

阿拉果铜盘实验的实验研究与分析

——由2015年一道高考试题引起的思考

黄绍书

(六盘水市第23中学 贵州 六盘水 553001)

(收稿日期:2015-03-04)

摘要:用实验方法研究阿拉果铜盘实验的电流方向和磁针转动机理;对2015年普通高等学校招生全国统一考试(普通高中新课程标准 I 卷)理科综合能力测试第19题作出正确的定论并给予合理解释.

关键词:阿拉果铜盘实验 高考 理科综合能力测试 实验研究 分析 思考

1 引言

1822年,法国科学家阿拉果(D. F. G. Arago, 1786 ~ 1853年)和德国物理学家冯·洪堡(A. von Humboldt, 1769 ~ 1859年)在英国格林威治(Greenwich)的一座小山上测量地磁强度时偶然发现,放在铜底座上的小磁针的摆动,比孤立放置的磁针摆动的幅度衰减要快,而摆动的周期却没有明显的改变.阿拉果据此推测,既然静止的铜片能够影响运动的磁针,那么,运动的铜片可能会对静止的磁针也产生作用.1824年,阿拉果根据这一现象又做了一个实验,将一个铜圆盘装在一根垂直轴上,使其可以水平转动,在铜盘正上方悬吊一根磁针,所用细线质地柔软,即使磁针旋转许多圈,悬线都不会产生明显的扭力来阻止磁针的旋转.阿拉果通过实验发现,当铜盘旋转时,磁针即跟着一起转动,但是时间上稍滞后一些;反之,当磁针旋转时,铜盘也跟着旋转,同样时间上稍有滞后.这个现象就是物理学史上著名的“阿拉果铜盘实验现象”.阿拉果由于发现这一现象,获得1825年英国皇家学会的科普勒奖章(Copley Medal)^[1].

【题目】[2015年普通高等学校招生全国统一考试(普通高中新课程标准 I 卷)理科综合能力测试第19题]:1824年,法国科学家阿拉果完成了著名的“圆盘实验”.实验中将一铜圆盘水平放置,在其中心正上方用柔软细线悬挂一枚可以自由旋转的磁针,如图1所示.实验中发现,当圆盘在磁针的磁场中绕过圆盘中心的竖直轴旋转时,磁针也随着一起转动

起来,但略有滞后.下列说法正确的是

- A. 圆盘上产生了感应电动势
- B. 圆盘内的涡电流产生的磁场导致磁针转动
- C. 在圆盘转动的过程中,磁针的磁场穿过整个圆盘的磁通量发生了变化
- D. 圆盘中的自由电子随圆盘一起运动形成电流,此电流产生的磁场导致磁针转动

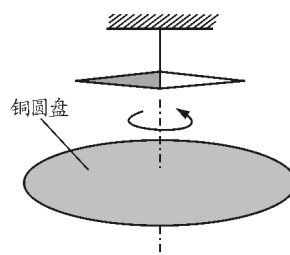


图1

全国高考命题专家组对该题给出的参考答案是“A”和“B”两个选项^[2],用全国 I 卷进行高考选拔的各省份的高考评卷组也是根据这一参考标准进行评判的.为此,全国各地教师们对此题的正确选项产生了质疑.同时,在网上引起了对“阿拉果铜盘实验是否产生涡电流和怎样产生涡电流”、“磁针随圆盘转动的根本原因是什么”等问题的一些讨论,但没有得出明确的结论.

为了弄清楚阿拉果铜盘实验中磁针转动的机理,我们对距今近200年的阿拉果铜盘实验作了一些改进与探索,以期能对2015年普通高等学校招生全国统一考试(普通高中新课程标准 I 卷)理科综合能力测试第19题作出正确的定论并给予合理的解释.

2 实验改进

2.1 实验设计与制作

(1) 将平整的薄纸板剪制直径约为 10 cm 的圆盘 2 个;

(2) 用横截面直径约 0.5 mm 细铜丝制作直径分别约为 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm, 8 cm, 9 cm, 10 cm 的铜环各 2 个;

(3) 用 520 胶水将铜环分别粘在 2 个纸质圆盘上, 并用长度约 10 cm、横截面直径约 0.5 mm 细铜丝在其中 1 个圆盘上过圆心粘 6 ~ 10 根辐条, 制成如图 2(a)、(b) 所示的 2 个铜丝圆盘;

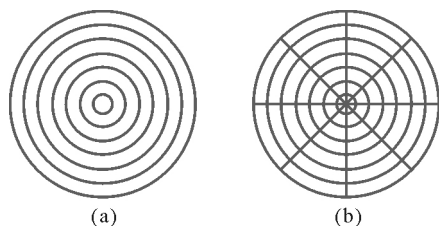


图 2

(4) 用软木或泡沫制作 2 个直径约 3.3 cm, 高约 15 cm 的圆柱体, 将圆柱体嵌入内圈直径约 3 cm 的滚珠轴承的内圈, 做成 2 个可以自由转动且上端平整的转轴, 如图 3 所示;



