

DIS 实验新探

# DIS 二力平衡实验器

冯容士 李 鼎 (上海市中小学数字化实验系统研发中心 上海 200072)

## 背景

二力平衡是初中学生学习物理时第一次将运动和力联系起来的关键知识点。上海二期课改中学物理课程标准针对该知识点的要求是:巩固力和力的图示的知识;加深对使用测力计测量力的大小的理解;又为学习液体压强和阿基米德定律做准备。鉴于初中物理没有涉及“牛顿三定律”,二力平衡的概念又相对抽象,因此上海二期课改教材把“二力平衡条件”作为“机械运动”章节的重点内容,并安排了“用 DIS 探究二力平衡”的学生实验。

## 一、有关二力平衡条件的实验

二力平衡作为一个必做实验,在多种版本教材和实验参考资料上被广泛提及。以下就是老师们摸索出来的多种实验方式的汇总。

### 1. 小车实验

如图 1 所示,小车两端挂上细绳,细绳绕过滑轮,下端各悬吊重量相等的小盘和砝码。小车受到方向相反的拉力,而且在同一直线上。实验表明,当两个盘上的砝码重量相等,也就是  $F_1$  和  $F_2$  大小相等时,小车保持静止。可见作用在一个物体上的两个力如果在同一直线上大小相等,方向相反,这两个力就平衡。

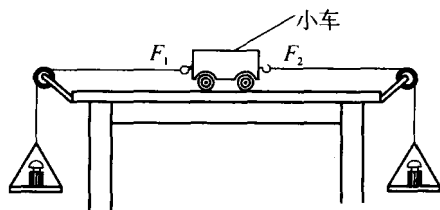


图 1

此实验显示小车的平衡直观形象,但小车除受到拉力  $F_1$  和  $F_2$  外,还受到重力和桌面的支持力,这两个彼此平衡,对小车在水平方向的运动无影响。

教学中虽有教师提示,但对初中生的认知仍会产生一定的干扰。

### 2. 回形针实验

图 2 所示是用两只相同的弹簧测力计,将回形针(或圆环)按图所示钩住。用手把两个弹簧测力计在一条直线上朝相反方向拉开时,从弹簧测力计的示数可知两个拉力的大小。当回形针在两个拉力作用下处于静止状态,即达到平衡时,可发现两个测力计的示数相同。说明物体同时受到二力作用时,当它们的大小相等、方向相反且沿同一直线上时,该物体处于平衡状态。

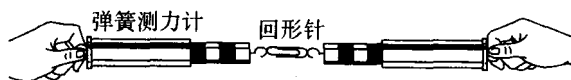


图 2

若演示时要使右边或左边的弹簧测力计读数变小,则必然使物体向左或向右做加速运动,不然回形针就会下垂,或使两边测力计读数同时减小。但此时人限于目力,对测力计示数的动态变化情况较难把握。

实验中把研究物体改为轻质回形针,意在可以忽略其重力,使问题简化。可尽管如此,回形针的重力毕竟存在,硬性忽略会对此后讲授“受力分析”的内容产生不良影响。

在“简化模型,尽可能排除干扰项”的思想指导下,教师们开始倾向于选择只受到两个力——重力和拉力作用的实验场景。图 3 所示回形针即仅受到垂直方向两个力的作用,在数值上就等于砝码的重力和弹簧测力计挂钩对其在垂直方向上的拉力。从实验可观察到:当回形针静止时,弹簧测力计示数和砝码重力相等,作用在回

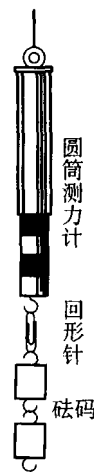


图 3

形针上的两个力平衡。

### 3. 悬浮平衡实验

为了拓展学生的思维,教学中还设计一些不同性质力的平衡实验。图 4 是磁力和重力的平衡的实验装置。两块有孔的磁铁,其中磁铁放入有木柱的底座上,另一块也放进去,使两磁极相向面极性相同。这时会发现上面一块磁铁处于悬浮状态。此磁铁当它静止时,它受到向下的重力和下面磁铁向上的斥力大小相等,磁铁平衡。把悬浮磁铁向下压,磁铁间的斥力增加,这时作用在悬浮磁铁上的重力和斥力不平衡,所以一放手就向上移动,直到二力又处于平衡状态。

