**双光栅微弱振动测量实验**

2022级 人工智能 ZYH

**引言**

在电磁波的传播过程中，由于光源和接收器之间相对运动使得接收器收到的光波频率不同于光源发出的光波频率的现象称为多普勒效应，由此产生的频率变化称为多普勒频移。如果移动光栅相对静止光栅运动，使激光束通过这样的双光栅便可以产生光的多普勒效应，将频移和非频移的两束光直接平行叠加可以获得光拍，再通过光电的平方律检波器检测，取出差频信号，就可以精确测量微弱振动的位移。

多普勒频移物理特性的应用也非常广泛，如医学上的超声诊断仪，测量海水各深度层的海流速度和方向、卫星导航定位系统、乐器的调音等。

双光栅微弱振动测量仪在力学实验项目中用于音叉振动分析、微弱振幅（位移）测量和光拍研究等。

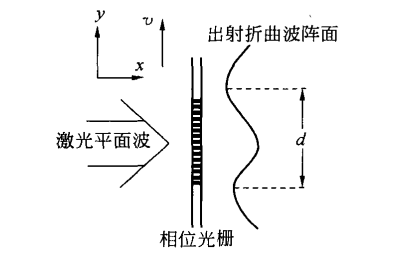
1. **实验目的**
2. 了解利用光的多普勒频移形成光拍的原理并用于测量光拍拍频。
3. 学会使用精确测量微弱振动位移的一种方法
4. **实验仪器**

激光源、信号发生器、频率计（已集成在测量仪器箱内）

1. **实验原理**

**移动光学相位光栅的多普勒频移**

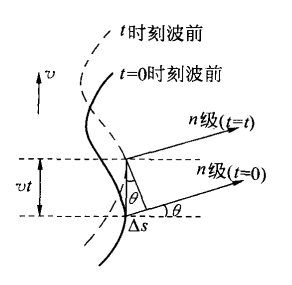
所谓相位物体就是指那些只有空间的相位结构而透明度一样的透明体，如生物切片、油膜、热塑料等，它们只改变入射光的相位而不影响其振幅。当激光平面波垂直入射到相位光栅上时，由于相位光栅上不同的光密和光疏媒质部分对光波的位相延迟作用使入射的平面波变成出射时的摺曲波阵面，如图1所示。



