

霍尔效应实验教学探讨

倪燕茹, 仲伟博

(泉州师范学院 物理与信息工程学院, 福建 泉州 362000)

摘 要:简单介绍了霍尔效应的发现过程和发展历程,探讨了如何通过霍尔效应相关知识的教学有意识地培养学生的创新思维意识;通过霍尔效应实验的霍尔电压的实际计算公式的推导,还探讨了“对称测量法”在消除实验系统误差方面的作用,从而培养学生的科学方法论观念.这对于探讨通过大学物理实验教学培养学生的科学素质是有实际意义的.

关键词:霍尔效应;霍尔电压;对称测量法;发展观

DOI:10.13603/j.cnki.51-1621/z.2015.10.014

中图分类号:G624.0 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1785(2015)10-0071-04

“霍尔效应”从1879年发现至今已有136年的历史了,而“量子霍尔效应”从1980年发现至今也有35年的历史了.纵观“霍尔效应”的整个历史发展长河,可以说“霍尔效应”在物理学的发展进程中占有重要的地位.基于“霍尔效应”为工作基础的实际运用,也已被广泛应用于很多领域.因此,在大学物理理论课教材中都有关于“霍尔效应”的理论知识;在大学物理实验课教材中都有“霍尔效应”实验项目.因而,有不少关于“霍尔效应”理论和实验教学研究方面的探讨文献,尤其是在实验教学方面.比如:霍尔效应的发现^[1],HL-5霍尔效应测试仪测量磁场曲线存在畸变的分析^[2],一种霍尔效应测量磁场的设计方法^[3],霍尔效应实验对学生科研能力培养初探^[4],霍尔效应实验误差分析^[5],霍尔效应实验的改进和扩展^[6]等等.而本文将探讨如何通过霍尔效应实验的教学对学生进行创新思想教育、方法论教育、发展观教育等,从而培养学生的科学素质,这对“霍尔效应”实验教学具有一定的实际参考意义.

1 霍尔效应与创新思想教育

在大学物理教材电磁学部分的相关内容中,“霍

尔效应”知识基本会编排在“带电粒子在磁场中的运动”内容之后作为典型应用举例.而大学物理实验教材中的“霍尔效应”实验项目就是对大学物理理论课相对应的霍尔电压公式中相关物理量的定量测量与定性描绘.这部分知识的教学是大学物理理论与大学物理实验内容有机融合的一个完美体现的例证.因此,有关“霍尔效应”实验项目的教学方法是重要的,采用合适的教学方法可以起到一举多得的良好教学效果.

思想是动力的源泉.在当今强调注重培养大学生的创新思维、创新能力等科学素质的情况下,教师探讨如何通过教学手段和方法对大学生进行创新思想教育就尤为重要了.可以想象,如果没有思想观念的不断创新,无法想像人类社会如何发展进步.正如启蒙思想家伏尔泰所说“不是事业为了思想,而是思想为了事业”.为此,可以在学生做“霍尔效应”实验之前,先让学生了解“霍尔效应”实验项目的背景知识:霍尔认为麦克斯韦《电和磁》书中描述的“作用在穿过磁力线的有电流流过的导体上的机械力,不是作用在电流上的,而是作用在流过电流的导体上的”

收稿日期:2015-07-09

基金项目:泉州师范学院教改项目(201434)

作者简介:倪燕茹(1965—),女,黑龙江哈尔滨人,泉州师范学院副教授.研究方向:大学物理理论与实验

的观点和当时的普遍认识相矛盾。后来他又读到瑞典物理学家 Erik Edlund 在 1878 年发表的文章“Unipolar Induction”，指出磁场作用在一固定导体中的电流上与它作用在自由移动的导体上完全相同^[1]。两者见解不同，霍尔经导师罗兰指导后，开始不断地进行实验探索，最终年仅 24 岁的他在 1879 年发现了“霍尔效应”。