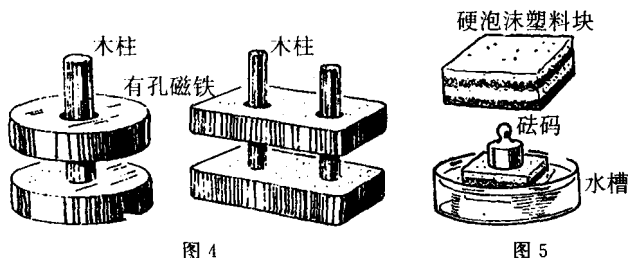


图 4

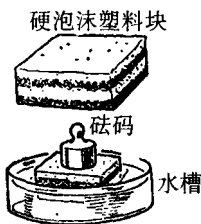


图 5

图 5 所示是显示浮力和重力的平衡的实验装置。在泡沫塑料边缘四周每隔相同间距涂上颜色。演示时把泡沫塑料块放入水中,由于其密度小,浸入水中很浅,演示时可忽略不计,在上面放上一砝码时,可观察到泡沫塑料块浸没到某一深度平衡。这时它受到砝码向下的压力和水对它向上的浮力,压力大小就是砝码重力;浮力大小等于排开同体积的液体的重量,即为泡沫块浸没在水中的体积,乘上水的密度。

当放上不同重量的砝码,泡沫塑料块浸没深度发生变化,直到砝码重力与水的浮力相平衡。

图 6 所示为用薄木片制作两块翼肋,并以吹塑纸作蒙皮做成机翼。在其重心的轴线上穿两根细钢丝,其两端固定在支架上。把电风扇正对机翼的前方。当风扇转动时,由于空气流过机翼上方流速大压强小;流过机翼下方流速小压强大,这个压强差使机翼获得升力。当机翼在某一位置静止时,这时机

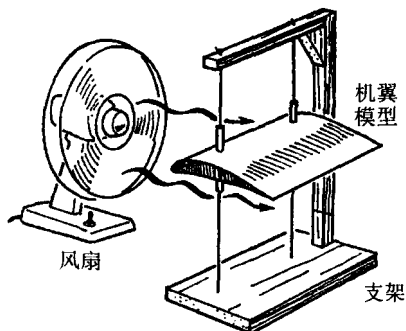


图 6

翼的重力和升力平衡。

### 4. 逆向实验

一般教材中的有关二力平衡实验,多为显示正面现象得到结论。图 7 所示实验由于有反面现象做背景,使正面现象从背景中衬托出来,在增加了实验的可信度的同时,凸显了二力平衡的条件。

在一张卡片纸两角穿上橡皮筋并和木板对角线上的两端固定的图钉连接(图 7a)。实验时先将卡片纸拉至图 7b 所示处,这时所受二力虽在同一直线上,但从橡皮筋的伸长不同,可知卡片纸所受二力大小不等,松手后回到平衡位置;将卡片纸移到图 7c 所示位置,可以看到两根橡皮筋不在同一条直线上,松开后卡片纸仍会回到平衡位置。

