

# 用氦氖激光光源作多种光学现象演示实验

西北大学基础物理教研室光学教学组

激光在我国工农业生产、国防建设和科学实验等方面的应用已日益广泛。

由于激光的强度大、方向性强、单色性好，所以用它作光源进行光学演示实验具有鲜明的特点：可在一般亮教室内进行，供多人同时观察；装置简单，调节方便。

我们在光学教学中，用激光光源作了部分光学演示实验，现象显著，效果良好。

下述演示实验的光源，均用我校校办工厂生产的氦氖激光器，输出功率约 2mw，波长  $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ ，单模。若采用较大功率（如 10—15mw）的氦氖激光器作光源，则效果会更好些。

## 一、光的反射、折射、全反射和临界角的演示

这些演示可在光路盘、玻璃烟雾箱或玻璃水槽中进行。前者可显示出平面上的光路，后二者可显示出空间光路。

用示教光路盘作这些现象的演示时，应使激光束从 3—5 米之外，掠着盘表面、沿零刻线方向射入固定在盘面上的光学元件（如平面反射镜、半圆柱镜等），转动光路盘，便可清晰地看到光线进行的情况，和定量的显示出光的反射定律。如图 1 所示。

如果用一个无底的长方体玻璃箱把光路盘罩起来，箱的一侧有让激光束射入的小窗，后面有装取零件或操作的门。箱内喷些烟雾作为散射光的微粒（以下把这种装置简称为烟雾箱）。使激光束不必掠着盘表面，而直接投射在光学元件上，便可显示出空间光路来。

在玻璃水槽内进行这些现象的演示，已有专文介

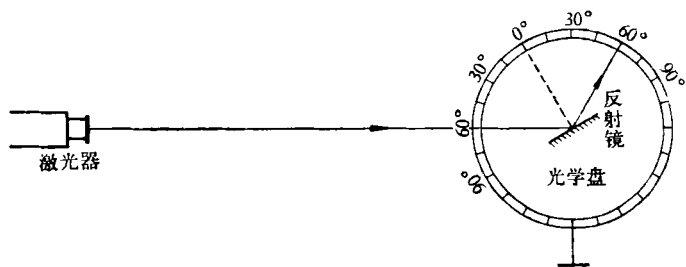


图 1

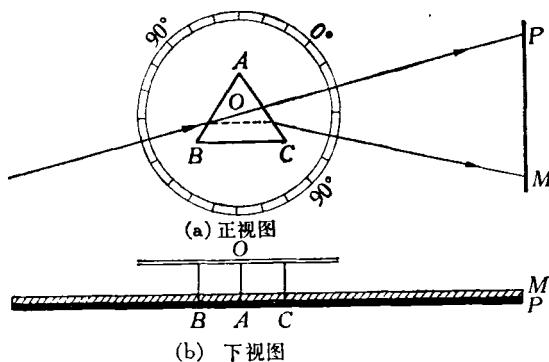


图 2

绍<sup>[1]</sup>。但根据我们的经验，在水中加入少许牛奶（少许萤光粉、或 2% 的酒精松香溶液亦可），则水中光路更为明显。

## 二、三棱镜最小偏向角和透镜性质的演示

这两个演示实验，在烟雾箱中进行较好。演示时，在逆光线前进方向  $120^\circ$  锥角内观察，现象更为显著。

### 1. 三棱镜最小偏向角的演示

演示装置如图 2 (a) 所示。在光路盘上固定一三棱镜  $ABC$ ，三棱镜中心应和光路盘中心  $O$  点重合。激光束从数米之外射向三棱镜的  $AB$  面，并使其一半射入棱镜，另一半通过光路盘的转轴从棱镜上表面掠过射到墙壁上的  $P$  点（如图 2 (b) 中的黑实线所示；而射入三棱镜的光束，经折射后，投射于墙壁上的  $M$  点（如图 2 (b) 中阴影线所示）。

转动光路盘以改变光束的入射角，则可看到  $M$  点也随着移动。 $M$  点与  $P$  点的距离不能小于某一极限值，和此极限位置相应的  $\angle POM$  即为三棱镜的最小偏向角。

