

从“问题”和“活动”的视角践行 高中物理高阶思维教学

李友兴 (浙江省杭州学军中学 浙江 310035)

摘 要 从“问题”和“活动”视角提出高阶思维培养策略:问题驱动诱发推理论证、活动驱动诱发实证探究。以新课标普通高中物理教科书为例,对从“问题”和“活动”视角践行高中物理高阶思维教学进行具体阐述,对实施案例做出详尽分析。

关键词 高中物理 高阶思维 培养策略

文章编号 1002-0748(2024)10-0007

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

高阶思维是物理学科核心素养的重要组成部分,它是指发生在较高认知水平层次上的心智活动或认知能力,是一种以高层次认知水平为主的综合性能力,它的核心可归结为创造性思维和批判性思维,是质疑创新思维素养的核心。2010 年以来,高阶思维研究的热度节节攀升,近几年呈几何级数增长态势,主要围绕理论研究、教学模式、实践应用和评价测量等四个主题进行研究。其中,实践应用方面,主要是将高阶思维培养有机融合到学科教学之中。根据文献统计,小学数学、小学语文、高中英语三类学科教学中的高阶思维研究热度较高,高阶思维培养与高中物理教学的有机融合还有待物理教育专家和一线教师的积极探索。这个问题将会是近几年高中物理教学中最重要、最急迫的问题。那么,高中物理教学中如何融入高阶思维的培养?经过高中物理新课程教学的实践研究,我们发现:高阶思维的培养既要融合到物理学科教学之中,又要融合到跨学科实践活动之中。融合到物理学科教学中是在解决真实问题中培养高阶思维,融合到跨学科实践活动中是在解决挑战性课题中培养高阶思维。因此,从“问题”和“活动”视角践行高阶思维教学,是培养高阶思维比较有效的途径。高阶思维培养的策略主要有:问题驱动诱发推理论证、活动驱动诱发实证探究。

1 问题驱动诱发推理论证

物理问题是物理教学的起点。问题驱动高阶思维培养策略是以物理问题为起点,诱导学生对遇到的物理问题进行分析、推理、论证、归纳、反思、判断,激发学生的批判性思维和创造性思维。学生在解决物理问题的过程中建构物理概念、发现物理规律、领悟高阶思维方法、提升高阶思维能力。问题驱动高

阶思维培养策略的实施路径如图 1 所示。

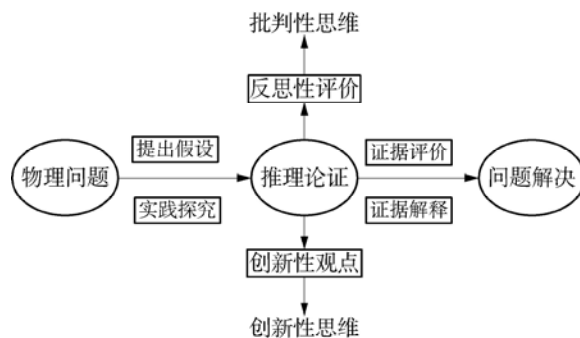


图 1

问题驱动的实质是以物理问题为起点,基于证据和逻辑提出自己的观点,运用科学推理及批判性思维,对提出的观点进行科学论证。通过科学探究与问题解决的实践活动,培养学生的批判性思维和创造性思维。

例如,人教版《物理 选择性必修 2》第三章第 3 节“变压器”,探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系的实验中,设计了如下几个探究任务。

探究任务 1 原线圈 $n_1 = 200$ 匝、副线圈 $n_2 = 100$ 匝,保持不变,探究副线圈输出电压 U_2 与原线圈输入电压 U_1 的关系。实验装置如图 2 所示。

