

突出思维与方法 品模型对称之美

——2022年高考湖南物理卷第2题评析

吕佑祥 谢志刚

(长沙麓山国际实验学校 湖南长沙 410000)

(收稿日期:2022-07-16)

摘要:对2022年高考湖南物理卷第2题进行评析,围绕《中国高考评价体系》从试题结构、考点分析、育人导向、核心素养、试题情境等方向进行分析评价,从解析、评析、题源、扩展等角度进行细致论述。

关键词:对称思想;叠加法;高考试题评析;核心素养

湖南省2022年普通高中学业水平选择性考试物理卷稳中有变,较好地贯彻了《中国高考评价体系》^[1],体现了高考在立德树人、服务选才、引导教学的核心地位和功能导向,准确地把握了高考定位和课程改革的要求.试题主要以生活情境为载体,考查学生对基本物理概念、物理规律的理解与应用.考卷第2题立足高考命题的基础性、综合性、应用性、创新性,突出对物理学科核心素养的考查^[2].

1 真题展示

【题目】如图1所示,4根完全相同的均匀带正电绝缘长棒对称放置在长方体的4条长边 a 、 b 、 c 、 d 上.移去 a 处的绝缘棒,假定另外3根绝缘棒电荷分布不变.关于长方体几何中心 O 点处电场强度方向和电势的变化,下列说法正确的是()

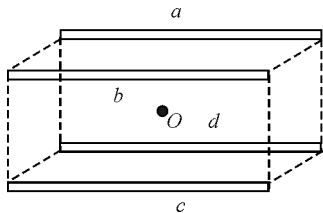


图1 题目图

- A. 电场强度方向垂直指向 a ,电势减小
 B. 电场强度方向垂直指向 c ,电势减小
 C. 电场强度方向垂直指向 a ,电势增大
 D. 电场强度方向垂直指向 c ,电势增大

答案:A.

2 真题解析

由对称性关系, b 处绝缘棒和 d 处绝缘棒在 O 点产生的合场强为零, a 处绝缘棒与 c 处绝缘棒在 O 点产生的合场强也为零.因此,移去 a 处绝缘棒后, O 点的场强可以认为是由 c 处绝缘棒单独产生. c 处绝缘棒带正电,其在 O 点的场强应垂直指向 a .

判断电势变化有两种方法.

方法一:根据电势的叠加原理,单个点电荷在距其 r 处的电势 $\varphi = k \frac{q}{r}$ (取无穷远处电势为零),电势是标量, O 点的电势等于所有棒在 O 点激发的电势的代数和,撤去 a 处绝缘棒后, q 减小,则 O 点的电势减小.

方法二:选无穷远电势为零,假设在正中心 O 点有一负电荷,电荷量为 $-q$,在 a 处绝缘棒移走前,将该负电荷从中心点 O 移到无穷远,电场力做负功,大小为 W_1 ,即电势能增加 W_1 .

$$W_1 = 0 - \varphi_O(-q) = \varphi_O q$$

若移走 a 处绝缘棒,则 a 处绝缘棒不再对该负电荷做负功,此时 b 、 c 、 d 处绝缘棒对其做负功,大小为 W_2 , $W_2 < W_1$.由

$$W_2 = 0 - \varphi'_O(-q) = \varphi'_O q$$

所以 $\varphi'_O < \varphi_O$,即移走 a 处绝缘棒,正中心 O 点处电势减小.

3 真题评析

考查对称性、叠加原理在电场中的应用、模型的

等效与简化,体现科学思维,突出对解决问题能力的考查.电场、电势为教材中的基本概念,结合对称性原理,融入立体模型,是基础与创新并存,是概念与规律的提炼、凝结与升华.

电势为标量,对电势进行叠加合成时进行代数求和.公式 $\varphi = k \frac{q}{r}$ 在教材中没有提及,教师在教学中要进行适当的知识扩展,挖掘学生潜力,不断拓展学生的最近发展区.同时引导学生在遇到陌生知识点时要通过各种途径主动获取知识,例如翻阅科普资料、查阅图书馆文献或者百度搜索.鼓励学生在独立思考后加强交流合作,改善改进思维方法,培养学习能力.本题命题立意点落在“考查素养、解决问题”,以“一核、四层、四翼”为指导思想回答了“为什么考”“考什么”“怎么考”的问题.

