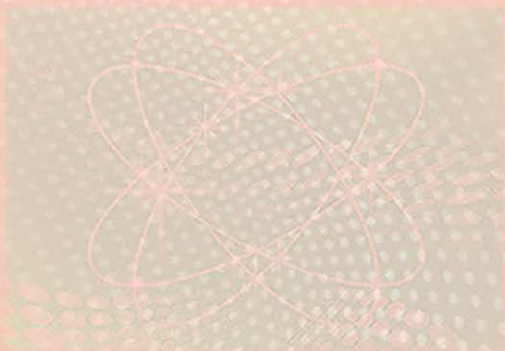


科学实验动手做·物理 实验中的思维能力培养



目 录

1 物理实验中思想方法的训练

物理实验方法的教育·····	(1)
实验教学中方法教育的内容·····	(8)
掌握物理实验的基本思想和方法·····	(23)
物理实验思维方法·····	(37)
物理实验教学中的思维品质培养与训练·····	(42)
物理实验教学与思维能力培养·····	(48)
物理实验中发散思维的培养(一)·····	(51)
物理实验中发散思维的培养(二)·····	(56)
物理实验中发散思维的培养(三)·····	(65)
物理实验中发散思维的培养(四)·····	(70)
实验教学中敛散思维的培养与训练·····	(79)
物理实验与创造性思维的培养与训练·····	(83)

2 在物理实验中的能力培养

学生的物理实验能力·····	(91)
中学物理实验能力及其培养·····	(95)
中学物理学生实验技能的培养·····	(111)

物理实验教学中的观察与思考·····	(118)
物理实验教学中的观察能力培养·····	(123)
物理实验观察能力培养的五个环节·····	(128)
物理实验观察应注意的问题·····	(135)
动手实验能力的培养与训练·····	(136)
物理实验中的操作技能培养·····	(140)
学生实验设计能力的培养·····	(145)
基础物理学生实验动作技能目标分类的四段模式·····	(148)

1

物理实验中思想方法的训练

❀ 物理实验方法的教育

慈溪市“普通高中物理科学方法教育的研究与实验”是国家教委基础教育司的“普通高中课程改革的研究与实验”课题的子课题。在该课题的实验过程中,我们始终把有关实验的方法教育放在整个方法教育的首位。这不仅是因为物理学是以实验为基础的科学,实验方法在物理学乃至在自然科学研究中占有特殊重要的地位,更重要的是有关实验的方法教育在整个物理学科的方法教育中更容易使学生感到方法的客观

存在和学习方法的重要意义。浙江省慈溪中学徐志长老师作了如下分析。

① 实验方法的含义及其特点

实验是研究物理的基本方法,也是研究自然科学的基本方法。概括地说,自然科学的实验是人们根据研究的目的,利用科学仪器设备,人为地控制自然现象,排除干扰,突出主要因素,在有利的条件下研究自然现象的本质和规律的科学实验活动。实验方法比单纯的观察方法有着显著的优点。我们知道,自然界发生的现象,如果没有人为地加以控制,一般都是在许多因素相互影响和干扰下发生的,单纯的自然观察往往很难发现它的本质和规律。如果能对现象进行控制,使某些因素的影响减少或消除,使某些因素的影响突出或强化,就容易发现自然现象的本质规律。所以控制是实验方法的基本特点,是实验方法的精髓。

② 实验方法的教育及其认识

中学物理实验(包括教师的演示实验、学生的分组实验及课后小实验等),根据其物理研究中的作用不同可划分为不同的类型,如探索性实验、验证性实验、测量性实验等。虽然这些类型的实验的特性不同,但实验的基本程序都可分为三个阶段。首先是实验的设计阶段,其次是实验的操作阶段,最后是实验结果的整理阶段。我们认为,要使实验方法的教育具

有一般性和通用性,实验方法的教育应从物理实验的基本程序入手,在实验方法的基本特点上做文章。这样,通过实验方法的教育,容易使学生加深对物理知识的理解,养成良好的科学态度和科学素质,逐步领会实验方法的真谛。

(1) 实验原理设计中的方法教育

实验原理设计中的方法教育是实验方法教育中的重点,要做好这一工作,我们分三步走。

第一,重视理解课本中的每一个演示实验、分组实验和小实验的设计原理。为达此目的和帮助学生每一个实验的理解,课题组编写了一本《实验方法学习导引》[高中物理第一、二册(必修)]的小册子。内容主要有两个方面:一是对实验方法作了一些阐述;二是对必修本中主要的演示实验和每一个分组实验从原理、方法、误差作了一些阐述。做到每生一册,要求学生在实验前理解原理时对照学习,加深理解。