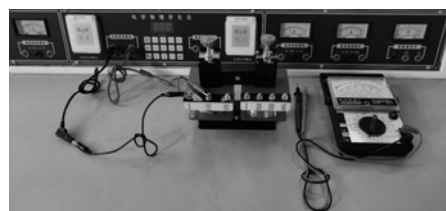


图 2

实验记录的数据见表 1。

表 1 实验数据记录表

U_1/V	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0
U_2/V	0.2	0.6	1.2	1.6	2.2	2.5	3.0	3.6	4.2	4.8	5.8

根据表 1 中的数据画出 U_2-U_1 图象,如图 3 所示。

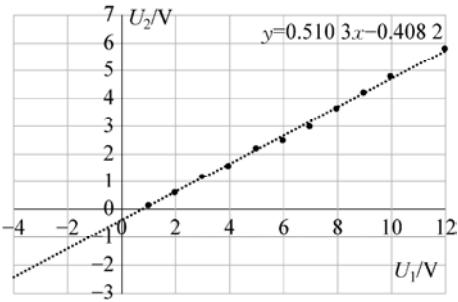


图 3

从图 3 可以看出, U_2-U_1 图象为一条倾斜的直线,图线没过坐标原点,横轴(U_1 轴)上的截距大于零,图线的斜率为 0.51,近似于 0.5。这说明什么问题? 有同学据此得出结论:在实验误差范围内, $U_2/U_1 = n_2/n_1$ 。那么,关键问题是:这个实验结论可靠吗? 让学生基于数据进一步进行反思、分析、判断: U_2/U_1 的比值是保持不变的吗?

在图 3 中添加过坐标原点的辅助线,如图 4 所示。

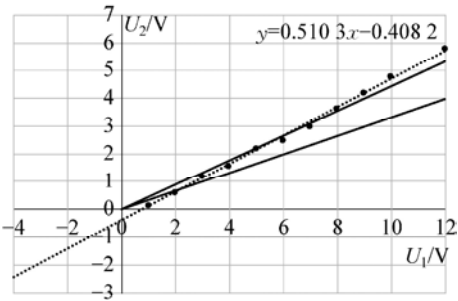


图 4

学生通过研究发现, U_2/U_1 的比值随着输入电压 U_1 的升高而逐渐变大(从辅助线的斜率可以看出),且 $U_2/U_1 < n_2/n_1$,但随着 U_1 的升高, U_2/U_1 比值越来越接近比值 n_2/n_1 。这是什么原因引起的呢? 是普遍规律还是偶然现象? 这时学生批判性思维的火花被迅速点燃。

为了验证自己的观点,学生团队继续科学实践,进入到探究任务 2。

探究任务 2 原线圈 $n_1 = 800$ 匝、副线圈 $n_2 = 100$ 匝,保持不变,探究副线圈输出电压 U_2 与原线圈输入电压 U_1 的关系。实验装置如图 2 所示。

实验记录的数据见表 2。

表 2 实验数据记录表

U_1/V	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
U_2/V	0.2	0.4	0.6	0.9	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1

根据表 2 中的数据画出 U_2-U_1 图象,如图 5 所示。

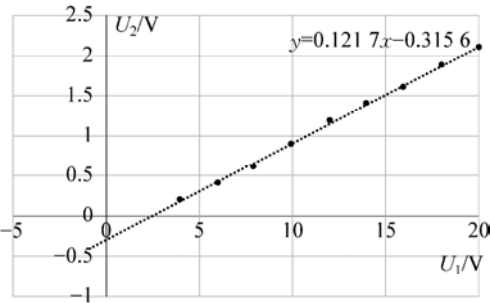


图 5

从图 5 可以看出, U_2-U_1 图象也是一条倾斜的直线,图线没过坐标原点,横轴(U_1 轴)上的截距大于零,图线的斜率为 0.12,接近于 0.125。这说明什么问题?

