



不等量异种点电荷电场的数字化研究

高嘉麟

(中山市龙山中学 广东 中山 528400)

(收稿日期:2022-01-13)

摘要:在高中物理课堂教学中,少有涉及不等量异种点电荷电场的讨论.本文通过数值计算方法,准确绘制出不等量异种点电荷电势和电场强度的分布图像,明确了两电荷连线上电势与场强大小和方向的变化规律,计算得到场强零点的位置.

关键词:不等量异种电荷;电势;电场强度;Mathematica

1 问题的提出

在高中物理中,有一道考查不等量异种点电荷电场的题目.

【例题】如图1(a)所示, Q_1 、 Q_2 为两个固定点电荷,其中 Q_1 带正电,它们连线的延长线上有 a 、 b 两点.一带正电的试探电荷以一定的初速度沿直线从 b 点开始经 a 点向远处运动,其速度-时间图像如图1(b)所示.则下列说法正确的是()

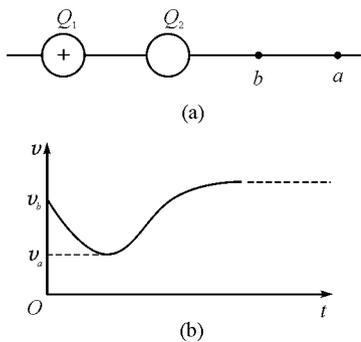


图1 例题题图

- A. 在 Q_1 、 Q_2 之间放置一个点电荷,该点电荷可能处于平衡状态
- B. 从 b 到 a 场强逐渐减小,且 a 点场强为零
- C. b 点右侧电势逐渐升高
- D. 在 Q_1 左侧的连线延长线上存在场强为零的点

分析:根据题目条件,不难判断出 Q_2 一定带负

电,且电荷量 $Q_1 > Q_2$.由点电荷电场线的特点之一——电场线从无限远出发,终止于负电荷,学生容易误认为存在一条电场线从无限远经 a 、 b 两点指向 Q_2 ,从而误选C.本题正确选项为B.在高中物理教科书中,给出了等量异种点电荷的电场线分布,但鲜有涉及不等量异种点电荷电场的性质,特别是两点电荷连线延长线上电势与电场强度的变化情况.于是,我们运用Mathematica软件,数值分析一对不等量异种点电荷的电势与电场强度在空间中的分布情况,直观了解其电场的特点.

2 不等量异种点电荷电势的空间分布

设空间中存在两个不等量异种电荷,电荷量分别为 Q_1 与 $-Q_2$,且 $Q_1 > Q_2 > 0$,它们相距2个单位长度.建立空间直角坐标系,正电荷 Q_1 坐标为 $(-1, 0, 0)$,负电荷 Q_2 坐标为 $(1, 0, 0)$.根据点电荷电势的计算公式,空间中一点 (x, y, z) 的电势可表示为

$$U = k \frac{Q_1}{\sqrt{(x+1)^2 + y^2 + z^2}} - k \frac{Q_2}{\sqrt{(x-1)^2 + y^2 + z^2}} \quad (1)$$

为方便运算,我们做无量纲化处理,取 $kQ_1 = 2$, $kQ_2 = 1$.首先研究两个点电荷连线上电势的分布,如图2所示.图3为连线上负电荷附近的 $U-x$ 图像,从图3可以看出,在负电荷右侧,电势先升高后降低.

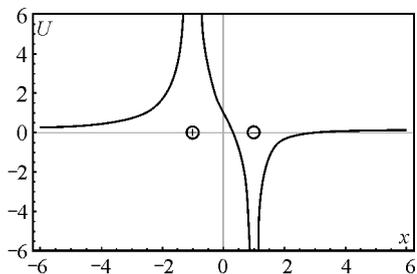


图 2 不等量异种点电荷连线上 $U-x$ 图像

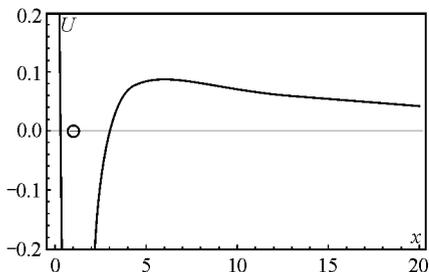


图 3 连线上负电荷附近的 $U-x$ 图像

进一步研究不等量异种点电荷在 xOy 平面内的等势线分布(图 8),以及在三维空间内的等势面形状(图 4).可以直观地看出,对应的零等势面是一个球面^[1-2],而 $U=0.3$ 的等势面则像一个“瘪了的球面”。

