

密立根油滴实验的概率统计分析^{*}

温 猛, 洪朱旭, 冯运军, 崔新图
(中山大学物理科学与工程技术学院, 广东 广州 510275)

摘 要: 用概率统计的方法对 700 多组荷电油滴作电量分析, 从中找出基本电荷电量值, 从而找到了一种较科学并具说服力的密立根油滴数据处理方法。

关键词: 统计; 密立根油滴; 误差; 带电量

中图分类号: O562 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S1-0033-03

由美国物理学家密立根首先设计并完成的密立根油滴实验, 在近代物理学史上是一个十分重要的实验。Millikan 油滴实验, 是一种测量附在油雾中许多油滴上的微量电荷的实验, 该实验既能测量一个孤立油滴的微小电荷所受电力数值, 又能测量作用电场的强度, 根据这些数据就能确定电荷的大小。重复运用这种方法所测定的各个油滴的电荷数值并不是连续分布的, 而是分成若干组, 每组分别是一个最低值 (基本电荷) 的某一整倍数。Millikan 油滴实验提供了令人信服的证据, 说明电荷有基本的固有单元^[1-5]。

为了证明电荷的不连续性和所有电荷都是基本电荷 e 的整倍数, 并得到基本电荷值 e , 通常采用“倒过来验证”的方法进行数据处理。即用公认的电子电荷值 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 去除实验测得的 q , 得到一个接近于某一整数的数值, 这个整数就是油滴所带电荷的数目 n 。再用这个 n 去除实验测得的电量, 即得电子的电荷值 e 。用这种方法处理数据, 缺乏实验分析的科学性, 只能作为一种实验验证。而且仅在油滴带电量比较少时, 才可采用。当 n 较大时, 带来误差的 0.5 个电子的电荷在分配给 n 个电子时, 误差必然很小, 其结果 e 总是十分接近于 $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。这也是实验中不宜选用带电量比较多的油滴的原因。

为进一步提高数据分析的可靠性, 除了“倒过来验证”法, 还有最小速度差值法, 油滴电量逐次相减法, 油滴电量平均值逐次相减法和电量统计直方图法等分析技术^[2]。以上各种方法各有优点, 但都缺乏清晰的物理分析图像。

本文采用概率分布方法对大量油滴进行分析处

理, 目的是用严谨的方法分析实验数据, 使实验的结果更科学, 更令人信服。

1 实验方法与技术

进行概率统计分析需要较大量油滴实验数据, 为此, 收集中山大学物理系二年级学生 2002 学年第二学期的密立根实验数据进行分析处理。

实验所用仪器为东南大学培中科技生产的 MOD-5 型密立根油滴仪, 包括水平放置的平行极板 (油墨盒), 调平装置, 照明装置, 显微镜, 电源, 计时器, 实验油, 喷雾器等, 使用 Fluke45 数字多用电表测量电压。

用喷雾器将油滴喷入两块相距为 d 的水平放置的平行极板之间。油在喷射撕裂成油滴时, 一般都是带电的。设油滴的质量为 m , 所带的电量为 q , 两极板间电压为 V , 则油滴在平行极板间将同时受到重力 mg , 和静电力 qE 的作用。如果调节两极板间的电压 V , 可使两力达到平衡, 这时

$$mg = qE = q \frac{V}{d} \quad (1)$$

由于油滴的质量 m 很小, 需用重力与空气阻力平衡的方法测量, 由于空气阻力和油滴速度成正比, 当油滴下降速度为 v_g 时, 油滴匀速下降

$$f_r = 6\pi a \eta v_g = mg \quad (2)$$

式中, η 是空气的粘滞系数, a 是油滴半径。设油滴密度为 ρ , 油滴质量表示为

$$m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho \quad (3)$$

由 (2) 式和 (3) 式, 得到油滴半径

* 收稿日期: 2004-02-27

基金项目: 国家基础人才培养基金资助项目; 中山大学教学改革研究 (一类) 课题资助项目

作者简介: 温 猛 (1982 年生), 男, 本科生; E-mail: st01wenm@student.zsu.edu.cn

$$a = \sqrt{\frac{9\eta g}{2\rho g}} \tag{4}$$

对于半径小到 10^{-6} m 的小球, 空气粘滞系数 η 应作如下修正

$$\eta' = \frac{\eta}{1 + b/(pa)} \tag{5}$$

式中, b 为修正常数, $b = 6.17 \times 10^{-6}$ m mm(Hg), p 为大气压强, 单位用 mmHg。则得

$$f_r = \frac{6\pi a \eta g}{1 + b/(pa)}$$

$$a = \sqrt{\frac{9\eta g}{2\rho g} \frac{1}{1 + b/(pa)}}$$

$$m = \frac{4}{3}\pi a^3 p = \frac{4}{3}\pi \left[\frac{9\eta g}{2\rho g} \frac{1}{1 + b/(pa)} \right]^{\frac{2}{3}} \rho \tag{6}$$

油滴匀速下降, 则

$$v_g = \frac{l}{t_g} \tag{7}$$

由 (1) 式、(6) 式和 (7) 式可得出油滴带电量的理论公式

$$q = \frac{18\pi}{\sqrt{2\rho g}} \left[t_g \left(1 + \frac{\eta l}{b(pa)} \right) \right]^{\frac{2}{3}} \frac{d}{V} \tag{8}$$