实验结果表明,我们遇到了学习探究任务 1 中同样的问题,学生又迅速燃起批判性思维和创造性思维的“火苗”。此时,进一步引导学生:基于实验数据做进一步的分析、判断,找出隐藏在实验数据之中的“真谛”。

在图 5 中添加过坐标原点的辅助线,如图 6 所示。

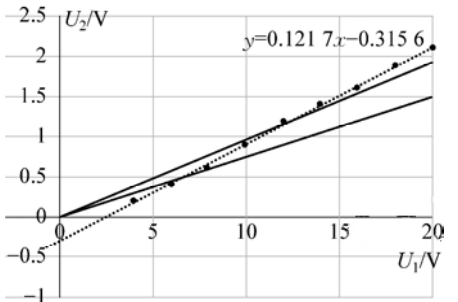


图 6

从图 6 可以发现, U_2/U_1 的比值随着输入电压 U_1 的升高而逐渐变大(同样从辅助线的斜率可以看出),且 $U_2/U_1 < n_2/n_1$,但随着 U_1 的升高, U_2/U_1 比值越来越接近比值 n_2/n_1 。深度分析实验数据表明,探究任务 1 和探究任务 2 的实验结论是完全一致的。这个结论具有普遍性吗?

学生团队通过利用自制线圈(匝数可多种选择)组成的可拆变压器进行更多次的科学探究实践活动,通过获取的实验数据进行科学分析,发现该实验结论具有普遍性。

那么关键问题是:在保持线圈匝数不变的情况下, U_2/U_1 的比值随着输入电压 U_1 的升高而逐渐变大,且 $U_2/U_1 < n_2/n_1$,但随着 U_1 的升高, U_2/U_1 的比值越来越接近比值 n_2/n_1 ,这是什么原因引起的呢?这个问题需要学生进一步进行科学论证,寻找实验现象背后的本质原因。学生被诱导进入到探究任务3。

探究任务3 如何解释实验结论 $U_2/U_1 < n_2/n_1$? 为此设计如下系列探究:

探究3(1) U_2-U_1 的图象交于横轴正半轴,说明什么问题?

探究3(2) U_2 、 U_1 与各自线圈的感应电动势有什么关系?

学生团队通过讨论后认为, U_2-U_1 的图象交于横轴正半轴,说明变压器有电能损耗,因输入电压 U_1 比较小时,输出电压 U_2 几乎为零。

那么电能损耗的可能原因有哪些?通过分析,学生认为:可能是线圈发热、铁芯发热、漏磁。为了进一步分析、解决,首先建立变压器结构模型,如图7所示,

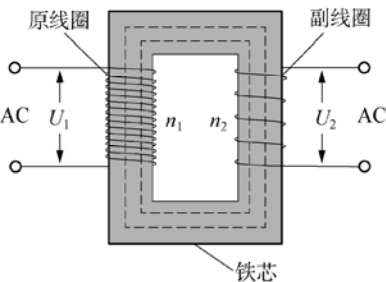


图7

然后设置物理量进行分析、论证。

设原线圈的匝数为 n_1 、电阻为 r_1 ,流过原线圈的电流为 I_1 ,原线圈的感应电动势为 E_1 ,设副线圈的匝数为 n_2 、电阻为 r_2 ,流过副线圈的电流为 I_2 ,副线圈的感应电动势为 E_2 。则对于原线圈有

$$I_1 = \frac{U_1 - E_1}{r_1}, U_1 = E_1 + I_1 r_1, E_1 = n_1 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

对于副线圈有

$$I_2 = \frac{E_2 - U_2}{r_2}, U_2 = E_2 - I_2 r_2, E_2 = n_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

可得: $\frac{U_2}{U_1} = \frac{E_2 - I_2 r_2}{E_1 + I_1 r_1} < \frac{E_2}{E_1}$, 而 $\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1}$, 故有:

$$\frac{U_2}{U_1} < \frac{n_2}{n_1}.$$

经过以上科学论证,学生找到了 $U_2/U_1 < n_2/n_1$ 的本质原因,是因为变压器原、副线圈有电阻,存在电能损耗,从而对实验结果给出了科学解释。至此,学生不但发现了实验结果的本质原因,更获得批判性思维和创造性思维的培养,提升了科学论证能力。

新的关键问题是:什么情况下, $\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$ 呢?

