

激光在医学上的应用

太原市革命委员会卫生局

毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

应当积极地预防和医治人民的疾病，推广人民的医药卫生事业。

人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

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。

C0146560



前 言

在毛主席革命路线指引下，我国医学科学研究和医疗技术革命，迅速发展，不断取得新的成就。目前，用于医疗工作的激光，是六十年代兴起的新技术，它是把某些具有特定性能的物质放在光振荡器里，在外加能源的激发下，发射出一束高强度的光。这种光在方向、亮度、单色、相干等方面，都具有其他光源不可相比的优异特性。

为了普及激光技术基本知识，推广激光在医疗方面的应用，太原市尖草坪工人文化宫和我局举办了激光技术讲座，由太原工学院激光研究组同志讲授了《激光及其在医学上的应用》，现据讲稿编印成册，供医务人员学习参考。

为出版这本小册子，太原工学院激光研究组做了大量工作，在此表示感谢。

此次付印，由于时间短促，难免有不当或错误之处，请读者批评指正。

太原市革命委员会卫生局

一九七五年八月

目 录

第一章	光的本质.....	(1)
第二章	激光器的发展简史.....	(3)
第三章	激光的物理性质.....	(5)
第四章	激光器工作原理.....	(13)
第五章	几种典型激光器的介绍.....	(28)
第六章	激光在医学上应用综述.....	(43)
第七章	激光对有机物的四种效应.....	(45)
第八章	激光在眼科方面的应用.....	(48)
第九章	激光治疗癌症.....	(55)
第十章	激光手术刀及其应用.....	(58)
第十一章	激光在牙科、皮肤科的应用.....	(64)
第十二章	激光发光分析用于人体检验.....	(65)
第十三章	全息照相及其在医学上的应用.....	(67)
第十四章	激光在大气污染的探测方面的应用.....	(79)
第十五章	激光的安全防护.....	(85)

第一章 光的本质

光究竟是什么？远在二千年前就有人研究它了，在二千三百多年以前（我国周代），我国劳动人民就已经懂得利用凹面反射镜在阳光下聚光取火了。远的且不说，就是从牛顿时代算起，到现在也有三百多年了。经过长期的研究，目前人们对于光的本质有了一个比较清楚的认识，但这决不是认识的顶点，关于光的更为深刻的性质还有待于今后人们在不断地实践中来不断地揭露。大量的光的干涉、衍射、偏振等实验现象证实，光是一种电磁波，它具有波动的性质它能产生干涉、衍射现象，有一定的频率和波长。就象在使用收音机和电视机时所碰到的无线电波一样，不过光的波长要比它们短得多。一般收音机用的波长是600米~10米（中、短波），电视用的波长是10米~1厘米（超短波、微波），而可见光的波长则是0.40~0.75微米。既然光是一种电磁波，就可以用麦克斯韦电磁场理论来描述它。

另外，光电效应、光的吸收和发射等实验现象告诉我们：光是一粒一粒以光速运动的粒子流。这些光粒子称为光子，简称光子。每个光子具有一定的能量 E ，它的大小取决于光的频率 ν ，关系为下式：

$$E = h \nu$$

其中 $h = 6.625 \times 10^{-27}$ 尔格·秒，称为普朗克常数。

光的能量集中于光子身上，光子是具有一定的质量、能量和动量的粒子，它具有粒子的性质，它的速度是每秒钟三

十万公里，假如以这样的速度绕地球跑，一秒钟可绕地球七圈半。

因此，光是电磁波，又是粒子流；它既具有波动性，又有粒子性，即光具有波粒二重性。波动概念同粒子概念同时在光子身上体现出来，二者是一种辩证的统一。光子完全是个矛盾的事物。波动性和粒子性是光的客观属性，总是同时存在的。但在一定条件下，可能某一方面的属性比较明显，而当条件改变后，另一方面的属性又变得比较明显。而且光的波长不同，波动性和粒子性的表现也不相同。这就是目前人们对光的本质的认识。激光也是一种光，但它在波动性和粒子性方面具有自己的特点。

原子或分子的运动状态发生变化时，就可能发出光来。在普通的光源中，各个发光原子各自独立地发光，这样发出的光子是互不相干、杂乱无章的。这个发光过程叫自发发射。而在激光器中，各个原子相互关联地发光，它们以这种方式发出的光子几乎是完全一样的。这样的发光叫受激发射，激光和普通光的本质区别就在这里，激光的一切特性都由此而来。