最后将卡片纸一剪为二(图 7d),平衡破坏。从而进一步反向凸显二力平衡还有一个重要前提,即两个力一定要作用在同一物体上。

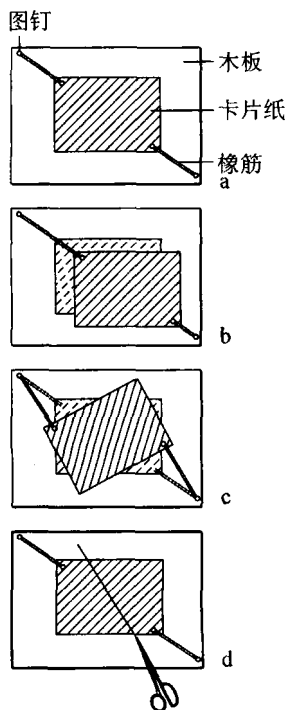


图 7

## 二、DIS 二力平衡实验器的早期开发尝试

《上海市中学物理课程标准》规定:初中基础型课程有两个 DIS 学生实验,“用 DIS 探究二力平衡条件”就是其中之一。该实验要求学生根据实验目的参照简要的实验步骤,合理选择实验器材,完成观察、测量、验证和探究等实验任务,同时体现科学探究的要求。

传统教材只讲物体在二力作用下处于静止状态的平衡,对于在两个力或多个力作用下保持匀速直线运动状态,要在学习了运动和力的关系后再作补充。实验设计中一般对匀速运动时的状态也未作深入研究。

而上海二期课改中学物理教材中在讲述力的平衡概念时,则明确指出“物体在两个力或几个力作用下保持静止或匀速直线运动状态,物理学中就称该物体处于平衡状态”。“静止或匀速直线运动状态”这个复合条件限定,无疑大大提升了对实验的要求。

因为静止状态实现不难,匀速直线运动作为物理学研究中的理想状态,实现起来难度就非同一般了。

但也正是在新标准的高要求之下,DIS 系统的“先进性、教学性和功能性(上海二期课改物理教材主编张越老师对 DIS 的评价)”才得以充分发挥。

2008 年上海南汇区(现浦东新区)黄卫群老师在全区展示了“二力平衡”一课,首开了“用 DIS 探究二力平衡”的先例。

黄老师设计的实验装置如图 8 所示,力传感器挂有重物,重物下端和位移传感器(发射端)相连作为研究对象,其受到力传感器的拉力和重力。这个实验场景的选题延续了“简化模型、排除干扰项”的基本思路。而且使用 DIS 位移传感器来保证使受力物体满足“匀速直线运动”的条件。

实验中,当研究对象静止时,从力传感器记录的数据可知钩码所受的拉力和其所受重力大小相等。当电动机匀速牵动实验装置,位移传感器记录的数据从所绘出的  $s-t$  图可知,钩码做匀速直线运动。在钩码匀速上升时,受到的拉力大小等于钩码重力的大小,同样当钩码匀速下降时受到的拉力大小也等于钩码的重力(图 9)。得出物体受到两个力的作用,做匀速直线运动时,这两个力大小相等,方向相反,作用在同一直线上。

