

DIS 实验新探

编者按:

2004 年—2005 年,作为对上海二期课改推出“DIS(数字化信息系统实验室)”的呼应,本刊连续刊登了上海市中小学数字化实验系统研发中心冯容士特级教师撰写的以《DIS 的研究与开发》为总标题的 12 篇论文,此举在国内物理教学界引起了认识、研究和应用 DIS 的热潮。

光阴荏苒,DIS 的全国用户已从当年的几十所发展到超过三千所学校,而本刊编辑部收到的稿件中有关 DIS 的比例逐年递增;来稿者中不乏以 DIS 实验获得各级各类物理教学奖项的精英级教师,可见 DIS 作为上海二期课改的一项重要举措,已在全国各地引起了教材、教法甚至教育思想等领域的巨大反响。

2010 年 12 月,喜讯传来:以冯容士特级教师领军的团队凭借 DIS 项目一举荣获国家基础教育课程改革科研成果一等奖,本刊在祝贺冯老师和山东远大公司的同时,约请至今仍在 DIS 研究与开发一线的冯容士老师拨冗赐教,总结一下近年来上海市中小学数字化实验系统研发中心 DIS 研发的新成果,并为 DIS 在物理教学领域的深度应用做出展望。经过一年的准备,冯容士老师欣然命笔,新一轮 12 篇论文即将面世。本期开辟“DIS 实验新探”栏目,其中“DIS 二维运动实验系统及实验(I)”乃是其开篇之作,特敬请读者关注。

DIS 二维运动实验系统及实验(I)

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)

一、概 述

1. 传统实验方法回顾

描绘二维运动轨迹,传统上使用频闪摄影和电火花描述两种方法。^{[1][2][3][4]}

频闪摄影拍摄的频闪照片可配合运动学、动力学等内容的教学,供对物体的运动状况、运动规律做定性和定量的分析、研究之用。

实现频闪摄影,需要使照相机保持快门开启,利用频闪光源进行间断曝光,这样,就可以按照一定时间间隔,将运动物体运行到不同位置时的图像叠拍在同一张照片上。

另一种变形的频闪摄影方式被称为“间断遮光拍摄法”。与频闪摄影不同,此方法只要用普通光源即可。将照相机置于开有窗口的转盘后面,只有在窗口对准镜头的瞬间才能使相机中的胶卷曝光,因为转盘是匀速旋转的,所以仍可以获得物体在运动过程中不同位置上的叠拍图像。

图 1 所示为用频闪光源拍摄平抛运动实验的装置和频闪照片。

电火花描述的装置见图 2。支架上装有铜箔板和金属网两极板,板和网平行放置并相互绝缘,其间

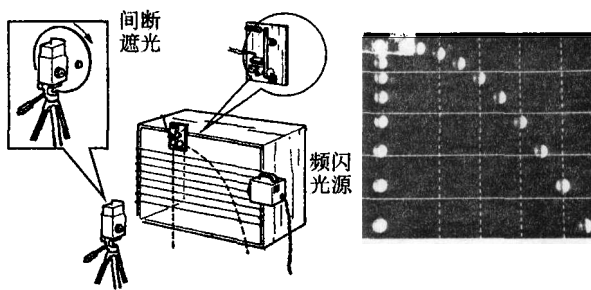


图 1

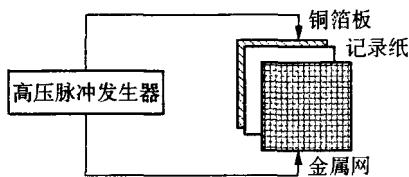


图 2

距稍大于作为运动物体(通常为铁球)的直径。铜箔板上贴有记录用纸。当铁球在两极板间移动时,加在极板间的高压脉冲在纸上定时留下电火花击穿点,从而显示出铁球的运动轨迹。

除此之外,还有人尝试使用压感纸配合斜面做近似实验来描绘二维抛体运动的轨迹,本文不再详述。^[5]

上述方法的原理相对简单,但一方面测量方式具有一定的间接性,另一方面对实验设备、操作方法和熟练程度都有一定的要求。鉴于此,二维运动实验成功率不高,需要多次尝试方可获得较为理想的轨迹,而且多次实验不可避免地导致系统误差增大。

