

参 考 文 献

- [1] Burch, J. M., Ruby maser with afocal resonators, *J. Opt. Soc. Am.*, Vol 52, May 1962, p. 602.
- [2] —, Design of resonators, in *Quantum Electronics III*, Vol. 2, New York: Columbia University Press, 1964, pp. 1187-1202.
- [3] Baker, J. A., and C. W. Peters, Mode selection and enhancement with a ruby laser, *Appl. Opt.*, Vol 1, Sep. 1962, p. 674.
- [4] Skinner, J. G., and J. Geusic, Diffraction-limited ruby-oscillator, *J. Opt. Soc. Am.*, Vol 52, Nov. 1962, p. 1319.
- [5] —, A diffraction limited oscillator, in *Quantum Electronics III*, Vol 2, New York; Columbia University Press, 1964, pp. 1437-1444.
- [6] Toraldo di Francia, G. On the theory of optical resonators, in *Proc. Symp. on Optical Masers*, New York: Polytechnic Press, 1963, pp. 157-170.
- [7] Boyd, G. D., and H. Kogelnik, Generalized confocal resonator theory, *Bell Syst. Tech. J.*, Vol 41, July 1962, pp. 1347-1369.
- [8] Kogelnik, H., Imaging of optical modes and resonators with internal lenses, submitted for publication in *Bell Syst. Tech. J.*

原载 *Proc. IEEE*, 1965, 53, №4, 399 (朴锡斗译, 向立人、路敦武校)

激光剂量计——一种防护仪器

J. J. Schlickman R. H. Kingston

激光对视力的损伤是一种常存的危险。一种新的剂量仪器可以测定直射或反射的激光的危险程度。

激光束的直接照射可能引起严重的眼损伤。甚至当反射平面并不平整光洁时,其反射的激光,也能导致同样的后果。已有很多研究工作者报导了暂时失明的病例,并采取了减轻这种危险的措施。

一种测量反射激光脉冲能量的剂量计已发展成为避免眼损伤的防护仪器。剂量计的读数将指出什么时候辐射已达到危险点。由家兔眼损伤实验得到的数据,已用来研制和标定激光剂量计。

已有几个研究小组研究了红宝石激光辐射引起的生物效应。这些探讨表明,可能引起眼损伤的不仅有反射光,甚至还有漫散射光。这种辐射的危险性激起了人们去制造一种比较简单的仪器来测量反射光的能量水平,并明显指出可能存在的危险。

脉冲激光剂量计的得名,是因为它测量了每一激光脉冲的总能量,并将修改过的 γ 射线剂量计作为高阻抗伏特计,观察者能以一种绝对方法确定辐射剂量(因标定的刻度是能量密度的线性函数)之故。

这种仪器的动力范围包括了在探测器的 S-1 光谱响应(6,000~10,000 埃) 以内工作的所有已知正常波型激光器。但对于脉冲上升时间为 0.5 至 1 毫微秒、持续时间仅几毫微秒的 Q 突变激光器, 类似的剂量计则尚未制成, 这是由于设计困难, 并且还缺乏有关这类激光器的数据之故。

眼 损 伤

弗吉尼亚医科大学的研究者们研究了红宝石激光辐射对兔眼的影响并作出结论: 每平方米 0.7 焦耳总脉冲能量即足以损伤视网膜。这一结果是在视网膜受照的线度约 1 毫米、脉冲长度约 175 微秒的条件下得到的。

如果用入射到眼的表面或角膜上的散射或反射光束的能量密度来描述, 则上述限制(0.7 焦耳)对 0.69 微米的红宝石辐射而言, 就相当于每平方米 5×10^{-6} 焦耳的能量密度; 而对波长较长的钽玻璃辐射(1.06 微米), 就相当于每平方米 10^{-5} 焦耳。这一计算假定了入射到角膜上的光来自一个点光源, 并把正常瞳孔的直径计为 3 毫米。此外, 还假定了角膜的聚焦作用在网膜上形成的斑点是入射光波长的函数(由于衍射的限制)。

