常见的定义有^[1~3]:

- (1) 势能是一种与物体所处位置相关的能量;
- (2) 势能是一种潜在的,有待转化的能量;
- (3) 势能是一种储存起来的、与位置相关的能量.

这些定义虽然指出了势能的“储存性”、“位置相关”和“可转化”等重要特征,但没有正面回答势能到底是什么的能量,它的物质载体是什么?本文以电势能为例,从“势能到底是什么的能量,它的物质载体是什么”这个角度出发,给出了讲授势能的一个新方法,然后从该角度也给出了重力势能的讲授方法.

2 电势能的传统讲授方法

在传统上,我们引出电势能这个概念的方法是:先说明库仑力做功与路径无关,从而库仑力是一个保守力,这样就存在一个与位置相关的状态函数,该状态函数在两个不同位置的差就等于库仑力在此两位置间所做的功.那么,这个状态函数就被定义为电

势能函数 U .

具体来讲就是^[4,5]:假设存在两个带电粒子,其中一个带电粒子以不同路径从 A 点移动到 B 点,如图 1 所示.

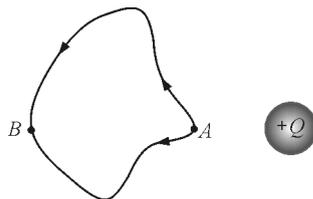


图 1 带电粒子以不同路径从 A 移动到 B

首先,可以证明库仑力是一个保守力,即库仑力沿着一条闭合回路所做的功正好等于零

$$\oint_L q_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = 0 \quad (1)$$

所以,库仑力从 A 点到 B 点所做的功就与具体的路径无关,只与 A 点和 B 点这两个始末点有关,即只与 AB 两点的位置相关,那么就存在这样一个与位置相关的状态函数 U 满足

$$U(B) - U(A) = - \int_A^B q_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} \quad (2)$$

这个函数 U 就被定义为电势能.方程(2)的含义就是:克服库仑力所做的功转化为了电势能,但方程(2)并没有表明电势能到底是什么的能量.关于这个问题,多数大学物理教程的解释是:电势能的值是与位置相关的,并且它是由于两个带电体之间的相互作用才产生的,所以电势能一般被解释为这两个带电体组成的系统所具有的能量.但是这种解释会

给学生带来极大的疑惑,因为“两个带电体组成的系统”是一个抽象的、笼统的对象,并没有给出有关这个系统的任何细节特征说明,从而导致了学生无法真正理解势能到底是如何储存在“两个带电体组成的系统”中的.所以,必须对电势能在两个带电体组成的系统中具体“储存机制”给出清晰的说明,才能消除学生在这方面的困惑.

3 电势能的新讲授方法

能量是不会凭空存在的,它的存在必须以某种具体的物质作为载体,电势能也不例外,而“电势能是储存在两个相互作用的带电体组成的系统中”的传统介绍方法太笼统,没有说明具体的“储存”细节.但是,把电场这种物质考虑进来,问题就变得非常清晰了.电场是一种真实存在的物质,那么它本身也具有能量,而电势能只不过就是“储存”在电场这种物质当中的能量而已.为了能够清楚说明这一点,可以考虑使用如下场景进行讲解说明.

如图2所示,现有两个带正电的粒子,在外力 $F_{外}$ 的作用下,一个带电粒子缓慢地从A点移动到B点,带电粒子在A点时的电场分布与粒子在B点时的电场分布是不一样的.

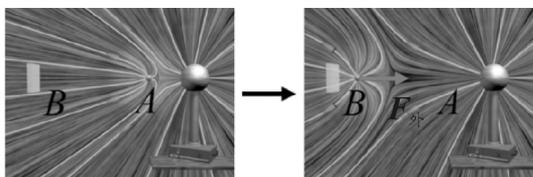


图2 外力作用下粒子缓慢从A移动到B

而电场是一种真实存在的物质,它本身就具有能量,那么,带电粒子在A点时电场的能量记为 E_1 ; 带电粒子在B点时电场的能量记为 E_2 . 由于带电粒子在A点和在B点时的电场分布是不一样的,那么此两种情况下电场的能量也将不一样,即 $E_1 \neq E_2$. 也就是说,在外力 $F_{外}$ 的作用下,带电粒子从A点缓慢地移动到B点的过程中,电场的能量也从 E_1 变为了 E_2 , 如图3所示. 那么带电粒子从A点缓慢地移动到B点过程中电场能量的改变量 $\Delta E = E_2 - E_1$ 是来自哪里呢?