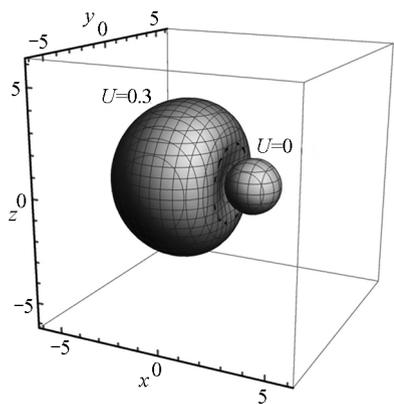


图 4 三维空间等势面分布图

3 不等量异种点电荷电场强度的空间分布

电场强度等于电势的负梯度,可以计算电场强度在空间直角坐标系的 3 个分量^[3]分别为

$$\begin{cases} E_x = -\frac{\partial U}{\partial x} \\ E_y = -\frac{\partial U}{\partial y} \\ E_z = -\frac{\partial U}{\partial z} \end{cases} \quad (2)$$

则电场强度的大小 $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$.取 $z=0$,研究电场强度大小在 xOy 平面内的分布情况,如图 5 所示.

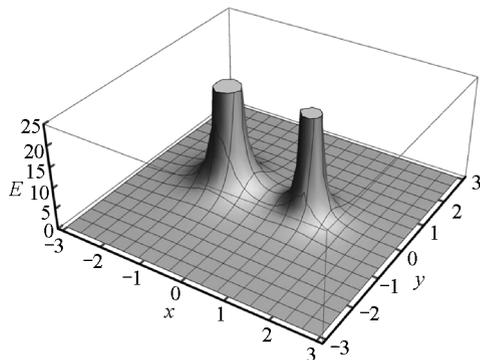


图 5 不等量异种点电荷电场强度大小分布图

由图 5 所知,越靠近点电荷,电场强度越大,不等量异种点电荷场强大小的分布如两座山峰.两个点电荷连线上场强大小的分布如图 6 和图 7 所示.在正电荷的左侧,不存在场强为零的位置.在负电荷右侧,场强逐渐减小到零,然后再增加后减小.通过数值计算,可以精确得到在 $x = 3 + 2\sqrt{2}$ 的位置场强为零.

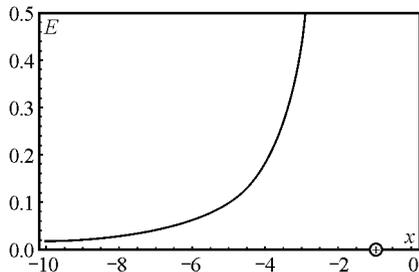


图 6 连线上正电荷左侧电场强度大小 $E-x$ 图像

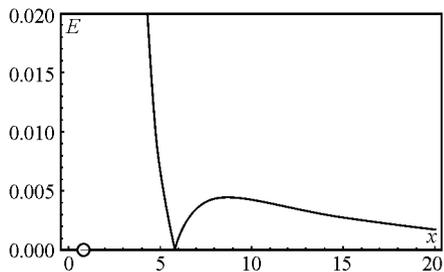


图 7 连线上负电荷右侧电场强度大小 $E-x$ 图像

把电场强度的矢量图叠加在等势线分布图上(图 8),可以看出电场线(图 9)的走向,每一点电场强度的方向都与等势线垂直.从正电荷出发的电场线,部分终止于负电荷,部分终止于无限远.在场强零点 $(3 + 2\sqrt{2}, 0)$ 左右两侧,场强的方向相反.

(下转第 157 页)

呈现和交流,以作品设计、模型制作、撰写报告等多样化的形式呈现结果;其次是重视活动成果的评价反馈,教师应当使用科学的评价机制和多样化的评价方法,自评互评相结合,发挥评价的诊断和激励功能,促进学生核心素养的发展.

