

Tracker 软件在物理实验教学中的应用

徐忠岳¹，余杰²，曾裕²

(1. 东海中学，浙江 舟山 316000；2. 舟山二中，浙江 舟山 316000)

摘 要：Tracker 软件通过分析物理实验视频，追踪研究对象的运动轨迹，以简洁高效的数据分析手段揭示物理规律。Tracker 软件可广泛应用于物理演示实验教学和课外研究性学习，有利于丰富物理课程资源、突破教学难点、提高教学质量。

关键词：物理实验；Tracker；视频分析

一、引言

随着生活水平的提高和科学技术的发展，数码相机、手机和网络摄像头等数码产品已进入寻常百姓家，而大部分上述产品都有视频拍摄功能，根据需要拍摄一段视频已是举手之劳。由于视频是对物理过程的真实记录，在课堂上向学生展示生动的感性材料，相比虚拟的动画更具表现力和感染力，更能充分调动学生视、听觉感受，从而有利于活跃课堂气氛，提高学生的学习兴趣，启迪他们的思维，加深学生对物理知识的理解，提高物理教学效果^[1]。应用视频分析软件可使视频的教学功能锦上添花，其中 Tracker 软件是由美国卡布里洛大学的道格拉斯·布朗教授开发并维护，可通过分析物理实验的视频片段，追踪选定研究对象的运动轨迹，以简洁高效的数据分析手段揭示物理规律，并且允许用户建立自己的动力学或运动学模型，进行模拟实验。该软件已经成功用于运动学、动力学甚至是光谱分析等领域的教学与研究^[2]。目前，该软件在国内尚未得到广泛的应用；在为数不多的公开发表的论文中，所采用的实例皆来自于 Tracker 软件的开放资源库。

二、Tracker 软件的特点

(一) 精确和人性化的设置方式

1. 提供了比例标度的设置功能

为了提供真实的分析处理，Tracker 软件提供了比例标度的设置功能。只要在视频场景中找到一个已知尺寸的物体，将标度移到该物体并设置好它的真实长度，在后面的视频分析中软件将自动按照该比例标度将物体在屏幕上移动长度转化为真实场景的尺寸，从而能够还原真实的运动过程。

2. 可随意设置坐标原点的位置

某些软件总是默认视频或照片的左上角为坐标原点，有些软件则总是以研究对象的初始位置为坐标原点。比如，DIS 数字化实验系统是当下比较时髦的教具，不过 DIS 在分析数据时总是取“接收器”所在的初始位置为坐标轴的原点。由于坐标原点

* 本文为全国教育信息技术研究“十二五”规划 2013 年度重点课题《基于现代信息技术的中学物理自制教具的开发与应用》(立项号 132821014) 的阶段性成果。

不能改变，势必使运动分析带来一定的局限性。而 Tracker 软件可以选择视频中的任意位置为坐标轴的原点，操作非常灵活。如图 1 所示，在研究简谐运动和匀速圆周运动的关系时，我们利用固定在弹簧振子上的激光源发出的线状激光来同步跟踪圆盘上某一点的运动^[3]。导入所拍摄的录像，选择图中转盘的圆心位置为坐标轴的原点。分析所得的 $x-t$ 图、 $y-t$ 图，发现都为正弦曲线，证明了做匀速圆周运动的物体在圆的某一直径或在与该直径平行的直线上的投影做简谐运动。

