物理实验室

# 例谈融合科学思维的实验探究教学*

钟传波 （安徽省芜湖市第一中学 安徽 241000）

**摘 要** 新版高中物理课程标准，把科学探究作为学科核心素养的四个维度之一，实验教学作为科学探究的重要载体，要立足于立德树人的总目标，在提升学生科学探究能力的同时，最大限度地与物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任等加以融合，以发挥教学的育人功能。本文从延展物理实验内容，渗透科学方法；反思实验约束，优化过程设计；梳理实验逻辑，凸显科学思维；注重实验分析，靓化图象表达等四个方面，阐述实验探究教学与科学思维的融合。

**关键词** 核心素养 科学思维 实验探究 图象表达

**文章编号** 1002-0748(2020)9-0034 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

新版高中物理课程标准提出物理学科核心素养的四个维度，包括物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任。物理实验教学作为科学探究的主体内容，不仅使学生习得物理课程上的基本知识，也要培养和提升学生的科学探究素养。本文立足于循环递进式探究教学法，通过对实验教学内容进行拓展、重组和思辨，谋求把科学思维融入实验教学的探究过程中。

## 1 延展实验内容，渗透科学方法

实验教学作为课堂教学的重要组成部分，既要达成基本的实验教学目的，又要把实验教学与其他课堂教学内容（如概念课、规律课、习题课等）构建有机联系。例如“探究求合力的方法”实验，在完成基本实验任务后，可以设计和实施拓展性实验内容。

### 1.1 特例验证

在力的合成与分解计算中，多以特殊角出现，例如直角三角形和菱形等。为此可以设计两个实验内容。其一，用两个弹簧秤拉动橡皮筋，使拉力大小分别为3 N和4 N，方向相互垂直，记录拉力的大小和方向、结点的位置。然后再用一个弹簧秤拉动橡皮筋，使结点到达同一位置，可以读出弹力约为5 N，记录拉力的大小和方向；其二，用两个弹簧秤拉动橡皮筋，使拉力$F_1$和$F_2$大小相等，方向互成120°夹角；记录拉力的大小和方向、结点的位置。然后再用一个弹簧秤拉动橡皮筋，使结点到达同一位置，可以读出弹力大小与$F_1$和$F_2$相等，方向在$F_1$和$F_2$所夹角的角平分线上，记录拉力的大小和方向。在实验观察和记录的基础上，引导学生应用平行四边形法则作出矩形和菱形的图示，这样，既加深了学生对平行四边形法则的理解，又为以后的具体运用做了铺垫和积累。

### 1.2 动态拓展

在共点力平衡的计算中，有一类“动态平衡”的建模问题，也可以在实验课里具体操作，获得实验数据和感性认识，再于课后进行理论探究。具体实验设计如图1所示。

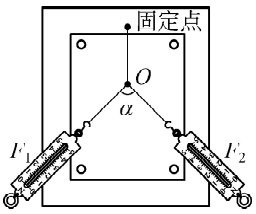


图1

（1）用两个弹簧秤拉动橡皮筋，使结点$O$伸长到某一位置，且两个拉力之间的夹角$\alpha$大于90°。

（2）保证结点的位置和$F_1$的方向不变，缓慢改变拉力$F_2$的方向，使$\alpha$角逐渐变小。观察$F_1$和$F_2$大小的变化，并记录。

（3）利用平行四边形法则作图验证。

此外，动态平衡的实验拓展，也可以通过对具体问题的实验验证来实现。例如：在“探究求合力的方法”的实验中，把木板竖直放置，同时用细绳$OA$

* 基金项目：本文是安徽省教育科学规划重点立项课题“基于项目学习的中学物理深度教学实践研究”（项目编号JKZ19004）的阶段性研究成果。

段跨过钉在木板上的光滑钉子 $C$，下端挂钩码，细绳 $OB$ 段用一个弹簧秤钩住，如图 2 所示。图中 $OC$ 与橡皮筋延长线的夹角为 $\alpha$，细绳 $OB$ 与橡皮筋延长线的夹角为 $\beta$，且 $\alpha+\beta>90°$，保证结点 $O$ 的位置不变，通过实验验证下列操作中正确的是（　　）

