



大学物理课程对学生科学思维能力的培养*

高佳利 彭荣荣 龚玲 王璠 孟睿英

(南昌工学院教育学院 江西南昌 330108)

(收稿日期:2022-01-18)

摘要:物理知识是物理科学思维能力的基石,知识转化为能力的前提是在教学中挖掘和外显知识蕴含的思维路径.不同物理知识能够提供的思维路径是不同的,发展的科学思维能力也是不同的.现对大学物理中静电场的电场强度和电势等重要知识的思维路径进行探析.

关键词:物理知识 科学思维 培养路径 静电场

大学物理课程是高等学校理工科各专业学生的一门重要的通识性必修基础课,在培养学生树立科学的世界观,增强学生分析问题和解决问题的能力,培养学生探索精神和创新意识等方面具有其他课程不能替代的重要作用,同时为学生进一步学习其他专业课程打下坚实的基础.但学生在学习中更多地关注结论,比如定理定律及其数学表达式,遇到题目直接套用公式,忽略了结论得到的过程中所经历的思维路径.而经历知识获得的过程才会对学习者的形成起到关键作用,才最具有迁移应用的素养发展价值.知识是培养能力的载体,但知识不等于能力,从知识转化成为能力需要在教学中将知识的思维路径教给学生.

在面对复杂陌生的情境时,学生会沿着学科特定角度去科学地分析解释,能符合逻辑地进行推理判断,能提出解决问题的有效策略,也就是学生具有了科学的程序性经验和图式,而程序性经验和图式就是思维路径^[1].下面对大学物理中静电场的电场强度和电势等重要知识的思维路径进行探析.

1 循序渐进 培养科学思维

3种情况下场强 E 的求解,首先是点电荷的电

场,方法是运用库仑定律推导得到的电场的决定式 E (见表1),其中 Q 为场源电荷(点电荷)的电荷量,所以,单个的点电荷都可以用此公式求解.

其次是点电荷系(多个点电荷组成的系统)的电场,思维角度是已掌握运用公式将系统中每一个点电荷产生的电场 E_i 表示出来,未掌握的是多个电场求和,调用已学过的物理和数学知识,在已掌握和未掌握之间搭建桥梁求出点电荷系的电场,会想到电场是矢量,非常熟悉的力也是矢量,力求和运用的是数学的三角形法则或平行四边形法则,这样很自然会想到电场这一矢量求和也可运用三角形法则或平行四边形法则,从而点电荷系的电场得以求解.

最后是连续均匀带电体的电场,比如连续带电细线,思维角度是已掌握一个点电荷和多个点电荷产生的电场,未掌握连续带电体的电场,如果能将连续带电体变成一个点电荷或多个点电荷即可求解,那是否有方法可以将连续带电体变成点电荷呢,调用已学过的物理和数学知识,想到数学中的微分,将连续带电线 l 无限细分得 dl ,每一个 dl 所带的电荷量为 dq ,每一个 dq 可看成点电荷,连续带电线可看成无数个点电荷,未掌握的变成已掌握的,即可求

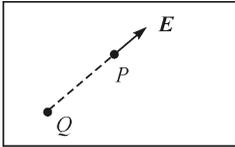
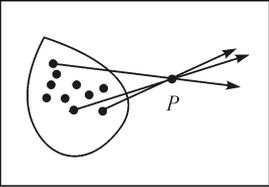
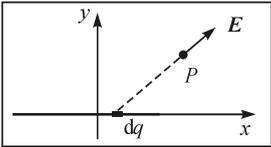
* 南昌工学院人文社科项目“大学生科学解释能力的现状及提升途径研究——以静电学为例”,项目编号:NGRW-21-15;江西省高校人文社会科学研究青年项目“协同育人视角下地方民办高校大学生创新素质提升研究”的研究成果,项目编号:JY21242;南昌工学院一流本科建设教学成果奖培育项目,项目编号:CGJ-PY-004

作者简介:高佳利(1993-),女,硕士,讲师,研究方向为大学物理教学.

解,每一个 dq 产生的电场称为元电场 dE ,无数个元电场 dE 求和,在数学知识中称为积分,有了连续带电线的学习,很容易迁移到连续带电面和连续带电体,也

是同样先微分后积分的思维角度.将高中所学静电场知识结合数学矢量和微积分相关知识,从而掌握大学物理静电场知识.具体求解方法如表1所示.

