

基于探索能力培养的大学物理实验层次设计及实践 ——以霍尔效应实验为例

韩广兵 高成勇 孙尚倩 刘凤芹 刘建强 徐建强

(山东大学物理学院, 山东 济南 250100)

摘要 基于实现培养大学生创新能力的目标, 结合大学物理实验课程实践性的特点, 通过对“霍尔效应”实验内容进行改进, 在完成载流子浓度测量的基本实验内容基础上, 引导学生分别固定 I_S 改变 I_M 、固定 I_M 改变 I_S 测量霍尔元件的灵敏度, 并对两个结果作比较, 使学生关注元件灵敏度的影响因素, 并通过实验数据加以验证, 寻找更适用于本实验参数应用的灵敏度, 并通过测量数据研究部分附加电压的影响大小。通过两学期的实践, 该设计有利于激发学生的探索意识, 进而培养学生分析和解决问题的能力, 实现了创新实践能力的提升。

关键词 物理实验; 探索意识; 霍尔效应; 分层次设计

HIERARCHICAL DESIGN AND ATTEMPT OF COLLEGE PHYSICS EXPERIMENTS BASED ON THE CULTIVATION OF EXPLORATORY CONSCIOUSNESS: TAKING THE HALL EFFECT EXPERIMENT AS AN EXAMPLE

HAN Guangbing GAO Chengyong SUN Shangqian LIU Fengqin LIU Jianqiang XU Jianqiang

(School of Physics, Shandong University, Jinan, Shandong 250100)

Abstract Based on the goal of cultivating college students' innovative abilities and considering the practical nature of university physics laboratory courses, we have improved the content of the “Hall Effect” experiment. On the basis of completing the basic experimental content of measuring carrier concentration, students are guided to measure the sensitivity of the Hall element by fixing I_S and change I_M , and fix I_M and change I_S to measure the sensitivity of Hall sensor. They are then asked to compare the two results. This approach encourages students to focus on the factors affecting the sensitivity of the element and to verify these factors through experimental data. They are also encouraged to search for a sensitivity more suitable for the experimental parameters and to study the magnitude of the influence of some additional voltages through measured data. Through two semesters of practice, this design has proven to

收稿日期: 2024-10-07

基金项目: 山东省教改项目 (Z2024030); 教育部产学合作协同育人项目 (231000532084716, 230802557121954); 山东大学教改项目 (2023Y298, 2024Z24); 教育部高等学校大学物理课程教指委立项项目 (DJZW202320hd, DJZW202363)。

通信作者: 徐建强, jqxu@sdu.edu.cn。

引文格式: 韩广兵, 高成勇, 孙尚倩, 等. 基于探索能力培养的大学物理实验层次设计及实践——以霍尔效应实验为例[J]. 物理与工程, 2025, 35(3): 237-244.

Cite this article: HAN G B, GAO C Y, SUN S Q, et al. Hierarchical design and attempt of college physics experiments based on the cultivation of exploratory consciousness: Taking the Hall effect experiment as an example[J]. Physics and Engineering, 2025, 35(3): 237-244. (in Chinese)

be conducive to stimulating students' exploratory awareness, thereby fostering their ability to analyze and solve problems, and ultimately enhancing their innovative practical capabilities.

Key words physical experiments; exploring consciousness; Hall effect; hierarchical design

1 现状分析

在新时代科技革命和产业革命背景下高等院校工程实践教学改革的目标是培养卓越的工程创新型人才^[1]。具体要求有:深厚的工程实践能力、突出的创新能力、良好的沟通能力、终身学习能力、宽广的国际视野、发现问题以及解决复杂工程问题的能力^[2-4]。钟登华也认为未来的高素质工程人才应当具备以下核心素养:家国情怀、创新创业、跨学科交叉融合、批判性思维、全球视野、自主终身学习、沟通与协商、工程领导力等^[5,6]。

大学物理实验课程在高校中是一门针对低年级学生开设的基础实验课程,是培养学生实验和实践能力的开端与基础,同时也是培养学生合作意识、科学素质、创新能力的重要途径^[7],可为学生后续的一系列专业课程打下坚实的基础。因此,在新工科建设背景下,高校大学物理实验教师应该积极开展教学改革,转变大学物理实验的教学理念,改进教学方法及教学内容,为培养新工科创新型人才做出应有的贡献^[8]。

