

预习报告		实验记录		分析讨论		总成绩	
25		30		25		80	

专业：	物理学	年级：	2022 级
姓名：	戴鹏辉	学号：	2344016
日期：	2024/03/11	教师签名：	

CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉）

【实验报告注意事项】

- (1) 实验报告由三部分组成：
- (1) 预习报告：（提前一周）认真研读**实验讲义**，弄清实验原理；实验所需的仪器设备、用具及其使用（强烈建议到实验室预习），完成课前预习思考题；了解实验需要测量的物理量，并根据要求提前准备实验记录表格（第一循环实验已由教师提供模板，可以打印）。预习成绩低于 10 分（共 20 分）者不能做实验。
- (2) 实验记录：认真、客观记录实验条件、实验过程中的现象以及数据。实验记录请用珠笔或者钢笔书写并签名（**用铅笔记录的被认为无效**）。**保持原始记录，包括写错删除部分，如因误记需要修改记录，必须按规范修改。**（不得输入电脑打印，但可扫描手记后打印扫描件）；离开前请实验教师检查记录并签名。
- (3) 分析讨论：处理实验原始数据（学习仪器使用类型的实验除外），对数据的可靠性和合理性进行分析；按规范呈现数据和结果（图、表），包括数据、图表按顺序编号及其引用；分析物理现象（含回答实验思考题，写出问题思考过程，必要时按规范引用数据）；最后得出结论。

实验报告就是将预习报告、实验记录、和数据处理与分析合起来，加上本页封面。

- (2) 每次完成实验后的一周内交**实验报告**（特殊情况不能超过两周）。
- (3) 除实验记录外，实验报告其他部分建议双面打印。

【安全注意事项】

- (1) 实验过程中，光源不要随意打开关闭；
- (2) 严禁用手触光学镜头的表面；
- (3) 严禁用强力和斜向力旋转测微头，这样会损坏测微头或其他部件；
- (4) 不要拆卸传动机构，以免影响仪器正常使用；
- (5) 实验过程中，数条纹时，避免桌面的振动。

目录

1	CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉） 预习报告	3
1.1	实验目的	3
1.2	仪器用具	3
1.3	原理概述	3
1.4	实验前思考题	5
2	CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉） 实验记录	7
2.1	实验内容和步骤	7
2.1.1	实验一测量光栅常数	7
2.1.2	实验二测定未知光波波长及角色散率 D	8
2.2	实验过程中遇到的问题记录	9
3	CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉） 分析与讨论	10
3.1	实验数据分析	10
3.1.1	实验一测量光栅常数	10
3.1.2	实验二测定未知光波波长及角色散率 D	11
3.2	实验后思考题	12
	参考文献	14
	Appendices	15
.1	代码记录	15
.2	常用命令展示	16

CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉） 预习报告

1.1 实验目的

- (1) 观察等倾、等厚干涉现象及调节白光干涉条纹；
- (2) 学习用迈克尔逊干涉仪测量钠光谱波长差的方法；
- (3) 学习用白光干涉测量透明薄片折射率的方法；
- (4) 用迈克尔逊干涉仪测量多种光源的相干长度；

1.2 仪器用具

编号	仪器用具名称	数量	主要参数（型号，测量范围，测量精度等）
1	精密干涉仪	1	SGM-3
2	He-Ne 激光器	1	—
3	钠钨双灯	1	—
4	汞灯	1	—
5	透明薄片	1	—
6	螺旋测微计	1	—

1.3 原理概述

(1) 测钠双黄线的波长差

钠黄光含有两种波长相近的光（ $\lambda_1 = 589.0nm$ ， $\lambda_2 = 589.6nm$ ）。采用钠灯作光源时，两条谱线形成各自的干涉条纹，在视场中的两套干涉条纹相互叠加。由于波长不同，同级条纹之间会产生错位（ λ_1 的某一级的暗条纹可能会和 λ_2 的另一级的亮条纹重合）。在移动反射镜 M_1 （光程差发生变化）过程中，干涉条纹会出现清晰与模糊的周期性变化，称为“光拍现象”。其原理如下。