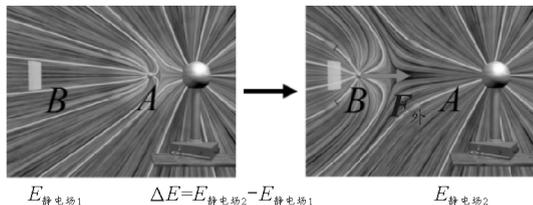


图3 粒子在A或B点时,电场的能量

根据能量守恒定律,这个电场能量的改变量

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

只能来自外力 $F_{外}$ 所做的功.

$$\Delta E = W_{AB} = \int_A^B \mathbf{F}_{外} \cdot d\mathbf{r} = - \int_A^B q_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} \quad (3)$$

但同时根据势能的传统定义方法,克服库仑力的外力 $F_{外}$ 所做的功也转化为电势能,转化关系就是

$$\Delta U = U(B) - U(A) = - \int_A^B q_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} \quad (4)$$

所以在此场景下,一方面,克服库仑力的外力 $F_{外}$ 所做的功,可以转化为电场能量的改变量

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

即转化到电场的能量中去了;另一方面,这部分功又同时转化为粒子的电势能 $\Delta U = U(B) - U(A)$ 的改变量,即转化为了粒子的势能,这个过程如图4所示.

$$W_{AB} = - \int_A^B q_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} \begin{cases} \Delta U \text{--- 属于带电粒子} \\ \Delta E \text{--- 属于静电场} \end{cases}$$

图4 外力所做功带来能量改变

如果电势能和电场能量是两种完全不同的能量存在,那么外力 $F_{外}$ 做的功所转化出来的能量就是该部分功的两倍,这显然是与能量守恒相违背的.

没有出现这种冲突的原因就是,电势能就是储存在电场这种物质中的,所以电势能只不过是电场这种物质的一部分能量通过带电粒子对外的一种展现方式而已;或者说,具体承载电势能的物质基础就是电场这种物质,这就是电势能的具体的“储存机制”.外力所做的功转化为电势能的增量,同时也改变了电场能量,电势能和电场能是从两个不同的角度对电荷系统能量的描述.这个说明过程是简单的,也是清晰的,有了这个认识过程后,电势能对于学生不再是一个抽象的概念,而是一个可以感受到具体细节的具体的概念,这必定能提高学生对此概念的理解和掌握.

4 引力势能的情况

一个物体引力势能的“储存机制”和电势能的“储存机制”有点类似,不过不同点在于^[6],根据广义相对论,引力场是对时空的度量.在外力作用下,物体从A点缓慢移动到B点后,引力场会发生改变,那么A点和B点的时空本身也就随之改变了.而一个物体的质能与它所处的时空是相关的,所以物体在A点的质能 $E_A = m_A c^2$ 与它在B点的质能 $E_B = m_B c^2$ 是不同的,也会随着移动发生改变,即

$$E_B - E_A \neq 0$$

这个能量的改变是通过物体质量 $m_B = m_A + \Delta m$ 的改变来实现的,即这部分改变的能量的物质承载基础就是物体本身的质量.所以,像电势能一样,引力势能有一部分也是储存在引力场中,但还有一部分是储存在物体质能的改变量 $\Delta m c^2$ 中,如图5所示.所以引力势能也不过是引力场的能量和物体一部分质能的一种展现方式而已.或者说,具体承载引力势能的物质基础就是引力场这种物质和该物体本身的一部分,这就是引力势能的具体的“储存机制”.

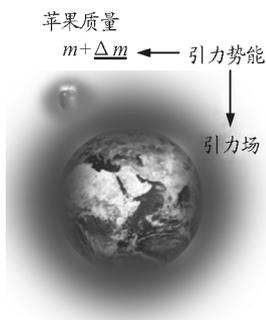


图5 引力势能的储存机制

5 小结

本文通过具体场景为例子,展示了电势能和引力势能的具体“储存机制”,说明了承载电势能和引力势能的具体物质基础,而其他形式的势能本质上是电势能或引力势能,比如弹性势能本质上是电势能.最后,对势能的定义和属性给出一个比较完整地描述:势能是储存在保守力场中由发生保守力作用的物体之间的相对位置所决定的属于整个系统的能量,势能的量值是相对的,取决于零参考点的选择,但势能的增量是绝对的,它等于物体移动过程中外力反抗保守力所做的功,也等于保守力做功的负值.那么,使用新的讲授方法,在介绍清楚承载势能的具体物质基础后,学生在势能到底是什么的理解和把握上就会变得更加容易,同时对势能与其他形式的能量之间关系和区别也会认识的更深刻,以及对能量这个概念也会有全新的认识.

参考文献

- 1 邓人忠. 物理学基本概念探讨. 北京:气象出版社,2010. 95 ~ 101
- 2 诸葛向彬. 工程物理学. 杭州:浙江大学出版社,2010. 40 ~ 43
- 3 鲍世宁,黄敏,应和平. 大学物理学教程. 杭州:浙江大学出版社,2014. 26 ~ 27
- 4 费因曼. 费因曼物理学讲义(第一卷). 上海:上海科技出版社,2013. 148 ~ 151
- 5 基特尔,等. 伯克利物理学教程(力学卷). 北京:机械工业出版社,2014. 157 ~ 158
- 6 瓦尼安,鲁菲尼著. 引力与时空. 向守平,冯珑珑,译. 北京:科学出版社,2006. 9 ~ 12

Discussion on the Concept of Potential Energy in Teaching

Shen Xianyong

(Department of basic courses, Zhejiang Shuren University, Hangzhou, Zhejiang 310011)

Abstract: Potential energy is an important concept in physics, however, in the past we only introduced some characteristics of potential energy and did not make clear of what the potential energy belongs to so that students often fell into confusion. In this paper, we give another way of introducing the concept of potential energy by explaining how the potential energy is stored.

Key words: electric potential energy; gravitational potential energy; electric field; mass energy