根据前面的分析: $\frac{U_2}{U_1} = \frac{E_2 - I_2 r_2}{E_1 + I_1 r_1}$, 不难看出, 在没有别的能量损耗的情况下, 当原、副线圈电阻 $r_1 = 0$ 、 $r_2 = 0$ 时, 有: $\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$ 。

这样的变压器我们称之为什么变压器呢?

至此,“理想变压器”的模型呼之欲出,学生水到渠成地完成理想化模型建构。

问题驱动思维培养策略中,学生通过科学实践活动发现问题,通过科学推理及分析论证来分析问题、解决问题,不但建构了理想化物理模型、理解了物理规律、内化了科学方法,更重要的是提升了发现问题、解决问题的能力,在分析解决问题的过程中获得高阶思维能力的培养。

2 活动驱动诱发实证探究

物理学科特色活动是挑选学生学习过程中遇到的物理问题,作为探究性学习课题而进行的探究性学习活动。学生根据选定的研究课题制定课题研究方案,进行科学探究活动,根据收集的实验数据进行分析论证,寻找物理问题的真实解决。在科学探究活动中,学生通过合作交流、反思分析,进行反思性探究,获得批判性思维方法的培养及批判性思维能力的提升;学生通过猜想假设、尝试验证、修正猜想、再次验证、验证突破直至获得问题解决,进行创新性探究,获得创造性思维方法的培养及创造性思维能力的提升。活动驱动高阶思维培养策略的实施路径如图8所示。

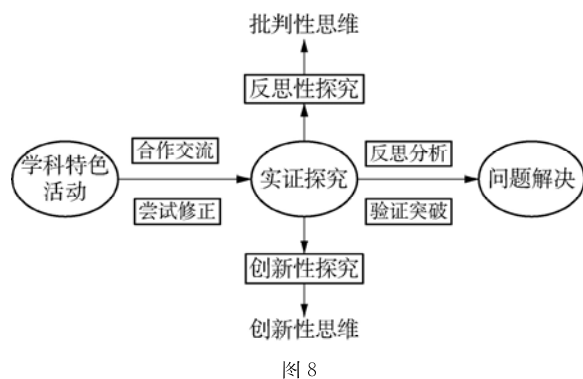


图8

学生经历螺旋式上升的探究性学习活动,不仅获得科学探究意识的培养、科学探究技能的提升,更重要的是高阶思维的培养、创新力的提升。

例如,人教版《物理 选择性必修3》第二章第2节“气体等温变化”,用传感器探究气体等温变化规律

的学生分组实验中,发现了一个“意外”的实验结果。

实验装置(见图 9):DIS(Digital Information System 数字化信息系统),DIS 压强传感器,安装有 ELAB 实验软件的计算机,20.0 cm³ 一次性注射器(最小分度值为 0.5 cm³)。

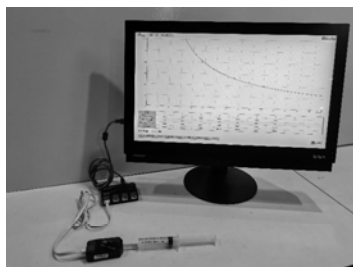


图 9

学生依次缓慢压缩气体,记录气体体积及相应的气压数据,实验操作规范。初始状态:气体压强为大气压强,气体体积为 20.0 cm³。某实验小组测得的实验数据见表 3。

表 3 p 、 V 、 $1/V$ 实验数据记录表

实验数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p/kPa	102.4	107.5	113.2	119.0	125.7	134.0	142.8	152.5	164.2
V/cm^3	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0	15.0	14.0	13.0	12.0
$\frac{1}{V}/\frac{1}{\text{cm}^3}$	0.050	0.053	0.056	0.059	0.063	0.067	0.071	0.077	0.083