设两条光路的光程差 $L = 2d$ ，由光的干涉条件可知：当 $L = k_1\lambda_1$ （ k_1 为整数）时，在视场 E 中心处干涉加强；当 $L = (k_2 + \frac{1}{2})\lambda_2$ （ k_2 为整数）时，在视场 E 中心处干涉减弱。

视场 E 中心处 λ_1 和 λ_2 两种单色光干涉条纹相互叠加。若逐渐增大 M_1 与 M_2 的间距 d ，当 λ_1 的第 k_1 级亮条纹和 λ_2 的第 k_2 级暗条纹相重合时，叠加而成的干涉条纹清晰度最低，此时干涉条纹出现第

一次模糊，记录此时的光程差为 L_A 。

若继续增大 M_1 与 M_2 的间距，使得视场 E 中心处的光程差增加至 L_B ，此时 λ_1 的第 $(k_1 + n)$ 级亮条纹和 λ_2 的第 $(k_2 + n)$ 级亮条纹相重合，叠加而成的干涉条纹亮度最高，此时干涉条纹恢复清晰。

继续增大 M_1 与 M_2 的间距，使得视场 E 中心处的光程差增加至 L_C ，此时 λ_1 的第 $k_1 + m$ 级亮条纹和 λ_2 的第 $(k_2 + m - 1)$ 级暗条纹相重合时，叠加而成的干涉条纹清晰度再次出现最低，此时干涉条纹出现第二次模糊，记录此时的光程差为 L_C 。

设干涉条纹出现一次模糊 \rightarrow 清晰 \rightarrow 模糊的变化时，反射镜 M_1 的移动距离为 Δd ，则 A 处和 C 处前后的光程差变化为 $\Delta L_{AC} = L_C - L_A = 2\Delta d = m\lambda_1 = (m - 1)\lambda_2$ ，则 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2/m$ ， $m = 2\Delta d/\lambda_1$ ，得到最后结果为：

$$\Delta\lambda \equiv \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2\Delta d} = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d}$$

记录下干涉条纹出现一次“模糊 \rightarrow 清晰 \rightarrow 模糊”的变化时，反射镜 M_1 移动的距离 Δd ，结合钠双黄线的平均波长，即可利用上式求得钠双黄线的波长差。