将此装置放在烟雾箱中，则可看到光路并能直接读数。

### 2. 透镜性质的演示

(1) 凸透镜焦点的演示：如图 3 所示。让激光束通过一 40 倍的显微镜物镜，

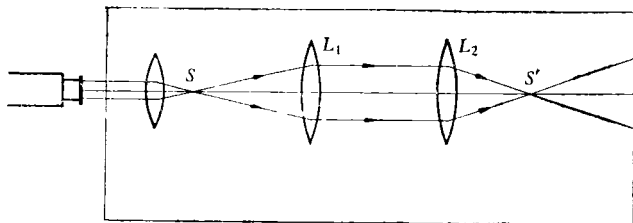


图 3

使出射光会聚于一点  $S$ ，然后又发散开，点  $S$  相当于一个点光源。在  $S$  点的右方置一凸透镜  $L_1$  ( $f=15\text{cm}$ )；调节  $L_1$  的位置使其焦点与  $S$  点重合，则光线经  $L_1$  折射后应为平行光束。使该光束射在沿光轴移动的白屏上，屏上圆形光斑的大小始终不变。

若不用白屏接收光斑，而将上述装置放入烟雾箱中，则可直接看到平行光柱。

在  $L_1$  的右方再放置另一凸透镜  $L_2$ ，此平行光柱经  $L_2$  折射后，会聚于一点  $S'$ ，然后又发散开， $S'$  即为  $L_2$  的焦点。如果  $L_2$  是薄透镜， $S'$  到  $L_2$  的中心距离即为焦距。

(2) 光线通过凹透镜的演示：让激光束从数米之外投射在一置于烟雾箱中的凹透镜上，即可观察到光束被发散的情况。

(3) 透镜成像作图法中三条特殊光线的演示：在烟雾箱中置一  $f=15\text{cm}$  的凸透镜，让激光束直接射向凸透镜，改变光束对凸透镜的入射点或方向，可分别演示每条特殊光线的性质。若在烟雾箱内置一标记主光轴的细棒，更有助于演示时说明问题。

### 三、几种透镜像差的演示

#### 1. 横向球面像差的演示

演示装置如图 4 所示，让激光束经一 10 倍的显微镜目镜  $L_1$  扩束，扩束后的光线应恰好照满凸透镜  $L_2$  (直径约为  $12\text{cm}$ ,  $f=20\text{cm}$ )。紧贴  $L_2$  放一个仅让边缘光线通过的光栏，光线通过凸透镜  $L_2$  后有一个会聚点，记下该点到镜心的距离。若换上一仅让傍轴光线通过的光栏，则光线经  $L_2$  后，其会聚点到镜心的距离要比边缘光束的会聚点到镜心的距离大。这就是  $L_2$  的球面像差引起的结果。

此演示若用烟雾显示方法效果更好。只须在靠近  $L_2$  的左面置一同时让边缘光线和傍轴光线通过的光栏(用一直径略小于  $L_2$  的黑纸，正中开一直径约  $1\text{cm}$  的圆孔，将此黑纸贴在  $L_2$  上即可)。用一烟雾箱紧置于  $L_2$  的右方，则可清晰地看到，傍轴光线的会聚点到镜心的距离大于边缘光线会聚点到镜心的距离。

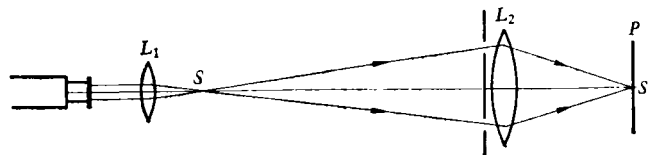


图 4

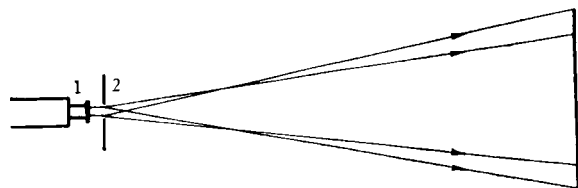


图 5

#### 2. 彗形像差的演示

演示装置仍如图 4；但不用光栏。将  $S$  点的像  $S'$  呈现在置于  $L_2$  右方的白屏  $P$  上。绕垂直图 4 纸面的轴(即铅直轴)转动透镜  $L_2$ ，则白屏上的点像变为彗星形的像。

