

DIS 实验新探

DIS 智能力盘

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)

笔者多年的教学经验证明,对大多数学生来说,高中阶段导入的“矢量”概念足以构成一道认知门槛。跨过去,物理学可能一通百通;跨不过去,就可能使相当一批学生终生对物理学避之不及。何也?关键在于矢量的抽象性。依照传统的实验手段,矢量的大小可以测量,但其方向却难以把握。静态的矢量方向(力的合成和分解)尚且需要想象,动态的矢量方向(向心力和转动惯量问题等)就更难理解。实验教学界长期以来缺乏针对矢量的直观显现手段,导致了“矢量”门槛的形成。

一、力的合成和分解实验回顾

1. 教材要求

牛顿在著名的《自然哲学的数学原理》中曾把共点力的合成和分解作为三大运动定律的推论。

高中教材在力的初步概念基础上,通过实验分析,归纳出力的平行四边形法则,明确地提出力是一个矢量,并指出平行四边形法则是矢量合成、分解的普遍的法则。在具体的教学中,下述几点必定是教材的关注点。

(1) 矢量是学生第一次接触的概念,教材以力这一物理量的特征作为典型,提出矢量。矢量概念的建立有一定的难度,学生习惯于单纯从量值大小认识物理量,教材中要突出力是大小和方向共存的物理量。

(2) 矢量和标量区别在于它们的运算法则有根本的不同,标量的合成是代数的加法,矢量的合成是平行四边形法则。学生掌握平行四边形法则是正确理解矢量概念的核心。平行四边形法则也是研究物体平衡条件以及深入学习的基础。

(3) 力的合成和分解都体现了等效方法的运用,合力和它的分力是一种等效力,这种等效替代的概念虽比较抽象但学生又会感到新鲜和其独到之妙处。这三个问题如果仅限于直观体验的描述,远谈

不上对概念本质的揭示和把握,而应用实验手段定能成为处理这些问题的利器。

2. 实验手段

图 1 为力的合成分解实验的传统实验工具。

图 2 所示为使用上述传统实验工具验证(或探究)两个共点力的合力大小与分力的关系的实验,目的是为了对力的平行四边形法则有所认知。

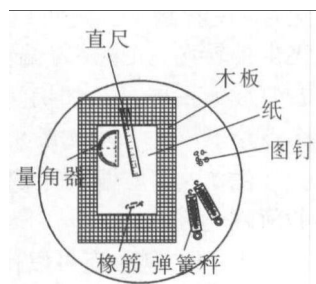


图 1

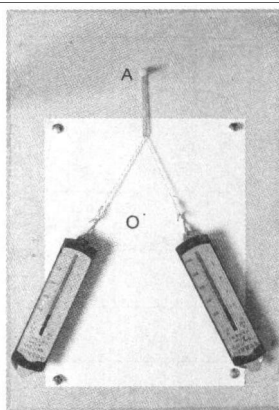


图 2

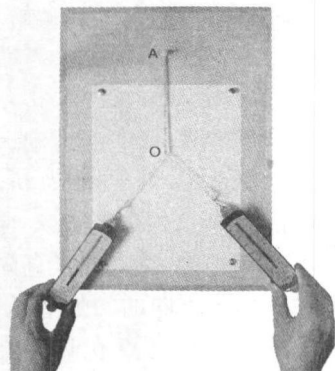


图 3

用图钉把橡皮筋的一端固定在 A 点,橡皮筋的另一端拴上两个细的绳套,用两个弹簧秤互成角度地拉橡皮筋,使橡皮筋伸长到某一位置 O,从 O 点沿着两条绳套的方向画直线,按选定的标度作出这两个弹簧秤的拉力 F_1 和 F_2 的图示,以 F_1 和 F_2 为邻边作平行四边形,过 O 点画平行四边形的对角线,作出合力 F 的图示(图 3)。