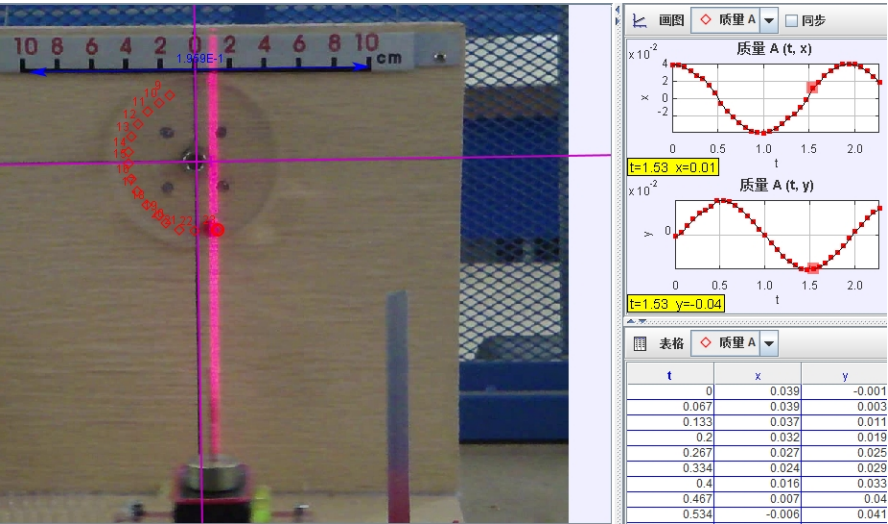


图 1 设置坐标原点

3. 可根据需要旋转坐标系、定标尺和定标杆

用 Tracker 软件分析视频时，可以任意调节“坐标轴”和“定标尺”的倾角，即使影像倾斜也不影响分析，从而降低了拍摄要求，减小了实验误差。如上图，拍摄界面中的屏板略有倾斜。分析时先设置一条与屏板边界平行的定标尺（图中长 20cm 的蓝色线段），把鼠标移至某一坐标轴，按住鼠标左键并缓慢转动，直到界面显示定标尺与 x 轴的夹角为零。

（二）可以应用“滤镜”工具实现频闪效果

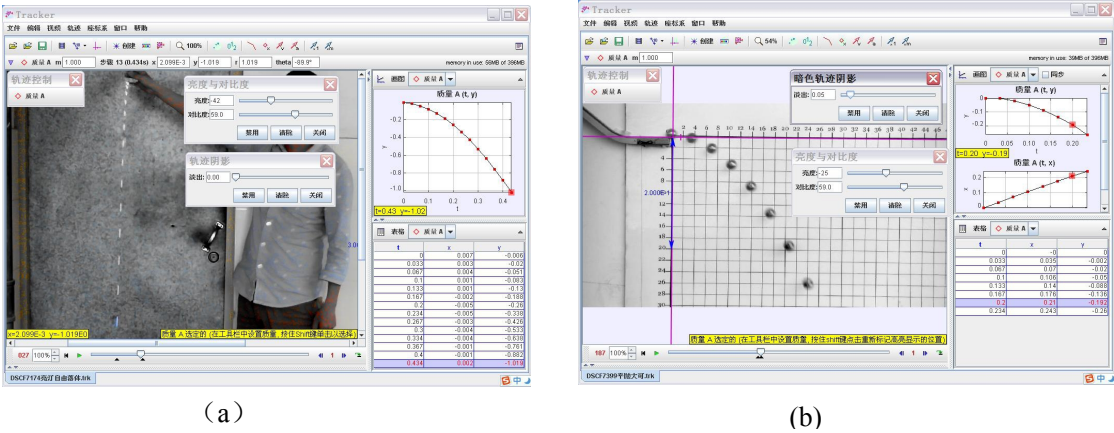


图 2 使用滤工具

受教学条件的限制，频闪实验几乎成了物理实验教学中“纸上谈兵”的代表。应

用“滤镜”工具可以轻松实现频闪效果。点击“视频→滤镜→添加 Ghost 滤镜或 Dark Ghost 滤镜”。当主体相对背景较亮时选择前者（如图 2a），相对背景较暗时选择后者（如图 2b）。适当调节“轨迹阴影”和“亮度与对比度”后点击播放，视频每播放一帧画面就留下一个影迹，仿佛动态演绎了一张频闪照片的整个成像过程。整个过程可在短短几秒钟内完成，大大提高了获取“频闪”照片的效率。

（三）简便强大的数据采集和动态分析功能

Tracker 利用跟踪视频来建模是一种功能强大的教学新方法，它解决了过去物理教学过程中所呈现的视频只能看现象，不能定量分析的问题。使用 Tracker 时不需要借助什么新型设备或专业人才，就能在课堂上随时对一段视频进行定量或建模分析。软件可以手动或自动跟踪某一研究对象的位置，动态显示并保存被跟踪目标的位置坐标、速度和加速度矢量。Tracker 具有数据分析工具，可定量地分析位移、速度、加速度等随时间的变化情况，输出所需要的数据表格或图像，进行曲线拟合、求斜率和积分等操作^[4]。