第二,教师典型分析带路。学生刚进入高中,立即要求理解第一个实验的设计原理确有一定的困难。为此,除了小册子作“导引”外,教师还必须走好典型带路这一步。例如在牛顿第二定律的教学中,对课本中的实验,在教师的引导下,要求学生理解的实验目的是:研究物体的加速度 a 跟外力 F 及物体质量 m 的定量关系;实验的控制条件是:先控制 m 相同,寻找 a 跟 F 的关系,再控制 F 相同,寻找 a 跟 m 的关系,最后综合上述实验结果,确定 a 跟 F 、 m 的定量关系,并使学生了解这种控制变量的方法是单因子实验方法,在实验方法中经常

用到;实验的巧妙之处是:不测量小车的加速度而是比较相同时间内的位移来确定加速度的大小;实验中存在的问题是:把小盘和砝码所受的重力当做小车受到的合外力,而且小车还受到摩擦力的作用,可见度较差;实验减少误差的措施是:使盘和砝码的质量远小于小车的质量,使小车运动的轨道稍微倾斜,平衡摩擦力。为了增加可见度和半定量性,又可使学生了解实验方法的多样性,我们对实验装置又作了进一步的改进。

第三,根据一定的实验目的,要求学生独立地对实验原理进行设计。第一次要求学生独立设计实验原理,放在“验证机械能守恒定律”这个实验上。其原因有二:一是该实验可以采取的实验原理比较多,可以方便地根据实验目的进行设计;二是通过对每一个实验的设计原理的理解和教育以及教师的典型分析带路,学生已有一定的方法基础。在实验课前,我们把学生分成若干实验小组,要求每一小组根据这一实验目的,通过小组成员的共同努力,设计出一个可行的实验方案来。方案中需说明实验原理、所需器材、记录实验数据的表格、实验结果的处理方法等等,汇总后展出。让学生分析每一个设计的利与弊,评出一到三个最佳实验方案,并在设计的实验名称前冠以设计者的姓名。如果“张三验证机械能守恒定律实验”、“李四验证机械能守恒定律实验”等。在课外物理兴趣活动时间或其他可利用的时间内由最佳方案的设计者进行实验操作,完成后写成实验报告公布于众。

在实验原理设计的方法教育中,我们还在实验仪器的选择方法和实验步骤的编排方法作了专题教育。

实验器材的选择是一个难点,众所周知,准确选择实验器材是完成实验的前提。实验器材选择适当,不仅可以保证实验的顺利进行,而且可以使实验操作更方便,实验误差更小。因此,实验器材的选择方法是学生必须掌握的实验方法之一。为此,我们从强调学生了解中学物理实验中常用的各种仪器的性能入手,以安全、方便、准确为选用原则作为突破口进行教育。具体的选用方法的教育我们放在高二的电学和高三的实验专题复习中进行。在高二电学实验中,我们以典型带全面,重点分析“测定金属的电阻率”这一实验。通过分析,使学生知道怎样根据实验原理选择实验器材,选择怎样的器材能够使实验既方便又能按实验设计要求正常进行,选择怎样的实验器材能减小实验误差等等。对其他电学实验,我们要求学生按照典型分析方法,对每一个实验进行逐一分析,使之初步领会选用器材的方法。在高三实验复习阶段,我们组织典型进行专题教育,从选用原则、要求、方法的理论高度和实践上同时进行训练,从而进一步掌握这一选择方法。

实验步骤的合理编排是保证实验成功的重要环节,也是实验操作的依据。实验操作是有先后顺序的,某一项操作往往是后一项操作的必备条件。如果漏掉一步或操作颠倒,可能会使实验不能顺利进行,甚至无法完成实验。因此,编排合

理的实验步骤的方法教育,我们要求学生从领会实验的原理、预测每进行一步实验操作将会出现怎样的实验现象作为编排的出发点。除了在实验设计中重点教育外,还分散安排在不同的实验中进行。如引导学生在分析“验证牛顿第二定律”实验中,漏掉了平衡摩擦力这一步,对实验结果将会出现什么后果。在“验证机械能守恒定律”的实验中,松开纸带和接通电源应哪步在前哪步在后?若相反会带来什么影响?有时故意编制一些混乱的实验步骤,要求学生进行合理编排,逐步领会实验步骤编排的方法。

