

迈克尔逊干涉仪测量液体的折射率 及仪器调节方法^{*}

袁剑辉 周烈生 赵福利 董 雅

(中山大学物理系, 广州 510275)

摘 要: 本文介绍了用迈克尔逊干涉仪测量液体折射率的方法, 原理简单. 在干涉仪导轨上平放一方形玻璃容器, 内装待测液体, 动镜铅垂地浸没在液体中. 通过测出动镜在液体内的移动量及其相应的干涉条纹变化数, 就能计算液体的折射率, 有较高的测量精度. 本文详细分析了干涉仪上分光板的反射光通过空气、玻璃、液体, 由反射镜反射后出现的多个反射光点, 只有通过对这些反射光点的调节, 才能得出干涉条纹并符合计算公式的要求.

关键词: 迈克尔逊干涉仪, 液体, 折射率, 反射光点.

Measurement of Liquid Refractive Index with Michelson Interferometer and Regulation of the Instrument

Yuan Jianhui Zhou Lisheng Zhao Fuli Dong Ya

(Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Abstract The method of measuring liquid refractive index with Michelson interferometer has been introduced. On the track of interferometer we lay a cuboid container filled with liquid to be measured and the movable mirror was dipped in liquid vertically. By measuring the displacement of the movable mirror and the number of the fringes changed, can we calculate the refractive index of the liquid. It give a comparative high precision. We have analysed several reflected bright spots which caused by air, liquid and glass. Only by regulating those reflected spots, can we got interference fringes and make the calculation satisfied.

Keywords Michelson interferometer, liquid, refractive index, reflected bright spot.

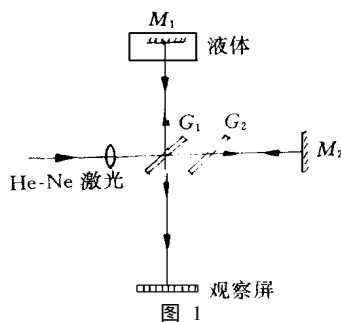
一、引 言

迈克尔逊干涉仪是一种较为精密的测量仪器, 不少文献都有介绍用它测量气体、固体折射率的方法. 本文则讨论了用迈克尔逊干涉仪测量液体的折射率, 其测量原理、方法及测量附加装置都很简单, 开拓了迈克尔逊干涉仪的测量用途.

二、测量装置及原理

测量装置如图 1 所示. 将一方形玻璃容器平放在干涉仪导轨上面, 内装待测液体. 被夹固在金属板支架一端的反射镜 M_1 (可以是日常用

的小圆镜的镜片) 铅垂地放在液体中, 金属板支架的另一端则用螺丝锁紧在导轨上面的滑座上 (参见图 4). 转动粗动手轮或微动手轮可带动



^{*} 收稿日期: 1997 年 3 月 3 日

滑座,从而使反射镜 M_1 能在液体前后移动,改变光程差

激光束经短焦距透镜后投影到分光板 G_1 上,被分成反射光和透射光两束光。反射光经玻璃器壁、待测液体射向移动镜 M_1 ,透射光经补偿板 G_2 射向固定镜 M_2 ,它们经 M_1 、 M_2 反射后又经 G_1 的反射和折射在毛玻璃观察屏上会合,形成圆形干涉条纹。这两束光在中心亮纹的光程差为

$$W = k\lambda$$

中心暗纹的光程差为

$$W = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

对上两式分别求导,都得到

$$dW = \lambda dk$$

光程差变化量 dW 就是 M_1 镜在液体前后移动距离 ΔL 时引起的光程差变化 $2n\Delta L$ 。其中 n 是液体折射率; ΔL 由干涉仪上读出; dk 就是 M_1 镜移动了 ΔL 时条纹的变化数,以 Δk 来表示。因此有

$$2n\Delta L = \lambda \Delta k$$

即
$$n = \frac{\lambda \Delta k}{2\Delta L} \tag{1}$$

在测量时,调好干涉条纹后,只要读出 M_1 镜移动距离 ΔL 相对应的条纹变化数 Δk ,就能求出待测液体的折射率 n

三、仪器调节分析

入射光经分光板 G_1 反射、透射后的两束光应分别与 M_1 、 M_2 镜大致垂直,才能在毛玻璃观察屏上形成干涉条纹,因此必须进行仪器调节,使 M_1 、 M_2 分别与其入射、反射光束大致垂直,这是做好实验的重要环节。也只有在这种情况下,几何光程差 ΔL 才等于 M_1 镜的移动距离,才能用公式 (1) 来计算折射率

调节方法是,在光源前面放一小孔光阑 P ,让激光束经过小孔再投射到分光板 G_1 上。通过调节出现在小孔光阑旁边的反射点来确定 M_1 、 M_2 是否与它们的入射、反射光线垂直。

由于本实验中的反射镜 M_1 放在待测液体

中,分光板 G_1 上的反射光通过空气、玻璃、液体,射入反射镜 M_1 ,使小孔光阑旁边会出现多个反射光点,而且玻璃容器位置放得不当,也会严重影响这些光点的偏移。因此,应调节哪些光点与小孔重合? 如何调节? 这是关系到能否做好实验的问题,我们必须分析光点产生的原因。关于 G_1 的透射光被固定镜 M_2 反射后的光点分析及 M_2 镜的调节,因比较简单,这里略去不谈