目前本科院校大多采用的传统大学物理实验课程的考核过于强调实验结果,没有重视对学生动手能力和思维能力的提升,难以体现学生利用物理知识解决实际问题的能力,导致学生只注重实验结果的正确性而无心深入探究实验原理和实验过程中创新性思维能力的培养,偏离了国家新工科建设对强化学生创新性思维能力培养的要求;另外实验教学开设项目较陈旧,多为验证性实验或测量型实验,很难满足学生多元化的学习需求;还有实验课程评价体系较单一,多数以实验报告为评价标准^[9]。以上情况都不利于培养学生的创新能力。近年来实验数据已用 Matlab^[10], Origin^[11], Excel^[12]等软件采用最小二乘法或曲线拟合的方法处理,方便快捷,节省不少时间,使课堂实验内容可以灵活扩充和加深,可更好地培养学生的综合实验能力。

本文以改进大学物理实验中“霍尔效应实验”为例,在完成载流子浓度测量的基本实验内容基

础上,引导山东大学工科院系一、二年级本科学生主动对实验结果进行分析、对实验参数进行优化,对实验方法和技术路线等方面进行评估、拓展。学生能够亲自改进实验内容和方法,使学生深入了解实验本质和原理,锻炼学生批判性思维能力、自我学习能力,从而较好地培养了实践能力和创新能力。

2 设计思路

新工科背景下大学物理实验课要注重对学生工程实践能力的培养,将课堂教学以教师为中心转向以学生为中心,教师需要启发学生积极参与到物理实验中来,调动他们学习的能动性和主动性,引导他们在实验中敢于探索、发现物理实验中的问题并勇于深入探究,这样既能培养学生的团队精神,也能促使学生相互学习、共同进步,增强学生对物理实验的学习兴趣,锻炼自己的创新能力。

我们为引导学生积极参与创新实验教育全过程,主要做了3个步骤的工作。首先,在实验课程的讲授中引入霍尔效应在生产生活中的应用示例,以便引起学生的兴趣,如转速测量、开门报警器、汽车汽缸点火器中的应用等^[13-14];随后在课堂实验环节对教材内容拓展,分别固定 I_S 改变 I_M 、固定 I_M 改变 I_S 测量霍尔元件的灵敏度,并对两个结果作比较,引导学生关注元件灵敏度的影响因素,并通过实验数据加以验证,寻找更适合于本实验参数应用的灵敏度,并用于测量磁体气缝中的磁场分布;最后通过测量数据研究部分附加电压的影响大小。通过全过程引导学生的探索意识,锻炼其批判性思维能力、分析问题、探究问题和解决问题的能力,提高创新能力。

3 实验方案

3.1 霍尔效应及其测磁场原理

1879 霍尔在研究载导体在磁场中受力作用时发现了霍尔效应。基于霍尔效应制成的霍尔

元件是一种磁电转换元件(又称霍尔传感器),在自动化、计算机和信息处理技术等方面得到了广泛应用。在一定的温度下,霍尔元件的霍尔电压计算公式为

$$V_H = K_H I_S B \quad (1)$$

式中 K_H 叫作霍尔元件的灵敏度,由霍尔片自身的材料构成以及结构和尺寸决定,是反映霍尔元件磁电变换大小的一个重要参数。此式中各个物理量的单位是: V_H 用 mV, I_S 用 mA, B 用 T(特斯拉),则 K_H 用 mV/(mA·T)。

如果 K_H 已知,只要测得 V_H 及工作电流 I_S ,即可由式(1)算出待测的磁场 B ,这就是用霍尔元件测量磁场的基本原理。

实际上,在测量 V_H 时,不可避免地会产生一些副效应,由此而产生的附加电压叠加在霍尔电压上,形成测量系统误差,其中主要有不等位电压 V_0 ,爱廷豪森(Etinghausen)效应电压 V_E ,伦斯脱(Nernst)效应电压 V_N ,里纪-勒杜克(Righi-Le-duc)效应电压 V_R 。在确定的磁场 B 和工作电流 I_S 下,实际测出的电压是 V_H 、 V_0 、 V_E 、 V_N 和 V_R 这 5 种电压的代数和^[15]。为了减少和消除以上效应引起的附加电压,利用这些附加电压与霍尔元件工作电流 I_S 、磁场 B (即相应的励磁电流 I_M)的关系,采用对称(交换)测量法测霍尔电压

$$\begin{aligned} \text{当} +I_M, +I_S \text{ 时 } V_1 &= (+V_H + V_E + V_0 + V_N + V_R) \\ \text{当} -I_M, +I_S \text{ 时 } V_2 &= (-V_H - V_E + V_0 - V_N - V_R) \\ \text{当} -I_M, -I_S \text{ 时 } V_3 &= (+V_H + V_E - V_0 - V_N - V_R) \\ \text{当} +I_M, -I_S \text{ 时 } V_4 &= (-V_H - V_E - V_0 + V_N + V_R) \end{aligned} \quad (2)$$