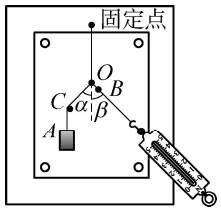


图 2

（A）增加钩码个数后，应减小 $\beta$，同时减小弹簧秤的拉力

（B）增加钩码个数后，应增大 $\beta$，同时增大弹簧秤的拉力

（C）保持钩码个数不变，将钉子 $C$ 向左移动一些，应增大 $\beta$，同时增大弹簧秤的拉力

（D）保持钩码个数不变，将钉子 $C$ 向左移动一些，应减小 $\beta$，同时增大弹簧秤的拉力

对题设问题进行实验验证，容易得到 BD 选项正确。实验课后可以继续指导学生完成理论推证和作图验证，可以更加有效地提高学生的建模能力和科学思维水平。

## 2　反思实验约束，优化过程设计

对于探究性实验，在实验前通常并不知道规律本身，为了保证实验的科学合理，必须依据规律，对实验进行约束。例如在“探究加速度与力、质量的关系”实验中，需要满足的约束条件是钩码的质量 $m$ 远小于小车的质量 $M$（$m\ll M$）。只有这样，钩码的重力才等于小车受到的拉力，这一约束条件的原因分析如下。

### 2.1　条件分析

在得到牛顿第二定律后，可以反思实验，分析 $m\ll M$ 的原因。由于钩码和小车是连接体，具有大小相等的加速度。根据牛顿第二定律，对于钩码有：$mg-T=ma$；对于小车有：$T=Ma$，联立解得：$T=\dfrac{mg}{1+\dfrac{m}{M}}$。可见，当满足条件 $m\ll M$ 时，$T=mg$。

### 2.2　思维拓展

钩码向下加速运动时处于失重状态，对小车的拉力小于钩码重力。由于钩码和小车是连接体，具有相同大小的加速度（通过滑轮改变了速度和加速度的方向）。用整体法列出牛顿第二定律的方程：$mg=(m+M)a$，可见：若把钩码的质量看作小车总质量的一部分，即把钩码和小车看作整体，则钩码的重力就等于整体所受的外力。这样，就不需要满足 $m\ll M$ 的约束条件。

### 2.3　问题优化

由于 $m\ll M$ 的约束条件，出现了不少创新实验问题，主要是回避约束条件的限制。例如，用弹簧测力计的读数来代替钩码的重力，直接作为小车受到的拉力。如图 3 所示的装置中，当重物（含滑轮）带动小车加速运动时，弹簧测力计的读数就等于小车受到的拉力，不需要满足 $m\ll M$ 的约束条件。这样的问题对于纠偏思维定式，引发学生的深度学习，具有十分重要的价值。可是，从实验的可操作性来看，由于实验持续的时间很短，以至于弹簧测力计的读数还未稳定，实验过程就已经结束，因而难以准确读取数据。若把问题中的弹簧测力计改为力传感器，就可以通过计算机自动采集和处理数据了，这样的实验问题更具有科学性和可操作性。