表1 3种情况下电场强度的求解方法

电场强度的3种情况	求解方法
<p style="text-align: center;">点电荷的电场</p>  <p style="text-align: center;">图1 点电荷的电场</p>	<p>库仑定律:真空中两个静止点电荷的相互作用力跟它们带电荷量的乘积成正比,跟它们间距离的平方成反比.</p> <p>数学表达式: $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2} r_0$</p> <p>定义电场为 $E = \frac{F}{q}$</p> <p>即点电荷在 P 点产生的场强</p> $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} r_0$
<p style="text-align: center;">点电荷系的电场(多个点电荷)</p>  <p style="text-align: center;">图2 点电荷系的电场</p>	<p>电场叠加原理</p> <p>根据公式, $E_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} r_0$</p> $E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^2} r_{i0}$ <p>(三角形法则,平行四边形法则)</p>
<p style="text-align: center;">连续带电体的电场</p>  <p style="text-align: center;">图3 连续带电体的电场</p>	<p>电荷元 dq 在场点 P 产生的场强 $dE = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} r_0$</p> <p>(1) 电荷连续线分布, $dq = \lambda dl$, λ 表示电荷线密度.</p> <p>(2) 电荷连续面分布, $dq = \sigma dS$, σ 表示电荷面密度.</p> <p>(3) 电荷连续体分布, $dq = \rho dV$, ρ 表示电荷体密度.</p> <p>连续带电体在 P 点的总场强</p> $E = \int dE = \begin{cases} \int_l \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} r_0 \\ \int_s \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} r_0 \\ \int_v \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} r_0 \end{cases}$

3种不同情况下电场强度的求解方法,是循序渐进、逐层深入的,在讲解过程中向学生展示的思维路径是明确已掌握和未掌握,想办法运用已学知识从已掌握到未掌握搭建桥梁,找到解决问题的方法.讲解点电荷的场强这一基本知识后,纵向迁移,在点电荷系的场强教学中挖掘和外显知识蕴含的思维路径,用语言着重强调,用问题启发思考,引导学生理解从不会到会的思维路径,理解后给出连续带电线

求场强的问题,让其尝试运用刚学习的思维路径解决问题,学生完成后帮助修正完善,再让其独立完成连续带电面和连续带电体的场强求解.

电场的叠加原理运用的数学知识是矢量叠加的三角形法则或平行四边形法则,连续带电体求场强运用的数学知识是微积分,经过两轮外显化教学,学生遇到类似问题很自然会想到用数学知识作为工具解决物理问题的思维路径.

2 类比推理 启发科学思维

3种情况下电场强度的求解方法中,点电荷是点电荷系的基础,点电荷系又是连续带电体的基础,3种情况纵向延伸.学会后,3种情况下电势的求解方法既可以纵向类比(从点电荷的电场到点电荷系的电场到连续带电体的电场,类比到从点电荷的电

势到点电荷系的电势到连续带电体的电势),又可以横向类比(点电荷的电场类比到点电荷的电势,点电荷系的电场类比到点电荷系的电势,连续带电体的电场类比到连续带电体的电势).在运用类比这一思维路径时要注意类比的各个物理量之间的区别与联系.

3种情况下电势的求解方法如表2所示.

表2 3种情况下电势的求解方法

场强求解	电势求解	区别
1. 点电荷的电场强度 (方法:用公式)	1. 点电荷的电势 思维路径:类比点电荷的电场强度. 经过推导得到电势 $U_p = \int_p^{\infty} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$ 经计算得到点电荷电势 $U_p = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$	场强是矢量,电势是标量
2. 点电荷系的电场强度 (方法:点电荷场强公式和场强叠加原理)	2. 点电荷系的电势 思维路径:类比点电荷系的电场,根据点电荷的电势公式得 $U_i = \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i}$ 根据电势叠加原理得 $U = \sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i}$	
3. 连续带电体的电场强度 [方法:点电荷场强公式变形和场强叠加原理(微积分思想)]	3. 连续带电体的电势 思维路径:类比连续带电体的电场强度 电荷元 dq 在场点 P 产生的电势 $dU = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r}$ (1) 电荷连续线分布, $dq = \lambda dl$, λ 表示电荷线密度. (2) 电荷连续面分布, $dq = \sigma dS$, σ 表示电荷面密度. (3) 电荷连续体分布, $dq = \rho dV$, ρ 表示电荷体密度. 连续带电体在 P 点的总电势 $U = \int dU = \begin{cases} \int_l \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r} \\ \int_S \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r} \\ \int_V \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r} \end{cases}$	场强叠加原理用到的是矢量叠加(三角形法则或平行四边形法则),电势叠加原理是标量叠加(代数和相加)

