

# 基于迈克尔逊干涉仪的共相探测实验设计与优化

刘景奇

中国人民解放军国防科技大学前沿科技学院, 410073;

**摘要:** 论文旨在设计与优化基于迈克尔逊干涉仪的共相探测实验。迈克尔逊干涉仪作为一种经典的光学仪器,能够精确测量光波的干涉现象,其在共相探测中的应用为量子信息和精密测量提供了新的方向。本研究首先对实验设计的基本原理进行了深入探讨,涵盖了干涉条纹生成机制、相位差的精准控制方法,以及信号探测的核心技术,对光源进行精心挑选、调整干涉臂长度以及优化探测器配置,从而显著提升了系统的灵敏度和精细辨识能力。实验结果表明,改良后的干涉仪即使在光弱环境中仍旧可以探测到极微小的信号,这为将来的运用提供了科学依据和实验数据支撑。

**关键词:** 迈克尔逊干涉仪; 共相探测; 光学实验; 信号探测; 实验优化

**DOI:**10.69979/3041-0673.24.4.033

## 引言

随着量子技术和光学测量技术的迅猛发展,基于干涉原理的共相探测方法逐渐受到关注。迈克尔逊干涉仪以其简单的结构和优良的测量性能,成为研究光波干涉现象的重要工具。在实践运用场合,增强干涉仪感测灵敏度和准确度,成为当下学术探究的焦点问题。本研究致力于分析迈克尔逊干涉仪在共相探测方面的实验布局与改进方针,目的是为量子信息加工、光通信以及高精度计量等前沿科技领域贡献创新性的解决途径。

## 1 迈克尔逊干涉仪的基本原理

迈克尔逊干涉仪是一种经典的光学仪器,广泛应用于精密测量和干涉实验中,其基本原理主要基于光的波动性和干涉现象。该仪器由两个主要部分组成:一个分光器和两个反射镜。光源发出的单色光通过分光器被分为两束,分别称为光束A和光束B。光束A经过一个反射镜后返回分光器,与光束B相遇,并在分光器处重新合并形成干涉图样<sup>[1]</sup>。干涉的形成源于两束光波在相遇时可能发生的相干叠加,具体表现为明暗相间的干涉条纹。这些条纹的出现与两束光波的相位差密切相关,若两束光波的相位差为整数倍的波长,则产生亮条纹;若为半整数倍的波长,则产生暗条纹。

高灵敏度的迈克尔逊干涉仪,能够测量极为微小的相位变动,因此在确定微小位移和折射率变化等物理量方面具有广泛的应用价值。迈克尔逊干涉仪在现代光学和量子技术领域,不仅作为基础实验的核心工具,还广泛应用于激光干涉仪、光谱分析、量子信息处理等多个前沿研究领域。研究者通过进一步改善和提升,增强了

该技术在共相探测中的运用效能,确保其在弱光条件下亦能高效地执行信号检测任务。迈克尔逊干涉仪凭借其独有的干涉机制和涉猎广泛的科研应用,已然成为光学领域实验研究的必备仪器,极大地推进了科学探索的进程。

## 2 迈克尔逊干涉仪的共相探测实验设计

迈克尔逊干涉仪的共相探测实验设计是一个系统性工程,旨在通过优化实验参数和配置,提高对微弱信号的探测能力。实验设计的第一步是选择合适的光源,通常使用高稳定性的单色激光,以确保光波的相干性和一致性。在干涉仪中,光源发出的激光束通过分光器被分为两束光,光束在经过反射镜后重新汇聚于分光器,形成干涉条纹<sup>[2]</sup>。为了实现共相探测,实验设计需特别关注光束的相位匹配,确保两束光在重合时能够产生稳定且清晰的干涉图像。需要调节干涉臂的长度,以精确控制光程差。

在实验策划过程中,需对温度、振动以及气流等环境要素进行考量,通过应用振动试验台和温度控制装置,能够有效降低外界干扰因素,从而提升实验结果的可信度。在实验策划过程中,对数据进行采集与后续处理,利用高级计算机及其软件实现实时数据解析,有助于从干涉条纹中准确提取所需信息,这些设计要素的综合运用使得迈克尔逊干涉仪的共相探测实验,不仅能够对微弱信号进行高效率的探测,而且还能为量子信息处理、精密测量等领域的应用发展提供坚实的实验支撑。实验室的持续优化与创新活动,促进了共相探测技术的进步,进而为光学实验及量子技术的演变提供了助力。

### 3 迈克尔逊干涉仪的共相探测实验优化

#### 3.1 光源的选择与特性分析

光源的选择与特性分析是迈克尔逊干涉仪实验设计中的关键环节，直接影响到实验的整体性能和信号探测的灵敏度。理想的光源应具备高度的相干性，确保发出的光波在传播过程中保持相同的相位关系。常用的光源包括激光器和氦氖激光，这些光源能够产生相干性强、波长稳定的光束，适合于干涉实验。激光器的输出光束具有较窄的光谱宽度，能够减少干涉条纹的模糊度，提升干涉图样的清晰度。

