

全国理疗医师进修讲义

# 光线疗法

陈景藻

进修班教学办公室

# 光 疗 法

光疗法是利用阳光或人工光线（红外线、紫外线、激光）预防和治疗疾病以及促进机体康复的方法。世界上大多数国家都将日光疗法划入疗养学范畴，而理疗学中的光疗法主要是指利用人工光线防治疾病的方法。

两千多年前我国古代的科学家庄子所著的《墨经》中就有关于光学的精辟描述，《墨经》中有关光学的内容共有八条，科学地叙述了形的定义与生成、光与形的关系，光的直线进行的性质、光的反射性能，光和光流的关系及定形的大小，平面镜中物和像的关系，凹面镜中物和像的关系，凸面镜中物和像的关系，当时是世界上绝无仅有的光学著作。北宋沈括所著的《梦溪笔谈》也有关于光学成像问题的描述。《淮南子》中有关于用凹镜取火的记载。我们伟大祖国在光学著述方面是世界上最早的国家。

利用阳光防治疾病实质上是自有人类以来便已实践了，我国和古希腊、罗马是世界上利用阳光治病最早的国家。

现代光疗与光学在世界上的发汇有着密切的联系。应用人工光线防治疾病是从18世纪开始的，在此以前，一六六六年牛顿发现三稜镜可把阳光分成红、橙、黄、绿、青、兰、紫七色光线；一八〇〇年赫谢尔（Herschel）发现在红光之外有一种不可见的光线，可使温度计的温度上升，称之为红外线或热线；一八〇一年利特尔（Ritter）发现在紫光外也有一种不可见的光线，能使氯化银变黑，称之为紫外线或化学线；于一八七七年顿及斯（Downes）和布兰特（Blunt）发表了关于光疗的著作，确定了光的杀菌作用，一八八九年马克拉可夫（A.H. MCKelcoff）描述了紫外线红斑现象，这些著作都为光疗奠定了科学基础。同时可见光，红外线、紫外线日益广泛地用于医疗保健。一九六〇年麦义曼（Maiman）制成了一台红宝石激光器，使激光由理论变为现实，激光随即在医学领域内得到了广泛的应用和迅速的发展。总之，光疗法在

医疗保健事业中有着至要的作用，因此占有至要的位置。

## 第一节 光的基础

### 一、光的性质

光是辐射能中的一种。任何一种能都是运动着的性质，除了它们自身运动外，还能够互相转化，因此光是物质运动的一种形式。

关于光的性质问题，自十七世纪开始先后提示过“微粒说”、“波动说”（机械波动），“电磁学说”“光子学说”等，从光的微粒性质和光的波动性质两个方面不断地解释，直至本世纪廿年代，由于量子力学的出现而将各种学说统一起来，从而摆脱了孤立地看待光的物质的运动形式。列宁同志曾经指示：“自然界中即不存在没有运动的实物，也不存在没有实物的运动。”因此，使运动和物质分离，就等于使思维和客观实在分离，使我们的感觉和外界世界分离，也就是转到唯心主义方面去。

古希腊的一些哲学家曾认为：太阳和其它一切发光与发热的物体都发出微小的粒子，这些粒子接触眼睛和皮肤时就引起光和热的感觉。一六四八年捷克的马萨发现：由于光线在棱镜中的各种各样的折射，形成了多种有颜色的光，即色散现象。十七世纪六十年代，牛顿对光的色散现象作了实验研究，他用一平行的白色光束经过棱镜两次折射后，白色光可分解为红到紫七色光，由于这项研究激发了牛顿对光的微粒说的探讨，进而提示“-----我们有充分的根据认为光是实体-----”，根据进一步地实验结果，牛顿认为：光是从发光体发出的光粒子（微粒）流，最大的光微粒到达人眼时引起红光的感觉，最小的光微粒引起紫光的混合。牛顿对色散解释为：由于折射媒质的质点对大小不同的光微粒吸引力不相等而产生的，这个吸引力使较大的光微粒，飞行方向改变的角度小于较小的光微粒。

