

# 浙 江 大 学

## 物 理 实 验 报 告

实验名称：抛体运动的照相法研究

指导教师：吴嘉昕

信 箱 号：

专 业：电子科学与技术

班 级：电科2102

姓 名：湛梓轩

学 号：3210105209

实验日期：11月7日 星期一上/下午午

## 【实验目的】

1. 掌握多次曝光法的拍摄技术
2. 掌握照相机的使用和照片的冲印技术
3. 学会使用表差法处理实验数据

## 【实验原理】（电学、光学画出原理图）

### 1. 多次曝光法拍摄物体运动轨迹

在同一张底片上，按一定时间间隔连续对运动物体多次曝光，可得到物体运动轨迹的一连串中间的瞬时影像。曝光方法：①运动物体在黑暗背景，打开快门，以一系列等时间间隔多次闪光进行拍摄；②让运动物体在灯光照明下，用等时间快门进行拍摄。

### 2. 抛体运动方程

物理量之间为非线性函数关系时的相互关系式的求解方法不相同。 $y$ 与 $t$ :  $y = C_0 + V_0 t + \frac{a_0}{2} t^2 + \dots + \frac{m_0}{n!} t^n$ ，求出 $C_0, V_0, a_0, \dots$ ，则得方程式

(1) 求 $C_0$ : 作 $y-t$ 图，当 $t=0$ 时， $y_0 = C_0$

(2) 求 $V_0$ :  $y' = V_0 + a_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2 + \dots + \frac{m_0}{(n-1)!} t^{n-1}$ ，作 $y'-t$ 图， $t=0$ ， $y'_0 = V_0$

(3) 求 $a_0$ :  $y'' = a_0 + b_0 t + \dots + \frac{m_0}{(n-2)!} t^{n-2}$ ，作 $y''-t$ 图， $t=0$ ， $y''_0 = a_0$

每求一次等，可求一个系数。若 $t$ 的 $n$ 阶导数为常数，则运动方程式必为 $n$ 次多项式。

本实验中，因相邻两数据间的时间间隔 $\Delta t$ 是很小的数， $\Delta t \rightarrow 0$ ，则 $\frac{\Delta y}{\Delta t} = y'$ ， $\frac{\Delta}{\Delta t}(\frac{\Delta y}{\Delta t}) = y''$

### 3. 表差法处理数据方法

表差法是对表格数据中相邻两行数据不断做差，再对差值进行做差求值，直到 $n$ 次差值相等，得到一个 $n$ 次多项式。优点：数据利用充分，能求得公式；缺点：易受单一数据影响，比较繁琐。

$T = \frac{1}{24} s$ ， $V_{n+\frac{1}{2}} = \frac{y_{n+1} - y_n}{\Delta t} = y_{n+1} - y_n$ ， $\Delta t = 1 T$ ，作 $V-t$ 图。由图可得：当 $t=0$ 时，可以求得 $y'_0 = V_0$ ，如果差值均相等（近似），则物体作匀速运动。

若差值不相等，则对表中相邻两数值再求差值，其差值为加速度： $a_n = \frac{V_{n+\frac{1}{2}} - V_{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} = V_{n+\frac{1}{2}} - V_{n-\frac{1}{2}}$ 。由 $y''-t$ 图可得：当 $t=0$ 时， $y''_0 = a_0$ ，若差值均相等，则物体作匀加速运动。

若 $a-t$ 曲线为非水平，则应继续进行以上步骤，求差值至 $n$ 次表差值相等。

如果 $n$ 次差值仍不相等，则运动方程不是 $n$ 次多项式。



## 【实验内容】（重点说明）

1. 用频闪照相法拍摄物体运动轨迹

2. 将拍摄的底片在暗室中进行冲印放大

### ① 负片冲洗

先测量显影液温度，一般室温下即可。注入药水（均匀）。从注入药水开始计时。倒完后马上拿到瓶子来不断摇动，使药水充分接触胶片。每隔1min搅动10s左右，直至显影结束。一般室温下显影时为8min左右。显影后立即将显影液倒出，将清水注入，不断摇晃1min，再将清水倒去。将定影液倒入，连续搅动，一般定影时间为10min。最后将胶片浸在清水中，约10min后取出，风干即可。

