

电磁学中的表格对比学习*

聂传辉 孙立平 刘祥阳 启李伽鹏

(北京建筑大学理学院 北京 102600)

高孟毅

(北京建筑大学测绘学院 北京 102600)

(收稿日期:2018-07-20)

摘要:对比学习是一种常见的学习方法,它能促进学生积极思考,激发学生学习热情,使前后知识相互贯通,体现一种对称美.对电磁学领域的一些知识进行了表格归纳对比.

关键词:电磁学 对比学习 对称

在大学物理学习中,电磁学知识由于涉及矢量和微积分运算,对学生而言属于偏难内容.历来在讲授这部分内容时,教师总会感到学生学习吃力.如何寻求更好的教学方法,使学生快速牢固掌握所学内容,是每一个教师要思考的问题.

赵凯华、陈熙谋两位先生在新概念物理教程《电磁学》中,通过列表作了“磁介质两种观点以及与电介质的对比”和“磁路与电路的对比”^[1],体现了电磁的一种对称美,阅读起来也更简捷明了.受这些表格启发,笔者通过长期的教学积累,对电磁学的一些内容进行了表格归纳对比,并用于教学中,取得很不错的教学效果,归纳如下.

1 平板电容器中全部插入介质后对物理量的影响

一般教科书中^[2],在讨论平行板电容器中插入介质是否对一些物理量(如电荷量、场强、电压、电容和电场能量等)产生影响时,平板电容器通常具有两种状态:一是电容器充电后与电源断开,一是电容器一直与电源相连.学生在学习这一部分内容时,往往容易把两种情况混为一谈,我们在讲课中列出了表1.让学生把相应内容填在相应位置.提醒学生插入电介质后,两种情况下分别是电荷量 Q 和电压 U_{12} 不变,电容 C 变大.再依据所学知识,把余下的表格填完整.通过这种对比方式,不仅使学生巩固了相关公式,而且介质对物理量产生的影响也一目了然.

表1 平行板电容器中全部插入介质后对物理量的影响

物理量	电容器影响	
	电容器充电后与电源断开	电容器一直与电源相连
电荷量 Q	不变	$Q = CU_{12}$ 变大
场强大小 E	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r}$ 变小	$E = \frac{U_{12}}{d}$ 不变
电压 U_{12}	$U_{12} = Ed$ 变小	不变
电容 C	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$ 变大	$\frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$ 变大
电场能量 W_e	$W_e = \frac{Q^2}{2C}$ 变小	$W_e = \frac{1}{2} CU_{12}^2$ 变大

2 散度和旋度的对比

在电磁场与电磁波学习中,散度和旋度的概念

学起来都比较抽象^[3,4],利用表格对比使学习变得简捷明了,如表2所示.

* 北京交通大学“2017年双培计划虚拟教研室建设项目”.

表2 散度和旋度的对比

	散度	旋度
平均量	平均发散量 $\frac{\oint_S \mathbf{A} \cdot d\mathbf{S}}{\Delta V}$	平均涡旋量 $\frac{\oint_l \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l}}{\Delta S}$
定义	$\nabla \cdot \mathbf{A} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\oint_S \mathbf{A} \cdot d\mathbf{S}}{\Delta V}$	$\nabla \times \mathbf{A} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\oint_l \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l}}{\Delta S}$
直角系中	$\nabla \cdot \mathbf{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$	$\nabla \times \mathbf{A} = \begin{vmatrix} \mathbf{e}_x & \mathbf{e}_y & \mathbf{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix}$
定理	$\oint_S \mathbf{A} \cdot d\mathbf{S} = \int_V (\nabla \cdot \mathbf{A}) dV$	$\oint_l \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} = \int_S (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot d\mathbf{S}$
性质	$\nabla \cdot (\nabla \times \mathbf{A}) = 0$	$\nabla \times (\nabla \Phi) = 0$

3 3种正交曲面坐标系的对比

根据电荷、电流的分布不同,常采用直角坐标系、柱坐标系或球坐标系来处理问题^[3,4].表3是关于3种曲面坐标系的对比图,我们让学生在表3图

示中标出位置矢量 \mathbf{OP} , P 点在 xOy 平面上的垂足 P' 和微分线元 PP'' , 并依次填写出各坐标系的分量、单位矢量、位置矢量、微分线元、面积元和体积元等.实践表明,这种对比方式能很好地帮助学生理解掌握曲面坐标系.