在霍尔取得成功之后，他把自己的成功归结为：“能坚持不懈地与困难问题拼搏”^[7]。通过让学生了解的“霍尔效应”发现过程的来龙去脉，可以使学生清楚地意识到科学发现需要创新精神，而创新更需要勇气和不懈地探索与实践，从而达到对学生进行创新思想教育的目的。

2 霍尔效应与方法论教育

方法论是人们用什么样的方式、方法观察事物和处理所遇到的具体问题。物理实验的测量方法较多，如“转换测量法”，“对称测量法”，“放大测量法”，等等。而“对称测量法”是物理实验经常采用的方法，常被用来消除系统误差的影响。例如：用分析天平测量物体重量时，由于天平不等臂所引入的系统误差，就可以通过“对称测量法”来消除。而霍尔效应实验中各种负效应引起的附加电压所导致的系统误差如何采用“对称测量法”消除呢？这需要对实际测量电压方法进行分析。

所谓霍尔效应，是指在磁场中的载流导体上出现横向电势差的现象，横向电势差叫做霍尔电压^[8]。霍尔效应原理如图 1 所示。

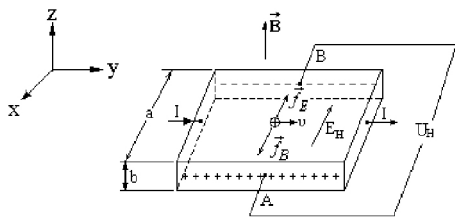


图 1 霍尔效应原理

霍尔电压公式为

$$U_H = K_H IB, \quad (1)$$

式中： U_H 表示霍尔电压， K_H 表示霍尔灵敏度， I 表示工作电流， B 表示磁场的磁感强度。

上式给出的是霍尔电势差的理论公式，实际上

在实验中测出的电压除了霍尔电压外，还有其他附加电压，主要有：不等位效应引起的附加电压 U_O ；厄廷豪森效应引起的附加电压 U_E ；能斯特效应引起的附加电压 U_N ；里纪—勒杜克效应引起的附加电压 U_{RL} 。给学生分析这四种附加电压产生的机理，指出 U_O 的正负随电流方向而改变，与磁场无关； U_E 、 U_N 、 U_{RL} 附件电压的正负与电流、磁场方向有关，因此在保持磁场 B 和电流 I 大小不变的情况下，改变磁场 B 、电流 I 的方向，利用“对称测量法”进行测量和计算，可以减少和消除这些负效应引起的附加电压的影响。即 $(+B, +I)$ 、 $(+B, -I)$ 、 $(-B, -I)$ 、 $(-B, +I)$ 四种条件下进行测量，测得横向电压公式分别表示如下：

$$U_1 = U_H + U_O + U_N + U_R + U_E,$$

$$U_2 = -U_H - U_O + U_N + U_R - U_E,$$

$$U_3 = U_H - U_O - U_N - U_R + U_E,$$

$$U_4 = -U_H + U_O - U_N - U_R - U_E,$$

则得

$$U_H = \frac{1}{4} |U_1 - U_2 + U_3 - U_4| - U_E.$$

可见，通过“对称测量法”理论上可以消除 U_O 、 U_S 和 U_R 这些负效应引起的附加电压的影响。而厄廷豪森效应引起的附加电压 U_E 一般远小于霍尔电压，尤其在非大电流和非强磁场情况下， U_E 非常小，可以忽略。霍尔电压的实验计算公式为

$$U_H = \frac{1}{4} |U_1 - U_2 + U_3 - U_4|. \quad (2)$$

通过霍尔电压实验计算公式的推导过程，使学生认识到“对称测量法”的物理思想在消除系统误差问题中的作用。

“霍尔效应”实验具体使用的是 DH4512 型霍尔效应实验仪，该仪器的实验电路是通过转换开关的作用，让学生通过“按下转换开关，通电后将使转换开关的上部分指示灯亮，弹起转换开关，通电后将使转换开关的下部分指示灯亮”的实验操作过程，从霍尔效应实验仪的霍尔电压指示屏上记录相应的测量数据，切身体会到如何通过转换开关来改变磁场 B 、电流 I 的方向，实现消除实验中除 U_E 外的三个负效应产生的系统误差的目的，感悟“对称测量法”的作用。下面给出的就是在霍尔元件中，公式(1)中的