由于光栅上单缝自身的衍射作用和缝之间的干涉作用，通过光栅后光的强度出现周期性的变化。在远场，可以用大家熟知的光栅衍射方程式来表示主极大位置：

式中：整数为主极大级数，为光栅常数，为衍射角，为光波波长。

如果光栅在方向以速度移动，则从光栅出射的光的波阵面也以速度在方向移动。因此在不同时刻，对于同一级的衍射，它从光栅出射时，在方向也有一个的位移量，见图2。



这个位移量对应于出射光波位相的变化量为：

把上述式子代入得：

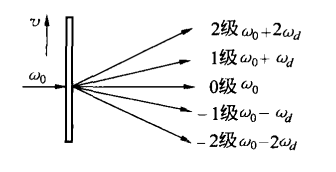
式中，

若激光从一静止的光栅出射时，光波电矢量方程为：

而激光从相应移动光栅出射时，光波电矢量方程则为：

显而易见，移动的位相光栅 k 级衍射光波相对于静止的位相光栅有一个多普勒频移，其频率为：

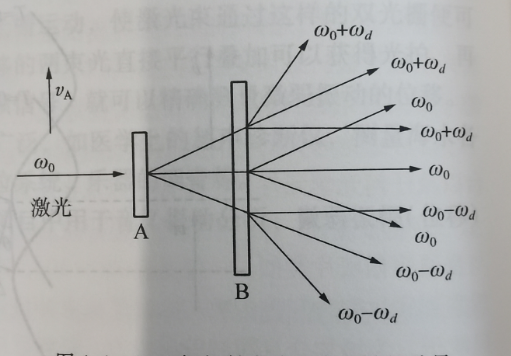
如图3所示。



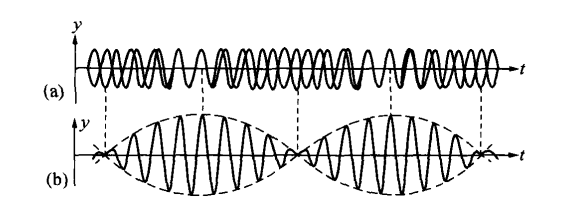
**光拍的获得与检测**

光频率很高，为了在光频中检测出多普勒频移量，必须采用"拍"的方法，即要把已频移的和未频移的光束互相平行迭加以形成光拍。由于拍频较低，容易测得，通过拍频即可检测出多普勒频移量。

本实验形成光拍的方法是采用两片完全相同的光栅平行紧贴，一片  静止，另一片  相对移动。激光通过双光栅后所形成的衍射光即为两种以上光束的平行迭加。其形成的第 级衍射光波的多普勒频移如图4所示。



光栅 按速度移动，起频移作用，而光栅  静止不动，只起衍射作用，故通过双光栅后射出的衍射光包含了两种以上不同频率成分而又平行的光束。由于双光栅紧贴，激光具有一定宽度，且光栅常数相对光波波长大很多，故同一行射光斑的光束能平行迭加，这样直接而又简单地形成了光拍，如图5所示。



当激光经过双光栅所形成的射光叠加成光拍信号，光拍信号进入光电检测器后，其输出电流可由下述关系求得：

设光束1的电矢量为：

光束2的电矢量为：

取，则光电流：

其中为光电转换常数。

因光波频率甚高，在式第一、二、四项中，光电检测器无法反应,式第三项即为拍频信号，因为频率较低，光电检测器能做出相应的响应，其光电流为：

因此，光电探测器能检测到的光拍信号的频率就是拍频

其中为光栅密度，本实验。

**微弱振动位移量的检测**

从上式可知，与光频率无关，且当光栅密度为常数时，只正比于光栅移动速度，如果把光栅黏在音叉上，则是周期性变化的。所以光拍信号频率也是随时间而变化的。微弱振动的位移振幅为：

式中，为音叉振动周期，表示 时间内的拍频波的波形数。所以只要测得拍频波的波形数就可得到较弱振动的位移振幅。

波形数由完整波形数、波的首数、波的尾数三部分组成。根据示波器上显示计算为：

式中，， 分别为波群的首部和尾部的长度；为一个完整波形的平均长度。

1. **实验步骤**

（1）将示波器的 、、 外触发器接至双光栅微弱振动测量仪的、、 的输出插座上，开启各自的电源。

（2）先将"功率"旋钮置于30mW，调节频率至508Hz附近，将精度值设置为0.01Hz，然后微调频率使音叉谐振。调节时可由耳朵试听，找出调节方向。找到可以让音叉在 内显示出的光拍数最大的值。记录此时音叉振动频率、屏上完整波的个数、不足一个完整波形的首数及尾数值以及对应该处完整波形的振幅值。

（3）测出外力驱动音叉时的谐振曲线。固定音叉驱动功率，在音叉谐振点附近，小心调节频率，测出音叉的振动频率与对应的信号振幅大小，频率间隔例如可以取0.1Hz，选8个点，分别测出对应的波的个数，由上述公式，计算出各自的振幅 。

（4）使音叉在谐振频率下振动，调节信号输出功率，相应地测算出每一信号输出功率作用下音叉的振动振幅，测出音叉功率和音叉振动振幅的关系。

注意事项：

1. 激光器功率一般调节到中部即可，不需要经常调节。
2. 在示波器荧光屏上数拍频波的波数时，最好待波形稳定后进行。
3. **实验数据及处理**

在实验中，我们选取的音叉谐振频率,此时观测到的最大波形数为20。

当 时，振幅随频率的变化数据：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 507.87 | 507.97 | 508.07 | 508.17 | 508.27 | 508.37 | 508.47 |
| 波形数 | 6 | 11 | 20 | 20 | 9 | 6 | 4 |
| 振幅 | 0.03 | 0.055 | 0.1 | 0.1 | 0.045 | 0.03 | 0.02 |

