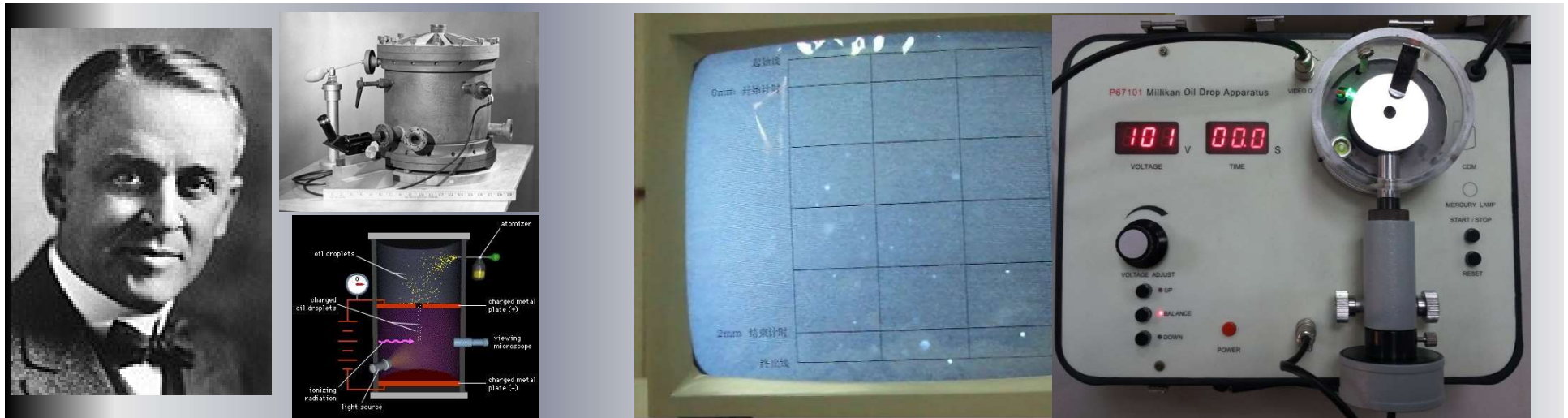


密立根油滴实验

Millikan Oil-Drop Experiment



华中科技大学物理实验中心

- 
- 一、背景知识
 - 二、实验目的
 - 三、实验原理
 - 四、实验仪器
 - 五、实验内容
 - 六、数据处理
 - 七、注意事项

一、背景知识

汤姆逊(英, 1897, 发现电子 e , 荷质比, 唯一性, 原子枣核模型...)



罗伯特·安德鲁·密立根
Robert Andrews Millikan
(美国实验物理学家)
1868—1953

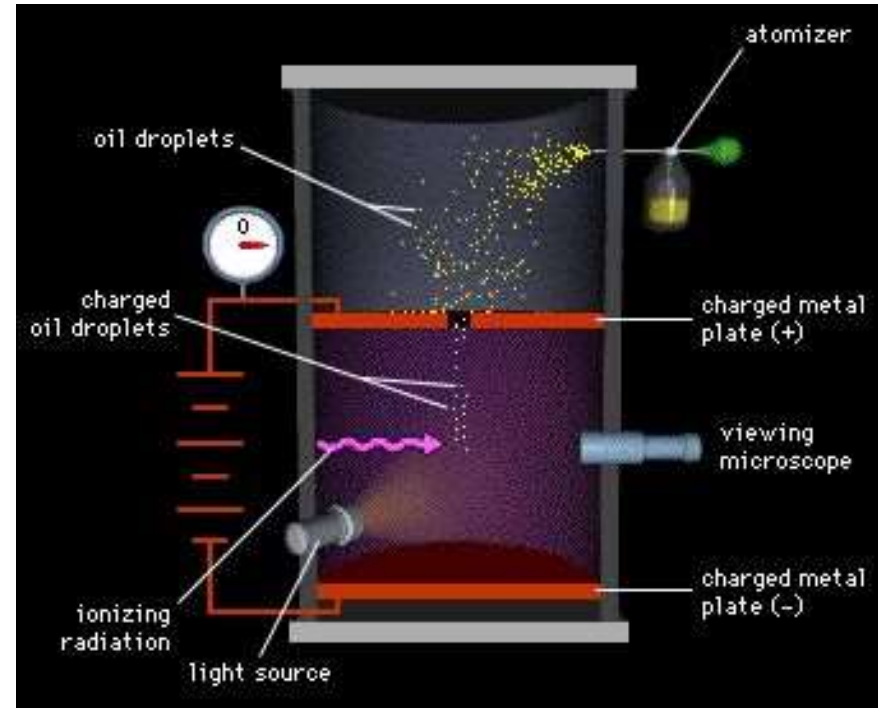
主要研究成果

- 油滴实验测定元电荷
- 精确测定普朗克常数
- 元素火花光谱学
- 宇宙射线

1909年—1917年设计了油滴实验，最早测定了元电荷的数值 $e=1.60 \times 10^{-19}\text{C}$ ；明确了电荷的量子化特性。

1923年获诺贝尔物理学奖

Millikan油滴实验装置



测定电子电荷(元电荷) $e=1.60 \times 10^{-19}\text{C}$ (误差0.003?)

