

利用 DIS 和手机传感器定量验证法拉第电磁感应定律

黄朝阳 李德安

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2022-03-08)

摘要:法拉第电磁感应定律是高中物理教学的重要内容,因磁通量的变化率难以测量和计算,如何对其进行定量验证成为了教学中的一个难题,本研究利用 Dislab 传感器和手机传感器相结合进行了实验,并且成功验证了感应电动势与磁通量变化率成线性关系.

关键词:法拉第电磁感应定律;定量实验;Dislab 传感器;手机传感器

法拉第电磁感应定律是高中物理电磁学内容的一个重点,该定律揭示了影响感应电动势大小的因素,明确了感应电动势大小与磁通量变化率的定量关系.掌握法拉第电磁感应定律对于学生理解好电与磁的关系至关重要,新课标对本节课的要求为:通过实验,理解法拉第电磁感应定律^[1].

由于缺乏成熟可靠的定量实验器材,教材实验只是定性探究影响感应电动势大小的因素,只能得出感应电动势的大小与磁通量变化快慢有关而无法得出定量关系^[2].为了能够做到定量探究,许多学者做过研究,如用 DIS 实验系统可以定量验证导线切割磁感线时满足法拉第电磁感应定律,但这仅能验证一个特例^[3],自由落体电磁感应实验、旋转磁铁产生感应电动势的实验或是利用洛伦兹力演示仪结合亥姆霍兹线圈进行实验,可以验证感应电动势正比于磁通量变化率,但是实验装置过于复杂^[4-7].

基于此,为了既能做到定量验证,实验装置又不要过于复杂,本文利用 DIS 结合手机传感器,提出了一种定量验证法拉第电磁感应定律的简易方法^[8].

1 实验原理

根据法拉第电磁感应定律:电路中的感应电动势的大小,与穿过这一电路的磁通量变化率成正比,其表达式为

$$\epsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

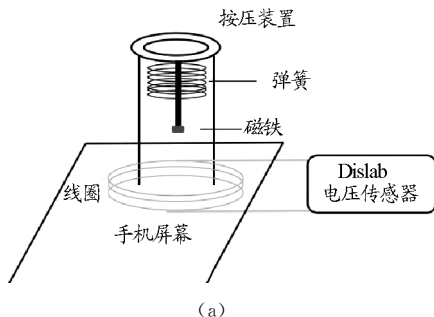
式中, ϵ 为电路的感应电动势, N 为电路线圈的匝数, Φ 为穿过电路的磁通量,负号则是楞次定律的表现,楞次定律表述为:闭合回路中感应电流的方向,总是使得它所激发的磁场来阻碍引起感应电流的磁通量的变化(增加或减少).对于磁通量的计算,则有

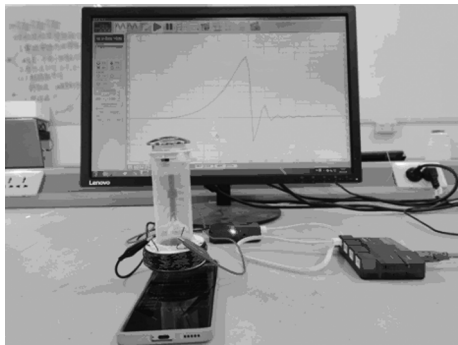
$$\Phi = BS \quad (2)$$

式中, B 为电路所在平面的磁感应强度, S 为平面面积^[9].

2 实验装置

实验装置如图 1 所示,按压装置上方有一按钮,按下后可由弹簧作用立即回弹,按钮下方连接直柄,直柄下粘有半径为 1 cm、厚度为 3 mm 的钕铁硼强磁片,按压装置下方放置有线圈,线圈匝数为 200 匝,面积为 0.003 m²,线圈与 Dislab 电压传感器(量程: -0.200 0 ~ 2.000 V)相连并置于手机磁传感器正上方,Dislab 电压传感器与数据采集器相连并接入电脑中.