牛顿的光的微粒说对一些现象的解释。当时就有人感到不足

以令人信服，因此一些人提示反对。一六七八年荷兰人惠更斯批判了光的微粒理论，并提示了光的波动说。他根据光线可以相互交叉地通过，彼此互不影响为依据来反驳光的微粒理论，如果光线是由物质的粒子流所组成的，则微粒间的互相碰撞应引起光向方向的改变，但是在任何时候都没有观察到这种现象。惠更斯把光和声波、水波相类比，认为光是在某种特殊的弹性媒质中传播的机械波动。微粒说可以解释光的直进、色散、反射、折射等现象；波动说可以解释反射、折射、双折射现象，但惠更斯没有对颜色、直进现象提示解释，故当时显示出那种学说有更多的优越性。在早期微粒说曾佔主导地位，到十九世纪，由于光的机械波的理论有了进一步发展，故又战胜微粒说，而居主导地位。

一八六三年英国人麦克斯韦发表了电磁场理论，理论的要点是变化的电场产生磁场和变化的磁场产生电场，他用数学形式即麦克斯韦方程组表示出电磁场所遵从的规律，证明一切电磁场变化的传播过程是以有限速度进行的，可用电学方法加以测定，结果证明电磁场的传播速度与光速相等，从而证明光波就是一种电磁波，光学研究也就成为电磁场理论的组成部分，麦克斯韦认为光是电荷振动所产生的电磁波。人们进一步的研究发现不同颜色的光就是不同波长的电磁波。一八八八年赫芝发现光波可由金属导体内电振动引起，使波动说得到了进一步的论据。总之，从麦克斯韦以后，光的电磁波学说代替了光的机械波学说。

十九世纪末一系列实验结果又发现了一些新现象，不能被波的学说所解释，例如：光照射某些金属的表面会打击一些电子，从而产生光电效应，事实证明：连续的光波，其能量都是一份一份不连续的。一九〇〇年普朗克提示了光量子学说，认为光能是断续地呈微粒状态被发射和吸收的，这种微粒称量子，不同形式的光量子的能量不等，量子的能量与光的波长呈反比。一九〇五年爱因斯坦在一些人做的光电效应实验的基础上，提示了“光的粒子性”假说，即光子假说，或简称光子说。爱因斯坦根据实验结果认为：光不仅象普朗克提示的：在发射或吸收时具有粒子性，而

且光在空间传播时也具有粒子性，即光是一粒一粒以光速运动的粒子流。这些光粒子称为光量子，简称光子。这时对光的粒子性的理解已远不是牛顿时代所理解的那种弹性式的微粒子。爱因斯坦指出：“光——同时又是波，又是微粒，是连续的，同时又是不连续的。”

在一八九九年列别捷夫通过实验证明，阳光同任何其它物质一样，对地球表面有一定的压力，其后曾准确地计算出数值为0.474 毫克/平方米，这再一次证明光为一种运动着的物质。

一九二六年由于量子力学的创立和发展进一步将光的波动说和量子说统一起来。根据量子力学的原理，任何原子质点（包括光子在内）都有一个与它的质量（ $m$ ），速度（ $u$ ）相适应的波长（ $\lambda$ ）即一束质点在适当的条件下，可以表现出波动的性质。此后人们把光的波动的粒子相互并存的性质，称为光的“波——粒二象性”，简称光的二象性。现代的研究还证明：以光的形式存在的物质可以转化为另一些形式的物质，例如：在一定条件下光子可转化为电子和正电子，反之，正电子和电子也可产生光子。

各种辐射能即电磁波（包括光在内）在真空中的传播速度均为每秒 3000,000 公里（ $299,776 \pm 0.4$  公里）。光在不同的介质中的传播速度不同，如在玻璃中是每秒 200,00 公里，在水中是每秒 225,000 公里。

电磁振荡的频率，波长及传播速度的关系如下：

$$\text{频率} \times \text{波长} = \text{传播速度}$$

由于各种辐射在真空中的传播速度相等，故电磁振荡的频率和波长成反比关系，即频率愈高，波长愈短，反之频率降低，则波长增大。

各种光子所含能量的大小用下述公式表示：

$$E = h \cdot \nu$$

$E$ 代表每个光量子的能量，单位为尔格或电子伏特。

$h$ 是普朗克 (Planck) 常数，等于  $6.62 \cdot 10^{-27}$  尔格/秒，或  $4.13 \cdot 10^{-15}$  电子伏特/秒。

