



# 高中物理教材电势 电势差 概念建立的优化策略

李常明

(凤凰县高级中学 湖南 吉首 416200)

(收稿日期:2016-03-24)

**摘要:**针对5个版本高中物理教材电势、电势差概念建立过程的不足之处,以人教版教材为蓝本,另辟蹊径理解重力势能,建立形象的重力势、重力势差概念,用恰当的类比优化了电势、电势差教学,最后对人教版教材提出了改进建议.

**关键词:**类比 重力势 重力势差 电势 电势差

电势能、电势、电势差是电场部分的核心内容和难点,电势能的概念5个版本的高中物理教材都是用电场力做功与重力做功类比方式建立,电势、电势差概念的得出则各有千秋,有用比值法定义的,有用物理意义定义的,也有将电势差与高度差进行类比的<sup>[1]</sup>.按此思路设计教学,能否让学生事半功倍的掌握这一核心内容呢?

教学实践表明答案是否定的,学生难点的根源是此处按比值法或物理意义定义的概念过于抽象,将电势差与高度差进行类比虽然能化抽象为形象<sup>[2]</sup>,但是,学生稍微深入类比就会发现:第一,两点之间距离一定时,不同的重力场中高度差是不变的,不同的电场中电势差却可以变化,两者类比的相似度不高;第二,由库仑力与万有引力公式类比可知,电荷量类似于质量,由电场力做功公式  $W_{AB} = qU_{AB}$  与重力做功公式  $W_{AB} = mgh_{AB}$  类比可知,电荷量又类似于重力,即类比量没有一一对应性,这个不恰当的类比反而让学生越比越糊涂.针对这些教学困难,

本文结合5个版本教材的优点,以国内占主流的人教版教材为蓝本,另辟蹊径理解重力势能为突破口,建立与电势、电势差真正对应而又形象的重力势、重力势差,从而将概念建立过程优化如下.

## 1 类比一:通过熟悉的静电场来认识陌生的引力场

场是物理学中的重要概念,除了电场和磁场,还有引力场<sup>[3]</sup>.存在任何实物周围的一种特殊物质叫引力场,实物之间的万有引力就是通过引力场发生作用的,鉴于库仑力与万有引力公式的相似性,电荷量  $q$  类似于质量  $m$ ,仿照电场强度的定义,我们从力的角度该如何定义引力场强度?

我们可以定义引力场强度  $g$  等于引力场源物体对试探物体的万有引力  $F$  与试探物体质量  $m$  的比值,单位是  $N/kg$ ,方向指向引力场源物体.根据这个定义,静电场与引力场从力的角度对比如下表1.

表1 静电场与引力场从力的角度对比

| 普遍适用的定义公式 | 静电场                        | 引力场                         | 说明                               |
|-----------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
|           | $E = \frac{F}{q}$          | $g = \frac{F}{m}$           | 注意:点电荷有正负之分,地球(外部的)引力场只能与负点电荷类比. |
| 特例一       | 点电荷场强 $E = \frac{kQ}{r^2}$ | 地球引力场强 $g = \frac{GM}{r^2}$ |                                  |
| 特例二       | 匀强电场 $E$ 不变                | 重力场 $g$ 不变                  |                                  |

熟悉引力场之后,依据功是能量转化的量度以及电场力做功与重力做功类似,都与路径无关,均有  $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$ ,即重力或电场力做的功等于重力势能或电势能之差,我们又可以各取表1中的特例二,借助重力场的形象性,采取以退为进的策略,利用学生在必修2中掌握的形象的重力势能概念(实物及高度可视性)拓展完善人教版教材选修3-1习题中点到但依旧抽象的重力势概念<sup>[3]</sup>.

## 2 从能的角度建立承前启后而又形象的重力势概念

### 2.1 概念引入

在地球上,我们从1 m高的地方能轻易地跳下去,假如地球的重力加速度变为现在的10倍,同样还是1 m,我们没人敢跳下去;假如地球的重力加速度变为现在的 $\frac{1}{10}$ ,我们从10 m高的地方也敢跳下去,从能的角度看,是什么原因导致我们敢还是不敢跳下去呢?