Tracker 软件还可以对视频中在同一平面内运动的多个物体进行同步、迅速地分析，鉴于此我们可以研究一些较为复杂的二维运动，比如验证二维碰撞中的动量守恒。用软件打开拍摄好的碰撞视频，在视频中建立直角坐标系和对标记距离定标后，通过鼠标点击同时对两个物体运动的位置和时间进行逐帧采集，软件会自动计算出各点 x 、 y 方向的动量并在表格中显示，打开“数据工具”窗口，在同一 p_x-t 图中显示两物体在碰撞过程中各位置的 x 方向上的动量 p_{x1} 和 p_{x2} ，打开“数据创建工具”添加数据函数 $\Sigma p_x = p_{x1} + p_{x2}$ ，软件会自动在 p_x-t 图中画出两物体在 x 方向上的动量之和 Σp_x 随时间变化的图像，我们发现动量之和基本为一定值，即 x 方向上动量守恒。

三、Tracker 软件的使用

平抛运动是物理教学的重点之一，从理论上分析，其只受竖直向下重力，竖直方向上做加速度为 g 的匀变速运动，水平方向上应是匀速直线运动，但从一般的生活或实验现象中很难得出定量的结论。下面就以平抛运动为例，介绍 Tracker 软件使用方法。

1. 视频录制

拍摄一段平抛运动的视频，视频背景为一块带有刻度的 $0.8 \times 0.8\text{m}$ 的平板。

2. 视频导入和设定

启动软件，点击菜单“视频→导入”来加载要分析的实验视频。加载成功后，使用软件内置的播放功能对要分析的实验视频进行连续或逐帧播放。打开视频剪辑设定对话框，确定要分析的视频的起点和终点，并设定帧频等。

3. 建立坐标

点击显示坐标轴按钮，将坐标原点用鼠标移动

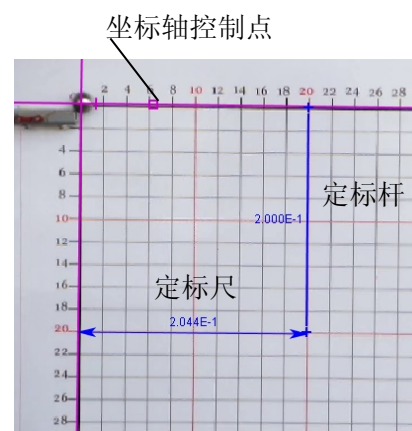


图 3 建立坐标系

到小球起抛点。如图 3 所示，如果拍摄画面倾斜，可拖动坐标轴中的控制点适当旋转坐标系。为了定量分析实验，需要设置定标杆和定标尺，点击定标工具按钮，拖动定标杆（或定标尺）的两个控制点，把两个控制点拖到视频画面中已知间距的两点上，以米为单位输入这两个点之间的实际距离。

4. 追踪对象

执行“轨迹→新建→质点”创建一个要研究的质点对象。在质点对象标签中选择“自动追踪”，系统会自动追踪小球的运动轨迹。或者同时按住“ctrl”和“shift”键逐个手动追踪小球的位置，每追踪一个位置，相关的运动数据就会以图形和表格的形式在窗口的右侧显示出来。根据不同的需要，可以选择显示“位移—时间”、“速度—时间”、“加速度—时间”或“动能—时间”等关系图。

5. 结果分析

如图4（左）所示，在工具栏依次点击“视频”、“滤镜”、添加Dark Ghost滤镜。适当调节“轨迹阴影”和“亮度和对比度”后点击播放，视频每播放一帧画面就留下一个影迹，仿佛形成了一张动态的频闪照片。点击显示/隐藏轨迹按钮，界面中就会显示出红色的小球的运动轨迹。如图4（右）所示，点击显示/隐藏速度和加速度按钮，显示每个被追踪的位置及对应的速度和加速度矢量。点击某个矢量图标，窗口中会显示出该矢量的大小、水平和竖立分量值和方向等信息。