目前国际上的最好测量结果 $e=(1.60217722 \pm 0.000000049) \times 10^{-19}\text{C}$

Millikan油滴实验的延续——寻找夸克

Search for Free Fractional Electric Charge Elementary Particles Using an Automated Millikan Oil Drop Technique

V. Halys, P. Kim, E. R. Lee, I. T. Lee, D. Loomba, and M. L. Perl

Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, California 94309

(Received 27 October 1999)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

Three other groups have used the Millikan oil-drop idea to look for quarks: G. Morpurgo and G. Gallinaro of the University of Genoa floated graphite particles in a magnetic field. R. W. Stover, T. I. Moran and J. W. Trischka of Syracuse University and Vladimir Braginski of Moscow State University used iron spheres. These experiments were done at room temperature and none of them reported the observations of quarks.

—GBL

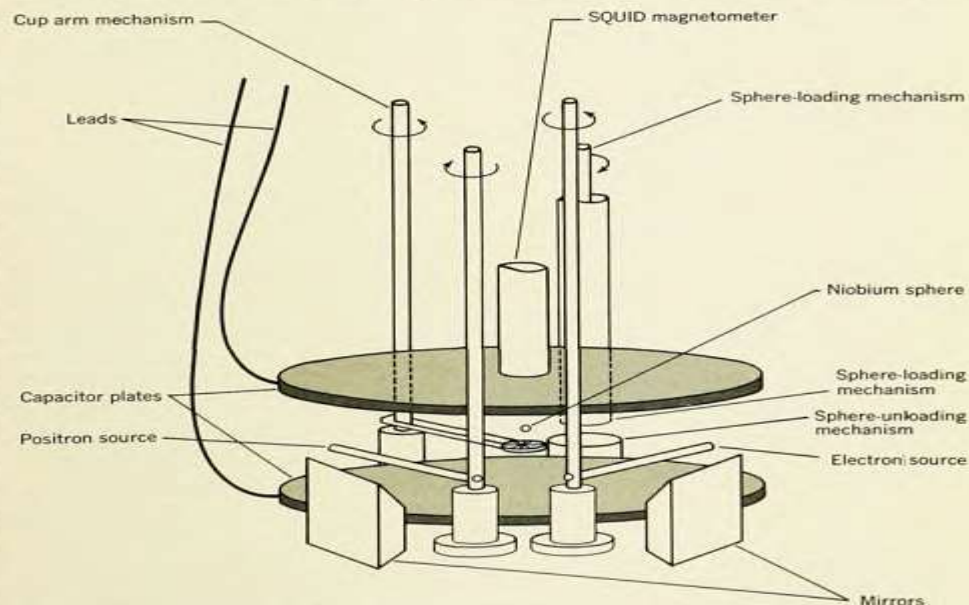
注：改进的磁漂浮方法

Quark search gets help from Millikan

Every once in a while in discussions about quarks, you hear the old story that Millikan occasionally saw fractional charges while doing his oil-drop experiment. Now William Fairbank and Arthur Hebard at Stanford University are repeating the experiment, replacing the oil drop with a superconducting niobium ball. They hope to

improve the chance of finding a fractional charge because the probability of finding such a charge is proportional to the mass of the sphere. Their sphere has a mass of 7×10^{-5} grams, in contrast to a typical Millikan oil drop of 3×10^{-11} grams.

Fairbank and Hebard reported at the Kyoto low-temperature conference that

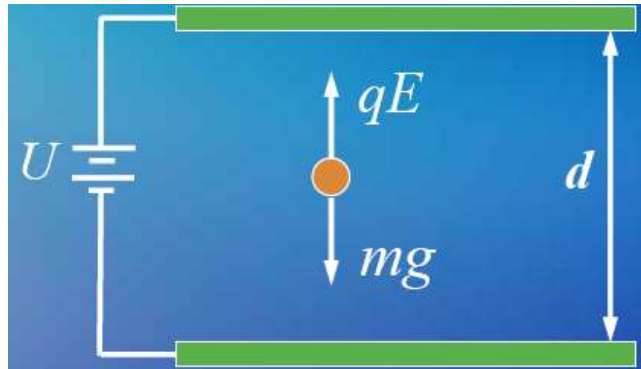


二、实验目的

- 掌握利用油滴测量电子电荷量的方法
- 了解实验系统的结构和设计思路
- 平衡法测量电子电量和验证电荷量子化特性
- 感受和体验物理经典真滋味 ...