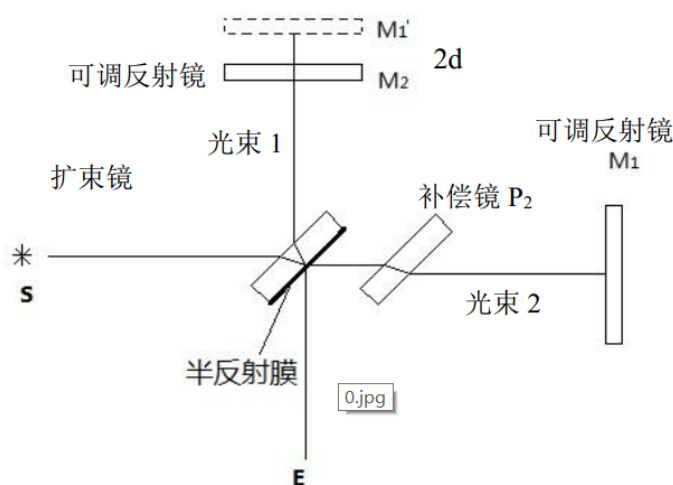


图 1: 迈克尔逊干涉仪光路图

(2) 白光干涉的调节，并测定透明薄片的厚度 t 或者折射率 n

迈克尔逊干涉实验的变形实验中，首先使用激光光源和扩束镜调节出定域等倾干涉圆环，表示两干涉臂的光程差接近零。接着，换上扩散的汞灯光源，在观察屏翻到背后有玻璃的一面，微调可调反射镜 M_2 的倾斜度，调节干涉条纹直至只剩下非常粗大的干涉圆环。然后，换上扩散的白光光源，微调 M_1 的精密测微头，在玻璃镜（视场）中观察到彩色的条纹，称为“白光等厚干涉条纹”。接着，在反射镜 M_1 与分束镜 P_1 之间放上折射率为 n ，厚度为 t 的透明薄片，两干涉臂的光程差增大为 $\Delta L = 2t(n - 1)$ ，透过观察屏玻璃观察透明薄片处，可以看到视场中的白光干涉彩色条纹消失。最后，将反射镜 M_1 向

前朝分束镜 P_1 方向移动一段距离 Δd ，使得 $\Delta d = \Delta L/2$ ，此时白光彩色干涉条纹重新出现。通过测量 M_1 镜的移动量 Δd ，可以根据 $\Delta d = t(n-1)$ 计算出透明薄片的折射率 n 或厚度 t 。

1.4 实验前思考题

思考题 1.1: 如何测量透明溶液的折射率？请自行就相关实验原理进行调研，并设计合理试验方案。

可以使用迈克尔逊干涉仪测量透明溶液的折射率，方法简述如下：

- (1) 准备设备：设置迈克尔逊干涉仪，确保所有光学元件清洁并正确对准。
- (2) 校准干涉仪：在不放入样品的情况下，调整干涉仪直至观察到清晰的干涉条纹。
- (3) 放置样品：将装有透明溶液的比色皿放置在干涉仪的一臂中，确保比色皿平行于光束。
- (4) 观察条纹变化：开启干涉仪，观察由于溶液折射率不同而引起的干涉条纹移动。
- (5) 数据记录：记录条纹移动的数量，这与溶液的光程差有关。
- (6) 计算折射率：使用公式 $n = 1 + \frac{\lambda}{2d}$

其中 n 是折射率， λ 是光的波长， d 是比色皿的厚度， m 是条纹移动的数量。

测量折射率的方法还有多种，除了迈克尔逊干涉仪法外，还包括：

- 几何光学方法：利用斯涅尔定律，可以通过最小偏向角法或极限角法来测量折射率。这些方法通常需要一个透明的三棱镜样品。
- 波动光学方法：通过光程差和干涉现象来测量折射率，例如使用马赫干涉仪或法布里珀罗干涉仪。
- 分光光度法：这种方法通过测量样品的反射率和透射率来计算折射率。它可以进一步细分为菲涅耳公式法、布儒斯特定律法和接近垂直入射时的反射法。
- 椭圆偏振测量法：这种方法通过测量反射光的振幅比和相移来直接测量折射率，需要针对每种材料的特定光学模型。
- ATR 法：采用全反射原理，利用样品与棱镜的接触面发生反射，反射角与入射角之差与样品折射率之间存在固定的关系，从而计算出样品的折射率。
- 位移法：通过比较两种介质中一个光点的位置变化，计算出样品的折射率。具体方法包括折射平台法、折射浸渍法等。

每种方法都有其适用的情况和限制，选择合适的方法取决于样品的性质和实验条件。

思考题 1.2: 如何测量汞灯光源的相干长度？请自行就相关实验原理进行调研，并设计具体实验方案。

可以使用迈克尔逊干涉仪测量汞灯光源的相干长度，具体实验步骤如下：

- (1) 调整激光器：打开 He-Ne 激光器，调出清晰的等倾非定域干涉条纹。调节动镜 M2 的镜面调节螺丝，使观察屏上出现清晰的干涉条纹。
- (2) 汞灯光源的安装：撤掉激光器，换上低压汞灯光源。在汞灯光源与平面反射镜间放置毛玻璃，观察是否有直线条纹出现。
- (3) 观察干涉条纹：从 E 点位置用单眼观察 M2 的位置，检查是否有黑白相间的直线条纹。如果没有出现，则适当调节 M2 的镜面调节螺丝，直至视野中出现直线条纹。
- (4) 测量相干长度：向同一方向转动 M2 的微调鼓轮，使视野中的彩色直线条纹变弯曲。在条纹刚刚变弯曲的时刻，记下 M2 微调鼓轮的初始读数 d_1 和彩色直线条纹刚刚变弯曲时读数 d_2 。相干长度即为
$$d = \frac{1}{2}(d_1 - d_2)$$