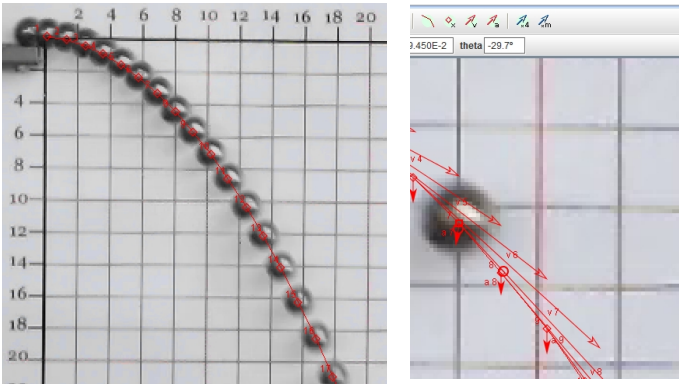


图 4 显示轨迹和速度等

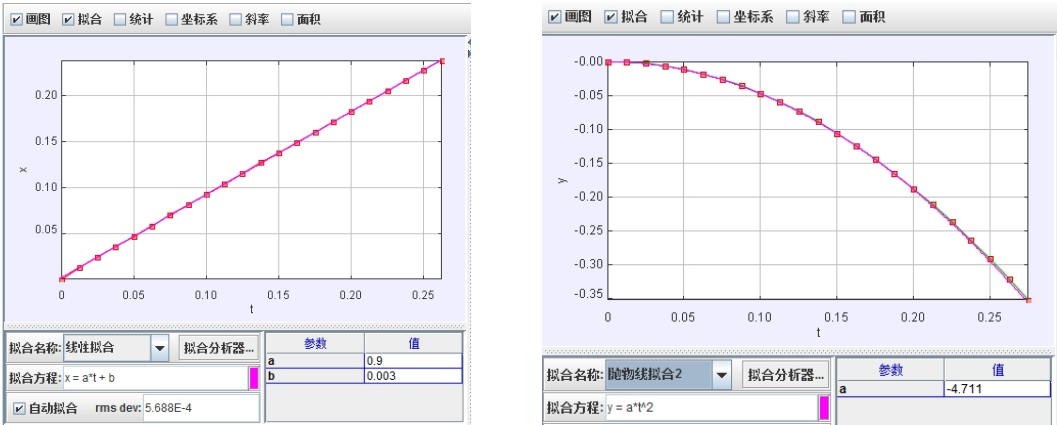


图 5 实验数据分析

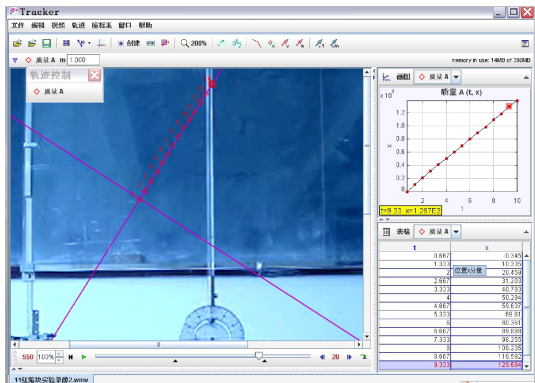
如图5所示，Tracker软件提供了常见函数的拟合功能，把鼠标移到窗口右侧的图表窗格中，点击右键，选择“分析”，即可进入数据分析页面。图5（左）为 $x-t$ 图像，拟合方程为 $x = 0.9t + 0.003$ ，说明水平方向上小球做匀速直线运动，且速度恒为

0.9m/s。图5（右）为 $y-t$ 图像，拟合方程为 $y = -4.711t^2$ ，说明竖直方向上小球做初速度为零的匀加速直线运动，加速度为 9.422m/s^2 ，近似等于重力加速度。

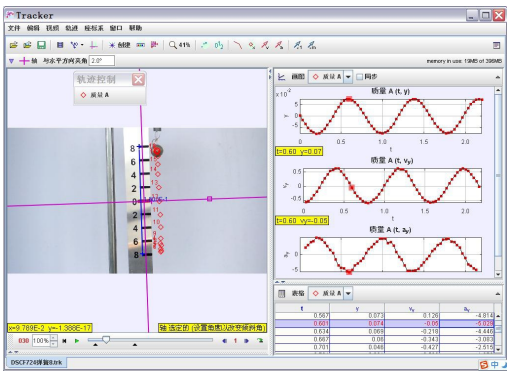
四、Tracker 软件在教学中的应用

（一）辅助演示实验教学

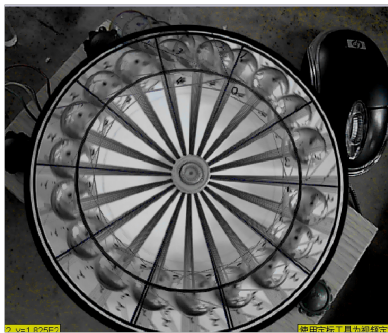
Tracker 软件可广泛应用于物理演示实验教学，尤其是涉及过程复杂、变化较快、需要定量分析的实验现象。如图 6 所示，在某些空间和时间的动态分析上，它比 DIS 数字化实验系统更为简捷和直观；比如演示运动的合成与分解（即红蜡块实验）、弹簧振子的运动、曲线运动的瞬时速度方向（如图 6（3）所示）、单摆和自由落体等。