3 学以致用 活跃科学思维

学科知识是学科能力和素养的基础,知识是否转化成为学科能力素养,其表现是学生通过学科学习逐渐建立起了学科特定的思维角度和思维路径.典型例题的练习能够检验学生的思维路径存在的不足

并促进学生思维路径的发展.电场强度和电势是描述静电场的两个基本物理量,掌握这两个量的计算尤为重要.

【例1】如图4所示,求均匀带电球面的场强分布和电势分布,设球面半径为 R ,带电荷量为 $+q$.

解:运用静电场的高斯定理求得

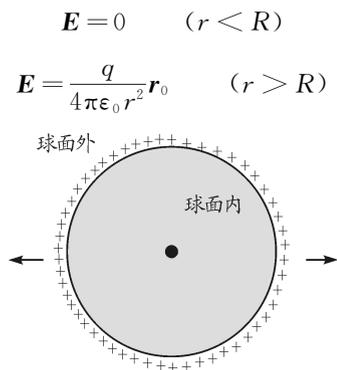


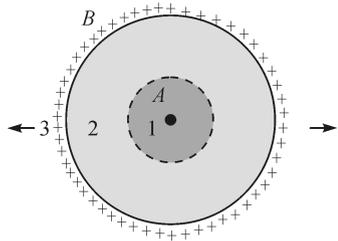
图4 均匀带电球面

运用电势的定义求得

$$U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (r < R)$$

$$U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (r > R)$$

【例2】如图5所示,两个同心的均匀带电球面,内外半径分别为 R_A 和 R_B ,分别带有电荷量 $+q_A$ 和 $+q_B$.求:该带电体系的场强分布和电势分布.



1, 2, 3为两个球面分成的3个区域

图5 均匀带电同心球面

解:场强叠加原理

$$E_1 = 0$$

$$E_2 = \frac{q_A}{4\pi\epsilon_0 r^2} r_0$$

$$E_3 = \frac{q_A + q_B}{4\pi\epsilon_0 r^2} r_0$$

电势叠加原理

$$U_1 = \frac{q_A}{4\pi\epsilon_0 R_A} + \frac{q_B}{4\pi\epsilon_0 R_B}$$

$$U_2 = \frac{q_A}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{q_B}{4\pi\epsilon_0 R_B}$$

$$U_3 = \frac{q_A}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{q_B}{4\pi\epsilon_0 r}$$

例1是求一个球面内外的电场强度和电势,通过高斯定理求出答案后,分析答案可得对于均匀带电球面,面内没有电场,电场强度为零,面外电场强度等效为球面电荷全都集中在球心处产生的场强,

方向沿径向向外.例2是求两个同心球面的场强和电势,两个球面把空间分为3部分1,2和3,3个部分和两个球面的关系为:1在球面A内部B内部;2在球面A外部B内部;3在球面A外部B外部,由此只要分别表示出球面A内外电场和球面B内外电场,再利用场强叠加原理,即可求解出3部分的场强分布,由于场强是矢量,要表示出其方向,均沿径向向外.

有了例2中电场求解过程,分析答案的意义并二次运用的思维路径,在碰到例2中电势求解时,会想到可以分析例1中得到的电势的结论,对于均匀带电球面,面内及面上电势为一个定值,与面自身半径及所带电荷量有关,面外电势大小等效为球面电荷全都集中在球心处产生的电势.同理可得,只要分别表示出球面A内外电势和球面B内外电势,再利用电势叠加原理,就能求解出3部分的电势,由于电势是标量,求代数即可.有了这种思维,也可以将例2中“分别带有电荷量 $+q_A$ 和 $+q_B$ ”改为“分别带有电荷量 $+q_A$ 和 $-q_B$ ”或“分别带有电荷量 $-q_A$ 和 $+q_B$ ”,再让学生求解,达到巩固加深的目的.

