



在物理教学的实践中形成教育观

本刊功勋作者 姜水根



姜水根老师, 1970年毕业于中国科学技术大学近代力学系, 同年进入中学工作。从事中学物理课堂教学三十余年, 被评为浙江省功勋教师, 宁波市杰出专家, 享受国务院特殊津贴。曾任浙江省宁波效实中学物理教研组长, 副校长, 现为效实中学调研员、宁波华茂外国语学校教学总监。浙江省特级教师协会副会长、宁波市特级教师协会会长、浙江师范大学数理信息学院教育硕士导师。

姜老师教育教学思想正确, 思维深刻严谨, 讲究教学艺术, 教学成果显著, 为培养高素质的学生做出了突出贡献。长期坚持教学科研, 在中学物理教学的理论探索和改革实践中取得了成果。其研究工作分为两个阶段。在2003年以前, 主要研究了3个方面, 即物理教学的科学境界研究、物理教学的哲学境界研究、物理教学的科学美研究。在2003年以后, 正在进行或继续要进行的的研究是: 科学和哲学研究、科学和文化研究。

姜老师从1980年开始与王家祥、沈晨等老师合作或独自在全国十余家杂志上发表关于中学物理教学论文150多篇, 编书约20部, 出版专著3本。尤其是从2004年第1期开始, 为本刊开辟了“科学和哲学论坛”, 发表了与陈青华老师合作的系列稿, 为丰富中学物理教学参考杂志的研究内涵、为发展我国中学物理教学、为繁荣我国的哲学和社会科学事业做出了贡献。

1970年我开始了中学教师的生涯, 在多年物理教学的实践中形成了自己的教育观。

一、物理教师的使命

作为物理教师, 我们不是简单地传授知识, 而是要引导学生体验科学真理, 继承科学精神。

让学生体验科学真理, 首先就是要让学生懂得物理学是一门以实验为基础的科学, 要学好物理就要积极动脑、动手做实验。要让学生树立这样的观念: 实验的精髓是控制。有了这样的认识, 在做实验的时候, 思想就明确了。比如, 在做“验证互成角度的两个力的合成的平行四边形定则”实验时, 为什么要两次把橡皮条的结点拉到同一位置? 在做“验证玻意尔定律”的实验时, 对针筒里的气体进行研究时, 为什么要检查针筒的橡皮帽是否漏气? 实际上所有的实验都是在控制上下工夫。比如“用单摆测定重力加速度”这个实验, 我们在做这个实验的时候, 总是用细线拴一个

小铁球, 小球的直径比线短得多, 小球可以看作质点, 这就做成一个单摆, 而且细线选得比较长, 这是为了实验的方便, 使得摆动的幅度可以大些而仍能控制控制在 5° 以内, 不至于与简谐运动相差甚远。还有, 单摆的悬点不能用线绕在一根圆棒上, 而要用夹子夹住细线, 这样做是要控制单摆在摆动的过程中悬点固定、摆长不变。

学习物理科学的理论, 不能只停留在记住了结论, 而要领会科学真理的神韵。好比师傅教徒弟打太极拳, 它既不是太极舞, 也不是太极操。它的转体、移步, 运气、眼神, 既不是舞蹈的柔美, 也不是广播操的刚健, 它的一招一式都有它特定的意义, 那就是保护自己、攻击对手的拳击上的意义。徒弟只有学会了师父教的每一个动作的思想, 才能说他学会了“拳”。学习物理规律就要注重它的科学思想。

下面是一道极为普通的运动学练习题:

“从一座塔的顶上静止释放一块小石头, 经过3 s



石块落到地面,问塔有多高?”