三、实验原理——(平衡测量法)

1. 库仑力与重力平衡

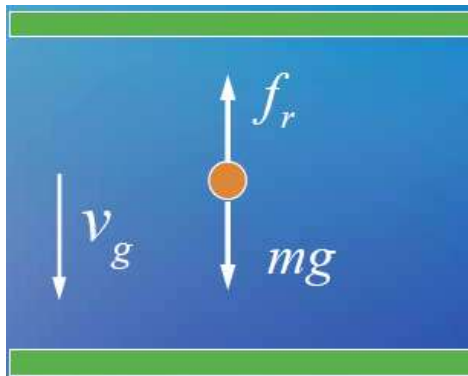


$$mg = qE = q \frac{U}{d}$$

$$q = mg \frac{d}{U} \quad \text{式中, 油滴的质量 } m?$$

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left[\frac{\eta l}{t_g} \right]^{\frac{3}{2}} \frac{d}{U}$$


2. 空气阻力与重力平衡



极板不带电, 油滴受重力作用而下降, 根据

斯托克斯定律, 空气阻力 $f_r = 6\pi a \eta v_g$

匀速下落 $6\pi a \eta v_g = mg$

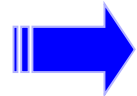

球状油滴 $m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho$ $\Rightarrow a = \sqrt{\frac{9\eta v_g}{2\rho g}}$

3. 平衡法的测量公式

密立根发现测得的 e 值随油滴的减小而增大，他认为油滴甚小，其直径可以与空气分子的平均自由程相比拟，所以不能再将空气看成是连续介质，油滴所受的粘滞力应该减小，粘滞系数应该修正：

$$\eta' = \eta / \left(1 + \frac{b}{pa} \right)$$

修正常数 $b = 6.17 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{cmHg}$
 p 为大气压强， a 为油滴半径


$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left[\frac{\eta l}{t_g \left(1 + \frac{b}{pa} \right)} \right]^{\frac{3}{2}} \frac{d}{U}$$


实验原理 —— (动态测量法 选作)

1. 动态法的测量公式

$$q = \frac{K}{U} \left(\frac{1}{t_e} + \frac{1}{t_g} \right) \left(\frac{1}{t_g} \right)^{\frac{1}{2}}$$



