



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106443809 A

(43)申请公布日 2017. 02. 22

(21)申请号 201611019793.7

(22)申请日 2016.11.17

(71)申请人 济南大学

地址 250022 山东省济南市南辛庄西路336号

(72)发明人 高丽 高玲玲 何为凯 何羽民 张浩杰 解子阳 王佑枝 孙鹏

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

代理人 张勇

(51)Int. Cl.

G01V 7/04(2006.01)

G01V 7/00(2006.01)

G09B 23/08(2006.01)

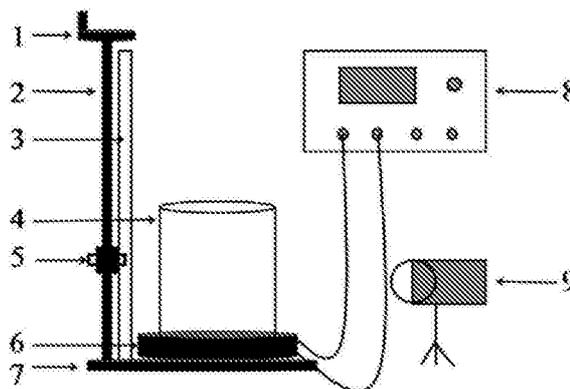
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统及方法,系统包括转速控制模块、激光器、摄像头和转动装置,其中,所述转动装置包括支架,所述支架上固定有距离测量模块,所述支架上设置有沿支架移动的移动模块,所述支架底端设置有旋转托盘,托盘上放置有盛水器,所述转速控制模块控制旋转托盘旋转,所述移动模块上放置有激光器,所述摄像头采集激光穿过盛水器中旋转液体凹液面的激光光路图像。所述摄像头连接有处理器,所述处理器接收不同高度的激光出射图像。本发明实验现象为激光光路是否反射,实验现象明确而明显。



1. 一种基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统,其特征是:包括转速控制模块、激光器、摄像头和转动装置,其中,所述转动装置包括支架,所述支架上固定有距离测量模块,所述支架上设置有沿支架移动的移动模块,所述支架底端设置有旋转托盘,托盘上放置有盛水器,所述转速控制模块控制旋转托盘旋转,所述移动模块上放置有激光器,所述摄像头采集激光穿过盛水器中旋转液体凹液面的激光光路图像,所述摄像头连接有处理器,所述处理器接收不同高度的激光出射图像。

2. 如权利要求1所述的一种基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统,其特征是:所述支架为丝杆。

3. 如权利要求2所述的一种基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统,其特征是:所述移动模块通过调平螺丝活动固定在丝杆上。

4. 如权利要求1所述的一种基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统,其特征是:所述盛水器盛装有透明液体,所述透明液体内加入有黑墨水。

5. 如权利要求1所述的一种基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统,其特征是:旋转过程中,激光光路在水面发生折射,以判断最高点和最低点。

6. 如权利要求1所述的一种基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统,其特征是:所述处理器根据不同高度激光的出射图像,获得红色通道的总强度,同一组照片的红色激光强度做归一化以判断高度差。

7. 基于如权利要求1-6中所述的系统的测量方法,其特征是:包括以下步骤:

(1) 盛水器中加入液体,调节激光的水平,打开激光器,转使激光头缓慢向上移动,并调节入射角度,使其在液面上出现完整的光路,因液面横平,此时激光水平出射;

(2) 使旋转托盘旋转,待旋转稳定后,向上缓慢移动调节后的激光头,在下方水平出射部分取样;

(3) 在接近凹液面处,进行密集取样,获取得到的凹液面最低点;

(4) 在此凹液面范围内光线发生偏折位置以间距采集图像;

(5) 利用处理器得到高度与光强的图像,从图像中得到高度差;

(6) 改变不同转速,进行多次计算,得到竖直高度和激光出射功率的对应数据。

8. 如权利要求7所述的测量方法,其特征是:所述步骤(1)中,液体按照2:1000的比例添加黑墨水。

9. 如权利要求7所述的测量方法,其特征是:所述步骤(6)中,通过数字图像处理获得激光通道的总强度,同一组照片的激光强度做归一化以判断高度差。

基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统及方法。

背景技术

[0002] 三百多年前,由牛顿等人实验的水桶实验发现,当水桶中的水在旋转时,水会形成漩涡。旋转的液体其表面形状为一个抛物面,这是由地球的重力引起的。于是我们就可以用这一点测量重力加速度。

