

类比法结合图形记忆法助力电磁学例题中的教与学*

莫云飞 王胜杰 孙利平 彭胡萍 谭志光 曾可 郭有能 刘亮 卢一兵

(长沙学院电子信息与电气工程学院 湖南长沙 410022)

(收稿日期:2022-06-29)

摘要:针对普通工科院校中《大学物理》的教学重点通常为电磁学的事实,结合普通一本高校的工科专业与笔者的授课经历,提出了将类比法结合图形记忆法引入电磁学教学中的若干实例和思考.以讲解电学和磁学的相关习题为例,对两个章节的相似习题进行整理并以图像模式展示,从而在讲解过程中,对相似知识点进行类比讲解.实践教学表明,类比法结合图形记忆法不仅能帮助学生建立新旧知识间的关联性,加深其对知识点的理解、迁移和巩固,而且有助于培养学生一种有益的学习方法,从而拓展学生的发散思维、激发其热爱物理的兴趣,最终快速有效地提高教师的课堂教学效率和质量,提高学生的平时成绩和期末成绩.

关键词:类比法 图形记忆法 电磁学

1 引言

作为自然科学的基础课程,各个高校都将大学物理作为理工科专业的必修课^[1].大学物理涉及物理学的基本概念、理念和方法是构成学生科学素养的重要组成部分,也是高新技术理论的重要基础.通过对该课程的学习,可以培养学生的科学世界观,增强学生分析问题和解决问题的能力,提高学生的探索和创新精神.

电磁学是物理学中一门具有魅力的分支学科,是大学物理课程中的重要内容之一.电磁学涉及许多抽象的概念、公式和定理,初学者很难理解和记忆.此外,学生必须在掌握矢量分析和微积分方程的基础上才能正确地分析电磁现象^[2,3],这些困难给低年级学生造成了巨大的学习阻碍.为了辅助教学和减轻学生的负担,笔者在教学方法上总结了电磁学的规律,分析如下:

电磁学主要讲授电场与磁场,由于电场与磁场的知识点具有对称性和相似性的特点,因此通过分析,我们发现电场与磁场的内容在理论概念、物理公

式和解题方法上都有着相同的规律.因此,教学中或学习中恰当地引入类比法^[4~6],对涉及的物理概念、公式和解题方法等方面进行类比,可以建立起知识间的相互联系,帮助学生加深知识点的理解和迁移,促进学生的发散学习思维且有利于学生从被动学习提升到主动学习,从而对教师的教学效果和学生的学习质量都有极大的提高.

图形记忆法就是将碎片的知识点进行归纳和总结后通过图形整合在一起^[7].笔者在讲解电磁学相关例题过程中,将电场和磁场相类似的例题进行修剪合并,通过图形的形式展示出来,收获了相对于单纯讲授概念更好的效果.学生可以通过图形找到概念或知识点之间的关联性,从而构建知识框架图或知识网,这样比单纯背诵概念和定理更能轻松地理解和记忆.

本文正是基于以上考虑,运用类比法结合图形记忆法,以电磁学常见的例题为教学模型,将电磁学课程中有关静电场和稳恒磁场教学例题进行具体类比、分析与探讨,为电磁学课程教学提供一些参考.

* 改革实践项目“课程思政在大学物理教学中的顶层设计与实施”,项目编号:HNKCSZ-2020-0607;湖南省教改重点项目“新工科背景下基于计算思维的应用型本科院校大学物理改革与探索”,项目编号:HNJG-2021-0211;湖南省普通高等学校教学改革研究“基于精准教学的线上线下混合式教学模式探索与实践”,项目编号:HNJG-2022-1124

作者简介:莫云飞(1985-),男,博士,主要从事大学物理教学和凝聚态物理研究.

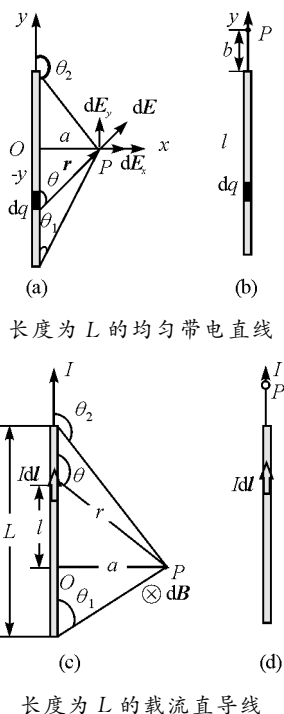
通讯作者:王胜杰(1991-),男,博士,主要从事大学物理教学和凝聚态物理研究.