在实际应用中，光源的波长选择也需结合实验目标进行合理配置。不同波长的光波在介质中的传播特性不同，可能导致不同的相位变化，因此，选择合适的波长不仅影响干涉条纹的形成，还可能影响对特定微弱信号的探测能力。例如，在某些量子通信和传感器应用中，特定波长的激光能够与样品的特性产生共振，进而提高探测的灵敏度。

在光学系统中，光源的恒定性是至关重要的，它是确保实验结果准确性的一个关键要素。环境中的温度、湿度以及电流波动等因素，均会作用于光源输出，由此，采用稳定电源与优良散热设计，能显著减少由光源性能波动引发的干扰问题。实验者在考虑到光源的相干性、功率、波长和稳定性等特性之后，可以选择最适合特定应用的光源，这为迈克尔逊干涉仪的共相探测实验提供了良好的基础，深入剖析光源特性并在实践中恰当运用，能显著提高干涉实验的准确性与可信度，从而促进相关领域的发展与创新。

#### 3.2 干涉臂长度的优化

干涉臂长度的优化是迈克尔逊干涉仪设计中至关重要的一环，直接影响到干涉条纹的清晰度、对比度以及探测灵敏度。设置干涉臂长度，以保证两束光线在独立路径传播后，能在分光器处以相干形式重新汇聚。在进行实验以达成既定目标的过程中，研究人员一般会操纵反射镜的位置，以此来控制光的路程差异。在理想条件下，两条光线在传播过程中的相位差应为波长的整数倍，这样才能形成明显的干涉条纹；当光程差恰好为半波长的奇数倍时，将引起相消干涉现象，进而形成暗条纹。为了精确调整干涉臂的长度，必须细致评估光源的波长特性、反射镜的布局距离以及相应的调节幅度，在进行具体实验时，干涉臂长度的确定需要结合实验的具

体要求进行全面考量。在追求极高测量精度的场合，以及需要检测微小位移的应用中，通过延长干涉测量臂的长度，可以增大光波传播的距离差，这有助于提升检测的灵敏度。例如，在干涉条纹稳定性方面，系统可能因环境因素如温度、振动和气流等导致的长时间光程变化而受到影响，实验者在配置干涉臂的长度时，需在检测敏感度与系统稳定性二者之间做出取舍。

干涉臂长度的进一步优化，可通过采用自动化调整策略来实现。采用高精度步进电机或光学位移传感器，能够对反射镜的位置进行细致调整，保障实验全程光线路径的最佳匹配<sup>[3]</sup>。实验过程中，应用此技术，能显著提高数据采集的实时性与可再现性，同时，有效降低由人工操作引入的偏差。实验者能够对实时变化的干涉条纹进行监控，并动态地调节干涉臂的长度，以维持干涉条纹的清晰度。干涉臂长度改进涉及实验场景的配置，通过恰当使用温控系统、隔振台和气流控制装置等辅助设备，可以有效降低外界因素对光程的干扰，从而确保干涉条纹的稳定性。在优化的历程中，研究者需执行彻底的环境审视与调整作业，以此确保在各种实验条件下都能稳定地实现干扰成效。

#### 3.3 探测器的配置与灵敏度提升

探测器的配置与灵敏度提升在迈克尔逊干涉仪的共相探测实验中占据着至关重要的地位，直接关系到微弱信号的有效捕捉和实验结果的准确性。为了达到高敏感度的探测效果，选择适宜的探测器显得尤为重要，在目前应用中，常见的探测工具涵盖了光电二极管、光电倍增管以及硅光电探测器等类型，在实验环境中，光电二极管以其迅速地响应、低噪音和低成本的特性，成为适用性广泛的组件；光电倍增管由于其显著的增益特性以及极低的暗电流水平，在捕捉微弱光信号的过程中显示出优异的性能。为了满足实验的具体要求，恰当挑选合适的探测器型号，这是提高探测反应敏感度的关键环节。在构建探测器与干涉仪的集成系统时，需细致分析二者的配合模式及其空间布局，在干涉仪输出端部署探测器，用以准确捕获干涉后合并的光波，为了提高光强的接收效率，必须对探测器的入射角度、焦距和光圈配置进行细致调整和优化。通过精确连接探测器与干涉仪的输出端口，能够降低光学能量的损耗，从而增强探测信号的力度，例如，采用如透镜之类的光学元件对光束进行聚焦，由此，探测器的光学设计优化，能够显著提升光束密度，进而增强其探测的敏感性。