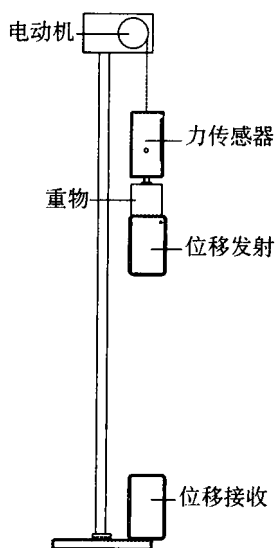


图 8

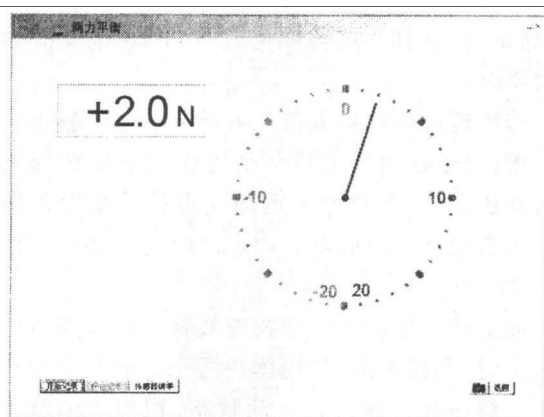


图 9

黄老师的公开课证明:DIS 不仅提升了实验精度和对实验结果分析处理的效率,还凭借多指标、多参数的测量功能满足了相对“苛刻”的理想化实验条件。在实验过程中,学生亲自参与,动手操作,充分利用了 DIS 系统借助计算机采集、处理数据的优势,反复尝试并感受和体验,形成并加深了对二力平衡概念的认识和理解。同时,DIS 也显著提升了学生使用计算机技术获取信息、收集数据、展示结论等方面的能力。黄老师的创意和尝试不仅使听课老师感受到信息技术与物理教学整合的实例,也填补了初中使用 DIS 进行实验教学的空白,同时还促使中心研发出了 DIS 二力平衡实验器的雏形。

### 三、针对 DIS 二力平衡实验器的深入研究

黄老师的实验设计尽管充分调动了 DIS 的各项功能,使用了力传感器显示受力状况,使用了位移传感器监测运动状况,但毕竟属于“临时搭建”,仅构造了一个二力平衡实验器的雏形。尤其是在格外“较真”的物理教师面前,运动是否“匀速”就引起了一定的争议。大家对“匀速”的追求来自大脑中的理想模型,并将其作为衡量实验成功与否的重要标准,殊不知现实中若想实现“匀速”,又何其难也。

研发中心当然深知《课程标准》编写的良苦用心——之所以明确指出要用 DIS 做此实验,就是要用现代技术建立接近理想的实验模型。在完成了对黄卫群老师的公开课支持之后,研发中心通过对“动力源”的研究,在构造理想的匀速动力源方面又向前迈进了一步。所形成的成果见图 10。

如图 10 所示,力传感器固定在支架上,其测力挂钩与装有动力源——调速电机的机盒相连。调速电机带动牵引盘。当其转动时可牵引重物上下移动,同时牵引盘上的挡光片通过光电门传感器挡光,可测出牵引盘转一周所需时间。机盒上的

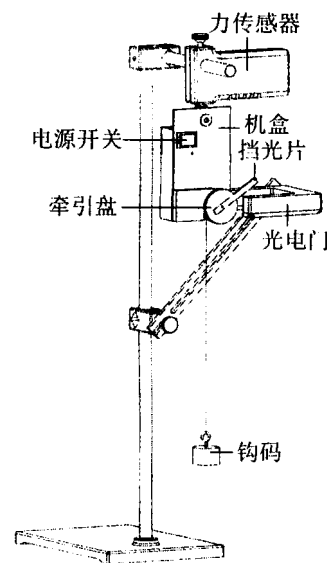


图 10

换向开关能控制电动机转向,以使钩码向上或向下运动。软件提供了两种实验界面[图 11(a),图 11(b)]。

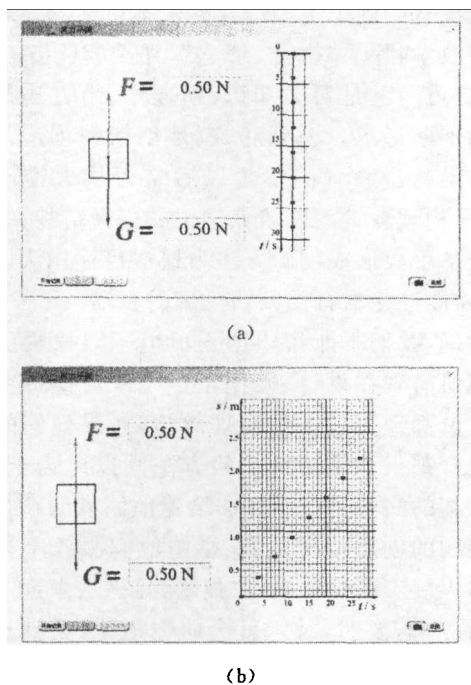


图 11

实验界面中  $G$  为钩码的重量,  $F$  为实验中力传感器测量的拉力的大小。实验前先将力传感器调零,然后挂上钩码。在静止的状态下比较拉力和钩码重力的大小。打开牵引盘的电源开关使其带动钩码向上或向下运动,牵引盘上的挡光片每经过一次光电门传感器,就会在图 11 右侧的坐标系中记录下一点。图 11(a)中若各点的间距相同则说明钩码在运动了相同的距离(牵引盘的运动周长)所用时间相同,那么钩码所做的即为匀速直线运动,此时比较拉力和钩码重力的大小。图 11(b)右侧为  $s-t$  图,若各点连线为过原点的直线则说明钩码所做的即为匀速直线运动,此时再比较拉力和钩码重力的大小。两种软件显示方式不同,老师可根据教学需要运用。