2. 二期课改催生新的实验手段

1999年,上海市作为国家课程教材改革实验区启动了上海的二期课改。2002年推出的《上海市中学物理课程标准(试行稿)》(以下简称《课程标准》)在“物理研究型课程内容示例”中指出:“用DIS描绘合运动轨迹。以平抛运动的运动轨迹为背景,用DIS中的传感器分别测出做抛体运动、圆周运动或振动的物体在不同时刻的两个分位移的大小,运用计算机描绘出合运动的轨迹。然后根据轨迹的形状,猜想轨迹与数学中的一次函数或反比函数、或二次函数、或三角函数……的图象是否相似。应用计算机的函数功能,将相应的函数图象与所得到的合运动的轨迹进行拟合,对自己猜想进行验证,从而得到合运动的数学表达式。最后通过交流、讨论,归纳总结出所研究的合运动与两个分运动之间,在位移、速度等方面的关系。”^[6]上述要求,凸显了上海二期课改通过“自主学习、探究式学习和团队合作”推进“学生学习方式转变”这一核心目标,对DIS实验的开发和研究具有重要的指导意义。

基于《课程标准》,上海市中小学数字化实验系统研发中心在DIS位移传感器(一维)的基础上,设计研发了“DIS二维运动实验系统”,为二维运动实验提供了一种新的实验手段。

DIS二维运动实验系统由“二维运动发射器”、“二维运动接收器”、“二维运动实验专用软件”和不同类型的“二维运动实验装置”构成。

二维运动发射器、接收器应用先进的传感技术和创新的结构设计,构成了一套“信号发射与接收系统。”其中,二维运动发射器被设计成为实验中的运动物体/抛体;二维运动接收器采用无线定位的方式,对运动物体——二维运动发射器的运动轨迹进行跟踪记录,并且直接通过USB接口将接收到的信号上传至计算机,使运动物体的运动状况实时显示专用的软件坐标系内,以供教学研究之用。

二维运动实验专用软件对运动物体的运动状况有多种表现方式,既有频闪照片、打点计时等与传统实验结果一脉相承的表现方式,又有突出计算机强大功能的轨迹描述、图线描绘等表现形式。

将二维运动发射器和接收器安装在不同类型的

二维运动实验装置上,可支持多种二维运动实验。目前,中心已开发了近十种二维运动实验装置。

3. DIS二维运动实验系统进入教材

DIS二维运动实验系统诞生以来,经多次专家认证和课程教学的实践,获得了广泛好评。2009年,该系统在第七届全国优秀自制教具评选活动中获一等奖。后根据教材主编的提议,二维运动实验系统已被正式引入上海二期课改高中物理教材。相信借助这种新型实验手段,学生不仅能更为透彻地认识二维运动的物理规律,更能将对运动与时空关系的认知提高到新的水平。

二、二维运动发射器、接收器的基本结构和工作原理

“二维运动发射器”(图3a)和“二维运动接收器”(图3b)是整个DIS二维运动实验系统的核心。上述发射器和接收器可安装在研发中心设计的多种二维运动实验装置上,能够完成十几项二维运动实验。

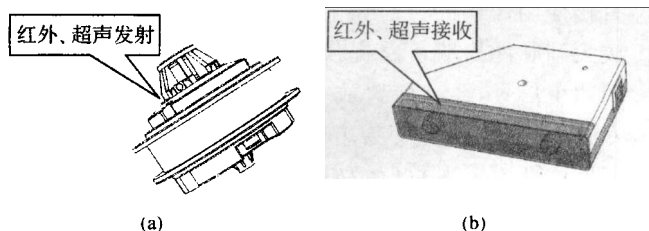


图 3

为获得相对理想的二维运动模型,研发中心面向二维运动发射器和二维运动实验装置进行了综合设计,并经过反复试验确定了二维运动发射器的外形结构和二维运动实验装置的基本构成——前者为滚轮造型,而后者大多安装有适合滚轮滚动的铝合金轨道。

二维运动发射器内含电源及超声、红外发射装置,可同时发射超声波和红外线;二维运动接收器内含两个超声波接收和一个红外线接收装置,并拥有数据接收和解算电路及USB通信电路。

二维运动接收器固定安装在实验装置上,超声波和红外线接收装置均朝向二维运动发射器的运动区域。实验中,接收器接收发射器发出的超声波和红外线信号,根据接收到的红外线信号与超声波信号的时间差乘以各自的传播速度得到发射器(运动物体)与两超声波接收装置的距离,进而基于事先设定的零点,求解运动物体在二维平面上的坐标值,实现对二维运动物体的实时定位(图4)。

