

发挥大学物理演示实验的探究教育功能 对安培定律演示实验现象的探究

朱鋈雄、刘金梅、于洁

华东师范大学物理系
上海 200062

电邮：zhuphysics@yahoo.com.cn

收稿日期：二零零五年九月二十四日(于十二月二十四日再修定)

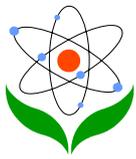
内容

- [摘要](#)
 - [一. 观察实验结果, 引出探究问题](#)
 - [二. 提出探究问题, 实施探究过程](#)
 - [三. 体现探究要素, 提高探究能力](#)
 - [四. 小结](#)
 - [参考文献](#)
-

摘要

本文概述了电磁学中关于安培定律的一个演示实验设计思路和实验现象并用探究性的学习方式——从提出假设开始——进行实验验证——修改假设——再观察实验结果——归纳实验现象——作出理论分析——得出结论——着重对实验的条件和误差产生的原因进行了分析。学生通过演示实验经历探究的过程, 产生探究的体验, 学习探究的方法, 把被动的学习方式转变为主动的学习方式, 体现了演示实验本身具有的探究教育功能。

关键词：演示实验、探究要素、探究教育功能



壹、观察实验结果, 引出探究问题

(1) 实验设计的思路 and 结果

电磁学中关于验证安培定律的一个演示实验的设计目标是: 观察两平行放置的长直导线在通以同向及反向两种情况电流时, 由于磁场力的作用所产生的相互靠近及相互远离的现象。

由于在装置上及其它条件上的限制, 两平行电流间的间距很难重现, 而且两平行导线中通过的电流很小, 产生的磁场很弱, 导线受力后产生的微小位移, 很难被肉眼直接观察到。因此, 从这个演示实验中学生不仅难以定性地观察磁场力的作用, 而且更无法得出定量的结果。

为了能够明显地观察到磁场力的作用, 可以设计这样的实验思路: 把互相靠得很近的两根平行导线之间的间距看作单缝, 把导线通以电流后发生互相吸引或排斥看成是单缝宽度的减少或增加, 通过光学中的衍射技术定量地测得间距发生的微小变化, 从而计算出通电长直导线受到的磁场力大小。

实验的基本装置是这样的: 将两根直径为 0.14mm、长为 250mm、表面光滑的磷铜丝, 平行固定在导线架上, 磷铜丝的长度是 $2.5 \times 10^{-1} \text{m}$, 与两根磷铜丝的间距相比, 磷铜丝的长度可以看成是“无限长”。实验研究的是距离一根通电直导线为 r_0 处的另一根平行导线所受到的磁场力的大小。为使其满足理想条件, r_0 的数量级应该在 10^{-4}m 数量级范围之内, 同时 r_0 还必须满足作为光学衍射实验中单缝的要求。当两长直导线上通过一定的、方向相同或相反电流时, 由于电流与磁场的作用, 两导线之间可产生相互吸引或相互排斥的现象, 即单缝的宽度发生变化。如果将一激光光束射在此单缝上, 在长直导线较远处放一光屏, 可通过观察光屏上的衍射条纹变化的情况, 并根据衍射图样中强度极小的一般公式:

$$d \sin\theta = K\lambda, K = 1, 2, 3, \dots \quad (\text{极小})$$

来精确地计算出两导线的微小间距变化 d 值。式中, λ 为氦氖激光波长 (6,328 埃); K 为暗条纹的级数。

由于实验中, 电流 I_1 、 I_2 和两长直导线间距 d 都可以精确地测得, 而且重复性很好, 所以由此计算得到的磁场力, 可以达到较高的精确程度。



(2) 实验现象与理论结果不符

在两根长直导线中通以平行的相同方向的电流, 在光屏上可以观察到衍射条纹外移的现象。根据衍射公式 $d \sin\theta = K\lambda$, 条纹外移即意味着 $\sin\theta$ 值变大, 从而可知两导线间距 d 变小, 于是得出两根导线所受的到的磁场力方向相向, 即两导线互相吸引, 与理论的结果相符。然后, 改变接线的方法, 使长直导线中通过的电流方向相反。出乎意料的是, 依然观察到衍射条纹外移的现象, 即两导线仍然互相吸引, 从现象上看, 其结果与理论的结果不符。

对于这样的演示实验结果, 我们没有采用把实验现象与理论的不符归结于误差的简单做法, 而是把出现这样的结果看成恰好是启发学生进行探究学习的好机会, 把从分析误差着手, 改进演示实验看作是从发挥演示实验主要是验证结论的功能走向发挥验证与探究相结合功能的有益途径。

贰、提出探究问题, 实施探究过程

我们要求学生以探究性的学习方式从发现问题提出假设开始—进行实验验证—修改假设—再观察实验结果—归纳实验现象—作出理论分析—最后得出结论的方式, 着重对实验的条件和误差产生的原因进行分析。

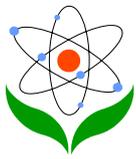
问题一:

将激光管、导线架、光屏按照实验原理图在导轨上固定好之后, 使激光光束垂直入射到两根磷铜丝的单缝平面上。在观察光屏上所成的像的同时调节导线架上的调节间距螺丝, 使光屏上出现衍射条纹。但是, 光屏上呈现的衍射条纹却不是理想的单缝衍射条纹。原因何在?