第二章 激光器的发展简史

十九世纪末，出现了无线电技术。

在无线电电子学的发展过程中，自从人们开始有效地利用电磁波以来，就不断地向高频发展。在高频区域，用来选择振荡频率的谐振腔的尺寸是同它所产生的辐射的波长同数量级的，即产生厘米波相干辐射所用的谐振腔的尺寸为厘米大小。在本世纪的四十年代末与五十年代初，人们逐渐地认识到，要想产生更高频率的相干辐射，不断地把谐振腔的尺寸来缩小，事实上是办不到的。以光频来讲，假如所产生的相干光的波长是一微米，那么谐振腔的尺寸也就必须是千分之一毫米。制造这样的谐振腔是完全不可能的。人们经过许多的努力，1953到1954年间提出了受激发射用于微波放大的原理。通过实践，1954年制成了氨分子放大器，或叫微波量子放大器，有人也译为麦泽(Maser)。微波量子放大器是利用受激发射来放大微波辐射。1958年又制出红宝石微波受激辐射放大器。把利用受激发射来放大微波辐射的想法推广到光频区域去这是一个必然的发展。1958年有人阐述了在固态和气态物质中激光运转所需的一般物理条件。经过二年的研制，1960年7月8日世界上出现了第一台红宝石激光器。从此各种激光器如雨后春笋不断建造出来。1961年制成了第一台氦氖激光器，1962年制成第一台半导体激光器，1963年利用Xe闪光灯激励钨铈合物获得了 $6129\text{\AA}$ 的激光，这就是最初的液体激光器，1964年制成了二氧化碳激光器，1965年做成了化学激

光器，1966年制成有机染料激光器，此后又出现了原子能激光器，太阳能激光器等，激光器的品种越来越多。

自从第一台激光器问世以来，十余年来激光技术飞速向前推进。开始时只有几种工作物质，目前已发展到有两千种以上的工作物质；开始时只在极狭窄的光谱区域内产生少数几条谱线的受激发射，目前已发展到整个光频波段内万条以上谱线的受激发射；开始时激光器的能量很低，目前大功率的激光器不断出现，最大脉冲峰值输出功率已达25兆瓦。据1970年统计，已有50多种和近千种型号的激光仪器已用于工业。目前全世界有三十多个国家，一千多个研究机构和企业从事激光器的研究和生产。

目前国外激光器已达到的指标：（1）最大的平均输出功率：二氧化碳激光器连续波最大平均输出功率为六千瓦，也有已达几十千瓦的报道。（2）最大脉冲峰值输出功率：多级放大的掺钕的玻璃激光器的峰值输出功率已达25兆瓦。（3）效率：横向激励大气压激光器的转换效率已达21%，而化学激光器则在12%以上。（4）振荡波长范围：由 H_2 激光器的1523Å至HCN激光器的774微米。（5）可能的波长调谐范围：利用掺钕的钇铝石榴石激光器的二次谐波激励的采用铌酸锂晶体的参量振荡激光器，其波长在5400Å至4微米范围内，可在数个区域内加以调谐。

第三章 激光的物理性质

什么是激光？

激光，英语叫Laser，所以又名莱塞或莱泽。原义为 辐射的受激发射的光放大。激光，顾名思义，是激光物质受激发而辐射的光。激光的“激”字指的就是受激发射。激光，它是把某些具有特定性能的物质，放在光振荡器里，在外加能源的激发下，发射出的一束高强度的光。简单地说，激光是一种颜色很纯，能量高度集中，方向性和相干性 很 好 的 光。

激光是六十年代初兴起的一门尖端科学，是人们综合了原子物理，光学、光谱学、结晶学、微波技术和量子电子学等学科的先进成就而产生的一项尖端技术。它的出现无论在理论上和实用上都具有划时代的意义。

激光的主要特点

毛主席教导我们：“成为我们认识事物的基础的东西，则是必须注意它的特殊点，就是说，注意它和其他运动形式的质的区别。”

