

空气折射率的测量及数据处理方法研究

吉鑫, 许建国*

(昆明学院 物理科学与技术系, 云南 昆明 650214)

摘要: 计算测量值的标准偏差是光学设计性实验的重要内容. 以迈克尔逊干涉仪测量空气折射率的实验数据为基础, 对使用最小二乘法估计实验参数的标准差和采用 Origin 软件线性拟合实验数据进行比较. 结果表明, 两者结果完全相符. 此外, Origin 软件在处理实验数据和绘制图表方面具有方便、高效的优势, 且采用 Origin 软件进行实验教学, 既能培养学生的综合应用能力, 又能激发学生的实验兴趣.

关键词: 光学设计性实验; 空气折射率; 迈克尔逊干涉仪; 最小二乘法; Origin 软件

中图分类号: O436.1; TP353 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5639(2017)06-0098-03

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2017.06.022

Measurement of Refractive Index of Air and Data Processing Study

Ji Xin, XU Jianguo*

(Department of Physics Science and Technology, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214)

Abstract: It is important to calculate the standard deviation of measured values in optical designing experiments. Based on the experimental data of refractive index of air by the Michelson's interferometer, the comparison was made between the standard deviation of the experiment parameter by the least square and the experiment data by the linear fitting by the Origin Software. Both of them got the same results. In addition, Origin Software shows the advantages of convenience and high efficiency in process of analyzing the experimental data and making diagram. This method could not only train students' integrative application ability, but stimulate their interest in experiment simultaneously.

Key words: optical designing experiment; refractive index of air; Michelson's interferometer; least square; Origin software

光学设计性实验是光学实验中的重要内容, 是对光学理论知识、实验知识、实验技能和实验能力的综合检验, 其内容包括数据处理方法和实验误差分析等. 常用的实验数据处理方法主要有逐差法、加权平均法、最小二乘法、作图法^[1-2]等, 方法多种多样, 于是选择适当的实验数据处理方法则成为关键. 因此, 本研究采取尽量避免人为误差, 简洁高效、直观实用的原则.

迈克尔逊干涉仪测量空气折射率是光学实验中的设计性实验, 本文拟采用最小二乘法和 Origin 软件^[3]进行实验数据处理, 并比较这两种方法的特点与异同, 旨在为选择适当的实验数据处理方法提供参考依据.

1 实验原理

实验装置如图 1 所示, 以 He-Ne 激光器 L 为光源, 经短焦距透镜 L_1 扩束, 均匀照亮迈克尔逊干涉仪, 在光路(2)上加入长度为 d 的玻璃空气室 R, 在 H 屏上则能看到等倾干涉圆形条纹.

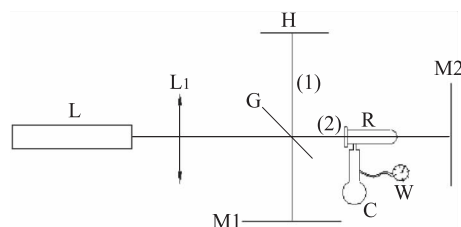


图1 迈克尔逊干涉仪测量空气折射率实验装置

收稿日期: 2017-07-04

作者简介: 吉鑫(1997—), 男, 云南昭通人, 物理科学与技术系 2015 级学生, 主要从事物理科学研究.

* 通讯作者: 许建国(1963—), 男, 云南建水人, 讲师, 硕士, 主要从事大学物理及实验教学研究, E-mail: 2080396817@qq.com.

先将充气球 C 旋钮开关拧紧,向玻璃空气室内充气,使管内气压增加,然后缓慢放气,使管内气压降低 ΔP ,管内气体的折射率减小 Δn ,光经过玻璃管的光程改变了 $2d\Delta n$,从屏 H 上观察到“冒出”了 ΔK 个干涉条纹,则 $2d\Delta n = \Delta K\lambda$,可得折射率变化为:

$$\Delta n = \frac{\Delta K}{2d}\lambda.$$

(1)

温度一定、气压不太高时,气体折射率的变化量 Δn 与气压的变化量 ΔP 成正比^[4],则

$$n = 1 + \left| \frac{\Delta n}{\Delta P} \right| P,$$

(2)