表3 正交曲面坐标系的对比

坐标系	相关量	图示
直角坐标系	分量: x, y, z	
	单位矢量: $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$	
	位置矢量: $\mathbf{OP} = x\mathbf{e}_x + y\mathbf{e}_y + z\mathbf{e}_z$	
	微分线元: $PP'' = dx\mathbf{e}_x + dy\mathbf{e}_y + dz\mathbf{e}_z$	
	面积元: $dS_x = dydz, dS_y = dx dz, dS_z = dx dy$	
	体积元: $dV = dx dy dz$	
柱坐标系	分量: ρ, φ, z	
	单位矢量: $\mathbf{e}_\rho, \mathbf{e}_\varphi, \mathbf{e}_z$	
	位置矢量: $\mathbf{OP} = \rho\mathbf{e}_\rho + z\mathbf{e}_z$	
	微分线元: $PP'' = d\rho\mathbf{e}_\rho + \rho d\varphi\mathbf{e}_\varphi + dz\mathbf{e}_z$	
	面积元: $dS_\rho = \rho d\varphi dz, dS_\varphi = \rho dz, dS_z = \rho d\rho d\varphi$	
	体积元: $dV = \rho d\rho d\varphi dz$	

续表 3

坐标系	相关量	图示
球 坐 标 系	分量: r, θ, φ	
	单位矢量: e_r, e_θ, e_φ	
	位置矢量: $OP = re_r$	
	微分线元: $PP'' = dr e_r + r d\theta e_\theta + r \sin \theta d\varphi e_\varphi$	
	面积元: $dS_r = r^2 \sin \theta d\theta d\varphi, dS_\theta = r \sin \theta dr d\varphi, dS_\varphi = r d\theta dr$	
	体积元: $dV = r^2 \sin \theta dr d\theta d\varphi$	

4 磁介质与电介质的对比

对磁介质与电介质的研究在电磁学领域具有十分重要的意义. 在文献[1]中, 赵凯华、陈熙谋两位先生通过列表作了“磁介质两种观点以及与电介质

的对比”, 我们把教程中的表 4-2 作了扩充, 使知识体系更为完整(见表 4). 依据静电场 E 的性质, 可引入标量电位 φ , 并建立均匀电介质中关于 φ 的泊松方程, 通过对比, 我们可以很快引出矢量磁位 A 并建立起关于 A 的矢量泊松方程, 同时写出 A 的解.

表 4 磁介质与电介质的对比

	物理量和规律	磁介质(分子电流观点)	电介质
文 献 [1] 表 4 - 2	微观模型	分子环流	电偶极子
	描述磁(极)化状态的量	磁化强度矢量 $M = \frac{\sum_{i=1}^N P_{mi}}{\Delta V}$	极化强度矢量 $P = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{\Delta V}$
	磁(极)化的宏观效果	与 M 平行的界面上出现磁化电流	与 P 垂直的界面上出现极化电荷
	描述磁(电)场的基本矢量	磁感应强度 B	电场强度 E
	介质对磁(电)场的影响	磁化电流产生附加磁场	极化电荷产生附加电场
	辅助矢量	磁场强度 $H = \frac{B}{\mu_0} - M = \frac{B}{\mu}$	电位移矢量 $D = \epsilon_0 E + P = \epsilon E$
	高斯定理	$\oint_S B \cdot dS = 0$	$\oint_S D \cdot dS = \sum q_{in}$
环路定理	$\oint_l H \cdot dl = \sum I_{in}$	$\oint_l E \cdot dl = 0$	
本 文 另 加	磁(极)化电流(荷)体密度	$J_M = \nabla \times M$	$\rho_p = -\nabla \cdot P$
	磁(极)化电流(荷)面密度	$J_{mS} = M \times n$	$q_{sp} = P \cdot n$
	磁(电)导率	$\mu = \mu_0 \mu_r, \mu_r = 1 + \chi_m$ 磁化率 χ_m	$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r, \epsilon_r = 1 + \chi_e$ 极化率 χ_e
	磁(电)位	矢量磁位 A	标量电位 φ
	磁(电)位引入	$B = -\nabla \times A$	$E = -\nabla \varphi$
	安培环路(高斯)定理微分式	$\nabla \times B = \mu J$	$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon}$
	泊松方程	$\nabla^2 A = -\mu J$	$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\epsilon}$
方程解	$A = \frac{\mu}{4\pi} \int_{\Delta V} \frac{J dV}{r}$	$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{\Delta V} \frac{\rho dV}{r}$	

