

漫谈科学仪器的卓越构思

朱海星

(扬州教育学院物理系 江苏 225002)

仪器装置是进行物理实验的物质基础,是人的器官的延续和扩展,但又大大超过了人的器官的功能和作用。它是探索物理学奥秘的必要手段,又常常是开拓新学科的领域的前提条件。仪器装置的设计是同实验方法紧密相联系的。许多实验方法、实验思想要通过仪器装置体现出来。在进行物理教学的活动中,启发学生在实验研究的同时,对实验仪器的巧妙构思进行探索,有助于学生能力的提高。下面结合部分科学研究的例子和本人的教学应用对此进行一些讨论。



在进行物理教学的活动中,启发学生在实验研究的同时,对实验仪器的巧妙构思进行探索,有助于学生能力的提高。下面结合部分科学研究的例子和本人的教学应用对此进行一些讨论。

一、用不散热解决散热问题

在热学实验中常常希望热学系统与外界没有热或者没有不利于热学过程的热交换。尽量增强量热器的绝热性能,是解决问题的一种办法,但是,还可以设法使实验装置保持在不与外界交流热量的条件下,或者是使所有的热量交换都能得到控制。

英国物理学家戴维用两块冰摩擦生热的著名实验,是这样解决不让外界的热进入系统的:用抽真空使热传导和对流不发生。另一个例子是把整个实验系统放在低于摄氏零度的冰水混合物的环境中,使辐射热不致进入系统。测定冰水之间相变热的一种实验装置,是利用从固相的冰变成液相的水时体积的变化来实现的。为了保证系统本身处于相变点 0°C ,将系统置于 0°C 的冰水混合物中,从而保证了系统与外界没有热交换发生。补偿量热器使热学系统附加一个可以随系统温度同步变化的外界条件也是典型例子。

水在 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 时反常膨胀现象,大多数教材并未要求进行实验验证,但当你进行实验证明时会有许

多困难。为了观察体积的微小变化,首先要用横截面积小的量杯。即使用 5ml 的量筒,横截面积仍嫌大,液面上升或下降不够明显。改用长细玻璃管作为容器,刻度则通过标准量杯倒入 1ml 的水后,用再刻出 100 等分的刻度。但是小量杯对环境的温

度敏感,置于空气中温度变化过快,在室温中几秒到几十秒就会超过 4°C ,难以控制和测量。这一难题,可由热平衡原理,将量杯置于盛有 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 水的透明保温罐中,当玻璃管内的温度与保温杯内温度相同时,直接测保温杯中的温度。温度的变化也是通过保温杯中的温度变化来实现的。保温杯中的水较多,温度变化就缓慢多了,还可以通过加入冰降温,或置于室内空气中升温。

另一个有趣的例子是研究蜡烛火焰在风吹时很快熄灭,而不是火借风势的原因。根据分析和常识,风吹灭火焰主要是因为降温的作用,当达到燃点以下时,火焰就会熄灭。怎样用实验证明?我们首先改用电吹风为风源,因为电吹风吹出的是热风。但蜡烛仍然熄灭。借助于用不散热解决散热的构思,我们将电吹风隔着电炉吹灭蜡烛火焰与不用电炉吹灭比较(距离等条件相同),前者熄灭的时间长了。对于火借风势的问题,则是温度过高,燃烧物多,风起到了补充氧和传播火种的作用。

二、巧用分身和反馈

在寻找相干光源的努力中,杨氏双缝干涉仪巧妙地把一束光线一分为二,满足了振动方向、振动频率相同和维持位相差固定几个条件。

弦上的驻波也是利用本身的信号(入射波)来控制自身反馈(反射波)的例子。知道了这一方法和思

想,就可以较容易地展现驻波。这包括实验装置能方便地改变频率,如从高频音叉改为示振低频音叉(频率低于 20Hz);改变弦长,如将固定端由学生手持;改变张力,如将细线改为弹力橡筋;改变振源位置,如音叉能在弦上移动。

一端固定的弦,自由端上的振源(音叉)发出一个连续波列到达弦的固定端时,就产生一个连续的反射波列,其与入射波产生干涉,形成驻波。在实验时,通过改变干涉条件,才能获得明显的演示效果。

我们在教学中固定端由学生手持,可以与学生跳绳比较,并且可方便地改变弦的长度。自由端系在低频示振音叉上。弦用弹力橡筋(橡筋航模用),拉长后可以改变松紧程度。干涉条件有了保证后,敲击音叉,很清楚地看到了驻波的波腹、波节和弦振动的正弦图像。