(b)

图1 定量验证法拉第电磁感应定律实验装置图

当按下按压装置顶部的按钮时,磁铁将靠近线圈,使得穿过线圈的磁通量发生变化,从而线圈当中将产生感应电动势 ϵ ,线圈与 Dislab 电压传感器相连,电脑 Dislab 软件将显示出线圈的电压随时间变化的图像,由于线圈没有外接用电器,可将 Dislab 电压传感器所测电压近似等于线圈当中产生的感应电动势 ϵ .在磁铁下落时,手机磁传感器所在处的磁感应强度 B 将发生变化,由于线圈厚度较小(仅有 0.8 cm),可近似认为线圈平面的磁感应强度与手机磁传感器所在处的磁感应强度相等,利用手机“Phyphox”软件可以测量手机磁传感器所在处磁感应强度 B ,将数据导出,用“Origin”软件处理,可以得到磁感应强度随时间的变化率 $\frac{d\Phi}{dt}$.

由式(1)可知, ϵ 与 $\frac{d\Phi}{dt}$ 成线性关系,二者同步变化,当 $\frac{d\Phi}{dt}$ 达到极大值时, ϵ 也达到极大值,所以验证测量得到的 ϵ 极大值与 $\frac{d\Phi}{dt}$ 的同步极大值满足线性关系,即验证了法拉第电磁感应定律.

3 实验内容

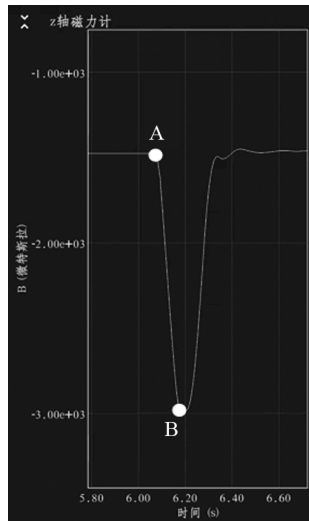
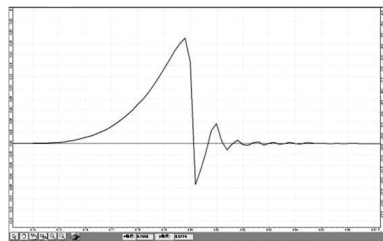
(1) 将按压装置和线圈置于手机磁传感器正上方,将线圈与 Dislab 电压传感器连接,Dislab 电压传感器与数据采集器相连并接入电脑中.

(2) 手机打开“Phyphox”软件,选择“磁力计”,点击“运行”按钮,手机磁传感器开始记录其所在处磁感应强度.

(3) 打开电脑“Dislab8.0”软件,使用“组合图线”功能,设置横坐标为时间,纵坐标为电压,设置采样频率为 500 ,并进行调零,点击“启动采集”按

钮,此时电压传感器记录线圈感应电动势 ϵ .

(4) 快速按下按压装置顶部按钮,手机磁传感器所在处磁感应强度 B 和电压传感器记录的线圈感应电动势 ϵ 将发生突变,如图2和图3所示.

图2 手机磁传感器记录磁感应强度 B 发生突变图3 电压传感器记录线圈感应电动势 ϵ 发生突变

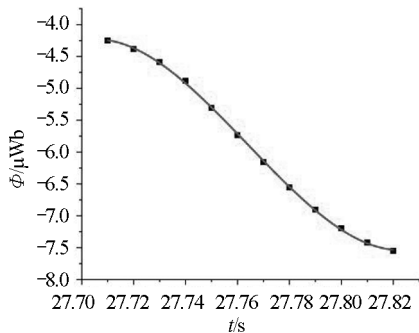
(5) 改变按下按钮的速度,多次重复步骤(4).

4 数据处理

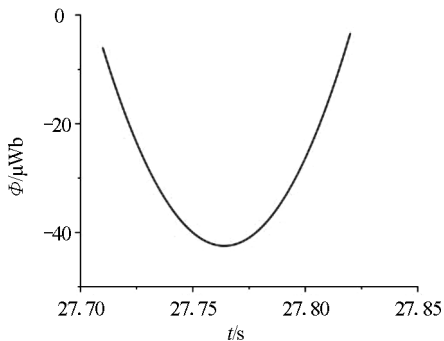
利用“Phyphox”软件记录磁感应强度 B 随时间的变化,再利用“Origin”软件对数据进行处理,得出磁通量的变化率 $\frac{d\Phi}{dt}$ 的极大值,同时利用“Dislab”软件记录感应电动势 ϵ 的极大值,最后利用“Origin”软件分析感应电动势 ϵ 与磁通量的变化率 $\frac{d\Phi}{dt}$ 的关系.