专业：	物理学	年级：	2022 级
姓名：	戴鹏辉	学号：	22344016
室温：	xx°C	实验地点：	A508
学生签名：		评分：	
实验时间：	2024/xx/xx	教师签名：	

CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉）

实验记录

2.1 实验内容和步骤

2.1.1 实验一测量光栅常数

该实验使用（已知谱线波长为 $\lambda = 589.4nm$ 的）低压钠灯为光源

- (1) 望远镜聚焦于无穷远（既能接受平行光），然后平行光管产生平行光, 使平行光管和望远镜的光轴都垂直仪器的转轴，随后调整光栅平面与平行光管光轴垂直，光栅的刻痕与仪器转轴平行。
- (2) 打开钠灯电源，照亮狭缝，记录主极亮的位置，即望远镜分化板竖直线与零级光谱（即平行光管狭缝像）重合时的位置，这个位置就是上一步中调节好了的位置。记下此时刻度盘两窗口的读数；
- (3) 把望远镜向零级光谱的一边转动（如向右），直到看到一级光谱中的黄线，并使它与分化板垂直线重合。记下刻度盘两窗口读数，计算出衍射角；继续原方向转到望远镜，并在二级光谱中找到该谱线再做同样的测量；
- (4) 把望远镜往零级光谱的另一边转动（刚才向右，现在则向左），做步骤（2）中相同测量；
- (5) 把光栅法线左右两边所测同级光谱中的两个衍射角求平均后代入光栅衍射公式，求光栅常数。要求两个值之差不能超过 $10'$ ，否则，应重新调节入射光与光栅面垂直。最后求一、二级谱线测得的光栅常数 d 的平均值及其实验不确定度。

	主极亮位置	+1 级	+2 级
左窗口	08°15	358°05	347°37
右窗口	188°16	178°08	167°39
		-1 级	-2 级
左窗口		18°25	29°03
右窗口		198°27	209°03

表 1: 实验一测量数据

2.1.2 实验二测定未知光波波长及角色散率 D

以汞灯为光源，按上面方法测出各级光谱的衍射角，计算出它们的波长。然后计算角色散率及不确定度。（实际实验中测量了蓝、绿、黄三色的谱线）

	主极亮位置	+1 级	+2 级	+1 级	+2 级	+1 级	+2 级
左窗口	08°14	00°45	353°06	358°51	349°12	358°16	348°03
右窗口	188°15	180°45	173°08	178°53	169°13	178°16	168°04
		-1 级	-2 级	-1 级	-2 级	-1 级	-2 级
左窗口		15°46	23°27	17°44	27°25	18°14	28°37
右窗口		195°47	203°27	197°43	207°25	198°16	208°38
		蓝色		绿色		黄色	

表 2: 实验数据

DATE: PAGE: 2023.10.12

光栅常数及光波波长的测量数据

1. 测量光栅常数

主极亮位置	+1 级	-1 级
左窗口 8°15'	178°51' 358°51' (-360°)	198°27' 18°25'
右窗口 188°16'	358°51' (-360°) 178°8'	198°27'
	+2 级	-2 级
左	347°37' (-360°)	27°3'
右	167°39'	207°5'

2. 测量未知光波波长及角色散率 D

主极亮位置	+1 级	+2 级	-1 级	-2 级
左 8°14'	00°45'	353°6' (-360°)	15°46'	23°27' (蓝)
右 188°15'	180°45'	173°8'	195°47'	203°27' 433.3nm
左	358°51' (-360°)	349°12' (-360°)	17°44'	27°25' (绿)
右	178°53'	169°13'	197°43'	207°25' 540.3nm
左	358°16' (-360°)	348°3' (-360°)	18°14'	28°37' (黄)
右	178°16'	168°4'	198°16'	208°38' 576.5nm