(2) 实验操作中的方法教育

实验操作是学生完成整个实验的关键环节,是学生直接参与的科学实践活动。实践操作中的方法教育,我们从以下两个角度展开:一是在教师的演示实验操作示范性上下功夫。通过示范性教育,可使学生初步领会实验操作的基本方法——“七字法”:“拿、放、调、装、接、测、读”。即要求学生在实验操作过程中掌握怎样拿仪器,怎样安放、排布仪器,怎样调节仪器,怎样装配仪器,怎样连接仪器,怎样用仪器进行测量,怎样读出和记录被测数据等方法。特别是掌握怎样对稍纵即逝的变化现象和微弱缓慢的变化现象的观察方法。二是从“同步式”教育过渡到“自由式”教育。“同步式”教育,即整个教学过程按教师的指令,以相同的进度完成各种操作。每操作下一步前,教师先讲清该步操作的详细方法和注意的几

个问题,待交待完毕,发出指令让学生完成这一实验步骤,如此一步一步以同步的形式完成整个实验操作。“同步式”教育只能在实验操作方法教育的起始阶段适用,其特点是每一步的操作方法比较清晰,便于操作。其目的是要使学生明白,每一步的实验操作都有一定的方法可循,以养成在独立操作时,每一步要按一定的方法进行操作的良好习惯。“自由式”是相对于“同步式”而言的。当学生从“同步式”教育中掌握了一定的实验操作方法。形成了一定的实验操作技能以后,在学生有充分准备的前提下,对每一个实验在总体上或个别细节中提一些实验操作方法要领后,放手让学生根据自己的方法自由地去完成实验操作的全过程。对“自由式”教育,教师事先必须预测学生在实验操作过程中可能出现的问题及其出现这些问题而对付的方法。在“自由式”教育的过程中,教师必须加强巡视,及时发现学生在操作过程中出现的问题,提出相应方法,及时地进行纠正,并让学生在失误中吸取教训,懂得补救的方法。在巡视中出现一些好的、新奇的方法,教师应及时给予肯定并加以推广。

(3) 实验数据处理中的方法教育

从实验中通过一定的方法来观察现象、获取数据只是实验的一个初级阶段,要达到实验所预期的目的,还必须通过分析和处理实验现象和数据这一高层次的阶段。在该阶段中需要对实验现象和数据进行分析、综合、抽象、概括等逻辑思维、

数学、图象等一系列方法,才能挖掘出实验现象和数据中蕴含的深刻含义,从而验证或得出物理规律(提出假说)。实验数据处理的方法教育,我们的重点放在图线法。通过教育,使学生初步掌握用图线法处理实验数据的基本方法,懂得一些图线法的基本要领和应注意的问题。如坐标轴和原点的选择方法:坐标的横轴为自变量,纵轴为因变量,由于被测物理量的不同,坐标原点可以和变量的零点不一致,单位的选取要合适,使图线均衡分布。描点的方法:实验数据必须用一定的符号(如“ $\times$ ”、“ $\cdot$ ”)描点。图线的描绘方法:作图线时,要使尽可能多的点落在图线上,偏离点应以大体相同的数目分布在图线两侧。坐标轴的变换方法:如果根据测量值得到的图线不是一条直线,可将被测量值作某种变换来得到直线,同时使学生明确这种变换不仅是由于直线容易描绘,更重要的是直线的斜率和截距所包涵的内容正是我们所需要的。图线的外延的方法:有些数据在实验过程中是难以测出的,可依据实验曲线的发展趋势向外延伸得到所需结果等等。

✿ 实验教学中方法教育的内容

从物理学的发展历史来看,物理学方法论的全部内容,包括总结科学方法、探讨科学方法的原理与结构,总结物理学研

究的程序等等,都是从物理学发展史的反思中,以及人们对物理研究过程的再认识中总结出来的。我们不可能先验地去规定如何进行物理认识,也不可能先验地提出任何方法论的原理及研究程序,可以说构成物理学方法论研究的全部经验材料就是物理学发展的史实。在中学物理教学中,我们也不可能脱离教材内容和教学活动的实际,主观地制定一套科学方法教育的内容、要求及模式。我们所能做的,一是发掘,二是总结。也就是说,一是通过深入分析具体的教学内容来发掘其中蕴含的方法教育的要素,来提出方法教育的内容、目标和要求;二是通过总结物理教学工作者在教学实践中创造的丰富经验,来寻找一条施行科学方法教育的途径和有效的做法。

