

基于迁移原理的《金属比热容实验》教学改进与实践

马寒露 张进娟* 苗永平

山东科技大学 电子信息工程学院 山东 青岛 266590

摘要:《冷却法测量金属比热容实验》是大学物理实验的基础热学实验内容之一,传统测量方法存在一些问题,例如:计时误差较大、实验耗时长、机械重复缺乏创造性等。本文通过运用迁移原理,把《温度传感器实验》和《导热系数实验》两个热学实验的实验思想和方法渗透到《金属比热容的测量实验》中去,挖掘其中的共同要素,优化和丰富实验内容。通过两学期的实践,改进后的实验项目不仅解决了现存问题,而且使学生们加深了对热电偶工作原理和牛顿冷却定律的理解,真正体验到了学以致用乐趣,实现了创新实践能力的提升。

关键词: 迁移原理; 金属比热容; 温度传感器; 导热系数; 冷却速率

近年来,围绕如何提升大学物理实验教学效果的教学改革层出不穷,例如,以问题为导向的PBL(Problem Based Learning)教学模式,基于成果导向教育的OBE(Outcome-Based Education)教学理念等^[1],而迁移理论在“大学物理实验”的教学中研究和使用的非常少。迁移是一种基本的学习现象,它指的是:“一种学习对另一种学习的影响”。“不愤不启,不悱不发。举一隅不以三隅反,则不复也”,这是儒家学派创始人孔子对迁移理论的诠释。美国认知教育心理学家奥苏贝尔认为,有意义的学习迁移,都是在原有知识结构的基础上产生的。当旧知识和新知识有一定共性,并且旧知识对新知识的作用是积极的,在学习过程中就产生了正迁移。在大学物理实验教学中,正迁移不仅可以帮助学生归纳梳理曾学过的知识,而且还能帮助学生触类旁通,举一反三,在动手实验的过程中,学生既锻炼了归纳总结的能力,又树立了勇于挑战的信心,进一步拓展学生的创新空间^[2]。

《金属比热容的测量实验》是大学物理实验中非常重要的热学实验之一。大学物理实验中常用冷却法测量,但测量过程中常常存在一些问题,比如实验耗时较长,计时误差大,学生对实验仪器的测温原理理解不到位等,这使学生的主观能动性受限,不利于发展学生的创新思维。

基于此,我们按照迁移原理,在课程设置上,在开设《冷却法测量金属比热容实验》前,预先开设了《温度传感器实验》和《不良导体导热系数的测量实验》两

个热学实验。《温度传感器实验》的目的是让学生了解不同类型传感器的测温原理及理解传感器的温度电压关系的实际意义。而《金属比热容实验》测温仪器正是基于铜-康铜热电偶测温原理制成的,通过查询热电偶温度和电压关系即可获得对应温度值。《导热系数实验》的目的是应用傅里叶定律来测量待测物的导热系数^[3],实验过程中利用冷却法获得待测物在特定温度下的冷却速率,进而计算得到待测物的导热系数,降温计时过程相对简单,计时误差较小。对于《金属比热容实验》来说,同样是利用冷却法来测量金属样品的比热容,因此可以借鉴导热系数的测量方法,改进优化实验内容。可见,金属比热容实验与另外两个热学实验有很多相似之处,因此,引导学生把实验项目的共同因素挖掘出来,进行研究和对比分析,并有机融入到该实验项目中去,可有效实现正迁移,让学生能够知一而推百,提高他们对知识的迁移和应用能力,激发学习热情,进而提升大学物理实验的教学效果。

1 基于迁移原理的金属比热容实验的课前预习

为了解决金属比热容实验项目存在的诸多问题,提高学生们课堂积极性,可以将学生课前的知识体系有效迁移到本实验中,因此课前对旧知识进行归纳梳理显得尤为重要。在课前环节,教师通过学习通平台发布预习任务,首先让学生们复习已经做过的两个热学实验:

《温度传感器实验》和《不良导体导热系数实验》,接着再围绕《金属比热容实验》的实验仪器和实验原理两方面进行预习,重点回答以下问题,如图1所示:“金属比热容实验仪器用到的温度传感器是哪种类型的?工作原理是什么?实验过程中为什么要加冰块?什么是牛顿冷却定律,它与傅里叶定律有哪些相同之处?如何用冷却法测量物体的冷却速率?在预习过程中,学生需要

通讯作者: 张进娟

基金项目: 山东科技大学教育教学研究“群星计划”项目(编号: QX2024M33)

