

# 自由落体运动实验的“原味”教学研究

吴迪青

(余姚市第四中学 浙江 宁波 315400)

(收稿日期:2017-04-06)

**摘要:**巧妙的累积滴水计时法,让殿堂级大师实验重现,逐差处理与 Excel 的完美结合,还原实验最为原味的数据处理,让学生体验探究科学实验的乐趣,回归物理教学的本质.

**关键词:**叠加累积 幂函数  $\Delta$ 级数 逐差 拟合

伽利略利用斜面实验研究自由落体运动规律是中学物理中最经典的实验之一,人教版高中《物理·必修1》第二章第六节用一节课的篇幅介绍这个实验研究,足见其重要性.中学物理教师在还原实验时由于现代仪器的介入,失去了实验的原味,对学生科学思想的教育是不利的,急功近利的教师一带而过,甚至可以用两句话解决应试教育,有悖于物理教育的本质精神,而还原实验原味又会碰到计时困难,实验误差过大,掩盖实验的本质规律等问题,教学过程中如何克服这些问题呢?

## 1 累积滴水计时 还实验本色

“后人在用伽利略的器材重复他的实验时发现,铜球沿斜面滚下,如果斜面的倾角超过 $5^\circ$ 就很难确切计时”<sup>[1]</sup>,这是人教版高中《物理·必修1》中第48页的原话,那么是不是真的在倾角大于 $5^\circ$ 时不能做这个实验呢?

### 1.1 斜面的改进

实验中的斜面采用如图1所示的铝合金轨道,

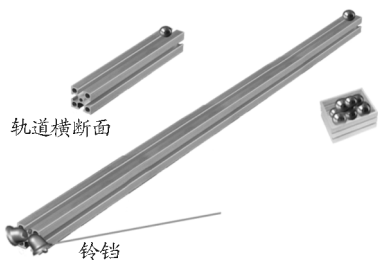


图1 斜面轨道图

此型材硬度足够,四面有轨道槽,小球从一个轨道槽滑下,保证小球做直线运动,斜面长2 m(按伽利略留下的手稿数据可知当时做实验的斜面长近2 m),末端系上铃铛,小球滚到斜面末端碰到铃铛能发出声音,操作小球的学生听到此声音信号马上释放第二个小球.

### 1.2 滴水计时器的改进

用医用输液器计时,滴水速度可以控制,如图2所示,滴水速度调节到每秒4~6滴,比较容易数水滴数量.

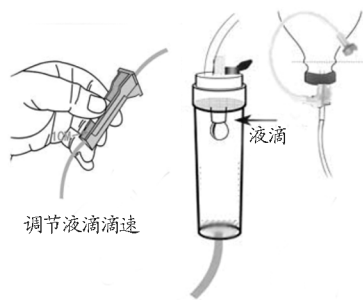


图2 医用输液器

### 1.3 计时方法的改进

叠加累积计时法:小球1从斜面固定处释放,待滚到斜面底端碰到铃铛发出声音立刻释放第2个小球,以此类推共释放小球 $n$ 个,累计记录水滴数,那么小球在斜面上一次运动需要的时间为记录水滴总数除以 $n$ .此计时方法只要训练几次即可熟练操作.

### 1.4 一组实验数据

实验所测数据如表1所示.

表1 倾斜角接近30°下的实验数据

斜面长度 $x/m$	2.00	1.80	1.50	1.30	1.00
第一次滴数(10个)/滴	45	42	38	36	31
第二次滴数(10个)/滴	48	43	37	36	33
第三次滴数(10个)/滴	46	42	40	35	33
滴数 $n(1个)/滴$	4.63	4.23	3.83	3.57	3.23
$n^2/滴^2$	21.44	17.89	14.67	12.75	10.43

用 Excel 作出  $x - n^2$  的关系图,如图 3 所示.

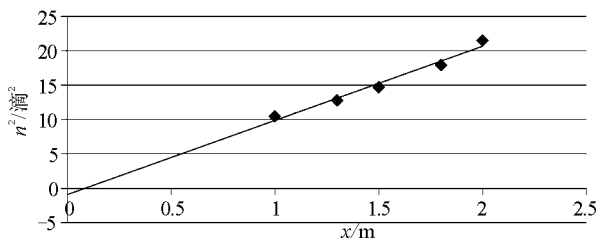


图3  $x - n^2$  图像

结论: $x \propto n^2$  即  $x \propto t^2$ , 实验结果与预期符合得比较好.

