

预习 操作记录		实验报告 总评成绩	

《大学物理实验》课程实验报告

专业：实验人姓名：学号：

参加人姓名：

日期： 年 月 日 室温：相对湿度：

实验 12 塞曼效应实验

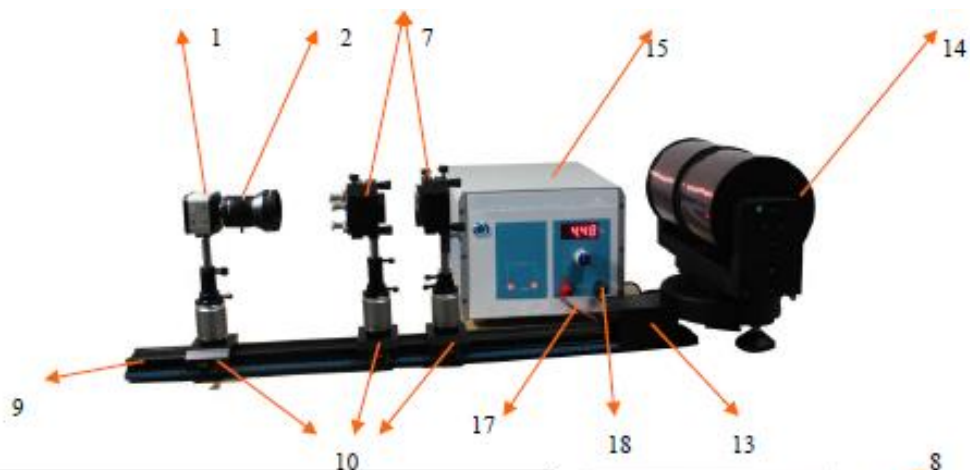
[实验前思考题]

1. 什么是塞曼效应？
2. 如何观测塞曼效应？

[实验目的]

1. 学习观察塞曼效应的实验方法。
2. 计算电子的荷质比 e/m 。

[仪器用具]



仪器部件清单表
1.CMOS 相机
2.相机镜头
3. 法布里泊罗标准具
4.干涉滤光器
5.偏振器件
6.聚光透镜
7.精密调调节架
8.水平可调精密调节架
9.导轨，长 600mm
10.托板
11.杆
12.升降调节架
13.连接块
14.电磁线圈
15.恒流源
导线和连接线
16.电源线
17.红色连接线
18.黑色连接线
19.USB 数据线



一、塞曼效应简介

1896年，塞曼发现，当光源放在足够强的磁场中，所发出的谱线会产生分裂，分裂的谱线数量与原子能级有关，并且所发出的谱线都是偏振的，这种现象叫做塞曼效应。它揭示了原子内部运动的量子效应，到目前为止，塞曼效应仍然是研究原子内部结构的一种重要方法。

BEX-8501塞曼效应实验装置主要用于近代物理实验教学。用于验证磁场对光源的影响，以及提供一种精确计算电子荷质比的方法。

二、实验原理

1. 基本原理

当发光原子置于磁场中，它所发出谱线将分裂成几条谱线。这种现象叫做塞曼效应。塞曼在1896年首次发现这个现象，并于1902年因此获得诺贝尔物理学奖。原子中的电子由于作轨道运动产生轨道磁矩，电子同时还具有自旋运动产生自旋磁矩。轨道角动量和自旋角动量合成原子的总角动量，轨道磁矩和自旋磁矩合成原子的总磁矩。在外磁场中，原子的总磁矩在外磁场中受到力矩的作用，而力矩使原子的总角动量绕磁场方向作进动，进动引起附加的能量，而这个附加能量和磁量子数 M 有关。这样，无外磁场时的一个能级，在外磁场的作用下就分裂成 $2J+1$ 个能级。但是电子并非能在任何两个能级间跃迁，必须满足选择定则： $\Delta M=0$ 或者 ± 1

- (1) 当 $\Delta M=0$ 时，在垂直于磁场的方向观察时，能观察到线偏振光，线偏振光的振动方向平行于磁场，称为 π 成分。当平行于磁场方向观察时， π 成分不出现。
- (2) 当 $\Delta M=\pm 1$ 时，垂直于磁场的方向观察时，能观察到线偏振光，线偏振光的振动方向平行于磁场，称为 σ 成分。当平行于磁场方向观察时，能观察到圆偏振光，圆偏振光的转向依赖于 ΔM 的正负、磁场方向以及观察者相对于磁场的方向。当 $\Delta M=1$ ，磁场指向观察者时，偏振转向是沿磁场方向前进的螺旋转动，方向为左旋圆偏振光 σ^+ ；当 $\Delta M=-1$ ，磁场指向观察者时，偏振转向是沿磁场方向倒退的螺旋转动方向，为右旋圆偏振光 σ^- 。