根据表 3 中的实验数据画出 $p-V$ 图象,实验结果如图 10 所示。

学生猜测: $p-V$ 图象可能是一条双曲线, p 、 V 可能的关系是: $p \propto 1/V$ 。关键问题是:如何验证?学生自然想到化曲为直的方法:画 $p-1/V$ 图象。数据处理结果见表 3,画出 $p-1/V$ 图象,如图 10 所示。

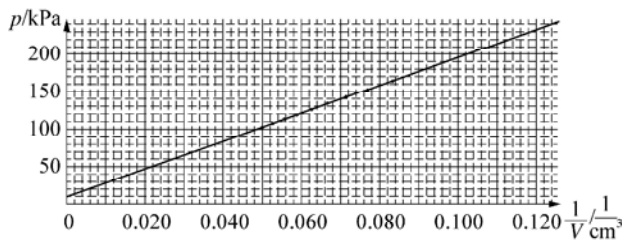


图 10

从图 10 可以看出, $p-1/V$ 图象为一条倾斜的直线,图线很接近过原点,但没过坐标原点,纵轴(p 轴)上的截距为正截距,且所有实验小组都得到相似的实验结果。

该图象说明什么问题?

实验小组据此得出结论:在实验误差范围内,

$p = k \cdot 1/V$,则 $p \cdot V = C$ 。其中, k 、 C 为与气体有关的常数。

那么,关键问题是:这个实验结论判断的依据可靠吗?请学生基于数据进一步进行反思、分析、判断: $p-1/V$ 图线没过坐标原点是实验误差引起的吗?

进一步分析该实验数据表明,测得数据的 pV 乘积值(见表 4)总是随气体体积的减小而减小,并不是保持不变的,而且也不符合偶然误差导致的数据特征。这又是什么原因引起?

表 4 p 、 V 、 pV 乘积值实验数据记录表

实验数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p/kPa	102.4	107.5	113.2	119.0	125.7	134.0	142.8	152.5	164.2
V/cm^3	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0	15.0	14.0	13.0	12.0
$pV/\text{kPa} \cdot \text{cm}^3$	2048.0	2042.5	2037.6	2023.0	2011.2	2010.0	1999.2	1982.5	1970.4

这两个“意外”的实验结果,让学生被卷入到质疑、反思的“漩涡”之中,被卷入到“思维突围”的困境之中,学生的好奇心、探究欲望被迅速激发,创造性思维的“火种”被迅速点燃。为此,组建“用传感器探究气体等温变化规律实验误差分析”课题探究小组,对“ $p-1/V$ 图象的倾斜直线为什么没过坐标原点”“为什么气体的 pV 乘积值总是随气体体积的减少而减少”这两个“意外”的实验结果做进一步探究,试图找出隐含在数据背后的物理本质。

课题小组先设置了探究任务 4。

探究任务 4 判断哪个物理量的测量值出现了偏差?

探究 4(1) 课题小组成员对实验数据的收集过程进行反思,对传感器采集到的数据可靠性进行分析,试图找出问题的症结。学生通过分析认为,传感器采集到的压强数据可靠性极高,而气体体积是学生自己测量的,虽然可能存在一定的偶然误差,但不会所有实验小组都得到相一致的偶然误差。因此,课题探究小组学生认为,气体体积测量可能存在系统误差。通过这个环节的反思性探究,学生的批判性思维得到“浸润式”培养。

探究 4(2) 课题小组成员对注射器的密封性进行探究,如图 11 所示。通过观察和测试,发现注射器的密封性比较好,活塞对应的刻度也是准确的。那么是什么原因引起系统误差的呢?