## 2 现代仪器 最原始的数据处理 还实验“原味”

打点计时器重锤法研究自由落体运动规律的处理方法很多,但是如果真要还原伽利略的实验,直接测  $x - t$  的关系还是比较难的,主要是无法保证重锤开始下落的瞬间打点计时器正好在纸带上打一个点,那么这个误差究竟有多大呢?

### 2.1 打第一个点的误差分析

做一个理想化的推算, $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ , 由于释放重物时不是恰好打的第一点,所以第一个点和第二个打点的时间小于  $0.02 \text{ s}$ , 如果取第一个时间间隔为  $0.018 \text{ s}$  (这样的纸带已经是难能可贵的了), 那么按标准公式  $x = \frac{1}{2}gt^2$  计算得到的数据如表 2 所示.

表2 打第一个点的误差分析

$t/s$	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14
$x/cm$	0.162	0.722	1.682	3.042	4.802	6.962	9.522
$t^2/(\times 10^{-4} \text{ s}^2)$	4	16	36	64	100	144	196

作  $x - t^2$  图如图 4 所示. 显然,画出的图中有截距  $0.0625$ , 即  $x - t^2$  不成正比, 占第一与第二点距离比为  $\frac{0.0625}{0.162} = 38.6\%$ , 这个误差实际对研究自由落体运动规律的影响是不小的, 所以, 要严格挑选纸带就是这个道理或采用其他方法.

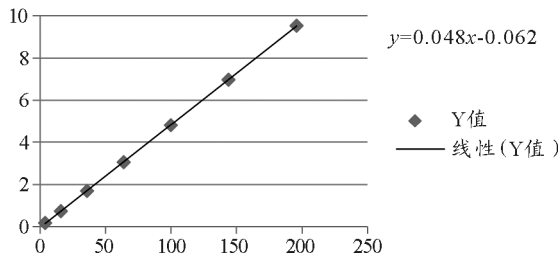


图4  $x - t^2$  图

### 2.2 实验数据处理方法的改进

如何克服第一和第二个点之间的误差, 同时也可以找到  $x$  与  $t$  的关系呢? 首先来看看幂函数次数的判别依据.

#### (1) 幂函数次数判别依据

设幂函数  $y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3$ , 自变量  $x$  等间距变化, 那么有

$$y + \Delta y = A + B(x + \Delta x) + C(x + \Delta x)^2 + D(x + \Delta x)^3$$

最后运算得

$$\Delta y = (B\Delta x + C\Delta x^2 + D\Delta x^3) + (2C\Delta x + 3D\Delta x^2)x + 3D\Delta x x^2$$

因为  $\Delta x$  是常数, 所以上式可以写成

$$\Delta y = A_1 + B_1x + C_1 x^2$$

式中  $A_1, B_1, C_1$  为新常数, 同理可得 2 级和 3 级  $\Delta$  值

$$\Delta^2 y = A_2 + B_2x \quad \Delta^3 y = A_3$$

由此可见, 若  $\Delta x$  为常数, 幂函数的次数为 3 时, 3 级  $\Delta^3 y$  为一常数, 那么, 反过来, 如果 3 级  $\Delta^3 y$  为一常数, 这组数据可用 3 次幂函数来表达, 一般结论: 如果一组数据的  $n$  级  $\Delta^n y$  是一个常数, 那么这组数据可以用一个  $n$  次的幂函数来表达<sup>[2]</sup>.

有了幂函数次数判别依据, 为提高数据处理精度采用逐差法.

#### (2) 逐差法判别幂函数次数

这是打点计时器重锤法研究自由落体运动规律的一组数据, 如表 3 所示.

表3 打点计时器重锤法实验数据

$t/s$	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14
$x/cm$	0	0.80	2.10	3.70	5.80	8.10	11.00	14.20
$t/s$	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	
$x/cm$	17.70	21.70	26.10	30.80	35.90	41.40	47.40	

(下转第 90 页)

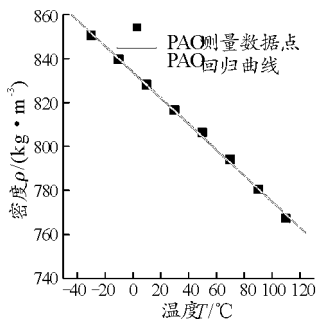


图4 PAO的测量数据及回归曲线

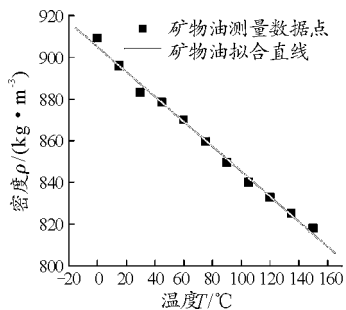


图5 矿物油的测量数据及回归曲线

### 3 结论

(1) 润滑油的密度随着温度的升高而降低,且密度降低的幅度与温度升高的幅度近似线性相关.