在本实验装置中，是观测汞灯所发出绿线，波长为546.1nm。在足够强的磁场中，它将分裂成9条谱线，如图1所示。不同观察方式和偏振特性如表1所示。

表1

ΔM	垂直于磁场	平行于磁场
+1	线偏振光 σ^+	圆偏振光 σ^+
0	线偏振光 π	无光
-1	线偏振光 σ^-	圆偏振光 σ^-

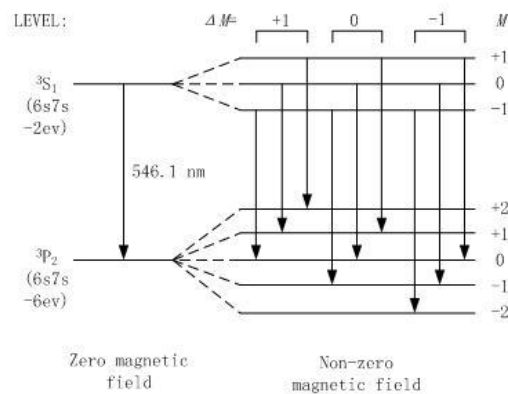


图1

当垂直于磁场方向观察时，可以观测到9条谱线，包括3条 π 偏振谱线，6条 σ 偏振谱线（如图2所示）。如图3所示，3条 π 线最亮，6条 σ 较弱，可以通过旋转偏振器来观测 π 线和 σ 线。

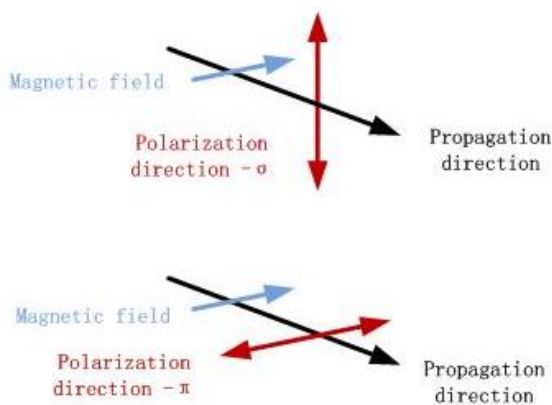


图2

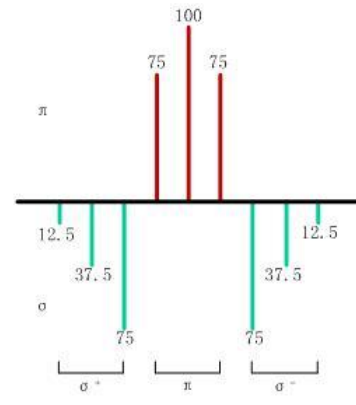


图3

2. 测量原理

标准具两块镜片的内表面距离为 d ，中间为空气，折射率为1，光线的入射角为 θ ，则两条光线的光程差为：

$$\Delta = 2d \cos \theta$$

构成干涉极大值的条件是光程差为波长的整数倍，则：

$$\Delta = 2d \cos \theta = k\lambda$$

在标准具中心附近，由于入射角很小，可以认为 $\theta \approx 0$ ，则 $\cos \theta = 1$ 。由于 $\cos \theta$ 随着入射角的增加而减小，所以干涉圆环的最内层级数最高，为 K 级，依次为 $K-1$ ， $K-2$ 等等。

从标准具出射的平行光，被焦距为 f 相机镜头聚焦成像在 CMOS 相机。如图4所示，干涉圆环的直径 $D = 2f \cdot \tan \theta$ ，又因为内层干涉圆环的出射角度很小，所以 $\theta = D/2f$ ，通过二项式展

开, 可得第 K 级圆环满足式 (1) :

$$2d(1 - D_k^2 / 8f^2) = k\lambda \quad (1)$$

电子从高能级跃迁到低能级, 所发出的光子频率和能级满足如下关系:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

