

# 油滴法测基本电荷研究

**项目名称：**油滴法测基本电荷研究

**项目房间：**DS1321

**建设教师：**杨东侠

**需增加的仪器与器材：**

信号转换器（CVBS 转 VGA/HDMI）、视频采集卡（dhmi、USB 信号）

视频处理软件：obs, potpslyer, handbrake, tracker, matlab、Python、origin 等

**研究内容：**

1. 实验方法：平衡法，动态法测量，比较测量的结果；
  2. 测基本电荷：作图法、分组法、最小二乘法、平均值最小整数法等处理数据（至少 2 种方法），比较实验结果并分析；
  3. 视频处理法测电荷
    - （1）设计方案，采用采集卡导出油滴运动视频，利用软件录制；
    - （2）利用钢尺（0.5mm）拍照，画图工具定标，或 MATLAB、Python 图像处理法定标；
    - （3）利用 tracker 软件分析油滴运动轨迹，或 MATLAB、Python 图像处理法，计算油滴下落速度和电荷  $Q$ ；
    - （4）利用 tracker 视频分析或 MATLAB、Python 图像处理，分析水平方向的运动情况，研究电极板未调水平的误差影响；
  4. 布朗运动，误差分析
    - （5）利用 tracker 视频分析或 MATLAB、Python 图像处理，分析油滴运动，研究布朗运动；
    - （6）分析不同方法测量油滴电荷量的误差。
  5. 实验讲课/视频/动画/软件仿真（MATLAB、Python、unity 等）
    - （1）实验仿真（最简单情况：可喷油滴，调节电压参数，调节显微镜焦距，得到显示器上油滴运动动画）；
    - （2）油滴实验过程演示动画
    - （3）拍摄实验操作视频
    - （4）讲课
  6. 用落球法测液体粘滞系数

设计实验方案，结合 CCD 成像系统捕捉油滴状态和视频采集卡对油滴运动过程的视频拍摄，利用 tracker 软件对视频进行分析，测量油滴半径及油滴运动过程中相关物理量，将数据代入公式计算气体粘滞系数。

参考文献：杨厚发,沈云才,陈壮壮,等.利用密立根油滴实验仪测定空气粘滞系数[J].大学物理实验,2023,36(01):12-14.
- 任务要求：**
- 研究内容中 1-3 必做；
- 研究内容中 4-6 选做 1 个，尽量有深度和创新；

## 补充资料一 数据处理方法

### 1. 作图法求基本电荷 $e$

油滴的数据处理有多种方法，如作图法、验证法、差值法、最小正整数法、平均值最小正整数法、最小二乘法、概率统计法等，下面介绍最常用的作图法：

(1) 先画出坐标轴，横轴代表整数  $n$ ，纵轴代表油滴电荷量  $q$ 。

(2) 在横轴上等间距地标出各坐标点(1,2,3,...整数)，并通过这些点作平行于纵轴的垂线。

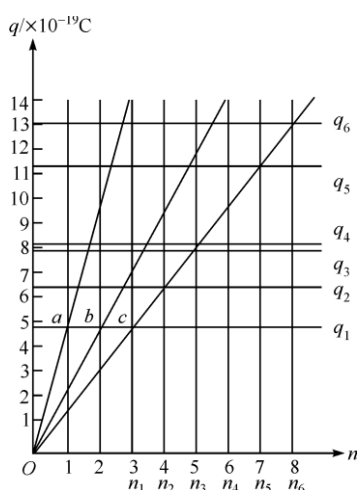


图 7.1.5 利用作图法求基本电荷

(3) 在纵轴上标出各测得电荷量( $q_1, q_2, q_3, \dots$ )的坐标位置，然后通过这些点作平行于横轴的水平直线，如此在  $n-q$  坐标系中形成一个网状的图。

(4) 现在假设电荷量最少的油滴中的电荷量子数  $n=1$ ，那么按照  $q=ne$  的假设，连接  $Oa$  两点画出一条直线( $O$  为坐标原点， $a$  为测得最小电荷值)，检查与其余几条水平线各相交点，它们应该分别落在其中任意一条垂直线上，如果不满足，说明电荷量子数不为 1，如图 7.1.5 中  $Oa$  连接的直线就不满足。

