

# DIS 电磁定位板的研发与实验应用( II )

冯容士 李 鼎 赵 进 (上海市中小学数字化实验系统研发中心 上海 200072)

**摘 要** DIS 电磁定位板是一种新型的二维运动实验工具。本文追溯其研发过程对其工作原理及结构作了剖析,并对该定位板支持的不同实验做了较为详细的说明。

**关键词** 电磁定位板 二维运动实验

**文章编号** 1002-748(2017)8-0018

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

## 1. 斜抛运动(见图 9)

将弹射器组件固定在框架左侧槽内下端,调整组件位置,使其与定位板水平方向成一定角度。

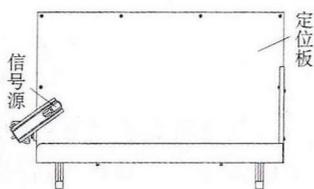


图 9

**实验步骤:**

- (1) 将定位板与计算机连接,打开专用软件,开启信号源的电源开关;
- (2) 调整弹射装置为设定的斜抛角度;
- (3) 信号源放置在弹射器的前端,点击软件“零点设置”按钮;
- (4) 选择弹射器的挡位。点击软件“开始记录”。弹出信号源使之做斜抛运动,可得到软件采集的数据及轨迹(见图 10);

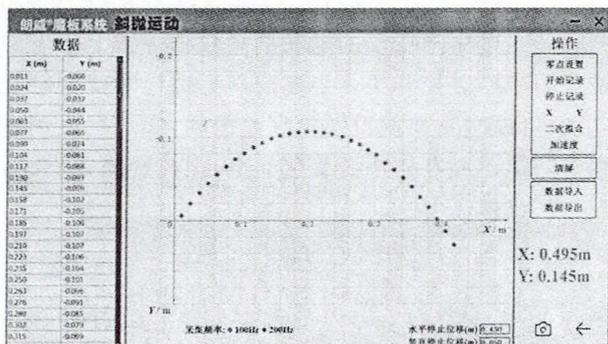


图 10

(4) 点击软件“二次拟合”,从拟合图线可见,抛体的运动轨迹符合二次方关系;

(5) 点击软件上的“X”、“Y”按钮,可得到各数据点在 X 轴和 Y 轴上的投影(见图 11)。由 X 轴上

各投影点的间距相同,可知水平方向为匀速运动;由 Y 轴上各投影点的间距,可知竖直方向为竖直上抛运动;而斜抛运动就是在水平方向的匀速直线运动与垂直方向的竖直上抛运动的合成。

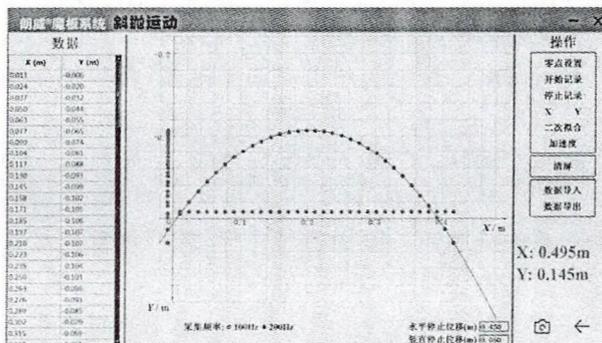


图 11

(6) 从斜抛运动的轨迹(实验数据)还可得到在斜抛运动中的射高和射程。

## 2. 单 摆(见图 12)

看似简单的单摆运动,其中蕴含着丰富的物理意义。由于传统测量工具所限,以往实验中难以获得对于教学至关重要的信息。

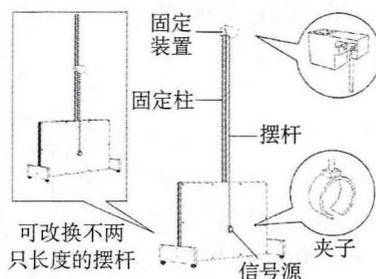


图 12

用电磁定位板做单摆运动实验,不仅能测出单摆的周期和重力加速度,还能通过运动轨迹来研究摆球的运动规律。该系统获得的振动图线还可以证明:在摆角很小的情况

下,单摆振动时的回复力和位移成正比,且方向相反,这正是简谐振动的标准定义。

将配置的单摆附件固定在框架上侧槽内,信号源(摆球)装在摆杆(碳纤维材料)下部夹子内,摆杆上部用双轴承挂于固定柱上端固定装置的槽内,使其摆球能来回摆动。换用不同长度的摆杆,并上下移动固定装置在固定柱上的位置,可研究摆长和周期关系等实验。

