

“电势能”表达式的教学研究

陈清梅

(北京中医药大学中药学院数理系 北京 100029)

(收稿日期:2019-03-11)

摘要:“电势能”是物理电学部分的重要内容,一直是物理教学的重点与难点.教学实践表明,以教材为范本进行教学,往往并不能使学生真正掌握这一概念,同时学生对电势能的表达式也不甚清楚,从而在一定程度上影响学生对整个静电学内容的把握.有鉴于此,从一个新的角度展开对电势能的教学研究,以期为这一问题的解决提供有益的启示.

关键词:电势能 静电力做功 物理教学

1 “电势能”教学的困惑

人教版物理教材在“电势能和电势”一节中,首先研究了静电力做功的特点.教材模仿重力势能的研究思路,以静电力做功为切入点,定量分析了静电力做功的特点,并通过渗透微元法说明静电力做功的特点.教材分三步展开讨论.

首先,教材研究电荷 q 沿直线从 A 移往 B 的过程中静电力做的功.在这一过程中,电荷 q 受到的静电力 $F = qE$,静电力 F 与位移 AB 的夹角始终为 θ ,静电力对 q 做的功为 $W_{AB} = qE|AB|\cos\theta = qE|AM|$,如图 1(a) 所示.其次,研究电荷 q 沿折线 AMB 从 A 移往 B 的过程中静电力做的功.在线段 AM 段上,静电力对 q 所做的功为 $W_1 = qE|AM|$,在线段 MB 段上,由于移动方向跟静电力垂直,静电力不做功, $W_2 = 0$.因此,整个过程中静电力做的功为 $W_{AB} = W_1 + W_2 = qE|AM|$,如图 1(a) 所示.

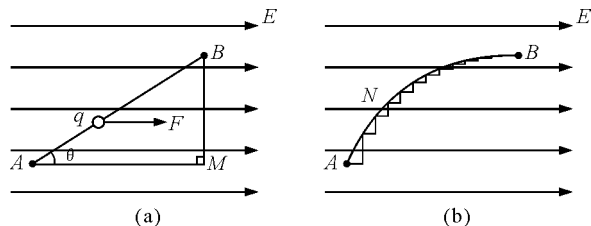


图1 静电力做功分析

最后,研究电荷 q 从 A 沿任意曲线 ANB 移往 B 的过程中静电力做的功.用无数组跟静电力垂直和平行的折线来逼近曲线 ANB ,当 q 的移动方向与静电力平行时静电力做功,当 q 的移动方向与静电力

垂直时则不做功.由于与静电力平行的短折线的长度之和等于 $|AM|$ (图中未画),因此,静电力所做的功为 $W_{AB} = qE|AM|$,如图 1(b) 所示.

综上所述,教材得出结论:“在匀强电场中移动电荷时,静电力做的功与电荷的起始位置和终止位置有关,但与电荷经过的路径无关”,并将此结论推广至非匀强电场.分析可知,教材采用“特殊”——“一般”——“普遍”的研究思路对静电力的做功特点展开讨论,最终得到了静电力做功的表达式 $W_{AB} = qE|AM|$.

在此基础上,教材进一步讨论了电势能的定义.“正是由于移动物体时重力做的功与路径无关,同一物体在地面附近的同一位置才具有确定的重力势能,从而使重力势能的概念具有实际的意义.同样的,由于移动电荷时静电力做的功与移动的路径无关,电荷在电场中也具有势能,这种势能叫做电势能,可用 E_p 表示.并得到推论“静电力做的功等于电势能的减少量”,表示为 $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$ ^[1].

不难发现,教材在推导电势能的过程中得出了两个表达式,分别是 $W_{AB} = qE|AM|$ 和 $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$,前者是静电力做功的表达式,是对静电力做功的描述,而后者是静电力做功与电势能变化的表达式,即功能关系,但教材却没有给出电势能的表达式.

换句话说,重力势能的表达式为 $E_p = mgh$,而教材中却找不到类似的电势能定义式.从教学的逻辑角度思考,这显然是不合理的.这种情况就会导致学生在学习电势能时,只记住 $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$ 以及

$\varphi = \frac{E_p}{q}$, 却不了解电势能的真正含义与定义式, 从而难以构建完整的电势能、电势、电势差的知识体系, 进而难于真正理解静电场的本质. 因此, 建立电势能的定义式具有重要的意义.

2 “电势能”定义式的建立

如何更好地运用“对称性”思想推导出电势能的定义式? 可以由“特殊”——“一般”——“普遍”的研究思路中的“普遍”情况入手, 对表达式进行抽丝剥茧的解读.