人们在进行一项科学的实验活动时,总是综合运用多种方法,而各个具体的实验所运用的方法又各有特点和侧重面。因此,我们很难全面列举教材中各个实验所用到的所有研究方法,更难以对这些方法作一个简单的归纳。浙江省杭州高级中学夏蒙森老师从下列的几个方面,对中学物理课程的实验教学中所蕴含的科学方法论内容作了发掘和探讨:

① 通过实验教学,使学生理解实验中具有普遍意义的思想和方法

在各个实验中,有一些是具有普遍意义的思想和方法。学生理解和掌握了这些思想和方法,不但对于解决物理问题,

就是在将来解决其它领域的问题时,也能起借鉴的作用。

(1)使学生了解,当用实验方法来研究某一问题时,一般先要对研究对象和物理过程作出初步的分析,弄清影响实验过程的外部条件及内部的各个因素之间的关系,抓住主要矛盾,排除各种干扰,使实验尽可能在“纯粹”的条件下进行。

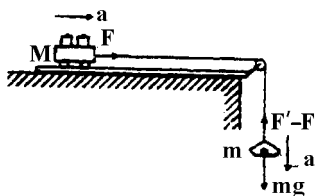


图 1

以用“平板——小车”验证牛顿第二定律的实验为例(图1),通过分析,找到小车的加速度与小车受到的拉力 F 、小车的质量 M 、小车运动中受到的摩擦等因素有关,而小车受到的拉力 F 又不等于所悬挂的砝码盘及小砝码的总重量 mg 。我们用给平板一个适当的倾斜角的方法,消除了摩擦力的影响。至于 F 不等于砝码盘及小砝码的总重量的问题,则除了尽量减小滑轮的摩擦外,就要结合理论的分析来找到解决的途径。小车 M 和砝码盘、小砝码 m 构成一对连接体。在已平衡摩擦的条件下, $F = Ma$, $mg - F = ma$,

$$\text{解得: } F = mg \cdot M / (M + m),$$

$$a = mg / (M + m)。$$

解决的办法有两种:一种是实验中保证 $m > M$, 这样, $M / (M + m) \approx 1$, 而有 $F \approx mg$, 这就是目前教材中推荐的做法。另一种做法是,先将

砝码盘等一起放在小车上,称得质量($M+m$),平衡摩擦后,从小车上取出砝码盘及一部分小砝码作为 m 。当要改变小车受到的拉力时,也不是从外部向砝码盘加、减砝码,而是从小车上取一些小砝码加在砝码盘上,或从砝码盘上取出一些砝码放回到小车上,这样,就保证了式 $a = mg/(M+m)$ 中分母($M+m$)不变,从理论上说应有 $a \propto mg$ 。这两种处理方法各有其特点。前一种方法,可以使学生体会近似处理在实验研究中的意义,而在实际的实验活动中,实验的条件一般说都只能是近似地满足的;后一种方法,则体现了改进实验的原理,从而消除了实验中的系统误差的思想,这种做法,在实际的实验中,也是常用的。

曾有人提出这样的问题,上面一段分析的根据是牛顿第二定律,而我们实验的目的本身即是验证牛顿第二定律,这在逻辑上是否存在矛盾?我们不是在对决定物体加速度的各因素一无所知的情况下来研究这个问题的。在实验中验证了牛顿第二定律的推论(即式 $a = mg/(M+m)$),实际上这里的“推论”还是非常直接的),也就等于验证了牛顿第二定律。另外说一句,我们常听到“验证性”实验和“探索性”实验的提法,笔者以为,即使是对一种未知现象的“探索性”实验,在实验之前,人们对实验中各因素之间的关系和可能要发生的现象也一定有一个基本的估计,整个实验的设计和具体的操作也一定是在理论的指导下进行的。盲目地进行所谓的“探索”,是不会有什麼结果的,即使实验中出现了什麼新的事物,对一副没有“准备”的头脑来说,也是不能感知和理解的,这在物理学的历史上有许多的事例。