**实验步骤:**

- (1) 将定位板与计算机连接,打开专用软件,开启信号源的电源开关;
- (2) 将信号源固定在摆杆末端的夹子处;
- (3) 信号源在平衡位置保持静止。点击软件“开始记录”,然后点击软件“零点设置”按钮;
- (4) 将摆杆拉动一定的角度( $<5^\circ$ )。点击软件“开始记录”,让信号源摆动,可得到软件采集的数据及水平方向的运动轨迹(见图 13);

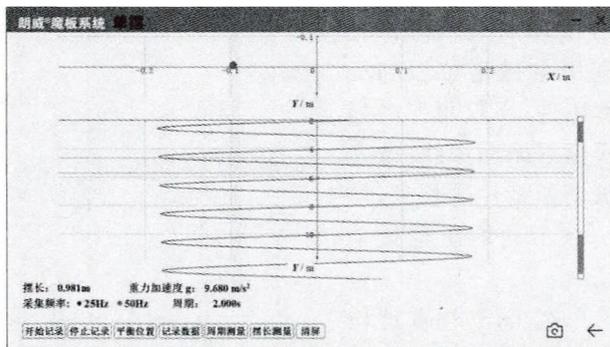


图 13

- (5) 摆动一段时间后,点击软件“停止记录”;
- (6) 点击软件上的“摆长测量”、“周期测量”按钮,软件可自动计算出摆长、周期和重力加速度。

**3. 伽利略理想实验(见图 14)**

伽利略根据对运动的观察设想了一个“理想实验”。如果一个做匀速运动的物体,没受到阻力,会保持匀速运动不变。有人评论说:“伽利略所用的科学推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一。”

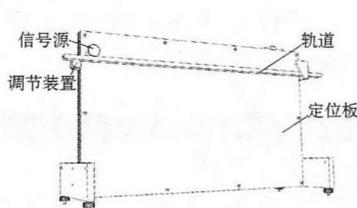


图 14

用电磁定位板设计一个“类”伽利略理想实验,可谓别有情趣。把配置的轨道架在框架两侧,调节

轨道两侧固定装置高度,可改变轨道倾角。

**实验步骤:**

- (1) 将定位板与计算机连接,打开专用软件,开启信号源的电源开关;
- (2) 调整轨道的角度,将信号源放置轨道的左端;
- (3) 首先点击软件“开始记录”,然后点击软件“零点设置”按钮;
- (4) 点击软件“开始记录”,释放信号源使之沿轨道滚下,之后点击“停止记录”;
- (5) 点击软件上的“X”、“Y”按钮,可得到各数据点在 X 轴和 Y 轴上的投影(见图 15)。

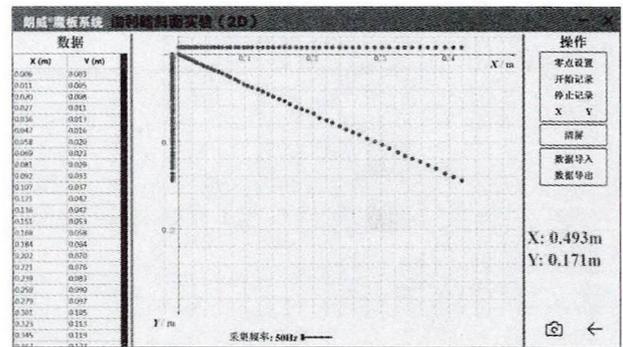


图 15

- (6) 改变轨道倾角多次重复实验,观察轨迹图象与轨道角度的关系。可以发现随着轨道接近水平,轨迹点之间的距离接近相同。

**4. 运动的合成(见图 16)**

一个物体同时参与两个运动,这个物体实际运动称为合运动,参与的两个运动称为分运动,用定位板演示运动合成通常以“位移合成”为代表。

把配置的“运动合成”附件固定在定位板上侧槽内,滑块向右移动,其竖直滑杆上的信号源会随牵引器参与水平向右和竖直向上的合运动,滑块向左移动,其竖直滑杆上的信号源会随牵引器参与水平向左和竖直向下的合运动,系统描绘出的信号源运动轨迹即为合运动轨迹,利用上述牵引装置,DIS 电磁定位板还可分别演示水平方向或竖直方向的运动轨迹。