直接射来的激光束, 由于其平行性(或散发性极小), 也能聚焦到这样小的点; 然而, 象这样直接暴露在光束之下, 在任何情况都是极端危险的。

对于从靶上一个有限大小的点上漫散射回来的激光辐射, 如果它在网膜上的象比衍射限制的程度大, 那么其危险程度就会降低, 在使用这种仪器时也考虑了这种特殊情况。

由于在能产生可见损伤的能量水平之下, 已怀疑有某些不可见的损伤出现, 故在实验室和野外实验中, 最大容许的工作能量定为能产生损伤的值的十分之一。激光对人眼的损坏阈列于表 I。

表 I 具有正常波型的红宝石和钽玻璃激光器对人眼的损坏阈

激 光 器	波 长 (微米)	衍射极限 的近似值 (微米)	角膜的损坏密度 (焦耳/厘米 ²)	视网膜的 损坏密度 (焦耳/厘米 ²)	最大容许 工作密度 (焦耳/厘米 ²)	脉冲长度 (微秒)
红 宝 石	0.694	10	5×10^{-6}	0.70	5×10^{-7}	> 175
Nd ³⁺	1.060	15	1×10^{-5}	1.40	1×10^{-6}	> 175

使 光 线 散 射

激光剂量计是这样设计的, 它能测定每次激光脉冲的总光能, 其结果读数能表明有否眼损伤的可能性。仪器是这样标定的, 即指针偏转标尺的 10% 代表工作的最大允许值, 而指针偏满时, 则表示能量已足以形成损伤。

图 1 表示这种仪器的结构。激光辐射进入向场透镜并聚焦到漫射片上。棱镜和聚焦板的作用是在进行测量之前利用普通光来对准仪器。

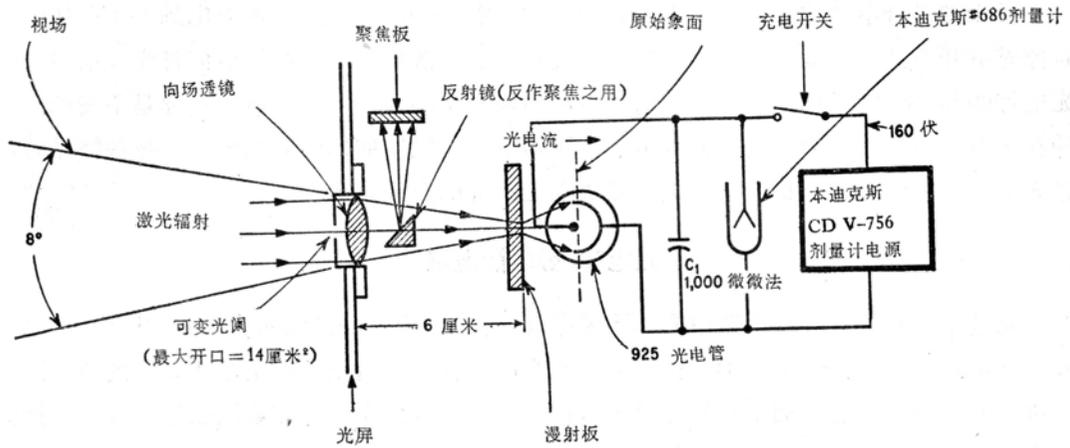


图 1 激光辐射聚焦到漫射板上，后者再照射阴极表面。电容器先充电到 160 伏，然后断掉电源开关。光电管导电时电荷的损失与光脉冲的能量成正比。

本迪克斯(Bendix)剂量计是一种廉价的袖珍仪器(图 2)，它能记录几天或一周之内的 γ 辐射总量。在激光剂量计中，将其作为灵敏的静电计使用。在通常的辐射记录过程中，令石英纤维及其支持物充电到约 160 伏(相对于电离室的壁)，便能使叉丝指示器的读数为零(图 3)。进入这种带电袖珍仪器的电离辐射将使静电计失去电荷。如图所示，当静电计电压下降到大约 90 伏时，就得到满度。

