

## 用数码照相法研究落球法测量液体的粘滞系数实验

贺梅英<sup>1</sup> 黄小棣<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 宁波工程学院理学院, 浙江 宁波 315016)

(<sup>2</sup> 浙江省医药高等专科学校, 浙江 宁波 315100)

(收稿日期: 2010-01-12; 修回日期: 2010-10-08)

**摘要** 本文用数码照相法研究落球法测量液体的粘滞系数实验, 用截图软件对照片进行下落距离的测量. 分析了数码相机作为时间测量仪器的使用, 以及实验结果所能达到的测量精度.

**关键词** 数码照相; 液体的粘滞系数; 测量精度

## RESEARCH ON EXPERIMENT OF FALLING BALL METHOD TO MEASURE THE LIQUID VISCOSITY COEFFICIENTS WITH A DIGITAL CAMERA

He Meiyong<sup>1</sup> Huang Xiaodi<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Ningbo University of Technology, Ningbo, Zhejiang 315016)

(<sup>2</sup> Zhejiang Pharmaceutical College, Ningbo, Zhejiang 315100)

**Abstract** In this paper, we presented our research on experiment of falling ball method to measure the liquid viscosity coefficients with a digit camera. Measurement of the falling distance was based on the photographs captured by the screenshot software. We analyzed achievable measurement accuracy of the experiment results, when the digital camera was used as a time measurement instruments.

**Key Words** digital photo; liquid viscosity coefficients; measurement accuracy

测量液体的粘滞系数在工业和医疗上有着广泛的应用, 落球法测量液体的粘滞系数实验是理工科学生掌握基本物理量的测量、基本实验操作方法和基本实验数据处理的一个经典实验. 用数码照相法研究落球法测量液体的粘滞系数实验, 将现代技术手段运用于经典实验中, 可使小球下落过程以图片的方式反复再现, 可以更细致、从容地观察研究物理现象及其规律.

### 1 实验仪器

Canon DIGITAL IXUS 850 IS 数码相机, 连

拍参数: 1.7 张/s; VM-2 落球法粘滞系数测量仪; 电子计算机; 螺旋测微计; 钢卷尺.

### 2 实验原理<sup>[1]</sup>

若小球在无限广延的液体中下落, 受到的粘滞力为  $f$ , 重力为  $\rho Vg$ , 这里  $V$  为小球的体积,  $\rho$  与  $\rho_0$  分别为小球和液体的密度,  $g$  为重力加速度. 小球开始下降时速度较小, 相应的粘滞力也较小, 小球做加速运动. 随着速度的增加, 粘滞力也增加, 最后球的重力、浮力及粘滞力三力达到平衡, 小球做匀速运动, 此时的速度称为收尾速度. 即为

$$\rho Vg - \rho_0 Vg - 6\pi \eta r v = 0 \quad (1)$$

小球的体积为

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi d^3 \quad (2)$$

把式(4)代入式(3), 得

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18v} \quad (3)$$

式中,  $v$  为小球的收尾速度;  $d$  为小球的直径。

由于式(1)只适合无限广延的液体, 在本实验中, 小球是在直径为  $D$  的装有液体的圆柱形量筒内运动, 不是无限广延的液体, 考虑管壁对小球的影响, 式(3)应修正为

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18v_0 \left(1 + K \frac{d}{D}\right)} \quad (4)$$

式中,  $v_0$  为实验条件下的收尾速度;  $D$  为量筒的内直径;  $K$  为修正系数, 一般取 2.4. 收尾速度  $v_0$  可以通过测量玻璃量筒外两个标号线  $A$  和  $B$  的距离  $S$  和小球经过  $S$  距离的时间得到, 即  $v_0 = \frac{S}{t}$ .