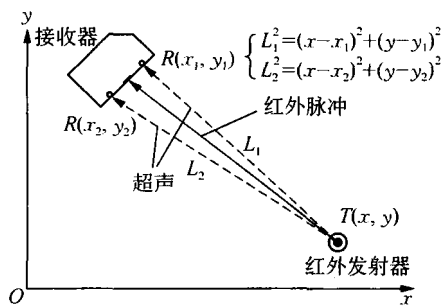


图 4

二维运动发射器的电路框图见图 5。其中，单片机对超声波和红外线的发射进行时序控制并驱动电路超声发射膜和红外发射管工作，发射出脉冲信号。

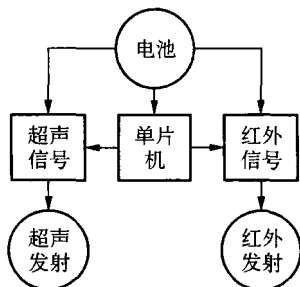


图 5

二维运动接收器的电路框图见图 6。接收器

直接使用计算机的 USB 接口供电。基准电压电路为放大和脉冲提取电路提供基准电压。超声接收器收到超声信号，经过前置放大器放大，与红外信号均进入脉冲提取电路，变为方波脉冲被 CPU 捕捉。CPU 首先计算出发射点(运动物体)与两个超声波接收装置之间的距离，再计算出发射点(运动物体)在平面坐标系内位置，由 USB 通信模块上传至计算机。

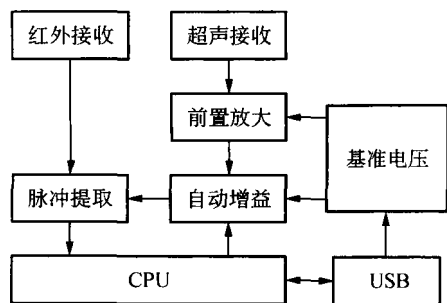


图 6

三、应用

1. 基本规范

使用 DIS 二维运动实验系统进行实验的基本规范如下：

- (1) 将二维运动接收器固定安装在实验装置上，并通过数据线连接到计算机 USB 接口；
- (2) 启动计算机内安装的 DIS 二维运动实验专用软件；

- (3) 打开二维运动发射器的电源开关；
- (4) 如进行平抛运动实验，按照实验要求定义坐标零点。

此时如将二维运动发射器置于二维运动接收器所在的二维平面内，且发射器与接收器的距离不超出规定范围，计算机即可实时显示发射器的坐标位置点。

注意：由于超声波的固有特性，本系统存在半径为 10 cm 的盲区。

2. 实验开发

DIS 二维运动实验系统的实验开发，是一个从硬件到软件、从核心装置(发射器和接收器)到外围器材(二维运动实验装置)不断优化、完善的过程。

研发中心经过多年努力，已基本定型了 DIS 二维运动实验系统的发射器、接收器和软件，并陆续推出了多种具有物理经典模型意义的二维运动实验装置。正是发射器、接收器和软件以及实验装置的有机组合，终于使得平抛、斜抛、伽利略理想实验、圆周运动、运动合成、单摆振动等众多二维运动实验获得了“数字化”的解决方案。而且研发中心研究发现，将 DIS 二维运动实验系统应用于一维运动(基于轨道的直线运动)，该系统能填补原 DIS 位移传感器(一维)的很多不足，取得令人意想不到实验效果。

图 7 所示为 DIS 二维运动实验系统应用的思维导图。

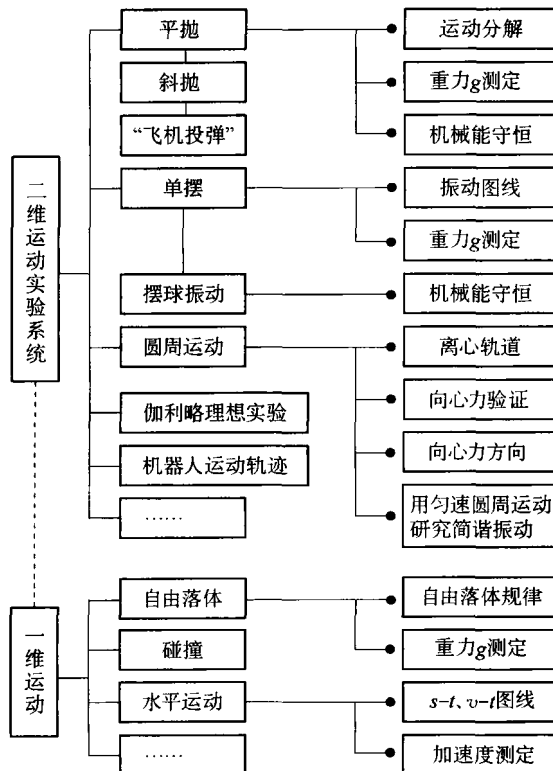


图 7

四、实验实例

1. 平抛运动

(1) 实验装置构成

该实验需要使用与 DIS 二维运动实验系统配套的实验装置——平抛运动实验器(图 8)。该实验器由物理支架、立杆、轨道构成。轨道呈倾斜状安装在立杆上,轨道上端设有位置可调的释放夹,改变释放夹的高度可以改变抛射速度,轨道末端设有调零器和水平仪。轨道为铝合金材质,经折弯处理,其宽度恰好允许二维运动发射器在其中滚动,且减小晃动和摩擦。二维运动接收器安装在立杆顶端,其红外、超声接收装置所在的面与实验台成 45° 夹角,正对轨道末端,与发射器抛出后飞行的轨迹处于同一平面。