假如存在一个外磁场, 则轨道的附加能量为:

$$\Delta E = Mg \cdot (eh / 4\pi m) \cdot B \quad (2)$$

其中, e 和 m 分别为电子的电量和质量, h 为普朗克常量, M 为磁量子数, g 为朗德因子。

在外磁场的作用下, 上下两能级各获得附加能量 ΔE_1 和 ΔE_2 , 因此每个能级各分裂成 $2J_2+1$ 和 $2J_1+1$ 个子能级, 这样上下能级之间的跃迁, 将发出频率为 ν' 的谱线, 则有:

$$h\nu' = (E_2 + \Delta E_2) - (E_1 + \Delta E_1)$$

所以分裂的后的谱线与原谱线的频率差为:

$$\Delta\nu = \nu - \nu' = (1/h)(\Delta E_1 - \Delta E_2)$$

将式 (2) 代入, 并用转化为波长表示:

$$\Delta\lambda = (-\lambda^2 / c)\Delta\nu = (M_2 g_2 - M_1 g_1) \cdot (\lambda^2 / 4\pi c) \cdot (e / m) \cdot B \quad (3)$$

对于 K 级的不同波长满足如下式 (4) :

$$\Delta\lambda = \lambda_{k1} - \lambda_k = (D_{(k)}^2 - D_{(k)1}^2) \cdot (d / 4f^2 k) \quad (4)$$

由能级分裂所产生的谱线的波长差是和相机镜头焦距无关的量, 为消去焦距 f , 由式 (1) 可得 $K-1$ 级满足如下关系式:

$$2d(1 - D_{(k-1)}^2 / 8f^2) = (k-1)\lambda \quad (5)$$

由式 (1) 和式 (5) 可得:

$$d / [4f^2 (D_{(k-1)}^2 - D_{(k)}^2)] = \lambda \quad (6)$$

由式 (6) 求出 f^2 并代入式 (4) :

$$\Delta\lambda = (\lambda / k) \cdot (D_{(k)}^2 - D_{(k)1}^2) / (D_{(k-1)}^2 - D_{(k)}^2) \quad (7)$$

由于入射角很小, 所以 $\cos \theta \approx 1$, $k \approx 2d / \lambda$. 代入式 (7) 则:

$$\Delta\lambda = (\lambda^2 / 2d) \cdot (D_{(k)}^2 - D_{(k)1}^2) / (D_{(k-1)}^2 - D_{(k)}^2) \quad (8)$$

由式 (3) 和式 (8) 可得:

$$e / m = (2\pi c / dB) \cdot [1 / (M_2 g_2 - M_1 g_1)] \cdot (D_{(k)}^2 - D_{(k)1}^2) / (D_{(k-1)}^2 - D_{(K)}^2) \quad (9)$$

磁量子数和朗德因子关系如表2所示。

表2 磁量子数和朗德因子关系

M					2	1	0	-1	-2				
$^3\text{S}_1$	M_2g_2					2	0	-2					
		$\swarrow \downarrow \searrow \swarrow \downarrow \searrow \swarrow \downarrow \searrow$											
$^3\text{P}_2$	M_1g_1				3	3/2	0	-3/2	-3				
$\Delta = M_2g_2 - M_1g_1$		π				1/2	0	-1/2					
		σ	-1	-3/2	-2					2	3/2	1	