探究 4(3) 课题小组成员仔细观察了连接压强传感器与注射器的“导管”(见图 11)。他们发现传感器“导管”内储有少量气体,测量气体体积时,这

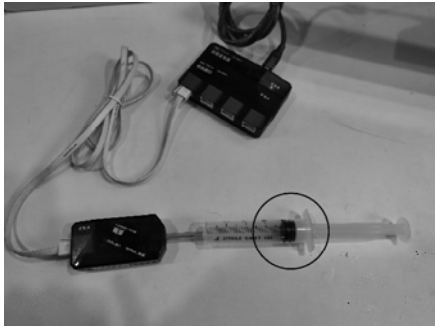


图 11

部分气体体积被无情地“忽略”了。那么,“导管”内气体的体积是多大呢?通过查阅资料,得到“导管”内气体的体积约为 1.0 cm^3 。那接下来怎么办呢?

探究 4(4) 把此前记录的气体体积数据进行修正,每个体积数据都加上“导管”内气体的体积 V_0 ($V_0 = 1.0\text{ cm}^3$),修正后的实验数据见表 5。

表 5 修正后的 p 、 $V+V_0$ 、 $1/(V+V_0)$ 及 $p(V+V_0)$ 乘积实验数据记录表

实验数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p/kPa	102.4	107.5	113.2	119.0	125.7	134.0	142.8	152.5	164.2
$(V+V_0)/\text{cm}^3$	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0	15.0	14.0	13.0
$\frac{1}{V+V_0}/\frac{1}{\text{cm}^3}$	0.048	0.050	0.053	0.056	0.059	0.063	0.067	0.071	0.077
$p(V+V_0)/\text{kPa}\cdot\text{cm}^3$	2150.4	2150.0	2150.8	2142.0	2136.9	2144.0	2142.0	2135.0	2134.6

根据表 5 中的实验数据重新进行数据处理、对比分析,画出 $p-1/(V+V_0)$ 图象,如图 12 所示。

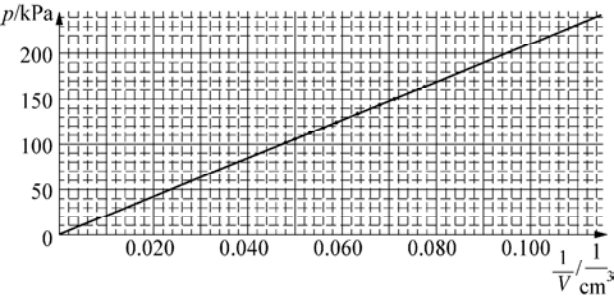


图 12

经过测量数据修正后,从图 12 可以看出, $p-1/(V+V_0)$ 图象为一条倾斜的直线,图线经过坐标原点,而且 $p(V+V_0)$ 乘积值几乎保持不变,浮动误差不到 1%,考虑是由数据测量时的偶然因素引起的。因此,课题小组认为,在实验误差范围内,对于一定质量的气体,在温度不变的情况下, $p(V+V_0)$ 乘积值保持不变。

那么,关键问题是:这个实验结论是否具有普遍性?课题小组进行如下的深入探究。

探究 4(5) 改变气体的质量(改变初始状态体积)进行变式探究,初始状态气体体积设置为 10.0 cm^3 。实验操作规范的情况下,缓慢向外拉活塞,增大气体体积,记录气体实际体积(含“导管”中的气体体积)及相应的压强,新方案实验数据见表 6。设计实验方案时采用逆向改变气体体积,是逆向思维,这是创造性思维的体现。

表 6 新方案 p 、 $V+V_0$ 、 $1/(V+V_0)$ 及 $p(V+V_0)$ 实验数据记录表

实验数	1	2	3	4	5	6	7	8
p/kPa	102.8	93.4	85.9	79.4	74.5	70.0	65.9	62.5
$(V+V_0)/\text{cm}^3$	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0
$\frac{1}{V+V_0}/\frac{1}{\text{cm}^3}$	0.091	0.083	0.077	0.071	0.067	0.063	0.059	0.056
$p(V+V_0)/\text{kPa}\cdot\text{cm}^3$	1130.8	1120.8	1116.7	1111.6	1117.5	1120.0	1120.3	1125.0