在提升灵敏度的过程中,降低背景噪声和提升信号对噪声的比率同样重要。为了达到该目标,实验操作者可运用多样化的技术措施,借助光学滤波器,能够有效筛选出特定波长的光波,进而降低背景噪声对信号的负面影响。锁相放大技术通过与参考信号同步,能显著增强对微弱信号的检测能力。在信号较弱的环境中,该技术能显著提升探测的准确性与可靠性。在探测领域,提高灵敏度的重要手段之一是对温度进行精确调控,为了降低探测设备所固有的测量不确定性,必要的措施是确保其操作环境温度的一致性,让探测器在特定的温度区间内运作,通过安装温控设备,能够减少由温度变动导致的敏感度变异。在实验过程中,研究者必须考虑各类探测器的特定工作温度限制与电源标准,这对其性能的优化至关重要。

在实验过程中,对数据的收集与分析是关键,这对于提高探测的敏感性至关重要。利用先进的数据收集设备,能够实现信号波动的高频次与高精度的监测,这有助于增强数据解析的精准度。采用合适的信号处理技术,诸如傅里叶变换、滤波以及去噪方法,能够从繁杂的背景噪声中分离并精确提取所需信号,采用这一系列数据处理技术,可以在存在信息冗余和噪声干扰的情况下,有效提升对微弱信号的识别性能。

### 3.4 噪声控制与信号处理方法

噪声控制与信号处理方法在迈克尔逊干涉仪的共相探测实验中起着至关重要的作用,直接关系到微弱信号的提取和实验数据的准确性。在实际实验中,各种噪声源的存在可能会严重影响干涉条纹的清晰度和信号的可辨识度,因此,制定有效的噪声控制策略是提高探测灵敏度的关键。噪声的来源可以分为内部噪声和外部噪声。内部噪声主要包括探测器自身的暗电流噪声、热噪声等,而外部噪声则来源于环境振动、电磁干扰、空气流动等。因此,综合考虑各种噪声源,设计相应的控制措施是噪声管理的基本任务<sup>[4]</sup>。为有效控制噪声,实验者可采用多种技术手段。例如,使用高灵敏度的探测器时,应选择适当的噪声抑制技术,以降低内部噪声的影响。对于光电倍增管等高增益探测器,其工作原理中固有的噪声特性要求对信号采集的环境进行严格控制。

隔振台的配置,能显著减少地面振动对光束传输稳定性的影响,保障传输过程的稳定。采用隔离罩与气流调控设备,能有效降低空气流动对光路造成的影响,进

而增强干涉条纹的稳定性。选用恰当的屏蔽材料和布局线缆策略,能够减少电磁干扰的可能性,保障信号质量不受影响,噪声被有效管理后,利用信号处理技术对于增进实验成果的信赖度至关重要。在信号处理领域,通过各类算法与先进技术手段得以实现,锁相放大技术尤其作为其中一种普遍采用的处理方式,反相放大器通过与已知参考信号实现同步化,能够从噪声背景中精确分离出弱信号,从而显著提升信号的信噪比。针对低频信号的处理技术,能显著提高干涉信号的清晰度和可用性。

在信号处理领域,锁相放大技术之外,使用高采样率的数字化设备,可以确保对信号的高精度采集,防止因采样不足导致的信息丢失。在数据处理过程中,常用的处理手段包括傅里叶变换、滤波和去噪等技术。利用这些技术手段,实验者能够从繁杂的背景噪声中精确剥离出信号,并在频域内进行分析,以便辨识出信号的关键属性,并排除干扰的噪声<sup>[5]</sup>。为了提高信号处理的效率,关键在于实施实时的监控与评价体系。在实验过程中,实验者能够根据监控信号波动,灵活地修正实验参数,以保证在不同环境条件下,探测结果都能达到最优。

总结:总结而言,基于迈克尔逊干涉仪的共相探测实验设计与优化是一项多学科交叉的综合性工作,涉及光学、电子学、数据处理等多个领域的知识。通过科学的实验设计与高效的优化策略,研究者能够在微弱信号探测中取得更高的灵敏度和准确性,推动相关科学研究的进展和应用,为未来的探索和技术发展开辟新的方向。

### 参考文献

- [1]徐正祥.基于叠堆压电陶瓷的液体光学调相器设计与制备[D].南京邮电大学[2024-11-02].
- [2]季文,袁群,高志山,等.基于多波长干涉技术的拼接镜共相检测[J].光学学报,2021,41(16):1612003. DOI:10.3788/AOS202141.1612003.
- [3]徐正祥.基于叠堆压电陶瓷的液体光学调相器设计与制备[D].南京邮电大学[2024-11-02].
- [4]佚名.展开式拼接望远镜粗共焦共相调整系统设计[J].光电工程,2016,43(7):8. DOI:10.3969/j.issn.1003-501X.2016.07.009.
- [5]张龙.拼接式望远镜光学共相探测技术研究[D].中国科学院大学(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所),2020.