(5) 接着假设  $n=2, 3, \dots$ ，然后依次连接  $Ob, Oc, \dots$ ，画出直线，再检查各个相交点分别与垂直线重合的情况。由实验表明，总会画出这样一条直线，如图 7.1.5 中的直线  $Oc$ ，它与各条水平线都有一个交点，这些交点与各水平线和垂直线的交点非常逼近或重合。从该线上可直接读出各电荷值所对应的电荷的量子数。

实验证明，实验时尽量选取  $q$  值小的去测量，只要做到测量油滴的电荷值  $q$  准确，再采用这种作图处理方法，得出的实验结果是十分令人满意的。

### 2. 逐项相减法

将实验测得的电荷量  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_i, \dots, q_n$  依次从小到大排列，并逐项相减，相减的结果  $\Delta q_1, \Delta q_2, \dots, \Delta q_{(i-1)}, \dots, \Delta q_{(n-1)}$  可按大小分类，其值相近的可分为一类。以每类数据的最大值作为元电荷的量值去除  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_i, \dots, q_n$ 。取其中所得商均接近整数的一类，并将所得的商取整后再去除  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_i, \dots, q_n$ ，所得结果取平均即得元电荷量。

### 3. 平均值逐项相减法

为减小逐项相减法带来的误差，在其基础上求出拥有相同电荷数的油滴电量的平均值，再逐项作差，得到平均电量差  $\Delta q$ ，随后在误差范围内选择近似相等的若干个最小  $\Delta q$  做平均值计算  $\Delta q$ ， $\Delta q$  就是元电荷的实验值，用  $\Delta q$  代替倒算法（即用公认的电子电荷  $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$  去除实验测得的电荷量  $q$ ，得到接近于某一整数的数值，这个整数就是油滴所带的元电荷的数目  $n$ ，再用  $n$  去除实验测得的电荷量  $q$ ，即得到电子的电荷  $e$ ）中的  $e_0$ ，其它步骤与倒算法类似。

### 4. 最大公约数法

假设在密立根油滴实验中测出  $n$  个油滴的电量，其实验测量数据分别为  $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 、...、 $q_n$ 。

取任意两个数据的比值  $\varphi_{ij}$

$$\varphi_{ij} = q_i / q_j \quad (7.1.17)$$

其中， $i$  和  $j$  为下标， $i \neq j$ ，且均为 1 到  $n$  的整数，这样我们将得到  $C_n^2$  组比值。

设正整数  $Q$  为实验测得的油滴带的最大电荷数，将  $1/Q \sim Q/1$  范围内的所有正整数比记为  $b_{km}$ ，即

$$b_{km} = \frac{k}{m} \quad (7.1.18)$$

其中， $k$ 、 $m$  为下标，且均为  $1 \sim Q$  的整数， $k$  和  $m$  可以是相同整数，也可以是不同整数。依次取  $\varphi_{ij}$  中的每个数据与整数比  $b_{km}$  逐个进行比较， $\varphi_{ij}$  中每个数据均可在  $b_{km}$  中找到一个与之最为相近的值作为该数据的对应值，即认为两者相等。

$$\text{假设: } \varphi_{ij} = q_i / q_j = b_{km} = k / m \quad (7.1.19)$$

从而有

$$\varphi_{ik} = q_i / k \quad (7.1.20)$$

$$\varphi_{jm} = q_j / m \quad (7.1.21)$$

例如

$$\varphi_{12} = 3.212 / 1.608$$

$$b_{21} = 2 / 1$$

即认为

$$\varphi_{12} = b_{21}$$

可得到

$$e_{12} = q_1 / 1$$

$$e_{21} = q_2 / 2$$

利用以上方法，我们得到从  $q_1$  到  $q_n$  的所有数据两两相比的对比情况，即  $e_{ik}$  和  $e_{jm}$ 。对所有的  $e_{ik}$  和  $e_{jm}$  从小到大排序，将相差在 0.1% 内的数据作为一组，从而得到多组数据。统计每组数据的数据个数，元电荷值应在数据个数最多的那组数据附近。将这组数据分别记为  $e_1$ 、