激光具有如下的重要物理性质及特点：

1、方向性好

普通光源（如电灯，太阳等）发出的光，是向四面八方辐射的，没有一定的方向。我们利用透镜或反射镜，可以将

普通光变成平行光，由于发光体具有一定的大小，所以利用反射镜，不可能获得完全的平行光。另一方面，由于普通光具有连续光谱，各种光波折射率不同，利用透镜也是不能获得完全平行光。用普通光所形成的平行光，两光线的不平行度比较大。而激光则具有很高的方向性，它几乎是平行地沿着一定的方向发射，不仅光束狭窄，而且发散角极小，通常为1个毫弧度（约3分26秒的角度），比普通光及微波的发散角小2~3个数量级。若利用光学系统聚焦，发散角还可以更小。激光的发散角比现在世界上最好的探照灯系统发散角还要小几百倍。如若从地球以1厘米直径的普通平行光束，并假设亮度足够高向月球投射，则光束扩展的直径将达几百公里。如若用激光照射月球，则光束扩展的直径不过几公里。用激光做标准直线，几公里长度上误差不超过毫米数量级。由此可见，激光的方向性强是前所未有的，无可比拟的，简直是独一无二的。正因为这样，激光有高度的准直性，极好的保密性（除激光传播方向外的任何方向均发现不了）极强的抗干扰性，这对军事应用极为重要和有意义。也正由于方向性强，所以激光可以传播得相当远相当近，这对宇宙及星际之间的通讯联系实用价值很大。在工程上可以做成各种准直仪，大大提高测量的精度。在医学上利用激光的方向性好，可以进行精确的细胞手术等。

为什么激光具有极高的方向性呢？从谐振腔放大原理中我们知道，只要稍与谐振腔的轴线不平行的光，经过数次反射就逸出腔外去了。所以多次反射的过程，便起到了多次准直的作用。只有严格与谐振腔轴线平行的光才能成为激光射出来。激光的不平行性只有十万分之一弧度左右。

2、极高的光源亮度

亮度是光源发光能力的标志。光源单位面积上向某一方
向单位立体角内发射的光功率，称为亮度。它是深入研究光
源及辐射理论时的一个基本物理量。亮度的单位叫做熙提。
在垂直于发光面的方向上每平方厘米的发光强度为 1 烛 光
时，发光面的亮度就是 1 熙提。

光 源	亮度 (以熙提为单位)
普通脂肪质蜡烛火焰的亮度	约0.5
电 灯	约500
炭 弧	约9000
超高压水银灯	约120000
太 阳	约165000
高压脉冲氙灯	约1000000

激光比普通光源在亮度上有成万成亿倍地提高。激光比
太阳表面的发光亮度要高100亿倍。一台较高水平的红 宝 石
巨脉冲激光器，每个平方厘米的输出功率达 1 千兆瓦，这个
激光器的亮度就是37亿兆熙提，比高压脉冲氙灯的亮度提高
了三十七亿倍！除了氢弹以外，至今还找不到第二种东西能
够象激光器这样高度地集中能量。一台大功率的钕玻璃激光
器在一瞬间的输出功率，最大的可达几百亿瓦，超过了全世界
现有全部发电站功率的总和。激光为实现可控热核聚变反应
开辟了新的途径。如果能实现可控的核聚变反应并利用它
的巨大能量，据估计，地球上现有的资源可供全世界使用一
百万年以上。会聚高亮度巨脉冲激光，能在直径为百分之几

毫米或千分之几毫米的范围内产生几百万度的高温，几百万个大气压的高压和每厘米几千万伏的强电场。世界上的任何东西，不论是飞机或是导弹碰上它都将变成一股烟而汽化消失。这是至今为止任何其他光源所望尘莫及的。就是会聚中等亮度的激光，在焦点附近也能产生几千度以至几万度的高温，容易熔化以至气化各种对激光有一定吸收的金属和非金属材料。人们曾经做过这样一个实验，说明了激光的高亮度。从月球上拍摄了地球的照片。照片上黑夜部分出现了两个亮点，这就是当时正瞄准月球发射激光的两台激光器。而位于这两台激光器附近的灯光通明的大城市却完全淹没在黑暗之中。因为除激光以外，其它任何灯发出的光都到不了月球。激光的亮度极高在工业加工、激光武器、通讯事业及科学研究方面均有很大的意义。在医学上用亮度极高的激光可以破坏肿瘤，治疗青光眼等。