此实验器经多次教学实践,大多教师认为能满足实验要求,但也发现了若干不足之处:

- ① 按动换向开关时会影响力传感器数值。
- ② 当电动机牵引较重钩码时,难以保持匀速。
- ③ 牵引盘上挡光片过少,实验界面上数据点间隔较大。

尽管上述“不足”不能掩盖该版本二力平衡实验器的进步,但毕竟和大家头脑中的“理想模型”尚存距离。因此,中心继续引入先进的技术来对实验器

进行改造,借助技术,实现“理想”。

#### 四、DIS 二力平衡实验器的最终定型

图 12 所示为改进后的实验器。其外形与前者相似,但做了以下几处改动:

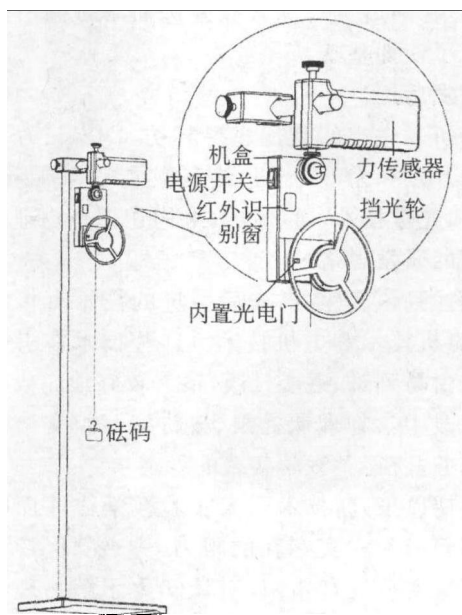


图 12

- ① 把电动机改为步进电机。由于步进电机可实施电子调速,在其额定功率内负载变化对速度影响较小。
- ② 将单挡光片改为包含多挡光片的挡光轮,以增加测速数据点的密度。
- ③ 原外置的光电门传感器改为内置在机盒内。
- ④ 利用红外遥控器替代了手动换向开关,避免了调整时触动机盒,消除了对力测量的影响。

图 13 所示为其结构原理方框图。

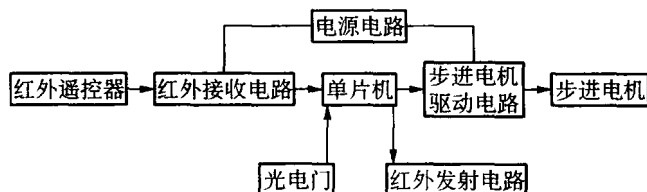


图 13

实验时软件界面上显示出的点迹及在  $s-t$  图上运动的图线见图 11(a)、(b)。

二力平衡实验器定型后,闸北区刘汉章老师借助该实验器上了一节教学研究课。课上,学生真切感受到物体匀速上下时两力仍保持相等。课后,出于惊奇,同时还有感悟,学生给予的评价是:DIS 实

验为我们提供了在探索中求证的手段。

DIS 二力平衡实验器不仅能显示物体静止或匀速运动时二力的平衡,而且在力传感器和光电门传感器的支持下,还能实时显示运动状态变化时二力不平衡的瞬时状态。这无疑为学生提供了潜在的物理信息,为随后进行深入探究进而学习高中有关课程打下了认知基础。

