

利用旋转液体特性测液体折射率方法的改进

唐军杰, 刘传斌, 游君昱, 王爱军, 赵 昆, 吴 冲

(中国石油大学理学院, 北京 102249)

摘 要: 利用旋转液体的特性测量液体的折射率。在以前测量方法的基础上, 经过理论推导后得到更简洁、更方便的测量方法。测量结果表明, 改进后的测量方法由于所测变量的个数减少, 以及所选择的测量光点位置不同, 在相同的测量条件下测量结果更加精确。

关键词: 折射率; 光学; 旋转液体

中图分类号: O435.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1002-4956(2013)03-0060-02

Improvement of method of measuring refractive index by using rotating liquid characteristics

Tang Junjie, Liu Chuanbin, You Junyu, Wang Aijun, Zhao Kun, Wu Chong

(College of Science, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Liquid refractive index can be measured using rotating liquid characteristics. A method, more concise and more convenient, can be gotten after theoretical derivation based on the previous measurement method. The measurement results show that the improved measuring method is more accurate, due to a reduction in the number of variables and the choice of the measuring light spot position being different.

Key words: refractive index; optics; rotating liquid

当圆柱形容器里装有的透明液体绕容器中心对称轴匀速转动时, 旋转液体的表面在容器壁的拖动及液体内的黏滞作用下呈现抛物面状。利用旋转液体的特性可以研究抛物面所呈现的光学性质, 可测量重力加速度及液体的折射率^[1-3]。文献[4]中测量液体折射率的方法需要测量的量的个数多且方法繁杂; 对透明屏幕的水平调节存在一定的困难, 导致液体底部到透明屏幕的距离的测量带来的误差太大; 平面镜对激光束反射的光点打在抛物液面与圆柱容器侧壁的交线上的稳定性差, 不易观察, 影响角速度的测量。本文中在文献[4]方法的基础上进行理论推导, 得到一种更简洁、易操作、测量结果更准确的测量液体折射率的方法。

1 测量装置

如图1所示, 将盛有透明液体的容器置于装有转动装置的转盘上, 转盘的底部装有霍尔感应片, 用来测

量转盘转动的周期。为了使入射到容器底部的光线反射加强, 在容器底部镶装一平面镜。旋转液体周期测量仪用来调节转动系统的转动角速度、给激光器提供电源, 并与转盘底部的霍尔感应片相连接来测量转盘的周期。转盘置于装有气泡水平仪(调节底部水平)的底座上。

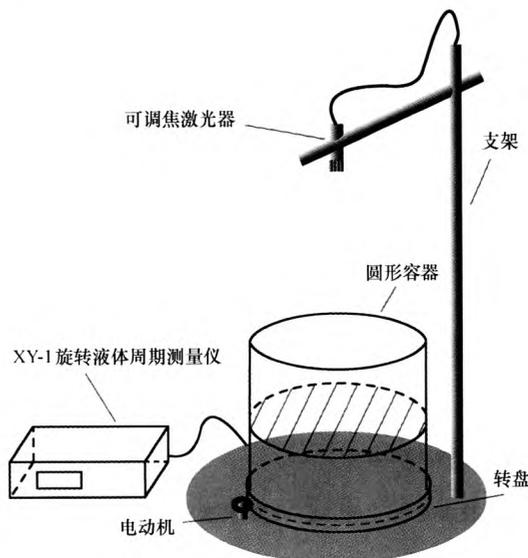


图1 旋转液体测折射率装置

收稿日期: 2012-06-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60778034)

作者简介: 唐军杰(1976—), 男, 湖南永州, 硕士, 工程师, 物理实验教学中心副主任, 从事大学物理实验教学与研究。

E-mail: tang@cup.edu.cn

2 原理

设水平方向为 x 轴,垂直水平面向上为 y 轴,如图 2 所示。半径为 R 的圆柱形容器中盛有静止时高度为 h_0 的液体。当容器绕对称轴 OO' 匀速转动时,由旋转液体的性质,激光束从距离中心 $R/\sqrt{2}$ 处竖直入射,则有 $AB = h_0$ ^[5]。抛物面上任意一质点满足方程^[6-12]:

$$\tan \theta = \frac{\omega^2 x}{g} \quad (1)$$

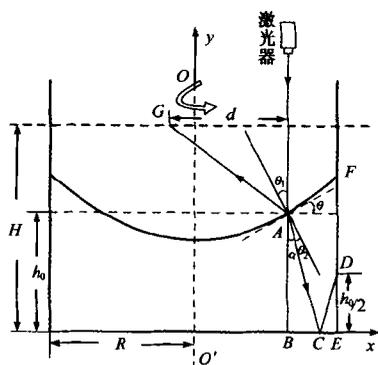


图 2 旋转液体截面及光路图

抛物面的截面方程:

$$y = \frac{\omega^2 x^2}{2g} + y_0 \quad (2)$$

在图 2 中,入射光线在 A 点同时发生反射、折射,反射光线为 G,折射光为 AC,G 点到入射光线的距离为 d ,折射光线与对称轴的夹角为 α , θ_1 和 θ_2 分别为入射角和折射角。设液体的折射率为 n ,由折射定律有