[0003] 在实验系统中,一个盛有液体半径为R的圆柱形容器绕该圆柱体的对称轴以角速度 ω 匀速稳定转动时,液体的表面形成抛物面。

[0004] 设液体未旋转时液面高度为h,液体的体积为:

$$[0005] \quad V = \pi R^2 h \quad (1)$$

[0006] 因液体旋转前后体积保持不变,旋转时液体体积可表示为:

$$[0007] \quad V = \int_0^R y(2\pi x) dx = 2\pi \int_0^R \left(\frac{\omega^2 x^2}{2g} + y_0 \right) x dx \quad (2)$$

[0008] 由(2)、(3)式得:

$$[0009] \quad y_0 = h - \frac{\omega^2 R^2}{4g} \quad (3)$$

[0010] 设液面最高处与最低处的高度差为 Δh ,点 $(R, y_0 + \Delta h)$ 在液面的抛物线上,即

$$y_0 + \Delta h = \frac{\omega^2 R^2}{2g} + y_0 \quad \text{所以推得}$$

$$[0011] \quad g = \frac{\omega^2 R^2}{2\Delta h} = \frac{\pi^2 D^2}{2T^2 \Delta h} \quad (4)$$

[0012] 将 Δh 、D、T测出,带入(4)式求得g。

[0013] 在原有的旋转液体综合实验仪中,利用旋转液体高度差测量重力加速度,实验仪器在由速度控制调节模块控制的转动平台上安装具有上下刻度的透明水桶,旋转速度由测速和显示模块控制及显示读取,旋转过程中最高点和最低点的高度差由透明水桶上的刻度纸或侧边支架上的直尺目测读取。

[0014] 现有实验中是根据肉眼看旋转液体的最凹面和最高处对应的刻度线或侧边支架的直尺读数,这样就会存在两个明显的问题。首先,仪器本身精确度不高,读数网格是手动贴在水桶上的,网格是否水平并没有任何校对方式,当水桶开始旋转之后,网格的坐标线往往不是水平的。其次,实验现象模糊,肉眼读数误差较大,水桶中的水为透明的,旋转后上下边界并不十分清晰,且肉眼观察旋转的东西容易疲劳,而读数又是利用数贴在水桶壁上的没有数值的网格,这又给实验数据带来了极大的误差,旋转页面的最低点和最高点判断困难,坐标纸模糊,读数误差很大。

发明内容

[0015] 本发明为了解决上述问题,提出了一种基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统及方法,本发明利用激光的反射和折射原理精确测量旋转液体的高度差,高度差的读取可以利用目测实验现象或读取激光功率计的读数判断或图像分析激光亮度获得,精确度大大提高,进而计算重力加速度。

[0016] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0017] 一种基于激光测量旋转液体高度差的重力加速度实验系统,包括转速控制模块、激光器、摄像头和转动装置,其中,所述转动装置包括支架,所述支架上固定有距离测量模块,所述支架上设置有沿支架移动的移动模块,所述支架底端设置有旋转托盘,托盘上放置有盛水器,所述转速控制模块控制旋转托盘旋转,所述移动模块上放置有激光器,所述摄像头采集激光穿过盛水器中旋转液体凹液面的激光光路图像。所述摄像头连接有处理器,所述处理器接收不同高度的激光出射图像。

[0018] 所述支架为丝杆。

[0019] 所述移动模块通过调平螺丝活动固定在丝杆上。

[0020] 所述盛水器盛装有透明液体,所述透明液体内加入有黑墨水。

[0021] 旋转过程中,激光光路在水面发生折射,以判断最高点和最低点。

[0022] 所述处理器根据不同高度激光的出射图像,获得红色通道的总强度,同一组照片的红色激光强度做归一化以判断高度差。

[0023] 基于上述系统的测量方法,包括以下步骤:

[0024] (1) 盛水器中加入液体,调节激光的水平,打开激光器,转使激光头缓慢向上移动,并调节入射角度,使其在液面上出现完整的光路,因液面横平,此时激光水平出射;

[0025] (2) 使旋转托盘旋转,待旋转稳定后,向上缓慢移动调节后的激光头,在下方水平出射部分取样;