K_H 、 B 量值确定时,通过转换开关来改变磁场 B 、电流 I 的方向,即在 (B,I) 、 $(B,-I)$ 、 $(-B,-I)$ 、 $(-B,I)$ 四种条件下的电压指示屏上显示的测量数据,如表 1 所示。

表 1 霍尔效应实验仪测量数据

I (mA)	B,I U_1	$B,-I$ U_2	$-B,-I$ U_3	$-B,I$ U_4	U_H (mV)
1.0	0.38	-3.26	0.64	-3.53	1.953
1.5	1.28	-4.16	1.66	-4.55	2.913
2.0	2.17	-5.05	2.68	-5.56	3.865
2.5	3.09	-5.98	3.73	-6.62	4.855
3.0	4.00	-6.93	4.81	-7.74	5.870

从测量数据表可以看出,当工作电流 I 为 1.0 mA 时,在这四种情况下电压测量值是不同的.将数据代入利用“对称测量法”推得的消除系统误差的霍尔电压实验计算公式(2),得出所对应的霍尔电压值填入表 1 末列.以此类推,在 I 分别取 1.5 mA、2.0 mA、2.5 mA、3.0 mA 时,霍尔电压值也填入表 1.由此,可以绘出 $U_H \sim I$ 图线,如图 1 所示。

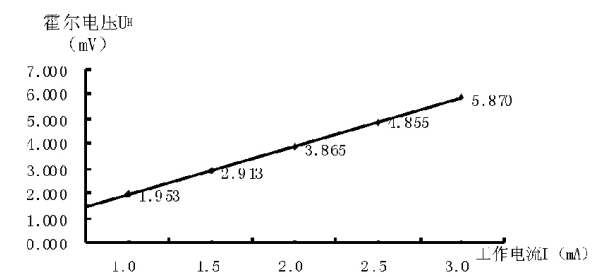


图 1 霍尔电压 U_H 和工作电流 I 关系曲线

从霍尔电压理论公式(1)可知, K_H 、 B 确定时, U_H 应正比于 I .而根据表 1 绘制的图 1 给出的 $U_H \sim I$ 的实验测量曲线,恰好反映出 U_H 和 I 成线性关系.这也就反过来证明了用“对称测量法”消除负效应引入的系统误差的霍尔电压实验计算公式(2)的正确性。

总之,学生可以通过“霍尔效应”实验中的实际测量霍尔电压计算公式的推导过程,实验操作过程中转换开关的“按下、弹起”相对应的电压指示值正负号的变化,以及根据 (B,I) 、 $(B,-I)$ 、 $(-B,-I)$ 、 $(-B,I)$ 四种条件下的测量数据计算出的 $U_H \sim I$ 值所绘出的测量曲线的线性关系对霍尔电压理论公式(1)的印证,对“对称测量法”有更深刻的认识,从而进一步认识到在解决问题中方法论的重要性,这

种教学方法对培养学生的科学素质是非常有实际意义的。

3 霍尔效应与发展观教育

发展的观点是唯物辩证法的一个总特征.发展的实质就是事物的前进、上升,是新事物代替旧事物.在科学技术领域,发展观是科技进步的动力源泉.因此,在教学过程中要潜移默化地培养学生坚持用发展的观点看待问题,探索问题,即发展观.这有利于培养学生的创新思维能力.“霍尔效应”的发展历程就可以作为对学生进行科学技术发展观教育的有力例证。

