

“吞”或“吐”条纹数量对迈克耳孙干涉仪测量的 He-Ne 激光波长准确度的影响

俞莹

(东北林业大学物理系 黑龙江 哈尔滨 150040)

(收稿日期:2015-09-17)

摘要:迈克耳孙干涉仪测量氦氖激光器波长是大学物理实验的一个重要部分.它是利用干涉条纹计数法,即通过记录中心条纹“吞”或“吐”的数量,来测量激光波长.

关键词:迈克耳孙干涉仪 氦氖激光波长 中心条纹

1 引言

迈克耳孙干涉仪是用分振幅法得到双光束而实现干涉的仪器,可观察单色光或复色光的等倾干涉条纹(明暗相间的同心圆)和等厚干涉条纹(明暗相间的平行线),测量单色光的波长,复色光的波长平均值,双色光的波长差^[1~3].目前,许多高校的光学课程都开设迈克耳孙干涉实验,因为它能直观地反映光波的干涉现象,对光波干涉特性的学习和理解有着极其重要的作用.东北林业大学开设“迈克耳孙干涉仪测量 He-Ne 激光波长”物理实验课程.利用对干涉条纹“吞”或“吐”的数量进行计数,得到薄膜厚度改变量,从而测得激光波长^[4].

字符绿色背景时,此时观察到琴弦振动所发出的声音明显增强,而且将琴弓离开弦之后共鸣箱还能持续 1 min 左右的很强的鸣响,实验表明弦和音叉发生了共振现象.如果将 440 Hz 音叉更换为 523.2 Hz 的音叉,将琴弦的振动频率调整 440 Hz 不变(即 A 音),当突然停止运弓时却听不到共鸣箱的鸣响现象,实验表明音叉和弦没有发生共振现象,因此只有当弦的振动频率与音叉的频率相同时才会发生共振现象.

3 演示步骤

(1) 利用电子校音器将共振演示装置弦(空弦)的振动频率调整到 440.0 Hz,此时电子定音器的液晶显示器显示的字母为 A 并出现绿色背景,

(2) 突然停止运弓时观察插有 440.0 Hz 音叉共

鸣箱的动静.本文选择“吞”或“吐”不同数量的干涉条纹,对其得到的波长值与 He-Ne 激光波长理论值 632.8 nm 相比较,找到最接近理论值所对应的“吞”或“吐”条纹个数.

2 实验原理

迈克耳孙干涉仪的光路原理如图 1 所示.其中 S 为光源(He-Ne 激光)、 M_1 和 M_2 为两个反射镜、 P_1 和 P_2 分别为以 45° 角倾斜放置的分光板和补偿板.来自光源 S 的光经过分光板 P_1 分成强度大致相等而在不同方向传播的两束光 1 和 2,它们分别由反射镜 M_1 、 M_2 反射后,又经过分光板 P_1 射向观察方向.由于 1 和 2 两束光是相干光波,所以在观察方向中

鸣箱的动静.

(3) 将 440.0 Hz 音叉更换为 523.2 Hz 的音叉,同样持琴弓摩擦弦使其发声,使弦(空弦)的振动频率调整到 440.0 Hz,当突然停止运弓时再观察共鸣箱的动静.

步骤(2)中插有 440.0 Hz 音叉的共鸣箱有非常明显的延时鸣响现象,鸣响时间可达 1 min,实验现象十分突出,实验表明 440.0 Hz 音叉与弦产生了共振现象.而步骤(3)插有 523.2 Hz 音叉的共鸣箱没有发生延时鸣响现象,表明 5.232 Hz 的音叉和弦没发生共振现象,因此只有当音叉的固有频率与弦的振动频率相同时才会发生共振现象.

此实验取材容易、操作简单、生动有趣、效果明显.对于拓展学生共振方面知识很有帮助.

将见到这两束光的干涉图样. 因为 M_2 被 P_1 的半反射镜反射成虚像于 M_1 附近, 所以来自 M_1 和 M_2 的反射就相当于来自 M_1 和 M_2' 的反射. 这时干涉仪所产生的干涉与薄膜干涉等效. 这个薄膜是由 M_1 和 M_2' 镜构成的空气薄膜. 当 M_1 和 M_2 相互严格垂直放置时(也就是 M_1 和 M_2' 严格平行), 这时的薄膜干涉为等倾干涉. 两束光形成的干涉条纹图样为一系列的同心圆. 利用薄膜干涉中等倾干涉原理可推导出波长表达式. 推导过程如下:

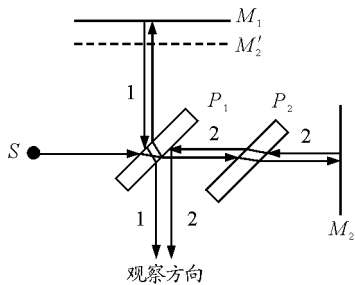


图1 迈克耳孙干涉仪干涉光路原理图

薄膜干涉等倾干涉的光束1和2光程差 Δ 表达式为

$$\Delta = 2d \cos \theta = \begin{cases} k\lambda & \text{明条纹} \\ \frac{2k+1}{2}\lambda & \text{暗条纹} \end{cases} \quad (1)$$

$$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

其中, θ 为光束1和2的入射角; d 是 M_1 和 M_2' 镜间空气薄膜厚度; k 为干涉条纹级数; λ 是波长.

当入射角 $\theta = 0$ 时, 可得波长的表达式为

$$\lambda = \frac{2\Delta d}{\Delta k} \quad (2)$$

其中, Δd 为空气薄膜厚度的变化; Δk 为“吞”或“吐”的条纹级数. 当转动仪器的微调手轮, 使得圆环状干涉条纹出现连续的“吞”或“吐”时, 让读数窗口基准线对准某一时刻, 读出 M_1 镜初始位置所对应的刻度尺读数 d_1 . 继续沿着刚才的旋转方向转动微调手轮直到 n 条干涉条纹被“吞”进或者被“吐”出, 这时记下 M_1 镜位置所对应的刻度尺读数 d_2 . 其中 $\Delta d = d_2 - d_1$; $n = \Delta k$. 这时式(2)变为下式

$$\lambda = \frac{2\Delta d}{n} \quad (3)$$

3 实验数据分析

在学生的实验中我们发现, 对于 n 值选取不同, 对波长 λ 求解的准确度有影响. 为了找到适合作为

学生在测量 He-Ne 激光波长所选择的测量圈数, 我们对不同 n 的取值进行实验, 求出相对应的 λ 值, 并对波长值的绝对误差和相对误差进行分析. 根据经验我们选择 $n = 20, 40, 60$ 和 80 . 表1所示为 $n = 20, 40, 60$ 和 80 时, 分别记录的 20 组连续的 M_1 镜位置所对应的刻度尺读数.

表1中心条纹分别“吞”进或者“吐”出 $n = 20, 40, 60$ 和 80 时, 分别记录的 20 组连续的 M_1 镜位置所对应的刻度尺读数.

表1

n/mm	20	40	60	80
d_0	85.452 95	85.586 73	85.827 21	86.187 31
d_1	85.458 50	85.599 24	85.846 02	86.212 74
d_2	85.465 20	85.611 97	85.864 94	86.237 94
d_3	85.471 72	85.624 63	85.883 92	86.263 42
d_4	85.478 14	85.637 23	85.902 81	86.288 70
d_5	85.484 63	85.649 84	85.921 69	86.314 25
d_6	85.491 01	85.662 50	85.940 52	86.339 42
d_7	85.497 38	85.675 15	85.959 38	86.364 95
d_8	85.503 88	85.687 66	85.968 35	86.390 20
d_9	85.510 15	85.700 48	85.997 30	86.415 71
d_{10}	85.516 64	85.713 30	86.016 39	86.440 95
d_{11}	85.523 05	85.725 86	86.035 35	86.466 46
d_{12}	85.529 35	85.738 45	86.054 36	86.491 85
d_{13}	85.535 79	85.751 05	86.073 35	86.517 15
d_{14}	85.542 14	85.763 74	86.092 31	86.542 59
d_{15}	85.548 47	85.776 28	86.111 28	86.567 82
d_{16}	85.554 92	85.788 79	86.130 16	86.593 32
d_{17}	85.561 27	85.801 54	86.149 16	86.618 61
d_{18}	85.567 60	85.814 21	86.168 26	86.643 95
d_{19}	85.574 10	85.826 13	86.187 31	86.671 93

利用逐差法求出 20 组条纹, 每组数出“吞”进或者“吐”出 n 个条纹, 薄膜厚度的平均位置改变量 $\overline{\Delta d}$, 具体表达公式如下

$$\overline{\Delta d} = \frac{1}{100} [|d_{10} - d_0| + |d_{11} - d_1| + \dots + |d_{19} - d_9|] \quad (4)$$

将公式(4)所求结果代入公式(3) 求出每个 n 所对应的波长 $\bar{\lambda} = \frac{2\overline{\Delta d}}{n}$ (5)

将公式(5)计算结果代入绝对误差公式和相对误差公式, 如公式(6)和(7)所示

$$\text{绝对误差} \quad S = |\bar{\lambda} - \lambda_0| \quad (6)$$

$$\text{相对误差} \quad E = \frac{|\bar{\lambda} - \lambda_0|}{\lambda_0} \times 100\% \quad (7)$$

