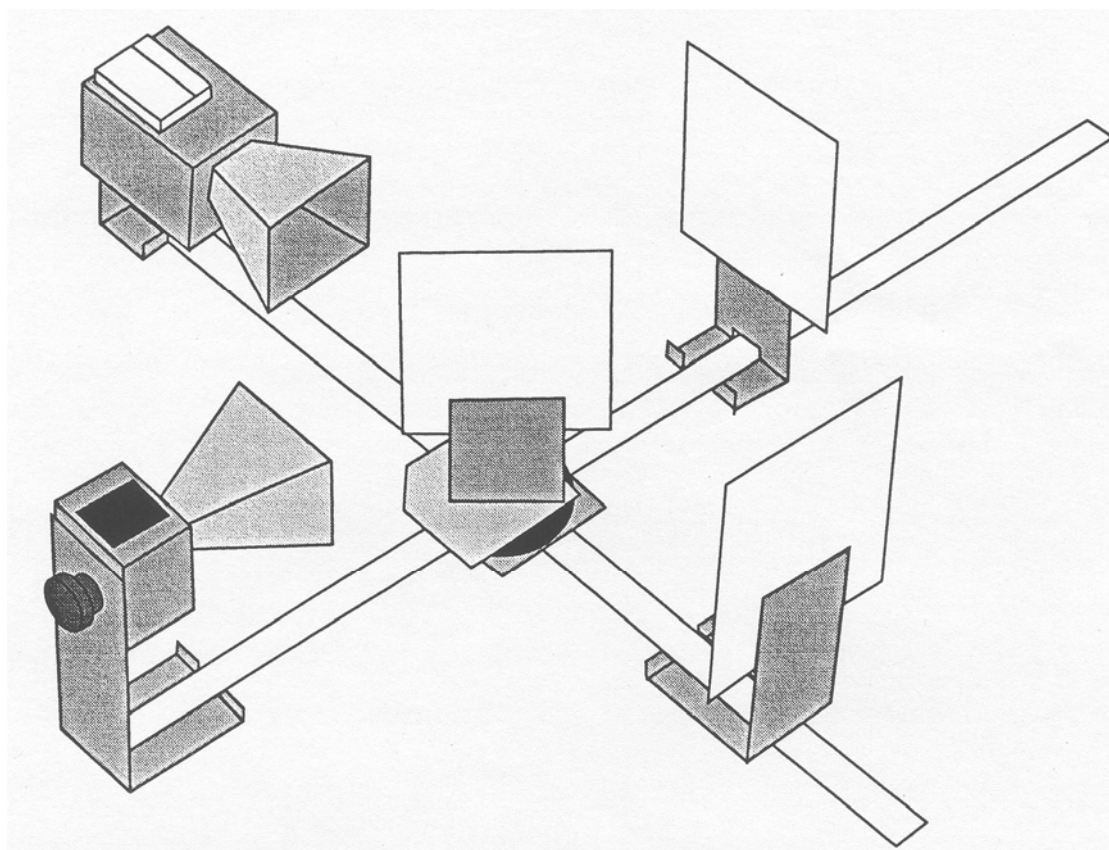


PASCO 物理组合实验系列

微波光学组合实验

王威武 编译



上海交通大学物理实验中心

目 录

引言.....	I
实验 1 系统介绍.....	1
实验 2 反射.....	3
实验 3 驻波—— 测量波长.....	4
实验 4 棱镜的折射.....	7
实验 5 偏振.....	9
实验 6 双缝干涉.....	11
实验 7 劳埃德镜.....	13
实验 8 法布里-珀罗干涉仪.....	15
实验 9 迈克尔逊干涉仪.....	16
实验 10 纤维光学.....	18
实验 11 布儒斯特角.....	19
实验 12 布喇格衍射.....	21

引言

在微波频率范围内研究光学现象有许多优点。用波长为 2.85 厘米微波转换了实验的刻度，微米变成厘米，改变传统光学实验小刻度易变不清晰的缺点，使实验易于观察和操作。PASCO 科学模型 WA-9314B 基本微波光学系统就充分利用这些优点。基本微波光学系统由发射波长为 2.85cm 的发射器和具有多种放大倍数（从 1X 到 30X）的接收器组成，也包括研究各种光学现象所需的附属设备。

本手册描述了微波仪器的操作和维护，并给出多个实验的详细说明，从反射和折射的定量研究到迈克耳逊干涉和法布里-珀罗干涉的微波模型。若有 WA-9316 或 WA-9315 还可以研究布喇格衍射和布儒斯特角。

实验仪器

耿氏二极管发射器

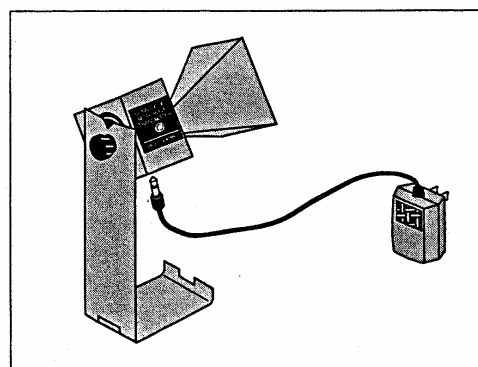
耿氏二极管发射器输出波长为 2.85cm，功率为 15mW 相干线偏振波。该发射器由耿氏二极管，10.525GHz 谐振腔、控制输出的喇叭及为减小桌面反射，高度为 18cm 的支架组成。发射器可接入标准 115V 或 220/240V，50/60Hz 的交流电。它还包括一个用发光二极管做指示的电源指示灯及测量偏振角用的刻度盘。

耿氏二极管是起着在微波波段振荡的非线性电阻的作用。沿二极管轴向线偏振的微波经喇叭发射出沿喇叭轴线的微波波束。

微波发射器的操作

将电源插头接入发射器底部面板上的插孔，并将电源插头插入 115V 或 220/240V，50/60Hz 标准交流电源。

注意：虽然微波发射器的输出能量在标准范围内，但是当发射器打开的时候不能近距离地对着喇叭口看。



Microwave Transmitter with Power Supply

电源规格

9 V, 500mA;

微型听筒塞孔接头（尖头为正）。

微波接收器

接收器连有电流计，在低幅信号下它的读数和入射波信号强度大致成比例。微波喇叭和发射器是一样的，收集微波信号并把它引入 10.525GHz 谐振腔内的肖特基二极管。该二极管只响应沿二极管轴线偏振的那部分波并生成随微波信号振幅变化的直流电压。

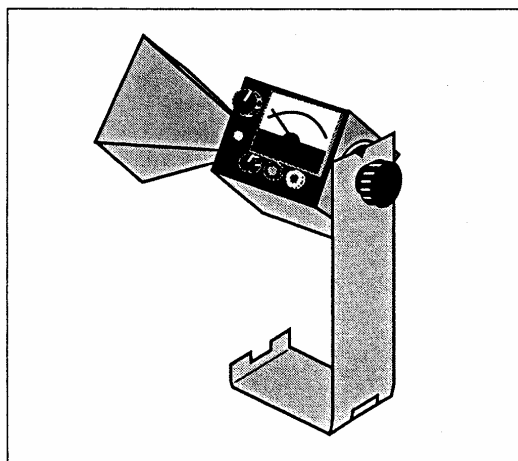
接收器有四档放大范围，从 1 到 30，对每档范围，可用微调旋钮调整放大率。为方便

课堂演示，香蕉插头连接器提供可接入投影仪输出信号（如 PASCO Model ES9065 投影仪或 SE-9617 直流电压表）。输出信号也可接入示波器。接收器由电池供电，并附有发光二极管指示灯，发光二极管亮时表明已开启接收器，电池在工作。和发射器一样，接在 18 cm 高的支架上可以减少桌面的反射，并配有刻度圆盘方便测量偏振角。

接收器一侧有一凹形连接器用来连接微波探测器。探测器除了没有喇叭和共振腔外，其它和接收器是一样的。喇叭能阻碍波的传播，在测量波谱时探测器就显出它的优势，如实验 3 所描述的驻波波谱。