将式(1) 代入式(2) 得:

$$n = 1 + \frac{\lambda}{2d} \left| \frac{\Delta K}{\Delta P} \right| P,$$

(3)

(3) 式中, P 为本地实验室的大气压强,单位为 Pa. 由

于在实际实验中,空气的折射率还与实验室的室温有关,因此用下列公式进行理论值的计算^[5]:

$$n_t = 1 + \frac{2.879\,3P_0}{1 + 0.003\,671t} \times 10^{-9},$$

(4)

其中 t 的单位是 $^{\circ}\text{C}$, 压强 P_0 的单位为 Pa.

2 实验数据处理

实验中先向玻璃空气室内充气,当气压表读数为 37.5×10^3 Pa 时停止充气,然后慢慢放气,每“冒出”6 个圆形干涉条纹时记录 1 次气压表 W 的压强 P ,原始实验数据见表 1.

2.1 最小二乘法线性拟合实验数据

用最小二乘法对表 1 实验数据进行线性拟合,计算结果见表 2.

表 1 迈克耳逊干涉仪测量空气折射率原始数据

冒出条纹数 K_i / 个	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
气压表读数 $P_i/10^3$ Pa	37.5	33.5	29.4	25.6	21.8	18.0	14.0	10.3	6.7	3.0

表 2 最小二乘法线性拟合实验数据

条纹数总和 $\sum K_i$	压强总和 $\sum P_i/10^3$ Pa	条纹数平方总和 $\sum K_i^2$	压强平方总和 $\sum P_i^2/(10^3\text{Pa})^2$	条纹数与压强乘积总和 $\sum K_i P_i/10^3$ Pa
270	199.800	10 260	5 203.440	3 498.000
条纹数平均值 \bar{K}	压强平均值 $\bar{P}/10^3$ Pa	条纹数平方平均值 \bar{K}^2	压强平方平均值 $\bar{P}^2/(10^3\text{Pa})^2$	条纹数与压强乘积平均值 $\bar{K}\bar{P}/10^3$ Pa
27	19.980	1 026	520.344	349.800
截距 a_1	截距标准差 σ_{a_1}	斜率 b_1	斜率标准差 σ_{b_1}	回归系数 r_1
37 221.818 2	112.685 7	- 638.585 8	3.517 9	- 0.999 8

2.2 Origin 软件拟合实验数据和作图

在 Origin 软件界面中调入实验测量数据,选择拟合函数形式,整理后得图 2.

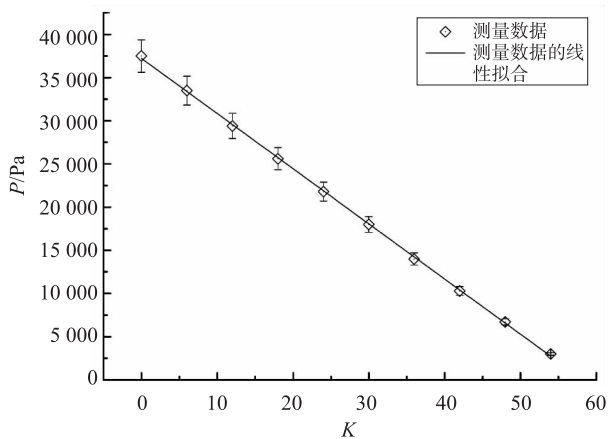


图2 Origin线性拟合实验数据

采用 Origin 软件线性拟合实验数据得到各个参数值,结果见表 3. 从表 3 可以看出, $a_2, \sigma_{a_2}, b_2, \sigma_{b_2}, r_2$ 分别与表 2 的 $a_1, \sigma_{a_1}, b_1, \sigma_{b_1}, r_1$ 吻合得很好.