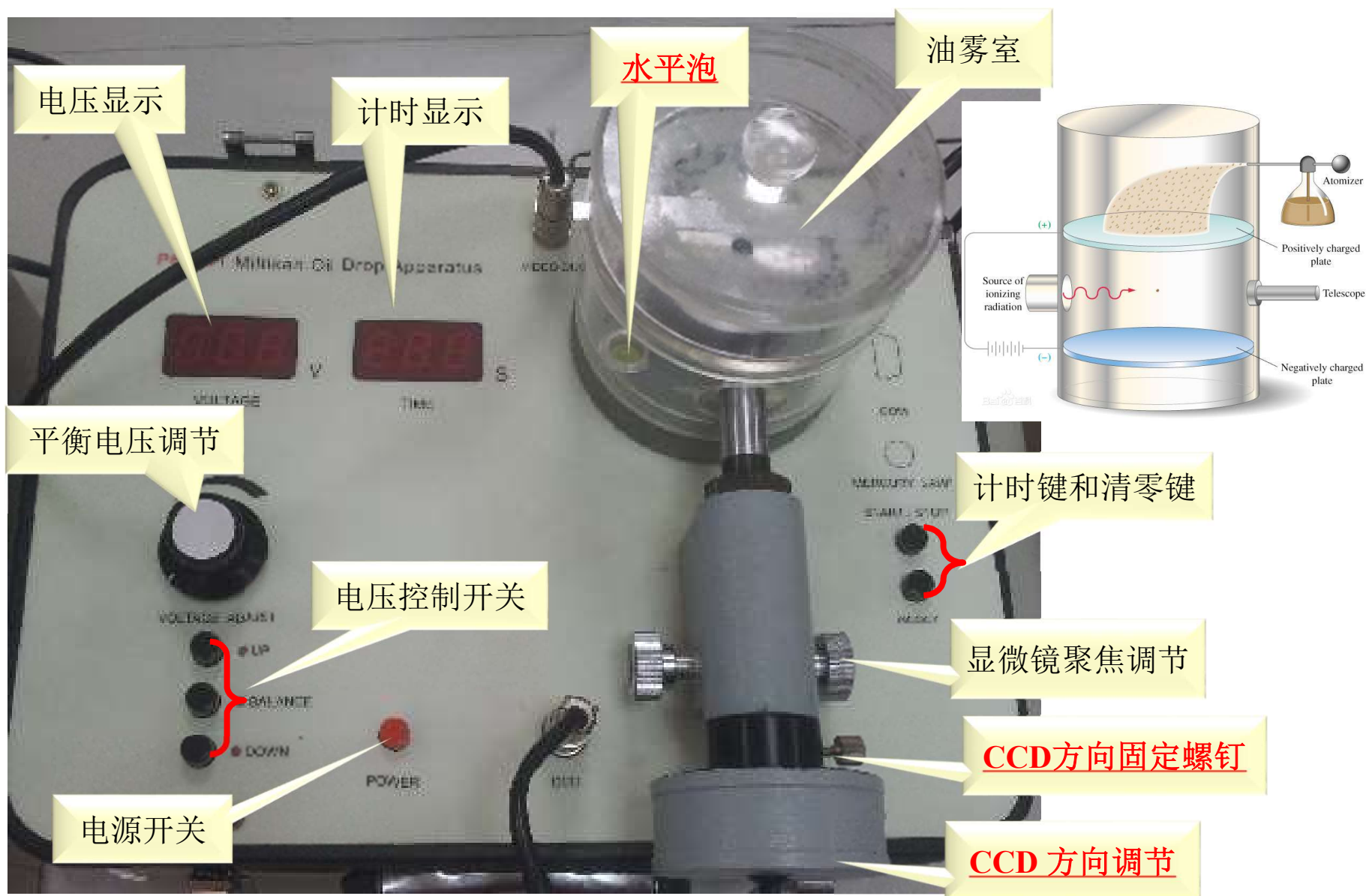
$$K = \frac{18\pi d}{\sqrt{2\rho g}} \left[\frac{\eta l}{1 + \frac{b}{pa}} \right]^{\frac{3}{2}}$$

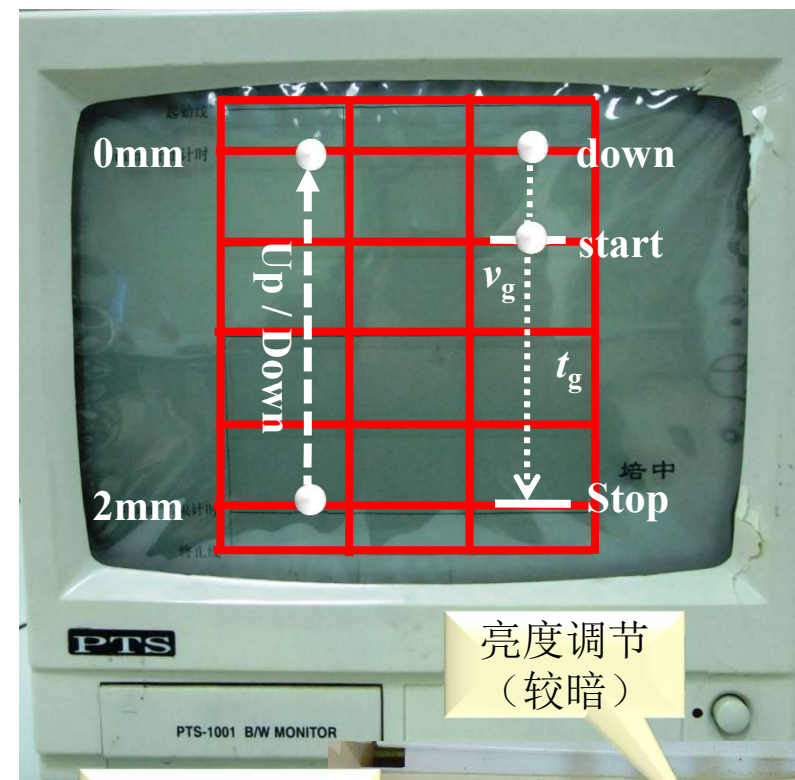
$$a = \sqrt{\frac{9\eta v_g}{2\rho g}}$$