$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (3)$$

因 $x = R/\sqrt{2}$,由(1)式有

$$\theta_1 = \arctan \frac{\omega^2 R}{\sqrt{2}g} \quad (4)$$

在文献[6]中,光线经容器底部的平面镜反射,反射光线交容器壁于 F 点,F 点位于液体抛物面与容器壁的交线上,为不确定点,不易测量其高度;同时还得测量半透明屏幕上反射光线到入射光线的距离和液体底面到半透明屏幕的高度 H 。本文假设反射光线 CD 交容器壁于距离液体静止时高度的一半处,即 D 处,由几何关系易得 $\triangle ABC \sim \triangle DEC$,则有 $BC = 2CE$,故有

$$\tan \alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{2/3 BE}{AB} = \frac{(2 - \sqrt{2})R}{3h_0} \quad (5)$$

$$\alpha = \arctan \frac{(2 - \sqrt{2})R}{3h_0} \quad (6)$$

由图 2 可知:

$$\theta_2 = \theta_1 - \alpha \quad (7)$$

3 测量内容

用游标卡尺(精度为 0.02 mm)测量出圆柱形容器的直径 $2R$ 。调节平台下的螺钉,利用气泡水平仪使底座平台水平。在容器中装入甘油,利用自准法调节激光器,使其发出的激光与对称轴严格平行,水平移动激光器,将竖直光线平移至距容器底面圆心 $R/\sqrt{2}$ 点处。用直尺测出液体静止时液面到容器底部的距离 h_0 ,然后在容器壁的 $h_0/2$ 处套一橡皮筋标以记号。打开电动机并调节电动机转速,使经容器底部的平面镜反射的光线在系统稳定后刚好打在橡皮筋上,记下 XY-1 旋转液体周期测量仪计时器上显示的容器旋转 20 周所用时间 $20T$ (T 为周期)。改变液面高度 h_1 ,重复上述过程,将所得实验数据记入表 1。 $R = 5.564$ cm,当地重力加速度 $g = 980.15$ cm/s²。

表 1 实验测量及计算数据

h_0/cm	$20 \times T/\text{s}$	$\omega^2/(\text{rad}^2 \cdot \text{s}^{-2})$	$\alpha/(\text{°})$	$\theta_1/(\text{°})$	$\theta_2/(\text{°})$	n
5.13	9.52	174.24	11.96	34.97	23.01	1.466
5.13	9.61	170.99	11.96	34.46	22.51	1.478
5.13	9.57	172.42	11.96	34.69	22.73	1.473
5.13	9.63	170.28	11.96	34.35	22.40	1.481
5.13	9.60	171.34	11.96	34.52	22.56	1.477
4.10	8.46	220.64	14.84	41.53	26.69	1.476
4.10	8.42	222.74	14.84	41.80	26.96	1.470
4.10	8.44	221.68	14.84	41.66	26.82	1.473
4.10	8.50	218.57	14.84	41.26	26.42	1.482
4.10	8.47	220.12	14.84	41.46	26.62	1.478

(下转第 77 页)

种优化循环的方法,如软件流水、循环展开;

—pm——是程序级优化,使优化器访问整个程序,了解循环次数。

表 1 显示了代码优化前的 Debug(90112B)版本和优化后的 Release(87552B)版本的效果对比。表中 t_{\max} 为最大执行时间, \bar{t} 为平均执行时间。

表 1 代码优化前后效果对比

Number	Debug		Release optimized	
	t_{\max}/ms	\bar{t}/ms	t_{\max}/ms	\bar{t}/ms
1	119.9	85.98	39.11	27.08
2	117.9	84.76	38.94	26.55
3	139.6	85.78	38.65	26.45
4	141.8	84.94	41.01	26.46
5	107.3	84.17	39.78	26.85
6	115.7	83.76	38.95	26.5
7	108.1	84.02	39.65	26.82
8	122	84.01	38.42	28.85
9	127.9	84.03	39.02	26.12
10	117.5	84.15	38.68	26.54

