

由“落磁”实验引起的建模思考

马侃侃

(慈中书院 浙江 宁波 315300)

(收稿日期:2022-05-31)

摘要:物理建模是“科学思维”的核心要素,也是评价一个学生核心素养高低的重要指标.从“落磁”实验出发,结合学生在选考中所犯的错误,针对准确建模和区别相似模型,提出在教学中的有效策略.

关键词:落磁实验;物理选考试题;物理建模;类比;涡流

学习楞次定律时,课堂实验中常常会演示“落磁”实验——一个磁铁在铝管中下落.在学生观察到磁铁缓慢下落后,教师通常会提示学生把圆管看成线圈.当磁铁下落时,线圈中产生感应电流从而阻碍磁铁的下落.这样的解释是否真能让学生真正理解圆管中的电路结构,在遇到实际问题时,能否对圆管进行模型的构建?对此,笔者收集了学生在浙江省物理选考中遇到此类问题的答题情况,通过分析他们的错误点,提出在教学中如何利用类比法准确建立模型.

1 圆管内部电路模型的构建

【例题】(2022年1月份浙江省物理选考第13题)如图1所示,将一通电螺线管竖直放置,螺线管内部形成磁感应强度方向竖直向上、大小 $B=kt$ 的匀强磁场,在内部用绝缘轻绳悬挂一与螺线管共轴的金属薄圆管,其电阻率为 ρ 、高度为 h 、半径为 r 、厚度为 $d(d \ll r)$,则()

A. 从上向下看,圆管中的感应电流为逆时针方向

B. 圆管的感应电动势大小为 $\frac{k\pi r^2}{h}$

C. 圆管的热功率大小为 $\frac{\pi dhk^2 r^3}{2\rho}$

D. 轻绳对圆管的拉力随时间减小

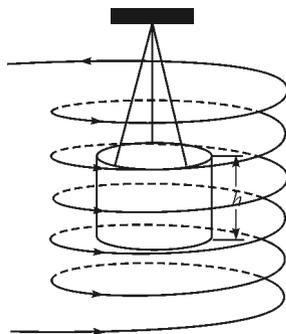


图1 第13题图

本题是一个涉及涡流的电磁感应问题.它考查的内容包括:感应电流方向的判断,感应电动势的求解,电阻定律及安培力方向的判断,是一道综合性较强的试题.考后有学生提出在计算圆管的感应电动势时,把圆管看成由很多匝线圈串联而成的螺线管,如图2所示.得到感应电动势大小应该是 $k\pi r^2$ 的整数倍,但发现难以确定其匝数.学生为什么会想到建立这样的模型?究其原因,是在分析“落磁”实验时,只说明把圆管看成线圈,并没有明确圆管中的电路结构.

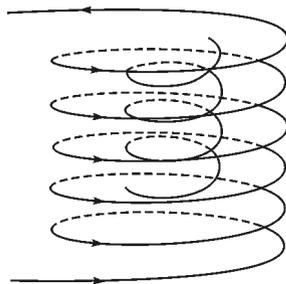


图2 线圈模型

高中的教学应该是一个不断引导学生运用已有知识储备解决新问题的过程,如何实现旧知识向新知识的迁移,我们可以借助类比法.通过抓住两类现象之间某方面的相似性,建立熟悉模型,从而推出它们在其他某些方面的相似结论.该试题中的圆管处于一个磁感应强度大小 $B = kt$ 的匀强磁场中,与选修3-2涡流这一节中金属导体在交变磁场的情景相似(图3).金属导体相当于一个个大小不一的金属管组成,由此可以得到圆管中的电流是一个个上下相互不导通的环形电流构成,相当于所有电源并联在一起.这样可以得到该圆管的电动势就等于 $k\pi r^2$.为求得圆管热功率的大小,还必须知道圆管的电阻.在学生头脑中求解电阻往往都是一条长直导线,对于圆管难以确定电阻的长度和横截面积.为了得到长条状的导线,可以沿着电流把圆管展开成如图4所示的长方体.