2. 动态法的实验步骤

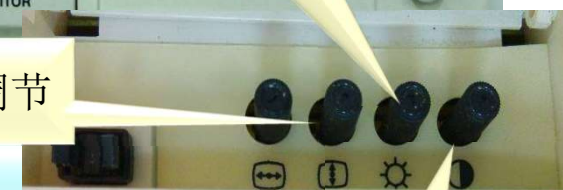
- 实验时取油滴匀速上升和下落的距离为 l ，且相等
- 测出油滴匀速下落时间 t_g 和匀速上升时间 t_e
- 带入公式计算

四、实验仪器





“帧抖”调节



对比度调节
(较大)

注：实验装置概述

- 显示器：刻度线(起始线 - 0mm 开始计时 - 2mm 结束计时 - 终止线)。
- 电压显示：000V；计时显示00.0s；电压调节：UP，BALANCE。
- 电压控制开关：UP，BALANCE，DOWN；电源开关。
- 计时键和清零键：START / STOP，RESET。

五、实验内容

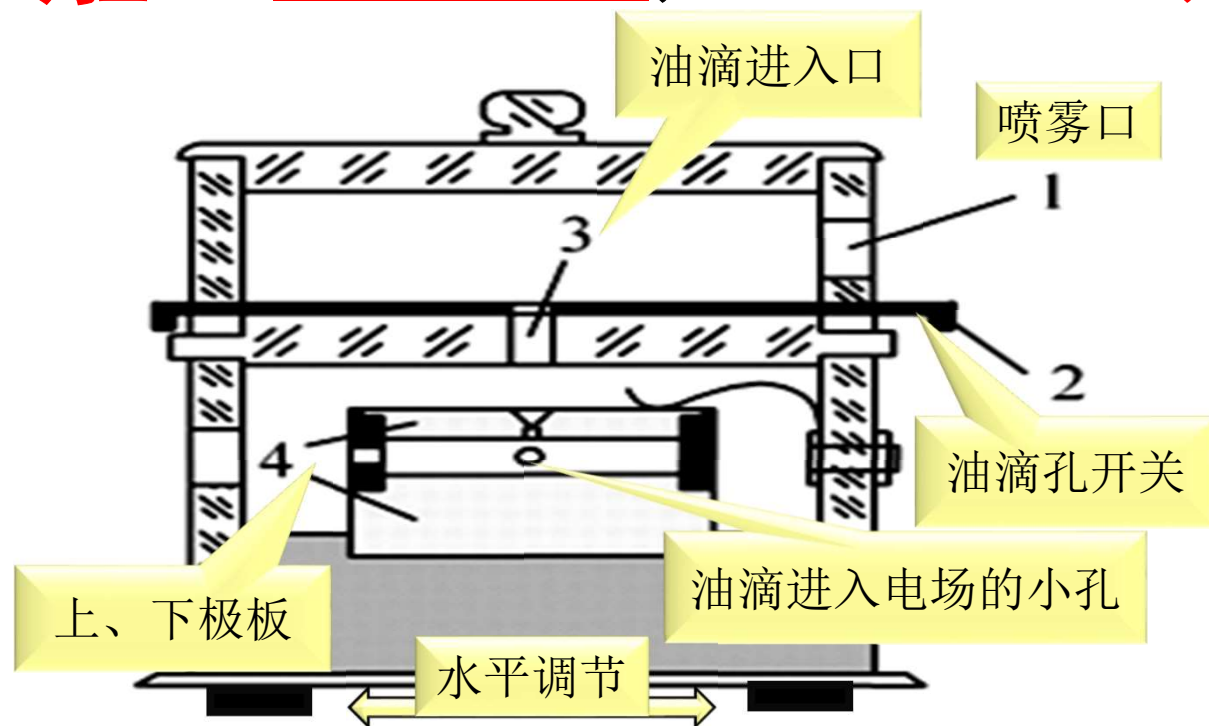
实验1. 仪器调整，观察油滴运动，练习控制油滴

实验2. 选择合适的油滴

实验3. 平衡法测量电子的电荷量

实验4. 动态法测量电子的电荷量(拓展选做)