#### 3. 像散的演示

让激光束从 3—4 米之外，沿主光轴方向直接投在一凸透镜 ( $f=20\text{cm}$ ) 上，在凸透镜后方的白屏上成一点像。绕铅直轴转动凸透镜，则点像变为一水平直线，再将白屏沿主光轴逐渐向凸透镜移动，则该直线依次变为长轴沿水平方向的椭圆、圆、长轴沿铅直方向的椭圆，最后蜕化为一铅直的直线。

### 四、双缝、等倾及等厚干涉的演示

#### 1. 双缝干涉的演示

演示装置如图 5 所示。在距激光器输出口 1 约  $0.5\text{—}2\text{cm}$  处放置一垂直于光轴的狭缝 2，让激光束直接照射在双缝上，在离双缝  $3\text{—}5\text{M}$  远处的白屏 3 上可得到清晰的干涉花纹(见图 11(a))。其视场宽度约有 20 多厘米。

演示时应注意如下几点：

(1) 两缝间距离约为  $0.2\text{mm}$ ，若缝间距离过大，则干涉条纹密，不便于观察。狭缝应保持清洁，以免尘埃发生衍射。

(2) 双狭缝 2 到距屏 3 的距离愈大，在屏上得到的干涉纹愈宽。1 与 2 的距离一般可在  $0.5\text{cm}\text{—}30\text{cm}$  的范围内调节。但距离过远，会使干涉纹变暗。

(3) 在明亮的教室内作此演示时，应在干涉纹呈现处的周围加一遮光罩。

#### 2. 等倾干涉的演示<sup>[2]</sup>

演示装置如图 6 所示。用一个 10 倍的显微镜目

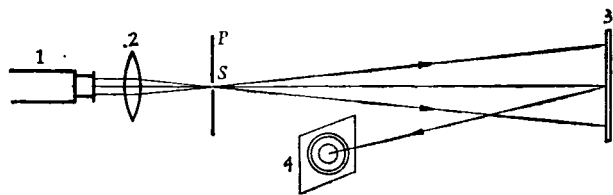


图 6

镜 2 将激光器 1 射出的光扩束, 会聚于 S 点。使扩束后的光恰好照满离点 S 约 2 米处的平行玻璃板 3 (其厚度约 0.3cm, 直径约 8cm, 楔形度约 35 秒, 表面平度约 2/10 干涉纹或者稍大些也可以)。用毛玻璃屏 4 接收从 3 的前后两表面反射来的相干光束。通常只能看到部分等倾干涉环组。调节 3 的角度和 4 的位置, 使屏 4 上得到干涉环组的全部(见图 11(b))。

作此演示时应注意以下几点:

(1) 如果经过扩束后的光束锥角较大, 则在屏 4 上得到的环数较多, 但照度较弱。在一般教室内演示时, 应注意既要得到足够的环数, 更要屏上的照度能满足观察的要求, 一般观察毛玻璃透射光较好。

(2) 欲很快在屏 4 上得到等倾干涉环组的中心条纹, 可调节平行玻璃板, 使屏 4 上的干涉环向着条纹曲率和间距增大的方向移动, 直到中心圆环出现。

(3) 如果平行玻璃板两表面的平行度在秒级或更小, 其等倾干涉环组的中心在 S 点附近。这时应在 S 点处放置一开有小孔的白屏。屏面应与光轴垂直, 小孔恰在 S 点处让激光通过。这样可在白屏上得到完整的等倾干涉环组。用这种方法可以测量平行平晶的微小楔角。其精度可达 1/10 秒的数量级<sup>[1]</sup>。

### 3. 等厚干涉(牛顿环)的演示

将一曲率半径为 1M 以上的平凸透镜放在毛玻璃片上。透镜凸面应与毛玻璃片的抛光面接触, 把它们放入夹具中, 调节夹具使在白光下直接看到牛顿环。

按图 7 的装置, 用一焦距约为 13cm 的凸透镜 2 将激光器 1 射出的光稍加扩束(可近似为平行光束。或用 3—4M 外的激光束)照射在牛顿环的位置上, 使由牛顿环装置 3 反射的光束经凸透镜 4 ( $f \approx 13\text{cm}$ ) 后, 在毛玻璃屏 5 上得到放大的牛顿环(见图 11(c))。

作此演示时应注意以下几点:

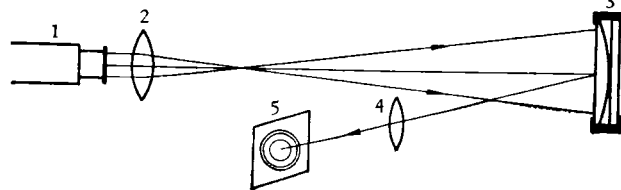


图 7

(1) 装置 3 中用毛玻璃片而不用透明玻璃片的原因主要是为了避免透明玻璃本身产生的干涉纹与牛顿环迭加。

(2) 用图 7 的装置所产生的牛顿环为不定域干涉条纹。凸透镜 4 仅起着扩大牛顿环的作用。

(3) 通常会在屏上得到几个干涉环组, 这是由于其他表面(如平凸透镜的两表面)的反射光产生的附加干涉的结果。我们调节夹具上的螺丝, 使不必要的干涉环与演示的牛顿环分开。

(4) 投射在平凸透镜上的激光束应恰好照满牛顿环的位置, 光束不宜过大(光束截面约  $1\text{cm}^2$  即可), 以免光能损失。

## 五、圆孔、圆屏、单缝和光栅衍射的演示

### 1. 菲涅耳圆孔衍射的演示

演示装置如图 8 所示。图中 1 为氦氖激光器; 2 为圆形可变光栏(直径变化范围约 3—12mm, 可用照相机光栏代替)。3 为白色屏。

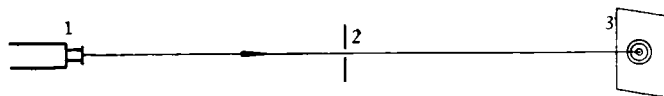


图 8

演示可在楼房过道里或大教室内进行。在离激光器输出口 10m 远处放置圆形可变光栏, 光栏面应与光束轴线垂直; 光栏中心应与光束轴线重合。先将光栏孔径调至最小(约 3mm), 让激光束通过光栏, 则在光栏右方 10m 处的屏上可看到圆孔的衍射环组, 其中央为一亮点。这对应于光孔仅包含着一个中央波带。逐渐增大光栏的孔径, 当衍射圆环组的中心第一次变为暗点时, 对应于光孔包含着两个波带(见图 11(d))。随着光栏孔径的继续增大, 衍射圆环组的中心有明暗交替的变化。

如果固定光栏孔径, 而沿光轴向着光栏移动接收屏, 也可以看到圆环组的中心有明暗交替的变化。

作此演示时应该注意如下两点:

(1) 把理论上的计算值与实验值加以对照, 效果可能更好些。

(2) 如果在接收屏前约 1M 远的地方加放一个焦距约 13cm 的凸透镜, 可将衍射圆环适当放大, 便于更多的人同时观察。

### 2. 圆盘衍射的演示

用一个直径约 3mm 的圆珠代替圆盘, 把它粘在凸透镜 ( $f = 13\text{cm}$ ) 的中心。使从 3—4M 远处射来的激光束照满圆珠。在离圆珠 1—

2M 远处的白屏上可观察到放大的圆珠几何影象的中心为一亮点(称为泊松斑),几何影象的周围是模糊的衍射环(参看图 11(e)).

作此演示时应注意以下几点:

(1) 在透镜上粘圆珠时,粘合剂在透镜上的沾染范围应小于圆珠的直径,并保持圆珠与透镜的清洁.

(2) 凸透镜起着扩大衍射图形和固定圆珠的作用,这样可使演示距离大为减小.但必须注意使影象中心的亮点足以观察.

### 3. 单缝衍射的演示

演示装置同图 5,把其中的双狭缝 2 换成单缝.

若改变单缝的宽度,可明显看到衍射花纹随单缝变窄而变宽的现象.

此演示可得到十余级衍射花纹,其视场宽度约 30cm(参看图 11(f)).演示时的注意点可参考双缝干涉的演示.

### 4. 透射光栅衍射的演示

在距激光器输出口 1—50cm 的范围内,放置一个每毫米约 300 条刻线的透射光栅,让激光束垂直于光栅面入射.在距光栅约 3—5 米远的白墙上可得到级间距离为数米的衍射光斑.