实验过程中有两条谱线，
间隔相近，则近似为一条

2023.10.12

MULLA

图 2: 原始实验数据

2.2 实验过程中遇到的问题记录

- (1) 测量过程中，弯游标在转动过程中可能越过 0 刻度线，应当在计算时注意修正。
- (2) 在使用钠灯或汞灯观测黄色谱线时，理论上应存在两条，但由于分辨率问题，或二者在实际观测中距离较近，不易区分，则当作一条谱线，实际测量时，目镜中的垂直叉丝对准两谱线平均位置。
- (3) 在使用汞灯测量谱线时，理论上应存在紫色谱线（波长 $\lambda = 404.7\text{nm}$ ），但其强度较弱，实际观测中很难观测到，则略去，只测量蓝、绿、黄三色（即亮度最亮的三条）谱线。
- (4) 在目镜中观察时，有些谱线亮度较低，被环境光所影响导致难以观察，可以使用挡板遮挡部分环境光，使得观察更加容易。
- (5) 注意调节平行光管进光狭缝宽度至合适值，若其宽度过宽，则谱线宽度也会过宽，会降低谱线的分辨率和对比度；若其宽度过窄，会导致入射光强度减弱，使得谱线亮度不足，难以观察和测量。

专业：	物理学	年级：	2022 级
姓名：	戴鹏辉	学号：	22344016
日期：	2024/xx/xx	评分：	

CB1+

迈克尔逊干涉及应用（白光干涉）

分析与讨论

3.1 实验数据分析

3.1.1 实验一测量光栅常数

由表 1 中的数据，可计算得到各级衍射条纹的衍射角，如下表所示

φ_{+1}	φ_{+2}	φ_{-1}	φ_{-2}
10°09	20°37	10°10	20°47

则可由正负级衍射角计算平均值，并根据光栅衍射公式 $k\lambda = d \sin \varphi$ ，计算光栅常数，其中钠灯的谱线已知，取 $\lambda = 589.4nm$ ，则计算结果如下表所示

φ_1	φ_2	
10°09	20°42	
d_1	d_2	\bar{d}
$3.344 \times 10^{-6}m$	$3.334 \times 10^{-6}m$	$3.339 \times 10^{-6}m$

下面计算不确定度：

(1) 角度的重复测量引起的标准不确定度分量 u_1 ,

$$u_1 = \sqrt{\sum (\left|\frac{\partial d}{\partial \varphi_i}\right| \sigma_i)^2} = 4.55 \times 10^{-8}m$$

(2) 仪器的示值误差引起的标准不确定度分量 u_2 ，由分光计游标最小分度值 $1'$ ，按照均匀分布考虑

$$u_2 = \sqrt{\sum (\left|\frac{\partial d}{\partial \varphi_i}\right| \sigma_i)^2} = 1.99 \times 10^{-7}m$$

(3) 合成不确定度

$$u_c = \sqrt{\sum (u_i)^2} = 2.04 \times 10^{-7}m$$

(4) 展伸不确定度

考虑正态分布，取置信概率为 95%，查表得包含因子 $k = 1.96$
则最终测量结果表示为 $d = \bar{d} \pm ku_c = (3.34 \pm 0.40) \times 10^{-6}m$

分析误差来源

- (1) 可能是由于光栅本身的刻线不均匀，或者刻线与仪器转轴不平行，导致不同级次之间的测量数据计算所得结果之间有较大误差；这是仪器本身的系统误差，无法消除，只能通过更换质量更好的光栅来避免。
- (2) 平行光管进光狭缝的宽度可能过宽，使得入射谱线的宽度也变宽，则会降低谱线的分辨率和对比度，使得测量衍射角时不准确，从而影响计算结果。