2 实验结果与分析

本次统计收集到的数据每组: 包括两极板间电压为 V 、油滴匀速下降距离 l 和下降时间 t_g , 根据实验中所用仪器和材料的参数使用式 (8) 对实验数据进行分析得到油滴荷电量 q , n 为得到电量 q 为的实验数据的组数, $n \sim q$ 关系如图 1 所示。图 1 是计出不同 q 对应的 n 值, 其中每个 q 对应的范围是 2×10^{-21} C, q 为此范围的中值。

从图 1 中可以看出在 $[0, 2.42] \times 10^{-19}$ C、 $(2.42, 3.68] \times 10^{-19}$ C、 $(3.68, 5.28] \times 10^{-19}$ C、 $(5.28, 6.66] \times 10^{-19}$ C、 $(6.66, 8.20] \times 10^{-19}$ C、 $(8.20, 9.78] \times 10^{-19}$ C 6 个区域内都出现一个峰值。由于测量的随机性, 设在这 6 个区域内都遵从高斯分布, 简单的采用平均值方法, 则峰值出现在各区域内 $(n \times q)$ 位置各峰值分别为 $q_1 = 1.603 \times 10^{-19}$ C、 $q_2 = 3.015 \times 10^{-19}$ C、 $q_3 = 4.517 \times 10^{-19}$ C、 $q_4 = 5.930 \times 10^{-19}$ C、 $q_5 = 7.386 \times 10^{-19}$ C、 $q_6 = 8.921 \times 10^{-19}$ C。

这样就从 700 多个荷电油滴的数据中总结出 6 个带有不同电荷数的油滴电量。用数学中求余数的方法求这 4 个电量的最大公约数。

以上平均值可知, 它们之间的差约为单个油滴的荷电单元 e , 从而 $q_1 = e$ 、 $q_2 = 2e$ 、 $q_3 = 3e$ 、 $q_4 = 4e$ 、 $q_5 = 5e$ 、 $q_6 = 6e$ 。采用 $q = ke$ 拟合直线, k 分别

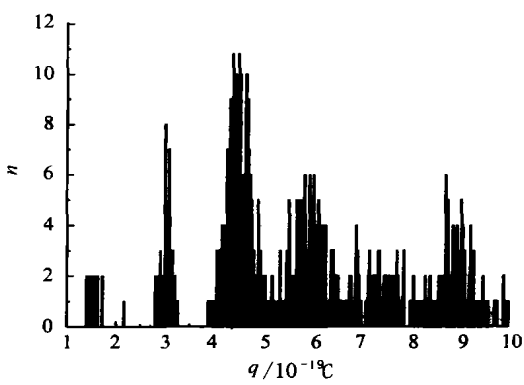


图 1 荷电量 q 与组数 n 的关系图
Fig. 1 The relationship of q and n

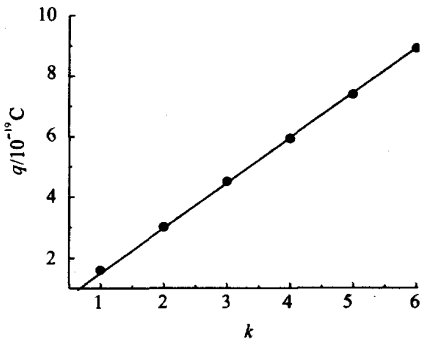


图 2 $q \sim k$ 关系图
Fig. 2 The relationship of q and k

为 1、2、3、4、5、6, 对应的 q 分别为 q_1 、 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 、 q_6 。 $q \sim k$ 关系如图 2 所示。

由此得到实验测得的基本电荷为 1.49×10^{-19} C。与公认值 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C 比较, 相对误差为 8.785%, 存在一定的系统误差, 需要修正一些参数。本文采用的分析方法关键在于说明实验数据分析的科学性, 显然由于测量时间跨度大 (近 3 个月完成), 所以实验条件可能存有差异, 这也是分析结果误差较大的原因之一。尽管分析过程存有一些不合理因素, 但通过我们对数据严谨的分析, 显示了电子电荷量的量子性。

3 结 论

本文的实验处理选取了 700 多组静态法测量的油滴, 因为本实验历时一学期之久, 尽管这些实验数据的实验室条件有很多差异, 但是本文通过科学的数据处理方法, 从这些数据找出分布规律, 证明了电子电荷量的量子性。

致 谢: 本工作源于“实验讨论课”上李潮锐博士的建议, 并得到他的悉心指导, 在此表示衷心的感谢。

参考文献：

[1] 美国麻省理工学院. 中级物理实验 [M] . 北京工业大学应用物理系译, 1980.

[2] 刘才明. 密立根油滴实验数据处理方法分析 [J] . 浙江大学学报 (自然科学版), 1996, 30 (6) .

[3] 陶静. 做好密立根油滴实验的两点体会 [J] . 物理实验, 1997 (2) .

[4] 史志强. 油滴实验方法的研究 [J] . 物理实验, 2002 (3) .

[5] 许德玄, 李祥生, 马祝阳. 用密立根油滴仪同时测量粉尘的粒径和荷电量 [J] . 大学物理, 1995, 14 (9) .

Data Statistical Analysis in Millikan Oil drop Experiment

WEN Meng, HONG Zhu xu, FENG Yuan jun, CUI Xin tu

(School of Physics Science and Engineering, Sun Yat -sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: With using the statistical method to analysis more than 700 groups of data from Millikan oil drop experiment, the basis quantity of electricity can be found out in a more logical way.

Key words: statistical analysis; Millikan oil drop; quantity of electricity