$e_2$ ，...  $e_l$ 。对其求平均值，即可得到元电荷的实验值，如公式（6）所示

$$\bar{e} = (e_1 + e_2 + e_3 + \dots + e_l) / l \quad (7.1.22)$$

## 5. 最小二乘法

将分组实验得到的数据（尽量多）用最小二乘法拟合最佳直线，例如图 5.7.6 所示，直线斜率即是基本电荷量，求得  $e_{\text{测}} = 1.63093 \times 10^{-19} \text{C}$ 。

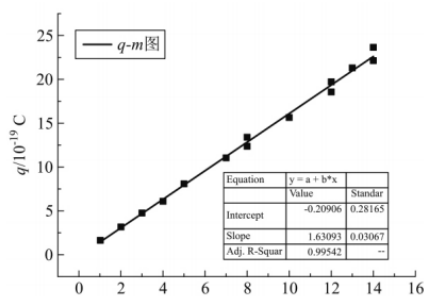


图 5.7.6 最小二乘法拟合  $q-m$  关系图

## 6. 最小正整数法

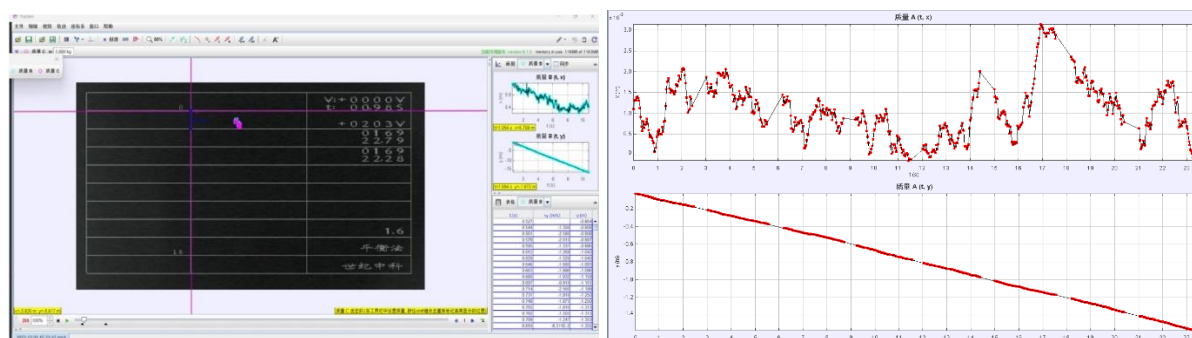
用实验测得的油滴的电荷量  $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 、...、 $q_n$  依次除以其中的最小值  $q_{\min}$ ，所得商分别为  $c_1$ 、 $c_2$ 、...、 $c_i$ 、...、 $c_n$ 。再将所得商分别与正整数  $N$  相乘得到一个新的数组  $N_{c1}$ 、 $N_{c2}$ 、...、 $N_{ci}$ 、...、 $N_{cn}$ 。 $N$  的取值自 1 开始依次增加，若当其取到  $N^*$  时，所得数组  $N_{c1}^*$ 、 $N_{c2}^*$ 、...、 $N_{ci}^*$ 、...、 $N_{cn}^*$  中的每一个元素均与某个整数  $N_i$  接近，则  $N^*$  即为要找的最小正整数，也是  $q_{\min}$  为  $e$  的倍数。将  $N_{ci}^*$  取整为  $N_i$ ， $N_i$  即是  $q_i$  为  $e$  的倍数，然后用  $q_i$  除以对应的  $N_i$  得元电荷电量的实验值  $e_i$ 。

## 7. 平均值正整数法

最小正整数法是要找到正整数  $N^*$  是  $q_i$  为  $e$  的倍数。考虑到学生实验数据有较大误差，应选择某一组数值接近的油滴电荷量的平均值去除  $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 、...、 $q_n$ ，该组油滴数量越多越好，其他步骤和最小正整数法相同。

## 补充资料二 tracker 软件介绍

tracker 视频分析软件，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。



## 功能特点：

自动跟踪视频中的特定目标，捕捉其位置、速度和加速度等数据。

内置统计和拟合等数据分析功能。

允许用户建立自己的动力学或运动学模型进行模拟和对比实验。

### **使用要点：**

拍摄视频：拍摄视频时，1）要放置一个标定物体；2）手机位置最好固定

导入视频，设置首末帧，滤镜改变对比度

添加并固定坐标系

添加定标杆并设置其实际长度

设置跟踪对象

自动跟踪(shift+ctrl)

分析并导出数据