

利用旋转液体特性测量液体折射率

高 严¹ 范 凯¹ 王爱军² 唐军杰²

(1. 中国石油大学(北京)资源与信息学院,北京 102249;

2. 中国石油大学(北京)数理系,北京 102249)

摘 要: 在 XY-1 型旋转液体实验仪的圆柱形容器底部加装了圆形平面镜,利用旋转液体的几何特性和折射定律,即可测量液体的折射率。

关键词: 旋转液体 旋转抛物面 折射率

中图分类号: O351; O552.423

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2007)07-0042-03

1 引 言

盛有液体的圆柱形容器绕其圆柱面的对称轴匀速转动时,旋转液体的表面将成为抛物面。抛物面的参数与重力加速度有关,利用此性质可以测重力加速度,旋转液体的上凹面可作为光学系统加以研究,还可测定液体折射率等,因此旋转液体实验是一个内容十分丰富的综合性实验^[1-2]。但是,在旋转液体特性研究实验中测量液体折射率采用的是光栅衍射的方法,比较繁琐,没有充分运用旋转液体的特性。本文对旋转液体实验装置的圆柱形容器稍作改进,根据旋转液体的几何特性和折射定律,提出一种利用旋转液体特性测量液体折射率的方法。

2 实验原理及仪器改进

2.1 匀速旋转液体的几何性质

半径为 R 盛有液体的圆柱形容器,当圆柱体绕对称轴以角速度 ω 匀速稳定转动时,液体的表面将成为抛物面。设 x 轴为水平方向, y 轴为垂直水平面向上方向,抛物面的方程为^[1,3]

$$y = \frac{\omega^2 x^2}{2g} + h_0 - \frac{\omega^2 R^2}{4g}, \quad (1)$$

其中 $|x| \leq R$, h_0 是圆柱形容器内液体静止时液面高度, g 是重力加速度。当 $x = x_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}$ 时,由(1)式得 $y(x_0) = h_0$,即液面在 x_0 处的高度是恒定的,它不随旋转圆柱体的转动角速度改变而改变,这个

液面高度不变的圆周上的点称为不动点。

2.2 实验装置及改进

图 1 为旋转液体特性实验装置示意图。透明屏幕上有毫米坐标,用于实验中读取入射光点与反射光点的距离,屏幕可在竖直方向上下移动。圆筒侧壁有毫米刻度线,用于读取液面高度,也可以用直尺测量。圆筒底部正中央有小标识,用以确定光轴。圆形转盘由直流电动机驱动,可通过调节直流电源的电压改变液体转动的角速度。用 XY-1 旋转液体物性仪测量液体旋转周期。仪器底座有气泡式水平仪,圆柱形容器的内径用游标卡尺测量。

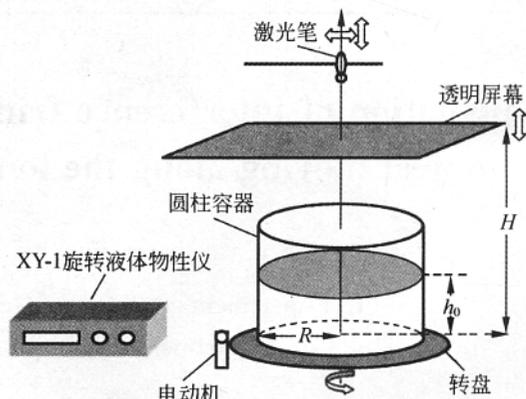


图 1 旋转液体特性实验装置示意图

为了便于测量液体折射率,在原仪器的圆柱形容器底部加装圆形平面镜,用以加强容器底面反射光线的强度。

收稿日期: 2006-12-15; 修改日期: 2007-03-19

作者简介: 高 严(1986-),男,山东日照人,中国石油大学(北京)资源与信息地质工程专业 2004 级本科生,指导教师: 王爱军(1968-),男,河北涿源人,中国石油大学(北京)数理系副教授,硕士,从事凝聚态物理研究。