表 3 Origin 软件线性拟合实验数据的参数

截距	截距标准差	斜率	斜率标准差	回归系数
37 221.818 2	112.685 7	- 638.585 9	3.517 9	- 0.999 8

2.3 空气折射率的计算

从以上两种方法处理数据的结果可知,Origin 软件对实验数据的线性拟合与最小二乘法对实验数据处理的结果完全相符合. 由图 2 可知,直线的斜率为:

$$\left| \frac{\Delta P}{\Delta K} \right| = \hat{b} = 638.585\,9,$$

(5)

将(5) 式代入(3) 式,得空气折射率的计算公式为:

$$\hat{n} = 1 + \frac{\lambda}{2d} \frac{1}{\hat{b}} P. \quad (6)$$

折射率 n 的不确定度为:

$$u(\hat{n}) = \frac{\lambda P}{2d} \frac{1}{\hat{b}^2} u(\hat{b}). \quad (7)$$

将 $P = 80\,800.0\text{ Pa}^{[6]}$, $\lambda = 6.238 \times 10^{-7}\text{ m}$, $d = 0.2\text{ m}$, $u(\hat{b}) = 3.5179$ 分别代入(6)式和(7)式,得 $\hat{n} = 1.000\,197$ 和 $u(\hat{n}) = 0.000\,001$.

所以本地空气折射率为 $n = 1.000\,197 \pm 0.000\,001$.

3 误差分析

取实验室温度为 20°C , 压强 $P_0 = 80\,800.0\text{ Pa}$, 代入式(4)得 $n_t = 1.000\,217$, 因此实验数据的相对误差为:

$$\frac{|\hat{n} - n_t|}{n_t} \times 100\% = \frac{|1.000\,197 - 1.000\,217|}{1.000\,217} \times 100\% = 0.002\%.$$

分析实验误差的来源, 本文认为主要来源于 3 个方面:

1) 人为因素. 在玻璃空气室放气过程中, 若放气速度快, 干涉条纹“冒出”速度太快, 则会多读或少读干涉条纹的个数.

2) 环境因素. 人在实验室走动、说话和实验室周围地面的振动等因素, 均会使干涉条纹抖动, 影响对干涉条纹的读数, 因此实验中应尽量使干扰降低到最小.

3) 测量结果还与实验室温度有关. 为此本文选

择用(4)式作为误差分析的依据.

4 结语

综上所述, Origin 软件线性拟合的结果与用最小二乘法线性拟合的结果吻合得很好. 用 Origin 软件进行数据拟合时, 计算与作图完全由计算机完成, 整个过程简洁高效, 图形变化趋势明显直观, 同时还避免了一系列人为因素造成的实验误差, 因此应用 Origin 软件处理实验数据是一种不错的选择. 此外, 在设计性实验中应用 Origin 软件进行教学, 有助于提高学生探索科学的兴趣, 培养学生今后独立进行科研活动的能力, 可以达到事半功倍、举一反三的教学效果.

[参考文献]

- [1] 陈正维. 一元线性问题中的实验标准差[J]. 大学物理, 2004, 23(6): 35-36.
- [2] 籍延坤, 焦志伟. 牛顿环实验的一种数据的处理方法[J]. 物理与工程, 2000, 10(5): 40-42.
- [3] 胡素梅, 陈海波. 基于 Origin 的牛顿环实验数据处理方法[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 2006, 27(6): 51.
- [4] 林抒, 龚镇雄. 普通物理实验[M]. 北京: 人民教育出版社, 1981: 399.
- [5] 董晓菲. 迈克耳逊干涉仪测空气折射的原理[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2016, 34(6): 1038.
- [6] 百度文库. 海拔与大气压对照表[EB/OL]. [2017-04-15]. <https://wenku.baidu.com/view/02cc1ac9767f5acfa0c7cd64.html>.

(上接第 97 页)

[参考文献]

- [1] 赵凯华, 陈熙谋. 电磁学[M]. 北京: 高教出版社, 2003: 94-98.
- [2] 沈犁理, 钟寿仙. 圆电流所包围的平面内磁感应强度的分布[J]. 昆明师专学报, 1997, 12(2): 46-47.
- [3] 胡邵宗. 椭圆积分的计算及其应用[J]. 大学数学, 2013, 29(1): 111-113.
- [4] 张玉明, 威博云. 电磁学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008: 213-226.
- [5] 杨述武, 赵立竹, 沈国土. 普通物理实验 2: 电磁学部分[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2011: 126-132.