根据表 6 中的实验数据,画出 $p-1/(V+V_0)$ 图象,如图 13 所示。

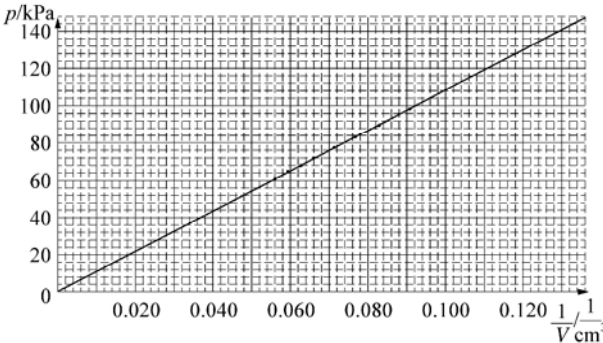


图 13

经过比较、分析图 12 及图 13,课题小组发现:对于不同质量的气体,换用不同的方式改变气体的体积, $p-1/(V+V_0)$ 图线仍然是通过坐标原点的倾斜直线,实验结果与实验时改变气体体积的方式无关,使用推活塞或拉活塞测量数据,实验结果一致。

据此,课题小组得出探究结论:在实验误差范围内, $p = k \cdot 1/(V+V_0)$,则 $p \cdot (V+V_0) = C$ 。其中, k 、 C 为与气体有关的常数。

至此,课题小组以实验方法解决了学生分组实验中遇到的两个“意外”结果。小组成员不但非常“享受”探究活动过程带来的快乐,更重要的是在不断挑战自我的过程中获得批判性思维和创造性思维的培养。

那么,如何从理论上解释学生分组实验中遇到的这两个“意外”结果呢?课题小组设置了探究任务 5。

探究任务 5 理论探究两个“意外”实验结果。

探究 5(1) 为什么测得的 pV 乘积值总是随气

体体积的减少而减少?

根据探究任务 4 中的实验探究结论 $p \cdot (V + V_0) = C$ 得:

$$p \cdot V = C - pV_0$$

在压缩气体过程中,气体的压强不断增大, pV_0 乘积的值也不断增大,则 $(C - pV_0)$ 的值在不断变小。因此,实验测得的 pV 乘积值总是随气体体积的减少而减少。理论分析与实验结果完全吻合。

探究 5(2) 为什么实验测得的 $p - 1/V$ 图线可拟合后为一条倾斜的直线?

$$\text{由 } p(V + V_0) = C \text{ 可得, } p = \left(\frac{C}{V}\right) \cdot \frac{1}{1 + V_0/V}, V_0$$

可以通过查阅实验仪器说明书获得,取 $V_0 = 1.0 \text{ cm}^3$, C 的数值可从实验数据取平均值得出, $C \approx 2140$ 。用绘图软件 GeoGebra 绘制 $p - 1/V$ 图象,如图 14 所示,是一条通过原点的曲线。分析对比图 15,可以发现,在数据点所处的范围内,该图线与拟合直线非常接近,若做直线拟合,可以拟合后为一条倾斜的直线。