运用前面的旧知识来理解和掌握新知识，体验到了学以致用快乐，在实验过程中就会更积极主动参与实验中来，并在实验过程中主动思考，分析并最终解决问题，从而达到提升教学效果的目的。

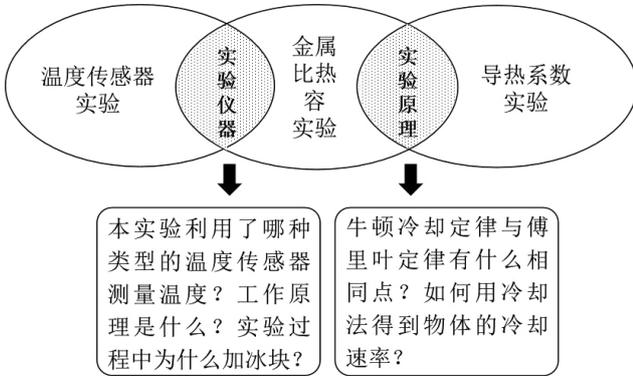


图1 基于迁移原理的课前预习内容

我校采用杭州大华仪器制造有限公司的DH4603型金属比热容测量仪，测量铜铁铝材料在不同温度下的冷却速率。将形状与尺寸相同、表面状况尽可能相近的三种样品分别加热到130℃（此时热电势显示约为5.71mV），然后把“加热选择”旋钮旋转至“断”，同时移去加热源，让样品在与外界基本隔绝的有机玻璃圆筒内自然冷却，同时记录样品冷却过程数据。具体实验做法如下：在降温过程中，当样品温度下降到120℃（此时热电势显示约为5.23mV）开始计时，每隔30s记录一次样品的温度示值，直到样品温度下降到50℃（此时热电势显示约为2.03mV）停止计时，整个测试过程耗时半小时左右，与传统测量时间间隔的方法相比，既节省了测试时间，也避免了机械重复的操作，留给学生更多思考和拓展空间。通过课前预习，让学生们对比分析了《金属比热容实验》和《温度传感器实验》两个实验的实验仪器和工作原理，学生们不难发现，《金属比热容实验》中所使用的测温仪器是铜-康铜热电偶，通过前期的学习，学生们对测试仪器的结构和工作原理已经有一定了解，因此在测试过程中，不仅能准确连接电路，知道电动势和温度的关系以及如何将电动势转换成温度值，而且理解实验过程中加冰的意义，因此在实验过程中能时刻观察冰块融化的情况，及时加冰，这样就减小了冷端温度变化带来的误差，从而使实验结果更加准确。以下是测得的实验测试数据：铜、铁、铝三个样品质量分别为 $M_{Cu} = 9.542g$ ， $M_{Fe} = 8.538g$ ， $M_{Al} = 3.033g$ ，热电偶冷端温度为0℃，样品自然冷却时的热电偶电动势记录如表1所示。

表1 铜、铁、铝样品自然冷却电动势记录

时间 (s) / 电动势 (v)	铜	铁	铝
0	5.22	5.22	5.22
30	4.74	4.76	4.65
60	4.33	4.36	4.18
90	3.96	4.02	3.79
120	3.66	3.73	3.47
150	3.4	3.47	3.19
180	3.17	3.25	2.96
210	2.97	3.04	2.79
240	2.79	2.87	2.58
270	2.63	2.71	2.43
300	2.49	2.57	2.29
330	2.36	2.44	2.18
360	2.25	2.33	2.07
390	2.15	2.23	1.98
420	2.06	2.14	-
450	-	2.08	-

2 金属比热容实验的数据处理

2.1 电压和温度的转换

在记录数据时，学生从电压表中记录了电动势值，再利用学过的热电偶工作原理的知识，可以很顺利地根据铜-康铜热电偶的关系式，将测得的电动势换算成温度值，如表2所示，在此过程中，学生更加深刻理解了铜康热电偶的工作原理，并且学会查表进行电压和温度的相互转换，锻炼学生分析解决问题的能力，培养了学生们的科研素养。

2.2 绘制冷却曲线求解冷却速率

根据数据绘制出温度和时间关系的冷却曲线，如图2所示，用excel做出图像，再把数据点用二项式拟合成曲线，通过添加趋势线公式，得到温度和时间二次函数关系式。表3是每种样品得到的温度 T 和时间 t 的函数关系式及其对时间求导得到的冷却速率 dT/dt 和时间 t 的函数关系。