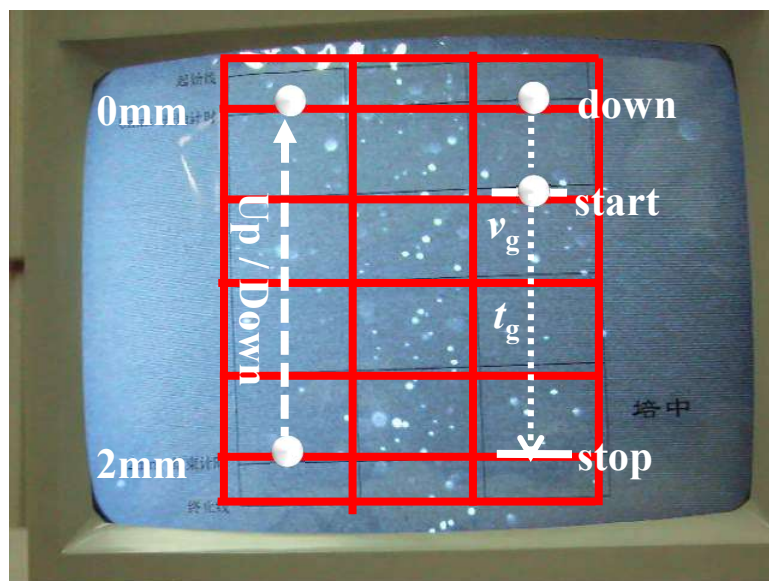
实验1：仪器的调整，观察油滴运动，练习控制油滴



实验步骤与要求

- (1) 仪器水平调节：水准泡, 极板水平, 电场与重力平行;
- (2) 显微镜的粗调：与观察孔准直, CCD方向固定螺钉水平;
- (3) 将油从喷雾口喷入, 显微镜调焦, 视场中出现大量清晰的油滴。

注：喷雾器中装油勿多，只喷一次，竖直放置烧杯中。
喷油时，打开油滴孔。 喷油后，关闭油滴孔



(4) **UP**——油滴向上运动；

DOWN——油滴落体运动；

BALANCE——油滴静止不动，保持平衡（平衡电压100—300V）；

START / STOP——计时器启动 / 停止；

RESET——计时器清零。

注：各操作键组合应用，准确控制和跟踪油滴；
油滴清晰，焦距清楚，平视观察 ...

实验2：选择合适的油滴

➤ 大油滴

m 大, t_g 短, q 大

量子性不明显, 测量误差大

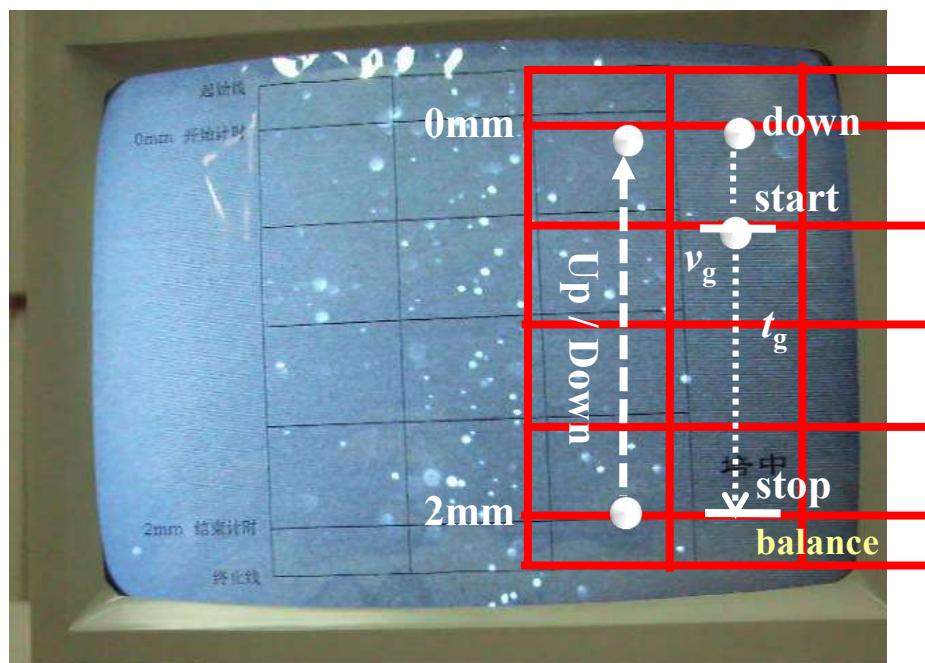
➤ 小油滴

运动较缓, 带电量少

布朗运动明显

➤ 合适油滴

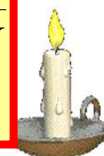
通常选择平衡电压在200V左右, 匀速下降1.5mm的时间在8-30s的油滴。实验时可将工作电压置于200V左右, 驱走不需要的油滴, 在缓慢运动的油滴中选择合适的油滴。



实验3：平衡法测量电子电荷量

实验步骤与要求

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left[\frac{\eta l}{t_g \left(1 + \frac{b}{pa}\right)} \right]^{\frac{3}{2}} \frac{d}{U}$$