## 六、直线偏振光的演示

### 1. 用玻璃片、偏振片、尼科尔稜镜作起偏与检偏的演示

演示装置如图 9 所示.  $AA'$  和  $BB'$  是折射率为 1.6 的透明玻璃片,它们均与铅直方向  $OO'$  成  $33^\circ$  角.让

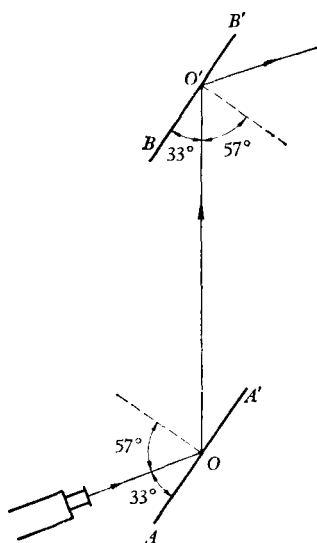


图 9

激光束以  $57^\circ$  左右的入射角射在  $AA'$  的  $O$  点,则反射光  $OO'$  为直线偏振光.光线  $OO'$  经  $BB'$  (作检偏器用) 反射后,可投射在教室的墙壁上.

若绕  $OO'$  转动  $BB'$ ,则每转  $90^\circ$  光斑由最亮变为最暗.

若用一个与  $OO'$  垂直放置的偏振片(或尼科尔稜镜)代替  $BB'$  作检偏器,绕  $OO'$  转动偏振片(或尼科尔稜镜),则在天花板上可看到光斑的明暗变化.

若用两个偏振片(或尼科尔稜镜)作起偏器和检偏器进行演示,效果会更好.

### 2. 用渥拉斯顿稜镜作直线偏振光的演示

演示装置如图 10 所示.其中 1 是渥拉斯顿稜镜,

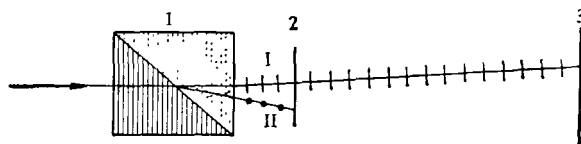


图 10

2 是偏振片,3 是接收屏.

让激光束通过渥拉斯顿稜镜,则出射光为振动面互相垂直的两束直线偏振光(I 光和 II 光).两束光在 3—5 米远处的屏上呈现出两个分开的光斑.

若在渥拉斯顿稜镜的出射光处加一个偏振片,并绕水平轴转动偏振片,同时观察光斑的明暗变化.

当偏振片的主截面与光线 I 的振动方向平行,光线 I 的斑点最亮,而光线 II 的斑点消失.当偏振片再继续转过  $45^\circ$  角时,则光线 I 和光线 II 的斑点明亮程度相同,但均不是最亮.当偏振片再转过  $45^\circ$  角时,光线 II 的斑点最亮,而光线 I 的斑点消失.

用激光光源还可作许多光学和其他方面的演示实验.例如将激光扩束后,在迈克耳孙干涉仪,法布里-珀罗标准具上作干涉现象的演示,可将干涉纹投射在白墙上供多人同时观察.用激光照射作布朗运动的演示,效果也很好.这里不再一一叙述.

仅从上述实例中,我们可以明显地看到,用激光光源作光学演示实验确实有前面已经提到的那些优点.

然而,事情都是一分为二的.尽管作光学演示实验时,激光光源有着普通光源无可比拟的许多优点.可是在作多色光的演示实验时,如色散,复色光的干涉、衍射等,氦氖激光器却是无能为力的.另外,用激光作干涉和衍射的演示时,由于激光的相干性好,而会引起一些不必要的附加干涉条纹,如在牛顿环中所见到的那样(如图 11(c)).

所以,我们可以得出这样的结论:用激光光源作光学演示实验,对原来的光学演示实验有所改进,但是

(下转第 8 页)

不管是谁,当实验工作中出现了预料不到的情况,甚至是差错时,你马上得到的是别人的鼓励、帮助,没有埋怨,没有责难。

第二次突击前,真空小组的钛泵电源没有按期到货,电源小组的同志听说后,立即停下自己的工作,前来支援,利用废旧原料三个人大干三天装了一台钛泵电源。有位同志还带着病和真空组的同志共同调试,彻夜不眠,直至钛泵正常运转。

日常工作中,脏活、累活,对身体有危害的活,大家总是抢着干,分工不分家,互相关心,互相爱护,互相支持。生活在这样的集体中,怎能不心情舒畅,焕发出巨大的积极性呢!