(2) 在相同温度下,酯类油的密度大于矿物油和PAO,矿物油的密度大于PAO.

(3) 建立的3种润滑油的密度-温度方程能够很好地与实验数据吻合,可以用来计算不同温度下润滑油的密度.

### 参考文献

- 1 崔金磊,杨萍,刘晓玲,等.由润滑油密度求黏度的新黏压关系式探讨.摩擦学学报,2016(01):13~19
- 2 陈文艺,邹恺,王秀文,等.几种加氢润滑油基础油性质和组成的研究.石油炼制与化工,2014,45(10):87~91
- 3 李萌,张华,娄江峰.纳米二硫化钼对冷冻机油密度和黏度的影响.化工进展,2014,33(6):1425~1428
- 4 宋昌盛,徐磊,唐亚丹,等.黏度对润滑油密度测定准确性的影响.润滑油,2016,31(3):39~41
- 5 文祺然.润滑油密度的测定方法.合成润滑材料,2014,41(2):28~29

(上接第87页)

数据  $x$  分前后两组,逐差,即  $x_8 - x_1, x_9 - x_2, \dots$  以此类推到  $x_{14} - x_7$  得到1级  $\Delta x$ ,然后再相邻数据相减,得到2级  $\Delta^2 x$ ,如图5所示.

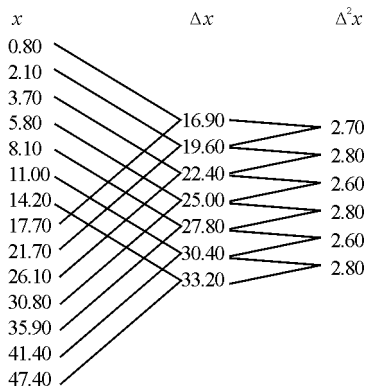


图5 数据逐差图

可以看到2级  $\Delta^2 x$  是一个常数,2.60和2.80的误差,是出现在读数误差级上的差别,符合得很好,所以这组实验数据是2次幂函数,由于  $t=0$  时,  $x=0$ ,所以  $A=0$  可以写成  $x=Bt+Ct^2$ ,把上面数据代入其中即可求得  $B$  和  $C$ ,我们这里用Excel作  $x-t$  图来处理数据,如图6所示.

可以看到,Excel按数据自动计算拟合出来的2次函数与实际  $x = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t$  符合得相当好,从中

可以看到  $g = 9.72 \text{ m/s}^2$ .

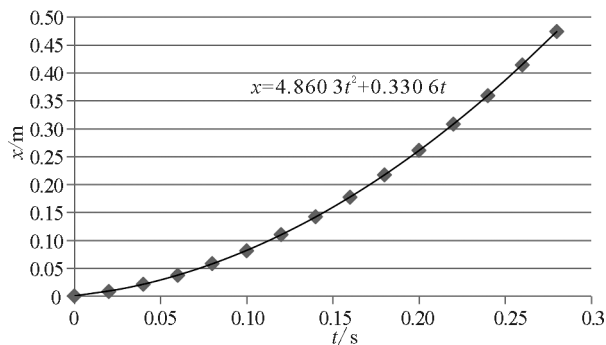


图6  $x-t$  图

现今,中学物理中研究自由落体运动规律的实验方法很多,如利用  $\Delta x = aT^2$  等,但是很多方法都是在知道规律的情况下开展的,属于验证性的实验研究,真正不知道任何规律的情况下的探究首推上面这种处理方法,虽原始,但恰恰是探究规律的基本方法,也许这正是我们应该教给学生的东西.

### 参考文献

- 1 课程研发中心.普通高中课程标准实验教科书·物理·必修1.北京:人民教育出版社,2006.48
- 2 杨介信,张大同.中学物理实验大全.上海:上海教育出版社,1995.12