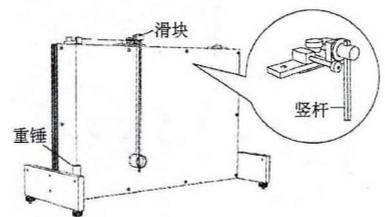


图 16

**实验步骤:**

(1) 将定位板与计算机连接, 打开专用软件, 开启信号源的电源开关;

(2) 将信号源固定在竖杆末端的卡口处;

(3) 将竖杆位置调整到最左端, 此时信号源在定位板的下方。首先点击软件“开始记录”, 然后点击软件“零点设置”按钮;

(4) 点击软件“开始记录”, 手动拖动滑块沿轨道自左向右运动。

(5) 滑块拖动到最右端后, 点击“停止记录”;

(6) 点击软件上的“X”、“Y”按钮, 可得到各数据点在 X 轴和 Y 轴上的投影(见图 17)。

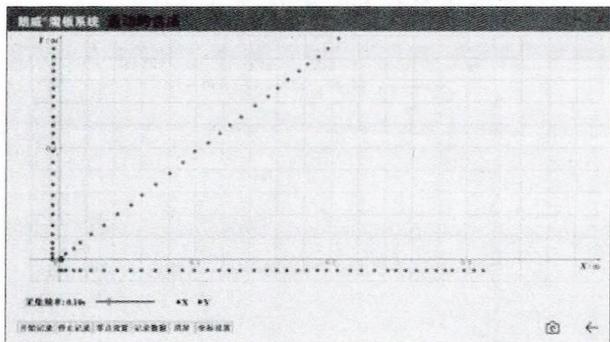


图 17

### 5. 离心轨道(见图 18)

离心轨道经常用来研究物体在环形轨道上的运动。DIS 电磁定位板的实时定位功能无疑为这一实验提供了更理想的教学效果。

将配置的环形轨道竖直架设在定位板框架上, 即可演示信号源在竖直环形轨道上的运动等现象。

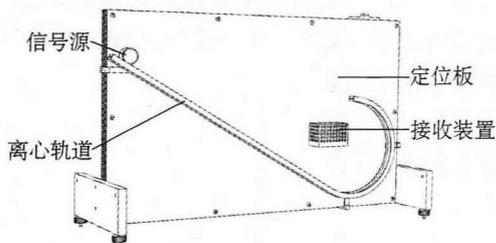


图 18

#### 实验步骤:

(1) 将定位板与计算机连接, 打开专用软件, 开启信号源的电源开关;

(2) 调整轨道的角度, 将信号源放置在轨道的左侧起始端;

(3) 首先点击软件“开始记录”, 然后点击软件“零点设置”按钮;

(4) 点击软件“记录数据”, 释放信号源使之沿轨道滚下, 信号源被接收装置接收之后点击“停止记录”; 软件会记录并显示信号源的轨迹点数据及图像(见图 19)。

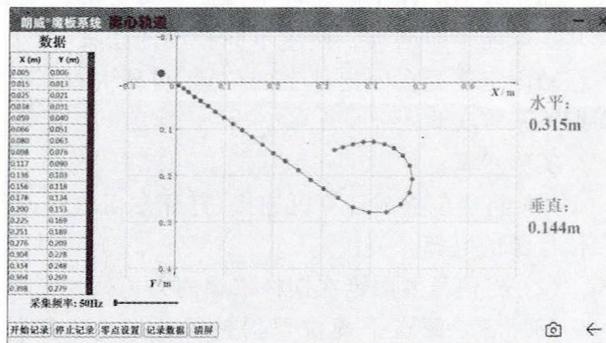


图 19

### 6. 阻尼振动(见图 20)

振幅随时间减少的振动称阻尼振动。利用电磁定位板和配套附件, 不仅可实时显示阻尼振动图线, 改变振动弹簧片的长度, 可比较不同的阻尼振动图线。

在 DIS 电磁定位板框架上方将阻尼振动实验器固定夹安装在框架上端。

#### 实验步骤:

(1) 将定位板与计算机连接, 打开专用软件, 开启信号源的电源开关;