## 2. 只有抓好革命,才能带动科研

几年来在以批林整风,批林批孔运动为纲进行党的基本路线教育中,不断地批判了林彪叛党叛国“克己复礼”的反革命罪行及其修正主义路线。为了批驳林彪对大好形势的诬蔑,党支部召开了形势任务座谈会,用研究室在文化大革命以前受到错误路线干扰和受控研究工作在文化大革命中重新上马并迅速发展的事实进行对比,有力的批驳了林彪对文化大革命、对大好形势的诬蔑,大大激发了科研人员的革命干劲。文化大革命前,由于错误路线的干扰,受控热核反应研究在八年中几上几下,并曾一度停顿。经过无产阶级文化大革命,同志们批判了洋奴哲学、爬行主义,树雄心立壮志,敢想敢说敢干,八年当中上了四个装置,有两个装置很快打出了中子开始进行物理实验。两个八年,形成了多么鲜明的对比!同志们深有感触地说:没有文化大革命就没有我们室的受控研究,同志们决心用自己的实际行动反对倒退,反对“复辟”,坚持革命,坚持前进。

在建设6号装置的从无到有的艰苦道路上,同志们怀着与帝修反争分夺秒的精神,把简陋的实验室当做赶超世界先进水平的战场,当做批林批孔的战场。同志们狠批林贼宣扬的洋奴哲学、爬行主义,在困难面前用大庆工人王铁人的豪言壮语来激励自己,誓作动手派,不做伸手派。批判了林彪一伙的“天才论”和孔老二“生而知之”的反动谬论,树立了实践第一的观点,“从战争中学习战争”<sup>[1]</sup>,从实践中找出规律,找出解决

问题的办法。

这个装置的真空系统很复杂,谁也没有搞过,凭空设计和想像当然是不行的,只有通过实践才能发现问题,解决问题。为此在春节之前就进行了外真空室的试装,在“五一”节前后又进行了内、外真空室的联合试装。通过两次实践取得了经验,终于在去年七月一日实现了两半真空室的“合拢”,投入了运转。同志们说:这个装置的运转,是毛主席《实践论》光辉思想的胜利,是对林彪的“天才论”和孔老二的“生而知之”的反动谬论的有力批判。

## 3. 坚持路线教育,做深入细致的思想工作

在6号装置的建设过程中,所、室党组织,掌握适当时机,组织了三次突击组装,最短的七昼夜,长的达二十昼夜。在每次突击中,坚持无产阶级政治挂帅,突击前召开动员会,讲形势,谈任务,宣传毛主席关于“抓革命,促生产”和赶超世界先进水平的教导,充分发扬民主,制定作战方案。在工作最紧张最艰苦的时候,党支部的同志经常和同志们一起夜战,一起研究问题,一起统一思想,总结经验。

党支部经常抓工作中出现的苗头,进行思想教育。对同志们在勤俭办科研中的一点进步,都给予鼓励和引导。经常宣传干和学,动手和看书的辩证关系,要求把这两者统一起来,不要对立起来,并且根据室里新同志多的特点,进行有计划、有组织的培干工作。二年多来,组织了三次较系统的讲座和多次交流活动,以便更有效地培养一支赶超世界先进水平的生力军。

在回顾两年来工作的时候,使同志们深深感到,我们的工作距党的要求还差很远,工作中还存在不少缺点和问题。装置建成以后还有很多工作要做,在打破美苏垄断,赶超世界先进水平的道路上,目前的工作还仅仅是个开始,以后的任务是非常艰巨的。同志们有决心,有信心,克服缺点,不断前进。“中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平。”

[1] 毛泽东,《中国革命战争的战略问题》,《毛泽东选集》,人民出版社,(1969),165。

(上接第55页)