3.1.2 实验二测定未知光波波长及角色散率 D

根据表 2 数据，重复实验一中的处理操作，计算正负级衍射角，计算平均值，并根据光栅衍射公式 $k\lambda = d \sin \varphi$ ，计算不同衍射谱线对应光波波长，式中光栅常数取实验一中的计算结果 $d = 3.34 \times 10^{-6}m$ ，则计算结果如下表所示

颜色	蓝色 (b)	绿色 (g)	黄色 (y)
φ_{+1}	07°29	09°22	09°58
φ_{+2}	15°07	19°02	20°11
φ_{-1}	07°32	09°29	10°00
φ_{-2}	15°12	19°10	20°23
φ_1	07°30	09°25	09°59
φ_2	15°10	19°06	20°17
λ_1	435.83nm	546.30nm	578.86nm
λ_2	436.79nm	546.29nm	578.75nm
$\bar{\lambda}$	436.31nm	546.30nm	578.80nm

下面计算不确定度：

- (1) 角度的重复测量引起的标准不确定度分量 u_1 ,

$$u_{b1} = \sqrt{\sum \left(\left| \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi_i} \right| \sigma_i \right)^2} = 0.402nm$$
$$u_{g1} = \sqrt{\sum \left(\left| \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi_i} \right| \sigma_i \right)^2} = 1.14nm$$
$$u_{y1} = \sqrt{\sum \left(\left| \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi_i} \right| \sigma_i \right)^2} = 1.36nm$$

- (2) 仪器的示值误差引起的标准不确定度分量 u_2 ,
- 由分光计游标最小分度值 $1'$ ，按照均匀分布考虑

$$u_{b2} = \sqrt{\sum \left(\left| \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi_i} \right| \sigma_i \right)^2} = 0.10nm$$

$$u_{g2} = \sqrt{\sum \left(\left| \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi_i} \right| \sigma_i \right)^2} = 0.13nm$$
$$u_{y2} = \sqrt{\sum \left(\left| \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi_i} \right| \sigma_i \right)^2} = 0.14nm$$

(3) 合成不确定度

$$u_{cb} = \sqrt{\sum (u_i)^2} = 0.41nm \quad u_{cg} = \sqrt{\sum (u_i)^2} = 1.15nm \quad u_{cy} = \sqrt{\sum (u_i)^2} = 1.36nm$$

(4) 展伸不确定度考虑正态分布，取置信概率为 95%，查表得包含因子 $k = 1.96$
则最终测量结果表示为

$$\lambda_b = (436.31 \pm 0.41)nm \quad \lambda_g = (546.30 \pm 1.15)nm \quad \lambda_y = (578.80 \pm 1.36)nm$$

将各谱线波长计算值与标准值比较（预习报告中所查得的数据），计算各谱线波长的相对误差（计算黄光谱线相对误差时，参考值取两条黄色谱线的平均波长），得到

$$\eta_b = \left| \frac{435.8 - 436.31}{435.8} \right| \times 100\% = 0.117\%$$
$$\eta_g = \left| \frac{546.1 - 546.30}{546.1} \right| \times 100\% = 0.037\%$$
$$\eta_y = \left| \frac{578.05 - 578.80}{578.05} \right| \times 100\% = 0.130\%$$

下面计算角色散率，根据角色散率公式 $D = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos \theta}$ ，由上表数据计算得

颜色	蓝色	绿色	黄色
D1	$2.98 \times 10^5 m^{-1}$	$2.99 \times 10^5 m^{-1}$	$3.00 \times 10^5 m^{-1}$
D2	$6.11 \times 10^5 m^{-1}$	$6.24 \times 10^5 m^{-1}$	$6.29 \times 10^5 m^{-1}$