对以上四式作如下运算:

$$V_H = (V_1 - V_2 + V_3 - V_4)/4 - V_E \quad (3)$$

可见,除 V_E 以外的其他副效应电压会全部消除,而在小电流、弱磁场下, V_E 很小可以忽略不计,故有

$$V_H = (V_1 - V_2 + V_3 - V_4)/4 \quad (3')$$

这就是基本上消除了附加效应之后,测量 V_H 的计算公式。磁场 B 由公式(1)计算得到。

3.2 实验过程及结果

实验所用仪器为 COC-HL-C 型霍尔效应实验仪,其给定灵敏度 $K_{H0} = 167 \text{ mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$,电磁铁气隙中心的磁感应强度大小可由 $B = C \cdot I_M$ 求得,其中 $C = 91.06 \text{ mV}/\text{A}$ 。

3.2.1 霍尔效应及其灵敏度

(1) 将霍尔元件置于电磁铁气隙中心,并与磁场垂直。固定励磁电流 $I_M = 300 \text{ mA}$,调节工作电流 $I_S = 1.00 \sim 10.00 \text{ mA}$,分别测量相应电压数值填入表 1,并计算相应 V_H 的值。通过 Excel 绘出 $V_H - I_S$ 曲线,求出斜率 K_1 ($K_1 = V_H/I_S$)。可知霍尔元件灵敏度与此斜率的关系为: $K_{H1} = K_1/CI_M$ 。

表 1 测量 $V_H - I_S$ 关系 $I_M = 300 \text{ mA}$

I_S / mA	V_1 / mV + $I_M, +I_S$	V_2 / mV - $I_M, +I_S$	V_3 / mV - $I_M, -I_S$	V_4 / mV + $I_M, -I_S$	V_H / mV
1.00	4.33	-4.85	4.85	-4.34	4.59
2.00	8.64	-9.65	9.65	-8.63	9.14
3.00	12.88	-14.41	14.41	-12.87	13.64
4.00	17.21	-19.28	19.29	-17.23	18.25
5.00	21.56	-24.12	24.12	-21.52	22.83
6.00	25.86	-28.99	29.03	-25.85	27.43
7.00	30.14	-33.77	33.77	-30.12	31.95
8.00	34.39	-38.55	38.60	-34.38	36.48
9.00	38.73	-43.38	43.42	-38.69	41.06
10.00	43.02	-48.17	48.27	-42.97	45.61

由图 1 可见, V_H 和 I_S 成线性关系,由拟合数据可计算得到 $K_{H1} = 166.9 \text{ mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$,与厂家给定值符合很好。

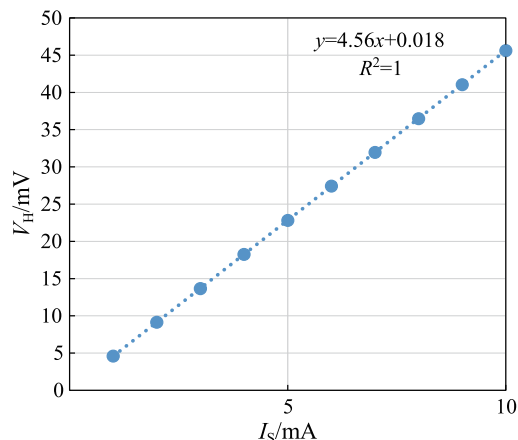


图 1 励磁电流 I_M 为 300mA 时, V_H 随 I_S 的变化关系

(2) 保持霍尔元件位于电磁铁气隙中心,固定 $I_S = 3.00 \text{ mA}$,调节 $I_M = 100 \sim 1000 \text{ mA}$,分别测量电压值 V_i ,并计算 V_H ,填入表 2 并绘出 $V_H - I_M$

曲线,分析磁感应强度 B 与励磁电流 I_M 之间的关系,求出斜率 $K_2(K_2=V_H/I_M)$,进一步可求出灵敏度 $K_{H2}=K_2/CI_S$ 。

表 2 测量 V_H - I_M 关系 $I_S=3.00\text{mA}$					
I_M/mA	V_1/mV $+I_M,+I_S$	V_2/mV $-I_M,+I_S$	V_3/mV $-I_M,-I_S$	V_4/mV $+I_M,-I_S$	V_H/mV
000	-0.65	-0.80	0.90	0.65	0.10
100	3.82	-5.40	5.38	-3.82	4.61
200	8.33	-9.92	9.88	-8.32	9.11
300	12.85	-14.41	14.39	-12.82	13.62
400	17.35	-18.92	18.91	-17.36	18.14
500	21.87	-23.45	23.4	-21.89	22.65
600	26.35	-27.97	27.91	-26.38	27.15
700	30.87	-32.44	32.44	-30.91	31.67
800	35.38	-36.87	36.95	-35.38	36.15
900	39.90	-41.42	41.46	-39.86	40.66
1000	44.39	-45.93	45.96	-44.38	45.17