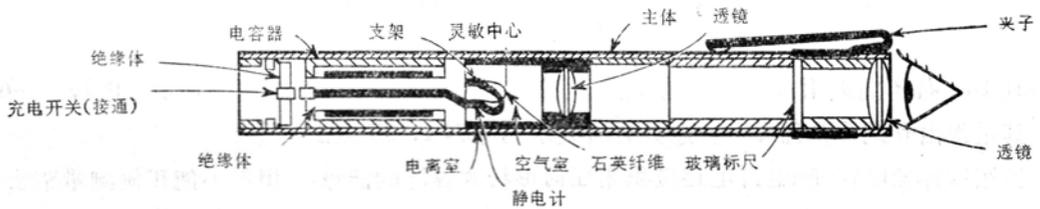


图 2

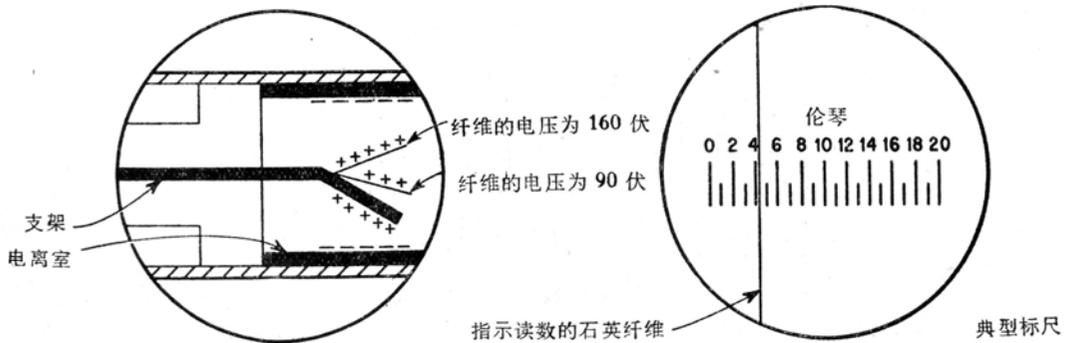


图 3 通常用来记录电离辐射的自来水笔式剂量计用作激光剂量计中的静电计和读数装置。一种辐射剂量计的典型标尺系由 0~20 伦琴。当用于激光剂量计时无须重新标定。

在激光剂量计中，这种袖珍的静电计的读数为零，此时电容器 C 被充电到约 160 伏。然后断开充电开关。一个激光脉冲射入向场透镜并聚焦到散射板上。此漫射板将光线散射，于是光电管的整个光阴极都受到照射。为了克服阴极面上的不均匀性，散射过程是不变的。激光脉冲在光电管中产生电流，这就使得由 C_1 和剂量计并联组成的电容放电。当脉冲终结时，通过光电管的电流也就停止，净的电荷损失与光脉冲的总能量成正比。

光电管-静电计电路

当充电至 250 伏时，该仪器中的 925 光电管有额定的暗电流(无入射光线) 0.0125 微安。但静电计电路中的工作电压仅 160 伏，典型的光电管在这个电压下的暗电流比上述值小两个数量级。漏电少有可能使剂量计的标尺呈线性。而在电容器充电和完成读数这一段短时间间隔内的漏电也就无需补偿。