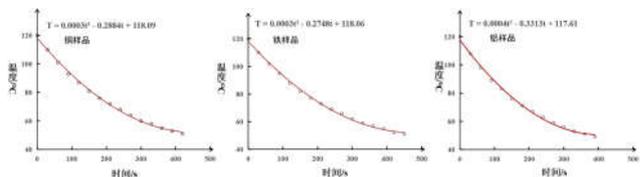


图2 铜、铁、铝样品降温过程中温度随时间的变化关系

特别注意的是，函数关系里的自变量均是时间 t ，需要利用二元一次方程求解公式计算出对应的温度，再代入 $dT/dt-t$ 公式求出冷却速率，这一点在教学过程中值得引起注意，不能直接把温度值代入 $dT/dt-t$ 函数，很多同学在

这一步都出现了错误,导致最后结果产生很大偏差^[4]。

表2 铜、铁、铝样品自然冷却温度记录

时间 (s) / 温度 (°C)	铜	铁	铝
0	120	120	120
30	110	110	108
60	101	102	98
90	93	95	89
120	87	88	83
150	81	82	76
180	76	77	71
210	72	73	67
240	68	69	63
270	64	66	59
300	60	62	56
330	58	59	53
360	55	57	51
390	53	55	49
420	51	52	-
450	-	51	-

表3 铜、铁、铝样品二项式拟合曲线函数关系式

函数关系式	T—t	dT/dt—t
铜	$T = 0.0003t^2 - 0.2884t + 118.09$	$dT/dt = 0.006t - 0.2884$
铁	$T = 0.0003t^2 - 0.2748t + 118.06$	$dT/dt = 0.006t - 0.2748$
铝	$T = 0.0004t^2 - 0.3313t + 117.61$	$dT/dt = 0.008t - 0.3313$

下一步打开Excel表格,创建一个新的表格,分别在单元格中输入一元二次方程的系数a, b, c。例如,在单元格A1中输入0.003,在单元格B1中输入0.2884,在单元格C1中输入18.09(即118.09-100)。接着,在单元格D1中输入一元二次方程的求解公式“ $= (-B1-SQRT(B1*B1-4*A1*C1))/2/A1$ ”,可得二项式的解,即100°C时所需时间。再代入dT/dt-t函数关系式,求出冷却速率dT/dt。经计算,铜铁铝材料在100°C的冷却速率分别为:-0.248, -0.232, -0.286。

表4 铜、铁、铝样品二项式拟合函数系数

二项式系数	a	b	c
铜	0.0003	-0.2884	118.09-T
铁	0.0003	-0.2748	118.06-T
铝	0.0004	-0.3313	117.61-T

表5 铜、铁、铝样品质量、在100°C的冷却速率和比热容

样品	质量 (g)	冷却速率 (°C/s)	比热容 (cal/g°C)
铜	9.542	-0.248	0.094
铁	8.538	-0.232	0.112
铝	3.033	-0.286	0.24

2.3 计算铁、铝材料的比热容

将表5的数据代入公式 $= c_2 = c_1 \frac{M_1 \frac{dT_1}{dt}}{M_2 \frac{dT_2}{dt}}$,以金属铜

作为参照,得到铁、铝材料在100°C的比热容分别为0.112cal/g°C、0.240cal/g°C,计算相对误差分别为1.82%、4.35%。可见,改进后的实验方法得到的结果在误差允许范围内。

3 结论

基于迁移原理改进了《金属比热容实验》的教学模式,通过课前预习有效梳理和复习学过的知识,找出《金属比热容实验》与其他两个热学实验的共同要素,改进优化了实验内容,解决了实验内容存在的问题,拓展了学生的探究空间,激发了学生对实验课程的兴趣,使学生的实验过程从简单的机械重复转向深度理解,使学生在知识迁移的过程中不仅完善了知识结构体系,而且提高了创新能力,也让大学物理实验课程更加符合新工科建设的要求,并为其他高校在新工科背景下的实验教学教学改革提供了参考依据。

参考文献

- [1]丁云,高雷,曹海霞,等.基于OBE与PBL融合的教学改革研究与探索——以普通物理课程为例[J].物理通报,2023(01):2-6.
- [2]周海.迁移原理在中学物理教学中应用的策略研究和实践[D].湘潭:湖南科技大学教育学院,2016.
- [3]姜寒玉,何军,丁作铭,等.基于迁移理论提升大学物理实验教学质量的探索与实践[J].大学物理,2021,40(9):37-41.
- [4]黎炜,李涛,李聪.冷却法测量金属比热容实验中减少加热时间的可行性分析[J].广西物理,2019,40(3-4):14-17.