(2) 将信号源放置在弹簧片末端的卡槽内;

(3) 首先点击软件“开始记录”, 然后点击软件“零点设置”按钮;

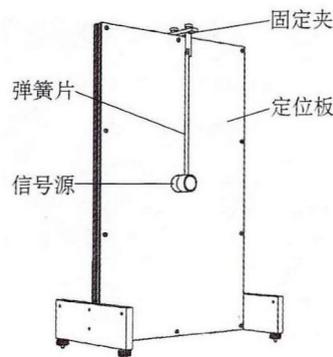


图 20

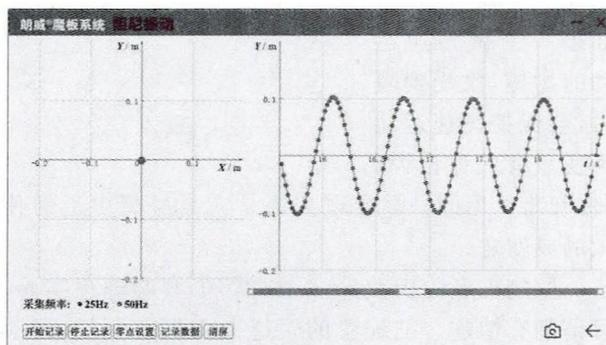


图 21

(4) 使弹簧片摆动起来, 点击软件“记录数据”, 软件左侧坐标系实时显示信号源所在的位置, 右侧坐标系显示信号源随着时间振动的图象(见图 21)。

### 7. 圆周运动的投影(见图 22)

匀速圆周运动投影是简谐振动。利用定位板和附件, 可直观形象地显示出匀速圆周运动的投影为简谐振动。

在水平放置的定位板两侧架上门式支架, 支架中间的电动机可带动信号源做匀速圆周运动, 其旋转半径可调。

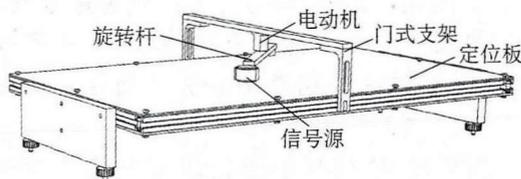


图 22

实验步骤:

(1) 将定位板与计算机连接, 打开专用软件, 开启信号源的电源开关;

(2) 将信号源放置旋转杆的转动轴的位置;

(3) 首先点击软件“开始记录”, 然后点击软件“圆心定位”按钮;

(4) 将信号源固定在旋转杆末端的卡槽内。

(5) 点击软件“记录数据”。打开电源, 使旋转支架使转动起来, 软件会在  $Y-t$  坐标系中实时显示信号源小球的在  $Y$  轴上投影图象(见图 23)。

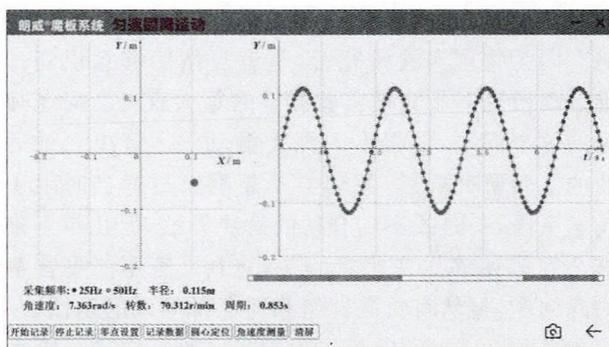


图 23

(6) 点击软件“停止记录”, 然后点击“角速度测量”, 选择  $Y-t$  坐标系中的一段曲线, 软件会自动计算出旋转半径、角速度、转速和周期。

### 8. 机械能守恒规律(见图 24)

在竖直放置的定位板上端框架槽内固定带有旋

转臂的机械能守恒实验附件, 置于旋转臂底端的信号源可绕旋转轴转动。信号源的旋转半径可调。

实验步骤:

(1) 将定位板

与计算机连接, 打开专用软件, 开启信号源的电源开关;

(2) 将信号源固定在旋转臂末端的卡口处充当摆锤; 在软件中输入摆锤质量  $0.055 \text{ kg}$ ;

(3) 信号源放置在最低点保持静止, 首先点击软件“开始记录”, 然后点击软件“零点设置”按钮;

(4) 将旋转臂拉动一定的角度。点击软件“记录数据”的同时释放旋转臂, 摆锤会随之摆动, 软件显示采集的数据及轨迹(见图 25);

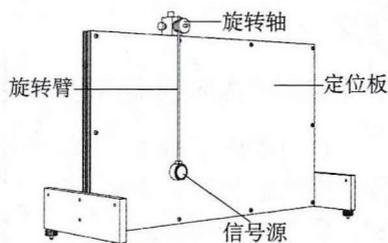


图 24

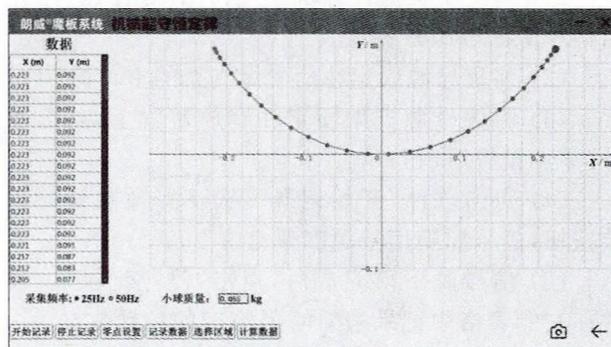


图 25

(5) 点击软件“选择区域”, 选择轨迹点的最左侧到最右侧的范围。

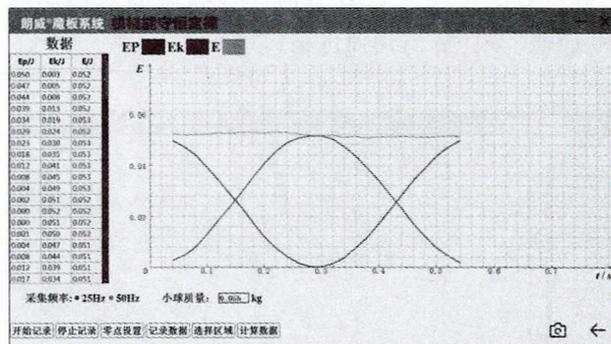


图 26

(6) 点击软件“计算数据”, 软件会计算出动能、势能、机械能的数据, 并在右侧的坐标系中显示出变化曲线(见图 26), 从图中可以发现, 物体在只有重力做功的状况下其重力势能(图 26 中  $E_p$ )和动能(图 26 中  $E_k$ )可以相互转换, 而总的机械能保持

不变。

## 9. 自由落体运动(见图 27)

自由落体运动是匀变速直线运动的一个特例。研究自由落体运动方法众多,但大多因为不能实时显示让人纠结。用电磁定位板来显示自由落体运动轨迹也许会令人叹为观止。

定位板垂直放置,在框架上端槽内固定信号源释放装置,为便于信号源定位和释放,信号源与支架相连,接收装置固定于定位板底部。

实验步骤:

(1) 将定位板与计算机连接,打开专用软件,开启信号源的电源开关;

(2) 将信号源固定在信号源支架的卡口内;

(3) 将信号源支架固定在释放装置上,点击软件“零点设置”按钮;