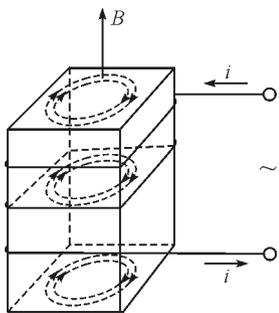


图3 导体中的涡流

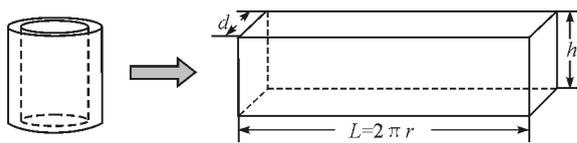


图4 导体块模型

则该导体的长度 $L = 2\pi r$,与电流垂直的横截面 $S = hd$.由 $R = \rho \frac{L}{S}$,得到圆管的电阻为 $R = \frac{2\rho r}{hd}$,则圆管的热功率 $P = I^2 R = \frac{\pi dhk^2 r^3}{2\rho}$,从而得到正确选项 C.

笔者认为该试题作为选择题的压轴题,出题者的意图是用该试题的低得分率拉开考生的分数.但是考后从学生中了解的实际情况来看,试题的区分度不高.对于选项 B 而言,很多学生根据单位制就可以排除,不需要搞清楚圆管内部的电路结构.笔者认

为可以把选项 B 改为“圆管的感应电动势大小为 $\frac{\pi hkr^2}{d}$ ”作为干扰选项,从而区别学生是否真的理解.

2 圆管涡流和线圈中感应电流的区别

类比法建模是一种或然性推理,是通过比较得出的结论,参与类比的对象共同点越多,并且相同点与推测出的结论都具有本质性特征,结论就会越准确.反之,如果仅仅根据两事物为数很少的又不具备典型性的共同属性,就推断类比对象具有与已知属性相关性程度不高的另一属性,就会犯“机械类比”的错误.在2017年4月份浙江省选考第21题:用如图所示的装置做“探究感应电流方向的规律”实验,磁体从靠近线圈的上方静止下落.当磁体运动到如图5所示的位置时,流过线圈的感应电流方向为_____ (“从 a 到 b”或“从 b 到 a”).在磁体穿过整个线圈的过程中,传感器显示的电流 i 随时间 t 的图像应该是_____.

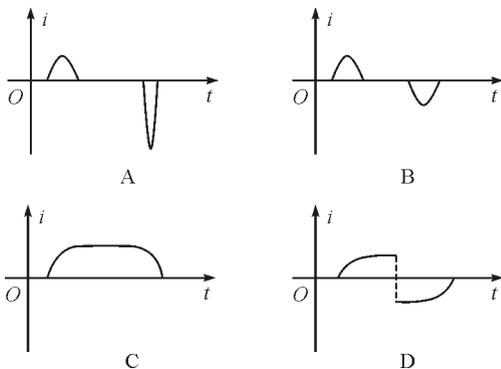
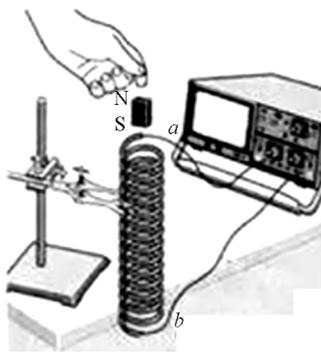


图5 2017年4月选考第21题图

第二个选择图像问题中,学生往往会根据落磁实验进行类比迁移.他们把这实验等同于落磁实验,认为磁铁在线圈里面下落同样会变慢,同样也会产生感应电流,于是会得到 C 或 D 的错误答案.其实我

们把磁铁的上部分线圈和下部分线圈单独分析发现,上部分线圈产生感应电动势的方向和下部分线圈产生感应电动势的方向相反[图 6(a)],恰好抵消.而在铝管中由于产生一个个单独的环形电流[图 6(b)],不会抵消,这些电流对磁铁起到“上拉下顶”的作用,所以形成对磁体的阻碍作用.其次铝管侧壁上面的部分区域磁通量也在发生变化,也会产生感应电流,起到阻碍磁体下落的作用.为了避免学生建模时进行简单的类比迁移,在教学中应该给学生明确线圈电流和金属管中涡流之间的不同:线圈中电流的流动一定是沿着导线单向流动,而在金属管中产生的涡流可以形成多个方向的电流.