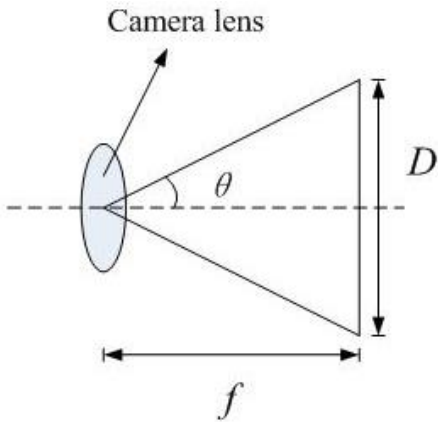


图4-34-4相机镜头出的光路图

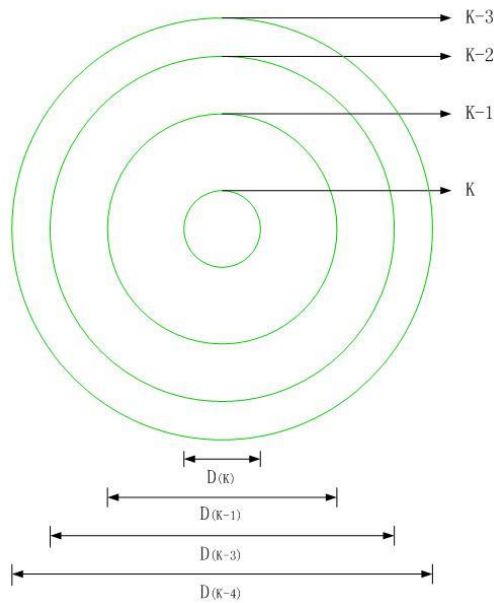


图5 磁场为零时的干涉图像

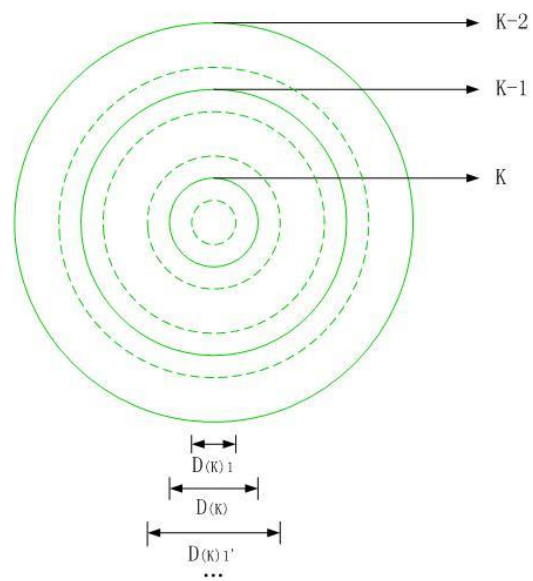


图6 磁场足够强时干涉圆环分裂图像

三、仪器安装

1. 选择一个大小至少为 $1.2\text{ m} \times 0.75\text{ m}$ 的光学平台或者是实验桌，用于放置该装置和计算机
2. 将聚光透镜和偏振器装入具有一维横向调节架的精密调整架中，并旋紧螺钉，锁死，如图7所示。
3. 将干涉滤光器旋进法布里泊罗标准具中，如图8所示。图9所示为装了干涉滤光片的标准具。
4. 将标准具对着汞灯，从标准具中可以看见一组同心干涉圆环，将眼睛从标准具的中心沿着其中一颗调节螺钉移动，如果干涉圆环也跟着变化，说明标准具的两面镜片的内表面没有平行。假如干涉圆环随着眼睛移动是扩张的，说明调节螺钉太松，需要拧紧，如果干涉圆环是随着眼睛移动是缩小的，说明调节螺钉太紧，需要旋松一些。按此方法，调节另外两颗调节螺钉，把标准具两面镜片的内表面调节平行。



图7



图8



图9

5. 当标准具调节完毕，如图10所示，将其装入精密调整架中，并锁死。

6. 将焦距为50mm的相机镜头装入CMOS相机，如图11所示。



图10



图 11

7. 将所有的杆装入升降调节架，并将升降调节架装在托板上，再将精密调整架和CMOS相机装在杆上，如图12所示。

8. 用连接件把导轨和电磁线圈连接，0刻度一端与连接件相连，如图13所示。



图12



图13

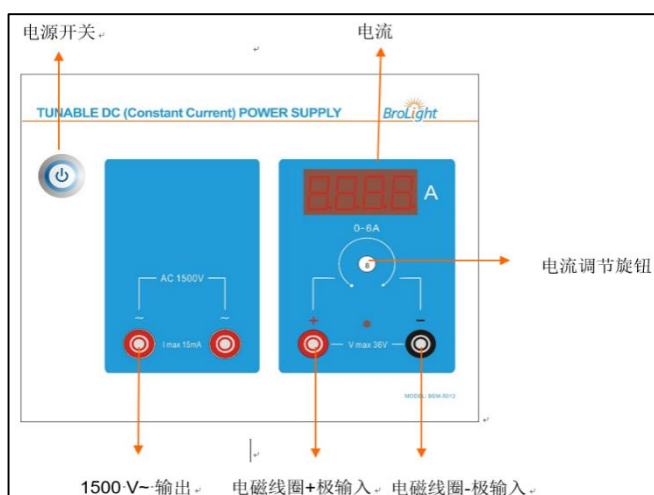
9. 参数设定

电磁线圈参数：

- 电阻： $<6\Omega$
- 最大输出电流：6A
- 最大磁感应强度： $\sim 1.2\text{T}$

恒流电源参数：

- 输出电流：0-6A
- 稳定性： $\leq 0.1\%$
- 电流表：显示输入电磁场的电流大小
- 电流调节旋钮：设置输入电磁线圈的电流大小
- 电源开关：开启或者关闭该恒流源



10. 连接线和导线

- 用红色和黑色连接好恒流源和电磁线圈。
- 用 USB 数据线连接 CMOS 相机和计算机。

注意：先断开电源，再连接电源线，连接线等。输入电源可以是 115VAC 或 230VAC. 默认输入电压 230V.