4 结束语

通过在大学物理中静电场的电场强度和电势等知识教学中挖掘和外显知识蕴含的思维路径,可以发现不同物理知识得到的过程中反映出来的思维路径是不同的.在3种情况求电场强度中挖掘的思维路径是运用数学知识作为工具来解决物理问题;在3种情况求电势中挖掘的思维路径是横向类比和纵向类比;在相似练习题的练习中挖掘的思维路径是从某些题目求解得到的答案中分析答案的意义并二次运用.知识转化为能力的前提,是教师在教学中要充分挖掘不同知识中蕴含的思维路径并外显地教给学生,充分发挥学科知识的生产生活应用价值和促进学生认识和智慧发展的功能价值,以满足大学物理培养学生科学素养的教学要求.

参考文献

- 李鹏鸽,窦信心,王祺胜,等.中学化学知识的思维角度和思维路径探析[J].教学与管理,2021(27):99~102

Cultivation of Students' Scientific Thinking Ability in University Physics Course

Gao Jiali Peng Rongrong Gong Ling Wang Fan Meng Ruiying

(School of Education, Nanchang Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi 330108)

Abstract: Physical knowledge is the cornerstone of physical scientific thinking ability. The premise of transforming knowledge into ability is to excavate and reveal the thinking path contained in knowledge in teaching. Different physical knowledge can provide different thinking paths, so the development of scientific thinking ability is also different. This paper probes into the thinking path of important knowledge such as electric field intensity and potential of electrostatic field in college physics.

Key words: physical knowledge; scientific thinking; training path; electrostatic field

(上接第 134 页)

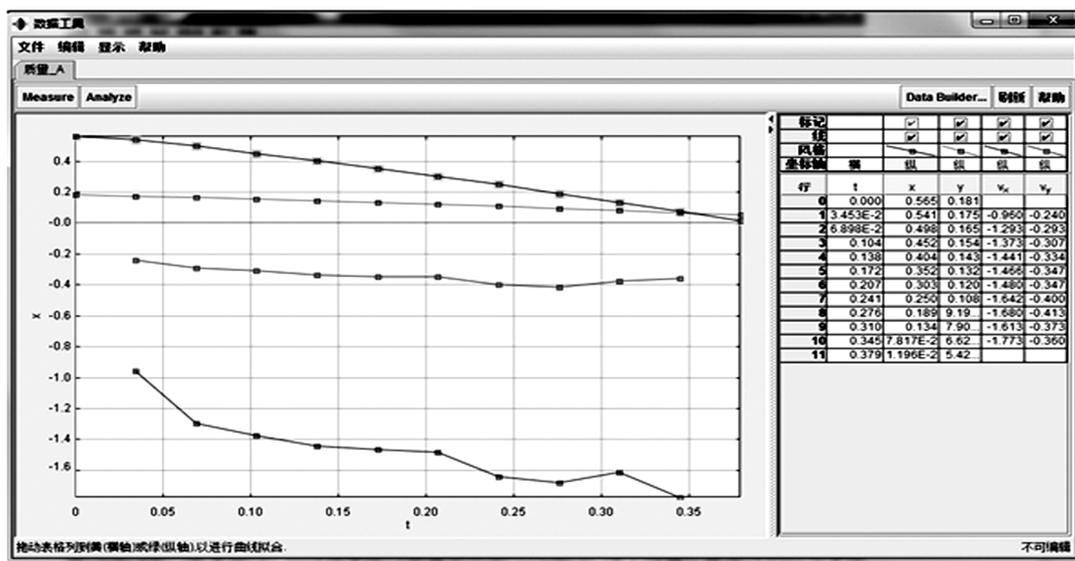


图 19 加 50 g 砝码瓶盖分析界面

(2) 动摩擦因数与宏观接触面积无关, 应该与微观接触面积相关. 相同材料, 压力较大时, 摩擦力近似与正压力成正比, 动摩擦因数趋于稳定.

(3) 本实验用的是朗威 DIS 力传感器, 它的原理是将应变片受力后微弱形变引发的电势差转化为数字信号. 同样的接触面, 正压力越小时, 摩擦力也越小, 形变与电势差的测量误差可能越大.

(4) 进行与滑动摩擦力相关的实验时, 选取的

物体初始质量应稍大一些, 动摩擦因数误差可能会小些, 实验效果更好些.

参考文献

- 1 陈新光, 陈炜烜. 一种探究滑动摩擦力影响因素的创新装置[J]. 物理教学, 2019(3): 39 ~ 41
- 2 胡学永. 聚合物粉体动摩擦因数的影响实验研究[J]. 中国塑料, 2019(17): 210 ~ 211
- 3 李复. 力学教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011. 70 ~ 71