3 结束语

综上所述,新课标以核心素养4个内涵为维度,对“跨学科实践”学业要求进行描述和划分,力求将跨学科实践作为新的育人手段,实现学生物理核心素养发展.教学中,教师应在团队合作的同时不断完善自身能力,通过10%的跨学科实践^[11],以主题为引领,以任务为驱动展开教学活动,结合生活、工程、社会等领域的问题,综合化学、生物等学科知识,在科学化的实践活动中,促进物理学科知识的学习和应用,达到发展学生物理核心素养的目的.

参考文献

- [1] 沈峰,黄网官.再谈物理观念及其培养[J].教育研究与评论(中学教育教学),2022(9):47-51.
 [2] 中华人民共和国教育部.义务教育物理课程标准(2022

- 年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022:36-37.
 [3] 魏晓东.物理核心素养中科学态度与责任的培养路径研究[J].天津师范大学学报(基础教育版),2022,23(6):62-66.
 [4] 冯爽.中学物理课程跨学科实践主题模型构建及实施路径[J].物理教师,2022,43(5):59-62,65.
 [5] 张丹.核心素养下的高中跨学科教学实践研究[J].基础教育论坛,2022(32):36-37.
 [6] 于海波,陈宗成.初中物理跨学科实践的深度理解与教学实践——《义务教育物理课程标准(2022年版)》研讨系列一[J].福建教育,2022(19):25-27.
 [7] 李佩宁.盒子吉他——STEM课程之探究琴弦的物理特性[J].基础教育参考,2018(17):31-32.
 [8] 任雪梅.跨学科融合开展中学物理实验教学[J].新智慧,2022(8):9-11.
 [9] 袁维新.科学的本质与科学本质教育[J].课程·教材·教法,2004(7):68-73.
 [10] 陈海涛.初中物理跨学科实践方案设计策略[J].物理教师,2022,43(11):45-48.
 [11] 中华人民共和国教育部.义务教育课程方案(2022年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022:11-12.

(上接第137页)

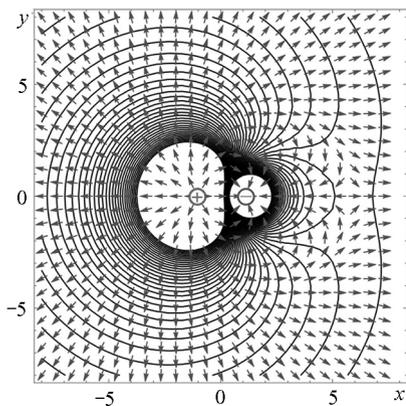


图8 xOy 平面内等势线分布及电场强度方向

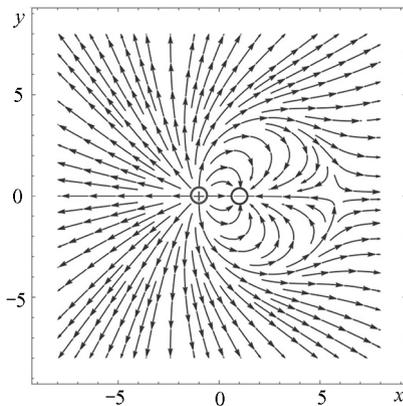


图9 xOy 平面内电场线分布

4 结束语

研究不等量异种点电荷的电场特点,特别是两点电荷连线上电势和电场强度的变化规律具有实际应用意义.通过 Mathematica 软件绘制 $U-x$ 图像、三维等势面图像、 $E-x$ 图像以及电场强度矢量图,可以直观清晰地了解其分布特点.通过数值计算,可以准确找到电场强度零点的位置.本文的研究方法

可以推广到其他模型的电场.这也凸显了科学计算工具在高中物理教学研究中的重要作用.

参考文献

- [1] 徐成华.不等量异种电荷的等势面[J].物理教师,2015(12):84-85.
 [2] 许冬保.两个不等量异种点电荷静电场的研究及其应用[J].物理教师,2021(11):91-93.
 [3] 江俊勤.基于 Mathematica 的数字化物理学[M].北京:科学出版社,2015.