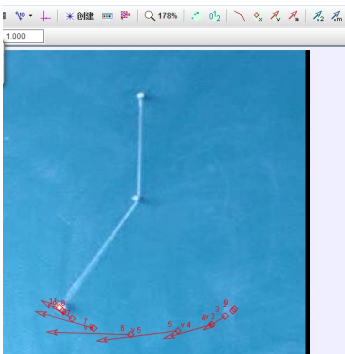
（1）运动的合成与分解



（2）竖直弹簧振子



（3）转盘突然停止时，小球沿切线方向运动



（4）单摆（复合摆）

图 6 应用 Tracker 分析实验视频

（二）辅助课外研究性学习

研究性学习具有开放性、探究性、实践性的特点，通过研究性学习，学生能主动地获取知识、应用知识并解决问题。Tracker 软件无须编程等复杂的操作，一般学生很容易掌握它的使用方法，可用来辅助学生的课外研究性学习，其教学价值不容小视。在生活和学习过程中学生会遇到或者创造出令他们好奇的现象，有时学生们虽然有强烈的探究欲望，却因无从下手而错失良机，Tracker 为他们提供了有力的研究学习工具。

1. 指导学生自己拍摄视频

拍摄视频要注意以下几点。在拍摄时要使用三脚架固定摄像机，尽量保证相机的镜头与被摄平面垂直，最好用长焦距拍摄，以减小由于视角误差和画面变形带来的空间长度测量误差。为提高分析精度，拍摄帧频尽可能高一些。拍摄过程中不能变焦和追拍，否则系统无法对视频进行定标，设置的参考长度就失去了意义。研究对象和背景要有明显的色差，以提高系统追踪定位的准确性。另外，光线要充足，否则会引起色彩失真，而且逐帧分析会有重影，影响追踪定位。

2. 收集和分析网络视频

视频可以自己拍摄，也可以从网络中下载，这有助于丰富物理教学资源。我们应该鼓励学生收集并分析喜闻乐见的蕴含丰富物理知识的视频。体育运动就是很好的素材库，比如何雯娜在2008年北京奥运会蹦床比赛夺冠时的视频(图7a)、刘翔在110m栏比赛中的加速情况、游泳运动员的速度变化、冰壶的二维碰撞、跳远运动员的抛物线轨迹等等。另外国防科技领域的火箭(图7b)、导弹和子弹的发射等也是令学生着迷的探究课题。