注意：接收器的检波二极管是非线性设备。

这种非线性对大多数实验没有什么影响。值得注意的是，电流计读数不与电场强度 (E) 或入射波强度 (I) 成正比，它只大致反应出某些中间值。



Microwave Receiver

微波接收器的操作

注意：使用接收器以前，你需要安装两节 9V 的电池。详情参考手册最后的维护部分。

1. 将 INTENSITY 选项钮从 OFF 旋到 30X。若电池指示灯亮，说明电池是好的，若不亮，则应按照维护部分所介绍的步骤更换电池。

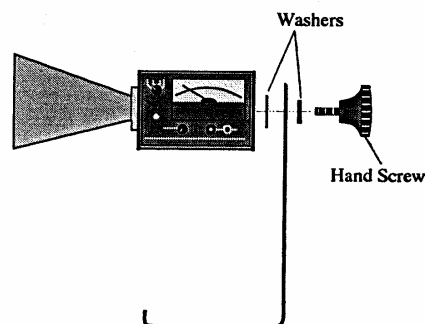
注意：INTENSITY 选项的设置值乘上电流计读数才是你真正应测得的数值。例如 30X，表明你应该把电流计读数乘上 30 才能得出当 INTENSITY 选项设为 1X 的一样的值，当然在测量中不能改变 VARIABLE SENSITIVITY 旋钮的位置。

2. 将微波喇叭指向入射波。除非研究偏振效应，调整发射器和接收器的偏振角使它们方向相同（如两喇叭都垂直或都水平）。
3. 调节 VARIABLE SENSITIVITY 旋钮，使电流计指针指向正中。若电流计指针没有偏转，顺时针旋转 INTENSITY 旋钮增大放大率。作定量比较测量时，记住将电流计读数乘上放大率。

设备初装

做实验前要将发射器和接收器连到它们各自的支架上，并遵循以下步骤：

1. 将接收器的发射器面板后面的手转旋钮旋开。
2. 如图所示将设备接到支架上，注意垫圈的位置。

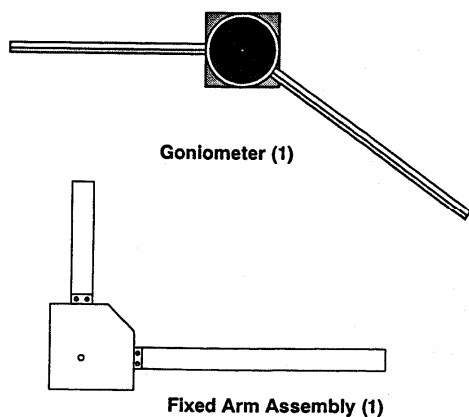


Attaching the Transmitter and Receiver Stands

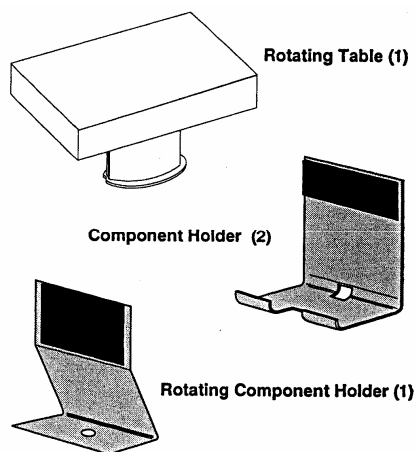
3. 要调整发射器和接收器的偏振角，松开手转旋钮，转动设备，在预定方向上旋紧旋钮。用设备背部的刻度盘测量偏振角。注意，在大部分实验中，接收器和发射器的偏振方向相同，使它们的偏振角匹配则显得尤为重要。若将其中一个设备旋转 10° ，则应将另一设备旋转 -10° (350°)。

附属设备

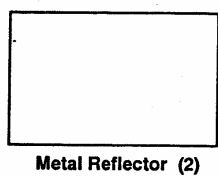
基本微波光学系统的附属设备包括：



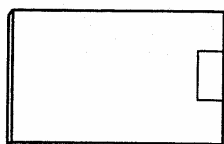
角度计 (1) 固定臂设备 (1)



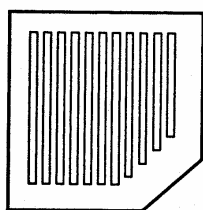
旋转台 (1) 支架 (2) 可转支架 (1)



Metal Reflector (2)

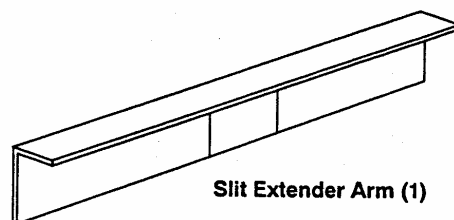


Partial Reflector (2)



Polarizers (2)

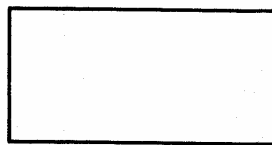
金属反射镜 (2)
部分反射镜 (2)
偏振片 (2)



Slit Extender Arm (1)

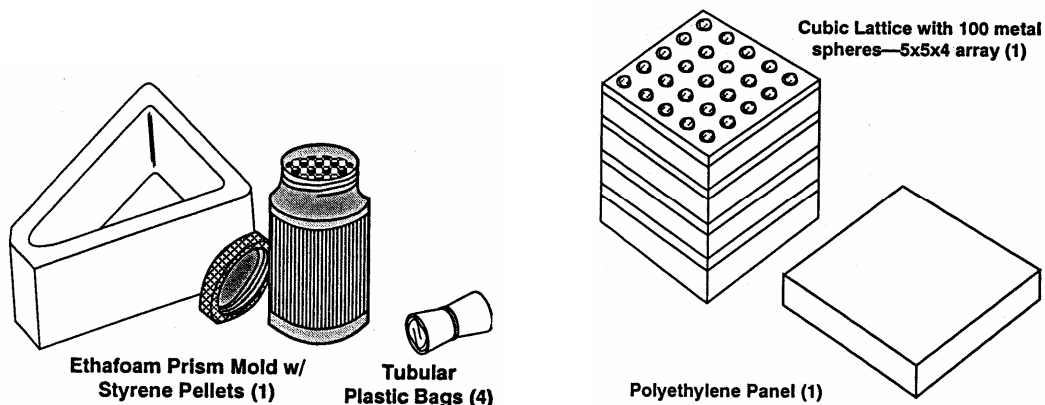


Narrow Slit Spacer (1)



Wide Slit Spacer (1)

狭缝添加臂 (1)
狭缝添加臂 (1)
宽缝屏 (1)



醚类聚氨酯泡沫胶棱镜（内填苯乙烯丸）
管状塑料袋（1）

100个金属球的立方晶格—5×5×4阵列
聚乙烯板（1）

WA-9315 附件包（WA-9316 的一部分）含：

100个金属球的立方晶格—5×5×4阵列一块；聚乙烯板一块

9314B 基本微波光学系统包含的组件：

WA-9319 微波探测器：

直接插入接收器。当接收器的喇叭防碍波谱测量时该探测头就成必须设备。

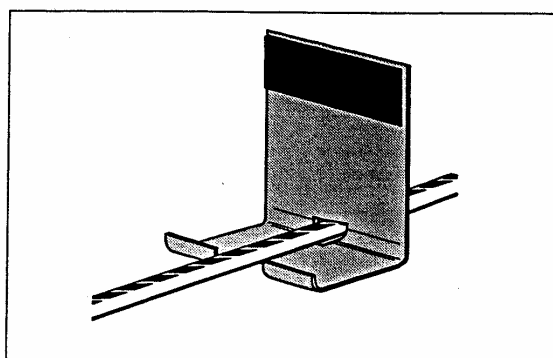
WA-9318 微波调制设备：

包含一个调制器和一只麦克风，有了该设备发射器和接收器就可用作微波通信系统。

实验装配设备

如图让角度计臂穿过支架底部的小孔，确保臂底的磁条吸住支架底座。要调节支架的位置只需让它们沿着角度计滑动。用同样的方法将发射器和接收器接到角度计臂上。

在大多数实验中将发射器安置在角度计的长臂上，将接收器安置在角度计较短的可动臂上，以使微波束和刻度盘上的组件之间有较固定的关系，接收器则能随意移动从方便测量。



Mounting the Component Holder

反射器、部分反射器、偏振器、狭缝屏和狭缝添加臂均用磁条吸附在组件支架上。角度计臂上的米尺和连接处的角度盘使各组件的位置易于测量。要转动可动臂时注意将刻度盘固定在桌面上。