本题并不难,根据自由落体运动的规律即可求得。但是,我在这里让学生体会:用测定时间来间接地得到塔的高度,这是“测量变换”的思想。

“测量变换”在物理学上的应用是相当广泛的,卡文迪许使用扭秤研究万有引力常量的时候,由于引力很小,他是通过测定力矩来测力的,又是通过石英丝的扭转角度来测力矩的,再是通过光点的移动来测定石英丝的扭转角度的,这就是“测量变换”。在生活中我们也常常用到“测量变换”的思想。我们常说5分钟自行车的路,这是把长度的测定变换为时间的测定。古人常说,一柱香时间,就是把时间的测定变换为长度的测定。“测量变换”的思想在现代科学中也得到运用。根据大统一理论推出质子的寿命是有限的,为 $10^{31} \sim 10^{33}$ 年,这个时间要比宇宙的年龄还要长,当然是不可能被测出的,于是就取 $10^{33} \sim 10^{35}$ 个质子,一年内就可能有 10^2 个质子发生衰变,这是可能被测出的。科学家这样设计就是要把时间概率转化为空间概率,从而把不能测定的情况变成能够测定的情况了。

1908年,卢瑟福荣获诺贝尔物理学奖。他在领奖时的发言中介绍了用闪烁法逐个记数 α 粒子的经过,即透过一个低倍显微镜一个一个地记录 α 粒子射入硫化锌薄层时发出的闪烁。盖革曾参与了这项工作。这项工作相当乏味,需要在绝对黑暗的实验室里一连操作许多小时。在记数的时候,卢瑟福和盖革采用的方法相当巧妙,由于 α 粒子在硫化锌屏幕上造成的闪烁不容易看得清晰,各人的观察效果不一定相同,可以用 p 表示效率,那就是观察到的闪烁次数与实际的闪烁次数的比例。卢瑟福和盖革同时观察同一个屏幕,每人边看边记录闪烁的次数,看到一次就用手按一下类似发电报所用的电键发出一次信号,以便汇总计数。发出的信号有3种可能的情况:(1)只有第一个观察者发的信号,(2)只有第二个观察者发的信号,(3)两人叠加的信号,这3类信号的数值各为:

$$N_1 = p_1 N, N_2 = p_2 N, N_{12} = p_1 p_2 N.$$

其中 p_1 、 p_2 分别是两个观察者不同的效率, N 为实际发生过的闪烁数,暂时为未知数,而 N_1 、 N_2 和 N_{12} 则分别为第一个和第二个观察者单独看到和共同看到的闪烁数,那么 $N = \frac{N_1 N_2}{N_{12}}$ 。

我让学生联系小学的数学课做过这样一道思考题:

池塘里养着鱼,怎样知道鱼的数量?

探测的方法是这样的:先捕一网鱼(比如有 N_1 条),把它们都做上记号放回池塘,等到鱼在池塘里均匀地游动以后,再捕一网鱼(比如有 N_2 条),其中做过记号的有 n 条,根据随机事件具有确定的概率的思想可以算出池塘里有多少鱼。我们把卢瑟福和盖革的巧妙的方法和小学数学的方法进行对比可知,它们在本质上是一致的,都用到了概率的思想。这个教学过程既让学生体验科学方法又感受科学精神。

二、物理教学的本质

我们知道,在教学中有两条最重要的原则:激发学生兴趣的原则和因材施教的原则。不论采用什么方法都要求上课生动,使学生对物理课感兴趣,使不同的学生学有所得。我认为物理教学的本质是营造一个使学生在创新活动中学习科学的氛围。

我在1980年教“动量守恒”时,当时的实验条件还比较差,我是在讲台上用两个大小不同的木块在弹簧夹子作用下弹开时滑动距离的不等来定性地演示的,我在上课时全身心投入演示实验的情景,也感染了学生,有一个同学回家也重复了课堂演示实验并计算得到了这两个木块在弹开的过程中系统的重心是不动的,进而做了这样的描述:有 n 个相同的船,排成正 n 边形,每个船上有质量相等的人,他们分别用绳拉别的船,不管他们怎么拉,最后这些船会到达一点,那就是正 n 边形的中心。我在全班同学中评价这个同学的想法:第一,他想到用重复实验来验证物理规律;第二,他在进一步进行的理论研究中得到了一个新的发现。为了表扬这位学生的这种精神,我就用这个学生的名字来命名他的发现。当时社会上流传哥德巴赫猜想,我就把它命名为“董明猜想”。全班同学的研究劲头被激发起来了。如果说,我对董明猜想的命名仅仅是一种表扬,是一种搞好物理教学的补充手段的话,那么接下来发生的事情则促动我继续实践,逐步形成自己的教育观。