对于具有损坏性能量密度(每平方厘米 5×10^{-6} 焦耳——红宝石)的激光脉冲，这种要求已在剂量计的整个刻度内得到满足。考虑了剂量计的光效率以及光阴极表面的效率之后便能看出，具有这种损坏性能量密度的脉冲能使电容器损失 0.07 微库仑的电荷。由于全偏转对应的电容器电压损失是 70 伏，故电容器 C_1 的容量为 1,000 微微法。这一数值是从这个公式计算出来的：

$$C_1 = \frac{Q}{\Delta v}$$

$$C_1 = \frac{0.07 \times 10^{-6}}{70} = 1,000 \text{ 微微法}$$

其实，并不需要附加另外的电容器，因为在这种仪器中使用的本迪克斯静电计——686 型，其量程由 0 到 600 伦琴——总具有所要求的电容 1,000 微微法。

虽然这种光电管-静电计电路应积累任何形状的脉冲的能量，但都不能正确测量窄于 25 微秒的脉冲，或 1 微秒甚至更短的单峰(图 4)。这是由于测量这种水平的总能量时所要求的高峰值阴极电流的出现。这样 925 光电管中的电流饱和现象便限制了这种装置测量这些最短的脉冲的能力。

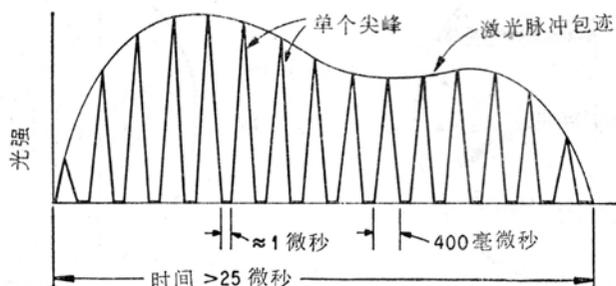


图 4 激光脉冲的单个尖峰实际上呈三角形，其基底宽度至少应该有 400 毫微秒，这样才能防止光电管饱和，此外，具有损坏性能量密度的脉冲必须持续至少 25 微秒，否则满数将是不正确的。

剂量計的使用

使用剂量計的目的在于确定直接射来的或反射来的激光束给眼带来的危险的程度。靶子的安置欠妥，或者在光束前移动什么物体，都能使激光束在实验室内来回反射。考察一些典型的反射路径，可以隔离掉那些须严加注意的位置。

首先找出任何散射或反射表面的位置。然后把剂量計放在眼睛将要占据的地方，情况如图 5 所示。第二步是聚焦剂量計，其方法是用白炽灯照明散射板。调节向场透鏡使在聚焦板上得到清晰的象。然后移去光源和反射体。然后完全打开仪器的镜头前的光圈，进行测量。读数超过量程的 10% 时，便表明可能有危险，因而有必要安置适当的屏蔽。

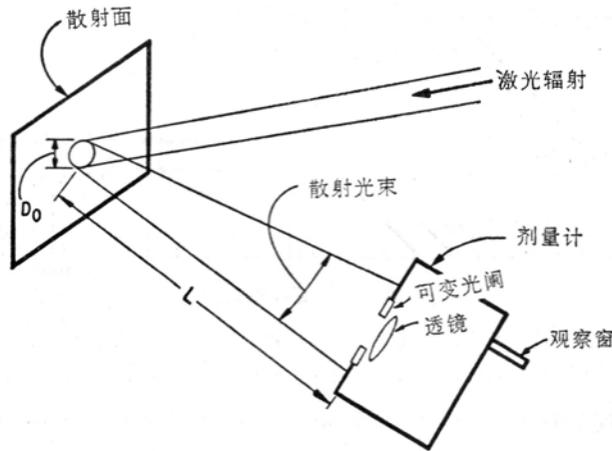


图 5 剂量計的透鏡放在眼睛将要占据的位置。读数时必须考虑散射面上光点的大小、到剂量計的距离以及光閘的开口大小。

在很多情况下，未聚焦的光束在漫射面上的散射可能在网膜上产生一个大于衍射极限的象。在这种情况下，象点的大小可用炭纸或曝光软片测定出来，而仪器灵敏度也相应作适当调节。散射板上激光点的大小以及散射板与剂量計向场透鏡之间的距离决定了准备使用的透鏡开口—— f 数——的大小。对于各种激光点大小和散射板到眼睛的距离，透鏡的开口由图 6 中的曲线给出。