- 油滴仪置：BALANCE；平衡电压：**100~300V**
- 跟踪和测量能够控制自如的油滴
- 油滴应满足匀速下降**1.5mm**，用时在**8~30s**(**合适油滴**)

具体测量

- 测量***U***：按UP，将选定油滴移至0mm刻度线，细调平衡电压，使油滴静止，记录该平衡电压值。
- 测量***t_g***：按DOWN，油滴下落，至0.5mm线时，开始计时 START，待油滴继续下落了1.5mm距离(即油滴至2.0mm的线)时，停止计时 STOP，记录该时间。
- 每个油滴应重复进行5次***t_g***的测量，要求选择10个油滴测量。

注：计时结束时，同时按下BALANCE，谨防油滴丢失
重复测量***t_g***时，平衡电压保持不变

六、实验数据处理

一) . 计算每个油滴的带电量 q

二) . 计算 n 值

$$n = \text{取整}\left(\frac{q}{e}\right)$$

三) . 图示法: q - n 曲线, 求其斜率, 计算 $e_{\text{测}}$ 和 U_r 。

$$e_{\text{测}} = \frac{q_2 - q_1}{n_2 - n_1} \quad U_r = \left| \frac{e_{\text{测}} - e}{e} \right| \times 100\%$$

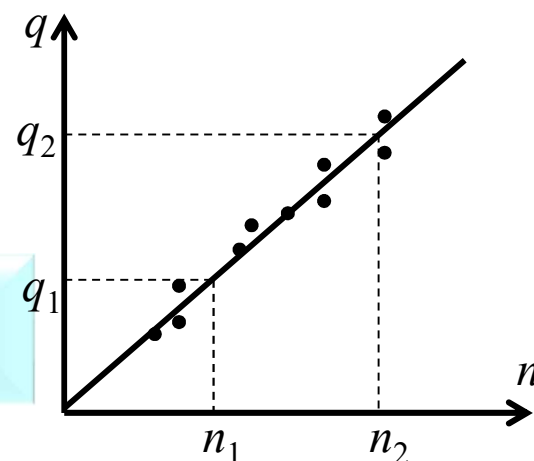
注: 图示法 (坐标纸-手绘-选点-求斜率) 求得 $e_{\text{测}}$ 。
实验中, 取电子电荷公认值: $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{C}$

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left[\frac{\eta l}{t_g \left(1 + \frac{b}{pa}\right)} \right]^{\frac{3}{2}} \frac{d}{U}$$



$$a = \sqrt{\frac{9\eta v_g}{2\rho g}} \quad v_g = \frac{l}{t_g}$$

注: $\rho = 981 \text{ kg/m}^3$, $g = 9.795 \text{ m/s}^2$, $l = 1.5 \text{ mm}$
 $\eta = 1.83 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$, $p = 76.0 \text{ cmHg}$
 $b = 6.17 \times 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{cmHg}$, $d = 5.00 \times 10^{-3} \text{ m}$



四) . 课后思考题 (任选两道题, 4 & 5题必选一)

1. 如何判断油滴盒内金属极板是否水平? 如果上下极板不水平, 对测量结果有什么影响?
2. 对实验结果造成影响的主要因素有哪些?
3. 平衡法和动态法有何异同点? 分析其优缺点?
4. 结合自身实验过程的总结(油滴筛选、跟踪、测量 ...)。经验分享、体会、感想、讨论、建议等)
5. 从实验中, 你所感受和体验的物理经典真滋味。

附录1：实验记录表格示例

油滴序号	U/V	t_g/s					
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	\bar{t}_g
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

注：测量时，平衡电压应保持不变； $\Delta t < 1s$

附录2：数据处理（列表）示例

表1. 测量记录与 q 、 n 的计算

油滴序号	U/V	t_g/s						q ($\times 10^{-18}C$)	n
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	\bar{t}_g		
1	192	19.6	19.8	19.2	19.5	19.6	19.5	0.47	3
2	135	10.6	10.8	10.4	10.6	10.7	10.6	1.77	11
3	107	10.4	10.2	10.4	10.2	10.4	10.3	2.35	15
4	158	12.8	12.6	12.9	12.9	12.7	12.8	1.13	7
5	232	11.5	11.6	11.5	11.8	11.3	11.5	0.91	6
6	151	11.1	10.9	10.8	10.8	10.9	10.9	1.45	9
7	127	18.9	18.7	18.6	19.0	18.8	18.8	0.78	5
8	107	22.9	22.5	23.2	22.9	23.1	22.7	0.68	4
9	275	14.5	14.4	14.3	14.8	14.9	14.6	0.53	3
10	130	13.7	13.9	13.9	13.5	13.8	13.8	1.24	8