如图2所示, 水平地面上方有一竖直向下的匀强电场 E , 电荷 q 沿曲线从 A 移往 B , 研究静电力做功并推导电势能的表达式.

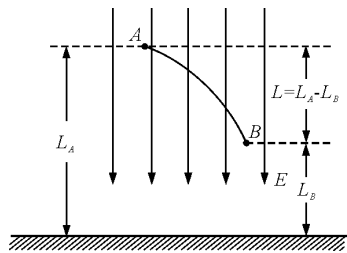


图2 静电力做功推导电势能的表达式

设 A 点距地面的高度为 L_A , B 点距地面的高度为 L_B , A, B 两点之间的竖直距离为 L , 在电荷由 A 运动到 B 的过程中, 静电力做的功

$$W_{AB} = FL = qEL = qEL_A - qEL_B$$

以数学表达式 $L = L_A - L_B$ 为切入点进行研究. L 是真实发生的, 是电荷沿电场方向运动的位移, 而表达式右边的 L_A 和 L_B 并不是电荷运动过程中真实发生的位移, L_A 和 L_B 均是假设发生的. 根据这一思路, 在 $qEL = qEL_A - qEL_B$ 等式中, 左边的 qEL 是静电力做的功, 是真实发生的, 而等式右边并非真实发生的过程, 但它的差值在数值上等于静电力做的功, 在量纲上又与功的量纲一致, 因此, $qEL = qEL_A - qEL_B$ 不仅仅是数学上的等式, 更是一个物理等式. 进一步分析可知, $qEL_A - qEL_B$ 并非静电力真实做的功, 而是静电力虚拟的功, 它具有潜在的做功本领. 因此, 可以将它看做是一种能量. 由于这种能量是由电场力产生的, 所以将其定义为电势能, 即

$$E_p = FL = qEL$$

这样的推导方式不仅具有普适性, 而且简单、明了. 从数学表达式到物理表达式, 从真实做功到虚拟做功, 都很好地关照到了高中学生的认知水平. 尤其

值得称道的是, 通过给出电势能的表达式, 也使得电势能与重力势能在表达式上达到了统一. 比如, 重力势能 $E_p = mgh$ 主要与 m, g, h 这3个量有关, m 与物体本身的性质相关, g 与重力场的性质相关, h 与重力作用下物体的实际位移相关. 电势能 $E_p = qEL$ 主要与 q, E, L 这3个量有关, q 与电荷本身的性质相关, E 与电场的性质相关, L 与静电力作用下电荷的实际位移相关. 显然, 两者在形式及意义上达到了高度一致, 也从侧面反映出重力场与静电场的相似性.

3 反思与启示

3.1 物理概念教学要彰显逻辑内涵

对于物理概念与物理规律教学, 严密的逻辑性一直是教学的重点, 先讲什么, 再讲什么, 应当有一定的依据. 而依据就是要求既要保证知识的科学性, 也要结合学生的认知水平. 在电势能教学过程中, 得到了静电力做功的两个表达式, 分别是 $W_{AB} = qE|AM|$ 和 $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$. 这两个式子主要描述了“功到功”“功到能”的关系, 但是对于“能到能”的关系却没有给出, 而这恰恰是电势能定义式的核心. 因此, 只有给出电势能的表达式, 才能在学生头脑中建立起完整的电势能知识框架, 从而更好地理解重力势能与电势能“对称性”内涵.

3.2 物理概念教学要注重物理本质诠释

物理概念教学既要保证严密的逻辑性, 又要注重对物理本质的诠释. 电势能虽然不是学生接触的第二个势能的实例, 但却比重力势能更抽象、更难懂. 对于电势能而言, 静电力做功 qEL 不难理解, 难的是 $qEL_A - qEL_B$ 物理本质的诠释. 因此, 就有必要对 L_A, L_B, qEL_A, qEL_B 的物理意义进行深入地分析. 从数学表达式 $L = L_A - L_B$ 看, L 是真实发生的位移, L_A, L_B 均是假设发生的位移. 从物理表达式 $qEL = qEL_A - qEL_B$ 的角度看, 却大有文章可做. $qEL_A - qEL_B$ 并非真实做的功, 而是虚拟的功, 具有潜在的做功本领. 所以, qEL 可以被看作是一种能量. 显而易见, 只有从数学到物理、从虚拟到真实, 才能真正诠释电势能概念的物理本质.

参考文献

- 1 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书物理·选修3-1. 北京: 人民教育出版社, 2007. 15 ~ 18