

实验 14 激光干涉测量振子速度

激光具有高度的单色性和方向性,在科学技术和国民经济的许多领域都获得了广泛的应用。激光精密测量是激光应用的一个很重要的方面。本实验以激光为光源,利用迈克耳孙干涉仪的光学系统和延时采样技术,对线性振子的振动速度进行即时测量。

【思考题】

1. 干涉条纹是圆的还是直线?
2. 干涉条纹为什么会微振?

【引言】

光的干涉现象和理论是大学物理中的重要内容,其中迈克耳孙干涉仪是最基本的光学系统。激光自 20 世纪 60 年代发明以来,由于它高度的单色性和方向性以及高亮度的特性,在科学技术和国民经济的许多领域获得了广泛的应用,成为当代最重要的单色光源。激光精密测量是激光应用的一个很重要的方面。本实验以激光为光源,利用迈克耳孙干涉仪的光学系统和延时采样技术,对线性振子的振动速率进行即时测量。通过本实验,加理解光的干涉理论和测量速度的原理,熟悉迈克耳孙光学系统和调节方法,了解延时采样技术,进一步学习示波器的使用。

【实验原理】

图 14.1 为激光干涉测量振子速度实验系统原理图。从图中可以看出,激光器发出的激光,经分束镜分成两束光强大致相等的激光束,一束射到运动反射镜上(动镜),另一束射到固定反射镜上(静镜)。当动镜静止不动时,从动镜和固定反射镜反射回来的两束激光在接收器(光电二极管)处形成明暗相间的干涉条纹。当动镜运动时,在接收器处的干涉条纹会随之发生移动,形成脉冲电信号,经仪器处理后变为移动过的干涉条纹数。设动镜的速率为 v ,在时间间隔 Δt 内,接收器测量到的移动条纹数目为 N ,则两相干光的相位差 $\Delta\phi$ 与 v 和 N 有如下关系:

$$\begin{cases} \Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda}v\Delta t \\ \Delta\phi = 2\pi N \\ v = \frac{\lambda N}{2\Delta t} \end{cases} \quad (14.1)$$

在本实验中,运动反射镜由一个线性振子驱动,其速率随时间改变。如果时间间隔 Δt

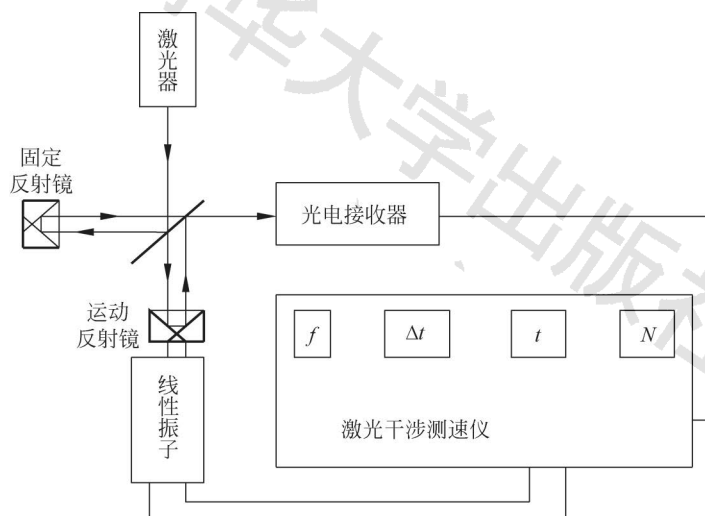


图 14.1 激光干涉测量振子速度原理和装置示意图

足够小,也就是说在此时间间隔内,动镜移动的距离可近似为 $v\Delta t$,则由式(14.1)算得的速率可近似为振子的瞬时速率。本实验的时间间隔 Δt (即采样门宽)可调。时刻 t 、门宽 Δt 以及接收器感受到的在 Δt 内移过的干涉条纹数 N ,随时在仪器的显示窗口显示。该实验装置由迈克耳孙干涉仪光学系统、线性振子驱动系统、激光干涉测速仪、光电接收器和防震台构成。

1. 迈克耳孙干涉光学系统

迈克耳孙干涉光学系统包括激光器、分束镜、固定反射镜、运动反射镜。本实验采用的光源为氦氖激光器,其波长为 632.8 nm ,功率为 2 mW 。固定反射镜和运动反射镜均采用直角立方棱镜(又称角隅棱镜或四面体),它像从一块立方体的玻璃上切下来的一个角,如图 14.2(a)所示。 $\angle AOB$ 、 $\angle BOC$ 、 $\angle COA$ 都是直角。它利用全反射原理,能将任意角入射的光束都沿平行于入射光束的方向反射回去,而且反射光束与入射光束之间的距离随入射位置而变,如图 14.2(b)所示。