1. **小心：**在一定情况下，微波会干扰电磁医疗仪器在工作。如果你用起搏器或其它电磁医疗仪器，请确保频率为 10.525GHz 低功率微波不会有什么影响。
2. 始终将仪器放在干净、平滑的桌面上。在安装设备之前，清除一切物质—特别是金属碎片，它们会粘在角度计臂底部的磁条上。

实验 1 系统介绍

实验装置:

发射器

接收器

角度计

反射镜

实验目的:

本实验系统介绍了微波光学系统。它有助于学习设备的使用及理解用这套设备进行测量的重要性。当然它不是做以下实验的先决条件。

实验步骤:

1. 如图将发射器和接收器安置在角度计上，并将发射器接至固定臂。注意使发射器和接收器的偏振相同（图示中喇叭的朝向一致）。
2. 将发射器接通电源，把接收器的 INTENSITY 选择开关从 OFF 转到 10X。（两单元的 LED 都亮）。

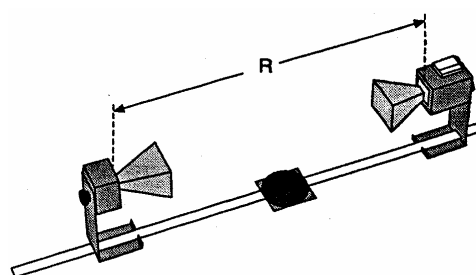


图 1.1 仪器布置

3. 调节发射器和接收器使发射器内的信号源二极管和接收器的探测器二极管之间的距离（图 1.1 中的 R）为 40cm（见图 1.2 发射器和接收器的定位点）。二极管位于底部标志有“T”和“R”的位置上。调节 INTENSITY 和

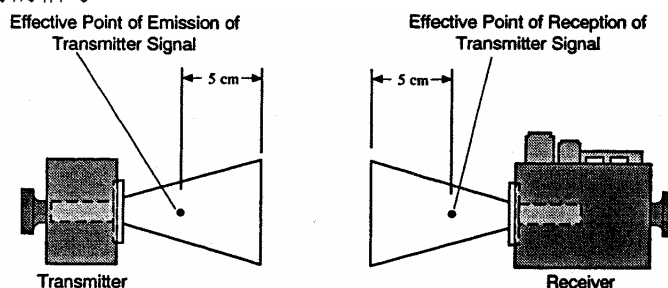


图 1.2 仪器布置

- 调节 INTENSITY 和 VARIABLE SENSITIVITY 旋钮使电流计的读数为 1.0（满刻度）。
4. 将距离 R 设置为表 1.1 所示的各值，记下每一 R 值所对应的电流计读数（在测量过程中不要调整接收器）。测量完毕，完成表中的计算要求。
5. 将 R 设在 70~90cm 之间。渐渐减小发射器和接收器之间的距离并观察刻度盘的变化。当距离减小时刻度盘的偏转角是不是稳定增大。
6. 将 R 设在 50~90cm 之间。反射镜镜面平行于微波光轴，逐渐接近和远离光轴，如图 1.3。观察刻度盘的读数的变化。你能解释步骤 5 和步骤 6 所观察到的现象吗？不会的话也没关系，在实验 3 和实验 8 你将有机会更进一步研究这些现象。现在只需了解下面的一点（要点）：附近物体包括桌面的反射会影响微波实验的结果。为减少外

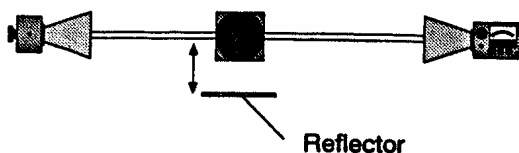


图 1.3 反射

部反射，搬走实验桌上的所有物体，特别是金属物体，只留下当前实验所需的部件。

7. 松开接收器背后的手拧螺钉，如图 1.4 所示旋转接收器，即改变接收器的偏振方向（观

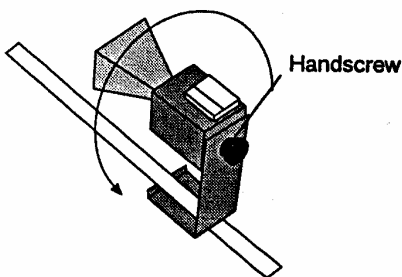


图 1.4 偏振

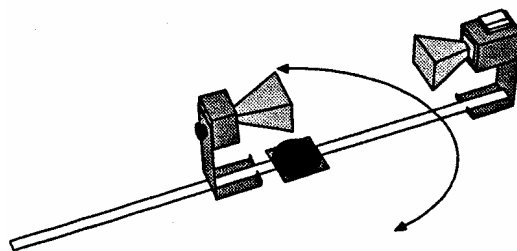


图 1.5 信号分配

察喇叭内探测二极管的方向)。将喇叭转过 360° ，在哪个角度上接收器探测不到信号？也可以固定接受器，旋转发射器，观察上述现象。

8. 调整发射器的位置，使喇叭输出表面正好在角度计臂中心的正上方，让接收器正对发射器并尽可能远离发射器。调节接收器的控制器使电流计的读数为 1.0（在任何位置是否都可调 1.0，如果是的话，没有必要调整第一步操作，只要把发射器放置在任一位置）。如图 1.5 转动角度计的可动臂，转过的角度如下所示，在表 1.2 中记下每个角度所对应的电流计读数。

表 1.1

R	电流计读数	R	电流计读数

表 1.2

角度	电流计读数	角度计	电流计读数
0°	1.0	50°	
10°	0.76	60°	
20°	0.07	70°	
30°		80°	
40°		90°	

思考题；

1. 电磁波的电场强度和离开波源的距离成反比（也就是 $E = 1/R$ ）。电流计的读数是否和电场强度成正比。
2. 电磁波的强度和距离的平方成反比（也就是 $I = 1/R^2$ ）。用所测的数据是否能得出电流计的读数与灵敏的波束强度成正比的结论？
3. 根据步骤 7 的结果，讨论一下发射器输出的是球面波成份多还是平面波成份多。

实验 2 反射

实验仪器

发射器
角度计
接收器

金属反射镜
旋转支架

实验步骤

1. 如图 2.1, 将发射器放在角度计的固定臂上。务必使发射器和接收器偏振相同, 即喇叭的朝向相同。
2. 接通发射器的电源并将接收器的 INTENSITY 选择开关旋至 30X。
3. 入射波和反射镜面法线的夹角称为入射角, 调节旋转支架使入射角等于 45° 。
4. 固定发射器和反射镜, 转动角度计的活动臂使电流计读数最大。接收器喇叭轴线和反射镜面法线的夹角称为反射角。
5. 测量并记录表 2.1 中各个入射角所对应的反射角。

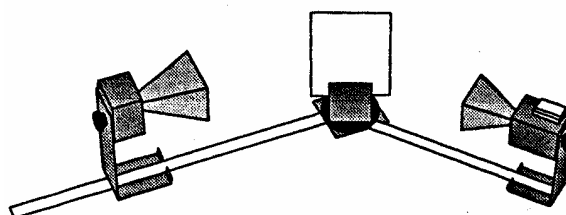


图 2.1 仪器布置

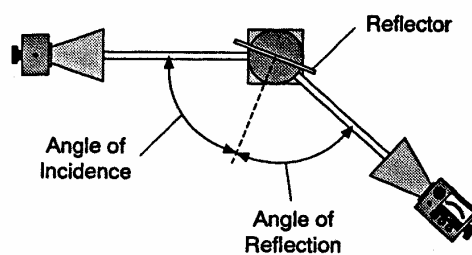


图 2.2 入射角和反射角

注意: 在各个角度, 接收器有可能同时接收反射波和入射波, 这会导致错误结果, 请在这些结果的角上做上记号“*”。

思考题:

1. 入射角和反射角之间是什么关系? 是不是对所有的入射角都能满足。
2. 测量反射角时, 在哪个角度电流计读数最大。为什么有些波的反射角不等于入射角, 这会不会影响对问题 1 的回答。
3. 做这个实验最好用平面波, 使所有发射波以同一入射角入射到反射镜上。从发射器发出微波是不是理想的平面波? 用理想平面波做本实验得出的结果是不是相同?