图 3

(5) 用 520 胶水将 2 个铜丝圆盘粘在转轴上端, 制成 2 个可随竖直转轴自由转动的水平铜丝圆盘, 如图 4(a)、(b) 所示。

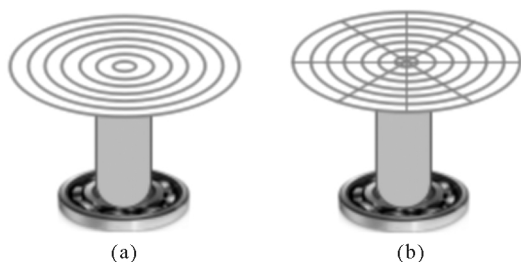


图 4

2.2 实验操作及现象

(1) 在可随竖直转轴自由转动的水平铜丝圆盘 [图 4(a)] 正上方用柔软细线悬挂 1 枚长约 8 cm 左右处于水平状态的磁性较强的“J11005”型磁针(或普通条形磁铁), 如图 5 所示. 使磁针距圆盘 1 cm 左右.

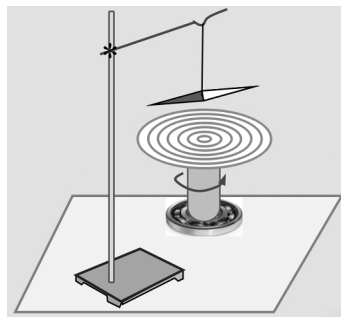


图 5

(2) 用筷子等细杆拨动轴承转动起来, 没有发现磁针随圆盘转动的现象.

(3) 让圆盘固定, 而使磁针在圆盘上方沿水平面内转动, 用“J0422”型投影检流计(测量范围“ $-0.1 \text{ mA} \sim 0 \sim +0.1 \text{ mA}$ ”或“ $-1 \text{ mA} \sim 0 \sim +1 \text{ mA}$ ”)检测, 没有发现任意一个铜丝圆环中有电流.

检测时, 直接将检流计并联在圆盘的待测两点或切断铜丝圆环将检流计串联在待测两点. 为了避免或减小圆盘上待测两点间与检流计构成的回路磁通量变化带来的影响, 用两根长约 80 cm 的 $\varphi 0.5 \text{ mm}$ 铜芯漆包线分别与铜丝圆盘的待测两点稳固连接后绞绞成绳索型再分别连接检流计的正负接线柱, 如图 6(a)、(b) 所示.

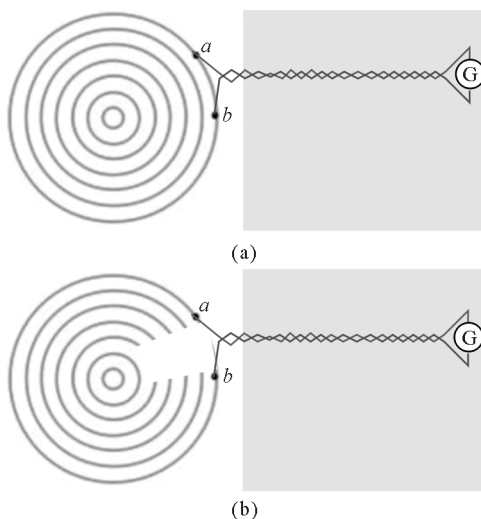


图 6

(4) 在可随竖直转轴自由转动的水平铜丝圆盘 [图 4(b)] 正上方用柔软细线悬挂 1 枚长约 8cm 左右处于水平状态的磁性较强的磁针, 如图 7 所示. 使磁针距圆盘 1 cm 左右.

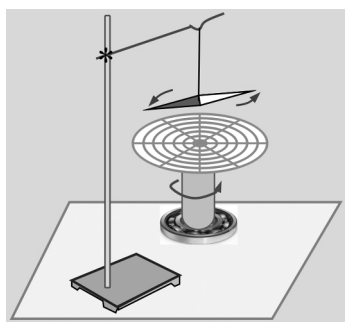


图 7

(5) 用筷子等细杆拨动轴承转动起来, 发现磁针随圆盘有明显的转动现象.

(6) 让圆盘固定, 而使磁针在圆盘上方沿水平面内转动, 用“J0422”型投影检流计检测, 发现任意一个铜丝圆环中都有一定的变化电流, 但不同位置的差异较大, 且外侧圆环的电流相对内侧圆环的电流要大一些. 而每根辐条中都有很明显的电流, 电流随磁针位置的不同有较大的变化.

检测方法与前所述相似, 直接将检流计并联在圆盘的待测两点, 如图 8(a)、(b) 所示.