### 2.2 概念建立

我们知道,由物体与地球之间的相对位置决定的能叫重力势能,在图1所示的重力场中零势能参考面所在点为坐标原点,逆着重力场的方向为一维坐标系的正方向, $h_A$ 表示A点到坐标原点所在平面的高度,相应的 $h_{AB} = h_A - h_B$ 表示A与B间的高度差.

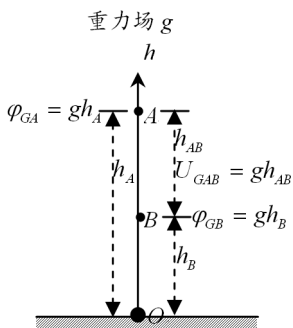


图1 重力场中建立的坐标系

由必修2中原有的待完善的重力势能公式  $E_{pA} = mgh_A$  可知,同一物体在不同的重力场中(如概念引入中相同的高度重力加速度不同的情况)具有的重力势能不仅仅是由高度  $h_A$  决定,而是由  $gh_A$  的乘积决定,这个乘积越大,物体具有的重力势能越大,这个乘积只与重力场源物体及试探物体到零势

能参考面的高度有关,与试探物体质量无关,这个更具普遍性的乘积能反映重力场源物体的重力场中每点的性质,并且决定试探物体所在点的重力势能,因此,我们可令  $\varphi_{GA} = gh_A$  这个整体作为一个新的物理量,根据该量决定同一物体的重力势能的特点命名为重力势,即从能的角度重力场强度与所研究点到零势能参考面高度的乘积定义为重力势(其符号加下标G以区别于电势),易知沿着重力场方向重力势逐渐降低,相应的  $U_{GAB} = \varphi_{GA} - \varphi_{GB}$  则表示重力势差,即重力场中两点之间重力势之差定义为重力势差(其符号加下标G以区别于电势差).由重力势、重力势差公式可导出重力势差与重力场强度的关系为  $U_{GAB} = gh_{AB}$ (非匀强引力场由微元法知累加求和即可得引力势差),结合功能关系公式  $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$  可将原来仅适用于重力场的重力势能公式  $E_{pA} = mgh_A$ ,重力做功公式  $W_{AB} = mgh_{AB}$ ,改写为更具普遍性新的重力势能公式  $E_{pA} = m\varphi_{GA}$ ,新的重力做功公式  $W_{AB} = mU_{GAB}$ .

### 2.3 概念理解

根据以上的定义,我们可以把重力势理解为:同一个人站的楼层越高,往下看感觉腿越是发软,产生这种感觉就是因为离地越高所在点的重力势越大;同样的两栋房子,同一个人地球上三楼比月球上三楼往下看心里更害怕,是因为地球上三楼比月球上三楼的重力势大.

## 3 类比二:通过形象的重力场来认识抽象的匀强电场

从能的角度建立了形象的重力势、重力势差概念,我们反过来可用匀强电场中较为抽象的电势、电势差类比重力场中相对形象的重力势、重力势差概念.

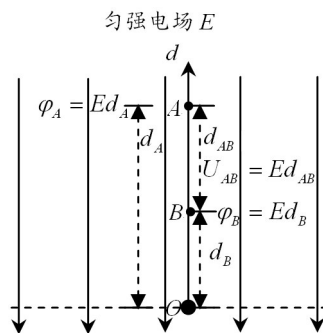


图2 匀强电场中建立的坐标系

由试探电荷与场源电荷之间的相对位置决定的能叫电势能,在图2所示的匀强电场中以零势能参考面所在点为坐标原点,逆着匀强电场的方向为一维坐标系的正方向, $d_A$ 表示A点在一维坐标系中到坐标原点所在平面的距离,相应的 $d_{AB} = d_A - d_B$ 表示一维坐标系中A与B之间的距离差(因匀强电场方向不一定向下,所以 $d$ 称为距离而不称为高度),类比重力场可得: $\varphi_A = Ed_A$ 表示电势,即匀强电场强度与所求点到零势能参考面距离的乘积定义为电势,这个定义同时直接表明了场源电荷的电势与试探电荷电荷量 $q$ 无关,只与场源电荷的电场强度 $E$ 本身及所研究点到零势能参考点距离 $d$ 有关,易知