万方数据

2.3 利用旋转液体特性测液体折射率实验原理

如图 2 所示, 设圆柱形容器内液体静止时液面高度为 h_0 . 当液体旋转起来后, 根据旋转液体性质, 在距圆柱形容器中心轴 $R/\sqrt{2}$ 处旋转液体的高度仍为 h_0 , 不随旋转液体的转动角速度改变而改变. 调节激光笔使让激光束竖直入射到旋转液体液面的不动点 B 处. 设入射光线为 AB , 经抛物液面反射的光线为 BC , 其中 A 和 C 分别为入射光线和反射光线与水平半透明屏幕的交点, 经过抛物面折射后的光线为 BD . θ_1 为入射光线 AB 的入射角, θ_2 为折射光线 BD 的折射角. 设液体折射率为 n , 根据折射定律有:

$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (2)$$

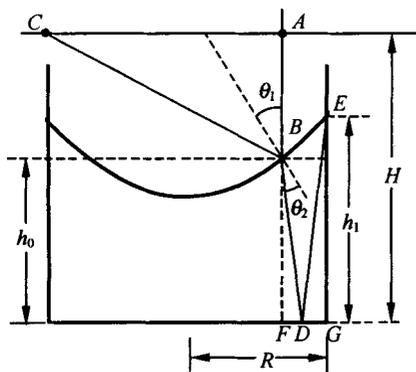


图 2 旋转液体中的光路

下面来计算 θ_1 和 θ_2 . 设 B 点在圆柱形容器底面的投影点为 F . 设经过圆柱形容器底面反射镜反射的光线为 DE , E 为反射光线 DE 和透明圆柱形容器侧壁交点, E 在圆柱形容器底面的投影为 G 点. 由图 2 有:

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \angle ABC = \frac{1}{2} \arctan \frac{\overline{AC}}{\overline{AB}}, \quad (3)$$

$$\theta_2 = \theta_1 - \angle FBD = \theta_1 - \arctan \frac{\overline{FD}}{\overline{BF}} \quad (4)$$

另有几何关系 $\triangle BDF \sim \triangle EDG$, 则有

$$\frac{\overline{FD}}{\overline{GD}} = \frac{\overline{BF}}{\overline{EG}} \quad (5)$$

又因 $\overline{GD} = \overline{FG} - \overline{FD}$, 将 \overline{GD} 和 (5) 式代入 (4) 式有:

$$\theta_2 = \theta_1 - \arctan \frac{\overline{FG}}{\overline{EG} + \overline{BF}} \quad (6)$$

设透明屏幕上部到圆柱形容器底面的距离为 H , $\overline{EG} = h_1$, $\overline{AC} = d$. 已知 $\overline{BF} = h_0$, $\overline{AB} = H - h_0$, \overline{FG} 万方数据

$= R - \frac{R}{\sqrt{2}}$ 将上述 \overline{AB} , \overline{AC} , \overline{FG} , \overline{EG} 和 \overline{BF} 的结果代入

(3) 式和 (6) 式得:

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \arctan \frac{d}{H - h_0}, \quad (7)$$

$$\theta_2 = \theta_1 - \arctan \frac{R - \frac{R}{\sqrt{2}}}{h_1 + h_0} \quad (8)$$

调节转速 ω 使点 E 恰好打在抛物液面与容器壁的交线上, 则 E 点距圆柱形容器底面的距离 h_1 满足抛物线方程 (1) 式, 则有

$$h_1 = \frac{\omega^2 R^2}{2g} + h_0 - \frac{\omega^2 R^2}{4g} = \frac{\omega^2 R^2}{4g} + h_0 \quad (9)$$

又由 $\omega = \frac{2\pi}{T}$, T 为液体旋转周期, 将 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 和

(9) 式代入 (8) 式有

$$\theta_2 = \theta_1 - \arctan \frac{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)R}{2h_0 + \frac{\pi^2 R^2}{gT^2}} \quad (10)$$

实验中只要测出 R , h_0 , d , H 和 T , 代入 (7) 和 (10) 式算得 θ_1 和 θ_2 , 再根据式 (2) 即可求得液体折射率 n .