总之, 表格对比学习法可调动学生主动学习的积极性, 促进学生积极思考, 由此及彼, 突出知识的

连贯性和对称美, 是电磁领域学习的一种很好的学习方法.

参考文献

- 1 赵凯华,陈熙谋.电磁学.北京:高等教育出版社,2003. 238
- 2 马文蔚,解希顺,周丽青.物理学(第5版)上册.北京:高等教育出版社,2006. 227
- 3 杨儒贵.电磁场与电磁波(第2版).北京:高等教育出版社,2007. 8~18, 23~32
- 4 邵小桃,李一玫,王国栋.电磁场与电磁波(第2版).北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社,2018. 5~11, 15~26

Table Comparative Learning in Electromagnetism

Nie Chuanhui Sun Liping Liu Xiang Yang Qi Li Jiapeng

(School of Science, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102600)

Gao Mengyi

(School of Cartography, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102600)

Abstract: Table comparative study is a common method in electromagnetics. It can promote students think positively and arouse their enthusiasm for learning. It also connects knowledges in front and behind and make them a beautiful symmetry. We'll take some table comparative study in electromagnetics in this paper.

Key words: electromagnetics; comparative study; symmetry

(上接第29页)

当 $\theta = 90^\circ$ 时,出射光为振动方向垂直于光轴的线偏振光.

在 P_1 转到 $\theta = 45^\circ$ 时, P_2 转动 360° 的过程中光强始终不变,即检流计显示示数最大值总是等于最小值,此时可证出射光是圆偏振光(根据理论,已排除出射光是自然光的可能).

在 P_1 转到其他值时, P_2 转动 360° 的过程中检流计示数有变(区别于圆偏振光),且最小值不近似为零(区别于线偏振光),此时可证出射光是椭圆偏振光(根据理论,已排除出射光是部分自然光的可能).

分析实验误差主要来源于:

(1) 经过仔细调整实验平台后,仍无法非常严格地使两偏振片与激光垂直;

(2) 激光器发出的光不够稳定;

(3) 偏振片指示角度和实际偏振方向有一定偏差,比如设置偏振片与波片夹角为 45° 时,最后效果并不是严格的 45° ,以至于最后发射出来的光未能形

成圆偏振光,在极坐标下显示的图形有些变形;

(4) 检流计读数不稳定,容易造成误差.

5 小结

教师在课前告知学生实验条件与实验目的,引导学生自主查阅资料、思考要解决的问题和设计实验方案,再由教师对实验流程进行分析和介绍,这种大学实验教学是具有创新性的.本文以探究偏振光经 $\frac{1}{4}$ 波片后偏振态变化为例,通过只向学生提供光学元件,不提供实验中需要的如偏振片和波片光轴信息,使学生在实验中加深对理论的认识,分析解决问题的能力得到较大提高.

参考文献

- 1 熊永红,张昆实,任忠明,等.大学物理实验.北京:科学出版社,2012
- 2 华南师范大学物理实验教学示范中心.偏振光的研究.普通物理实验,2016:53~59
- 3 薛永白.利用分光计测定波片的光轴.常熟高专学报,2002(06):66~69