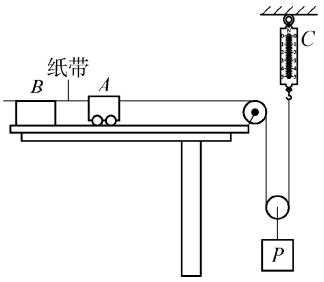


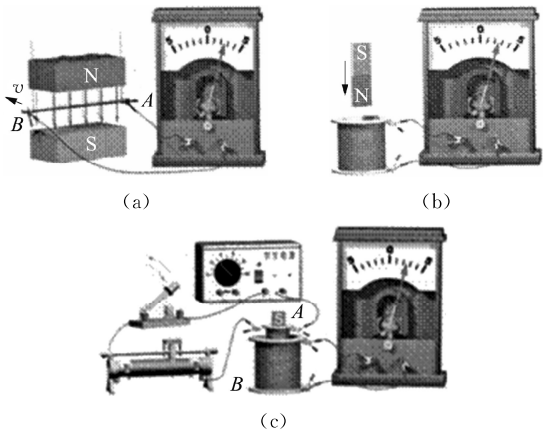
图 3

## 3　梳理实验逻辑，凸显科学思维

物理学以观察和实验为基础，很多物理概念的建立，都以坚实的实验为支撑。例如磁感应强度定义为 $B=\dfrac{F}{IL}$，是因为通过实验探究得知：处于磁场中的通电导线所受到的磁场力，与导线的长度有关，与通过的电流强度有关。用比值定义法，消除导体长度和电流强度对磁场力的影响，那么，比值所体现的就只与磁场有关了，可以作为描述磁场的物理量。在探究“感应电流产生条件”的教学中，使用循序渐进的三个实验，来得到电磁感应的概念：无论使用什么方法，只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，电路中就会产生感应电流。本节教学涉及的三个实验如图 4 所示，三个实验既各自独立，又存在先后的逻辑顺序。通过连续的猜想假设、实验论证，最终由现象到本质，完成电磁感应概念的提炼和构建。

图 4 中的实验一在初中就进行了学习，即闭合回路的部分导体在磁场中做切割磁感线运动时，回路中就产生感应电流，这显然是高中进一步学习电磁感应的起点。根据运动的相对性，如果让闭合电路的部分导体不动，而让磁场运动，必然产生“切割”，回路中应该产生感应电流。基于这样的猜想设计了实验二。实验一中的金属杆被螺线管取代，蹄形磁铁换成条形磁铁。当磁铁插入或拔离螺线管

时，回路中产生了感应电流，验证了猜想。




(a)　(b)　(c)

图4

由图4中的实验二发现：当条形磁铁插入螺线管时，磁感线经螺线管切割，由螺线管外部进入内部，也就是穿过螺线管的磁通量增大了。据此进一步猜想与假设：如果让磁场和闭合电路的部分导体不发生相对运动，不“切割磁感线”，而使得穿过闭合电路的磁通量发生变化，电路中是否产生感应电流呢？为了验证这样的猜想，设计了图4中的实验三，小螺线管$A$与电源、开关、滑动变阻器连接，通电后相当于条形磁铁。实验表明，在闭合开关、断开开关的瞬间，在闭合开关后移动滑动变阻器触片的过程中，大螺线管$B$与电流计构成的闭合回路中产生了感应电流。猜想被证实，电磁感应概念水到渠成。

有的老师在引导学生进行图4中的实验三操作和分析时提出：闭合开关，把小螺线管$A$插入或拔离大螺线管$B$的过程中，大螺线管$B$与电流计构成的闭合回路中产生了感应电流。这种现象显然是存在的。但这样的操作和分析是不科学的和反逻辑的。其一，导体不动磁场动的“切割”操作在实验二中已被证实；其二，图4中的实验三的设计目的就是验证“导体、磁场均不动”的情况下，通过改变穿过闭合电路的磁通量能否产生感应电流的设想。

可见，图4中的这三个实验由表及里，一脉相承，通过递进的猜想和验证，提炼出电磁感应概念。也为后继学习楞次定律和法拉第电磁感应定律做了实验铺垫和支撑，为各类电磁感应问题的建模提供了基本实验依据。例如磁通量($\Phi=BS$)变化的两个要素：磁感应强度发生变化和有效面积发生变化；电磁感应的两种类型：感生电动势和动生电动势等。

## 4　注重实验分析，靓化图象表达

图象是实验数据分析的常用表达形式。其一是利用图象的直观性，把需要测算的物理量通过截距、斜率等反映到图象上，其二是运用多组数据作出图象，体现了取平均的思想，减小了偶然误差。