由图 2 可以看出 V_H 和 I_M 成线性关系,由图中数据计算可得 $K_{H2}=165.0\text{mV}/(\text{mA}\cdot\text{T})$ 。

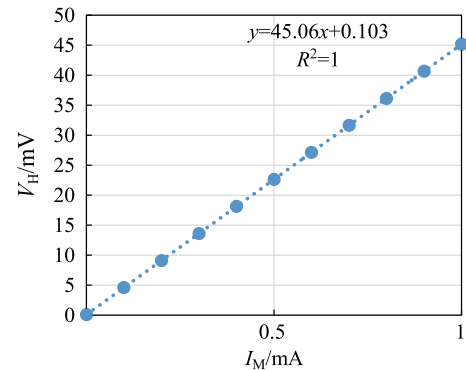


图 2 工作电流 I_S 为 3.00mA 时, V_H 随 I_M 的变化关系

可见固定工作电流 I_S 与固定励磁电流 I_M 测得灵敏度的数值有所不同,相差约 1.2% 。

在上述实验结果的基础上,引导学生深入了解霍尔元件的灵敏度及其影响因素。如前所述,灵敏度由霍尔片自身的材料构成以及结构和尺寸决定,可表示为 $K_H=1/(ned)$,其中 n 为载流子浓度, e 为电荷电量, d 为霍尔元件厚度。由于霍尔材料本身特性以及使用时受到环境、温升、散热等条件的影响,特别是载流子浓度易受温度影响,因此灵敏度与具体使用条件有关。如图 3 给出了

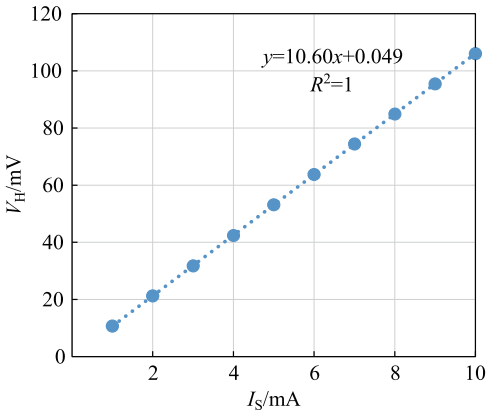


图 3 I_M 为 700mA 时 V_H 随 I_S 的变化关系

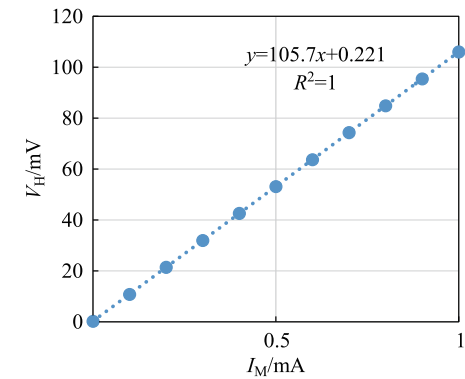


图 4 I_S 为 7.00mA 时 V_H 随 I_M 的变化关系

I_M 为 700mA 时 V_H 随 I_S 的变化关系,由拟合数据计算可得灵敏度为 $166.4\text{mV}/(\text{mA}\cdot\text{T})$;图 4 给出了 I_S 为 7.00mA 时, V_H 随 I_M 的变化关系,可知灵敏度为 $166.0\text{mV}/(\text{mA}\cdot\text{T})$ 。可见不同测量条件下测得的灵敏度系数稍有不同。

霍尔元件的使用手册中给出的灵敏度是有条件的:在室温下,当输入 $I_S=1\text{mA}$ 的工作电流,在垂直于磁感面方向施加 0.1T 的外磁场,测出其霍尔电极上产生的霍尔电压值,以此计算出霍尔元件的灵敏度。在此条件下测得本次实验仪器所用霍尔元件的灵敏度为 $167.7\text{mV}/(\text{mA}\cdot\text{T})$ 。

由上可知,灵敏度与具体的使用环境有关,具体应用中怎么选择灵敏度呢?在此可以启发学生思考这种具体问题,培养其勤思考的习惯和能力,而参数的选择与具体的使用条件有关系。本实验测量要求使用 5.00mA 的工作电流,测量 I_M 在 500mA 时 C 型磁体气缝内的磁场分布,由此可知待测磁场小于等于 $I_M=500\text{mA}$ 时气缝中心处的磁场,因此可以固定 $I_S=5.00\text{mA}$,测量 $I_M=0\sim 500\text{mA}$ 时对应的 V_H ,如表 3,通过 Excel 绘出 V_H -