上述结果显示,优化以后算法的平均执行时间约为 26.82 ms,更能满足实时处理的要求。

4 结束语

以 TMS320DM642 为核心,并采用 Matlab/Simulink 的模型化开发方法,完成了图像跟踪系统算法设计、模型开发、算法实现及算法优化的整个流程,充分展现了模型化开发的优势。该实验平台既可用于科研的算法仿真与研究,也可以作为高素质创新人才培养

(上接第 61 页)

4 结果及分析

在两种高度下所测甘油的折射率的平均值为 1.475,与室温条件下甘油折射率的公认值 1.473 比较,相对误差为 0.1%,非常接近公认值,这说明用本文的方法测量液体折射率值准确。

5 结束语

本文对利用旋转液体特性测量液体折射率的方法进行改进,改进后的方法简单、易操作。同时间接测量变量的个数减少,只需测 2 个,测量的结果更加准确,将测量结果与公认值比较的相对误差提高到了 0.1%。

参考文献(References)

[1] 晏湖根,袁野,陆申龙. 一个集力学和光学实验于一体的综合物理实验[J]. 大学物理实验,2003,16(3): 1-5.

的实践平台,目前已经在 我校电子信息技术实验中心投入使用,主要面向高年级本科生和研究生。

参考文献(References)

- [1] 李培华. 序列图像中运动目标跟踪方法[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [2] 刘杰. 基于模型的设计及其嵌入式实现[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.
- [3] 姚俊,马松辉. Simulink 建模与仿真[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2002.
- [4] 闫雪梅,赵保军. 基于 DSP 的图像综合信息教学实验系统的开发[J]. 实验技术与管理,2005,22(12):42-43,59.
- [5] 李位星,潘峰,周凯. 基于 DM642 的运动目标自动跟踪实验平台研制[J]. 实验科学与技术,2011,9(5):39-42.
- [6] 李颖. Simulink 动态系统建模与仿真[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2009.
- [7] 赵建春,李文举,王新年. 基于 Simulink 的车牌识别系统仿真平台[J]. 计算机工程与设计,2009,30(5):1154-1156.
- [8] 袁少强,陈砾,李行善. 基于 RTW 的半实物仿真环境研究与应用[J]. 仪器仪表学报,2006, 27(增刊):2585-2586.
- [9] Lipton A, Fujiyoshi H, Patil R. Moving target classification and tracking from real-time Video [C]//Proc of the 4th IEEE on WACV. 1998:8-14.
- [10] Li Xiaoping, Li Tao, Ling Feng, et al. Research on motion detection and target contour extraction in wearable video system[C]//2010 Asia-Pacific Conference on Wearable Computing Systems. 2010:90-93.
- [11] 邱道尹,张文静,顾波,等. 帧差法在运动目标实时跟踪中的应用[J]. 华北水利水电学院学报,2009,30(3):45-46.
- [12] 刁一平,赵晓群. 基于 TI C6000 DSP 的 C/C++ 语言代码效率优化[J]. 微计算机应用,2007,28(5):544-548.
- [2] 沈易,陆申龙. 第 32 届国际物理奥林匹克竞赛力学与光学综合实验题解答与分析[J]. 物理实验,2001,21(11): 26-28.
- [3] 袁野,晏湖根,陆申龙,等. 旋转液体实验装置的设计[J]. 物理实验,2004,24(2): 43-46.
- [4] 高严,范凯,王爱军,等. 利用旋转液体特性测量液体折射率[J]. 物理实验,2007,27(7): 42-44.
- [5] 包弈靓,黄吉,陆申龙. 新型旋转液体实验:介绍一个研究性物理实验[J]. 大学物理,2003,22:(3) :27-30.
- [6] 沈易,陆申龙. 第 32 届国际物理奥林匹克竞赛力学与光学综合实验题解答与分析(续)[J]. 物理实验,2001,21(12): 29-34.
- [7] 贾起民,郑永令. 力学:上册[M]. 上海:复旦大学出版社,1989: 116-117.
- [8] 孙为,唐军杰,王爱军,等. 大学物理实验[M]. 东营:中国石油大学出版社,2007:79-84.
- [9] 陈红雨. 旋转液体综合实验设计[J]. 大学物理,2007,26(1):29-33.
- [10] 霍中生,祖小涛,陈群宇,等. 旋转液体特性实验的改进[J]. 实验科学与技术,2009,7(3):46-48.
- [11] 章志鸣,沈元华,陈惠芬. 光学[M]. 北京:高等教育出版社,1995.
- [12] 谷超豪. 数学词典[M]. 上海:上海辞书出版社,1992:182-183.