入射角	反射角
20°	
30°	
40°	
50°	
60°	
70°	
80°	
90°	

附加实验思考题:

1. 反射波如何影响微波的强度? 是不是入射到反射镜上的光波都被反射。反射波的强度是否随入射角改变。
2. 金属是一种良好的微波反射器。其它物质的反射特性如何? 是否有部分能量透过这些物质。或者是被吸收了。比较导体与非导体的反射特性。

实验 3 驻波—测量波长

实验仪器

发射器	反射镜 (1)
角度计	支架 (2)
接收器	微波探测器探测头(ME-9319)

实验原理

两列电磁波在空间可以互相叠加，因此空间任一点的电场为两列波在该点的场强之和。频率相同，传播方向相反的两列波叠加形成驻波。电场抵消处为波节，叠加处为波腹。驻波波谱两相邻波节之间的距离为半波长 ($1/2\lambda$)

注：本实验最好用方法 A 所述的 PASC0 微波探测器来做。没有探头的可以用方法 B，只是不能从驻波波谱中直接测量 λ 。

方法 A

在本实验中，入射波和它自身的反射波相互叠加形成驻波。测量驻波波谱中两相邻波节之间的距离可求出微波波长。

1. 如图 3.1 布置仪器。
2. 将探测器插入接收器边上的插头。让接收器喇叭远离发射器使微波信号不能进入喇叭。调节接收器的控制器使读数最大。
3. 使探测头沿角度计臂滑动（不超过 1~2 厘米）直到电流计读数最大。然后移动反射镜（同样不超过 2 厘米）使电流计读最大。反复调整探测头和反射镜的位置使读数尽可能大。
4. 调节探测头使电流计读数最小，则该处为波节。记下探测头在角度计臂米尺上的位置。
起始探测头位置= _____。
5. 使探测头沿角度计臂滑动，至少经过十个波腹后又到一波节。记下这时探测头的位置和移过的波腹数。
移过的波腹数= _____。
最终探测头位置= _____。
6. 计算出微波的波长 λ 。
 $\lambda =$ _____。
7. 重复以上测量和计算。

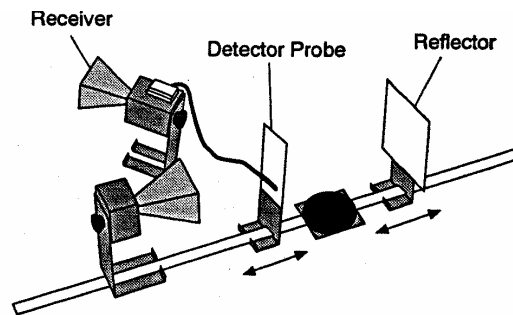


图 3.1 仪器布置

初始探测头位置= _____。

移过的波腹数= _____。

最终探测头位置= _____。

λ = _____。

思考题

用公式 $v = \lambda\nu$ 计算出微波信号的频率。(假设空气的传播速率为 $3 \times 10^8 \text{ m/sec}$)。

(ν = 预期微波频率-10.525GHz)。

方法 B

1. 如图 3.2 安排仪器。使发射器和接收器尽可能靠近，调节接收器的控制部分使电流计满刻度偏转。将接收器沿角度计臂缓慢滑动远离发射器。观察电流计读数有何变化。

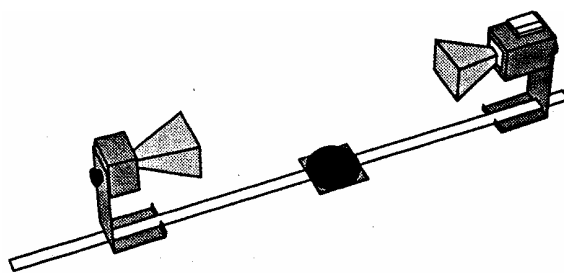


图 3.2 仪器布置

微波喇叭在接收微波辐射同时反射部分波，发射器发射的微波在发射喇叭和反射喇叭来回反射，振幅逐渐

减小。当发射二极管和接收二极管之间的距离等于 $n\lambda/2$ 时 (n 是整数, λ 为辐射波波长) 经多次反射的微波和最初的发射波同相, 这时电流计读数最大 (相邻位置之间距离为 $\lambda/2$)。

2. 将接收器沿角度计臂滑动 1 至 2 厘米使电流计出现极大值。记下接收器在刻度尺上的位置。

起始接收器位置= _____。

3. 使接收器沿角度计臂滑动并远离发射器，观察电流计。当电流计读数出现至少十个极小值，再次出现极大值时，记下接收器位置和出现极小值的次数。

出现极小值的次数=_____。

最终接收器位置=_____。

4. 计算出微波的波长 λ 。

λ = _____。

5. 重复以上测量和计算。

起始探测头位置= _____。

出现极小值的次数= _____。

最终接收器位置= _____。

λ = _____。

思考题

用公式 $\nu = \lambda\nu$ 计算出微波信号的频率。(假设空气的传播速率为 $3 \times 10^8 m/sec$)。

(ν = 预期微波频率-10.525GHZ)。

实验 4 棱镜的折射

实验仪器

发射器
角度计
接收器

旋转平台
填充苯乙烯的醚类聚氨酯泡沫胶棱镜
量角器

实验原理

通常电磁波是以直线传播的，当波通过两种媒质的分界面时，传播方向就会改变，这称为波的折射，它遵循折射定律（或称为斯涅耳定律）：

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2;$$

θ_1 为入射波和两媒质分界面法线的夹角，称为入射角。 θ_2 为反射波与界面法线的夹角，称为折射角。（如图 4.1）。每种媒质可以用折射率 n 表示，折射率是电磁波在真空中的传播速率与电磁波在媒质中的传播速率的比值。一般而言，分界面两边介质的折射率不同，分别以 n_1 和 n_2 表示。两种介质的折射率不同（即波速不同）导致波的偏转。或者说当波入射到两不同媒质的分界面时将会发生折射。

在本实验中利用折射定律测量苯乙烯的折射率。

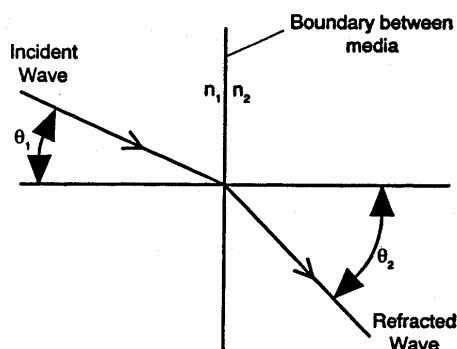


图 4.1 入射角与反射角

实验步骤

1. 如图 4.2 布置仪器。转动空棱镜观察它对入射波的作用，是否反射、折射、吸收？
2. 用苯乙烯填充棱镜。为简化计算，使棱镜镜面垂直入射波。
3. 转动角度计的动臂，记下折射信号最大时的角度 θ （ θ 直接从角度计刻度上读出）。

$$\theta = \underline{\hspace{2cm}}。$$

4. 参考图 4.3 的示意图测定 θ_1 并用 θ 值求出 θ_2 。（用量角器测出棱镜角。）

$$\theta_1 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

$$\theta_2 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

5. 将这些值代入折射定律求出 n_1/n_2 。

$$n_1/n_2 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

6. 空气的折射率为 1.00，由此求出苯乙烯的折射率。

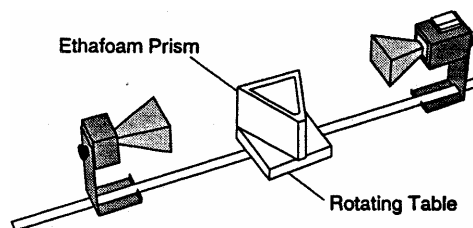


图 4.2 仪器布置

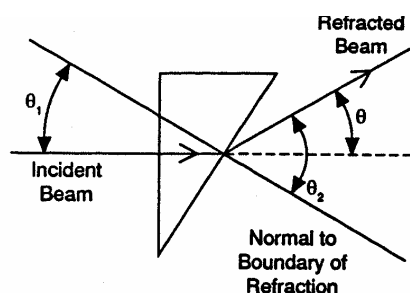


图 4.3 棱镜反射几何系统

思考题

1. 在图 4.3 中，假设入射波入射到棱镜的第一面不发生折射（入射角为 0° ），这个假设是否正确？
2. 如何利用这套设备验证空气的折射率为 1。
3. 棱镜模型内苯乙烯丸的折射率是否等于固体苯乙烯棱镜的折射率？