表2 当 $n=20, 40, 60$ 和 80 时, 计算得到的 $\overline{\Delta d}, \overline{\lambda}, S$ 和 E 的数值

n	20	40	60	80
$\overline{\Delta d}/\text{mm}$	0.006 397 7	0.012 639 2	0.018 957 9	0.025 370 1
$\overline{\lambda}/\text{nm}$	640.77	631.96	631.93	634.25
S/nm	7.97	0.84	0.87	1.45
$E/\%$	1.26	0.13	0.14	0.23

表2所示为 n 分别取 20, 40, 60 和 80 时, 通过公式(4)~(7) 计算得到的 $\overline{\Delta d}, \overline{\lambda}, S$ 和 E 的数值. 从表2可以看出, n 取 20, 40, 60 和 80 时, 计算得到 He-Ne 激光器波长 $\overline{\lambda}$ 分别为 640.77, 631.96, 631.93 和 634.25 nm. 当 $n=40$ 时测得的 $\overline{\lambda}$, 较 $n=20, 60$ 和 80 时测量的 $\overline{\lambda}$ 更接近理论值 632.8 nm, 其相对误差 E 最小, 为 0.13%. $n=20, 60$ 和 80 时, 其相对误差 E 分别为 1.26%, 0.14% 和 0.23%, 都大于 0.13%. 下面我们分析产生这种现象的原因:

学生数错 n 值, 是引起 $\overline{\lambda}$ 测量不准确的主要原因. 利用理论波长可以推出, 当学生多数一个条纹或者少数一个条纹时, 对薄膜厚度改变量 $\overline{\Delta d}$ 带来的误差为 $\overline{\Delta d}' = 0.000\ 316\ 4$ mm. 由公式(5)可知, n 越大, $\overline{\Delta d}'$ 对 $\overline{\lambda}$ 的影响越小. 因此, 当 $n=20$ 时所得到的 E 大于 $n=40$ 时所得到的 E .

按照这个理论, n 的取值越大, E 应当越小, 但是这与表2所示的 $n=60$ 和 80 时所得到的结果相违背. 这是由于读取条纹数量全靠人的眼睛, 读取时间太长学生眼睛会产生疲劳, 更容易读错条纹数量, 从而引起更大的误差. 故而, $n=40$ 所得到的 E , 与 $n=20, 60$ 和 80 相比要小.

上述实验结果说明, 学生在“吞”进或者“吐”出条纹数量的选择上, 既不能太少也不能太多. 从本文实验结果来看 $n=40$ 较 $n=20, 60$ 和 80 相比是比较

适合的圈数. 必须说明的是由于仪器不同, 操作者不同, 最接近 He-Ne 激光波长真值的条纹数量会略有不同. 40 不是一个绝对的最佳值. 但是根据多年教学经验, n 取 40 时, 可以使学生在有限的时间内完成实验, 并得到相对准确的测量值.

4 结论

通过选取 20, 40, 60 和 80 作为干涉条纹“吞”或者“吐”数量, 发现 $n=40$ 时的测量值更接近 He-Ne 激光波长理论值 632.8 nm. 为使学生在有限的时间内完成实验, 并得到相对准确的测量值, 我们东北林业大学在实验中选取 $n=40$ 这个经验值作为干涉条纹“吞”或者“吐”数量.

参考文献

- 林二妹, 林建华. 迈克耳孙干涉仪的调节技巧. 仪器仪表用户, 2011, 18(2): 81~82
- 肖文波, 何兴道, 朱泉水, 王庆, 陈学岗. 利用迈克耳孙干涉仪测量激光波长的误差分析. 实验室科学, 2010, 13(5): 86~87
- 孙文斌, 光明, 汪文明. 对迈克耳孙干涉仪等倾干涉成像特性研究. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2011, 28(4): 410~413
- 刘建静. 迈克耳孙干涉仪测波长实验中常见问题分析. 实验科学与技术, 2009, 8(1): 31~32

The Impact of Swallow or Spit Fringe Number on Measured He-Ne Laser Wavelength Accuracy by Michelson Interferometer

Yu Ying

(Department of Physics, Northeast Forestry University, Haerbin, Heilongjiang 150040)

Abstract: The measurement of He-Ne laser wavelength with Michelson interferometer is an important part in the college physics experiment. The interference fringe counting method, which is to count the number of "swallow" or "spit" center stripes, is used to measure the wavelength of He-Ne laser.

Key words: Michelson interferometer; He-Ne laser wavelength; center ring