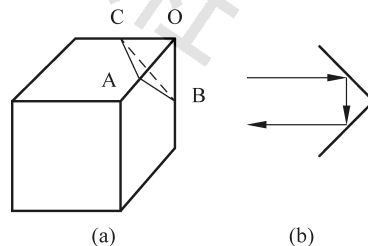


图 14.2 直角立方棱镜的形状及工作原理

(a) 直角立方棱镜;
(b) 入射光线和反射光线

2. 线性振子和驱动器

实验测量的对象为线性振子的振动速度。为使振子速度可调,将振子设计成如图 14.3 所示的结构。在铝质外壳内安装两套环形永久磁体。每套磁路间隙处各有一组线圈并都固定在同一轴杆上,其中一个作为驱动线圈,另一个作为检测线圈。当驱动线圈通入电流时,即加上驱动信号,该线圈受到磁场力作用而带动轴杆沿轴向运动,这时在检测线圈两端将产

生与速度成正比的电压信号,即反馈信号,以此信号作为速度检测的输出。只要配以适当的驱动电路,就可以对振子的振动模式加以控制,使振子按需要的速度变化而运动。如图 14.4 所示,来自函数发生器的参考信号由减法器将它与振子的速度检测输出信号进行比较,得到差分信号后经过伺服放大器放大后驱动振子。振子的振动速度信号将与参考信号保持一致。为了提高速度检测信号的幅度,在电路中加了一个前置放大器。

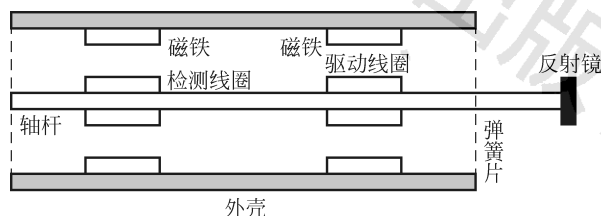


图 14.3 线性振子结构

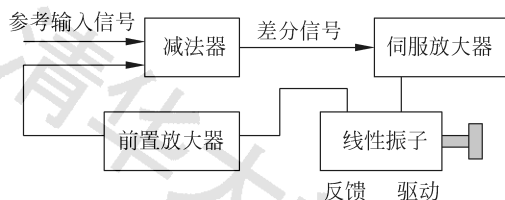


图 14.4 驱动电路

3. 光电接收电路

光电接收电路的性能将直接影响到装置的测量范围和信噪比。本实验采用 PIN 集成光电二极管(型号 8—GJ4 系列),其内部带有宽带低噪声前置放大,集接收、放大于一体,它的性能稳定,体积小,抗干扰能力强,比分立元件响应速度快、灵敏度高、线性好。接收器光窗的直径为 3 mm,光敏面积直径约为 0.5 mm,故光路中不加光栏,仍有较好的输出。光电接收放大器的电源为 +5 V,由激光干涉测速仪提供。

4. 激光干涉测速仪

激光干涉测速仪包含了本实验所用的测量电路。其中的延时采样条纹计数器设计,采用延迟时间取样技术,此项技术是测量随时间变化的物理量常用的方法。配以信号转换、高速取样及存储技术,可以完成对多种物理量的测量。对于周期性变化的物理量,如果将延迟时间取样技术与模拟积分或数字平均技术相结合,更可以大大减少噪声及随机干扰信号对测量的影响,提高检测的灵敏度和精度。

如图 14.5 所示,要测量物体随时间变化的速度,就需要测量各时刻物体的瞬时速度,即可得出 $v-t$ 曲线,这就要求测量时间 t 和瞬时速度 v_t ,一般只要测量出 t 时刻物体在一个很小的时间间隔 Δt 内的平均速度,即可以看成物体在 t 时刻的瞬时速度,但要求 Δt 应远小于物体速度变化的特征时间。实验中,我们要测量在 t 时刻,在间隔 Δt 内移动的干涉条纹数 N ,则瞬时速度 $v_t = (\lambda/2)(N/\Delta t)$ (λ 为激光波长)。对于无规律变化的速度必须连续地测量 t 及 v_t 。当速度变化较快时,就必须借助于快速记录和存储手段来测量。如果被测速度