实验 5 偏振

实验仪器

发射器
接收器
角度计

支架
偏振片

实验原理

发射器发射的微波是沿发射二极管成线偏振（也就是，当波在空间传播时，电场矢量和

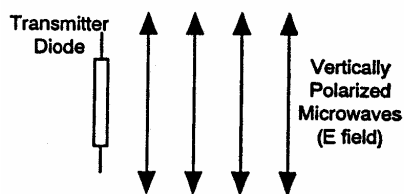


图 5.1 垂直偏振

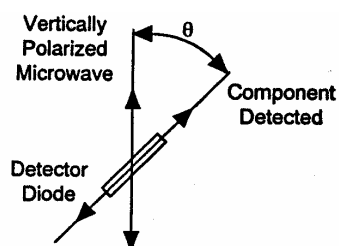


图 5.2 探测偏振反射

二极管轴线平行)。若发射二极管是垂直放置的，发射波的电场是垂直偏振。假若探测器和发射二极管成 θ 角时，它只能探测到和轴线平行的那部分电场。在本实验中我们将研究偏振现象，找出偏振片是如何改变微波偏振的规律。

实验步骤

1. 如图 5.3 布置仪器，调节接收控制器使电流计接近满刻度偏转。
2. 松开接收器的手动旋钮，以 10° 增量旋转接收器，记下每个旋转位置电流计的读数。
3. 若继续旋转接收器以致角度超过 180° ，电流计读数又如何？
4. 如图 5.4 安排仪器，将接收器偏振角恢复为 0° （喇叭的较长边处于水平位置）。
5. 记下偏振片与水平面成 $0, 22.5, 45, 67.5, 90^\circ$ 时电流计的读数。
6. 移开偏振片。旋转接收器使其喇叭轴线与发射器垂直，记下电流计读数。把偏振片放回，分别记录偏振片缝隙呈水平、垂直、 45° 角时电流计的读数。

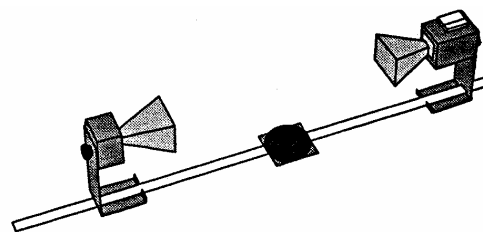


图 5.3 仪器布置

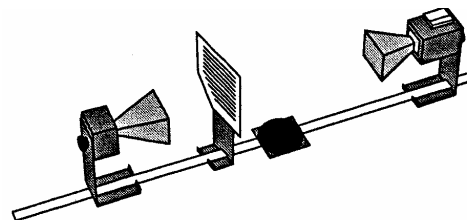


图 5.4 仪器布置

偏振角	电流计读数
0° (水平)	
22.5°	
45°	
67.5°	
90° (垂直)	

狭缝角度	电流计读数
水平	
垂直	
45°	

思考题

1. 假如接收器电流计读数 (M) 与电场轴向分量 (E) 成正比, 电流计读数应有如下关系 $M = M_0 \cos \theta$ (θ 为探测器和发射二极管的夹角, M_0 为 $\theta = 0$ 时电流计的读数) 用实验步骤 2 中数据作曲线, 在同一张图上作出 $M_0 \cos \theta$ 曲线, 比较这两条曲线。
2. 线偏振电磁波强度和电场强度的平方成正比 ($I = KE^2$) 若电流计读数和入射波强度成正比, 那读数应满足 $M = M_0 \cos \theta$ 。将此关系曲线画在上一张图上。比较电流计读数和入射波强度的关系。
3. 根据步骤 5 所测的数据, 请考虑一下, 偏振片本身对入射波会产生什么样的影响?
4. 如何解释步骤 6 所得的结果。插入偏振片怎么会增大探测器的读数。(提示: 如图 5.2 作示意图标出 (1) 发射波 (2) 通过偏振片后的波 (3) 探测二极管的位置)。

实验 6 双缝干涉

实验仪器

发射器
接收器
角度计
旋转台
支架

金属反射镜
狭缝添加臂 (slit extender arm)
窄屏
宽屏

实验原理

在实验 3, 两传播方向相反的电磁波叠加形成驻波。而电磁波通过两狭缝后, 亦可产生与前类似的现象。电磁波经狭缝分成两列波在空间相互叠加, 类似驻波波谱, 在空间某些点上形成极大值或极小值。

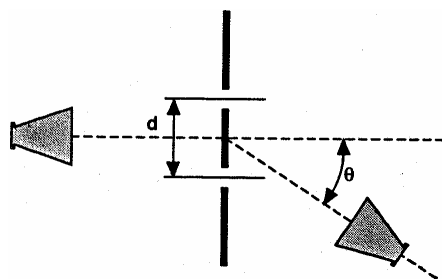


图 6.1 双缝干涉

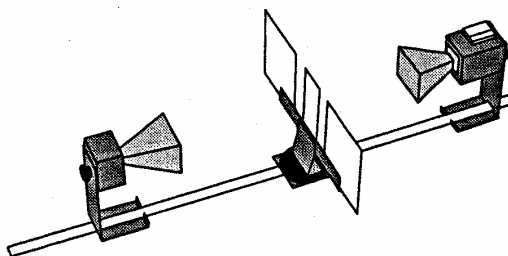


图 6.2 仪器布置

双缝屏外波束的强度随探测角度的变化而变化。若两狭缝之间的距离为 d , 当探测角满足 $d \sin \theta = n\lambda$ 时会出现极大值。(其中 θ 为探测角, λ 为入射波的波长, n 为整数)。关于双缝干涉的详细资料可以查阅相关资料。

实验步骤

- 如图 6.2 布置实验仪器。用狭缝添加臂、两块反射镜, 窄屏组成双缝 (狭缝宽度为 1.5cm 左右), 尽可能让两狭缝平行对称放置。
- 使发射器和接收器垂直偏振 (0°), 调整接收器的控制部分使电流计在最低放大率档满刻度偏转。
- 缓慢转动角度计可动臂 (放置接收器的一边), 观察电流计读数。
- 使接收器正对发射器, 调节接收器使电流计读数为 1.0。将角度设置为表 6.1 所给出的值, 记录每个角度所对应的电流计读数。
- 保持缝宽不变, 用宽屏代替窄屏以改变两缝之间的距离。宽屏比窄屏宽 50% (90mm 对 60mm), 将发射器往后移 50%, 这样微波在狭

角度	电流计 读数	角度	电流计 读数
0°		45°	
5°		50°	
10°		55°	
15°		60°	
20°		65°	
25°		70°	
30°		75°	
35°		80°	
40°		85°	

缝处有相同相对强度。再重复上述的测量。

思考题

1. 作出电流计读数和 θ 的关系曲线，分别找出干涉条纹强度极大值和极小值处的 θ 角。
2. 由公式 $d \sin \theta = n\lambda$ 算出强度极大时的 θ 角，由 $d \sin \theta = n\lambda/2$ 算出强度极小时的 θ 角。
(公式的推导见有关教科书，波长用实验三所测出的值)。将计算结果和测量结果比较有什么差异。(推导公式中作了什么假设，实验在多大程度符合该假设)。
3. 为什么极大值有一个上限。考虑单缝衍射时，单缝衍射条纹是不是会影响所测得的干涉条纹。

注意：

1. 10.525GHz 的波长=2.85cm
2. 实验人员的位置会影响到实验结果

实验 7 劳埃德镜

实验仪器

发射器	支架
接收器	反射镜
角度计	米尺

实验原理

在实验 3 和实验 6，我们观察到一系列电磁波是如何被分成两列波的，然后当它们重新相遇时又形成了新的干涉条纹。劳埃德镜是干涉现象的又一个例子。和其它干涉条纹一样，它也可以方便地利用该干涉条纹来测量波长。

图 7.1 是劳埃德镜的示意图。从点源 A 发射的电磁波在 C 点被探测。一列电磁波直接从 A 点传播到 C 点，另一列波经 B 点反射后到达 C 点。当两列波同位相时探测器探测的光强最大。假如图中所示位置正好产生光强最大值，反射镜后移当反射波束经过的光程为 $AB + BC + \lambda$ 产生另一最大值。