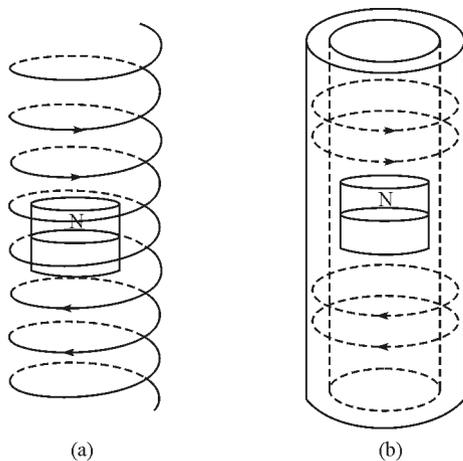


图 6 线圈电流和涡流

3 涡流研究面的固化

无论是圆管还是线圈,研究面都是垂直于磁场的最大面.学生经过大量的习题后,会出现思维固化,而迁移到所有情景中.在 2021 年 1 月浙江省物理选考第 18 题:“探究变压器线圈两端的电压与匝数的关系”实验中,可拆变压器如图 7 所示.为了减小涡流在铁芯中产生的热量,铁芯是由相互绝缘的硅钢片平行叠成.硅钢片应平行于_____ (单选)

- A. 平面 $abcd$ B. 平面 $abfe$
C. 平面 $abgh$ D. 平面 $aehd$

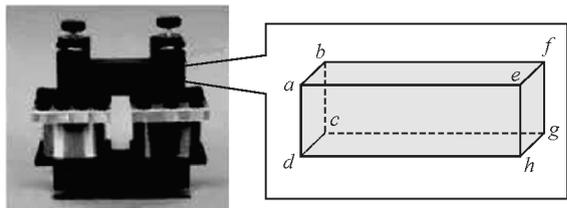


图 7 2021 年 1 月选考第 18 题图

很多学生认为硅钢片可以平行于平面 $abfe$ 叠放,理由是虽然有磁场穿过硅钢片,但是对于整个硅钢片而言,左右穿入和穿出的磁感线相等,整个硅钢片磁通量不变.引起这个错误的原因是在研究电磁感应现象时,往往以整个磁场穿过的面为研究面,形成的电流沿着这个研究面的边界流动.实际上在金属面上产生涡流时,只要某一部分上的磁通量发生改变,它就可以在上面形成部分的电流,不需要沿着这个面的边界流动.在本题中如果是平行于平面 $abfe$ 叠放,会在硅钢片的左右部分各自形成涡流,不能很好起到减少热量的效果.因此本题中只能选择平行于平面 $aehd$ 叠放,让磁场尽可能不穿过硅钢片.

为避免学生在分析涡流时研究面的固化,可以借助阿拉果圆盘实验(图 8)来进行教学.当下面的铜圆盘转动时,可以观察到上面的小磁针会跟着一起转动.学生以整个圆面为研究面发现,通过的磁通量没有改变,圆盘中不会产生感应电流,小磁针不会发生转动,与实验现象不符.当他们的认知和现象发生冲突时,教师再通过提示,指出研究面是一个个部分小块,它们形成了涡流从而带动了小磁针的转动.当然在高中阶段对这个实验只要点到为止,让学生能不再固化研究圆盘面就够了.