在长约 3 米的讲台上,将橡筋一端固定在讲台一侧,另一端系在音叉上,音叉竖直立在讲台另一侧,一个人也可演示。

对于两端固定的弦,可由两个同学分别抓紧橡筋的两端,将示振音叉压在弦上的某一点,相当于弦乐器上弓与弦接触的点,或手拨弦的点,敲击音叉后,就会看到清楚的驻波。将音叉压在弦上移动,可以看到波节数发生变化,而在某些点上,不会看到驻波。上述实验,不仅将书本理论变为现实,同时加深了对反馈设计思想理解。

利用本身的信号来控制自身反馈的方法和思想,已经极普遍地被应用于各式各样的仪器中。收音机里的自动音量控制,各种物理量大小的自动控制,都是把本身信号取出一部分,当信号弱了,就予以增强;信号强了,就予以抑制;温度高了就停止加热,温度低了就接通加热电路等。

一种新的控制噪声的方法是有源消声,即对于某种有固定频带的噪声源,如鼓风机,可以采集噪声自身的谱,予以反相,与噪声相抵消。

三、大自然的赐予

在实验装置中,利用物质所具有的属性或者直接使用天然物质,可以得到完美的效果。

为了保持一个很大仪器装置处于水平状态,迈克尔逊和莫雷就利用了液体在重力作用下保持水平表面的性质。莫雷在 1884 年写道:

“迈克尔逊和我开始了新的实验。我们将仪器的光学部分安放在大石板上,……为了支起这一块大石板,又要能自由旋转到不同方位……我们把石

板漂在水银面上……”

晶体的天然性质更是常被利用。例如,有些晶体对沿不同的晶轴方向前进的光的折射率不同,可作分光片;有些晶体对光是偏振的,可制作偏振片;晶格的规则性可用衍射光栅。

研究天外来客宇宙射线,可以发现具有极高能量的粒子或找到在地球上目前不宜或不能用人工办法产生的或没有被发现过的粒子。

在课堂实验研究中,注意利用物质本身的属性,也同样会有很好的教学效果。

研究空气的对流,是利用室内空气具有对流性质的范例。对流管本身就要利用室内空气的对流,还可以用肥皂泡或氢气球在室内的上升及接近屋顶又下落的现象,说明密闭的室内空气存在对流。

滚雪团,是验证固态水随压强增大,熔点降低的有趣例子。地上的雪在受到压力后,熔点降低,先溶化,与原雪团结合后,滚动到上方压力减少,又凝固。这一现象结合在冰块上用力压一根金属丝,金属丝被压入冰块后,金属丝上方又重新凝固的实验,学生在趣味活动中对水的熔点与压强的关系形成了清晰的轮廓。

云雾的形成原因,组织学生在山峰、江边考察,会有极好的效果。如果考察困难,可结合录相和模拟实验进行教学。我们将用来演示没有空气不能传播声音的钟罩抽成真空后,将另一充满饱和水蒸气的瓶子用软管与之相连,打开进气阀后,在钟罩内就出现了雾,在钟罩玻璃壁上产生了许多小水珠。取代喷水火箭在室外的发射,而是系在横跨教室的铁丝上发射(放入很少的水),也会让学生亲眼目睹“火箭”体内出现的雾。

四、利用地球

地球在空间的位置、它的公转和自转,以至于它的质量、磁场、引力等因素,都使它成为一个很好的、可供利用的实验仪器装置。

1851 年 1 月 8 日,傅科在他家里的天花板上,用一根 2 米长的钢丝吊挂一个 5 千克的重锤,在自由摆动后,发现摆的摆动面不断在旋转,逐渐转向“天球昼夜运动的方向”。后来,在巴黎天文台大厅里以 11 米长的摆重复了他的实验,得出摆的摆动面变化周期与纬度的关系。我们今天重做这一实验,可以用体育课上的铅球,焊接上一金属小环,用线吊在楼房外的栏杆或实验楼的大厅内。

地球一年中相对太阳的变化,由南北回归线反

映。制作一个日晷,置于实验楼前,在一个季节调准了时间,到另一个季节就会有很大差异。如果用木板或泡沫制作一个节气日晷,学生在不同节气调整晷面,以得到较准的时间,就会对季节的成因等自然现象有一个比较清晰的感性认识。