先分析未放置玻璃容器,只有一反射镜 M_1 的情形

如图 2 所示,从小孔光阑 P 出来的激光束 O 经分光板 G_1 反射成为光线 a 折射后经半反射镜反射,再折射成为光线 b 。光线 a 、 b 经 M_1 镜反射后成为 a' 、 b' 。光线 a' 经 G_1 的反射、折射及半反射膜的反射、折射后成为光线 a'_1 、 a'_2 ,射在小孔光阑 P 的旁边有二个光点。同样,光线 b' 经 G_1 的反射、折射后成为光线 b'_1 、 b'_2 ,落在 P 的旁边,有二个光点。由图 2 分析可知,光线 a'_1 和 a'_2 会合在一起较亮。因此,从小孔光阑 P 出来的激光束 O 经 G_1 、 M_1 的反射、折射后落在光阑 P 旁边有三个光点,它们成为一排,其中间的光点较亮。只要调节 M_1 镜,可使中间较亮光点与小孔部重合,这时对 M_1 镜的入射光线 a 、 b 和反射光线 a' 、 b' 就和 M_1 镜垂直。

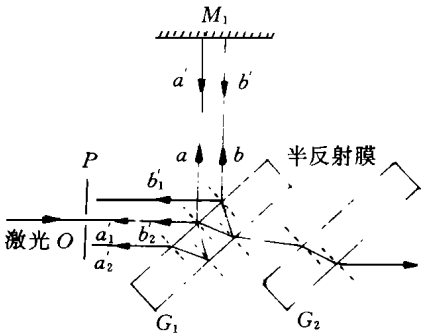


图 2

上面分析了激光束 O 经分光板 G_1 反射、折射后的光线 a 、 b 只投射反射镜 M_1 一个界面的情形。现在分析反射镜 M_1 放在待测液体中时,激光束 O 在 G_1 上的反射、折射光 a 、 b 与几个界面相遇时情况。分析时,我们必须注意到有

光的反射、折射特性。即入射角较小时,光线在界面上的反射光很弱,折射光很强。而对镀膜的反射镜,则反射光很强

图 3,由分光板 G_1 出来的光线 a, b (相应于图 2 的 a, b) 射入空气、玻璃界面时,产生了反射光束 (1),它等效于图 2 的光线 a', b' 。因此光束 (1) 经 G_1 反射、折射后,在小孔光阑 P 旁边出现含有三个光点的一排光,中间光点较亮。

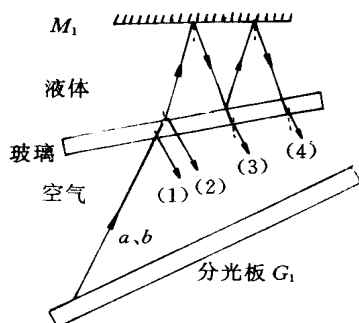


图 3

同理,光线 a, b 进入玻璃、液体界面,有反射光束 (2),它在小孔光阑 P 旁边也出现含有三个光点的一排光。

a, b 由液体射入反射镜,由于反射光较强,除了有反射光束 (3) 外,它还在液体、玻璃界面上反射并再经反射镜 M_1 反射产生光束 (4)。光束 (3) 和 (4) 经 G_1 反射、折射后在小孔光阑 P 旁边也分别出现含有三个光点的一排光。

由于玻璃壁很薄,光束 (1) 和 (2) 实际上是重合在一起。同时由于反射镜的反射系数大,光束 (3) 应最亮。因此我们在小孔光阑旁边看到的是三排光,中间一排较亮,每排有三个光点。

不难理解,当入射玻璃面和反射镜 M_1 都处于铅垂位置时,三排光会合成一排光,有九个光点。如果此时入射玻璃面和 M_1 镜平行,则九个光点会合且相互靠得最近。通过调节,可使九个光点会合成三个光点,且其中间较亮光点与小孔重合。在此情况下,由分光板 G_1 出来的光线 a, b 和入射玻璃面及 M_1 镜垂直,测量时 M_1 镜向前或向后的移动量就等于公式 (1) 中的 ΔL , 否则,不能用公式 (1) 来计算折射率。这时,只要调好固定镜 M_2 ,在光源前放上短焦距透

镜,就能在观察屏上看到干涉条纹。

以上对各种情况下的反射光点分析,均在实验中得到证实

四、附加装置

1. 方形玻璃容器的制作。可用粘合剂把较薄的平行平面玻璃板 (可用除去药膜的光谱片) 粘合而成,容器的参考尺寸是 $6 \times 4 \times 8.5 \text{ cm}$ 。粘合时要尽量使入射玻璃面与底面垂直。当把容器放在导轨上,使 M_1 在液体前后移动时, M_1 和支架都不应触及容器。