### ② 放大与曝光

1. 底片放置：按底片规格，选择合适底片夹，底片片面对好底片夹的窗口，再夹在底片夹里。

2. 调节焦距：把放大机尺板放在底板上，打开放大机开关，把底片投影在放大机尺板上，打开放大镜光圈，转动对焦旋钮，调整到清晰位置。

3. 放大倍率的调节：调整放大尺尺寸，只需按住放大影像升降压片，轻推机身，并调节到所需的放大尺寸。变更放大倍率后，要再调节焦距。

4. 曝光：把放大镜光圈调至合适位置（F/8）；当光片转到中间挡光，把放大相纸的乳剂面向上夹在放大机尺板里；关闭光源，将挡光片转开；开启光源，开始曝光，5-8秒。

③ 相纸冲洗：先放入显影液显影；用水洗后放入定影液5min；用水冲洗后晾干

### 3. 表差法处理实验数据

## 【实验器材及注意事项】

### 实验器材：

1. 照相机

2. 频闪摄影仪：由频闪仪主机和框架组成

3. 放大机：① 成像部分：物镜、底片、放大纸

② 聚光部分：强光源与聚光灯

### 注意事项：

1. 显影、定影的时间把控好

2. 搅动、晃动要充分



【数据处理与结果】  $T = \frac{1}{24} s$

$t/T$	位置 $x/cm$	$V_{n+1/2} = x_{n+1} - x_n$	位置 $y/cm$	$V_{n+1/2} = y_{n+1} - y_n$	$a_n = V_{n+1/2} - V_{n-1/2}$
0	$x_0 = 0.2$	$V_{0.5} = 7.0$	$y_0 = 54.0$	$V_{0.5} = 3.5$	$a_1 = -2.0$
1	$x_1 = 7.2$	$V_{1.5} = 6.3$	$y_1 = 51.5$	$V_{1.5} = 1.5$	$a_2 = -1.3$
2	$x_2 = 13.5$	$V_{2.5} = 6.0$	$y_2 = 59.0$	$V_{2.5} = 0.2$	$a_3 = -1.9$
3	$x_3 = 19.5$	$V_{3.5} = 6.5$	$y_3 = 59.2$	$V_{3.5} = -1.7$	$a_4 = -1.8$
4	$x_4 = 26.0$	$V_{4.5} = 6.0$	$y_4 = 57.5$	$V_{4.5} = -3.5$	$a_5 = -2.2$
5	$x_5 = 32.0$	$V_{5.5} = 6.8$	$y_5 = 54.0$	$V_{5.5} = -5.7$	$a_6 = -1.8$
6	$x_6 = 38.8$	$V_{6.5} = 6.7$	$y_6 = 48.3$	$V_{6.5} = -7.5$	$a_7 = -2.2$
7	$x_7 = 45.5$	$V_{7.5} = 7.5$	$y_7 = 40.8$	$V_{7.5} = -9.8$	$a_8 = -2.2$
8	$x_8 = 53.0$	$V_{8.5} = 6.5$	$y_8 = 31.0$	$V_{8.5} = -12.0$	$a_9 = -2.0$
9	$x_9 = 59.5$	$V_{9.5} = 7.5$	$y_9 = 19.0$	$V_{9.5} = -14.0$	$\bar{a} = -1.9$
10	$x_{10} = 67.0$		$y_{10} = 5.0$		