2 运用类比法结合图形记忆法对常见例题的讲解或学习

在学习电场和磁场中的各种性质时,都可以通过类比法+图形记忆方法来进一步理解和记忆. 本文列举了3个示例,分别为长直带电直线与长直载流直导线、均匀带电圆环与通电圆环、高斯定理与安培环路定理.

2.1 第一种模型

长度为 L 的均匀带电直线和载流直导线在周围空间分别激发电场和磁场的分布情况,如图1所示.



长度为 L 的均匀带电直线

长度为 L 的载流直导线

图1 长度为 L 的均匀带电直线和载流直导线

如图1(a)和(b),在长度为 L 的均匀带电直线垂直方向和延长方向上,求解电场分布情况;图1(c)和(d),在长度为 L 的载流直导线垂直方向和延长方向上,求解磁场分布情况.求解过程都是在垂直方向的空间任意取一点 P ,然后将 P 分别往带电直线和载流直导线做投影,获得投影点 O ,以 O 点为坐标原点建立坐标系,并在带电直线和载流直导线上分别取电荷元 dq 和电流元 Idl .

在电场模型图1(a)中,假设均匀分布正电荷,首先计算电荷元 dq 激发的电场

$$d\mathbf{E} = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \mathbf{e}_r \quad dq = \lambda dy \quad (1)$$

求得在垂直和平行带电直线方向的电场分量分别为

$$\begin{cases} dE_x = \frac{\lambda dy}{4\pi\epsilon_0 r^2} \sin \theta \\ dE_y = \frac{\lambda dy}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \theta \end{cases} \quad (2)$$

接着利用几何关系

$$\begin{aligned} -y &= a \cot \theta \rightarrow dy = a \csc^2 \theta d\theta \\ r^2 &= a^2 + (-y)^2 = a^2 \csc^2 \theta \end{aligned} \quad (3)$$

代入式(2)整理并从 θ_1 积分到 θ_2 ,之后求得

$$\begin{cases} E_x = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \\ E_y = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a} (\sin \theta_2 - \sin \theta_1) \end{cases} \quad (4)$$

最后对式(4)做极限假设,当 $\theta_1 \approx 0, \theta_2 \approx \pi$;则

$$\begin{cases} E_y = 0 \\ E_x = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a} \end{cases} \quad (5)$$

图1(b)求延长线上一点 P 的电场

$$\mathbf{E} = \int_b^{b+l} \frac{\lambda dy}{4\pi\epsilon_0 y^2} \mathbf{j} = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 b(b+l)} \mathbf{j} \quad (6)$$

同理对式(6)做极限讨论,当 $b \gg l, E \approx \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 b^2}$,对应着点电荷激发场强的公式.

在磁场模型图1(c)中,首先利用电流元 Idl 激发磁场公式

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 Idl \times \mathbf{e}_r}{4\pi r^2} \quad (7)$$

求得 P 点磁感应强度,通过右手螺旋法则 $Idl \times \mathbf{e}_r$ 判断 P 点磁感应强度方向为垂直平面向里,由于载流导线上每个电流元在 P 点产生的磁感应强度方向都是垂直平面向里,因此 P 点总磁感应强度大小

$$B_P = \int_L dB = \int_L \frac{\mu_0 Idl \sin \theta}{4\pi r^2} \quad (8)$$

将几何关系

$$r = \frac{a}{\sin(\pi - \theta)} = \frac{a}{\sin \theta}$$

$$l = a \cot(\pi - \theta) = -a \cot \theta \rightarrow dl = a \csc^2 \theta d\theta$$

代入式(8)并从 θ_1 积分到 θ_2 ,整理结果如下

$$B_P = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (9)$$

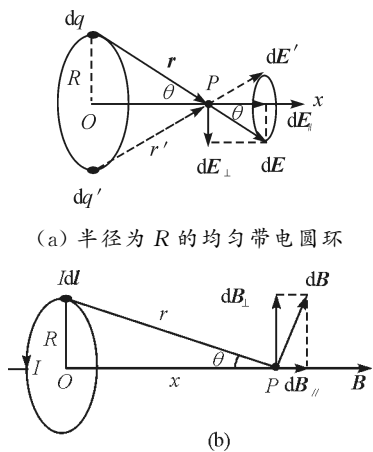
当 P 点无限向载流直导线靠拢或载流直导线无限长时, $\theta_1 \approx 0, \theta_2 \approx \pi$,则

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (10)$$

图 1 (d) 表示当导线有限长, 在延长线上一点 P , 其磁感应强度一定等于零, 因为奥斯特实验表明电流磁效应在垂直载流直导线方向最强, 延长线上 $B=0$.