2. 支架的制作。可选一块长 25 cm , 宽 4 cm 的扁铁,其厚度 4 mm ,经除锈喷漆后弯成如图 4 所示的形状,结果令人满意,能得到稳定的干涉条纹。值得一提的是,铁板的厚度不能太薄,笔者曾用 1.5 mm 厚的扁铁做支架,由于太薄,支架的刚性不够,结果使观察到的干涉条纹无法保持稳定,尽管周围的环境很安静,也难于对干涉条纹计数。

将支架的一端用螺丝旋紧在滑座上 (滑座上已有螺丝孔,不必加工),另一端 (夹固反射镜 M_1) 应处于铅垂位置并与固定镜 M_2 垂直。否则,要重新校正。

3. 反射镜 M_1 的连接。由于测量时要把反射镜 M_1 浸没在液体中,所以已不便于将干涉仪原配套的反射镜 (镜后有三个可调螺丝) 放在液体中进行仪器调节和测量,而且容器的容积有一定的限度,也难于用手对里面的 M_1 后面的三个螺丝进行调节。简单的做法是,将日常用的小圆镜的镜片裁成一定的大小,再用金属薄片做一个圆环,用螺丝把镜子夹固在支架上,使镜子 M_1 处在铅垂位置,结果所观察到的干涉条纹的清晰度和稳定度都很理想。

五、实验调节及测量

仪器可采用杭州光学仪器厂生产的 WSM-100 或 WSM-200 型的迈克尔逊干涉仪。光源是 2 mW 的 He-Ne 激光,功率大一些更好。

先调节干涉仪的三个底脚螺丝,使仪器处于水平状态。调节 He-Ne 激光器,使光束保持

水平,入射于分光板 G_1 的中部并垂直导轨。在光源前放一小孔光阑 P ,使激光束通过小孔。

1. 将装有待测液的玻璃容器放在导轨上,然后再小心放上带 M_1 的支架,如图 4 所示。按上述对图 3 的分析,此时在小孔旁有三排反射光,每排有三个光点,其中间一排是属于 M_1 的反射光,较亮。

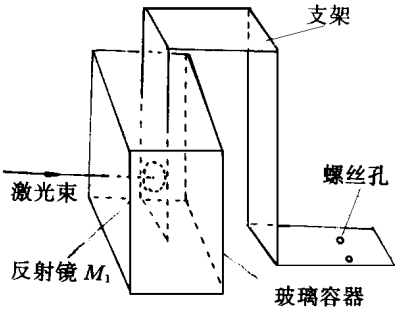


图 4

2. 小心地将各种不同厚度的纸片逐次垫在容器底部以改变入射玻璃面前后的倾斜度,这时三排光点跟着变化,当改变到入射玻璃面与 M_1 镜一样处于铅垂位置时,三排光点变成

一排,九个光点成一直线。
3. 将容器左右轻微转动,九个光点逐渐靠拢,而微动干涉仪或微调三个底脚螺丝,又可使这些光点向小孔方向移动。通过这些调节,逐渐靠拢的九个光点会合成三个光点,且其中间最亮点与小孔重合。此时入射玻璃面和 M_1 镜平行,分光板 G_1 上的反射光与入射玻璃面、 M_1 镜垂直。再微调固定镜 M_2 后面的三个螺丝,使其最亮的反射光点与小孔重合,这样,分光板 G_1 上的透射光和 M_2 镜垂直。

4. 拿开小孔光阑 P ,放上短焦距透镜,此时在观察屏上能看到干涉条纹。若无干涉条纹,则重复第 3 步的调节,一直到出现条纹,并将条纹的中心移到观察屏视场的中央。

5. 转动微动手轮,对 ΔL 读数和对 Δk 计数(可用眼睛数或光电计数器),按公式 (1) 计算待测液体的折射率。

表 1 列出了在 WSM—100 型的迈克尔逊干涉仪上,对乙醇(酒精)和水的测量结果,其中激光波长 λ 是 632.8nm 。

表 1

项 液体	测量 次数	M_1 移动前 位置 $D(\text{mm})$	M_1 移动后 位置 $D'(\text{mm})$	$\Delta L = D - D'$ (mm)	条纹度 化数 Δk	折射率 $n = \frac{\lambda \Delta k}{\Delta L}$
酒 精	1	97.85031	97.80426	0.04605	200	1.374
	2	97.80125	97.75530	0.04595	200	1.377
	3	97.75425	97.70823	0.04602	200	1.375
	4	97.70728	97.66116	0.04612	200	1.372
	5	97.66008	97.61409	0.04599	200	1.376
水	1	95.51695	95.46962	0.04733	200	1.337
	2	95.46728	95.42002	0.04726	200	1.339
	3	95.40480	95.35736	0.04744	200	1.334
	4	95.33568	95.28831	0.04737	200	1.336
	5	95.25455	95.20711	0.04744	200	1.334

计算后得到所测酒精、水的折射率为

$n_{\text{酒精}} = 1.375 \pm 0.001$

$n_{\text{水}} = 1.336 \pm 0.002$

参考文献

1 林抒,龚镇雄. 普通物理实验. 北京: 人民教育出版社, 1981, p393
2 陈怀琳,邵义全. 普通物理实验指导(光学). 北京: 北京大学出版社, 1990, p127