表 1 从照片中读取小钢球下落的位置

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$s'/\text{cm}$	42.51	44.19	45.80	47.43	49.09	50.71	52.39	54.08	55.73	57.40
$\Delta s'/\text{cm}$	1.68	1.61	1.63	1.67	1.62	1.68	1.69	1.65	1.67	1.69
$n$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$s'/\text{cm}$	59.09	60.76	62.44	64.12	65.80	67.49	69.19	70.85	72.59	74.23
$\Delta s'/\text{cm}$	1.67	1.68	1.68	1.68	1.69	1.70	1.66	1.74	1.64	

注: 油温  $T=29^\circ\text{C}$ , 钢球直径  $d=2.000\text{mm}$ , 量筒直径  $D=62.26\text{cm}$

经格罗布斯判据检验, 以上数据均为合理数据。

#### 4 测量举例

##### 4.1 蓖麻油粘滞系数的测量

从  $\Delta s$  数据中可以判断小钢珠做匀速直线运动, 下落的距离  $s=31.72\text{cm}$ , 时间  $t=11.21\text{s}$ . 另知小钢珠密度为  $\rho=7.8\times 10^3\text{kg/m}^3$ , 蓖麻油密度为  $\rho_0=0.955\times 10^3\text{kg/m}^3$ , 宁波地区重力加速度为  $g=9.794\text{N/kg}$ , 代入公式(4)得:  $\eta=0.49\text{Pa}\cdot\text{s}$ . 经查资料蓖麻油在  $30.0^\circ\text{C}$  时,  $\eta=0.45\text{Pa}\cdot\text{s}$ ;  $25.0^\circ\text{C}$  时  $\eta=0.62\text{Pa}\cdot\text{s}$ . 计算值在  $29.0^\circ\text{C}$  时,  $\eta=0.49\text{Pa}\cdot\text{s}$ , 此值在实验误差范围内可信。

##### 4.2 不确定度分析

此方法在时间测量和下落距离的测量上大大减少了人为因素方面的误差, 也可判别钢球下落

#### 3 实验方法

用与电脑连接的数码相机的连拍功能, 将卷尺固定在量筒边, 对调整到测量状态的 VM-2 落球法粘滞系数测量仪投放小钢球进行连拍, 如图 1、图 2 为相邻的二张照片的截取图, 量筒里的小钢球用小椭圆标出, 用截图软件进行图像分析, 读取照片中小钢球纵向坐标, 计算出小钢球在相同时间下落的距离, 将数据记录在表 1 中。

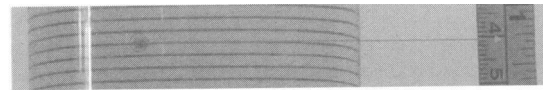


图 1

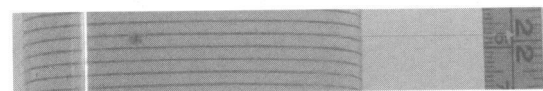


图 2

匀速运动的区间. 用相机作为测量工具与传统的测量仪器比较唯有时间是作为等间隔进行测量的这一变化. 此方法获得测量结果的相对不确定度的具体分析如下: 相机连拍参数是 1.7 张/s, 时间为 0.59s. 受对焦和存储的影响, 连拍参数可能会略有影响, 若是 1.8 张/s, 时间是 0.56s, 若是 1.6 张/s, 时间是 0.63s. 由此判断相机的时间误差是 0.1s. 实验时间  $t$  的测量值约为 11.00s, 下落距离  $s$  约为 30.00cm, 卷尺的仪器误差为 0.12cm, 小钢珠直径为 0.2000cm, 螺旋测微计的仪器误差为 0.0004cm.

$$\text{由公式 } \eta = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2 t}{18s \left(1 + k \frac{d}{D}\right)}, \text{ 仅按 } \Delta t, \Delta s, \Delta d \text{ 的}$$

(下转第 30 页)

那敏锐的科学洞察力、锲而不舍的探索精神、勇于修正错误和实事求是的工作作风,却永远留在了人们的心中,成了人们效法的光辉典范.特别值得一提的是,爱丁顿曾于1920年,在英国学术协会讲演中,讲述了蒂达洛斯(Daedalus)和伊卡洛斯(Icarus)的故事<sup>[1](p.154)</sup>,以此告诫人们,吃一堑,长一智,失败乃是成功之母.因为在他看来,不怕遭受挫折,勇于承认和修正错误,不断地求真务实,是走向科学成功之路的关键所在.这个故事的大意是,古希腊神话中有两位勇士蒂达洛斯和伊卡洛斯,他们各自给自己装上了翅膀,前者成功地飞越了海洋;后者却向太阳飞去,结果固着翅膀的蜡被太阳烤化,落回地上.人们对成功者赞赏倍至,但爱丁顿认为失败者更值得钦佩.