I_M 曲线(见图 5),拟合出其斜率 K_3 ,进一步计算出灵敏度 $K_{H3}=164.7\text{mV}/(\text{mA}\cdot\text{T})$ 。

表 3 测量 V_H-I_M 关系 $I_S=5.00\text{mA}$

I_M/mA	V_1/mV $+I_M, +I_S$	V_2/mV $-I_M, +I_S$	V_3/mV $-I_M, -I_S$	V_4/mV $+I_M, -I_S$	V_H/mV
000	-1.31	-1.43	1.43	1.17	0.095
100	6.37	-9.01	9.00	-6.84	6.37
200	13.89	-16.53	16.53	-13.90	13.89
300	21.40	-24.01	24.04	-21.43	21.40
400	28.90	-31.57	31.56	-28.99	28.90
500	36.43	-39.07	39.07	-36.46	36.43

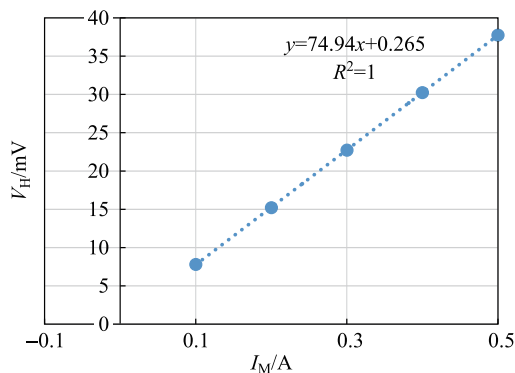


图 5 $I_S=5.00\text{mA}$ 时的 V_H-I_M 曲线

表 4 给出了 $I_S=5.00\text{mA}$ 、 $I_M=500\text{mA}$ 时测定的 C 型磁体气缝内磁场大小随离开磁体中心的水平位移 x 的关系,其中 B_0 的大小用 K_{H0} 计算

得到, B_3 的大小是用 K_{H3} 计算得到的, B_c 为用商用特斯拉计(TM901)测量的结果。可见三种方法所得磁场 B 的大小相差不大,比较来看 B_3 更接近于测量值 B_c ,由此可见,根据待测磁场范围确定相应的灵敏度系数是有必要的。但在测量精度要求不高的情况下,可以用厂家给定的灵敏度数值计算待测磁场大小。

霍尔元件大都是由载流子浓度较低的半导体材料制成,自身的温度特性会直接影响霍尔传感器的使用效果。在工程应用时,可以采用恒压供电输入、恒流源供电补偿、输入端和输出端同步补偿的方式,增加对补偿电路参数的控制条件,提高霍尔传感器的温度稳定性和环境适应能力^[16]。在高精密测量中,工作电流也可以用交流电,使霍尔片两端来不及产生温差^[17]。另外也可用恒温槽来减小温度变化的影响。

3.2.2 附加电压的影响大小

为了增强学生对霍尔效应相关知识学习的完整性,在完成上述基本实验内容的基础上,进一步鼓励学生对其有关内容进行扩展研究。本实验测量过程中存在多种附加电压,在测量原理部分已有简单介绍,可通过设问,引导学生思考:能否通过上节的实验数据去估算它们的大小或者对所测霍尔电压结果的影响大小? 应该如何计算? 更进一步提问学生为什么可以采用对称(交换)测量法测量霍尔电压? 通过如此引导,激发学生的研究兴趣,让学生对霍尔电压影响因素进行实验考察,

表 4 测量 $B-x$ 关系, $I_S=5.00\text{mA}$, $I_M=500\text{mA}$

x/mm	V_1/mV $+I_M, +I_S$	V_2/mV $-I_M, +I_S$	V_3/mV $-I_M, -I_S$	V_4/mV $+I_M, -I_S$	V_H/mV	B_0/mT	B_3/mT	B_c/mT
0.00	36.79	-39.41	39.43	-36.72	38.08	45.61	46.25	46.45
2.00	36.81	-39.51	39.53	-36.80	38.16	45.70	46.34	46.50
4.00	36.96	-39.59	39.66	-36.95	38.29	45.86	46.50	46.60
6.00	37.05	-39.47	39.71	-37.07	38.33	45.89	46.54	46.58
8.00	37.20	-39.88	39.90	-37.21	38.55	46.16	46.81	46.68
10.00	37.35	-40.07	40.04	-37.36	38.71	46.35	47.00	46.72
12.00	37.45	-40.22	40.17	-37.51	38.84	46.51	47.16	46.90
14.00	37.81	-40.47	40.49	-37.81	39.14	46.84	47.49	46.95
20.00	35.35	-38.02	38.04	-35.36	36.69	43.94	44.55	45.02
22.00	20.91	-23.60	23.61	-20.86	22.24	26.64	27.01	29.50
24.00	14.73	-17.45	17.46	-14.73	16.09	19.27	19.54	20.20