4.1 磁通量变化率的计算

将“Phyphox”软件记录的磁感应强度 B 随时间的变化数据导入“Origin”软件中,将数据乘以面积 S ,得到 Φ ,选取磁通量 Φ 发生突变的一段(对应于图2中的“A”“B”点之间),对数据点做散点图并进行多项式拟合,得到磁通量 Φ 随时间 t 变化的趋势图像,如图4所示.

图4 对磁通量 Φ 随时间变化数据进行多项式拟合

在进行多项式拟合之后,对拟合曲线进行求导,得到磁通量 Φ 随时间的变化曲线,如图5所示,可以通过图5求得 $\frac{d\Phi}{dt}$ 的极大值.

图5 磁通量 Φ 随时间变化曲线

4.2 感应电动势的计算

“Dislab”软件可直接记录感应电动势 ϵ 随时间

t 的变化图像,如图3所示,可直接利用“Dislab”软件内图像“最大值”功能,测出感应电动势 ϵ 的极大值.

4.3 分析感应电动势与磁通量变化率的关系

多次实验得到的磁通量变化率极大值 $\frac{d\Phi}{dt}$ 与感应电动势 ϵ 极大值数据如表1所示,为方便验证两者的线性关系,故对测量得到的磁通量变化率均取绝对值.

利用“Origin”软件将多次测量得到的磁通量变化率极大值 $\frac{d\Phi}{dt}$ 与感应电动势 ϵ 极大值进行线性拟合,结果如图6所示,表达式为

$$\epsilon = \left(196 \frac{d\Phi}{dt} - 0.00036 \right) \text{ V} \quad (3)$$

由式(1)可知,理论上斜率应等于匝数 $N = 200$,截距应当等于零,由数据报告可知实验图线斜率

$$k = (196.1213 \pm 1.57916) \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{Wb}^{-1}$$

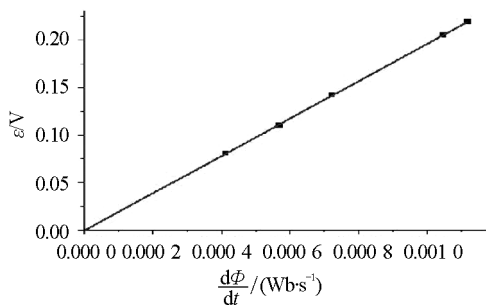
截距

$$b = (-3.5979 \times 10^{-4} \pm 0.0013) \text{ V}$$

两者的理论值与实验值在误差允许的范围内可以认为近似相等,对于感应电动势 ϵ 的测量,相对误差 E_r 也均小于5%,测量实验结果可信度高.

表1 实验数据记录

S/m^2	$\left \frac{dB}{dt} \right / (\mu\text{T} \cdot \text{s}^{-1})$	$\left \frac{d\Phi}{dt} \right / (\mu\text{Wb} \cdot \text{s}^{-1})$	$\epsilon_{\text{测}}/\text{V}$	$\epsilon_{\text{理论}}/\text{V}$	$E_r = \frac{ \epsilon_{\text{测}} - \epsilon_{\text{理论}} }{\epsilon_{\text{理论}}} / \%$
0.003	241 026.307 5	723.078 922 6	0.142	0.145	2.1
	372 849.213 4	1 118.547 640 0	0.219	0.224	2.2
	137 005.291 8	411.015 875 3	0.081	0.082	1.2
	348 888.447 1	1 046.665 341 0	0.205	0.209	2.0
	189 906.812 0	569.720 435 9	0.110	0.114	3.6

图6 磁通量变化率极大值 $\frac{d\Phi}{dt}$ 与感应电动势 ϵ 极大值关系图

可以发现,感应电动势 ϵ 极大值与磁通量变化率极大值 $\frac{d\Phi}{dt}$ 成线性关系,在误差允许的范围内可认为两者成正比,因感应电动势总与磁通量变化率同步变化,故可推出除极大值点以外的数据点,两者也应当满足正比关系,故法拉第电磁感应定律得到定量验证.