作为如何使用这种仪器的例子，假设在散射板上激光点的线度是 1 厘米，试估计在 200 厘米远处的危险程度。对于这样的条件，图上表示情况 I 的曲线所给出的透鏡 f 数为 20；使用这些值时，具有损坏性能量密度的激光脉冲将使剂量計的指针偏转满度。这就是造成永久性眼损伤的能量水平；仅当读数小于量程的 1/10 时，才能认为没有严重的危险。

其次考虑 0.1 厘米的点和 100 厘米上的效应(情况 2)。此时 f 值在 4.5 和 2.8 之间下降。如这一情况所示，当这一点在这两个数值之间时，对同样的入射光能量，较小的 f 数(光阑开得较大)将给出较大的读数，因而提供了格外安全的界限。同样，剂量計偏转满度表示能

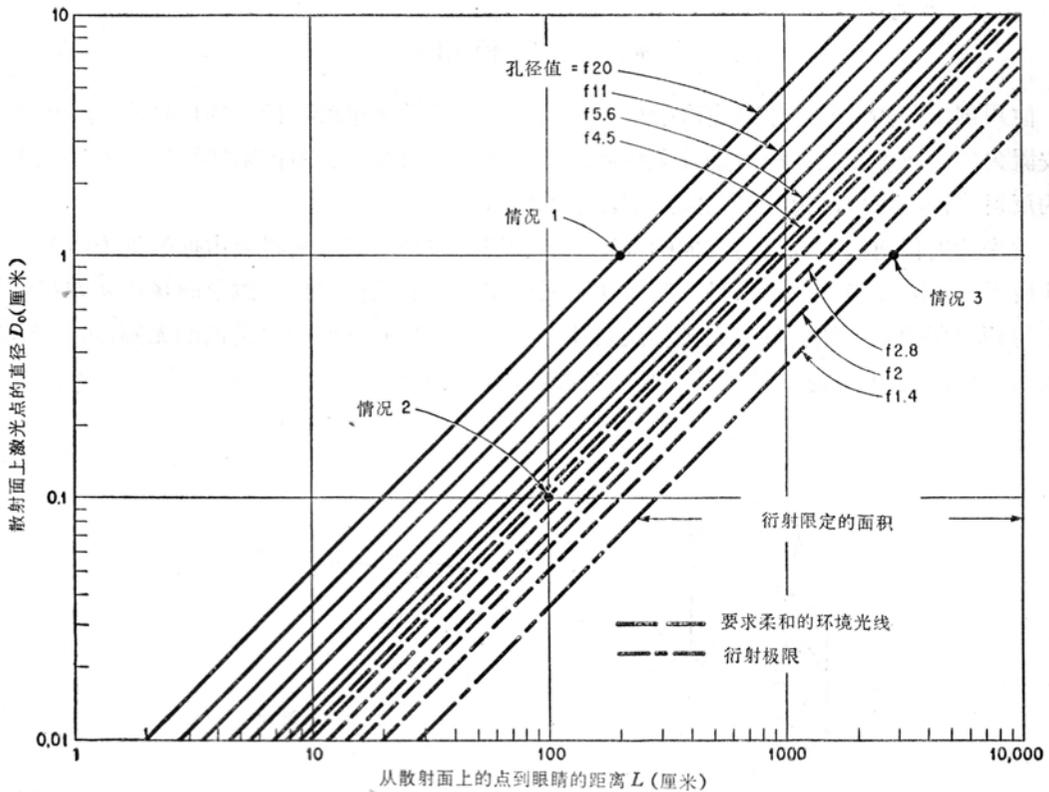


图 6 对于给定的激光点大小和到眼睛的距离，用以找出正确的孔径值或透镜开口的曲线。
对于这些值的全偏转读数相当于网膜上的能量密度达到了损坏性的程度。

量密度已达到损伤网膜的程度。仅当读数为满度的 $1/10$ 或更少一些时，才能认为比较安全。

再考察一下能给出 f 数为 1.4 (图中受衍射限制的线) 的任何点大小和到眼睛的距离，例如 $D_0=1$ 厘米、 $L=300$ 厘米。当衍射起作用时，激光点在眼视网膜上的大小将取可能最小的值。这对于给定的激光脉冲，使能量在网膜上发生最大可能的浓缩。在线的左侧，由于在网膜上的象较大，故网膜上的能量密度较低；而在线的右侧，对射入眼内的给定的能量密度，网膜上的能量密度是不变的，这是因为所有的能量都集中在衍射作用所规定的点内。