既充实了实验内容也实现了分层次教学需求。

由上可知,采用对称(交换)测量法测量霍尔电压可以消除大部分附加电压,这里我们可以根据测量数据评估部分附加电压的相对大小。由公式(2)可得

$$V_N + V_R = (V_1 - V_2 - V_3 + V_4) / 4 \tag{4}$$

$$V_0 = (V_1 + V_2 - V_3 - V_4) / 4 \tag{5}$$

用表 1 中的数据($I_M=300\text{mA}$)可以得到 $V_N + V_R$ 和 V_0 的数值,列于表 5 中。可以看到随着 I_S 的增加, $V_N + V_R$ 值的大小呈振荡变化,而 V_0 的大小呈线性增长,可知 V_0 大小主要由 I_S 的大小来决定,而 $V_0 / (V_H + V_E)$ 的值基本不变。

表 5 测量部分附加电压随 I_S 的变化($I_M=300\text{mA}$)

$I_S /$ mA	$V_H + V_E /$ mV	$V_N + V_R /$ mV	$V_0 /$ mV	$(V_N + V_R) /$ $(V_H + V_E)$	$V_0 /$ $(V_H + V_E)$
1.00	4.5925	-0.0025	-0.2575	-0.00054	-0.056
2.00	9.1425	0.0025	-0.5075	0.00027	-0.056
3.00	13.6425	0.0025	-0.7675	0.00018	-0.056
4.00	18.2525	-0.0075	-1.0325	-0.00041	-0.057
5.00	22.83	0.01	-1.290	0.00044	-0.057
6.00	27.4325	-0.0075	-1.5775	-0.00027	-0.057
7.00	31.95	0.005	-1.820	0.00016	-0.057
8.00	36.48	-0.01	-2.095	-0.00027	-0.057
9.00	41.055	0	-2.345	0.00	-0.057
10.00	45.6075	-0.0125	-2.6125	-0.00027	-0.057

同样,用表 2 中的数据($I_S=3.00\text{mA}$)可进一步得到如表 6 中的数据。可见随着 I_M 的增加, $V_N + V_R$ 的大小呈振荡变化,且数值大小相对于 V_H 很小,而 V_0 的大小变化不大,可知 V_0 主要由 I_S 的大小来决定,而 $V_0 / (V_H + V_E)$ 的大小随 I_M 的增加而减小。由此 I_S 决定 V_0 的绝对量值, I_M 影响 V_0 相对于 $(V_H + V_E)$ 的量值。

从表 5 和表 6 还可以看到, $V_N + V_R$ 的数值很小(与仪器分辨能力相当),因此霍尔电压测量中附加电压主要来源于 V_0 的影响。而 V_0 主要由 I_S 的大小来决定, I_S 越大 V_0 的数值越大(见表 5),但其相对于 $V_H + V_E$ 的大小($V_0 / (V_H + V_E)$)又随着磁场的增大而减小(表 6),如 I_M 为 300mA 时, $V_0 / (V_H + V_E)$ 约为 5.7%,而 I_M 为 800mA 时, $V_0 / (V_H + V_E)$ 约为 2.1%。因此本实验用 $I_M=500\text{mA}$ 来测磁铁气缝中磁场大小分布,其 $V_0 /$

表 6 测量部分附加电压随 I_M 的变化($I_S=3.00\text{mA}$)

$I_M /$ mA	$(V_H + V_E) /$ mV	$V_N + V_R /$ mV	$V_0 /$ mV	$(V_N + V_R) /$ $(V_H + V_E)$	$V_0 /$ $(V_H + V_E)$
0.000	0.10	-0.025	-0.75	-0.25	-7.5
0.100	4.605	0.005	-0.785	0.0011	-0.17
0.200	9.1125	0.0125	-0.7875	0.0014	-0.086
0.300	13.6175	0.0125	-0.7825	0.00092	-0.057
0.400	18.135	0.00	-0.78	0.00	-0.044
0.500	22.6525	0.0075	-0.7725	0.00034	-0.034
0.600	27.1525	0.0075	-0.7875	0.00023	-0.029
0.700	31.665	-0.01	-0.775	-0.00032	-0.025
0.800	36.145	-0.02	-0.765	-0.00055	-0.022
0.900	40.66	0.00	-0.78	0.00	-0.020
1.000	45.165	-0.005	-0.78	-0.00011	-0.018