(1) 制作水平方向运动的  $x-t$  图、 $V_x-t$  图 见附页

(2) 制作垂直方向运动的  $y-t$  图、 $V_y-t$  图、 $a_y-t$  图 见附页

(3) 由制图知：此时  $t$  的单位取回  $s$

$$x = (1.6t + 0.2 \times 10^{-2}) m,$$

$$y = -5.05t^2 + 1.2t + 53.51 \times 10^{-2} m$$

(4) 由平均值得出的  $g_1 = \frac{10\bar{a}}{T^2} = 1094 cm/s^2$

$$\text{误差 } E_1 = \frac{19_1 - 9_0}{g_0} = 11.7\%$$

由制图得出的  $g_2 = 952 cm/s^2$  误差  $E_2 = \frac{19_2 - 9_1}{g_1} = 2.8\%$

$$U_a = \sqrt{\frac{1}{9(9-1)} \sum_{i=1}^9 (a_i - \bar{a})^2} = 0.0825 cm/T^2$$

$$\therefore g_1 = (1.9 \pm 0.0825) cm/T^2 = (1094 \pm 47.52) cm/s^2$$

$$g_2 = (1.65 \pm 0.0825) cm/T^2 = (952 \pm 47.52) cm/s^2$$



## 【误差分析】

1. 很明显,在求取重力加速度 $g$ 时,通过平均值和通过制图法得到的值有着很大的区别, $\delta = |g_1 - g_2| = 142 \text{ cm/s}^2$ ,这是一个很大的差距。由绘制的图,我们可以看出 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_6$ 点明显地偏离了拟合的曲线(直线),所以这应是在读数或拍照的时候,这几个点的数值出现了较大的偏差,在实际求解中应当被作为误差大的点舍去。此时体现出了最小二乘法拟合的优势,可以帮助去除误差大的点。
2. 在求水平方向上物体速度时,可以看出 $V_x$ 是呈增大的趋势,虽然加速度不大,只有 $0.09 \text{ cm/s}^2$ ,但根据实际情况, $V_x$ 应是减小的,所以同垂直方向一样,应是存在几个误差较大的点,根据图像,误差大的点应是 $V_{0.5}$ 、 $V_{4.5}$ 、 $V_{7.5}$ 。
3. 在读数时,我反复确认,读数误差只在小范围内,所以在此误差分析中,可以判断并指出,在照相时在拍照时,由于某种原因,出现了误差大的点。

## 【实验心得及思考题】

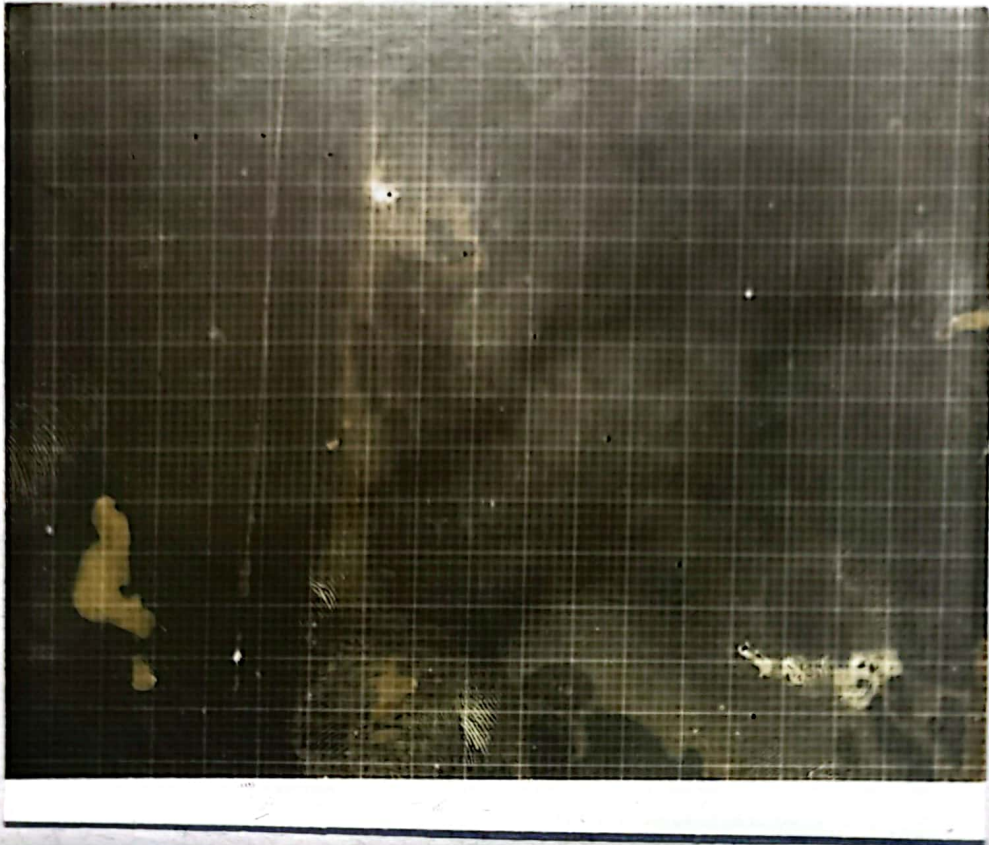
思考题:

1. 表差法是将表格数据中的相邻项不断地做差运算,直至数据近似相等为止其在数学上可近似视为求导运算,故此法也要求相邻时间间隔较小。逐差法是将时间间隔相等的数相减后求其平均值,可以排除较大的误差,发现数据分布规律,但不能得到 $n$ 次多项式。
2. ① 采用频率较高的频闪相机  
② 用体积小的球  
③ 调整角度及初速度;减小空阻  
④ 缩短球与网格的距离

心得体会:

本实验中,没有亲身体会频闪照相的过程,但自己冲洗了照片,获得了新的技能,同时,认识了表差法这一全新的实验数据处理方法,可以说是收获颇丰。对实验误差的分析的认识也进一步加深。

## 【数据记录及草表】



建系所得数据列于数据分析处  
在读数过程中,由于用力按压,部分地方留下了印子

教师签字: 吴嘉昕