2.2 第二种模型

求解均匀带电圆环和通电圆环分别在中心轴上激发的电场和磁场分布情况, 如图 2 所示.



(a) 半径为 R 的均匀带电圆环

(b) 半径为 R 的通电圆环

图 2 均匀带电圆环和通电圆环

求解方法都是在中心轴上固定一点 P , 并从电荷元或电流元做指向 P 点的位矢 r . 假设 $OP=x$ 为常数, 则位矢 r 与中心轴形成的夹角 θ 是固定的, 先求出 E_P 和 B_P 是关于 x 的函数, 然后讨论场强和磁感应强度随 x 的变化规律. 其过程如下:

分别将带电圆环和通电圆环无限均匀分割成等量的正电荷元 dq 和电流元 $I dl$, 以 O 点为对称点, 在圆环上取等量的电荷元 dq 和 dq' 与等量的电流元 $I dl$ 和 $I dl'$.

针对带电圆环, 电荷元 dq 和 dq' 在 P 点分别激发的电场 dE 和 dE' 关于 x 轴对称, 在垂直于 x 轴方向相互抵消, $E_{\perp} = \int dE_{\perp} = 0$, 只剩平行于 x 轴方向的分量, 因此

$$E = E_{//} = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \theta = \quad (11)$$

$$\int_0^{2\pi R} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \frac{q dl}{2\pi R} \cdot \frac{x}{r} = \quad (12)$$

$$\frac{qx}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (13)$$

$$E = \frac{qx}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (14)$$

接着对 x 的取值进行讨论, 当 $x=0$ 时, 即环心处 $E=0$; 当 $x \gg R$ 时

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$$

令 $\frac{dE}{dx} = 0$, 解得 $x = \pm \frac{R}{\sqrt{2}}$ 处, E 有极大值.

通过右手螺旋法则 $I dl \times e_r$ 可以判断通电圆环上的对称电流元 $I dl$ 和 $I dl'$ 激发的磁场 dB 和 dB' 也是关于 x 轴对称, 在垂直于 x 轴方向相互抵消 $B_{\perp} = \int dB_{\perp} = 0$, 只剩平行于 x 轴方向的分量, 因此

$$B = \int_L dB \cdot \sin \theta = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_L \frac{I dl}{r^2} \sin \theta = \quad (15)$$

$$\frac{\mu_0 I \sin \theta}{4\pi r^2} \int_0^{2\pi R} dl = \quad (16)$$

$$\frac{\mu_0 I \sin \theta}{4\pi r^2} 2\pi R \quad (17)$$

$$\text{令: } S = \pi R^2, \sin \theta = \frac{R}{r} = \frac{R}{(R^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (18)$$

$$B = \frac{\mu_0 IR^2}{2(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{IS}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (19)$$

接着对 x 的取值进行讨论, 当 $x=0$ 时, 即环心处 $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$; 当场点远离线圈时, $x \gg R, x \approx r$ 时

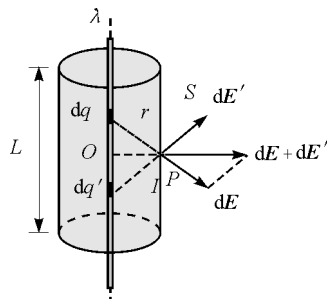
$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{IS}{r^3}$$

引入载流线圈的磁矩 $P_m = ISn$, 则

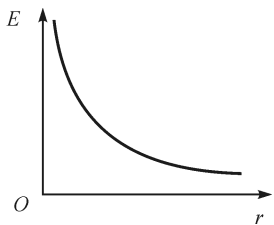
$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{P_m}{r^3}$$

2.3 第三种模型

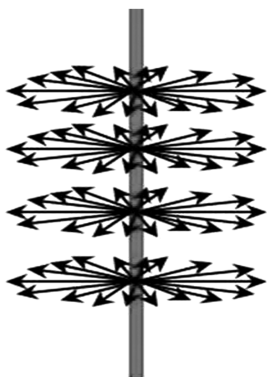
运用高斯定理求解电场的分布和运用安培环路定理求解磁场的分布, 如图 3 所示.