半个月之后,另一个名叫张颖的女同学,在董明猜想的启发下得到了又一个研究成果——关于在一条直线上两个物体的重心如何运动的问题。她说:“董明研究的是静止的系统,我研究的是运动系统。”她先计算了在 x 轴上两个质量分别为 m_1 和 m_2 的小球的重心的坐标,然后逐个地考察经过相等的时间 t 之后小球的位置,经过计算得出结论是:不受外力的系统,不管其内部是否发生碰撞,其重心的位置是做匀速直



线运动的,其速度是 $v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$. 她还指出,董明猜想是她的公式中的一个特殊情况. 我看到张颖的研究比董明思考得更深刻,在研究方法上,她以别人的研究成果作为起点,运用数学方法进行演算论证,得出结论之后还注意到对静止系统的包容性. 她的结论实际上是大学物理中的质心运动定理. 作为一个中学生把它推导出来了,实在是难能可贵的. 我在班级里介绍她的成果时把它命名为“张颖定理”. 对紧接着发生的学生的成果(光滑平面上 n 个小球重心的运动是匀速运动的)又命名为“卢玲推广”. 这是我自觉地开创了用学生的名字来命名学生的学习和研究成果的先河,这种做法对学生本人和其他学生都是极大的鼓舞,激发了学生内在的学习动力,使他们的志趣持久而坚毅.

我还把董明和张颖等同学的事迹以及他们的论文作为校本教材向后几届学生介绍. 科学的氛围在保持,科学的精神在传播,它是校风的组成部分.

我在 1986 年教高二的时候,有一个分组实验是电容器通过高阻放电测定电容. 根据公式 $C = \frac{Q}{U}$, 如果测得某一电压下电容器所带的电量,就可以求出该电容器的电容.

如图 1 所示,闭合开关 S' 和 S , 电池对电容器 C 充电,当电容器两端电压 U_c 上升到稳压 U 时,充电完毕. 断开开关 S , 这时电容器通过电阻 R 放电. 每隔 5 s 读取一次数据. 电流 i 随时间 t 的增加而

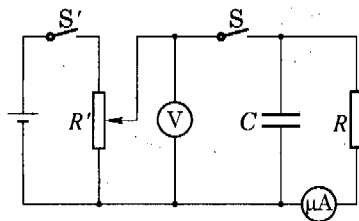


图 1

逐渐减小,放电完毕后,将整个放电过程中每小段时间所转移的电量加起来,就是电容器所带电量 Q .

下面是董一鸿同学的实验数据:

$$U = 2.0 \text{ V}$$

t/s	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	100
$i/\mu\text{A}$	175	130	102.5	80	60	50	41	33	23	15	10	5

根据记录数据,在坐标纸上以时间 t 为横坐标,放电电流 i 为纵坐标描点做出 $i-t$ 图象,画出光滑连接的曲线如图 2 所示,根据曲线与两坐标轴所围成的面积,即是电容器电量 Q ,最后计算出电容器的电容 $C = 1\,800 \mu\text{F}$.