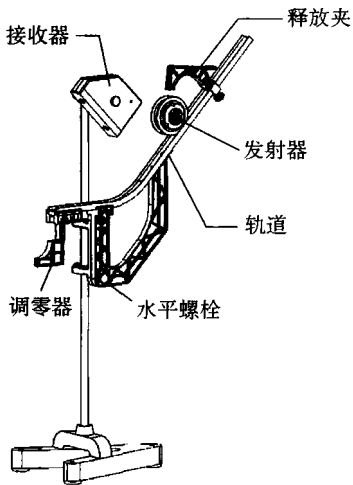


图 8

(2) 实验操作

实验时,按如下操作步骤。

- ① 将二维运动接收器连接到计算机;
- ② 点击“二维运动实验专用软件”主界面上的实验条目“平抛运动”,打开软件(图 9);

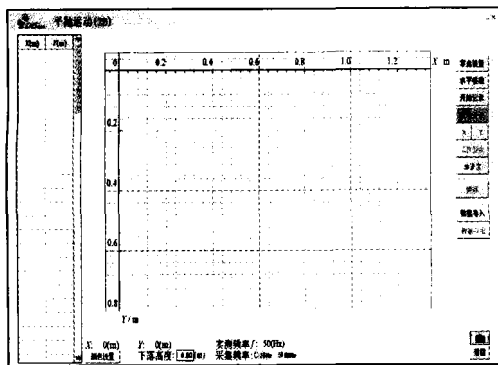


图 9

- ③ 开启二维运动发射器的电源;
- ④ 将发射器置于平抛导轨水平端的边缘(图 10a)并使其与调零器吻合,点击软件“零点设置”;
- ⑤ 将二维运动发射器沿导轨向后水平移动 3~6 cm(图 10b),点击“水平校准”,校准接收器的水平

坐标;

- ⑥ 用释放夹将二维运动发射器扣住(图 10c);

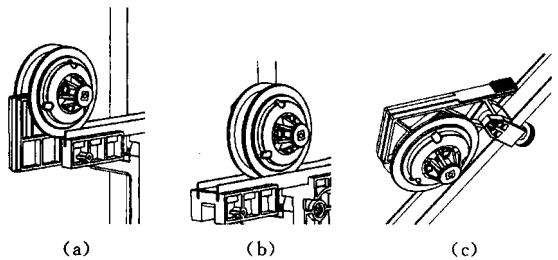


图 10

- ⑦ 点击“开始记录”。
- ⑧ 扣动释放夹,令二维运动发射器向下滚动;
- ⑨ 当二维运动发射器通过导轨末端的零点时,系统即开始自动定位发射器,并将其在二维平面内的位置点数据上传至计算机,在坐标系内按照一定的时间间隔绘出其连续的位置点(图 11a);

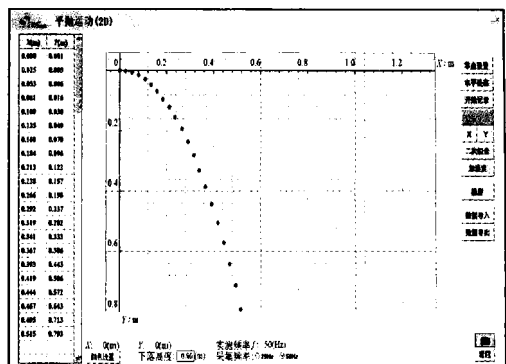


图 11a

- ⑩ 发射器落地后,点击“停止记录”。
- 注意:应在二维运动发射器落地的区域设置柔性回收垫,以保护发射器!

