

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	实验一测钠双黄线的波长差	7
2.1.2	实验二白光干涉的调节，并测定透明薄片的厚度 t 或者折射率 n	7
2.2	实验过程中遇到的问题记录	7
3	CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉） 分析与讨论	8
3.1	实验数据分析	8
3.1.1	实验一测量光栅常数	8
3.1.2	实验二测定未知光波波长及角色散率 D	9
3.2	实验后思考题	10
	参考文献	12
	Appendices	13
.1	代码记录	13
.2	常用命令展示	14

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。

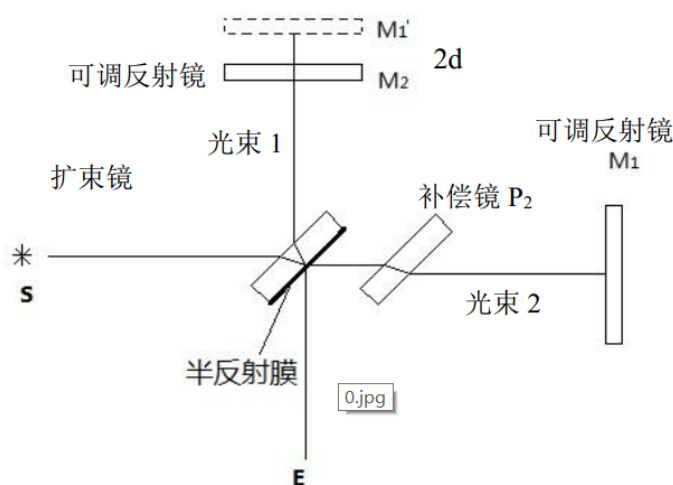


图 1: 迈克尔逊干涉仪光路图

(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：	26℃	实验地点：	A505
学生签名：		评分：	
实验时间：	2024/03/14	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 实验一测钠双黄线的波长差

- (1) 首先调节迈克尔逊干涉仪，使产生定域等倾干涉条纹：
- (1) 安装并打开 $He - Ne$ 激光器（注意不要直射眼睛），但先不安装扩束镜，使激光束从分束镜 P_1 的中心附近入射；

(2) 调节可调反射镜 M_2 背面的三个螺钉，使得 M_1 和 M_2 反射的光点的最亮处在观察屏 E 上重合；

(3) 装上扩束镜（以获得点光源），此时应能在观察屏上看到等倾干涉条纹（如观察不到，则可微调固定激光器的螺钉，使得光束能顺利通过扩束镜）。

2.1.2 实验二白光干涉的调节，并测定透明薄片的厚度 t 或者折射率 n

2.2 实验过程中遇到的问题记录

- (1)

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，参考值取两条黄光谱线的平均波长），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 2: 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()
```

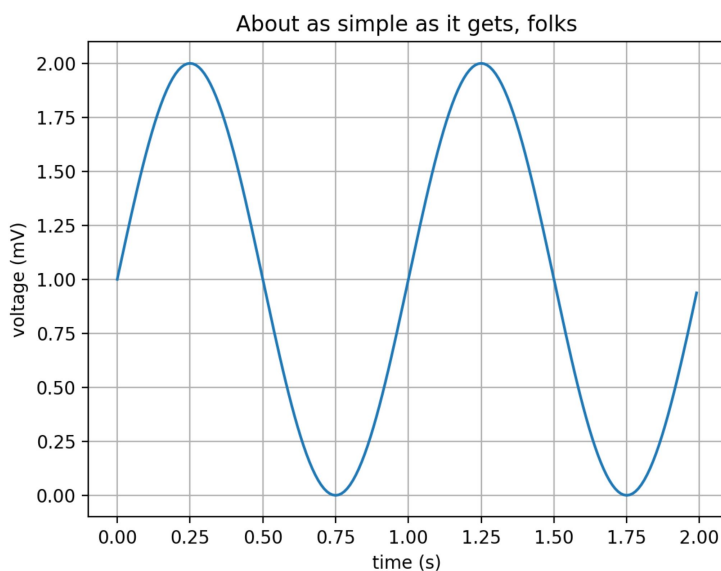


图 3: Test Figure

.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 4



图 4: 测试图片

对表格的引用，如表 1

表 1: 一个空表格

表格

tabular 可以自己更改宽度

表 2: 一个空表格

tabularx 可以自适应宽度

表 3: 一个空表格