董一鸿在完成了实验任务之后又进行了深入的研究,他在实验报告中这样写到:“……我从上面的数据中看出,每隔 15 s, 电流减小一半,我又查阅了许多

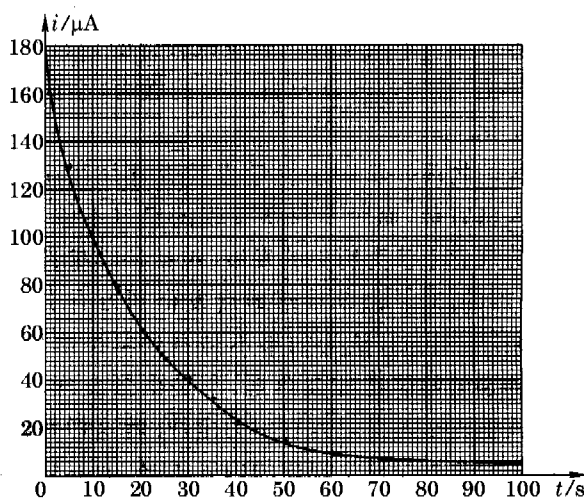


图 2

不同同学的数据,似乎也有这个规律,即每过相同的时间,电流减为原来的一半,这与原子核的半衰期非常相似.”我看到,我向同学们宣传的董明猜想和张颖定理使科学精神又开花结果. 对于学生的成果我是敏感的. 我看到,董一鸿的发现,其科学过程与科学家的发现在性质上是相同的. 为了教育其他同学,我专门增加了一堂实验报告分析课. 我把这条规律命名为“董一鸿放电定律”,并着重指出董一鸿取得成果的原因有三条:1. 他实验态度认真,测量数据准确;2. 他学习基础好,知识面广,在分析数据时抓住主要方面;3. 他的机遇好,他实验用的电阻值为 $12 \text{ k}\Omega$, 根据指数衰减方程 $i = i_0 e^{-t/RC}$, 可以解得,使电流减半的时间 $t = RC \ln 2$, 正好为 15 s, 使数据的规律恰能在表格上被观察到. 科学家的成功往往有这三个因素. 我告诉同学们,机会总是留给勤奋的、有准备的人.

大家知道,物理是难学的,学习物理是艰苦的. 而眼前的这些学生,他们的学习是主动的、愉快的. 在我和同学们共同营造的像科学家那样探索的活动中学习科学,在这样的氛围中体验科学真理,继承科学精神. 我欣慰地看到,这种教学延续至今,我校学生中还有更多的、更精彩的发现.

三、物理教改的方向

物理教学在应试教育的机制下偏离了正确的方向,认为学习物理就是解题,忽视了相关的人文知识的传承,学生从五花八门的解题中,了解了物理的理



论知识,认识到物理知识的运用.长此以往,他们从解题中认识了科学的力量,也了解了科学的精神,从对科学的偏爱发展到科学至上,最后甚至达到科学与人文脱节的地步.

物理教学改革就是要克服应试教育的片面性,要通过科学史、科学哲学以及科学美的教育,全面传承人类的文化.

传统的物理教学对于科学史的教育往往注重科学家的人格宣传,而对于科学发现的经过不够重视.在人们的观念中认为历史的发展(包括科学事件的发生)是必然的.对于由苹果落地启发得到万有引力定律的联系不甚认同,认为如果不是看到苹果落地,一定会看到别的物体比如梨落地,不是牛顿发现,也一定会有其他什么人发现万有引力定律.就这样在物理的学习中只是抓住科学规律的内容本身,而具体生动的发现过程都被忽略了.实际上,哥白尼出版《天体运行论》,解放了人们的思想;伽利略出版了两个《对话》,成为近代科学的开创者;牛顿出版《自然哲学的数学原理》,跨越了天地的鸿沟,建立了新的宇宙观……每个人的身上都有一个生动的故事,每一个故事都有具体的情景,都具有偶然性,而这些偶然发生的事情背后都有一个必然性的因素.我们只有辩证地对待这种必然和偶然的关系,才会把科学史的教育放到适当的位置.

我不仅在概念和规律的教学中间介科学家的事迹,历史地考察科学家的成就,甚至在习题教学中也不忘记科学史教育.

有这样一道实验设计题:

“伽利略曾经提出和解决了这样的一个问题:一根细绳挂在又高又暗的城堡中,我们看不见它的上端,只能看见它的下端,问:伽利略是用什么方法测出细绳的长度,请写出实验步骤和计算公式.”