剂量计的光学系统要求当使用 $f=4.5$ 或更小的光圈时，周围的光线能减弱。当使用这些光圈数值时，透镜聚集光的能力大得足以引起零点的移动 (在普通的照明情况下)。在移动可以忽略之前，仅需减轻照明。

仪器的标定

为了稳态的标定 (图 7)，将光阑完全打开，一个有滤光器的钨丝灯源和一个温差电堆 (由埃普利实验室公

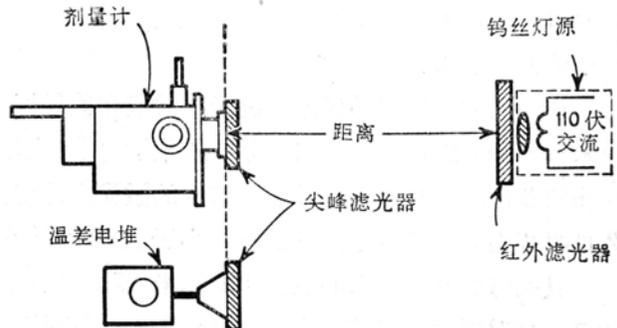


图 7 仪器的标定可借标准钨丝灯光源和标准温差电堆进行。

司制造) 用作光学标准。温差电堆测量在尖峰氙光器的波段内钨丝灯源的功率密度。尖峰氙光器的通带的中心应该是激光波长, 且其宽度小于 400 埃。然后——举例来说——算出为达到总能量密度 5×10^{-6} 焦耳/厘米² (相当于红宝石), 剂量计必须被光源照明的时间。

调节光电管的位置, 直到所算出的曝光时间产生满度的偏转。其次可对铊玻璃进行同样的定标程续。

当激光器的输出已知时, 可开始第三步标定手续。即将剂量计放在距一块优良的兰伯廷 (Lambertian) 反射板 (它产生均匀的散射, 可用 MgO 或 BaSO₄ 粉作成) 有一定距离的地方, 然后计算其能量密度。标定工作完成后, 这种仪器也能作为焦耳计使用 (图 8)。已经制成一

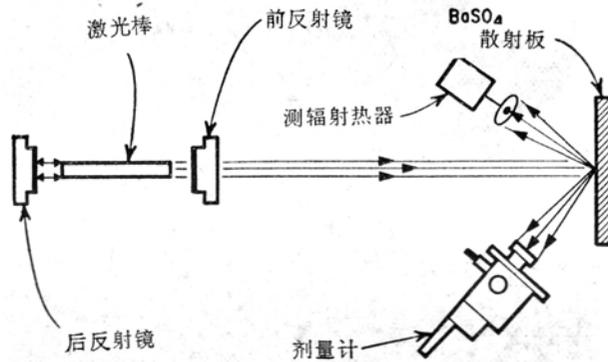


图 8 在动力试验中利用测辐射热器来指示剂量计测量持续期为 175~350 微秒的脉冲时的直线性。这一持续期范围对普通波型的激光器很重要。

种小型的、有氙光器的光源, 用以检验这种仪器的长期重复性, 并避免经常地重复标定。事实上, 这个光源被放到镜头支撑物里, 并与光电管保持固定的距离, 于是便得到一个可重复的满度放电率。这种参考光源示于图 9 和图 10。