下面计算角色散率的不确定度，重复上面的操作，最终包含不确定度结果如下表所示

颜色	蓝色	绿色	黄色
D1	$2.98 \pm 0.002 \times 10^5 m^{-1}$	$2.99 \pm 0.03 \times 10^5 m^{-1}$	$3.00 \pm 0.01 \times 10^5 m^{-1}$
D2	$6.11 \pm 0.07 \times 10^5 m^{-1}$	$6.24 \pm 0.004 \times 10^5 m^{-1}$	$6.29 \pm 0.10 \times 10^5 m^{-1}$

分析误差来源：

- (1) 观察数据可发现，在测量 2 级谱线时，正负级衍射角的差偏大，个别数据甚至超过了 10’（由于超过 10’ 的数据是最后一组测量数据，故没有及时发现），说明光栅并未完全与平行光管光轴垂直，存在一个小角度偏差，引入了一定的系统误差。
- (2) 平行光管进光狭缝的宽度可能过宽，使得入射谱线的宽度也变宽，则会降低谱线的分辨率和对比度，使得测量衍射角时不准确，从而影响计算结果。

3.2 实验后思考题

思考题 3.1: 检索文献，列举三种测量光波波长的方法，给出参考文献列表。

通过查阅资料，我找到了以下几种可以测量光波波长的方法：

- (1) 双棱镜干涉法，它利用双棱镜将单色光分成两束相干光，然后在屏幕上形成干涉条纹。通过测量条纹间距和双棱镜的夹角，可以计算出光波的波长。[1][2]
- (2) 傅里叶红外光谱仪法，它利用傅里叶变换将单色光的干涉信号转换为频率域的信号，然后通过测量信号的频率，可以计算出光波的波长。[3][4]
- (3) 激光多普勒干涉法，该方法利用激光束与一个高速旋转的多面棱镜发生多普勒效应，产生频率变化的干涉信号。通过测量干涉信号的频率差，即可求得激光波长。[5]

参考文献列表：



图 3: 原始实验数据

参考文献

Appendices

.1 代码记录

Listing 1: 代码记录示例

```
1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3
4 # Data for plotting
5 t = np.arange(0.0, 2.0, 0.01)
6 s = 1 + np.sin(2 * np.pi * t)
7
8 fig, ax = plt.subplots()
9 ax.plot(t, s)
10
11 ax.set(xlabel='time (s)', ylabel='voltage (mV)',
12        title='About as simple as it gets, folks')
13 ax.grid()
14
15 fig.savefig("test.png")
16 plt.show()
```

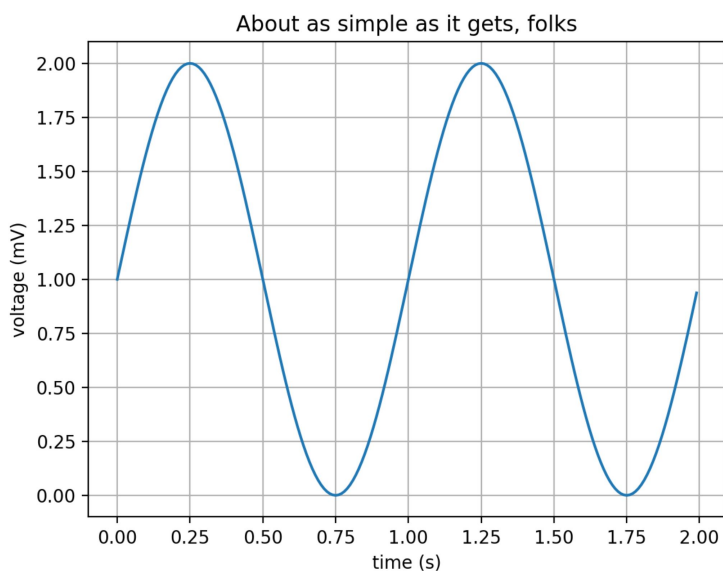


图 4: Test Figure

.2 常用命令展示

这部分将展示其他常用命令。

颜色设置

- 赤橙黄绿青蓝紫
- 谁持彩练当空舞

字号设置

- (1) 江晚正愁余
- (2) 江晚正愁余
- (3) 江晚正愁余
- (4) 江晚正愁余
- (5) 江晚正愁余
- (6) 江晚正愁余
- (7) 江晚正愁余