在“霍尔效应”发现约 100 年后,德国物理学家克里青发现“整数量子霍尔效应”.1982 年,美籍华裔物理学家崔琦等发现“分数量子霍尔效应”.这两项成果均获得诺贝尔物理学奖^[8]。

而“量子反常霍尔效应”经过中科院物理所何珂的团队和清华大学物理系薛其坤的团队合作攻关,最终成功观测到了“量子反常霍尔效应”,于 2013 年 3 月 14 日在 Science 上在线发表^[9]。

随着科学的发展,自从发现“霍尔效应”到现在,基于霍尔效应为工作基础的各种霍尔器件等已有了广泛的实际应用.有不少霍尔器件被应用到汽车上,如:ABS 系统中的速度传感器、液体物理量检测器及曲轴角度传感器等等.而量子反常霍尔效应也具有极高的应用前景,能促成高容错的全拓扑量子计算机的诞生.纵观“霍尔效应”发展长河,“霍尔效应”现象从发现到现在的实际应用,已经历了一百多年的发展历程.它的应用范围是非常之广的.通过让学生了解这些关于“霍尔效应”的知识,使学生认识到“霍尔效应”理论与应用在不断地焕发出勃勃生机.更重要的是使学生意识到从“霍尔效应”发展历程可以看出,在科技领域,要运用发展观去积极探索,勇于实践,可能会有很大收获的.这对于培养学生的创新思维科学素质具有很好的实际意义。

通过对“霍尔效应”发现、“霍尔效应”实验和“霍尔效应”发展历程的简单介绍,探讨了一些关于“霍尔效应”知识的教学方法,不仅使学生对于“霍尔效应”知识有一个较全面系统的认识,而且对于培养学生的创新思想能力也是有实际意义的,这也是探讨通过大学物理实验教学培养学生的科学素质的有益尝试。

参考文献:

- [1] 刘战存,郑余梅. 霍尔效应的发现 [J]. 大学物理,2007,26(11):51-55.
- [2] 王光辉,徐世昌,齐力杰等. HL-5 霍尔效应测试仪测量磁场曲线存在畸变的分析 [J]. 大学物理,2005,24(2):46-48.
- [3] 吴魏霞,杨少波,张明长. 一种霍尔效应测量磁场的设计方法 [J]. 大学物理实验,2010,23(5):38-40.
- [4] 赵新闻,杨兵初. 霍尔效应实验对学生科研能力培养初探 [J]. 物理与工程,2013,23(6):35-37.
- [5] 周日贵,聂爱球,龚勇清等. 霍尔效应实验误差分析 [J]. 物理实验,2002,22(6):41-42.
- [6] 曹伟然,段立永,赵启博等. 霍尔效应实验的改进和扩展 [J]. 物理实验,2009,29(2):41-44.
- [7] National Academy of Sciences of the United States of America; Biographical Memoirs Vol. 21 [M]. Washington: National Academy of Sciences, 1941: 73-94.
- [8] 张三慧. 大学基础物理学(下) [M]. 北京:清华大学出版社,2007:106.
- [9] 陈平形,李承祖. 量子反常霍尔效应及其应用前景 [J]. 国防科技,2013,34(2):35-37.

Discussion of the Experimental Teaching of the Hall Effect

NI Yan-ru, ZHONG Wei-bo

(Physics & Information Communication Academy, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000, China)

Abstract: Discovery process and the development of Hall Effect are briefly introduced. A discussion is done to find out about how to cultivate students' innovative thinking through the teaching of Hall Effect. Through the derivation of the actual calculation formula of Hall voltage on Hall Effect experiment, the function of the "symmetry measuring method" in eliminating the error of the experimental system is also put under examination. By such a means, the students' idea of scientific methodology can be expected to take shape. This is of practical significance for developing students' scientific quality in the teaching of College Physics experiment.

Key words: Hall Effect; Hall voltage; symmetrical measuring method; development view

(责任编辑:李伟男)