这是一道实验设计题.如果用秒表测定时间,再代入单摆的周期公式求得绳子的长度.应当说,这样的解答是错误的.

伽利略在19岁的时候发现了摆的等时性,他在世时并没有制成有实用价值的钟(在惠更斯制成世界上第一台钟的时候已经是几十年之后的事了).伽利略当时在研究斜面上的小球的匀加速运动时,他用的计时仪器并不是我们今天所用的计时停表或打点计时器,而是用容器漏水的办法,根据漏水量与时间成正比的方法进行计算的.伽利略当时在教堂里是用自己的脉搏的跳动来研究摆的等时性,发现单摆摆动的

周期与摆长的关系.本题我们可以在城堡的下端再用一根较短的绳子系一个重物做成单摆,把那个要测量长度的绳子也系一个重物做成单摆,对于它们的周期用脉搏跳动进行计量比较.

科学家的形象是多姿多彩的,只有当科学家在学生心目中形象丰满的时候,学生才真正体验到科学真理,才可能在物理学习中继承科学精神.

传统的物理教学对于科学哲学的教育,往往注意把某几个物理知识点当作解释哲学原理的例证,但是对于哲学在科学发展中的作用的还是不够的.

我们看到马克思和恩格斯怎样继承人类的优秀文化,怎样从德国古典哲学中吸取合理的因素创立新的世界观,我们就会明白我们也应该持这样的态度来进行物理教学.

我在物理教学中介绍过德国哲学家康德的关于世界的四个“二律背反”.康德认为,人的理性在试图认识世界时,必然会自相矛盾,会提出两种完全相反,但可能性相当的看法.比如第一个“二律背反”:“世界在时间上是有开端的,在空间上是有限的;世界在时间上是没有开端的,在空间上是无限的”(还有3个“二律背反”介绍从略).我就提出4个物理领域的“二律背反”:1.运动中的物体在某一个瞬时确定的位置;运动中的物体在某一个瞬时没有确定的位置.2.接在电路中的理想电感线圈,其反电动势与外电压大小是相等的;接在电路中的理想电感线圈,其反电动势与外电压大小是不相等的.3.封闭气体系统趋向平衡;封闭气体系统不趋向平衡.4.物理量是可以被测量的;物理量是不能被测量的.通过对这些命题的论述,使学生对物理问题的思路开阔、兴趣大增.

我在物理教学过程中介绍过古希腊的芝诺悖论,其中有一个是跑得最快的阿喀琉斯永远也追不上乌龟.论证如下:

阿喀琉斯从A点出发,追赶在他前面从 A_1 点出

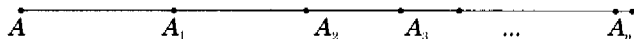


图3

发的乌龟(如图3所示),他若要追上乌龟,必须先到达乌龟开始跑的位置 A_1 ,当阿喀琉斯到达乌龟开始跑的位置 A_1 时,乌龟已经前进了一段距离,到达 A_2 ,所以阿喀琉斯要追上乌龟,又必须先到达位置 A_2 ,等他跑到了 A_2 ,同样的问题又摆在他的面前……所以阿喀琉斯虽然跑得快,也只能一点一点逼近乌龟,却永远也追不上乌龟.



我也造一个悖论让参加物理竞赛的学生思考:

在光滑水平的桌面上固定着一个半径为 r 的圆形的挡板,挡板是不光滑的.在挡板的内侧有一个小物体,现在让小物体沿挡板做圆周运动(如图4所示),小物体和挡板间的动摩擦因数是 μ .小物体在运动过程中,当它的速度为 v 时,受到挡板的压力为