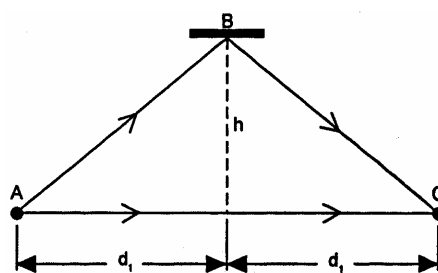


图 7.1 劳埃德镜

实验步骤

1. 如图 7.2 布置实验仪器。发射器和接收器尽可能离得远些。使发射器正对接收器，并且它们离角度计盘中心的距离相等 (d_1)。(发射器和接收器有效点的位置见图 7.3)。确保反射镜平面平行于发射器和接收器中心轴。
2. 缓慢移动反射镜使它远离角度盘，观察电流计读数出现的一系列最大和最小值。
3. 找出电流计读数最小值且反射镜离角度盘最近时的位置。

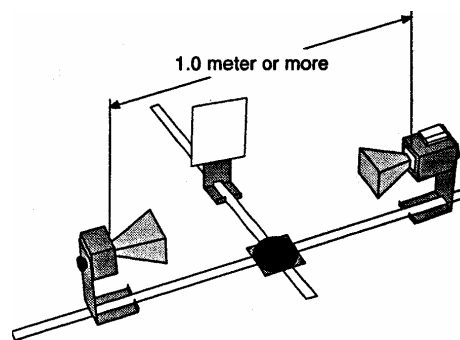


图 7.2 仪器布置

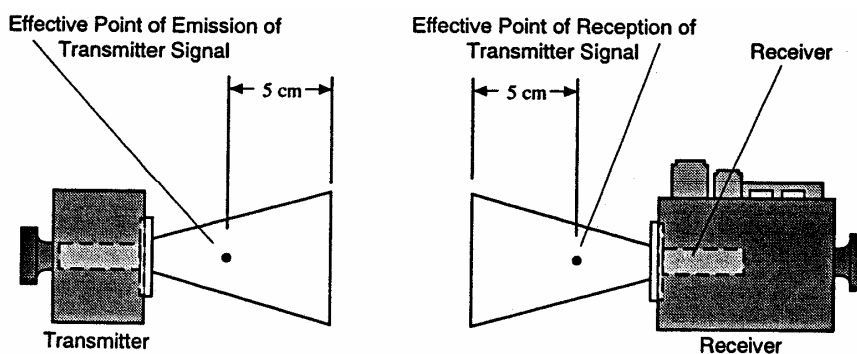


图 7.3 发射器和接收器有效点的位置

4. 测量出 h_1 的值，即角度盘中心和反射镜面之间的距离。

$$h_1 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

5. 使反射镜向远离角度盘方向滑动，当电流计读数经过一个最大值又出现最小值时停止滑动。测出角度盘中心和反射镜面之间距离 h_2 。

$$h_2 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

6. 测出发射器到角度计中心的距离 d_1 。

$$d_1 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

7. 算出微波的波长。

$$\lambda = \underline{\hspace{2cm}}。$$

8. 改变发射器和接收器之间的距离重复上述过程。

$$h_1 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

$$h_2 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

$$d_1 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

$$\lambda = \underline{\hspace{2cm}}。$$

思考题

在实验中使发射器和接收器与角度计中心之间的距离相等有什么好处。

实验 8 法布里-珀罗干涉仪

实验仪器

发射器
接收器
角度计

支架
部分反射镜

实验原理

电磁波入射到部分反射镜表面，入射波被分割成反射波和折射波。法布里-珀罗干涉仪在波源和探测器之间放置了两面相互平行的部分反射镜（见图 8.1）。

电磁波在两反射镜之间来回反射，同时有一部分波透射出去被探测器接收。若两块部分反射镜之间的距离为 $n\lambda/2$ ，

（其中 λ 为辐射波的波长， n 为整数），则所有入射到探测器的波都是同位相，接收器探测到信号最大。若两反射镜之间的距离不是 $\lambda/2$ 的倍数，则产生相消干涉，信号值不为最大。

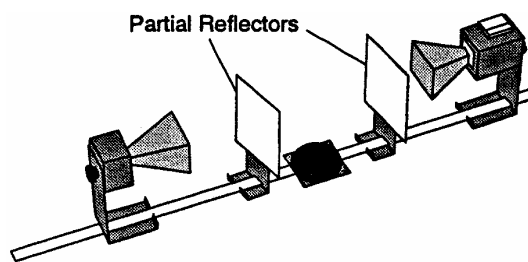


图 8.1 法布里-珀罗干涉仪

实验步骤

1. 如图 8.1 布置实验仪器。接通发射器电源，调节接收器控制器使电流计有可读信号。
2. 调节两部分反射镜之间的距离，观察相对最大值和最小值。
3. 调节两部分反射镜之间的距离使电流计读数最大，记下两反射镜之间的距离 d_1 。

$$d_1 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

4. 使一面反射镜向远离另一反射镜的方向移动，直到电流计读数出现至少十个最小值并再次出现最大值时记下经过最小值的次数及两反射镜之间的距离。

$$\text{出现最小值的次数} = \underline{\hspace{2cm}}。$$

$$d_2 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

5. 计算微波的波长。

$$\lambda = \underline{\hspace{2cm}}。$$

6. 改变两反射镜之间的距离，重复以上步骤。

$$d_1 = \underline{\hspace{2cm}}。 \text{出现最小值的次数} = \underline{\hspace{2cm}}。$$

$$d_2 = \underline{\hspace{2cm}}。 \lambda = \underline{\hspace{2cm}}。$$

思考题

1. 两反射镜之间的距离为多大时接收器探测到的信号最小？
2. 光学中法布里-珀罗干涉仪产生的干涉条纹是一系列的同心圆。本实验是否也能观察到这样的干涉条纹？

实验 9 迈克尔逊干涉仪

实验仪器

发射器
接收器
角度计
固定臂装置

支架
旋转台
反射镜
部分反射镜

实验原理

和法布里-珀罗干涉仪类似，迈克尔逊干涉仪将单波分裂成两列，透射波经再次反射后和反射波叠加形成干涉条纹。迈克尔逊干涉仪的结构见图 9.1，A 和 B 是全反射镜，C 是部分反射镜。从发射器发出的微波经两不同的光路入射到接收器。一部分经 C 透射后射到 A，经 A 反射后再经 C 反射进入接收器。另一部分波从 C 反射到 B，经 B 反射回 C 再次透过 C 进入接收器。

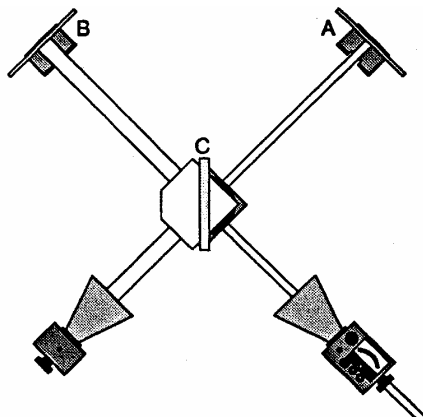


图 9.1 迈克尔逊干涉仪

若两列波同位相，接收器将探测到信号的最大值。移动一块反射镜改变其中一路光程使两列波不再同位相，接收器探测到的光强不再是最大值。两列波在全反射镜和部分反射镜间各往返一次，因此若反射镜移过的距离为 $\lambda/2$ ，则其中一列波位相改变 360° 度，电流计读数出现一次最小值后又回到最大值。