只用一个弹簧秤通过细绳套把橡皮筋的结点拉到同样的位置 O,记下弹簧秤的读数和细绳的方向,同

样作出这个弹簧秤的拉力 F' 的图示(图 4)。

从比较力 F' 与用平行四边形法则求出的合力 F 在大小和方向上相同,说明它们之间是等效的。

实验虽简单,但学生对力的平行四边形法则的领悟和对等效替代这种科学方法有了直接体验,实际上已经触及到这些概念的内涵。全国有多套教材采用此内容作为“力的平行四边形法则”的验证性(或探究性)的学生实验。

3. 相对成熟的实验装置

图 5 所示为“力的合成分解演示器(J2125)”。该演示器一改学生实验水平面上操作为竖直面上进行演示。在一个分度直角坐标盘上,借助细绳汇集合力和分力于一个圆环上,使圆环的中心能在坐标系原点的位置。分力由若干定值钩码给出,坐标盘的分度指示出挂线的夹角大小,合力则从连接圆环的弹簧秤测出。实验时按照给定的两个分力 F_1 、 F_2 的角度大小,调整滑轮的位置和加挂钩码的个数,调整弹簧秤的上下位置和角度,使圆环在两个分力和弹簧秤的共同作用下处于悬空状态,且与坐标盘圆心重合。此时弹簧秤显示的就是两个分力的合力,当分力是对称时,即分力的大小相同并分居坐标盘垂直轴两侧的角度相同,合力的方向必与垂直轴重合,弹簧秤保持在垂直轴上。

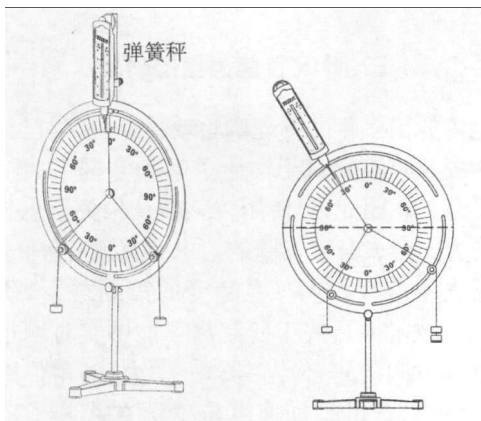


图 5

图 6

在不对称的分力作用下,合力必偏离垂直轴的一个角度,需调节弹簧秤偏离垂直轴一个角度,使圆环与坐标盘同心(图 6)。

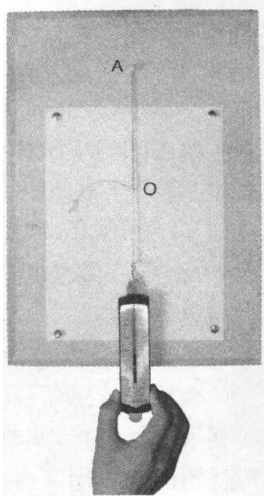


图 4

力的分解是力的合成的逆运算,并同样遵循平行四边形法则,用此实验器也可演示力的分解。

该实验器还可用作共点力的演示实验,实验可证明:在共点力作用下,物体的平衡条件是合力等于零。

4. 传统实验手段综述

以上传统实验手段的优点是简单、直观。缺点则是手工操作步骤繁多,对技巧要求较高,实验时读数、描点、画线等步骤费时费力,且学生上手后实验误差普遍较大。

采用上述手段进行力的合成分解实验,只能进行静态测量,无法进行动态研究,尤其是两力夹角的测量与计算,更是实验操作过程中的难点。而如果不能够在动态变化中展现力的大小及方向的实时变化,学生对于“矢量”的认识,还是处于不完整的状态。为此,笔者曾经在三十年前开发了一套教学模型,来演示合力随二分力的夹角改变而改变的现象。尽管当时也取得了不错的教学效果,但现在看来还是偏重于定性观察,定量测量的效果还不是很理想。

二、DIS 力的合成与分解实验器 V1.0、V2.0 的研发

1. DIS 力的合成与分解实验器 V1.0

上海市中小学数字化实验系统研发中心成立后,沿着信息技术与物理教学整合的思路,围绕力传感器的使用,先后完成了力的合成分解实验器 V1.0(图 7)、斜面上力的分解实验器(图 8)等多个新型实验装置的开发,有效促进了力的合成分解领域的实验手段的进步。