[0026] (3) 在接近凹液面处,进行密集取样,获得到的凹液面最低点;

[0027] (4) 在此凹液面范围内光线发生偏折位置以间距采集图像;

[0028] (5) 利用处理器得到高度与光强的图像,从图像中得到高度差;

[0029] (6) 改变不同转速,进行多次计算,得到竖直高度和激光出射功率的对应数据。

[0030] 所述步骤(1)中,液体按照2:1000的比例添加黑墨水。

[0031] 所述步骤(6)中,通过数字图像处理获得激光通道的总强度,同一组照片的激光强度做归一化以判断高度差。

[0032] 本发明的有益效果为:精确度高,激光的横平可以使用调整螺丝调节,而其高度则采用对应的高精度直尺,不收液体桶旋转的影响。实验现象明确,实验中激光光路是否发生改变清晰可见,实验现象明确而明显易观测,不再是肉眼估读旋转的液体。读数简单,误差小,MATLAB数据处理准确。解决了筒在旋转中读数困难且不精确的问题,固定的刻度尺读数方便、准确。处理摄像头拍摄的照片后,数据测量误差更小。

附图说明

[0033] 图1是本发明结构示意图;

[0034] 图2是本发明的不同高度的激光出射功率曲线示意图。

[0035] 其中,1为丝杆螺进旋柄,2为丝杆,3为高精度直尺,4为透明水桶,5为固定在移动模块上的激光器及调平螺丝,6为旋转托盘,7为底盘,8为转速控制仪,9为摄像头。

具体实施方式:

[0036] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0037] 现有实验中是根据肉眼看旋转液体的最凹面和最高处对应的刻度线或侧边支架的直尺读数,这样就会存在两个明显的问题。首先,仪器本身精确度不高,读数网格是手动贴在水桶上的,网格是否水平并没有任何校对方式,当水桶开始旋转之后,网格的坐标线往往不是水平的。其次,实验现象模糊,肉眼读数误差较大,水桶中的水为透明的,旋转后上下边界并不十分清晰,且肉眼观察旋转的东西容易疲劳,而读数又是利用数贴在水桶壁上的没有数值的网格,这又给实验数据带来了极大的误差。旋转页面的最低点和最高点判断困难,坐标纸模糊,读数误差很大。

[0038] 从历年实验数据分析调研得知,本实验结果误差都较大,主要是高度差读取不准确,基本实验数据分析的误差都在20%左右,误差小于5%的非常少。以下为使用旧装置所测得的一组数据:

[0039]

	1	2	3	4	5	6	平均值
D/cm	11.67	11.69	11.64	11.68	11.65	11.63	11.66
T/s	0.524	0.707	0.664	0.565	0.482	0.416	-----
$\Delta h/cm$	2.00	0.80	1.30	1.70	2.30	3.40	-----
$g = \frac{\pi^2 D^2}{2T^2 \Delta h} (m/s^2)$	12.238	13.864	11.665	12.405	12.534	11.344	12.342
$g_{\text{标}} = 9.797 (m/s^2)$	$E = \frac{ g - g_{\text{标}} }{g_{\text{标}}} \times 100\% = 26\%$						

[0040] 本发明中的实验装置利用激光的反射和折射原理精确测量旋转液体的高度差,实验现象为激光光路是否反射,实验现象明确而明显,读数利用丝杆上固定的高精度直尺,读数清晰且准确度高,高度差的读取除了可以利用目测实验现象外,还可以用记录出射激光图像的相机所拍摄照片,分析激光亮度获得,数据处理后精确度大大提高。

[0041] 激光在乳浊液和胶体中会发生廷德耳散射,通过实验发现用黑墨水溶液这种现象比较明显,并且在旋转过程中,黑墨水性质稳定,激光光路一直很明显。

[0042] 为观测激光的光路,在透明的水中加入一定比例的黑墨水,激光光路清晰可见,将

激光从一侧水平入射,激光是否水平利用激光头的三个螺丝调整激光水平入射横平静止水面。激光头和调整螺丝固定在丝杆固定物块上,旋转丝杆上端的螺进旋柄,激光头可上下移动,其位置通过丝杆旁的直尺读出。在激光器的另一侧放置一个摄像头,用于拍摄不同高度的出射激光照片,然后再用Matlab处理照片得到竖直高度和激光出射功率的对应数据。