4 真题溯源

2021年高考北京物理卷第9题的情境是:关于两等量异种电荷连线及中轴线对称的点 M 、 N 、 M 、 P 的场强大小、电势高低,考查了利用对称思想解题,利用拓展公式 $\varphi = k \frac{q}{r}$ 比较电势高低.

2020年高考全国新课标 II 卷物理第20题:细圆环的上、下半圆分别均匀分布着等量异种电荷,求解圆内水平、竖直直径上关于 O 对称的 a 、 b 、 c 、 d 点的场强和电势大小.

【例1】(2021年高考北京物理卷第9题)如图2所示的平面内,有静止的等量异号点电荷, M 、 N 两点关于两电荷连线对称, M 、 P 两点关于两电荷连线的中垂线对称.下列说法正确的是()

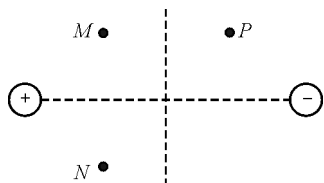


图2 例1题图

- A. M 点的场强比 P 点的场强大
- B. M 点的电势比 N 点的电势高
- C. N 点的场强与 P 点的场强相同
- D. 电子在 M 点的电势能比在 P 点的电势能大

答案:C.

【例2】(2020年高考全国新课标 II 卷物理第20

题)如图3所示,竖直面内一绝缘圆环的上、下半圆分别均匀分布着等量异种电荷. a 、 b 为圆环水平直径上的两个点, c 、 d 为竖直直径上的两个点,它们与圆心的距离均相等.则()

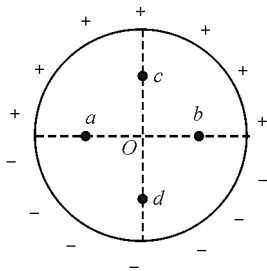


图3 例2题图

- A. a 、 b 两点的场强相等
- B. a 、 b 两点的电势相等
- C. c 、 d 两点的场强相等
- D. c 、 d 两点的电势相等

答案:ABC.

5 扩展探究

扩展1:如图1所示4根带电绝缘棒,若将 a 棒带等量均匀分布的负电荷,或 a 、 c 棒带等量均匀分布的负电荷,求 O 点的场强和电势的变化.根据对称关系和电势公式 $\varphi = k \frac{q}{r}$ 可以很快得出结论.

【例3】(改编)如图4所示,4根完全相同的绝缘长棒对称放置在长方体的4条长边 a 、 b 、 c 、 d 上,其中棒 a 带负电,棒 b 、 c 、 d 带等量正电.移去 a 处的绝缘棒,假定另外3根绝缘棒电荷分布不变.关于长方体几何中心 O 点处电场强度方向和电势的变化,下列说法正确的是()

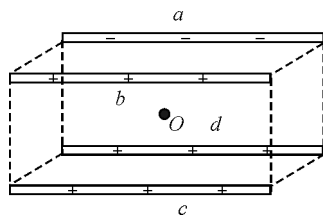


图4 例3题图

- A. 电场强度方向垂直指向 a , 电势减小
- B. 电场强度方向垂直指向 c , 电势减小
- C. 电场强度方向垂直指向 a , 电势增大
- D. 电场强度方向垂直指向 c , 电势增大

答案:C.

解析:对电场方向的判断参照真题解析,此处不

再重复.

对 O 处电势变化的判断有两种方法.

方法一:根据电势的叠加原理,单个点电荷在距其 r 处的电势 $\varphi = k \frac{q}{r}$ (取无穷远处电势为零), a 处绝缘棒在 O 点产生的电势为负,大小为 φ_a . b 、 c 、 d 处绝缘棒在 O 点产生的电势为正,大小为 φ_b 、 φ_c 、 φ_d . 则 $\varphi_O = \varphi_b + \varphi_c + \varphi_d - \varphi_a$, 当去掉 a 处带负电的绝缘棒后 $\varphi'_O = \varphi_b + \varphi_c + \varphi_d$, 即电势增大. 所以选项 C 正确.