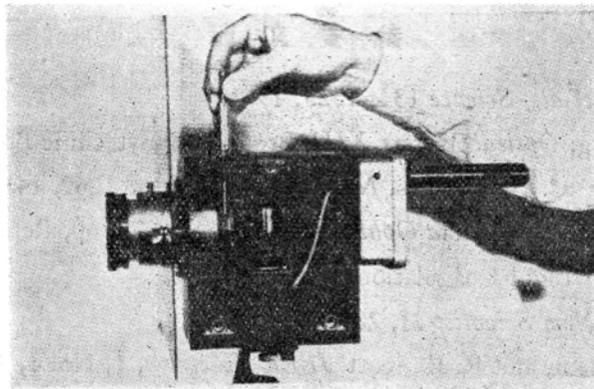


图 9 取下了盖子的剂量计的侧视图。其中可看到透镜 (库克三合透镜), 聚焦调节装置、光电管以及带有电源的观察部分。

可设计一种仪器来监视 Q 突变系统，其基本原理与本文所述的相同，但却使用了较小的电容。较小的电容设计使有可能在 10^{-8} 秒的脉冲情况下得到可靠的读数，这是因为所需要的阴极电流与电容成比例地减少。

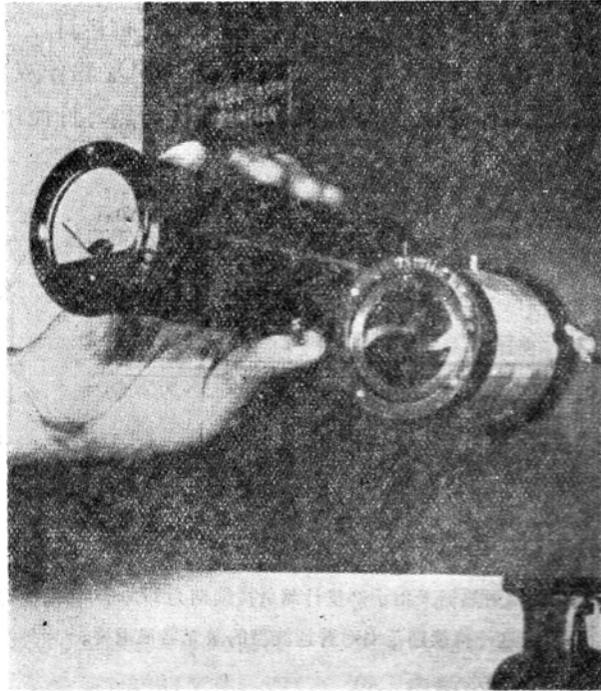


图 10 剂量计的前视图示出了带有光圈刻度的透镜，刻度范围与普通摄影中的相同，手握的装置系用来标定的标准光源。

参 考 文 献

- [1] M. M. Zaret, *et al.*, *Science* 134, 1525, 1961.
- [2] V. T. Tomberg, *Optical Masers XIII*, Brooklyn Polytechnic Press, 1963, p. 505.
- [3] R. A. Malt and C. H. Townes, *New England J. Med.*, 269, 1417, 1963.
- [4] W. T. Ham, Jr., *et al.*, *Acta Ophthalmologica, Sup.* 76, 60, Report on Symposium on Research in Light Coagulation, Mar. 22, 1963.
- [5] L. Goldman, *New Scientist* 21, 284, 1964.
- [6] S. Fine, E. Klein, and R. E. Scott *IEEE Spectrum*, 1, No. 4, 81, 1964.
- [7] W. T. Ham, Jr., and W. J. Geeraets, *Private Communication*.

原载 *Electronics*, 1965, 38, No. 8, 93~98