

浅析圆柱形均匀变化磁场所产生的电场

——对人教版高中物理选择性必修2插图4.2-1的修改建议

张伟峰

(黄石市第二中学 湖北 黄石 435003)

(收稿日期:2022-07-01)

摘要:根据麦克斯韦电磁理论,变化的磁场可以产生电场,但是这个电场对应的电场线是什么形状?人教版高中物理选择性必修2插图4.2-1给出了一种答案,但是这个图片的正确性存在商榷之外,笔者经过分析给出图片修改建议.

关键词:感生电动势;涡旋电场;电场线;插图

2022年高考全国卷乙卷第24题考到感生电动势的计算,根据人教版2019版物理选择性必修2第33页内容,学生可以知道变化的磁场可以产生涡旋状的感生电场.带电粒子在感生电场中也受到电场力,大小与静电场中类似,都满足 $F = qE$.电子感应加速器就是利用此原理使电子加速的设备.究竟感生电场的电场线是什么形状的?教材第33页插图2.3-1只画出了电子运动的轨道,没有画出相应感生电场线.但教材第74页图4.2-1

画出了磁场变化时所产生的电场对应的电场线形状,如图1所示.

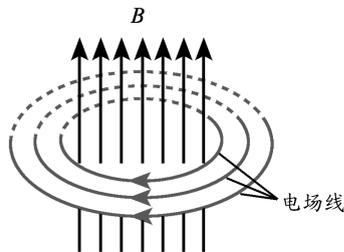


图1 变化的磁场产生电场

“我们的空间站结构是……,我们未来空间站的功能有……,在完成任务的过程中,我承担了……,在完成任务的过程中,我表现最满意的地方是…….”

2.4.2 设计表格,对作品进行评价

表1 空间站模型评价表格

评价维度	评价内容	自评	互评
空间站结构	结构完整,至少包含核心舱、载人飞船、实验舱、货运飞船	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
空间站功能	1. 设计符合新功能需求	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
	2. 设计具有科技感、未来感	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
	3. 附设计说明书,符合产品说明书要求	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆

本次STEM项目教学不但践行了新课标提出的“跨学科实践”要求,也为往往只在重点学校、城镇学校开展的STEM教育在乡村学校的开展探索了途径.

2017年,习总书记提出乡村振兴战略,解决农村教育问题,这是需要政府、社会、家长、教师、学生各方面共同参与并为之努力的系统工程,我们这些乡村教

最终,学生们从空间站模型的结构是否完整,是否满足设计功能,测试过程是否存在问题和问题的解决等多方面对模型作品进行了自评和互评.评价表格设计如表1所示.

师更是责无旁贷,只有每位乡村教师都心怀梦想,才能让乡村学校的学生有看向太空的深邃目光.

参考文献

- [1] 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:人民教育出版社,2022.
- [2] 中国教育科学研究院. 中国STEM教育白皮书[R]. 2017-06-20.

图中画了3条电场线,形状为3个同心圆,且圆与圆之间等距.根据旋转对称性,我们可以猜测出插图原作者是想表达圆柱形磁场所产生的磁感线的形状,但是图中画的磁感线没有立体感.根据电场线密度处场强大,疏处场强小的规律,此图的正确性有待商榷.那么,感生电场线如何画?我们以圆柱形区域内变化磁场产生的感生电场进行分析.

根据旋转对称性可知,图中电场线为一组同心圆.我们从静电场中的规律进行类比,静电场中电压与电场强度满足公式 $U = Ed$,但是涡旋电场中公式类似,只不过要写成积分形式 $\epsilon = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$,也不能简单认为电势也沿着电场线方向降低.如果有一个半径为 r 、周长为 L 的环状导体放在涡旋电场中,导体的圆心与磁场的圆心重合,且导体在某处有一个很小的缺口,则电荷就会向缺口两端聚集,两端便存在电势差,这个数值便等于电动势.我们将一半径为 r 的导体圆环放在圆形磁场中,磁场半径为 R ,磁场的磁感应强度以变化率 k 均匀变化时,导体圆环的圆心与磁场中心重合.

根据法拉第电磁感应定律,面积恒定磁感应强度变化时

$$\epsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \oint_S \frac{dB}{dt} dS$$

当 r 小于 R 时,如图2所示,对应磁场面积为导体环所围成的面积

$$S = \pi r^2$$

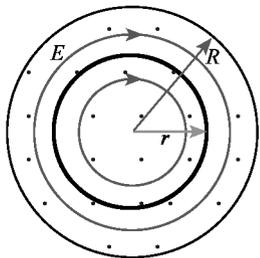


图2 $r < R$ 的电场线和磁感线

导体环所处位置的场强大小为

$$E = \frac{\epsilon}{2\pi r} = \frac{k\pi r^2}{2\pi r} = \frac{kr}{2} \quad (r < R)$$

可知 r 越大时 E 越大.

当 r 大于 R 时,如图3所示,对应磁场面积不再是导体环所围成的面积,而是实际磁场的面积

$$S = \pi R^2$$

导体环所处位置的场强大小为

$$E = \frac{\epsilon}{2\pi r} = \frac{k\pi R^2}{2\pi r} = \frac{kR^2}{2r} \quad (r > R)$$

r 越大时 E 越小,边界处 E 最大.

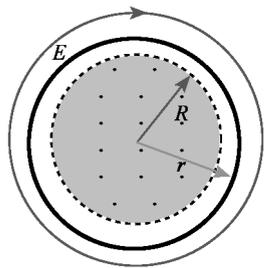


图3 $r > R$ 的电场线和磁感线

作出场强 E 与到圆心的距离 r 的关系图如图4所示.

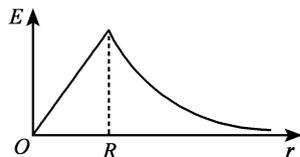
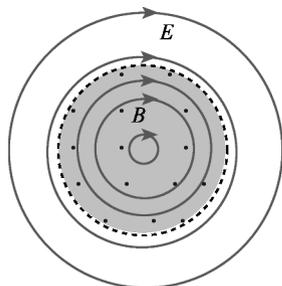
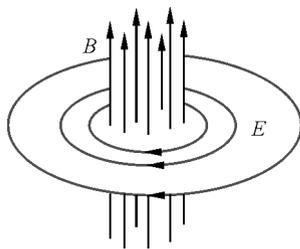


图4 $E-r$ 图像

因此,图片的电场线和磁感线可以作如下修改,图5(a)为俯视图,图5(b)为立体图.



(a) 俯视图



(b) 立体图

图5 修改后的示意图

由于高中对感生电场的电场线形状画法不严格要求,因此教材原图不影响正常的教学,但是教材插图是学生学习的重要资源,对提高学习效果、培养学习能力有十分重要的意义.因此教材编写时应更加注重细节,使其内容更严谨、更科学,这样也更有助于培养学生实事求是的科学态度与责任.