3 实验内容

利用气泡水平仪和平台下的 3 个可调螺丝, 调节平台水平. 用游标卡尺 (精度为 0.02 mm) 测量出圆柱形容器的直径 $2R$. 利用自准法调节激光笔使其发出的激光竖直照射于液面, 然后保持激光笔的竖直状态, 将竖直光线平移到距圆柱形容器底面中心 $R/\sqrt{2}$ 处.

用直尺测量液体静止时液面到容器底部的距离 h_0 及透明屏幕到容器底面的距离 H .

打开电机并调节电机转速, 使经圆柱形容器底面平面镜反射的光线刚好打在抛物液面与圆柱形容器侧壁的交线上. 待稳定后记下 XY-1 旋转液体物性仪计时器显示的容器旋转 10 周所用时间 $10T$. 用直尺测量激光束入射光线和经抛物液面反射的光线与透明屏幕的交点之间的距离 d .

改变透明屏幕到圆柱形容器底面的距离 H 及液面高度 h_0 , 重复上述过程, 记录试验数据.

4 实验结果

待测液体为甘油, 实验测量的数据如表 1 所

示. 表 1 中 $R = 5.564$ cm.

表 1 实验测量数据

h_0/cm	H/cm	$10T/\text{s}$	d/cm	$\theta_1/(\text{ }^\circ)$	$\theta_2/(\text{ }^\circ)$	n
5.20	10.00	5.87	5.72	25.00	16.49	1.472
5.20	11.00	5.96	6.83	24.83	16.49	1.479
5.20	12.00	5.97	7.97	24.76	16.42	1.482
5.20	13.00	5.72	9.46	25.25	16.96	1.461
5.20	14.00	5.84	10.02	24.35	16.04	1.492
4.35	10.00	5.36	8.34	27.94	18.36	1.487
4.35	11.00	5.40	9.62	27.67	18.08	1.497
4.35	12.00	5.43	10.69	27.21	17.60	1.512
4.35	13.00	5.37	12.92	28.10	18.52	1.483
4.35	14.00	5.43	13.83	27.55	17.94	1.501

将 R 、 h_0 、 d 、 H 和 T 代入(7)和(10)式计算 θ_1 和 θ_2 , 再根据(2)式计算液体折射率 n . 实验测得甘油折射率的平均值为 1.487. 与室温条件下甘油折射率的公认值 1.473 比较, 相对差为 0.9%.

说明该方法测透明液体折射率是可行的.

5 结束语

本文对旋转液体实验装置的圆柱形容器稍作改进, 根据旋转液体的几何特性和折射定律, 提出一种测量液体折射率的新方法. 新方法原理简单, 仪器改进非常容易, 只需在原有实验装置中添加平面反射镜即可. 用这种新方法测液体折射率是对旋转液体特性研究实验实验内容的一个很好的扩充.

参考文献:

- [1] 包奕靓, 黄吉, 陆申龙. 新型旋转液体实验[J]. 大学物理, 2003, 22(2): 27~30.
- [2] 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.
- [3] 贾起民, 郑永令. 力学(上册)[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1989. 116~117.

Refractive index of liquids determined by rotating liquid method

GAO Yan¹, FAN Kai¹, WANG Ai-jun², TANG Jun-jie²

(1. Department of Resource and Information, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China;
2. Department of Mathematics and Physics, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China)

Abstract: The XY1-type rotating liquid apparatus is modified by adding circular plane mirror under the cylindrical glass bottom. The refractive index of liquids can be measured using the geometric characteristic of rotating liquid and the Fresnell reflective law.

Key words: rotating liquid; rotating parabolic; refractive index

[责任编辑 郭伟]