[0043] 由于激光的反射和折射现象,旋转过程中,激光光路在水面发生明显的折射,可以很明显的判断最高点和最低点,实验现象明显易判断。同时,在另一侧正对着激光器放置一个摄像头,拍摄出射激光的功率,如激光位置未进入旋转液体凹液面,则激光光路穿过水桶中的水(下侧)或空气(上侧),光路不会发生折射,摄像头拍摄图像的亮度较高,如激光位置进入旋转液体凹液面,由于激光在水凹面发生反射,激光光路发生明显变化,摄像头拍摄图像的亮度也显著降低。从明显的光路改变和图像的亮度计算来确定最低点和最高点,并计算高度差。

[0044] 不同高度激光的出射照片导入Matlab程序后,通过数字图像处理获得红色通道的总强度,同一组照片的红色激光强度做归一化以判断高度差。高度差读取时,选取激光变化过程中间为高度差的最高点和最低点,从曲线坐标图中读取高度差,如图2所示。

[0045] 使用本装置的实验步骤:

[0046] 1.用游标卡尺测量圆筒的内径。

[0047] 2.将圆筒用气泡式水平仪调节水平,然后在圆筒中加入适量的水,水面高度离筒口3-5cm为宜,并按照2:1000的比例添加黑墨水,搅拌均匀。

[0048] 3.调节激光的水平,打开半导体激光器,转动丝杆使激光头缓慢向上移动,并调节入射角度,使其在液面上出现完整的光路,因液面横平,此时激光水平出射。

[0049] 4.打开机电源,待圆桶及水面旋转稳定后,向上缓慢移动调节后的激光头,在下方水平出射部分可进行简单取样,少拍几组照片。

[0050] 5.在接近凹液面处,进行密集取样,多拍取几张照片,使得到的图像更加完整精确,更准确得到的凹液面最低点。

[0051] 6.再向上移动,在此凹液面范围内光线发生偏折可选取适当的间距来拍取照片。

[0052] 7.用Matlab处理照片得到高度与光强的图像,从图像中得到高度差。

[0053] 8.改变不同转速,拍取多组照片。

[0054] 使用本装置的实验数据:

[0055] 改进后,实验数据测量过程中实验现象明显,读数方便,且通过超过多组实验验证,其实验误差均在5%左右,不仅有利于实验现象的观测,而且实验数据误差大大减小,如下是其中几组数据:

[0056]

	1	2	3	4	5	6	平均值
D/cm	11.67	11.69	11.64	11.68	11.65	11.63	11.66
T/s	0.348	0.371	0.398	0.427	0.500	0.567	
$\Delta h/cm$	5.425	5.423	4.190	3.530	2.450	2.370	

[0057]

$g = \frac{\pi^2 D^2}{2T^2 \Delta h} \text{ m/s}^2$	10.229	10.323	10.126	10.126	10.241	8.821	9.977
$g_{\text{标}} = 9.797 \text{ (m/s}^2\text{)}$	$E = \frac{ \bar{g} - g_{\text{标}} }{g_{\text{标}}} \times 100\% = 1.84\%$						

[0058]

	1	2	3	4	5	6	平均值
D/cm	11.67	11.69	11.64	11.68	11.65	11.63	11.66
T/s	0.556	0.522	0.417	0.502	0.453	0.541	
$\Delta h/\text{cm}$	2.5	2.8	3.9	2.8	3.0	2.6	
$g = \frac{\pi^2 D^2}{2T^2 \Delta h} \text{ (m/s}^2\text{)}$	8.769	8.839	9.859	9.541	10.878	8.771	9.443
$g_{\text{标}} = 9.797 \text{ (m/s}^2\text{)}$	$E = \frac{ \bar{g} - g_{\text{标}} }{g_{\text{标}}} \times 100\% = 3.6\%$						

[0059]

	1	2	3	4	5	6	平均值
D/cm	11.65	11.69	11.67	11.66	11.65	11.64	11.66
T/s	0.622	0.572	0.473	0.432	0.401	0.385	
$\Delta h/\text{cm}$	2.0	2.3	3.5	4.0	4.2	4.5	
$g = \frac{\pi^2 D^2}{2T^2 \Delta h} \text{ (m/s}^2\text{)}$	8.658	8.961	8.583	8.988	9.917	10.024	9.189
$g_{\text{标}} = 9.797 \text{ (m/s}^2\text{)}$	$E = \frac{ \bar{g} - g_{\text{标}} }{g_{\text{标}}} \times 100\% = 6.2\%$						