### 4.1　图象表达涉及六个方面

图象六看：一看坐标，二看单位，三看原点，四看截距，五看斜率，六看面积。例如，在“探究加速度与力和质量的关系”的实验中，当发现$a-m$图象不是直线，而像反比例函数图象双曲线时，改画$a-1/m$图象，结果得到一条直线，说明加速度与质量倒数成正比，也就是加速度与质量成反比；实验中作出的$a-F$图象往往不过坐标原点，这与平衡摩擦力的操作有关，若图象交于$a$轴，说明长木板倾斜角度过大，若图象交于$F$轴，说明长木板倾斜角度过小，下滑力没有完全平衡摩擦力；再如图5所示的测电源电动势和内电阻的实验中，画出如图6所示的$U-I$图象，图线甲为$U_2-I$图象，其斜率表示定值电阻的阻值为$R=200\ \Omega$；图线乙为$U_1-I$图象，其斜率表示$R+r=241\ \Omega$，即内电阻$r=41\ \Omega$；甲、乙图线交点的意义为：电阻消耗的电功率等于滑动变阻器消耗的电功率，数值上等于横、纵坐标的乘积。

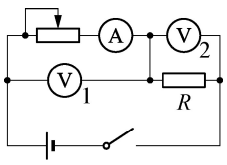



图5

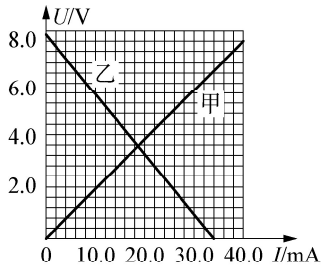



图6

### 4.2　图象，科学思维的一种形式

图象表达本身就是科学思维的一种高阶形式。在高中物理实验中，图象表达灵活变通，丰富多彩。例如在“利用电压表和电阻箱测量电源的电动势和内阻”实验中，改变电阻箱的阻值，测出几组$U$及$R$的数据，作出$\frac{1}{R}-\frac{1}{U}$的图象如图7所示。由闭合电路欧姆定律$\varepsilon=U+\frac{U}{R}r$，得到$\frac{1}{R}=\frac{\varepsilon}{r}\times\frac{1}{U}-\frac{1}{r}$，由图象在纵轴上截距的绝对值得内阻$r=1.0\ \Omega$，由图象斜率可得电动势$E=3.3\ \mathrm{V}$。这里不是简单的运用$U-I$

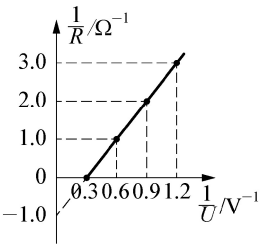



图7

图象测出电源电动势和内电阻，而是要根据闭合电路欧姆定律，变形推导出$\frac{1}{R}$和$\frac{1}{U}$之间的线性关系式，再根据图象的截距和斜率，计算出电源电动势和内电阻。

4.3　高考题赏析

**题**　(2017 年高考全国理综Ⅰ卷的实验考题)实验测得小灯泡伏安特性曲线如图 8 所示，若用另一电源 $E$(电动势 4 V，内阻 1.00 Ω)和题给器材连接成如图 9 所示的电路。调节滑动变阻器 $R$(阻值 0—9.0 Ω)的阻值，可以改变小灯泡的实际功率。闭合开关 S，在 $R$ 的变化范围内，小灯泡的最小功率为_____W，最大功率为_____W。(结果均保留两位小数)