附录3：数据处理（图示法）示例

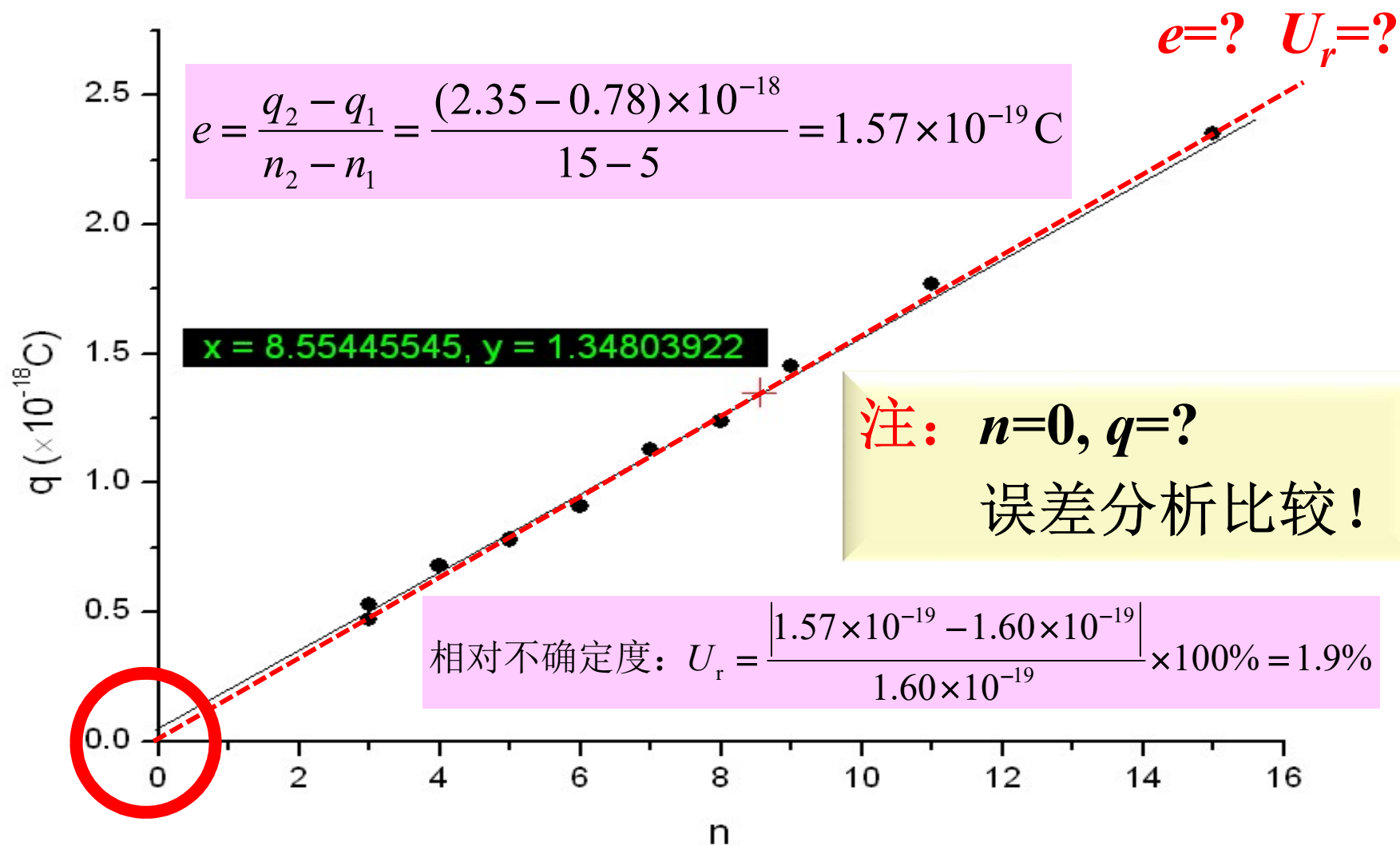


图1. q - n 变化曲线

七、注意事项

- 实验安全第一，规范操作和处理，如实记录。
- 喷雾器竖直，平衡电压100-300V，1.5mm，8-30s。
- 显微镜调焦，控制油滴，图像清晰再测量。
- 计时结束，需随后按下BALANCE，谨防油滴丢失。
- 设计表格，钢笔记录，修改备注。
- 图示法（坐标纸、铅笔、手绘，坐标分度、标度和物理量）。
- 实验完毕，清洁擦拭自己仪器的油渍，打扫卫生。
- 请1 — 4号同学负责实验室卫生值日，检查仪器。