对于观察某一现象的物理实验,为了使要研究的现象与其它无关

的现象区别开来,必须尽量排除各种干扰因素。例如为了观察硫酸铜溶液中的铜离子的扩散现象,必须先将清水盛在细、高的容器中,然后用长颈漏斗将硫酸铜溶液缓慢地注入容器的底部,然后静置于恒温的环境中,这样才避免了机械的扰动和热对流的影响,使我们观察到的是真正的扩散现象。这个实验,一般来说要经过一二天的时间,才能看出绿色的硫酸铜溶液和清水的界面稍有模糊。

对于测量物理量的实验,也存在一个测量条件的“纯化”问题。图 2 是大家熟悉的用半偏法测量电流计内阻实验的电路。实验的过程是这样的:接通电键 K_1 ,调节可变电阻 R 直到被测电流计 G 满偏;接通电键 K_2 ,保持 R 不变,调节电阻箱 P_O ,直到电流计半偏,若调节 P_O 过程中电路中总电流可认为不变,则电流计内阻 R_g 等于 R_O 。可见为保证测量在“纯”的条件下进行,必须使电路中的总电流保持不变。具体的方法也有两种:一种是使电流计内阻远小于变阻器电阻,即 $r_g \ll R$,这样当接通电键 K_2 和改变电阻箱 R_O 的阻值时,电路中的总电流基本不受影响(根据一般实际实验中所用电源电动势值及电流计的量程,这条件总是能满足的,但教学中对条件的分析仍是必须强调的);另一种是在电路中串联一只监测电流计 G_O ,如图 3 所示,当接通电键 K_2 后,反复调节 R 和 R_O ,使总电流保持不变而被测电流计半偏,这样就能使 R_O 的阻值“准确”地(从原理上来说)等于被测电流计的内阻 r_g 。这两种方法也各有特点。前一种方法强调了实验中近似处理的意义,这也是教材中推荐的方法;后一种方法强调了理论上的严密性,但操作的难度较高。两种方法在教学上都是很有价值的。

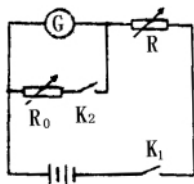


图 2

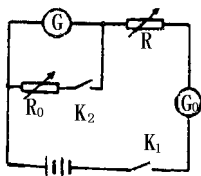


图 3

(2)通过教师的示范和学生自己的体验,使学生了解,利用改变实验条件的方法来揭露所研究的物理过程各个方面的特征,找出物理过程中各方面因素之间的关系是实验研究的一种基本思想和做法。

例如为了认识电磁感应现象,我们先比较了导体静止在磁场中和导体与磁场作相对运动这两种情况,又比较了导体在磁场中向各个不同的方向运动的情况,认识到导体作切割磁力线运动时能产生感应电流;为了获得更全面的认识,又将两个线圈保持相对静止,使其中一个线圈通有电流,当这个电流改变时,另一个线圈中也产生了感应电流。

经过反复比较,我们终于认识到,穿过闭合电路磁通量的变化,是产生感应电流的普遍条件。

又如为了认识光在两种透明媒质界面上发生的现象,我们先让光以不同的入射角从光疏媒质射向光密媒质。通过比较,发现:不论以什么入射角入射,总是同时发生反射和折射现象;反射角和折射角都随入射角的增大而增大,反射光的强度随入射角增大而增强,折射光的强度随入射角的增大而减弱。再让光以不同的入射角从光疏媒质射向光密媒质。发现当入射角较小时,也同时发生反射和折射现象,除了折射角大于入射角外,其余和光从光疏媒质射向光密媒质时相同,但当入射角大到一定值时,发生了全反射现象。通过反复比较,最终对光在两种媒质界面上发生的现象有了全面的认识。

只有通过在不同条件下对物理对象或物理过程的观察和比较,也就是说,在运动、变化中而不是在静止状态下来考察研究的对象,我们才能对研究对象的特点和本质有比较全面和深入的认识。在实验教学中十分重要的,就是要使学生学会这样一种观察和研究问题的方法。

对于有多个因素起作用的物理过程,为了便于找出过程的规律,通常的做法是每一次都先控制几个因素不变,改变其中某一个因素,这样依次考察各个因素对物理过程的影响,最后再运用适当的数学方法进行归纳、总结。这种方法,在教材中有许多实例,也是大家比较熟悉的。如研究物体的加速度和物体的质量及物体所受外力的关系,通常是分别研究物体的质量不变时加速度随外力的变化情况及物体所受的外力不