做周期性变化,则可以利用与速度信号有同样周期和相位的同步信号作为时间的零点,并产生一个可以调节的延迟时间 t ,在 t 时刻触发取样门,门宽 Δt 可以按需要选择,振子每振动一个周期可以完成一次 t 时刻 v_t 的测量。也可以在几个周期内在 t 不改变的情况下多次测量,得到 v_t 的平均值。若连续改变延迟时间 t ,并测量 v_t ,即可得出整个曲线,此时, v_t-t 曲线不是在一个周期内测得的,而是在很多周期内测量完成的。本实验所用激光干涉测速仪是一个组合仪器,其内部包括线性振子的驱动电路、函数发生器、延时采样条纹计数器、时间显示器和图形显示器(内置双踪示波器)。

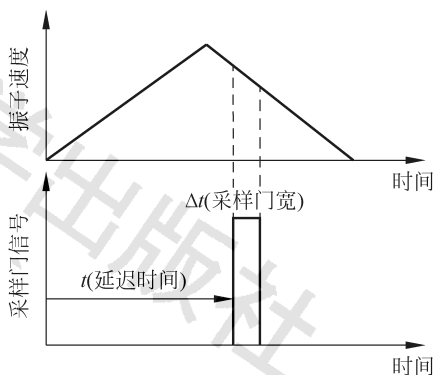


图 14.5 延时采样门计数器取样原理图

延时采样干涉条纹计数器采样速率为 $50\sim 100\text{ ms}$ 。函数发生器可输出正弦波和三角波,本实验采用三角波。函数发生器输出的同步信号(此信号与振子驱动器的参考输入信号的周期和相位相同)作为时间零点,经延时触发器和门宽触发器产生一个延迟时间 t 和门宽 Δt 。延时采样门信号与速度信号的关系如图 14.5 所示。仪器内的示波器可用于各种信号波形的观察。关于激光干涉测速仪前面板上的各线柱和旋钮等的功能和使用,请参阅使用说明书。

【实验内容】

1. 开通氦氖激光器电源,出光后调好激光束的水平,使激光束与防震台面大致平行。按图 14.1 布置好光学系统,使固定反射镜和运动反射镜大致互相垂直,并使它们到分束镜镀膜面的距离大致相等。分别调节固定反射镜和运动反射镜的方向和位置,使两相干光束重合,在重合处可以看到明暗相间的干涉条纹。

2. 函数发生器选用三角波作线性振子的参考信号,用示波器观察振子的参考信号、振子速度反馈信号、振子驱动信号波形,测量这些信号的峰-峰值和周期。观察这些信号波形时,也可以用内置示波器,首先要用电缆线将这些信号的输出插座与内置示波器的 Y_1 输入插座相连接,比如观察参考信号时将参考波形插座与 Y_1 输入插座相连接,并使 A 测量/ Y_1 测量按键抬起。

3. 将光电接收器对准两路重合的光束,输出的光电信号接入激光干涉测速仪的测量 A 插座,此时 A 测量/ Y_1 测量按键按下。此键按下,表示光电信号已接入内置示波器的 Y_1 输入端。调节光电接收器的方位使示波器显示的光电信号完好,此时示波器上会显示两条直线, N 计数窗会显示移动过的干涉条纹数,并且记数稳定。振子的振动频率调到 $12\sim 15\text{ Hz}$ (可调范围 $10\sim 20\text{ Hz}$),振子的参考输入信号峰-峰值调至 5 V 范围内,门宽约 $200\text{ }\mu\text{s}$,改变延时时间 t ,找到振子的最大振动速度。在振子的最大振动速度下,改变门宽(调节采样门旋钮) Δt ,使条纹数目达到 $40\sim 50$ 。通过改变 t ,测量振子的 $v-t$ 曲线。

测量时 A/ Y_1 测量按键按下,在已选择好的振子的振动频率和门宽下改变延时时间 t (调节延时旋钮),测量一个完整的振动周期内的振子的振动曲线($v-t$ 曲线)。一个周期内的实验点选取 $20\sim 50$ 个。数据处理时,作 $v-t$ 曲线,并标出振子的最大速度。根据 $v-t$ 曲

线,计算振子的加速度和振子的振幅 A 。 $A = \frac{1}{2}v_{\max}(t_2 - t_1)$,其中 v_{\max} 为图 $v-t$ 曲线求出的振子的最大速率, t_2 为振子达到最大速率时的时刻, t_1 为振子速率为零时的时刻。

【参考文献】

- [1] 张孔时,丁慎训.物理实验教程[M].北京:清华大学出版社,1991.
- [2] 母国光,战元龄.光学[M].北京:人民教育出版社,1978.

(侯清润)