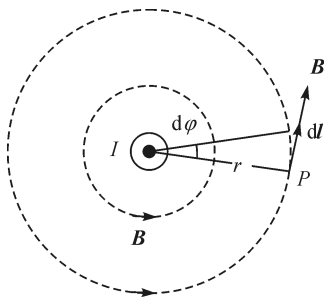
(a) 无限长均匀带电直线



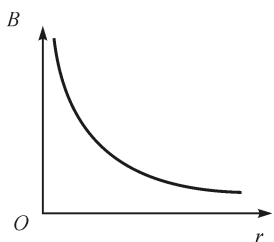
(b) 无限长均匀带电直线周围电场分布的函数关系



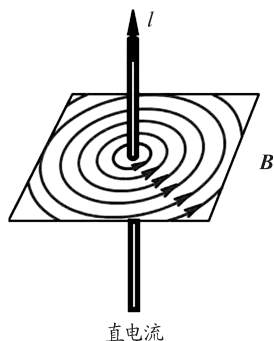
(c) 无限长均匀带电直线的电场线分布特征



(d) 垂直平面向外的无限长直线电流



(e) 无限长直线电流周围磁场分布的函数关系



直电流

(f) 无限长直线电流的磁场线分布特征

图 3 无限长均匀带电直线和无限长直线电流

电场中的高斯定理和磁场中的安培环路定理分别求解空间电场和空间磁场的分布. 如图 3(a) ~ (c) 表示运用高斯定理求无限长均匀带电直线在周围空间激发电场的分布情况, 图 3(d) ~ (f) 表示运用安培环路定理求无限长载流直导线在周围空间激发磁场的分布情况. 求解思路如下:

假设图 3(a) 为均匀分布着正电荷的无限长直线且电荷密度为 λ , 在空间中任意确定一点 P , 将 P 点往带电直线做投影并获得投影点为 O 点. 以 O 点为原点, 对称的取两个电荷元 dq 和 dq' , 这对电荷元在 P 点激发电场关于 OP 轴对称, 在垂直 OP 轴方向相互抵消, 只剩下平行 OP 轴方向分量, 因此无限长带电直线可以分解成无数对关于 O 点对称的电荷元, 每一对电荷元在 P 点激发电场求矢量和都是平行 OP 轴且垂直带电直线.

接着做一个闭合的高斯圆柱曲面, 此圆柱面的上底和下底以 $OP=r$ 为半径, 高度为 L , 直接运用高斯定理求解.

高斯定理的左边

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \int_{\text{上底}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} + \int_{\text{下底}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} + \int_{\text{侧面}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} \quad (20)$$

由于上底面和下底面的外法向 \mathbf{n} 都与电场 \mathbf{E} 方向垂直, 因此, $\int_{\text{上底}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = 0$ 和 $\int_{\text{下底}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = 0$; 而侧面的外法向 \mathbf{n} 与电场 \mathbf{E} 方向平行, 且侧面上任意一点的电场强度大小相等, 因此

$$\begin{aligned} \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} &= \int_{\text{侧面}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \\ E \int_{\text{侧面}} dS &= E \cdot 2\pi r \cdot L \end{aligned} \quad (21)$$

高斯定理的右边等于曲面内所包含所有电荷代数和的 $\frac{1}{\epsilon_0}$ 倍

$$\frac{\sum q_{\text{内}}}{\epsilon_0} = \frac{\lambda L}{\epsilon_0} \quad (22)$$

$$E \cdot 2\pi r L = \frac{\lambda L}{\epsilon_0} \quad (23)$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (24)$$

当电荷和电流的分布具有对称性时, 可以运用

可以看出无限长均匀带电直线在周围空间激发的电场是非均匀电场,场强与距离成反比[如图3(b)],电场方向垂直带电直线向外(正电荷)或垂直指向带电直线(负电荷)[如图3(c)].

图3(d)为垂直平面向外的无限长载流直导线,在垂直载流直导线的平面内任意找一点 P ,以 $OP=r$ 为半径画同心圆,则圆上任意一点都完全等价,磁感应强度 B 的大小相等,方向与电流方向满足右手螺旋法则且都是圆的切向方向.以 P 点为起点,在圆上取一线元 $d\mathbf{l}$,当 $d\mathbf{l}$ 的大小趋向于零时, $d\mathbf{l}$ 的方向也是圆的切向方向,因此根据安培环路定理,也可以将磁感应强度 B 以标量形式提取到积分符号之前.

安培环路定理左边

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B \cdot \oint_L dl = B \cdot 2\pi r \quad (25)$$

安培环路定理右边等于环路所包含电流代数和的 μ_0 倍,因此

$$\mu_0 \sum_i I_i = \mu_0 I \quad (26)$$

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (27)$$

可以看出无限长载流直导线在周围空间激发的磁场是非均匀磁场,磁感应强度与距离成反比[如图3(e)];磁感应强度方向沿磁场线的切向方向,而磁场线的绕行方向与电流方向满足右手螺旋法则[如图3(f)].

同理,针对任意曲面在任意电场中的电场强度通量与任意曲面在任意磁场中的磁场强度通量、无限大带电平面在周围空间激发电场分布与无限大通电平面在周围空间激发磁场分布等模型也采用类比法结合图形记忆法进行讲解和学习,预期将会起到事半功倍的效果.