激光对亮度的提高，主要是依靠光在发射方向的集中，此外采取特殊措施的激光器，可提高激光功率，从而大大提高激光的亮度。

3. 极高的单色性

我们知道光是一种电磁波。我们感觉到的不同颜色，正是不同波长的光作用在眼睛的视网膜上所引起的不同反映。人们能看到波长在 $0.40\sim 0.76$ 微米的光。

用任何普通的方法获得的光（例如灼热铁水发出的光波，是连续光谱），是具有多种波长的，也就是说具有各种各样颜色。普通光源发出的光，颜色分布很宽，太阳发出的光包括红、橙、黄、绿、青、兰、紫以及其他的辐射波长等。单色光是指波长范围很小的一段辐射，一般小于几个埃。单色光并不是单一波长的光，而是有一个波长范围，这

个范围就叫做单色光的谱线宽度。波长范围越小，即谱线宽度越窄，单色性就越好。因此，谱线宽度是衡量光源单色性好坏的标志。谱线宽度与原子发射的光的持续时间有关，持续时间越长，谱线宽度越窄，反之亦然。在激光出现以前同位素 86Kr 灯(Kr^{86})要算是最好的单色光源，但是激光的单色性比 Kr 灯要提高上万倍。激光发出的是高亮度的单色光，往往只具有单一的颜色，波长宽度很窄，通常可小于1个埃(1埃 $=10^{-8}$ 厘米)。用平均波长为 λ ，谱线宽度为 Δ

的单色光来测物体的长度，其最大可测长度 $L = \frac{\lambda^2}{\Delta}$ 。 Kr^{86}

单色光源的最大可测长度为38.5厘米，此时 $\lambda = 6057\text{\AA}$ ， $\Delta = 0.0047\text{\AA}$ ，并且需要在低温条件下。如果用He—Ne激光来测长，它的谱线宽度小于一千万分之一埃，最大可测距离达几十公里。单色性好对精密测量，机械制造工业，光学工业很重要。

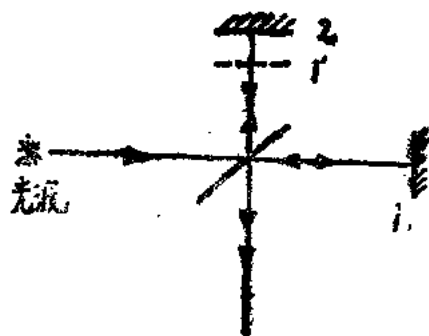
4. 极好的相干性

只有满足一定条件的两个波源发出的波才能相互干涉，这些条件是：①频率相同②振动方向相同③周相差恒定。激光的相干性是光的波动现象的普遍属性。

根据两个光波的位相是相同的还是相差 180° ，合成后的光波或者得到加强或者消失。这种现象就叫做光的干涉效应。相干性是指两束光线干涉时，能否形成稳定的清晰的干涉条纹。通常把相干性分成时间相干性(纵向相干性)和空间相干性(横向相干性)，时间相干性用相干长度来量度，空间相干性用相干面积来量度。

先讨论时间相干性：以迈克尔逊干涉仪为例，图1是它

的光路图，入射光经反射镜1、2各自反射后射出而干涉的结果



是加强还是减弱决定于两镜的距离（即1'2的距离）若以钠光灯为光源，则在1'2从零增到某一定数值后条纹变得非常模糊。即光程差的增加会使相干性减小。相干性由于光程差

这一因素而变化时，称为时间相干性。钠光灯的时间相干性的变化实际上是由于（1）钠光灯有双线谱，光程差 $L =$

$\frac{2n+1}{2} \frac{C}{\Delta \gamma}$ 时，两套条纹完全错开而成为模糊一片。②自

发辐射是衰减振荡，L大到一定数值后，光波是与另一波列相遇，而两波列之间的周相差是任意的不能形成稳定条纹。也就是说，其相干性决定于波列延续的时间，这就是为什么叫做时间相干性。由于这时只能在一定数值的光程差之内才是相干的，这光程差称为相干长度。若某一个单色光源它的波

长为 λ ，谱线宽度为 Δ ，则 $L = \frac{\lambda^2}{\Delta}$ ，这个L就是从同一光

源发出的两条光线仍能给出可以观察到干涉现象的最大光程差，称为这个光源的相干长度。在迈克尔逊干涉仪中，光程差就是反映了两列光到达观察屏的时间不同，所以光程差与时间差是对应的。与最大光程差相对应的时间间隔 t 称为相干时间。所以可以用相干时间来量度光源的时间相干性。设