$$N = \frac{mv^2}{r},$$

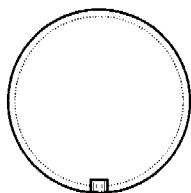


图4

则挡板对它的摩擦力为

$$f = \mu N = \frac{2\mu E}{r},$$

这里 E 是小物体的动能.当小物体沿挡板滑过一小段位移时,摩擦力做功为

$$f \cdot dl = \frac{2\mu E}{r} dl,$$

使小物体的动能改变 dE , 可得方程

$$dE = -\frac{2\mu E}{r} dl,$$

$$\text{则} \quad \int \frac{dE}{E} = \int -\frac{2\mu}{r} dl,$$

$$\text{得} \quad \ln E = -\frac{2\mu l}{r} + C,$$

当 $l=0$ 时, $E=E_0$, 得积分常数 $C=\ln E_0$, 则

$$E = E_0 e^{-\frac{2\mu l}{r}}.$$

这就是说,物体的动能是关于滑过的路程以指数规律衰减的,滑过相等的路程,动能衰减的百分比是相同的.小物体只要还在运动,就一定是圆周运动,它就会受到挡板的摩擦力,它的动能一定会越来越小,小物体的速度越来越小,使得小物体沿圆周运动的周期越来越大,它就能永远运动下去.这里涉及量变和质变、动和静的辩证分析.

还有,如在准静态过程、不定问题、物态变化、能量转化等问题上进行辩证的分析,可以使我们的学生对物理概念和规律的掌握达到更高的层次,他们的思维能力大为提高.

传统的物理教学对于科学美往往停留在自然现象和物理规律的对称与简洁性的欣赏上,但是对于总结科学美的规律进而理解科学还是不够的.

我给学生做过科学美的讲座,讲述音乐的节奏的强弱拍的周期性及其变化、和声运用中的频率对比;诗歌韵律中的押韵规律和文义上的对仗规则;美术构图中的透视原理和色彩的运用……艺术领域普遍存

在的对称和破缺现象,让学生进行从艺术美到科学美的类比和联想.通过讲授物理规律的时间平移对称性、空间平移对称性以及空间旋转、空间反演、时间反演对称性.通过对具体的物理科学规律的分析,可以看到,科学规律的本质是真,它的形式具有对称性,这种对称性的特征表现为简单、和谐、统一.

光的反射定律是简单的:反射角跟入射角相等.真理就是这样简单!光的折射定律就不那么简单:折射角跟入射角并不相等,也不是简单的比例关系.但是,研究发现它们的正弦之比是一个常数,又显示了简单性.我们看到科学规律之间的发展联系:

简单→不简单→高层次的简单.

哥白尼时代的日心说表明,行星绕日运行是圆轨道,这是最对称的图形.开普勒指出,行星绕日运行的轨道是椭圆形,它仍然是和谐的!但是现代测定发现水星轨道的进动,不是和谐的封闭轨道了.但是,这些进动的轨道联系起来仍然是对称的图形.我们看到科学规律之间的发展联系:

和谐→不和谐→高层次的和谐.

对光的传播的研究实际上可以跟物体的机械运动进行类比的.在均匀的同种介质中光是直线传播的,光经过界面发生反射是遵从反射定律的,我们可以把这些规律统一到:光从空间中一点到另一点的运行的路径是最短的.当发现光的折射定律之后就不统一了,光走的路径就不是最短的了.但是当我们从光传播的时间上来考察,由费马定律,几条规律又统一了.我们看到科学规律之间的发展联系:

统一→不统一→高层次的统一.

在引导同学们欣赏科学规律的同时,逐渐总结出科学美的内涵.科学美是科学内容和科学形式有机地结合在一个永无止境的工程之中,物理科学美有它的从微观粒子到宏观宇宙的多种运动形式的丰富内容,从它的简单性、和谐性和统一性为其主要特征的对称的形式,以及这种形式的不断向前发展的进程,它与艺术美有着共同之处,那就是,在对称之中有着不对称,因此可以归结为:

科学美=对称+破缺.

常言道:一方水土养一方人.我是在中学物理教学的土地上成长起来的.凭借不断的实践和对教育的思考,形成今天的教育观.感谢师长的关怀、周围老师的帮助,感谢《中学物理教学参考》的编委老师的指导.我将开辟新的研究领域,为物理教育事业再尽一份力.