四、实验

1. 垂直于磁场方向

• 如图 14 所示，将汞灯插入电磁线圈中间，电磁线圈可以旋转 90 度。汞灯所发出的光经透镜聚光后，穿过偏振器，经干涉滤光器滤光后，剩下波长为 546.1nm 的光线，进入法布里泊罗标准具，形成干涉圆环，经相机镜头和 CMOS 相机成像。（注意：为避免杂散光的影响，该实验请在较黑暗的环境中进行。）

- 打开恒流电源和计算机。
- 将 CMOS 相机和镜头放在导轨大约 520 mm 处，松开锁紧螺钉，调节杆的高度，并微调升降调节架，确保 CMOS 相机和汞灯窗口处于同一高度。
- 打开塞曼软件，点击连接相机，选择菜单‘please select video source’。而后点击‘start’按钮，此时，视频窗口将出现。调节镜头的光阑和后焦（如图 15 所示），并调节调整架和选择镜头和 CMOS 相机，使得汞灯光斑清晰的处于在视频窗口中心位置。



图14

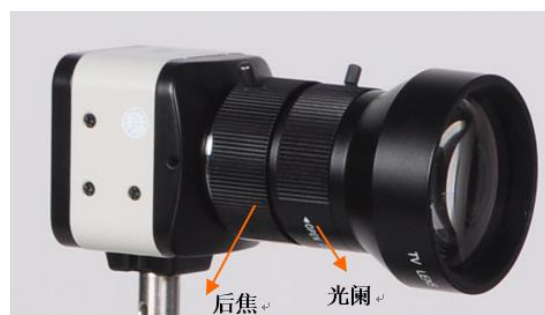


图15

- 将聚光透镜和偏振器系统放在导轨 150mm 处位置（这个位置不是固定，以获得清晰的图像为准），调节杆和升降调节架，确保汞灯光斑在视频窗口中心。**注意：我们观测**

的是 π 分量，请将偏振器置于 90° 位置。

- 将干涉滤光器和法布里泊罗标准具系统置于 CMOS 相机和偏振器之间的位置，使得标准具尽可能靠近相机镜头，但不能碰撞（避免杂散光），此时视频窗口会出现干涉圆环，适当调节聚光透镜的位置和相机镜头光阑，使得图像亮度适中，调节装有法布里泊罗标准具的那个精密调整架的 XY 调节旋钮，使得干涉圆环处于视频窗口中心，调节相机镜头后焦，获得清晰干涉头像，如图 16 所示。

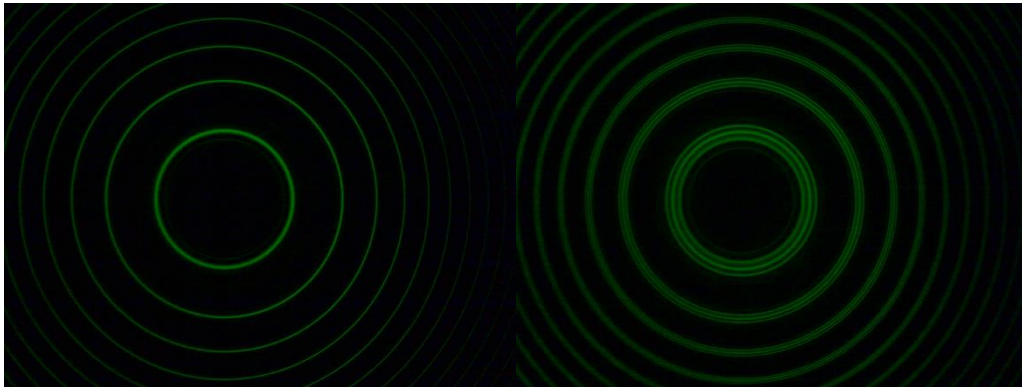


图16

图17

- 增大输入电磁线圈的电流，一般大于 4A 即可看到分裂圆环，5A 实验效果较佳，如果此时干涉圆环有部分分裂，部分模糊，微调法布里泊罗标准具的三颗调节螺钉，获得如图 17 所示的清晰图像。

