

“电磁波的发现”教学中学生常提出的疑问及相应解释*

郭卫强

(河南师范大学附属中学 河南 新乡 453000)

(收稿日期:2015-04-21)

摘要:在高中物理“电磁波的发现”一节的教学过程中,学生对平面电磁波传播过程中“电场强度矢量 E 和磁感应强度矢量 B 同步变化”常提出疑问,笔者分析了其错误原因并给出较为详细的解释。

关键词:电磁波 电场强度 磁感应强度 相位

在高中物理课程标准实验教科书(人教版)选修3-4第六章“电磁波的发现”一节的教学过程中,学生在学习电磁波传播的特点时,由于不清楚稳恒场和交变场的区别,对平面电磁波的电场强度矢量 E 和磁感应强度矢量 B 同步变化提出了疑问,笔者就此疑问进行探讨,希望能为教师的教学和学生的学习提供帮助。

疑问:如图1所示,该图为高中物理课程标准实验教科书(人教版)选修3-4第78页图14.1-3^[1],这是描述平面电磁波沿 z 轴传播的示意图,学生在学习过程中,发现电场强度矢量 E 和磁感应强度矢量 B 相位相同,许多学生感到不解,甚至认为是错误的。

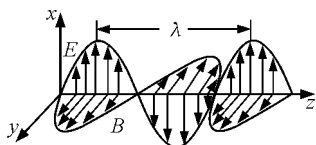


图1 教材中沿 z 轴传播的电磁波

理由1:假设有一环形金属导线放入按正弦变化的磁场中,其磁感应强度

$$B = B_0 \sin(\omega t - kz)$$

式中 $k = \frac{\omega}{c}$ 为波数,依据法拉第电磁感应定律,环形电路中的电动势

$$e \propto \frac{\partial B}{\partial t}$$

所以,环形电路中电流

$$I \propto \frac{\partial B}{\partial t}$$

从而得出环形电路中的电场强度

$$E \propto \frac{\partial B}{\partial t}$$

因为

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial t} &= \omega B_0 \cos(\omega t - kz) = \\ &\omega B_0 \sin\left(\omega t - kz + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned}$$

所以,环形电路中的电场强度

$$E \propto \omega B_0 \sin\left(\omega t - kz + \frac{\pi}{2}\right)$$

由以上分析可知,按正弦变化的磁场产生按余弦变化的电场,也就是说,电磁波传播过程中电场强度矢量 E 和磁感应强度矢量 B 相位相差 $\frac{\pi}{2}$ 。所以,平面电磁波沿 z 轴传播的示意图如图2所示。

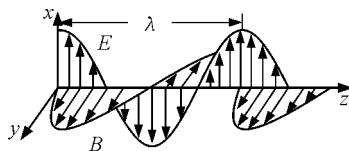


图2 学生作出的沿 z 轴传播的电磁波

理由2:根据麦克斯韦电磁理论,变化的磁场产生电场,变化的电场产生磁场.电场强度的大小应该是由磁感应强度的变化率来决定,磁感应强度的大小应该是由电场强度的变化率来决定。

假设,有一按正弦变化的磁场,其磁感应强度

$$B = B_0 \sin(\omega t - kz)$$

磁场达到最大值的的地方,磁感应强度的导数为零,说

* 河南省2014年度校本教研专项研究课题“基于导学案和导学视频的高中物理教学策略的实践研究”阶段成果,项目编号:XBjY1439

作者简介:郭卫强(1978-),男,中教一级,主要从事中学物理教学及研究。

明此处磁感应强度的变化率为零,那么此处产生的电场也应该为零;磁场为零的地方,磁感应强度的导数最大,说明此处磁感应强度的变化率最大,那么此处产生的电场也应该最大.所以,在电磁波传播过程中按正弦变化的磁场产生按余弦变化的电场,也就是说,电场强度矢量 \mathbf{E} 和磁感应强度矢量 \mathbf{B} 相位相差 $\frac{\pi}{2}$.

同理,按正弦变化的电场产生按余弦变化的磁场,磁感应强度矢量 \mathbf{B} 和电场强度矢量 \mathbf{E} 相位相差 $\frac{\pi}{2}$.

按上述理解,平面电磁波沿 z 轴传播的示意图 2 是正确的.

上述的结论与图 1 中平面电磁波电场强度矢量 \mathbf{E} 和磁感应强度矢量 \mathbf{B} 相位相同矛盾.

释疑:理由 1 得出错误的结论是因为学生没有正确理解稳恒电场和涡旋电场的性质.上述推导过程中,由“环形电路中电流 $I \propto \frac{\partial B}{\partial t}$ ”,从而得出环路中的电场强度 $E \propto \frac{\partial B}{\partial t}$ ”的结论是错误的.对于稳恒电场来说,电流为零,电路中的电场强度为零,而对于涡旋电场来说,此结论不成立.

理由 2 出现错误的原因是学生对麦克斯韦电磁理论的理解出现了偏差.磁场的变化率决定的不是电场强度的大小,而是电场强度在环路上积分的大小,即电场旋度的大小.在磁场的波峰处,磁场的变化率最小,此时电场的旋度为零;当磁场为零时,磁

场的变化率最大,此时电场旋度的绝对值最大.

尝试解释:假设,有一沿 z 轴传播的平面电磁波,其按正弦变化的电场的电场强度

$$E = E_0 \sin(\omega t - kz + \theta) \quad (1)$$

式中 θ 为电场的相位,产生正弦变化的磁场的磁感应强度

$$B = B_0 \sin(\omega t - kz) \quad (2)$$

麦克斯韦方程

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad [2]$$

把式(1)、(2)代入方程得

$$\begin{aligned} -kE_0 \cos(\omega t - kz + \theta) = \\ -\omega B_0 \cos(\omega t - kz) \end{aligned}$$

显然, $\theta=0$,说明正弦变化的电场产生正弦变化的磁场,且相位相同.

同理,可得到正弦变化的磁场产生正弦变化的电场,且相位相同.

通过对上述问题的讨论,我们发现学生在遇到新的物理情境问题时,试图运用原有的认知结构来解决新问题.在学习电磁波之前,学生所了解的场都是稳恒场,容易用稳恒场的性质来解释电磁波传播的现象,教师要让学生了解稳恒场和交变场的区别,便于学生正确理解电磁波.

参考文献

- 1 人民教育出版社.普通高中物理课程标准实验教科书选修 3-4.北京:人民教育出版社,2004.76
- 2 郭硕鸿.电动力学(第 2 版).北京:高等教育出版社,1997.136

Students' Questions and the Corresponding Explanations in Teaching of Discovery of Electromagnetic Waves

Guo Weiqiang

(Affiliated Middle School of Henan Normal University, Xinxiang, Henan 453000)

Abstract: In the high school physics class teaching section of “discovery of electromagnetic waves”, the Students will ask questions about the “electric field intensity vector and magnetic induction intensity vector synchronous change” in the process of plane electromagnetic wave propagation. In this paper, the author analyses the cause of the error, and gives a detailed explanation.

Key words: electromagnetic wave; electric field intensity; magnetic induction intensity; phase