3 结束语

类比法结合图形记忆法是一种非常重要的思维方式,针对《电磁学》中深奥难懂的例题,抓住电场

与磁场在定理描述、概念理解及解题方法等相似点,运用图形记忆法整合零碎的知识点并以图形展示,最后运用类比法进行讲解或学习,此时教学或学习也能做到有迹可循.讲解或学习陌生的相关磁场例题时,将其与已经熟悉的相关电场例题联系起来,能够引导学生在已有知识的基础上感受新知识的魅力,这不仅能使学生迅速地理解磁场相关的知识点,还能进一步巩固电场相关的定理和概念.教师运用类比法结合图形记忆法将会发现教学效率极大的提高,教学过程中通过不断地归纳总结,获得教学工作中事半功倍的成就感.

通过类比法结合图形记忆法,在本校2021级通信专业的教学中,笔者明显感觉到这届学生比往届学生的学习态度和积极性都有很大改变.往届学生基本为了应对考试而被动学习,而这届学生开始会在课堂主动提问,课后也会到图书馆查阅相关资料帮助自己对知识的理解,旷课现象减少很多,作业抄袭现象也明显降低到5%左右,平时的平均成绩从68分左右提高到88分,及格通过率已提升到82%,充分说明了类比法结合图形记忆法在教学中的关键作用.

参考文献

- 1 孙丰伟,高峰,曹学成. 类比法在在大学物理教学中的应用探讨[J]. 课程教学,2020(6):121~123
- 2 赵近芳,王登龙. 大学物理简明教程(第4版)[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2021.154~231
- 3 张宪贵,康艳霜,王云明,等. 类比法在电磁学教学中的应用研究[J]. 河北农业大学学报,2015,17(3):100~119
- 4 汤维亚. 类比法在电磁学教学中的应用研究[J]. 高等学刊,2017(2):96~97
- 5 温耐,王伟峰. 类比法在电磁学教学中的运用[J]. 物理通报,2013(6):11~12
- 6 周国全,用类比法推导爱因斯坦速度叠加公式[J]. 大学物理,2019,38(2):25~27
- 7 李强. 浅谈图形教学的教学模式[J]. 数学研究,2018(12):178

职前教师物理语言教学现状的调查及改进建议

张敏玥

(上海市梅陇中学 上海 200333)

刘虹

(上海市延安初级中学 上海 200050)

段坤坤

(广东省深圳科学高中 广东 深圳 518100)

柴志方

(华东师范大学物理与电子科学学院 上海 200241)

(收稿日期:2022-05-05)

摘要:在物理语言教学分析框架的基础上,设计了问卷与访谈提纲,调查了上海市师范院校 C 中学物理职前教师的物理语言教学现状.研究发现,职前教师物理语言教学的整体情况一般,不同性别的群体差异性较大,院校提供的帮助较少、学生学习与使用物理语言困难的现状与“以考试为导向”的环境牵制了职前教师的物理语言教学能力的发挥与提高.据此,提出了若干改进物理语言教学的建议.

关键词:物理语言 职前教师 物理教学 现状研究

1 研究背景

语言是科学教育重要的研究领域,对物理语言

的研究隶属于科学语言研究范畴.目前,国内没有权威文件指明“物理语言”的内涵,笔者沿用并改编了“学校科学语言”的定义^[1],将其界定为“为了学习

Analogy Method Combined with Graphic Memory Method to Help Teaching and Learning in Examples of Electromagnetics

Mo Yunfei Wang Shengjie Sun Liping Peng Huping

Tan Zhiguang Zeng Ke Guo Youneng Liu Liang Lu Yibing

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Changsha University, Changsha, Hunan 410022)

Abstract:In view of the fact that the teaching focus of college physics in general engineering colleges is usually electromagnetism, the analogy method combined with graphic memory method are introduced into electromagnetism teaching which has been based on the engineering majors in colleges and my teaching experience. Taking the exercises related into electricity and magnetism as examples respectively, the similar exercises of the two chapters are sorted out and displayed by image mode, then whose similar knowledge points can be explained by analogy method during the process of teaching. It was indicated in practice that the analogy method combined with the graphics memory not only can help students to establish the correlation between the old and new knowledge, promote their understanding of knowledge points, but also help students to develop a useful way of learning method, enhance their divergent thinking and inspire their love interest in physics. For teachers, the efficiency and quality of classroom teaching can be improved quickly, meanwhile for students, it can improve their usual grades and final grades.

Key words: analogy method; graphic memory method; electromagnetism