- ⑪ 依次点击“x”、“y”,可分别显示 x 、 y 方向的分运动轨迹(图 11b);

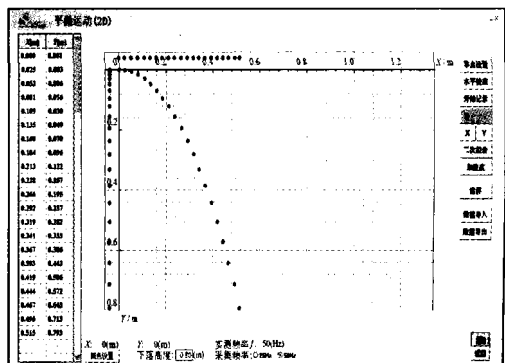


图 11b

- ⑫ 点击“二次拟合”,可对运动轨迹进行曲线拟

合(图 11c);

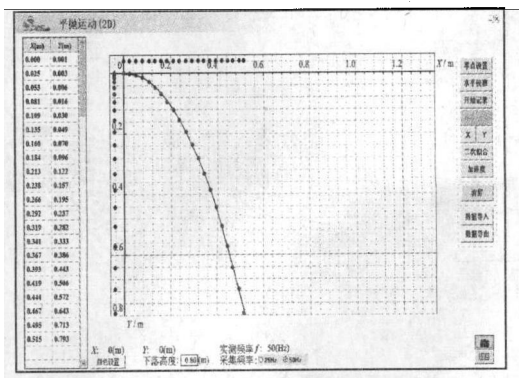


图 11c

⑬ 点击“加速度”,可计算平抛运动在竖直方向的加速度数值,并与当地的重力加速度加以比较(图 11d);

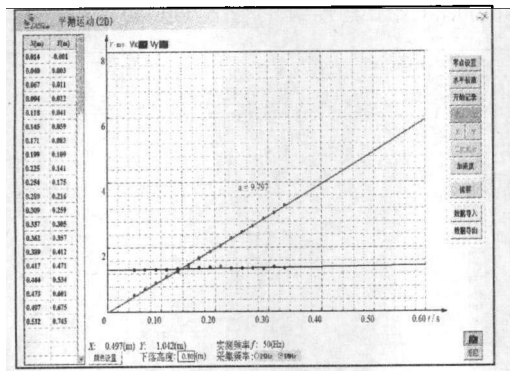


图 11d

(上接第 28 页)

相对误差比用公式法处理的要大,主要是因为取的数据点比较少。

表 2 驻波频率数据表

n	0	1	2	3	4
f_n (Hz)	540	711	887	1060	1239
n	5	6	7	8	9
f_n (Hz)	1413	1610	1763	1947	2127

5. 结 论

基于扫频法的声速测量实验的设计改变了以往“发射固定频率声波,调节空气柱长度”的模式,从声速测量原理的另一个层面去理解问题,加深对波与振动相关知识的掌握。实验系统优势明显:物理图像清晰、实验精确度较高、实验系统简单且成本低。

⑭ 点击“数据导出”,可将实验数据存为历史数据或导出至 EXCEL 等软件;

⑮ 点击“数据导入”,可将以前保存的历史数据导入软件,并进行分析。

注意:实验中运动轨迹的采样频率可选(系统默认为 50 Hz)。上述图片对应实验的采样频率即为 50 Hz。(待续)

参 考 文 献

- [1] 教育部教学仪器研究所编. 中学理科教学仪器配备目录, 2000 年 6 月.
- [2] 教育部教学仪器研究所编. 中小学教师继续教育教材·高中物理学生实验. 人民教育出版社出版, 2003 年 6 月第一版.
- [3] 冯容士, 陈樊荣编著. 中学物理实验汇编(力学·上册). 知识出版社出版, 1982 年 9 月第 1 版.
- [4] 杨介信, 张大同主编. 中学物理实验大全. 上海教育出版社出版, 1995 年 12 月第一版.
- [5] 左卷健男, 泷川洋二编著. 王政友译. 爱上物理实验课(上). 世茂出版有限公司(台湾)出版, 2005 年 8 月第一版.
- [6] 上海市教育委员会编. 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 2 版.

这些要得益于虚拟仪器技术,因为产生扫频信号及实现频谱分析是一般硬件仪器难以实现的。

实验也可以采用噪声法来实现:信号发生器产生白噪声信号,白噪声是一种含有各种频率成份的噪声信号,符合驻波条件的频率成份将会被加强,在话筒端得到较强烈的信号,表现为信号波峰。但噪声法容易受环境噪声的影响,会引入较大误差。

实验采用了全封闭管,可以开孔充入不同气体,探究声速在不同气体、不同温度中的传播速度。此时,实验可扩展为探究性实验,内涵更为丰富。

参 考 文 献

- [1] 赵凯华, 罗蔚茵. 力学(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [2] 周爱军, 马海瑞. 基于声卡的 Lab VIEW 数据采集与分析系统设计[M]. 微计算机信息, 2005, 21(9): 108—110.