字体设置（中文）

- (1) 宋体：山有扶苏，隰有荷华
- (2) 仿宋：山有扶苏，隰有荷华
- (3) 黑体：山有扶苏，隰有荷华
- (4) 楷书：山有扶苏，隰有荷华

Set font(English)

- (1) roman: Hello world!
- (2) sans-serif: Hello world!
- (3) typewriter: Hello world!

公式

无编号公式

$$J(\theta) = \mathbb{E}_{\pi_\theta}[G_t] = \sum_{s \in \mathcal{S}} d^\pi(s) V^\pi(s) = \sum_{s \in \mathcal{S}} d^\pi(s) \sum_{a \in \mathcal{A}} \pi_\theta(a|s) Q^\pi(s, a)$$

$$J(\theta) = \mathbb{E}_{\pi_\theta}[G_t] = \sum_{s \in \mathcal{S}} d^\pi(s) V^\pi(s) = \sum_{s \in \mathcal{S}} d^\pi(s) \sum_{a \in \mathcal{A}} \pi_\theta(a|s) Q^\pi(s, a)$$

有编号公式

$$J(\theta) = \mathbb{E}_{\pi_\theta}[G_t] = \sum_{s \in \mathcal{S}} d^\pi(s) V^\pi(s) = \sum_{s \in \mathcal{S}} d^\pi(s) \sum_{a \in \mathcal{A}} \pi_\theta(a|s) Q^\pi(s, a) \quad (1)$$

$$J(\theta) = \mathbb{E}_{\pi_\theta}[G_t] = \sum_{s \in \mathcal{S}} d^\pi(s) V^\pi(s) = \sum_{s \in \mathcal{S}} d^\pi(s) \sum_{a \in \mathcal{A}} \pi_\theta(a|s) Q^\pi(s, a) \quad (2)$$

波尔文积分

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^\infty \frac{\sin(x)}{x} dx = \frac{\pi}{2} \\ \int_0^\infty \frac{\sin(x)}{x} \frac{\sin(x/3)}{x/3} dx = \frac{\pi}{2} \\ \dots \\ \int_0^\infty \frac{\sin(x)}{x} \frac{\sin(x/3)}{x/3} \dots \frac{\sin(x/13)}{x/13} dx = \frac{\pi}{2} \\ \int_0^\infty \frac{\sin(x)}{x} \frac{\sin(x/3)}{x/3} \dots \frac{\sin(x/15)}{x/15} dx = \frac{467807924713440738696537864469}{935615849440640907310521750000} \pi \end{array} \right.$$

多行对齐公式

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \theta_k} J(\theta) &= \frac{\partial}{\partial \theta_k} \left[\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \log(1 + e^{-y^{(i)} \theta^T x^{(i)}}) \right] \\ &= \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \frac{1}{1 + e^{-y^{(i)} \theta^T x^{(i)}}} y^{(i)} x_k^{(i)} \\ &= -\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m h_\theta(-y^{(i)} x^{(i)}) y^{(i)} x_k^{(i)} \end{aligned}$$

引用

对公式的引用，如(3)

$$J(\theta) = \mathbb{E}_{\pi_\theta}[G_t] = \sum_{s \in \mathcal{S}} d^\pi(s) V^\pi(s) = \sum_{s \in \mathcal{S}} d^\pi(s) \sum_{a \in \mathcal{A}} \pi_\theta(a|s) Q^\pi(s, a) \quad (3)$$

对图像的引用，如图 5



图 5: 测试图片

对表格的引用，如表 3

表 3: 一个空表格

表格

tabular 可以自己更改宽度

表 4: 一个空表格

tabularx 可以自适应宽度

表 5: 一个空表格