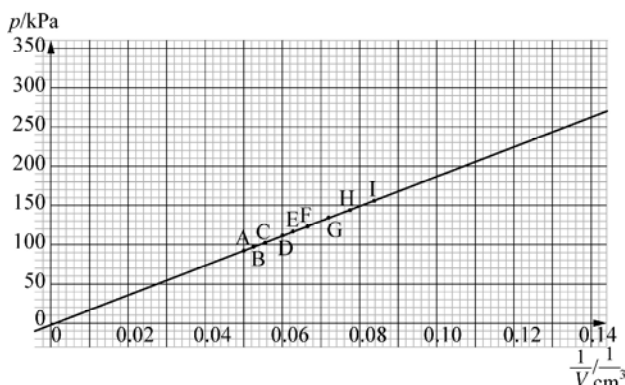


图 14

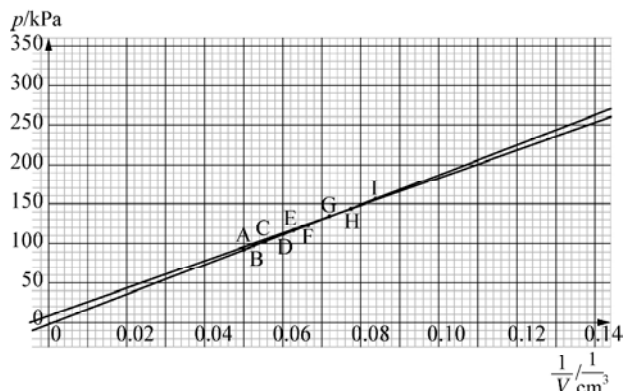


图 15

探究 5(3) 为什么拟合的 $p - 1/V$ 直线为正截距?

由于实验仪器的限制,实验数据获取过程中,气体

体积变化范围相对比较小时,主要在 $10.0 \sim 20.0 \text{ cm}^3$ 之间,因而未计入的约 1.0 cm^3 气体体积引起的误差比较显著,相对误差约为 $5\% \sim 10\%$ 。这导致 $1/V$ 的测量值大于真实值,这些实验数据是图线拟合的主要依据,当这些数据被拟合成直线时就出现了正的截距。

通过理论探究,学生不但深化理解该实验中系统误差产生的原因,更重要的是引入数学绘图软件进行数据分析,创造性的解释了学生分组实验中遇到的“意外”现象,发现了新的物理知识,建立了新的物理观念。

活动驱动策略,为学生创设“主动参与探究、主动参与物理规律发现过程”的教学环境,提供“主动参与专题探究”的时间和空间,让学生在发现“意外”背后隐藏的新知识中渗透批判性思维和创造性思维的培养。通过学科特色活动进行实证探究,提升学生科学分析、判断、解决实际问题的能力,获得高阶思维能力的培养和创新力的发展。

3 结束语

本文结合高中物理新课程教学的实践,对“问题驱动诱发推理论证”“活动驱动诱发实证探究”高阶思维培养策略进行了详尽的分析。

通过科学实践过程中遇到的系列问题的分析、探讨、挑战,从猜想假设、科学实践、质疑论证、反思评价、做出判断,……在螺旋式上升的科学思维和科学方法中找到关键问题的破解方案,学生不仅获得高阶思维的浸润式熏陶,而且收获科学探究方法的训练。

通过开展专题探究活动进行实证探究,经历项目化学习的路径,解决学习过程中遇到的深层次、挑战性的课题,是深度学习在高中物理教学中的实践。在实证探究活动过程中,学生团队相互合作、相互交流、融合跨学科知识创造性地解决探究课题,是学科特色活动的创新形式,是培养学生创新力和高阶思维的有效策略,是以学科核心素养培养为目标的新课程教学改革的导向。

参考文献

- [1] 浙江省教育厅教研室. 浙江省普通高中物理学科教学指导意见 (2021 年版)[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 2021: 1—3.
- [2] 胡卫平. 科学思维的理论与培养[M]. 石家庄: 河北人民出版社, 2023: 91—105.
- [3] 李友兴. 凸显学科核心素养的高中物理教学策略[J]. 物理教学, 2020(7): 23—29.
- [4] 李友兴. 以物理观念为导向的高中物理教学策略研究[J]. 中学物理教与学(转载), 2021(3): 29—34.
- [5] 杨蕴佳, 李美凤, 等. 近十年国内高阶思维研究现状、热点与趋势[J]. 现代教育技术, 2021(8): 15—21.