将数据绘制到坐标图中，得到以下结果：

我们发现在音叉谐振频率时得到的振幅并不是最大值，在数据表格中与的波形数相同，可知这里产生了一定的测量误差，音叉谐振频率，且合理的音叉谐振频率应在。

在频率下，音叉功率与振幅关系数据：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 功率/mA | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 波形数 | 5 | 8 | 11 | 13 | 15 | 17 | 18 | 20 | 22 | 25 |
| 振幅/mm | 0.025 | 0.04 | 0.055 | 0.065 | 0.075 | 0.085 | 0.09 | 0.1 | 0.11 | 0.125 |

将数据绘制到坐标图中，得到以下结果：

由可知音叉振幅与音叉功率呈明显线性相关关系。

1. **结论及分析**

**结论：**

1. 当频率接近共振频率时，振幅明显上升，在共振频率附近的振幅远大于在其他频率的振幅。
2. 振幅与功率程正相关，振幅随着功率的上升而上升。

**误差分析：**

在给定的数据中，频率为508.17 Hz时的振幅为0.1，与其他频率相比，它并不是唯一最大振幅。可能原因有以下几点：

1. 测量误差：测量振幅时可能存在的误差。这可能是由于测量设备的精度限制或操作人员的技术误差导致的。如果有可能，可以重复测量以验证结果的一致性。
2. 数据收集误差：在收集数据时，可能存在的误差。这可能涉及到数据记录的准确性或者在特定频率附近的波形变化不连续。
3. 仪器响应：测量设备的响应可能受到频率特性的影响，因此可能会在某些频率上表现出较低的振幅。这需要考虑测量设备的特性和频率响应曲线。
4. 环境干扰：在实际测量中，可能存在来自环境的干扰，例如振动或电磁干扰。这些干扰可能会影响振幅的测量结果。

根据频率变化图数据，我们可以看到在频率为508.17 Hz时，振幅为0.1。然而，在音叉功率与振幅关系数据中，频率为508.17 Hz时的波形数为13，对应的振幅为0.065，并非频率变化图中的0.1。这种不一致可能是由于以下原因之一：

1. 实验条件差异：在两组数据采集过程中，可能存在实验条件的差异，如不同的测量设备、环境条件或操作者的技术差异。这些差异可能会导致测量结果的不一致性。2. 测量误差：测量振幅和功率时存在的误差也可能导致不一致。测量设备的精度限制、人为误差或其他干扰因素都可能对结果产生影响。3. 数据采样的局限性：两组数据都是有限的样本数据集，可能无法完全反映整个系统的行为。更多的数据采集和实验重复可能会提供更准确的结果。

1. **思考题**
2. **如果将动、静光栅互相换位会得到什么样的结果？为什么？**

如果将动光栅和静光栅互相换位，即将它们在实验中的位置互换，将会导致以下结果：

1. 纹路移动方向：动光栅和静光栅之间的纹路移动方向将会改变。在原始配置中，动光栅是振动的，而静光栅是固定的，所以纹路移动是由动光栅引起的。但是，如果互相换位，那么振动效果将会出现在静光栅上，而动光栅将保持静止。因此，纹路的移动方向将与原始配置相反。2. 强度变化：光栅的换位可能会导致干涉模式的强度变化。原始配置中，动光栅的振动可能会影响光的干涉模式，而将其换位到静光栅可能会导致干涉效应的变化，因为光的干涉效应与光栅的位置和振动有关。3. 频率变化：换位后，可能会对振动的频率产生影响。原始配置中，动光栅的质量和固有特性决定了振动的频率，但是在换位后，静光栅的性质将会对振动的频率产生影响。

1. **在拍频波形中，如果看见波形中有毛刺，这是高倍频拍频。那么我们需要将高倍频的波形数计算在内吗？**

在拍频波形中，如果观察到波形中出现毛刺，这通常表示存在高倍频拍频。高倍频拍频是指频率之间存在较大的整数倍关系，例如2倍频、3倍频等。当存在高倍频拍频时，可以选择将高倍频的波形数计算在内或排除在外，具体取决于分析的目的和研究的需求。下面是两种常见的处理方式：