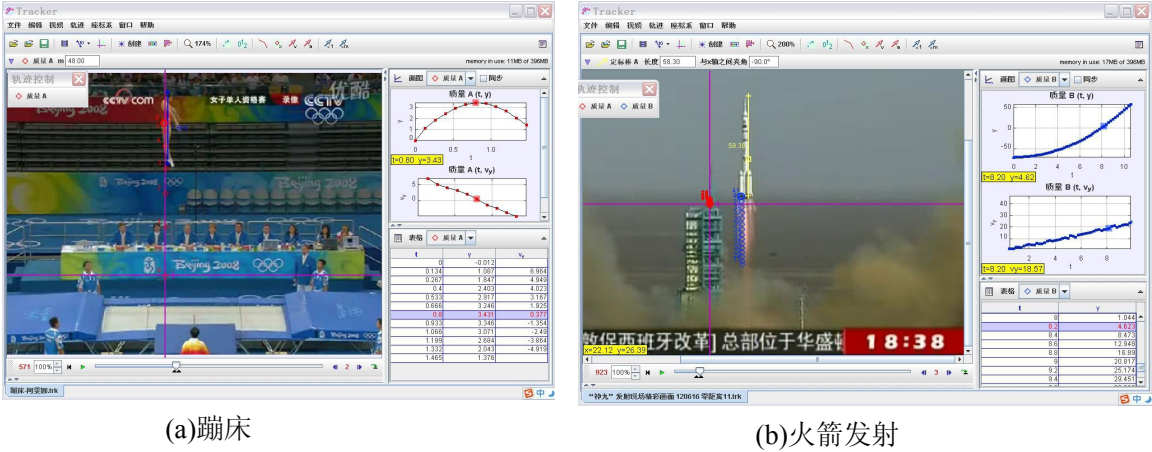


图 7 分析网络视频

3. 案例分析----- 探究蹦极运动

蹦极运动涉及运动与力、势能和动能的相互转化等物理现象，极具趣味性、方法性和知识性，常被改编为各种物理试题。可把一个 200 克的钩码挂在 8 根相连的普通橡皮筋下面来模拟蹦极运动，橡皮筋的另一端挂在门框上面。如图 8 所示，在门框边上用双面胶粘一把 40cm 的直尺作为长度标记，再粘上两个绿色的位置标记 a 和 b，分别表示橡皮筋的原长和钩码的受力平衡位置。

把钩码举高至图中a点以上，松手后钩码即开始“蹦极”。以钩码的平衡位置为原点建立坐标系。通过视频分析可知，钩码依次经历了自由落体、加速度减小的加速运动、加速度增大的减速运动……，其运动图像是一个以平衡位置b为对称点的阻尼运动。从图8中可以清楚地看到，钩码向下运动到a点时，并非立即减速，而是继续加速，到达平衡位置b点时速度达到最大值；B点以后弹力大于重力，钩码开始减速，直到最低点。上述形象、动态、定量的分析有利于学生全方面地分析蹦极运动，消除“物体遇到障碍物或阻力即减速”这一顽固的思维定势。

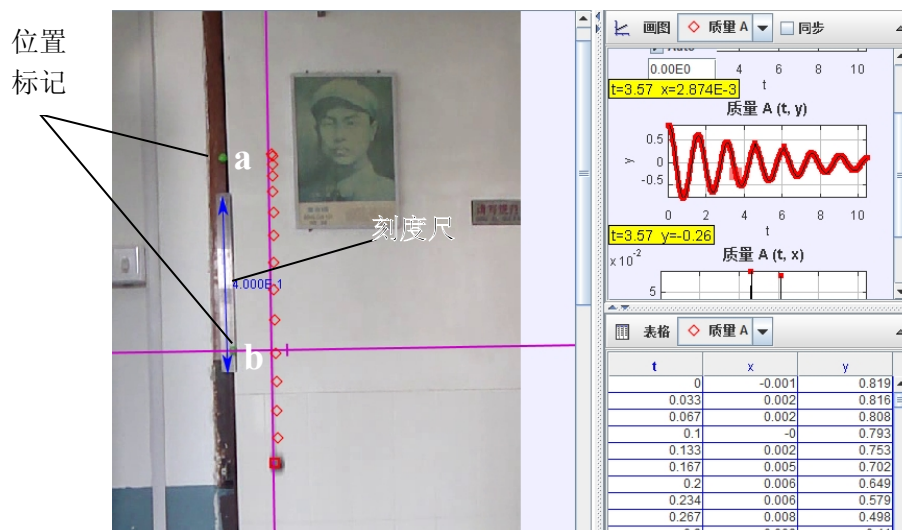


图 8 模拟蹦极运动

结束语

视频呈现了真实的物理现象，Tracker软件实现了现象呈现与数据分析的同步，从而揭示了其中的物理规律，两者相辅相成，突破教学难点。Tracker软件的运用极大丰富了中学物理教学资源，有利于教师开展课堂实验教学，也有助于学生在课外进行自主的科学探究，具有很高的推广价值。

参考文献:

- [1]余杰, 曾裕. 例谈视频在物理演示实验中的应用[J], 物理教学探讨, 2010, 28 (7) : 53-54.
- [2]丁晓彬, 董晨钟. 基于 2D 开源视频分析和建模软件--Tracker 研究抛体运动实验 [J], 大学物理, 2012, 31 (7), 34-36.
- [3]徐忠岳, 刘灵敏, 曾裕, 等. 自制简谐运动演示仪[J], 物理实验, 2012, 32 (11), 28-32.
- [4]吴志山. 让真实定量、定格—Tracker 软件在物理教学中应用[J], 物理教师, 2012, 23 (7), 53-54.