[0060] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

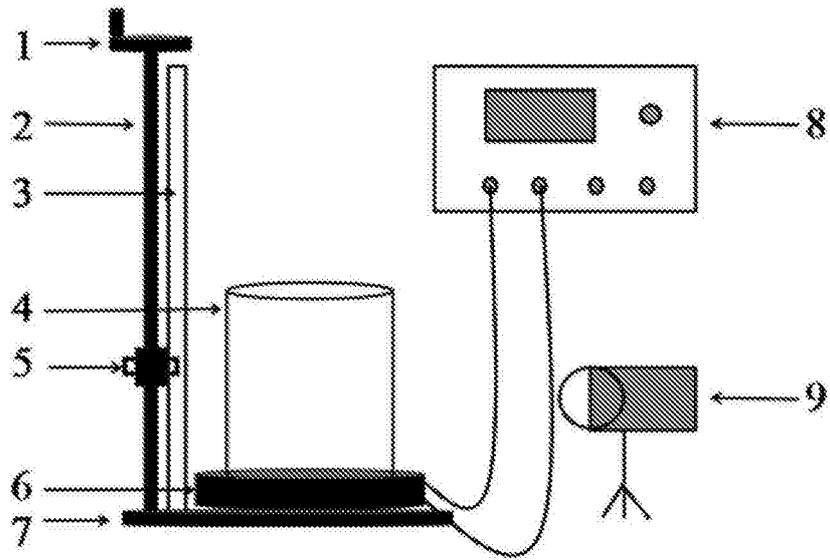


图1

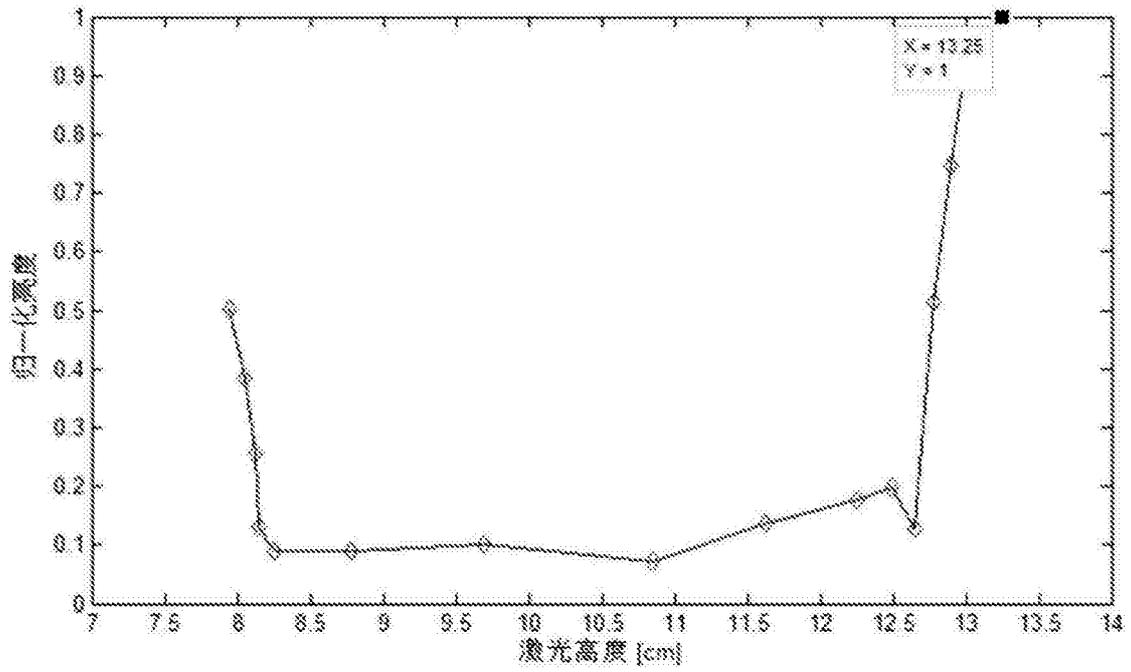


图2