(下转第144页)

3.2 重视学科能力的培养

试题注重利用图像呈现丰富的物理信息,要求考生能够从图像中获取信息,建立不同信息之间的联系,从而构建正确的物理图景,建立物理模型.这就告诉我们,不要去追求难题、偏题,而应重视学科能力的培养,即学生的信息加工、逻辑推理、整合关联、迁移应用和应用数学处理物理问题等关键能力.因此,在课堂教学过程中要注重知识的生成过程,引导学生理解重要的物理概念和规律,深入思考和分析客观事物的本质属性及内在联系;培养学生学习、体会科学的研究方法,全面发展学生的“科学思维”素养.

总之,2022年的高考物理试题平实稳重、细腻深入,不追求新巧、灵妙,一步一个脚印地考查学生

的真功夫,足见命题人心态平和、稳重踏实.试题符合高中生的认知水平和能力,是一套成功的高考物理试题.

参考文献

- [1] 郭玉英.从三维课程目标到物理核心素养[J].物理教学,2017,39(11):2-4,8.
- [2] 潘怀宇,曾秀,李春密.基于核心素养的高考试题分析研究——以2020年全国高考物理I卷试题为例[J].物理教师,2020,41(11):81-87.
- [3] 黄恕伯.考查核心素养 引导学科教学——议2020年高考理综全国I卷物理试题特点[J].基础教育课程,2020(Z2):71-76.
- [4] 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版)[S].北京:人民教育出版社,2018.

Research on College Entrance Physics Examination Questions Based on Core Accomplishment

——Taking the Test Questions in 2022 Hebei College Entrance Examination as an Example

WANG Jian

(Baoding No. 2 Middle School, Baoding, Hebei 071000)

Abstract: Taking the 2022 Hebei Province college entrance examination physics test questions as an example, this paper analyzes the core accomplishment of the physics discipline examined by the college entrance examination physics test questions. The 2022 Hebei Physics College Entrance Examination questions not only examined the mastery of basic knowledge, namely physics concepts, but also examined the process of scientific exploration. At the same time, they also examined students' scientific thinking such as design thinking and innovative thinking.

Key words: core accomplishment; college entrance examination; physics; item analysis

(上接第131页)

5 结束语

本文提出了一个实验来定量研究法拉第电磁感应定律,该实验材料易得且易制作,对于具备DIS传感器和手机传感器的学校而言很容易执行,符合“低成本”实验理念,且实验精度高,能够很好地验证感应电动势与磁通量变化率成线性关系,同时,利用DIS传感器和手机传感器辅助实验,有利于培养学生的信息素养,提升学生的实验能力.

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修订)[S].北京:人民教育出版社,2020.
- [2] 罗国忠,李丽萍.“法拉第电磁感应定律”教学的失当问

- 题及改进[J].物理教师,2020,41(8):37-40.
- [3] 李强.利用DIS实验系统研究法拉第电磁感应定律的实验设计[J].物理教学,2013,35(7):21-22.
- [4] 唐建勋.几种定量验证法拉第电磁感应定律实验的鉴别[J].物理教师,2018,39(9):42-45.
- [5] 罗慧.定量探究“法拉第电磁感应定律”实验的改进[J].物理教师,2018,39(10):59-61.
- [6] 彭钟樊,代伟,王丹,等.法拉第电磁感应定律定量分析探究演示仪[J].物理实验,2017,37(5):55-57.
- [7] 陈健.法拉第电磁感应定律的简易验证[J].物理教师,2019,40(11):52-54.
- [8] A A Soares, T O Reis. Studying Faraday's law of induction with a smartphone and personal computer[J]. Physics Education, 2019, 54(5): 055006-1-055006-7.
- [9] 赵凯华,陈熙谋.新概念物理教程电磁学[M].2版.北京:高等教育出版社,2006.