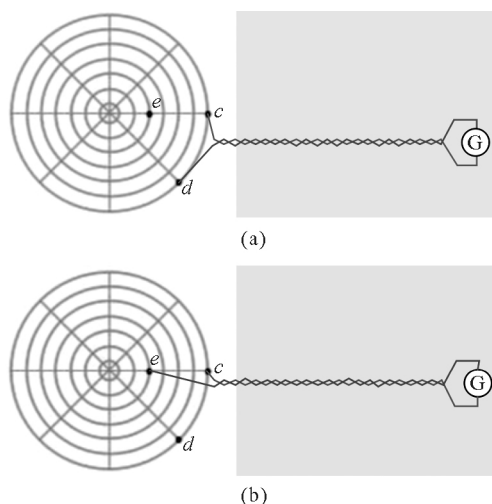


图 8

3 理论分析

两种圆盘和磁针转动过程中, 某时刻的俯视图

分别如图 9(a)、(b) 所示, 穿过圆盘的磁场关于磁针以及与磁针垂直的一条圆盘直径成对称分布. 显然, 没有辐条的圆盘转动过程中铜丝圆环不能切割磁感线, 因而没有电磁感应现象不能产生感应电流.

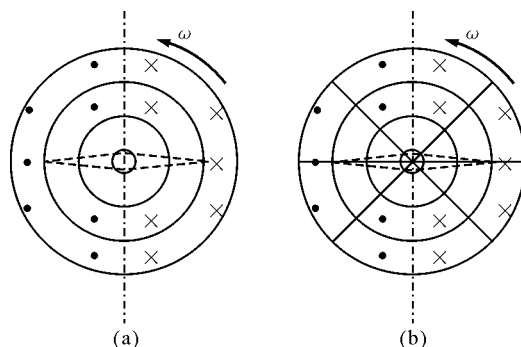


图 9

具有辐条的圆盘转动过程中, 每一根辐条都切割磁感线, 即每一根辐条都相当于多个首尾相连的电源, 而铜丝圆环相当于一个多电源复杂闭合电路的外电路. 因此, 由辐条和圆环构成的回路中有感应电流, 电流方向如图 10 所示. 容易分析, 圆环部分的电流产生的磁场对磁针能产生径向作用力但不能产生转动力矩, 而辐条中的电流产生的磁场能对磁针产生切向作用力从而产生转动力矩导致磁针转动.

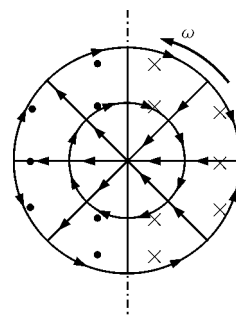


图 10

4 问题真相

关于阿拉果铜盘实验的电流问题以及 2015 年普通高等学校招生全国统一考试 (普通高中新课程标准 I 卷) 理科综合能力测试第 19 题的答案争议, 给出如下定论:

(1) 阿拉果铜盘实验中产生的是径向电流, 不是也不可能是涡电流. 径向感应电流是导致磁针随圆盘转动的根本原因.

(2)2015 年普通高等学校招生全国统一考试(普通高中新课程标准 I 卷)理科综合测试第 19 题的正确选项只能是“A”,即“圆盘上产生了感应电动势”。

5 历史回顾

阿拉果铜盘实验现象发现之后,立刻引起了当时科学界的极大关注,很多科学家、学者争相重复这个实验并尝试对之进行理论解释。比如,法国的毕奥(J. B. Biot, 1774 ~ 1862 年)和安培(A. M. Ampere, 1775 ~ 1836 年)、英国的巴洛(P. Barlow, 1776 ~ 1862 年)等都对这一问题进行过比较深入的研究,但终究都未能得出合理的结果。

法拉第(M. Faraday, 1791 ~ 1867 年)自 1825 年起,就开始关注阿拉果实验并着手展开研究。1831 年法拉第在发现电磁感应之后的 3,4 个月时间内,结合电磁感应的一些理论又对阿拉果实验现象进行细致的分析,最终给出科学而完美的解释。

6 结束语

全国高考是国家发现和选拔人才的重要途径和

手段。因此,高考试题的命制和评审都应该是很严密而系统的工程,原则上是不允许有错误和大的失误出现的。这就要求高考命题组的有关专家应该站在一个较高的理论高度,在命制每一道试题过程中,必须对试题涉及的理论知识、物理学史等方面有清晰、清醒的认识。同时,要求各省市高考评卷组的专家和评卷教师不仅要有一定的理论高度,而且要保持高度细心、细致和认真的工作作风,要善于发现问题,在正式评卷之前以及整个评卷过程中,必须对每一道试题及参考答案进行细致推敲和领悟,对有纰漏的问题进行讨论更正。只有这样,才能为每年数百万计的莘莘学子创建公平的竞争平台。

参考文献

- 1 王洛印. 法拉第对阿拉果实验现象的研究和解释. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2010, 12(4): 8 ~ 12
- 2 2015 年普通高等学校招生全国统一考试(普通高中新课程标准 I 卷)理科综合能力测试物理试题参考答案及评分标准.

Experimental Research and Analysis on Arago Copper-tray Experiment

——Thinking on a problem from 2015 College Entrance Exam

Huang Shaoshu

(No. 23 Middle School, Liupanshui, Guizhou 553001)

Abstract: A experimental study of the direction of the current and the magnetic rotation mechanism in Arago's experiment on copper plate; A reasonable answer and explanation to problem 9 in science comprehensive paper (I) of 2015 College Entrance Exam.

Key words: Arago's experiment on copper plate; college entrance exam science comprehensive paper; experimental study; explanation; thinking