激光光源还不能完全代替普通光源。只有二者配合起来才能使光学演示实验做得更好。

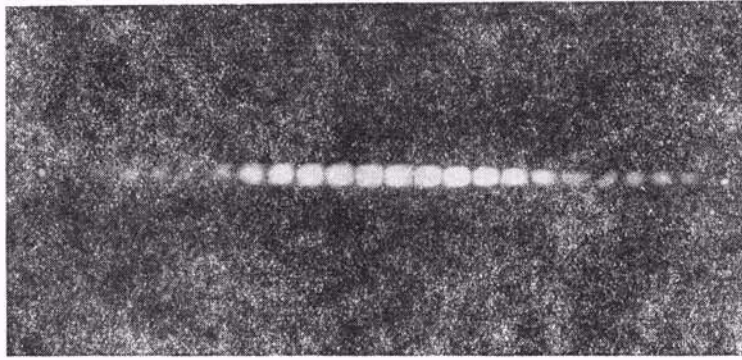
### 参 考 文 献

[1] 光学系激光专业光学教学组,《激光在光学教学中的应

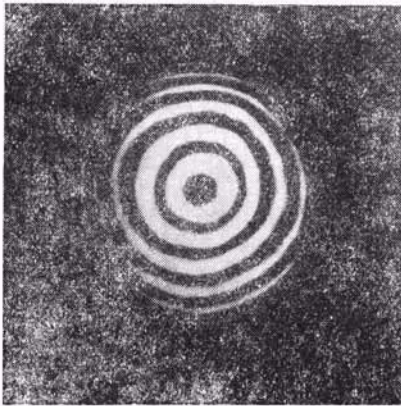
用》,《复旦学报》自然科学版,(1974),70。

[2] Шустин, О. А., Величкина, Т. С., и Др., Несколько демонстраций по волновой оптике, осуществляемых с Газовым лазером. УФН., 105 (1971), 359—361。

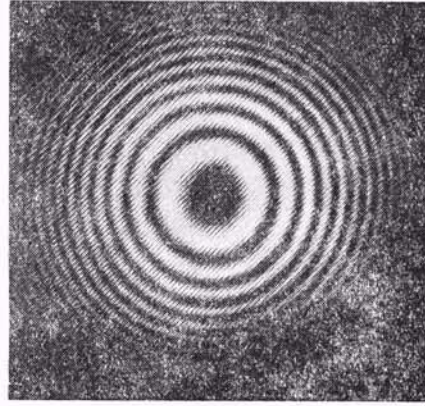
[3] 张光寅,《激光束干涉法测平行平晶楔角和它的一些应用》,《物理》杂志,3-2 (1974) 119。



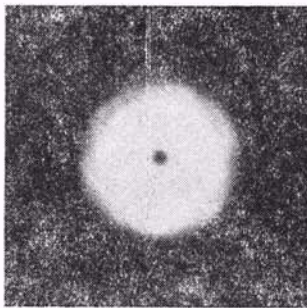
(a) 双缝干涉花纹



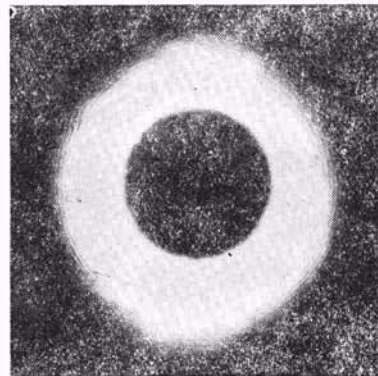
(b) 等倾干涉环(用扩束后的激光照射平行玻璃板所得的干涉环)



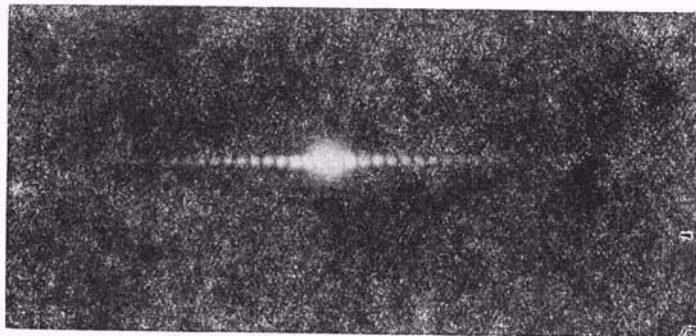
(c) 牛顿环(图中细密花纹是附加干涉引起的)



(d) 放大的圆孔(包含两个波带)衍射花样



(e) 圆球衍射花样



(f) 单缝衍射花纹

图 11 用激光光源作干涉、衍射演示时所得花纹