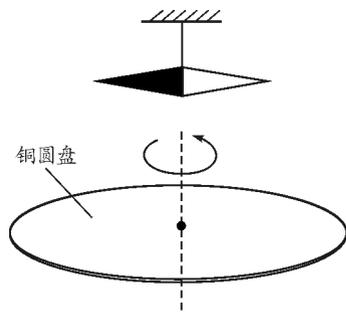


图 8 阿拉果圆盘

建立物理模型是为了更好地解决复杂物理问题,只有在解决具体问题的实践中,才能不断加深对物理模型的认知,提高建模能力.在遇到实际问题时,应该引导学生树立建模思想,让学生进行有效的类比迁移,抓住事物的共同点.在遇到学生建模错误时,应该帮助学生分析建模过程中的问题,区别模型之间的不同点.当学生通过大量练习出现模型固化时,还需要寻找学生容易犯错的地方,通过新的情景或者实验来帮助他们真正理解.

参考文献

- [1] 俞国富. 注重科学建模, 培养科学思维 —— 由2018年下半年浙江省物理选考第13题想到的一个有趣问题[J]. 物理教学探讨, 2019(10):36, 39.
- [2] 俞国富. 高中物理教学中科学建模的策略[J]. 物理教学探讨, 2019(9):12-18.
- [3] 顾声和. 由一生二 触类旁通 —— 从浙江省2018年11月物理选考第13题想开去[J]. 物理教师, 2019(7):83-85.
- [4] 余小芹. 利用类比法构建静电场模型[J]. 中学理科园地, 2016(1):71-72.

Modeling Thinking Arising from the “Falling Magnet” Experiment

MA Kankan

(Cizhongshuyuan, Ningbo, Zhejiang 315300)

Abstract: Modeling in physics is the core element of “scientific thinking”, and it is an important index to evaluate the level of a student’s core literacy. Starting from the experiment of “falling magnet” and combining with the mistakes made by students in the examination, this essay put forward effective strategies in teaching aiming at accurate modeling and distinguishing similar models.

Key words: “falling magnet” experiment; examination of physics; modeling in physics; analog; eddy current

(上接第139页)

价. 这无疑促使我们更新教学理念, 在日常实验教学中将核心素养作为指导思想, 真正做到“实验育人”. 这就首先要求我们改变“做实验不如讲实验”的想法, 观察与实验是物理学科的本质特征, 在实验中, 学生通过切身体验能够培养多方面的素养. 因此, 物理教学必须以实验为基础, 这是由实验本身的特点及其在物理教学中的作用决定的^[5], 教师绝不能轻视甚至忽视实验教学的价值. 在教学中更加关注学生物理观念的形成, 科学思维、科学探究能力的培养, 物理实验与生活的联系等.

其二要注重实验方法的选择, 切实发挥实验教学的作用. 高中物理教学中的实验种类繁多, 各类实验有各自的特点和教学功能. 例如本题实验充分体现了科学思维要素, 对学生思维能力的提高有很大的教学价值. 我们在该实验教学中应注重引导学生的思维进阶, 选择恰当的教学方法充分发挥其功能, 如设置问题“电流表内阻已知就一定可以用内接法吗”激发学生的兴趣和思考, 让学生进行分组探究, 真正理解方法背后的物理本质. 在其他的实验教学中也可以灵活设置诸如此类问题, 将实验与适切的

教学手段结合以促进学生的深度学习.

其三要重视对实验教学的评价. 在教学中, 学生对自己实验过程的反思与自我评价是高中物理实验评价中必要的组成部分, 也是培养高阶思维的有效途径. 物理学科核心素养中的科学探究包括“问题”“证据”“解释”“交流”4个要素, 其中“解释”“交流”要素就暗含了学生的自我评价. 因此, 在日常教学中, 不能把实验现象或实验数据的得出作为学习的终点, 让学生经历“解释”“交流”环节, 进行自我评价与反思尤为关键.

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.
- [2] 教育部考试中心. 中国高考评价体系[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019:7, 23.
- [3] 教育部考试中心. 中国高考评价体系说明[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019:8.
- [4] 程力, 李勇. 基于高考评价体系的物理科考试内容改革实施路径[J]. 中国考试, 2019(12):38-44.
- [5] 阎金铎, 郭玉英. 中学物理教学概论[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2019:91.