光速为 C 、则 $t = \frac{L}{C} = \frac{\lambda^2}{C\Delta}$ 。时间相干性好，意味着光是持续时间很长的正弦波，频谱宽度极窄光源的单色性越好，时间相干性也越好，因而相干长度也越长。激光之前最好的单色光源氪灯，它的相干长度只有38.5厘米。

氦氖气体激光器所产生的激光相干长度达数十公里。它的单色性比氪灯要提高十万倍，用这样的激光测量数十米的距离是没有问题的。

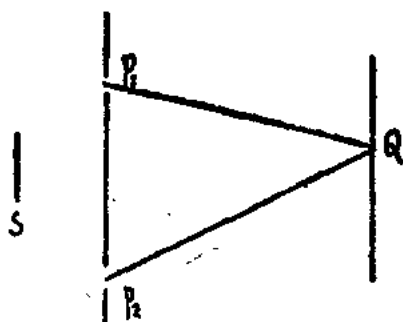


图2、空间相干性说明图

空间相干性：考虑一个普通的单色面光源 S ，照射到空间两点 p_1 、 p_2 ，空间相干性就是说明射到 p_1 、 p_2 的光能否在相遇时形成稳定清晰的干涉条纹。我们在 p_1 、 p_2 所处的平面上放一个光阑、光阑上在 p_1 、 p_2 处各留一

针孔，再在光阑后面放一屏，看看屏上有没有干涉条纹。在屏上任选一点 Q 。照射到 Q 的光，是来自 S 上各个点（通过 p_1 、 p_2 ）的总和。由于 S 上各点发光的周相是杂乱的，光程差也各不相同，因此 Q 点说不上是明是暗，即屏上看不到条纹。这就称为对于光源 S 、 p_1 、 p_2 两点是空间不相干。

现在来用如下办法，①缩小 S 对 p_1 的张角（靠缩小 S 的尺寸或将 S 移远），直到 S 上各个点到 p_1 的光程差小到光波波长的数量级，对 p_2 也做同样要求，这时 Q 点就有确定的明

暗，屏上出现干涉条纹。②缩小 p_1 、 p_2 的距离，直到S上任一点到 p_1 和 p_2 的光程差和光波波长同数量级，屏上也会出现条纹。这都称为空间相干。用普通单色光源，为了获得空间相干性，必须对光源加以限制，不然就只在很小的空间才有相干性。若用激光光源，根据共振腔的理论，它有稳定的波阵面，因此在很大的空间都是有良好的相干性。

单色性好，对精密测量，机械制造工业，光学工业很重要。单色性越好，则最大可测距离就越长。相干性好，在测量技术，波动光学，地球物理等方面很有意义。

第四章 激光器工作原理

为了说明激光器的原理，必须首先了解各种物质发光的基本原理。发光的一般原理是什么呢？

人们经过长期研究，发现许多物质的发光现象，往往是与原子（或分子，离子）的内能变化联系在一起的。为了研究发光原理，先需要对原子结构有个起码的了解。

世界上的各种物质都是由原子（分子或离子）所组成的。原子是由两种不同的带电粒子所组成。每个原子有一个原子核，它带有正电荷；核外有一些电子，每个电子带有一份负电荷。电子一层一层地环绕着原子核永远不停地运动，每层电子都有自己的运动轨道，就象月亮围绕地球转动一样。电子绕核转动就有一定的动能，电子被核吸引就有一定的位能，这个总和便是原子的内能。核与电子间的距离保持不变，原子的内能也不会变化。一般来说，能量大的，轨道离原子核远一点，能量小的离核近一点。

电子在原子中的运动不是可以有任意的轨道的，而是受一定的法则所决定。电子在原子中的运动只能有某些允许的轨道，除了这些所允许的轨道外，再没有别的轨道了。每一个轨道运动就相应于一定的电子能量，所以电子的运动能量也就不能具有任意的数值，只能具有某些所允许的数值。这些所允许的能量数值因轨道之不同都是一个一个地分开的，而不是连续性的。

当电子在原子中的运动从一个所允许的轨道变到另一个