爱丁顿就是具有向太阳勇敢飞去的伟大精神,毫不畏惧地对世界科学之谜进行挑战.因为正如前文所述,凡是他所涉猎的系列科研课题,均属于他所处时代的前沿领域.因此,爱丁顿所构建的科学理论中出现的含糊之处,总是难免的.问题的关键之处正如他所说:“我认为,自己的理论在经受住一次更严格的观测检验后,应用数学家不应为此满足,而应感到失望——‘又一次受挫!这次我本希望发现有不一致的地方,它能指出我的模型在什么地方还可以得到改正’.”<sup>[1](p.152)</sup>

纵观爱丁顿的一生,其著作颇丰,除如上所述的之外,其他最重要的还有:《物理世界的本性》(1928)、《科学和未知世界》(1929)、《膨胀的宇宙》

(1933)、《科学的新途径》(1935)、《质子和电子的相对论理论》(1936)、《物理科学的哲学》(1939)等<sup>[5](p.5)</sup>.正是由于爱丁顿在天文学和物理学两个领域中都取得了显赫的成果,所以他一生获得过许多荣誉,曾担任过许多重要职务.1914年他被选为英国皇家学会会员;1921—1923年担任英国皇家天文学会会长;1930年被封为爵士;1930—1932年担任英国物理学会会长;1932年被推选为数学协会会长;1938—1944年担任国际天文学联合会主席.

今天,我们在缅怀爱丁顿的丰功伟绩的同时,更要发扬光大他勇敢飞向太阳的大无畏精神.为振兴我国的科学技术、实现可持续发展和构建和谐社会的努力拼搏进取,无私地奉献出自己的一切.

#### 参 考 文 献

- [1] [美] S. 钱德拉塞卡, 莎士比亚、牛顿和贝多芬——不同的创造模式[M]. 杨建邺, 王晓明等译. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1996
- [2] A. Wihert Douglas. The Life of Arthur Stanley Eddington (London: Thomas Nelson & Sons, 1957)
- [3] 申先甲, 张锡鑫等. 物理学简编[M]. 济南: 山东教育出版社, 1985
- [4] 刘筱莉, 仲扣庄等. 物理学史[M]. 南京: 南京师范大学出版社, 2007
- [5] 物理学编辑委员会. 中国大百科全书(物理学I)[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1987

(上接第19页)

不确定度估算<sup>[2]</sup>, 有

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta s}{s} + 2 \frac{\Delta d}{d}$$

由此得到  $\frac{\Delta t}{t} = 1\%$ ,  $\frac{\Delta s}{s} = 0.4\%$ ,  $2 \frac{\Delta d}{d} = 0.4\%$ ,  $\frac{\Delta\eta}{\eta} = 1.8\%$ .

所以用连拍参数为1.7张/s的相机进行实验可以达到1.8%的测量精度, 作为学生实验可以接受. 若要提高实验精度应选择连拍参数大于1.7张/s的相机.

#### 5 结语

实验方法不拘一格, 将现代技术手段运用于用数码照相法研究落球法测量蓖麻油的粘滞系数实验, 引导学生将所学知识横向联系应用, 能大大激发学生的学习兴趣. 亦可作为设计性实验引入实验教学中.

#### 参 考 文 献

- [1] VM-2 落球法粘滞系数测定仪使用说明.
- [2] 吴泳华, 霍剑青, 浦其荣. 大学物理实验 第一册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005. 40