$(V_H + V_E)$ 约为 3.4%。如要求任一次测量的 V_i 相对于 $(V_H + V_E)$ 差异小于 2.0%,则 $I_M=900\text{mA}$ 即可。

提醒学生分析比较表 5 和表 6 的数据,尤其要注意到 V_0 主要由 I_S 的大小来决定,让学生通过实验数据深入理解 V_0 产生的物理机理。不等位电压 V_0 是霍尔片上下两端的电极不对称和霍尔材料具有非均匀性导致的,与霍尔片的制作工艺有关^[18],霍尔片制作好后,输出电极位置确定。如前所述,不等位电压 V_0 的大小与通过霍尔片电流 I_S 基本成正比,而与磁场无关,这就是可以通过改变磁场方向消除不等位电压的原因。

由于附加电压 V_E 随电流和磁场的方向改变规律与 V_H 相同,所以换向对称法测量无法将其消除,鼓励学生查阅相关资料并设计实验对其大小进行估算。例如,可采用交流工作电流方法测量^[19],当工作电流有效值在 1~10mA 时,其大小约为 V_H 的 3.2%~4.2%。也可采用固定变量法对进行定量评估^[20]。

4 实践效果

首先,学生实验意识和实验主动性有大幅提高。通过近两学期实验成绩和教学反馈,学生的实验兴趣、实验技能掌握程度、课堂参与度以及实验报告质量均有显著提高,主动探索实验中的问题,以及对其分析和解决意识和能力得以提升。

其次,不同层次学习基础能力的学生发展均

得到体现。学生在学习过程中能相互交流、相互合作、共同进步。在不同层次实验内容有不同操作成绩的驱动下,激发学生的好奇心、勇于怀疑和尝试,使其自主寻求答案,从而培养了学生系统思维观,提高了合作和创新能力。

5 结语

教学是人才培养的主渠道,教学模式是在一定理念指导下较为稳定的活动结构框架和活动程序。当今时代在教学模式上应注重师生平等合作、探究互动以及工程技术知识在具体问题中的实践应用,注重培育学生的工程思维、创新素质、设计技术和实践能力。本文通过对霍尔效应实验教学方法和内容的改进,一方面,使学生对霍尔效应有了更深层次的了解,尤其是验证了灵敏度与具体的使用条件相关,加强了对物理实验基础知识、基本方法、基本技能的训练和培养,让学生系统而全面地掌握物理实验的基本思想;另一方面,推进了学生自主学习意识和求知热情,改变教与学的角色地位,注重理论与实践结合,探究与体验并重,内容和目标统一,利用培养方案中规定的实验课程项目,适当设置难度层次,将学生“做中学”与“学中做”充分融合,学做互促,知行合一,增强学生的学习兴趣,提高教学质量,有效地培养了学生的探索 and 创新能力。