(4) 点击软件“开始记录”,按下释放装置的释放按钮,信号源随信号源支架自由下落。

(5) 信号源下落完成后,点击“停止记录”。软件在左侧表格中记录采集的 Y 方向的运动数据。

(6) 点击“s-t 图象”,软件会在 Y-t 坐标系中绘制信号源小球在垂直方向位移随时间变化的轨迹点及曲线。

(7) 点击“v-t 图象”,软件会在 v-t 坐标系中绘制信号源小球在垂直方向速度随时间变化的轨迹、曲线,并计算出加速度值(见图 28)。

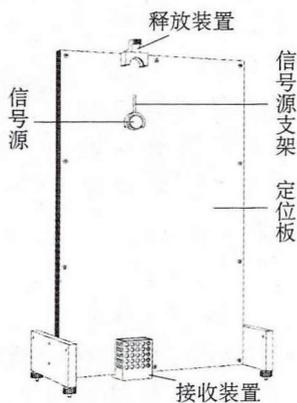


图 27

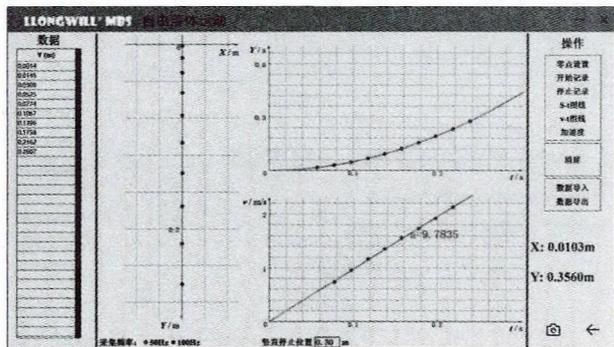


图 28

(8) 可观察到小球在竖直方向为初速度为零的匀加速运动,加速度的值为重力加速度。

## 后 记

本文所述电磁定位板的研发,先要从 AGV 的定位原理讲起。

AGV 是 Automated Guided Vehicle 的缩写,意即“自动导引运输车”,是指装备有电磁或光学等自动导引装置,能够沿规定的导引路径行驶,具有安全保护以及各种移栽功能的运输车。不同类型的 AGV 目前在世界范围内获得了广泛的应用。在央视播出的《超级工程 II》系列专题片中,专门有一集记录了厦门港建设的基于 AGV 应用的世界第一个自动化集装箱装载码头。通过影像资料,我们了解到全码头共九十六台 AGV 在全天候自动行驶,其导航的关键就是码头地面密布的磁钉网络。

换句话说,厦门码头首先用磁钉将地面变成了定位板,每一台 AGV 都像本文所述的信号源一样,依靠自身的感应装置与磁钉网络互动,通过感应信号获得了相关的位置信息,进而实现了自主导航。

看到这里,笔者不禁感叹:殊途同归啊!

二维运动实验研发需求源于上海市中学物理课程标准。但因为标准中的表述不是那么具体,因此除了笔者等少数几个教材编者之外,大家都没有把课标要求与具体的二维运动实验研究相关联。2004 年,著名物理教学专家何润伟先生向中心的副主任李鼎明确提出:在使用 DIS 分体式位移传感器解决了一维运动的实时测量之后,能否进一步解决平抛、斜抛、运动的合成与分解等二维运动的实时测量问题?同为物理实验研究者,笔者自然能够意识到二维运动研究对于物理实验教学的重大意义。何老师提的这个问题,使得本人深受触动——解决二维运动的实验研究问题,我何尝不想啊?尽管当时限于技术手段,一时找不到合适的解决办法,但几年下来这个问题始终压在笔者心头,自忖:若不能妥善解决此问题,显然有负课标组和何老师等人的重托。

直到 2007 年初,笔者发现了一种在电子白板系统中应用的定位技术——使用超声波和红外线实现对二维运动的连续定位,并果断决定将其移植到 DIS 二维运动实验研究中来。其成果就是本文开篇所述的“DIS 二维运动实验器”。

但是该系统的核心毕竟是移用自电子白板,而白板的使用环境与实验要求的平抛、斜抛、运动的合

(下转第 14 页)

### 三、思考与讨论

基于上述对涡旋电流概念表述中的前提条件和涡旋电流与涡旋电场之间的关系以及涡旋电流的本质特征,这里提出关于涡旋电流概念的界定原则予以思考与讨论。

(1) 由涡旋电场产生的感应电流就叫做涡旋电流。比如,如图 3 所示的感应电能表铝盘中的感应电流<sup>[8]</sup>和电磁炉中的感应电流都是涡旋电流。

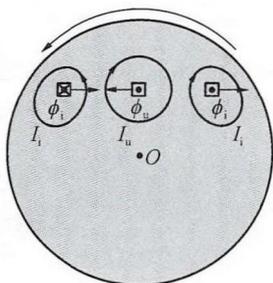
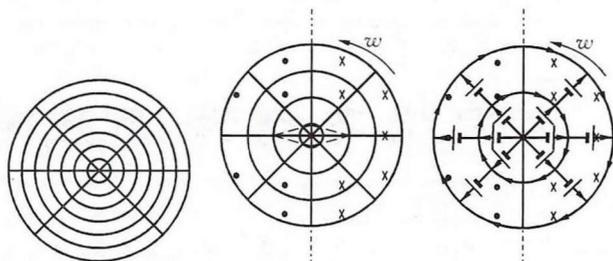