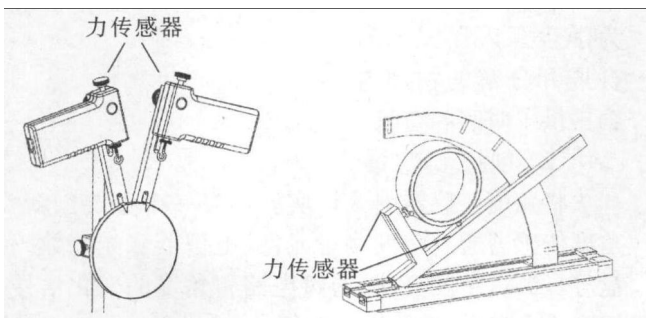


图 7

图 8

上述两种实验装置尽管均引进了力传感器,但仅仅是完成了静态力的大小的测量,两力夹角还是要靠人工控制,依照刻度盘进行手动调节。因此,这距离全部实验数据的采集和处理自动化尚有不小的距离。

2. DIS 力的合成与分解实验器 V2.0

2008 年,应山东师大附中物理组的要求,研发

中心基于常规的“力的合成分解演示器(J2125)”,为其改造出了一台具备夹角自动测量功能的智能化“力的合成分解演示器”,并被中心命名为“DIS 力的合成分解实验器 V2. 0(图 9)”。该装置除使用力传感器替代了弹簧测力计之外,还首次引入了测量两力臂夹角的角度传感器(置于力盘背面,与两个力传感器的支撑杆连接,见图 10)。这次定制行动再次体现了一线用户需求所产生的强大动力,并对 DIS 的模范用户——山东师大附中的教学比赛和培训等活动提供了有力支持。

(1) 结构与功能

DIS 力的合成与分解实验器 V2. 0 其结构上应用了力传感器和角度传感器。如图 9 所示,两个力传感器分别安装在各自的支撑杆上,其背后装有角度传感器并与力传感器联动(图 10)。实验器通过力传感器和角度传感器自动测量实验所需的全部数据,由计算机软件自动显示并保存分析此数据。省去读数、画图等人工操作,特别是能动态地显示两共点力合成的平行四边形法则,实验数据计算准确,精度高,实验效率大幅度提高,为学生深入探究力的合成和分解的物理内容提供了时间和空间。

(2) 创新点

将角度传感器引入该实验器是一个重要创新。角度传感器通过角度测量元件(电位器和光电数盘等),测量角度变化,通过电路将角度的变化信号转变为电信号,并输出角度值。

(3) 实验应用

DIS 力的合成分解实验器可进行力的合成和分解的多种实验。

① 力的合成实验

两只力传感器和两只角度传感器分别与外部的数据采集器连接,将两只力传感器的挂钩指向刻度盘的圆心,在挂钩上各拴一线绳,两线绳的另一端在

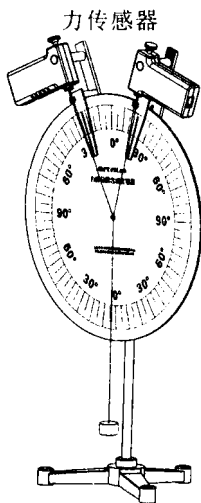


图 9

刻度盘的圆心处打结拴在一起,于两线绳的正下方引出另一线绳并挂一一定重量的砝码,当转动调节两个支撑杆时,两只力传感器和两只角度传感器将同时检测到相应的力数值和角度值,由数据采集器采集实验测得的角度值和力数值后通过计算机软件自动显示并保存,利用计算机软件里数据处理等功能进行分析实验数据,从而验证共点力的合成的平行四边形法则。

② 力的分解实验

两只力传感器和两只角度传感器分别与外部的数据采集器连接,调整支撑杆的固定方向,将两只力传感器的挂钩用 T 型滚轴代替,用已知质量的物块放在两只力传感器的滚轴上,使力传感器的 T 型滚轴指向物块重心的方向,两只力传感器和两只角度传感器将同时检测到相应的力数值和角度值,由数据采集器采集实验测得的角度值和力数值后通过计算机软件自动显示并保存,利用计算机软件里数据处理等功能进行分析实验数据,从而验证共点力的分解同样遵循力的平行四边形法则。