在地球上运动的物体受到由地球自转造成的科里奥利力影响。显示这种影响的子弹下落实验,曾多次被人重复。1883年德国物理学家莱希,在188米深的直筒矿井中做了106次实验,发现子弹下落点平均比垂直吊着的铅垂底端偏南方向28毫米。教学中介绍这一知识,难以有如此的高度。但可以与地理课结合,利用江河,考察大河两岸的地质构造,考察因江水的冲刷造成的两岸不同地形,从而对这一力学现象有所了解。

通常我们在计算物体的重力时,只将地球看做一个整体。但是在厄瓜多尔的基多市,有一条沿赤道画出的南北半球分界线。在这一条分界线上,一枚硬币很容易站立平衡,同时在这一条线上称体重,比在该市其他地方的要小。如果不利用地球本身来做实验,很难想到这一问题及答案。地球作为一个椭圆,赤道处半径最小,自转产生的离心力最大,因此赤道处的重力由于万有引力的距离平方反比律和离心效应,同一物体的重量比其他纬度处的重量要小。但在位于赤道的同一城市,赤道线上的重量比赤道线外的重量小且可测出,却是教材中没有讨论的。

在同一城市的两端,如基多市,其纬度的变化和地球自转产生的离心效应是很小的,如果作数量级估算,常用的电子秤是称不出重量的变化的。将地球分成南北两部分,用力的图示分析南北两半球分别作用在同一物体上的引力的合力,比较出赤道上的合力最小,才能说明这一现象。

潮汐是在地球上证明月球对地球的引力大于太阳的引力的典型例子。今天,用电视和录像,让学生目睹钱塘江大潮,是一次极好地利用地球自身进行科普教育的活动。

五、让天体为我服务

太阳除了其引力效应为发现万有引力做出了巨大贡献外,其光谱的研究和对比,很早就为人类揭开光的本质和物质的成分的奥秘服务。在用原子跃迁频率作为时间基准以前,地球绕太阳一周的时间——回归年曾长期作为时间的基准。

历史上,丹麦的天文学家罗默在巴黎对木星的

几个卫星因木星的遮掩造成的卫星食的周期进行观测,预言了由于光穿过地球轨道需要一定的时间而导致木卫食时间的推迟。惠更斯利用罗默的数据和地球轨道直径的数据,第一次算出了光速的大小为 2×10^8 m/s。

教学中利用天文知识来分析物理原理,进行应用能力的训练更是举不胜举。例如射电望远镜的原理和发现对学生理解电磁波谱的作用;红移的研究对理解多普勒效应的作用;对火星及木星卫星(木卫2)上水及生命的探索,使学生知道了水的三态共存对于生命的重要等。

六、把误差抵消掉

好的仪器装置的设计能把一些误差减小甚至抵消掉。教学中介绍这些设计思想对学生的教育作用是不言而喻的。

对称形的装置是常常被采用的。如天平等转动装置伸出两条对称的臂,以抵消转动轴上的侧向摩擦力。气垫导轨上的滑块前后、左右均衡配重,使其重心尽量在滑行轨道上,也基于同一道理。

惠斯登电桥的电路,是典型的利用平衡抵消误差对电阻进行精确测量的装置。它是由英国科学家惠斯登于1843年发明的。

在研究牛顿第二定律的实验装置中,小车在平板上的摩擦力可以由平板的倾斜,利用重力的下滑分力抵消,从而使小车受到的合外力大小的比较能近似忽略摩擦力,简化了实验中的计算。

一些定性的实验,也可以通过改进仪器装置,减少误差,达到更好的效果,甚至能在改进的努力中发现问题。例如我们在研究密闭的瓶内能不能从漏斗中倒入水的实验时,发现大多数情况下,水总是或多或少地会缓慢滴入瓶内,与若干教师参考书上的水不会进入的结论不符。我们改进了密闭性,减小了漏斗口径,水滴入的速度减少了,但仍有水滴入。这是为什么?分析表明,该装置只能得出“在瓶密闭的条件下,水难以从漏斗中滴入”,而不是不能滴入。因为空气可以压缩,空气可以溶解入水,漏斗上方的水在重力作用下,压缩瓶内空气,瓶内空气体积减少压强增大,分子运动加剧,溶于水的分子增多,以此循环,使水可以不断地进入瓶内。

总之,对仪器装置的设计思想进行探索,可以指导学生正确地分析结论,有助于进行探索能力的培养,提高学生的科研意识。