图 3 感应电能表铝盘

在涡旋电流产生的过程中,激发涡旋电场的变化磁场,包括自身强弱或方向发生变化的电流产生的变化磁场和磁体与电流回路之间发生非切割磁感线运动引起的变化磁场。

(2) 相对于涡旋电流而言,可以将由于导体与磁场之间的相对切割磁感线运动产生的感应电流称为径向电流。比如,如图 4 所示的阿拉果铜盘改进实验中的感应电流<sup>[9]</sup>和法拉第圆盘发电机中的感应电流都是径向电流。

径向电流的特征是其电流回路中只有做切割磁感线运动的部分才是电磁感应电源。在定轴转动的金属块中,电磁感应电源就是相对于转动轴的每一根绕轴转动的辐条,即转动半径。



(a) 辐条与圆环构成 (b) 磁针的磁场呈对称分布 (c) 铜丝圆盘中感应电源与电流分布

图 4 阿拉果铜盘改进实验

#### 参考文献

- [1] 2015 年普通高等学校招生全国统一考试(普通高中新课程标准 I 卷)理科综合能力测试物理试题参考答案及评分标准.
- [2] 朱文惠,许冬保.近 2 年全国课标 I 卷物理学史试题评析与教学策略[J].物理教学探讨,2016(6): 46—49
- [3] 沈文炳,张志勇.基于 SOLO 理论的物理学史复习[J].物理通报,2016(7): 119—122
- [4] 许冬保.2015 年理综新课标卷 I 第 19 题的评析与启示[J].中学物理教学参考,2016(12): 60—62
- [5] 刘保华.阿拉果及其铜盘实验[J].物理通报,2017(5): 121—123
- [6] 赵凯华,陈熙谋.新概念物理教程电磁学[M].北京:高等教育出版社,2006.12: 182—184
- [7] 赵凯华,陈熙谋.新概念物理教程电磁学[M].北京:高等教育出版社,2006.12: 176—177
- [8] 黄绍书,蔡阳.阿拉果铜盘实验与感应电能表的转动机理比较分析[J].物理教师,2017(4): 50—51
- [9] 黄绍书.阿拉果铜盘实验的实验研究与分析[J].物理通报,2016(7): 97—100

(上接第 22 页)

成与分解存在极大不同。不说别的,白板系统中的信号源——电子笔是握在人手里的,书写的速度也是有一定限度的。而二维运动中经常被研究的抛体运动是一个水平运动与自由落体运动的合运动,其末端的切线速度接近 5 m/s。要对这样一个信号源进行定位,源自白板的超声波、红外线技术就有点力不从心了。这应该就是 DIS 二维运动实验系统一系列设计缺陷的来源。

先解决“有没有”,再追求“好不好”。这就是循序渐进。

笔者随后认识到:本次移用创新虽然解决了二维运动实验研究手段“有没有”的问题,但要解决“好不好”的问题,还需要进行重大的思维转换,并开展扎实的基础研究。

寻觅中,某一显示器的结构和原理启示激发了

我们的灵感。电磁定位板的基本思路就这样确定下来了。最终拿下了梦寐以求的定位板。相比于厦门的 AGV 码头和即将按照厦门方案建设的上海洋山港 AGV 码头,我们的定位板只不过是一个小片片。但是其工作原理可是一脉相承。学生了解了定位板,也就理解了 AGV 和自动化码头。

保持追求、自我否定——DIS 电磁定位板就是这样诞生的。

(注:本文插图 王浩)

#### 参考文献

- [1] 上海市教育委员会.上海市中学物理课程标准(试行稿)[M].上海:上海教育出版社,2004
- [2] 张越,冯容士.高级中学·中学物理实验手册·高中(试验本)[M].上海:上海教育出版社,2015