探究过程:

氦氖激光器的波长 $\lambda = 6328$ 埃, 狭缝或者障碍物的线宽只要在 10^{-4}m 的范围内就可以实现衍射。而导线架中的磷铜直径为 $1.4 \times 10^{-4}\text{m}$ 。所以条纹可能是两根磷铜丝和它们之间的狭缝分别发生的衍射在光屏上迭加的结果。因此, 要想得到单纯是由狭缝引起的衍射, 必须增加磷铜丝的线宽。

解决措施:



在已经固定好的磷铜丝狭缝的外围仔细涂上不透光的物质（例如指甲油），用来增加磷铜丝的线宽。

结果：

再次将激光光束打到加工过的狭缝上，光屏上出现理想的单缝衍射图样。

问题二：

在两平行电流的方向相同时，在光屏上观察到衍射条纹外移的现象。根据公式 $d \sin\theta = K\lambda$ ，外移即 $\sin\theta$ 值变大，可知两导线间距 d 变小。与安培定律相符合。改变接线方法，接通长直导线的电流后，理论结果是衍射条纹向中心收缩，但是结果仍在光屏上观察到衍射条纹外移的现象。这又是什么原因造成的？

探究过程：

对光屏条纹发生外移的原因我们假设有：光路问题、电路问题、干扰因素、磷铜丝通电导致形变、磷铜丝不直、实验仪器设计不当等。对这些假设我们逐一进行了验证

光路问题：

如果在光路中存在误差因素，那么我们直接用放大镜观察导线的移动情况应该能够观察预料中的结果。观察发现，不管线路如何接法使电流同向还是反向，两导线都是相互靠近。于是，排除了光路问题导致图样变化的可能。

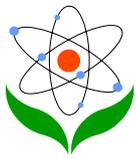
电路问题：

为找出电路中可能存在的问题，最直接的方法就是用电流计来检测电路中电流的方向。我们将直流灵敏电流计串联入电路中，从电流计的指标偏转方向可以看出，电流的确是先同向后反向。于是，电路可能存在问题的假设也排除了。

干扰因素：

为了找出回路中空间任意分布的联机(例如，与电源相连的导线)可能对通电长直导线的磁场产生的干扰影响，我们调整了其它联机的位置，使磷铜丝产生的磁场不受其它外磁场的影响。结果发现，原有的现象仍然存在，因此，干扰的因素也可以排除。

通电导致磷铜丝形变：



在设想过多种原因最后还是不能得到理想结果后, 我们猜想, 可能是磷铜丝通电加热后伸长而造成了导线移动。我们先改用单根磷铜丝进行较大电流的实验, 明显地观察到在通以较大电流时磷铜丝的确发生了弯曲, 由此, 我们推断两平行直导线通以反向电流时发生相互吸引的现象实际上可能是导线通电后发生的形变所造成的。尽管磁场力会引起排斥, 但是如果形变力比磁场力大得多, 后者产生的效应就被掩盖了。但是, 如果形变是导线变热引起的, 那么弯曲的方向应是随机的。但经过反复多次实验, 导线的形变都发生在同一个方向, 因此, 我们猜想可能还存在其它原因。

磷铜丝不直:

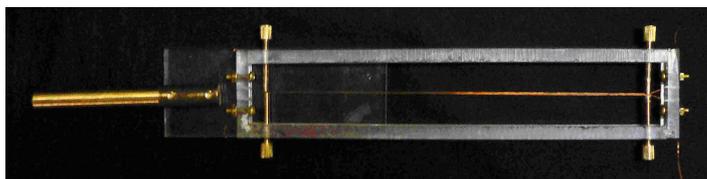
我们又假定出现实验结果的原因可能是由于磷铜丝一旦弯曲后没有完全保持平直而造成的。要想获得没有发生过任何弯曲的磷铜丝是不太可能的, 于是, 我们采用了几乎没有弹性的细铜丝代替, 只要观察到两导线受磁场力作用符合理论结果的现象就能证明上述假设成立。我们将直径 0.1mm 的铜丝连入导线框, 接通电源, 结果再次发现并没有出现我们预料的现象, 这个假设又被否定。

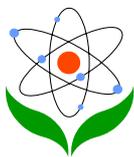
实验仪器设计不当:

在分析仪器装置时, 发现原来固定在导线框上的两根磷铜丝, 其间距是由两侧螺丝顶住并调节的, 导线受力后分别呈现“ \cup ”“ \cap ”的形状。我们假设可能在通以电流之后由于磷铜丝变热伸长, 但又受到四个调节螺丝的挤压, 从而导致了磷铜丝产生相向的形变。

解决措施:

为了证实这个假设, 我们卸掉四个调节螺丝让 0.1mm 的铜丝完全保持直线固定于导线框内, 我们设计了如图所示的一个配件。圆柱体上刻有两平行圆槽, 用于安置铜丝。槽间距为固定的 0.3mm, 在双槽的两侧分别打两个平行且通过直径的小孔, 整个圆柱体的一侧与一个调节螺丝固定, 另一侧对称的位置有一个比调节螺丝直径稍大的圆洞, 起到稳定圆柱体的作用。将两根铜丝分别穿过圆柱上的小孔再绕圆槽一周后固定于原来的位置, 这样铜丝就通过圆柱的凹槽沿圆柱的切线方向被固定。保证铜丝未受到影响实验结果的外力。





(安培定律演示导线架图标)

结果:

再次接通电流, 当两平行导线电流方向相同和相反时, 我们从衍射图像中推断出了磁场力的作用是相吸或相斥的现象。实验终于演示成功了。

参、体现探究要素, 提高探究能力

物理学是一门探求物质结构和物质运动形式的学科。大学物理课程的目标, 除了要使学生掌握基础的物理学知识和技能外, 还要使学生认识物理学家的成功之道, 体会开展科学研究的过程和方法。科学探究既是大学物理课程的目标, 又是重要的教学方式之一。探究性教学是指在教师指导下学生运用探究性的学习方法进行学习, 主动获取知识, 发展能力的实践活动, 其目的在于培养学生的创新精神和实践能力。建构主义理论认为, 学生的知识与能力主要不是依靠教师进行强制性灌输与培养而获得的, 而是在教师的指导下由学生主动探索、主动思考、亲身体验并在原有知识的基础上建构起来的。将科学探究列入教学过程, 旨在将学习重心从过分强调知识的传承和积累向知识的探究过程转化, 从学生被动接受知识向主动获取知识转化, 从而培养学生的科学探究能力、实事求是的科学态度和敢于创新的探索精神。

从这个实验的探究过程中, 我们可以归纳出探究性学习方式的几大要素:

1、发现问题和提出问题。从日常生活、自然现象或实验观察中发现与物理学有关的问题, 这是实施科学探究的第一步。

在本实验中我们可以看到问题正是从观察到的现象与理论预言不符合开始的。在这种情况下, 简单地否定具体实验结果和笼统地怀疑理论的可靠性都不是科学的态度。面对着出现的出乎意料的问题, 我们不回避, 不排斥, 而是承认问题, 抓住出现问题的机遇, 开始了探究性的学习。

2、作出猜想和提出假设。猜想与假设是科学探究的核心环节。在本实验中, 我们根据实验中获得的信息提出一个又一个可能的可能答案, 这就是猜想。在猜想的基础上做出预测并阐述他们的因果关系, 这就是假设。猜想是对问题中的事实寻求可能的解释, 尽管猜想不一定是最终的科学结论, 但猜想不是主观臆断, 不是毫无根据的胡思乱想, 它是根据已有的经验、知识和一定的科学事实经过一系列思维推理得出的, 猜想的提出往往就是为探究提供的具体方向。



3、制定计划和设计实验。明确探究的方向以后，就需要制定计划与设计实验。制定计划与设计实验是科学探究活动的重要一环。在本实验中，我们要求学生自己制定实验探究的计划，相互交流，既预料可能实现的途径，努力加以实现，又寻求计划中的不当之处，并预料它在探究中可能产生不良后果。

4、实现实验和收集资料。设想是否科学和合理，必须通过实验来验证。首先要能够实现实验，并能通过观察和实验收集需要的数据；能正确记录和处理实验数据。实现实验与收集数据对于进行科学探究是十分重要的。

5、分析论证和形成结论。对实验的结果进行分析比较既是科学方法，也是从物理现象和实验中归纳科学规律的科学过程。比较分析和描述论证在科学探究中是必不可少的。

比较分析实验显示的结果，尽可能地用定量或半定量的方法描述物理现象的特征，数据的描述可以采用文字表述的方法，也可以采用数学表示的方法。特别是需要判断得到的信息与已有现象的不同之处。

通过分析论证形成探究结论后，把分析论证前后的科学探究过程进行对比，能够有助于学生正确认识分析论证在科学探究中所起的作用。

肆、小结

大学物理演示实验在实现探究性过程和体现探究性要素方面具有比理论课程中更多的有利条件。从教学上讲，演示实验的验证性功能和探索性功能都是演示实验的重要功能，发挥演示实验的验证性功能有助于学生加深对理论知识的理解，而发挥演示实验的探究性功能不仅有利于理论知识的学习，更有利于学生体验理论知识的产生和发展，有利于感受知识形成的过程和方法。我们应该重视发挥物理演示的探究性教育功能，尤其当实验现象与理论知识预期的结果之间出现误差的时候，恰恰是引导学生实施探究性学习的有利时机。

参考文献

1. 陆果(1997): 《基础物理学》，高等教育出版社，上卷，332—333 页。
2. 张三慧(2000): 《大学物理学(第四册)》，清华大学出版社，167—169 页。