沿着电场方向电势逐渐降低,相应的 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ 则表示电势差,即电场中两点之间电势之差定义为电势差.由电势、电势差公式可导出电势差与电场强度关系为 $U_{AB} = Ed_{AB}$ (非匀强电场由微元法知累加求和即可得电势差),结合功能关系公式

$$W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$$

并类比重力场能的性质,可得仅适用于匀强电场的电势能公式 $E_{pA} = qEd_A$ ,电场力做功公式 $W_{AB} = qEd_{AB}$ ,以及更具普遍性的电势能公式 $E_{pA} = q\varphi_A$ ,电场力做功公式 $W_{AB} = qU_{AB}$ .根据新引入的重力势,匀强电场与重力场从能的角度可一一对比如下表2.

表2 匀强电场与重力场从能的角度对比

| 重力场  | 匀强电场                                   |
|--|--|
| 高度 $h_A, h_B$                                | 距离 $d_A, d_B$                          |
| 高度差 $h_{AB} = h_A - h_B$                     | 距离差 $d_{AB} = d_A - d_B$               |
| 重力势 $\varphi_{GA} = gh_A$                    | 电势 $\varphi_A = Ed_A$                  |
| 重力势差 $U_{GAB} = \varphi_{GA} - \varphi_{GB}$ | 电势差 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$   |
| 重力势差与重力场强度关系 $U_{GAB} = gh_{AB}$             | 电势差与电场强度关系 $U_{AB} = Ed_{AB}$          |
| 重力做功与重力势能关系 $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$       | 电场力做功与电势能关系 $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$ |
| 重力势能 $E_{pA} = mgh_A = m\varphi_{GA}$        | 电势能 $E_{pA} = qEd_A = q\varphi_A$      |
| 重力做功 $W_{AB} = mgh_{AB} = mU_{GAB}$          | 电场力做功 $W_{AB} = qEd_{AB} = qU_{AB}$    |

说明:除 $m, g, E$ 外,其余带下标的量及 $q$ 代入数值要注意正负号

在两层类比之中建立形象的重力势概念有效地搭建了概念化抽象为形象的“脚手架”,学生通过相互类比,达到较好地从根本上理解静电场中电势能、电势、电势差3个极为抽象的概念,同时也降低了以抽象概念为基础的逻辑推理的困难,还能理解为理解人教版高中物理选修3-4广义相对论中“引力势较低的位置时间进程比较慢”提前搭建台阶.

为此,建议人教版教材再版时,先在必修2的重力势能这一节内容通过说一说等栏目未雨绸缪地增加重力势与重力势差两个概念,然后在选修3-1电场力的性质主题后,反客为主地以习题的形式从力的角度列出对比表1让学生自己琢磨引力场,在电场能的性质主题中则顺理成章的直接用电场中的匀

强电场与引力场中的重力场,按表2思路进行类比得出电势能、电势、电势差概念,最后将公式的适用范围再推广到一般的情况,从而更完美体现人教版教材概念内在的逻辑性与知识的系统性优点.

#### 参考文献

- 1 周长春. 尊重认知规律 化解思维障碍——五种版本教科书编排电势能、电势、电势差内容的比较. 中学物理教学参考, 2011(12): 2~4
- 2 王松涛. 科学运用类比推理开展“电势和电势差”教学. 中学物理教学参考, 2015(Z1): 45~47
- 3 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. 普通高中物理课程标准实验教科书物理选修3-1. 第2版. 北京: 人民教育出版社, 2007. 15~20