(4) 评价与反思

DIS 力的合成与分解实验器 V2. 0 虽解决了力与角度的自动测量问题,但毕竟是根据用户的要求仓促定制而成,和产品相比,制品明显缺乏系统规划和设计,应付教学比赛绰绰有余,合理性、可靠性都显不足。

而且由于角度传感器与力传感器分别测量,实验中需要同时接插四只传感器,且必须事先分清力传感器与角度传感器的对应关系,操作相对复杂。

因此,尽管该实验器已研发完成,但是一直没有批量生产。

三、DIS 智能力盘的研发

笔者凭借多年的物理实验教学经历,早已认识到力的合成分解实验对于学生了解和掌握“矢量”概念的重要意义。因此,对使用传感器及相关信息技术彻底解决力的合成分解实验的追求一直没有停止。

功夫不负有心人。在笔者的策划之下,研发中心的工程技术人员终于研制出了能够实时测量力的大小及其方向的复合传感器——“力/倾角传感器”。其实,这也只不过是加速度传感器在武装了苹果手机等智能化设备之后向教学仪器的又一次“移用”。但即便是“移用”,在中国教学仪器行业也属创新之举,且终于使得笔者多年的设想得偿所愿——“智能力盘”(图 11)得以问世。

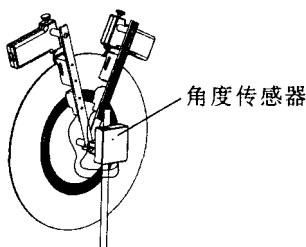


图 10

1. 结构与功能

智能力盘的研发,主要是通过“力/倾角传感器”的研发成功,解决了在竖直方向上同时测量力的大小及其角度的问题。是“智能化”的传感器催生了“智能化”的力盘。

如图 11 所示,智能力盘的圆心处安装有两个能够绕力盘圆心转动的力臂,力臂上均安装有“力/倾角传感器”,三根细绳的一端打结在一起,打结点位于力盘的圆心处,两根线绳的另一端分别与一个“力/倾角传感器”连接,第三根线绳的另一端悬挂砝码,两个“力/倾角传感器”均与数据采集器通过通信线连接,数据采集器通过通信线与计算机连接,计算机上显示出共点力的大小及共点力之间的角度数据,并在图像中描绘出两个共点力与其合力的平行四边形图线(图 12)。

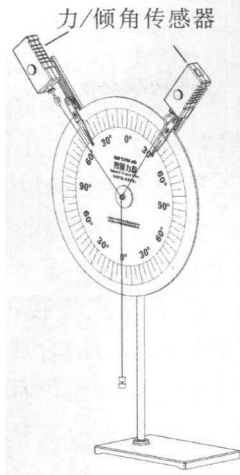


图 11

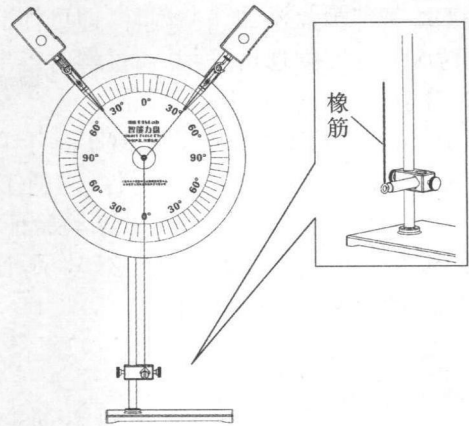


图 13

对“DIS 力的合成与分解实验器 V2.0”的突破。这也为学生在动态环境下全面认识“矢量”的特性提供了有力的支持。

实验开始前应对 DIS 智能力盘的“力/倾角传感器”进行自校正,以减小因力臂处在不同位置时应变计自重对实验结果产生的影响。

(2) 力的分解

前文已述,作为力的合成的逆运算,力的分解理解起来没有力的合成那样容易。学生对一个已知力分解为两个分力时,常知其然不知其所以然。因此教学中急需直观形象的演示实验,从具体的实例入手让学生建立分力的概念,认识被分解力的作用效果。灵活运用 DIS 智能力盘,即可实现此目标。