实验步骤

1. 如图 9.1 布置仪器。接通发射器的电源。
2. 使反射镜沿角度计臂滑动，观察电流计偏转。
3. 记下使电流计读数最大时反射镜 A 的位置。量出反射镜在角度计臂上位置 x_1 。
 $x_1 =$ _____。
4. 向远离部分反射镜的方向移动反射镜 A，当电流计读数出现至少十个最小值再次出最大值时停止移动，测出这时反射镜 A 的位置 x_2 。
经过的极小值数= _____。
 $x_2 =$ _____。
5. 计算出微波的波长 λ 。
 $\lambda =$ _____。
6. 改变反射镜 A 的起始位置多次测量。
 $x_1 =$ _____。
经过的最小值数= _____。

$$x_2 = \underline{\hspace{2cm}}。$$

$$\lambda = \underline{\hspace{2cm}}。$$

思考题

1. 你已经用干涉仪测量微波波长，若已知波长就能测出反射镜移动的距离。为什么在测量距离时光干涉仪测出的分辨率比微波干涉仪的分辨率要高。

建议

在部分反射镜和反射镜 A 之间放一硬纸盒。移动反射镜使电流计偏转最大。用苯乙烯丸缓慢填充硬纸盒，观察电流计的偏转。以此为基础，调节反射镜 A 使电流计偏转达到刚才测的最大值。测出反射镜移动过的距离。并测出波束通过苯乙烯丸的距离。从这些数据你能测出苯乙烯在微波频率的折射率吗？（电磁波在媒质中的波长可由 $\lambda = \lambda_0 / n$ 得出，其中 λ 为波长， λ_0 为真空中的波长。 n 为媒质的折射率）。可以改变盒子的宽度或用不同媒质末填充。

实验 10 纤维光学

实验仪器

发射器	管状塑料袋
接收器	苯乙稀丸
角度计	

实验原理

光能在真空中传播，而且在某些物质如玻璃中的穿透率也很好。光纤是由很细柔软的玻璃丝组成，对激光起传输线的作用，和铜线对电脉冲起传输线的作用是一样的。电脉冲高低能携带信息在铜导线中传输，同样地，激光强度也能携带着光信息在光纤中传输。

实验步骤

1. 调整接收器和发射器使它们位于角度计的两侧并且正对。调节接收器，使电流计有一定的偏转。
2. 将苯乙稀丸装入管状塑料袋（扎紧袋口）。把塑料袋的一端放入发射器喇叭，观察电流计读数有什么变化。再把塑料袋的另一端放入接收器喇叭，这时探测到的信号强度和不用塑料袋时探测的信号强度有什么不一样。
3. 移开塑料袋并转动角度计臂使电流计无偏转，把塑料袋一端放入发射器喇叭，另一端放入接收器喇叭，注意电流计读数。
4. 改变塑料袋的曲率半径，观察对信号强度有什么影响。随着径向曲率的变化，信号是逐渐变化还是突然变化。曲率半径为多大时信号开始明显减弱。

思考题

1. 有关全内反射请参阅教材。根据信号开始减弱时塑料袋的曲率半径算出苯乙稀丸的全内反射角，从而得出苯乙稀丸的折射率。
2. 用可见光做该实验是否能得出相同的结论。

实验 11 布儒斯特角

实验仪器

发射器	旋转台
接收器	聚乙稀板
角度计	

实验原理

电磁波从一种媒质进入另一种媒介时，在媒介表面通常有一部分波被反射。在本实验中你会发现反射信号的振幅和电磁波的偏振有关。实际上在某一入射角（即布儒斯特角）时，有一个角度的偏振波其反射率为零。

实验步骤

1. 如图 11.1 布置仪器。并使发射器和接收器都是水平偏振（ 90° ）。
2. 调节聚乙稀板，使微波的入射角度为 20° 。转动角度计臂使接收器探测到的反射信号极大。再调整接收控制器使电流计读数减半。
3. 不改变发射器和聚乙稀板及接收器之间的角度，旋转发射器和接收器的喇叭使它们垂直偏振（ 0° ），记下电流计的读数。
4. 重复步骤 2 和 3，将入射角设成下表所示的各值，对同一角度使发射器和接收器都水平偏振或垂直偏振动。

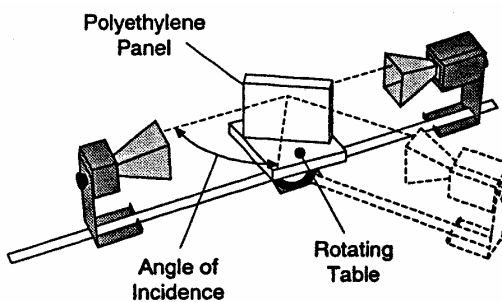


图 11.1 仪器布置

角度	电流计读数（水平偏振）	电流计读数（垂直偏振）
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		
50°		
55°		
60°		
65°		
70°		
75°		

5. 作“电流计读数”对“入射角”的曲线。将垂直偏振和水平偏振作在同一张图上。标出

布儒斯特角—水平偏振波反射率为 0。

思考题

1. 解释太阳镜的偏振片为什么能减弱湖面上或海面上太阳强光。
2. 利用微波设备，如何通过测定发射波来找出布儒斯特角。

实验 12 布喇格衍射

实验仪器

发射器
接收器
角度计

旋转台
立方晶格

实验原理

布喇格定律将晶体的晶面间距和 X 射线衍射角联系起来研究晶体结构。在本实验中用一嵌有 10mm 大小金属球的醚类聚氨脂泡沫胶立方体用立方“晶体”来验证布喇格定律。

做实验前，应先了解布喇格衍射的原理。特别是入射波必须满足两个条件，即：对入射波而言晶体内晶面满足：

(1) 入射角等于反射角。

(2) 满足布喇格公式 $2d \sin \theta = n\lambda$ 。其中 d 晶面间距， θ 为掠射角， n 为整数， λ 为入射波的波长。

实验步骤

1. 如图 12.1 布置仪器。
2. 见图 12.2 所示三个晶面族(标注的(100)，(110)，(210)为这些晶面的密勒指数)。调整晶体的位置使(100)晶面平行于入射波，调节接收器使电流计有读数，记下该读数。
3. 顺时针旋转晶体(用旋转台) 1° ，使角度计可动臂顺时针旋转 2° 。记录掠射角

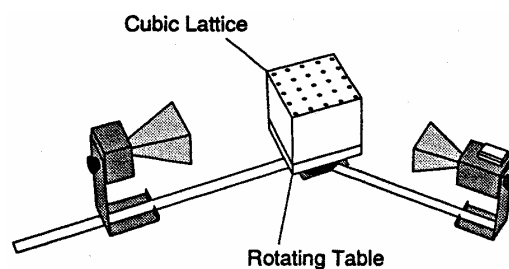


图 12.1 仪器布置

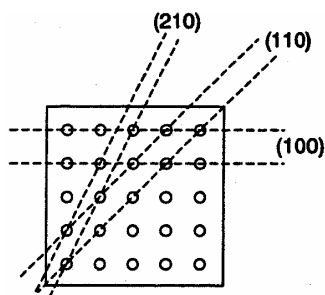


图 12.2 布喇格晶体面

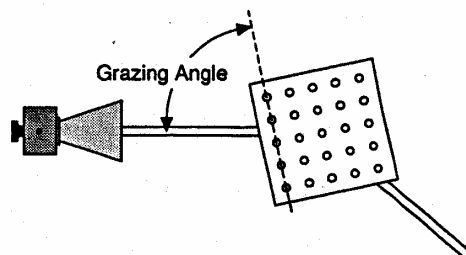


图 12.3 掠射角

的度数和电流计读数。(掠射角为入射角的余角，是入射波和晶面的夹角而不是和晶体表面的夹角见图 12.3)

4. 用这种方法继续旋转晶体，晶体每转过 1° ，角度计可动臂转过 2° 。记录每个位置掠射角的度数和电流计的读数(若需要调节 INTENSITY 旋钮请做好记号)。
5. 作衍射信号相对强度对入射波掠射角的函数曲线。在哪个角度衍射强度最大。用所测的

数据，已知的微波波长（2.85cm）及布喇格公式求出布喇格晶体（100）晶面间的距离，和直接测量的晶面间距作比较。

6. 有时间可测（110）和（210）晶面族间的距离。

思考题

1. 在立方晶体中是否还有其它晶面族能发生布喇格衍射。用这套设备是否能观察这些衍射？
2. 假如预先不知道晶体中晶面的方向，是否会增加实验的复杂性？又该如何定位这些晶面。

教师参考

实验 1 系统介绍

步骤注解

4. 因为发射器的接收器的距离一定时才能形成驻波，所以电流计读数并不完全像预计的那样随着距离的变化而变化。另外，电流计读数并不和入射波的电场大小或强度成正比，但电流计对测相对强度还是有用的。
5. 随着距离减小，电流计读数会摆动。
6. 反射镜在时会增在电流计读数。
7. 发射器和接收器成 90° 角时，接收器探测不到信号。
8. 发射器输出呈高斯分布，在 $\pm 20^\circ$ 附近成 $1/e$ 分布。水平方向和垂直方向的输出分布没有什么不同。

思考题答案：

1. 电流计读数和电场及强度不成比例。
2. 发射器的输出平面波的成份多于球面波，具有球面波和平面波的特征。

实验 2 反射

步骤注解

5.