- 点击 “interception button” 并保存。
- 点击 “stopping video” 按钮，并且点击 “select graphic processing” 按钮，然后点击 “open the saved picture”。
- 利用三点画圆法，从里到外依次画出 9 个圆。注意：正确的选点如图 18 所示。
- 画好 9 个圆后，点击 “the modification” 按钮，在 the data fence 一栏中会出现这些圆心和直径的数据，这些数据都是指像素。
- 点击在 the data fence 最下面的 “compute” 按钮，会出现要求输入磁感应强度的对话框。此时取出笔型汞灯，用特斯拉计测量电磁线圈中心处的磁场大小，并输入，点击确定，即可计算出 e/m 的值。
- 注意：测量的磁场应为干涉条纹分裂时候的磁场，即：两者的电流大小应一致，何时测量磁场大小由实验者自行把握
- 记录数据保存图像，关闭电源整理实验仪器。

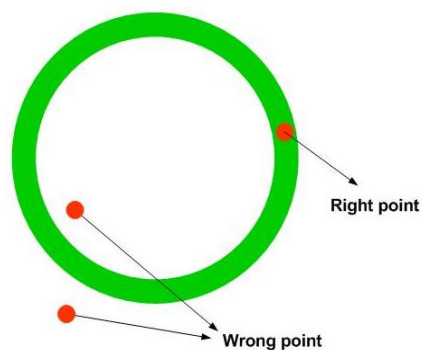


图18

2. 平行于磁场方向（选做）

- 松开锁紧螺钉，取出铁芯，确保汞灯光线从该孔穿出，旋转电磁线圈，使得磁场方向平行于导轨如图 19 和图 20 所示。

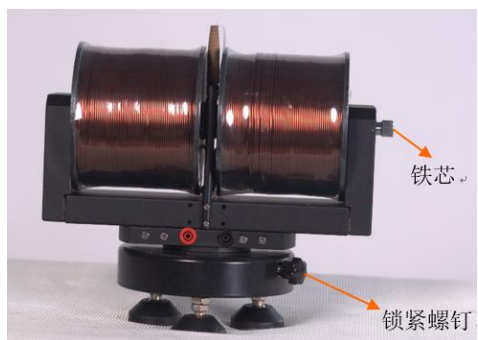


图 19

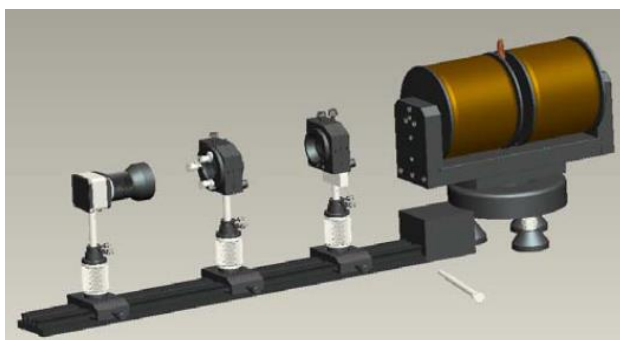


图 20

- 如实验 1 调整光路。
- 当整套装置调整完毕，可以观察到如图 21 所示现象，此时旋转偏振器，没有任何影响，说明此时的光线为圆偏正。

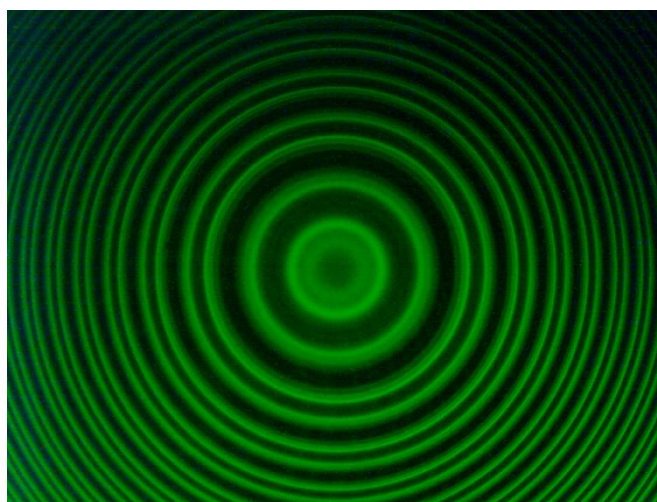


图21

五、实验结果与数据处理

1. 实验数据；
2. 实验图像；
3. 误差分数。