图 14(a)、(b)、(c)、(d)显示的是笔者作为教师曾经拿来让学生进行力的分解分析的几个典型例题,这些例题也经常出现在不同类型的考试之中。根据笔者的经验,学生初次面对上述例题,经常表现出困惑、不解。其原因就在于在还没有完全认清力的“矢量”特征的时候,缺乏对包括力的分解在内的物体受力分析能力。

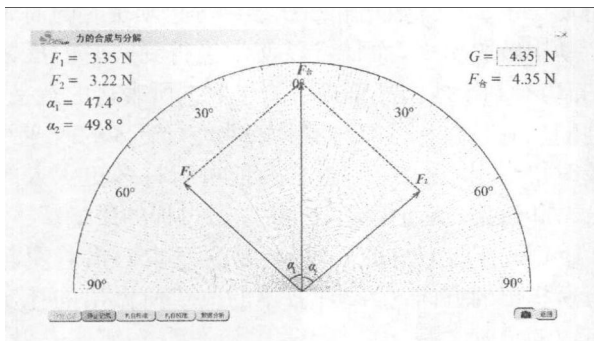


图 12

2. 实验说明

(1) 力的合成

实验时把砝码的重力输入计算机,即可与其合力相比较,即可见其重力与合力图线重合,可以研究共点力合成的平行四边形法则。

用橡皮筋替代砝码做实验(图 13),仍用两个“力/倾角传感器”互成角度拉细线绳,使橡皮筋伸长到某一位置,用一个“力/倾角传感器”拉细绳套,使橡皮筋伸长到同样位置。对比前后测量的数据,亦可验证共点力合成的平行四边形法则。

更为关键的是,在实验时可通过改变两分力在力盘上的位置,能动态的研究共点力中的合力、合力的分力以及合力与分力之间的角度关系,从而验证力的平行四边形法则。这是对传统实验手段,包括

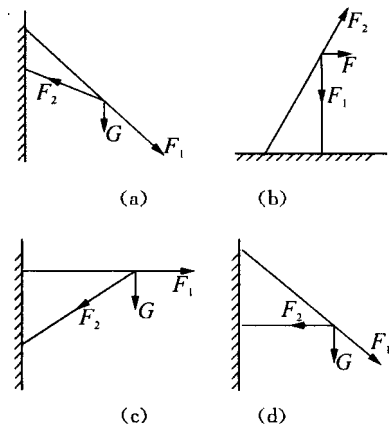


图 14

给 DIS 智能力盘添加一些附件,即可构造出上述例题对应的真实物理情境,并通过实时得出的实验数据,对学生的猜想予以当场验证。

图 15(a)、(b)、(c)、(d)即展现了基于 DIS 智能力盘及添加的硬支撑、滑轮等附件,与图 14(a)、(b)、(c)、(d)所示例题逐一对应的实验验证方案。相信这些实验足以起到良好的“解惑”效果,让学生顺利突破力的分解这个认知屏障。

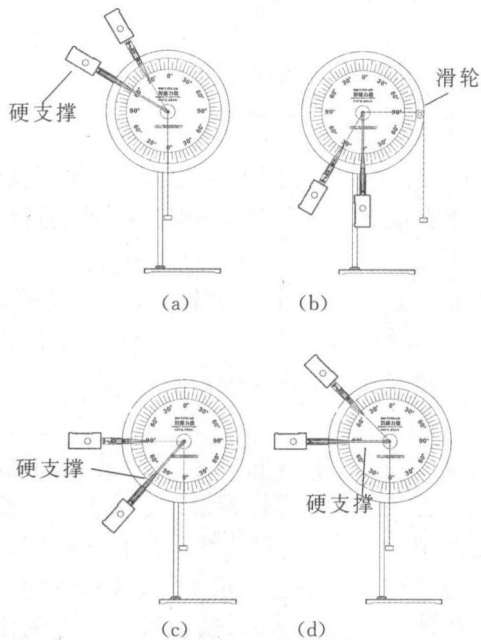


图 15

而增加了“T 型支撑”等附件之后,DIS 智能力盘更显示出了足以替代斜面上力的分解实验器的卓越功能。如图 16 所示,智能力盘灵活的设置功能可以构造出比斜面上力的分解实验器更多的精彩实验。