#### 研发后记

与研发中心的其他成果相仿,DIS 二力平衡实验器的开发和完善乃至最终定型体现了围绕教学要求,引入先进技术,通过技术来构建理想物理模型的“普适”的研发思路。

具体到该实验器,先后引进的技术有传感器技术、计算机技术和电机技术。这些技术在引进过程中也是由易到难、逐步升级,最终较好地完成了上海二期课改中学物理课标组、教材编写组交给研发中心的任务,获得了教学实践的肯定。

长期以来,新技术引入实验教学往往面临看不见摸不着但又实实在在的阻力——要“保持传统”。保持传统本身没有错,只有让学生了解物理学的历史,才能够把握物理学的现在。但最终,物理教学的目的是为了让一代新人去开创物理学的未来。死抱着实验的传统手段怎么能够成就物理学的发展和进步呢?以“上帝粒子”——希格斯-玻色子的发现这个当代物理学最重要的实验发现为例,如果没有日内瓦大山深处的正负电子对撞机这个新生事物,我们怎么获得对撞的结果?如果没有计算机和无数个传感器构成的精密探测网,我们怎么衡量实验效果?比如测量得出其碰撞的能量区间并判断实验的置信度。当代物理学的发展已充分证明:没有新技术提升实验手段,物理学的新理论就得不到验证,物理学

就会停滞不前。

也许有人会说:那是最尖端最前沿的科学研究,我们是中学物理教学,要求不同,手段当然不一样。但这是没有明确中学物理教学根本目标的表现。中学物理教学,除了“授业、解惑”,还要“传道”。而物理学的“道”,就是对新知识、新理论、新方法乃至新境界的不断追求。说到底,就是创新和创造。不论接受中学物理教育的学生以后是否从事物理学研究,中学物理教学均以培养学生的创新精神、掌握必要的技术手段形成创新方法为根本目标。认识到这一点,才能够使教育回归“育人”的真谛。

的确,我们不能指望把正负电子对撞机引入中学。但所有现在设计、操作正负电子对撞机实验的工作人员都经受过中学物理教学,如果他们的中学物理教育都仅介绍传统实验方法并以此为圭臬,而不借助新的实验手段和方法培养他们借助新技术解决新问题的创新精神,怎能指望他们服务于社会时就能够大展宏图?有人说“技术”几乎从来都不是问题,当你有需要时,技术就会向你招手,关键是如何发现新的需要。这句话本身没错,但也忽略了一个重要的问题:新技术时刻围绕着我们,其导入和应用也并非难事,关键是我们有没有引入新技术的勇气,有没有形成使用新技术的习惯,最为根本的是:我们有没有认识到新技术对于中学物理实验教学的巨大价值。

#### 参考文献

- [1] 赵谊伶. 初中物理实验(八年级). 上海科技教育出版社.
- [2] 张越,徐在新. 物理[八年级第二学期(试验本)]. 上海教育出版社.
- [3] 冯容士,陈燮荣. 中学物理实验汇编(力学上册). 知识出版社.
- [4] 冯容士,陈燮荣. 物理实验创造技法和实验研究. 上海教育出版社.

(上接第 19 页)

$$F_{安} = BIL = (B_0 + kt) \frac{kS}{R} L, \text{方向向左。}$$

因为导体棒还没运动,安培力的功率  $P_{安} = 0$ 。

$$\text{回路中产生的电功率 } P_{电} = EI = \frac{k^2 S^2}{R}。$$

结论:

闭合回路中磁通量变化时产生的是感生电动势,是因为变化的磁场激发了感生电场引起的,所以电功率与安培力的功率没有关系。

能量转化:

回路内自由电子受到变化的磁场产生的感应电

场的作用力,在定向运动的过程中克服导体内分子对它的阻力做功,把引起磁场变化的其他形式的能转化为电能,然后在导体中电能又全部转化为内能,在电阻上释放了焦耳热。

总结:

通过对以上四种情形的分析可知,只有当磁场固定且不发生变化,闭合回路部分导体切割磁感线时,克服安培力的总功率与回路的电功率才相等。当磁场运动或磁场强弱变化时,安培力的功率与回路中的电功率不相等。