方法二:选无穷远电势为零,假设在正中心 O 点有一负电荷,电荷量为 $-q$. 在 a 处绝缘棒移走前,把该电荷从中心点 O 移到无穷远, b 、 c 、 d 处绝缘棒对其做负功, a 处绝缘棒对其做正功,所做总功为负,大小为 W_1 , 即电势能增加 W_1 .

$$W_1 = 0 - \varphi_O(-q) = \varphi_O q$$

若移走 a 处绝缘棒,则 a 处绝缘棒不再对该负电荷做正功,此时 b 、 c 、 d 处绝缘棒对其做的负功大小为 W_2 , $W_2 > W_1$. 由

$$W_2 = 0 - \varphi'_O(-q) = \varphi'_O q$$

所以 $\varphi'_O > \varphi_O$, 即移走 a 处绝缘棒,正中心 O 点处电势增加,所以选项 C 正确.

扩展 2:将试题模型的带电体由“线”扩展到“面”,即把带电绝缘棒扩展到带电平面. 再利用对称性原理、叠加原理解题.

【例 4】电容器的两块极板由 8 块电荷密度分布均匀的小正方形拼接而成(上极板带正电,下极板带负电),板间距离远小于板的尺寸,如图 5 所示,两极板正中心点 M 、 N 的连线中点处电场强度为 E_0 . 当按如图 5 中虚线位置将电容器分开得到 4 个相同的小正方形电容器,极板间电荷分布不受影响,则小正方形电容器极板间靠近角的连线 M 、 N 中点处场强 E_1 及分开后该点电势 φ_1 变化情况为()

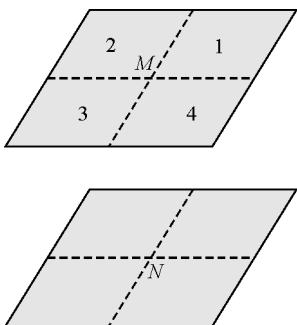


图 5 例 4 题图

A. $E_1 = \frac{E_0}{4}$, φ_1 不变

B. $E_1 = \frac{E_0}{8}$, φ_1 不变

B. $E_1 = E_0$, φ_1 变小

D. $E_1 = E_0$, φ_1 变大

答案: A.

解析:以由两块小正方形构成的电容器为研究对象,各角大小为 $\frac{\pi}{2}$, 如图 6 所示. 我们再取 6 块相同的小正方形极板拼成一个大的电容器, 根据题意, 拼接后的电容器正中心点 M 、 N 连线中点处场强为 E_0 . 而 M 、 N 连线中点处的场强由 4 个相同电容器上的电场叠加而成, 所以, 一对小正方形电容器极板间两相对角的连线 M 、 N 中点处场强

$$E_1 = \frac{E_0}{4}$$

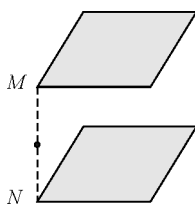


图 6 小正方形电容器

选无穷远电势为零, 如图 7 所示.

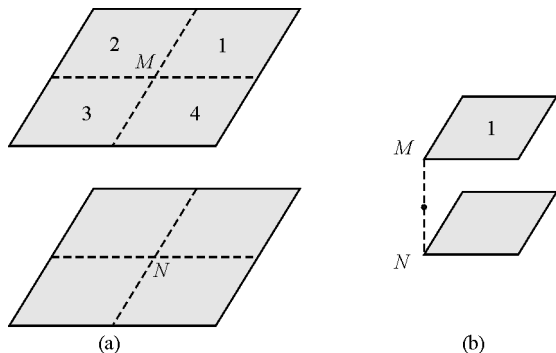


图 7 大、小电容器

由小正方形极板组成的电容器 2、3、4 中, 在上极板找一个点电荷, 则在该电容器正下方的下极板处能找一个电量相等、电性相反的点电荷. 由 $\varphi = k \frac{Q}{r}$ 结合电势叠加原理可知两点电荷在 M 、 N 中点处电势为零. 所以分开后 M 、 N 中点处电势 φ_1 大小不变. 所以选项 A 正确.