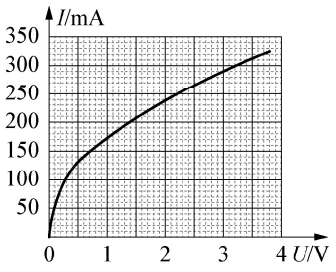


图 8

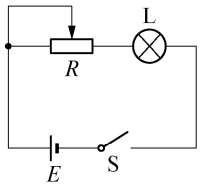


图 9

本题求解的关键是：把滑动变阻器的电阻等效看作电源的内电阻，当电源和小灯泡构成闭合电路时，路端电压就是小灯泡的电压。电源的伏安曲线与小灯泡伏安特性曲线的交点，就对应于小灯泡的电流、电压值。当滑动变阻器接入电路中的电阻最大为 9 Ω 时，在图 8 中画出等效电源 $E$(电动势 4 V，内阻 1.00 Ω＋9 Ω＝10 Ω)的伏安特性曲线，如图 10 中曲线甲所示，与小灯泡伏安特性曲线的交点即为电路工作点，该点横、纵坐标值的乘积等于小灯泡的最小功率，最小功率为 $P_{\min}=UI=2.25\times0.175=0.39$ W。当滑动变阻器接入电路中的电阻为零时，在图 8 中画出电源 $E$(电动势 4 V，内阻 1.00 Ω)的伏安特性曲线，如图 10 中曲线乙所示，与小灯泡伏安特性曲线的交点即为电路工作点，该点横、纵坐标值的乘积等于小灯泡的最大功率，最大功率为 $P_{\max}=UI=3.62\times0.318=1.17$ W。

如果不利用图象的直观性，不能在同一个坐标系中作出与小灯泡适配电源的 $U-I$ 图象，不理解图象交点的物理意义，并进行数据采集和分析，则难以求出小灯泡的实际功率。著名数学家华罗庚先生的趣诗“数缺形时少直觉，形少数时难入微；数形结合百般好。割裂分家万事非”，对此做了精辟的诠释。

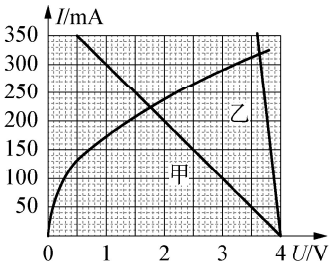


图 10

新课程明确立德树人的目标要求，新版物理课程标准提出学科核心素养的四个方面，科学探究作为其中一个维度，彰显了实验教学的重要性。在常规教学中，要把实验教学放置于全面提高学生核心素养的大目标中，如何设计和实施实验教学，如何把科学探究与物理观念、科学思维、科学态度与责任进行整合，真正有益于提高学生的核心素养和关键能力，已然是一个全新的话题，值得一线教师去探索、实践和创新。

**参考文献**

[1] 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，2018.1.
[2] 张惠钰. 高中物理项目式学习设计策略探讨[J]. 物理教师，2017(9).
[3] 吴齐，钟传波. 探究加速度与力、质量的关系实验中几个问题的探讨[J]. 中学物理，2013(10)(上半月刊).
[4] 毕泽. 测定电源电动势和内阻误差分析的一种新方法[J]. 湖南中学物理，2015(8).

(上接第 25 页)

## 5　小结

近年来，现代信息技术已迅速地深入教与学中，物理图象教学亦可以利用网络平台进行自主学习，将归类物理图象问题和归纳解题方法以网络途径传递给学生，让学生意识到这一类“特殊”图象实际上并不特殊，其解题突破口相同，使学生更加深刻理解物理量之间的关系，培养学生灵活变通思维能力、数形结合分析能力以及利用比较法进行知识迁移应用的能力，大大降低了学生学习的难度，使学生在以后学习中再遇到这一类“特殊”图象就会利用通用的解题方法来解决，同时也逐步实现教学方法从传统走向现代的转变，也使学生的学习方式由原来的被动接受转变成自主学习。

**参考文献**

[1] 段本昌. 利用函数关系求解物理图象问题[J]. 物理教师，2016，37(03)：84—86.
[2] 卢慕稚，马广明. 物理图象的能力价值及其教学策略[J]. 中学物理教学参考，2016，45(13)：19—22.