参 考 文 献

- [1] 唐波,黄力,袁发庭,等. 新工科建设下的专业课程实验教学模式改革[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(5): 235-238.
TANG B, HUANG L, YUAN F T, et al. Reform on experiment teaching mode of professional courses based on construction of new engineering[J]. Experimental Technology and Management, 2019, 36(5): 235-238. (in Chinese)
- [2] 顾佩华. 新工科与新范式: 实践探索和思考[J]. 高等工程教育研究, 2020(4): 1-19.
GU P H. Practical exploration and new paradigm transformation of emerging engineering education[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2020(4): 1-19. (in Chinese)
- [3] 韩伟,段海峰,江丽珍,等. 新工科背景下高校工程训练中心的建设与管理[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(7): 238-242.
HAN W, DUAN H F, JIANG L Z, et al. Construction and management of university engineering training center under background of new engineering[J]. Experimental Technology and Management, 2020, 37(7): 238-242. (in Chinese)
- [4] 陈建,朱鲁闯,王杰,等. 新工科背景下工程训练创新实践课程体系研究[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(6): 84-88.
CHEN J, ZHU L C, WANG J, et al. Research on Engineering Training Innovative Practical Course System Under the Background of New Engineering[J]. Experiment Science and Technology, 2021, 19(6): 84-88. (in Chinese)
- [5] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.
ZHONG D H. Connotations and actions for establishing the emerging engineering education[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2017(3): 1-6. (in Chinese)
- [6] 居里锴,徐建成,周成. 新工科视域下高等工程实践教学的理性反思与体系改造[J]. 江苏高教, 2022(12): 128-131.
JU L K, XU J C, ZHOU C. Rational reflection and system reform of higher engineering practice teaching from the perspective of emerging engineering education [J]. Jiangsu Higher Education, 2022(12): 128-131. (in Chinese)
- [7] 周政,彭立新,郭刚,等. 地方应用型高校大学物理实验教学改革初探[J]. 安顺学院学报, 2022, 10, 24(5), 124-128.
ZHOU Z, PENG L X, GUO G, et al. The primary exploration of educational reform of college physics experiment teaching in local application-orientation colleges[J]. Journal of Anshun University, 2022, 10, 24(5), 124-128. (in Chinese)
- [8] 黄文奇,于岩. 大学物理实验课程思政和创新教育探索[J]. 物理通报, 2022(8): 108-112.
HUANG W Q, YU Y. Exploration on ideological and political education of curriculum and innovation education of university physics experiment course [J]. Physics Bulletin, 2022(8): 108-112. (in Chinese)
- [9] 朱盼盼,王旗. 以创新能力培养为目标的大学物理实验教学改革[J]. 大学物理实验, 2017, 30(3): 146-148.
ZHU P P, WANG Q. The Experimental Teaching Reform under the Cultivation Model of Innovative Talents [J]. Physical Experiment of College, 2017, 30(3): 146-148. (in Chinese)
- [10] 李斌. MATLAB在大学物理实验常用数据处理中的应用[J]. 大学物理实验, 2018, 31(4): 93-96.
LI B. Application of MATLAB in Common Data Processing in College Physics Experiment [J]. Physical Experiment of College, 2018, 31(4): 93-96. (in Chinese)
- [11] 陈喜燕,李雪,李亚蒙,等. Origin 软件在处理物理实验角度数据的应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(7): 135-138.
CHEN X Y, LI X, LI Y M, et al. Origin Used in Processing Angle Data from Physics Experiments [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2015, 34(7): 135-138. (in Chinese)
- [12] 罗小成,蔡雨,王晨霖,等. Excel 表格在物理实验数据处理中的应用[J]. 内江师范学院学报, 2022, 37(8): 101-

- 108.
- LUO X C, CAI Y, WANG C L, et al. The programming and application of Ecel in data processing of physics experiment[J]. Journal of Neijiang Normal University, 2022, 37(8): 101-108. (in Chinese)
- [13] 张欣, 陆申龙. 新型霍尔传感器的特性及在测量与控制中的应用[J]. 大学物理, 2002, 21(10): 28-31.
- ZHANG X, LU S L. The characteristics of the new type integrated Hall sensors and their applications in measurement and control[J]. College Physics, 2002, 21(10): 28-31. (in Chinese)
- [14] 李昂, 王天会, 汪亮, 等. 工科物理实验教学中传感器应用实验综述[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(3): 217-220.
- LI A, WANG T H, WANG L, et al. Review on College Physics Experiments of the Applications of Sensors[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2017, 36(3): 217-220 (in Chinese)
- [15] 安利民, 侯美娜. 综合设计性大学物理实验的探索[J]. 课程教育研究, 2020(13): 192-192.
- AN L M, HOU M N. Exploration of comprehensive designed University Physics Experiments[J]. Course Education Research, 2020(13): 192-192. (in Chinese)
- [16] 王锋, 刘美全, 范江玮. 霍尔传感器温度补偿方法研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(6): 97-99.
- WANG F, LIU M Q, FAN J W. Research on the temperature compensation for hall sensor[J]. Electronic Measurement Technology, 2014, 37(6): 97-99. (in Chinese)
- [17] 刘昶丁, 柳纪虎. 用交流方法消除霍尔效应中的副效应问题的探讨[J]. 半导体技术, 1987, 14(1): 49-52.
- LIU C D, LIU J H. Exploration of Removing Side Effects in Hall Effect by Alternating Current Method[J]. Semiconductor Technology, 1987, 14(1): 49-52. (in Chinese)
- [18] 李潮锐. 霍尔效应测量中的不等位热扩散电势差[J]. 物理与工程, 2023, 33(1): 83-87.
- LI C R. Difference from unequal potential of thermal diffusion current in the measurement on Hall effect[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(1): 83-87. (in Chinese)
- [19] 魏国荣, 薄永红. 对霍尔效应实验系统误差的探究[J]. 内燃机与配件, 2020(24): 1-4.
- WEI G R, BO Y H. Exploration of system error in hall effect experiment [J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2020(24): 1-4. (in Chinese)
- [20] 张新琴, 张艳艳, 周茵, 等. 霍尔效应实验自主分层次教学探究[J]. 大学物理实验, 2024, 37(2): 125-130.
- ZHANG X Q, ZHANG Y Y, ZHOU Y, et al. Research on independent hierarchical teaching college physical experiment of hall effect[J]. Physical Experiment of College, 2024, 37(2): 125-130. (in Chinese)