入射角	反射角
20°	23°
30°	31°
40°	41°
50°	54°
60°	63°
70°	85° *
80°	78° *
90°	70° *

后三个角度是估计出来的。

思考题答案

1. 入射角等于反射角，对所有的入射角都成立。由于输出波的散射，实验结果会有所偏差。
2. 有时反射角不等于入射角，特别是当入射角为 70° 和 90° 时，实际上这是由于衍射效应而不是反射。
3. 发射器的输出不完全为平面波，这对实验结果会有所影响。

附加实验问题答案

1. 反射波的强度随着入射角的变化而变化；由此我们可以得出反射镜并不是 100% 的反射。
2. 一般而言，导体的反射效果比非导体好。
3. 发射波不是完全平面波，这会影响实验结果。

实验 3 驻波-测量波长

方波 A				方波 B		
波腹数	距离	波长		波腹数	距离	波长
5	7.1	2.84		10	13.3	2.66
10	14.1	2.82		15	20.5	2.73
15	20.0	2.67				
19	27.5	2.89				

平均值：2.81

频率：1.07E+10

平均值：2.70

频率：1.11E+10

思考题答案

方法 A 误差为 1.5%

方法 B 误差为 5.6%

实验 4 棱镜折射

步骤注解

1. 空棱镜吸收极少量辐射波。
3. $\theta = 7^\circ (\pm 1^\circ)$
4. $\theta_1 = 22^\circ$ $\theta_2 = 29^\circ$
- 5-6. $n_1 = 1.3 \pm 0.05$

思考题

1. 假设是合理的，根据斯涅耳定律，若入射角为 0° ，折射角也为 0° 。
3. 固体苯乙稀棱镜的折射率较高，因为固体介质的密度大。

一般注解

1. 棱镜可用别的物质如水填充。水吸收大部分微波能量（烤箱的工作原理），对灵敏度足够高的接收器还是能测量的。 $n = 1.4 \pm 0.05$ 。
2. 装有苯乙稀丸的坛子曾被用作圆柱透镜。

实验 5 偏振

思考题答案

1. 电流计读数和光强匹配得较好。
2. 偏振片只传输和它平行的那部分波。
3. 当发射器和偏振片成 90° 时，波完全不能通过。成 45° 时平行于接收器的那部分波能通过。

实验 6 双缝干涉

思考题答案

- 1-2 当缝间距离为 7.6cm 时，在 $\theta = 22^\circ$ 和 $\theta = 48^\circ$ 处产生极大值。
当缝间距离为 10.6cm 时，在 $\theta = 15^\circ$ 、 $\theta = 33^\circ$ 及 $\theta = 54^\circ$ 处产生极大值。
理论值和实验值符合得较好。理论上假设狭缝屏和接收器之间的距离远远大于缝间距及波长。实验所用的设备刚刚符合该假设。
3. 单缝衍射限制双缝干涉曲线的上限。

一般注解

1. 实验人员的位置对测量结果有一定的影响。
2. 可用该设备做单缝衍射实验，但相对波长而言，距离太短。

实验 7 劳埃德镜

步骤注解

3-8

条纹数	H(mm)	光程 (mm)	λ
1	85	720	
2	138	752	32.10
3	171	779	26.63
4	200	806	27.15
5	227	834	29.11
6	251	861	27.06
7	175	890	28.83
8	198	919	29.13
9	317	944	25.08
10	338	973	28.69

平均值：27.59

方差: 1.37

或画出光程对条纹数的曲线图, 曲线斜率为波长。($\lambda = 2.79\text{cm}$)

思考题答案:

1. 简化计算。

实验 8 法布里-珀罗干涉仪

步骤注解

1-4 反射镜不要离发射器太近, 实际上会形成两条驻波条纹: 一是发射器和第一块反射镜, 一是两反射镜之间 (接收器和第二块反射镜及接收器和发射器之间都会形成驻波条纹, 但往往是忽略不计。) 移动第一块反射镜会改变反射镜间微波振幅的大小而导致错误结果。

第一块反射镜: 75.2

n	第二块反射镜	距离	
1	54.9	20.3	1.3
2	53.6	21.6	1.4
3	52.2	23.0	1.3
4	50.9	24.3	1.5
5	49.4	25.8	1.5
6	47.9	27.3	1.4
7	46.5	28.7	1.5
8	45.0	30.2	1.4
9	43.6	31.6	1.5
10	42.1	33.1	1.3
11	40.8	34.4	1.4
12	39.4	35.8	1.4
13	38.0	37.2	1.5
14	36.6	38.6	1.3
15	35.1	40.1	1.5
16	33.8	41.4	1.4
17	32.3	42.9	1.5
18	30.9	44.3	1.4
19	29.4	45.8	1.5
20	27.9	47.3	1.5
21	26.5	48.7	1.4
22	25.0	50.2	1.5

平均值: 1.42

5-6 $\lambda = 2.85\text{cm}$

$\lambda = 2.84\text{cm}$

思考题答案

1. 当间距为 $n\lambda/4$ 时产生极小值, n 为奇数。
2. 一般而言能观察到一系列的同心圆, 但对波长来说反射镜太小, 第 2 个同心圆可能看不到。

实验 9 迈克耳逊干涉仪

步骤注解

- 1-4 当两反射镜离分光镜的距离合适, 将得出较好的实验结果。任一反射镜离中心过近, 由于二级干涉效应, 极大值会分成两个峰值。

n	反射镜位置	
1	75.0	
2	76.4	1.4
3	77.9	1.5
4	79.4	1.5
5	80.8	1.4
6	82.2	1.4
7	83.7	1.5
8	85.1	1.4
9	86.6	1.5
10	88.0	1.4
11	89.4	1.4
12	90.9	1.5
13	82.3	1.4
14	3.8	1.5
15	95.2	1.4
16	96.6	1.4
17	98.1	1.5
18	99.5	1.4
19	101.0	1.5
20	102.4	1.4
21	104.0	1.6
	平均值;	1.45

波长: 2.90cm

或作反射镜位置对条纹数的曲数图, 直线的斜率为波长的一半。算出波长为 2.89cm.

思考题答案

1. 用迈克耳逊干涉仪测距离，其分辨率为波长的 $1/4$ 。因此，用微波能测出 7mm 的距离变化，用可见光干涉仪和波长为 633nm 的 HeNe 激光，能测出 158nm 的距离变化。

实验 10 纤维光学

步骤注解

2. 放上“光纤”袋电流计读数为没放时电流计读数的两倍多，这是由于“光纤”阻止了波束的扩散，而将所有的微波传入接收器的喇叭。
3. 若曲度是平滑的，波束能转过 90° 而不会使测量值减小。
4. 当曲率半径为 5cm 时，信号开始减弱，并迅速下降。

思考题答案

1. 理论上可以根据微波信号开始减弱时的半径算出媒质的折射率，实际上很困难。
2. 和微波波长相比，苯乙烯丸很小，而和可见光波长相比，苯乙烯丸是巨大的。因此可见光被散射，而微波确能通过苯乙烯丸。

实验 11 布儒特角

思考题答案

- 1.
2. 理论上可以通过垂直偏振波无发射信号时来找出布儒斯特角。

实验 12 布喇格衍射

步骤注解

1. 发射器和接收器的偏振角没有关系。
5. 掠射角为 18° ， 24° ， 45° 时出现峰值。对应的面间距为 4.6cm ， 3.4cm ， 4.0cm 。实际面间距为 3.8cm 。第一个峰值不是我们所测晶面反射形成的。
6. 110 晶面： 29° 时出现峰值，面间距为 2.9cm 。实际面间距为 2.7cm 。

思考题答案

1. 其它能产生衍射的晶面族为 (111) 、 (101) 等晶面。由于“晶体”的小尺寸用本实验设备不易观察到。
2. 不知道晶体原子间晶面的方向会增加理论分析的难度。