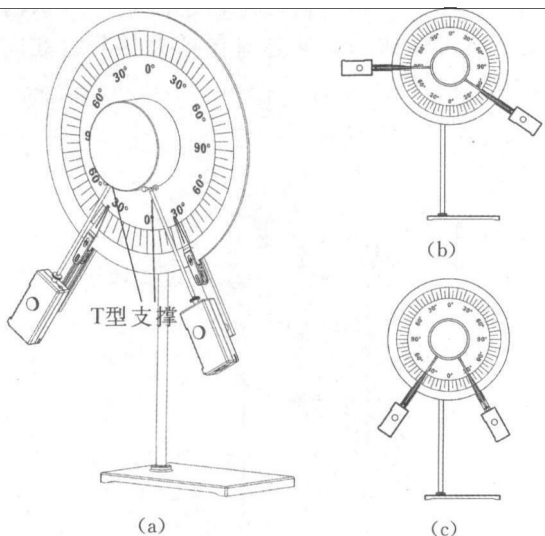


图 16

(2) 扩展应用

在研发样品的使用过程中,有的老师还别出心裁地将 DIS 智能力盘应用于拱形桥、楔形砖块等实验演示(图 17)。

还有老师提议:再增加一个“力/倾角传感器”,用橡皮筋与圆心结点连接,即可直接动态显示力的合成与分解等实验。这些建议都已经被纳入了研发中心的拓展研究计划。

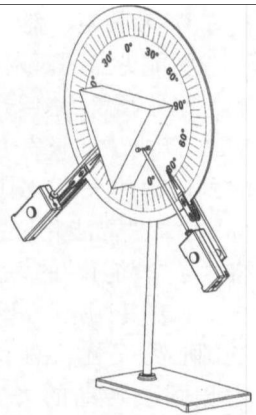


图 17

其实,在 DIS 智能力盘的扩展应用中,充分体现了“教无定法”的教学艺术准则。能够被更多的教师用于自己个性化的教学实践,说明 DIS 智能力盘正在向可靠的通用型工具方向发展——通用型工具的特点就是忠实地服务于使用者本身,而这正是研发中心的期望。

著名物理教学法研究专家、广西师范大学罗兴凯教授曾经说过:“由于数据的采集、处理和图像描述都可实时进行,这样的系统用于学生实验室实验,不仅可使学生从读计数据和图线绘制等繁琐费时的简单劳动中解脱出来,而且可以使学生得到实时的反馈信息,有利于他们真正理解测量数据所表达的意义,他们也有时间和可能对实验条件进行更多的改变并及时得到相应的结果,这样就能进行许多更深入的分析 and 讨论,从而提高实验室学习过程的质量。”

DIS 智能力盘的研发,就是研发中心沿着罗教授所指出的方向,为物理教学的改革所做出的扎实有效的贡献之一。

参考书目

- [1] 张越,徐在新. 物理(高中二年级第二学期)(试用本). 上海科学技术出版社出版,2008年7月
- [2] 张越,徐在新. 物理(高中拓展性教材II)(试用本). 华东师大出版社出版,2008年7月
- [3] 张同恂,方玉珍,马淑美. 物理(甲种本)(乙种本)第三册. 人民教育出版社出版,1985年11月第1版
- [4] 上海市教育委员会. 上海市中学物理课程标准(试行稿). 上海教育出版社出版,2004年10月第二版
- [5] 冯容士,陆伯鸿. 传薪. 上海三联书店出版,2011年8月第一版
- [6] 《朗威® DISLab 实验实例》,上海市中小学数字化实验系统研发中心、山东省远大网络多媒体股份有限公司,2011年第8次修订版
- [7] 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,1998年7月第一版
- [8] 冯容士,陈燮荣. 中学物理实验汇编(力学·上册). 知识出版社,1982年9月第一版
- [9] 许国梁. 中学物理教学法. 高等教育出版社,1993年5月第二版