评析:本题采用几块相同的极板拼成一完整电

容器的方法,根据对称性和叠加原理,把求电容器边缘处某点的电场强度化为求电容器内部一点的电场.在由众多点电荷组成的电场中,任一点的电势等于每个点电荷单独存在时,在该点产生的电势代数和.

扩展 3:将该模型的带电体由“面”扩展到“体”,即把带电体与由绝缘棒扩展到带电体.再利用对称性原理、叠加原理解题.

【例 5】如图 8 所示^[3],正四面体 $ABCD$ 各面均为导体,但又彼此绝缘.已知带电后 4 个面的静电势分别为 φ_1 、 φ_2 、 φ_3 、 φ_4 ,求四面体中心 O 点的电势 φ_O .

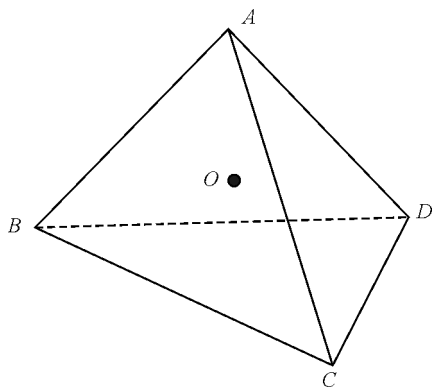


图 8 电带正四面体

解析:保持四面体不动,若正四面体每个面上的电荷按照表格方式调换,会得到表 1 所示的几种带电模式.

表 1 正四面体带电模式分布

4 个面的标号	I	II	III	IV
模式 1	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4
模式 2	φ_2	φ_3	φ_4	φ_1
模式 3	φ_3	φ_4	φ_1	φ_2
模式 4	φ_4	φ_1	φ_2	φ_3

如图 9 所示,4 个面上的电荷绕中心 O 转动,由于保持了相对位置不变,各种模式在中心 O 点的电势 φ_O 都相同.当 4 种模式叠加时,则 O 点电势应为 $4\varphi_O$,而 4 种模式叠加后,正四面体每个面的电势皆为

$$\varphi_{\text{面}} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4$$

这时正四面体的表面为等势面,它所包围的空间内外均无电荷,内部场强为零,正四面体为一个等势体,其内部任一点的电势均与表面电势相同,并且由

于外部空间无其他电荷,使得表面和内部的电势保持不变,即

$$4\varphi_O = \varphi_{\text{面}}$$

则有

$$4\varphi_O = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4$$

得

$$\varphi_O = \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4}{4}$$

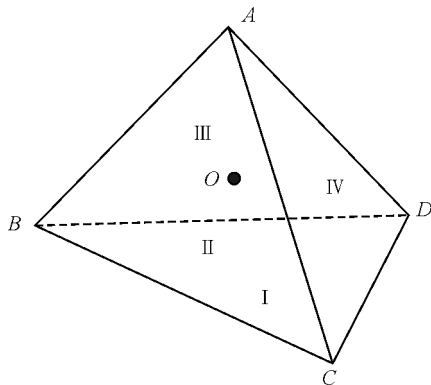


图 9 带电正四面体中心 O 点的电势

评析:利用对称性方法对模型进行简化,降低了思维难度,让空间几何关系更加具体化.本题通过建构模型、推理论证培养了学生科学思维、科学探究能力.

6 教学与备考建议

高考题主要对主干知识和关键能力进行考查,突出学科素养.大部分真题可以从教材、往年高考真题中溯源.高考试题具有科学性、创新性和权威性,因此,教师在教学中要潜心研究高考试题,让高考真题成为教师重点研究的题例,并从中获得指导性信息进行剖析、溯源、变式.尤其注意全国各地真题中情境新颖、富有创新性的试题,要对这类题进行改编和扩展.近年高考试题中对空间结构类模型考查较多,教师要引导学生从各个侧面对立体图形简化成平面图形,加深对模型的理解,结合物理知识培养学生的空间想象能力.

参考文献

- [1] 教育部考试中心. 中国高考评价体系(2017)[M]. 北京:人民教育出版社,2020:6.
- [2] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京:人民教育出版社,2018.
- [3] 范小辉. 新编高中物理奥赛指导[M]. 南京:南京师范大学出版社,2012.