* + - 1. 计算高倍频的波形数：如果研究中对高倍频拍频感兴趣或具有特殊意义，可以将高倍频的波形数计算在内。这意味着在统计和分析数据时，将包括高倍频的波形数，并考虑其对拍频现象的影响。

1. 排除高倍频的波形数：如果研究中更关注基频拍频（即最低频率的拍频），或者认为高倍频拍频可能是噪音或干扰信号，可以选择排除高倍频的波形数。这样做可以更专注于基频拍频的特征和行为。
2. **本实验的测量方法有何优点？测量微振动位移的灵敏度是多少？**

本实验的测量方法优点包括：

1. 非接触性测量：双光栅干涉法可以在不接触被测物体的情况下进行测量，适用于需要保持物体完整性或无法直接接触的情况。

2. 高精度：双光栅干涉法具有较高的测量精度，可以实现微米甚至亚微米级别的位移测量。

3. 宽动态范围：该方法可以应用于较大范围的振动频率和振幅，适用于不同尺度和频率的振动测量。

4. 实时测量：双光栅干涉法可以实时监测和记录振动的变化，对动态过程的研究具有优势。

双光栅干涉法的位移测量灵敏度可以达到亚微米级别。

1. **在实验中用波形数算出的振幅与示波器上显示的示波器振幅有什么区别？**

在实验中，我们记录了两个实验的示波器振幅，如下图所示。

当 时，振幅、示波器振幅随频率的变化数据：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 507.87 | 507.97 | 508.07 | 508.17 | 508.27 | 508.37 | 508.47 |
| 波形数 | 6 | 11 | 20 | 20 | 9 | 6 | 4 |
| 振幅/mm | 0.03 | 0.055 | 0.1 | 0.1 | 0.045 | 0.03 | 0.02 |
| 示波器振幅/V | 92 | 130 | 30 | 122 | 144 | 102 | 86 |

在频率下，音叉功率与振幅、示波器振幅关系数据：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| mA | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 波形数 | 5 | 8 | 11 | 13 | 15 | 17 | 18 | 20 | 22 | 25 |
| 振幅 | 0.025 | 0.04 | 0.055 | 0.065 | 0.075 | 0.085 | 0.09 | 0.1 | 0.11 | 0.125 |
| 示波器振幅 | 40 | 100 | 60 | 30 | 34 | 16 | 20 | 14 | 36 | 40 |

可以观察到示波器振幅与计算所得振幅无较大联系，不呈明显线性相关关系，且在实验过程中发现示波器振幅变化幅度较大，随周围环境连续不断而改变，故记录下的数据误差范围较大，无法作为判断依据。

**原因分析：**

在实验中，通过波形数计算出的振幅与示波器上显示的示波器振幅可能存在一些区别：1. 计算方法：示波器上显示的振幅是直接通过测量和显示电压来获得的，而通过波形数计算的振幅是根据信号的周期性和波形数来估算的。2. 精度和误差：示波器上显示的振幅通常具有较高的测量精度和准确性，受示波器本身的性能和校准情况影响。而通过波形数计算的振幅可能受到实验设置、测量方法和数据处理的误差影响，可能会存在一定的不确定性。3. 动态范围：示波器的动态范围（量程）决定了能够测量的最大振幅范围。示波器上显示的振幅受示波器量程的限制，而通过波形数计算的振幅可能没有这样的限制，因为它是根据信号的周期性进行估算的。4. 波形特征：示波器上显示的振幅可以提供更详细的波形特征，如振幅的变化、峰值、峰-to-峰值等。通过波形数计算的振幅通常只提供了一个估算值，可能无法提供相同的详细信息。 故为了确保准确性和可靠性，最好将示波器的测量结果作为主要参考，特别是在需要高精度和准确度的实验中。通过波形数计算的振幅可以作为补充信息，但需要考虑其相对较低的准确性和限制。