$\nu$ 代表光的振荡频率

由以上公式可以看出：每种辐射的量子能量数值 ( $h \cdot \nu$ ) 大小与该种辐射的振荡频率成正比，即频率愈高，量子的能量愈大；换言之，与波长成反比，因为：

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$c$ 代表光速，即每秒 300,000 公里。

$\lambda$ 代表波长。

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

波长为  $1.5 \mu$  的红外线的每个量子具有的能量为：

$$\begin{aligned} E &= 6.62 \times 10^{-27} \text{ 尔格/秒} \times \frac{3 \times 10^{10} \text{ 厘米/秒}}{1.5 \times 10^{-4} \text{ 厘米}} \\ &= 1.34 \times 10^{-12} \text{ 尔格} \end{aligned}$$

波长为  $500 m\mu$  的可见光线的每个量子具有的能量为：

$$\begin{aligned} E &= 6.62 \times 10^{-27} \text{ 尔格/秒} \times \frac{3 \times 10^{10} \text{ 厘米/秒}}{2.9 \times 10^{-5} \text{ 厘米}} \\ &= 6.85 \times 10^{-12} \text{ 尔格} \end{aligned}$$

由以上举例可以看出：光线的波长愈短，光量子的能量愈大。由于不同波长的光线的光量子能量不同，故其生物学作用也不同。

## 二、光谱：

320m $\mu$  480m $\mu$

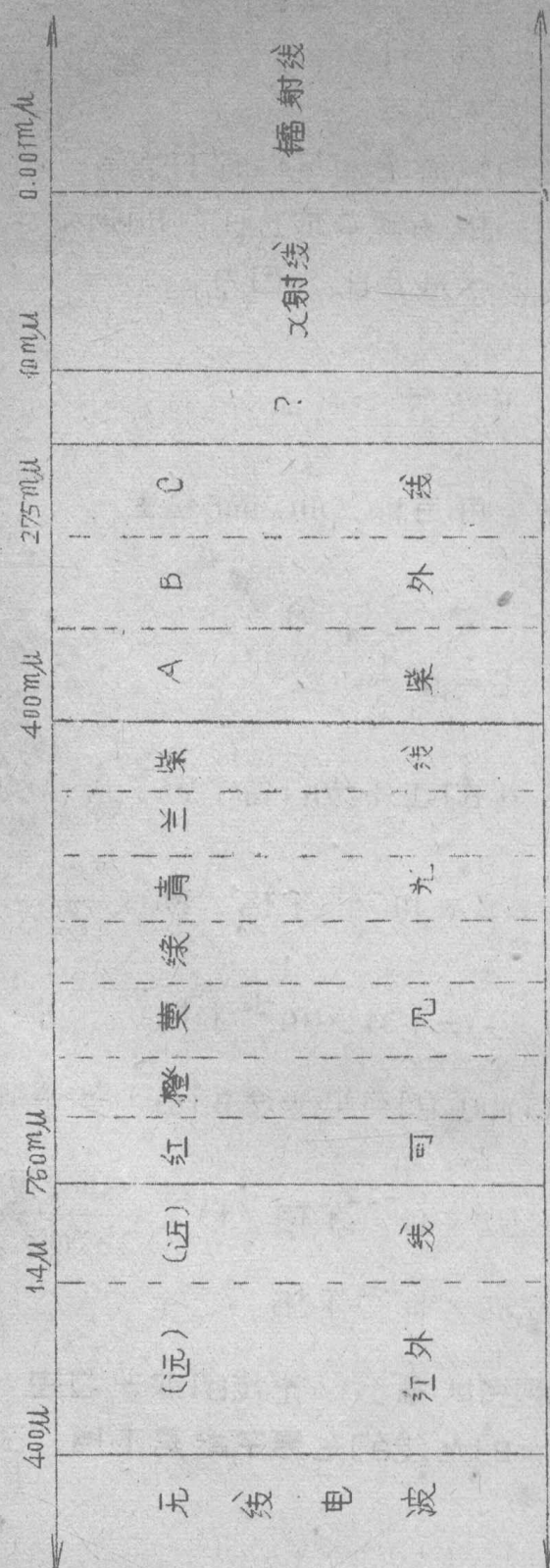
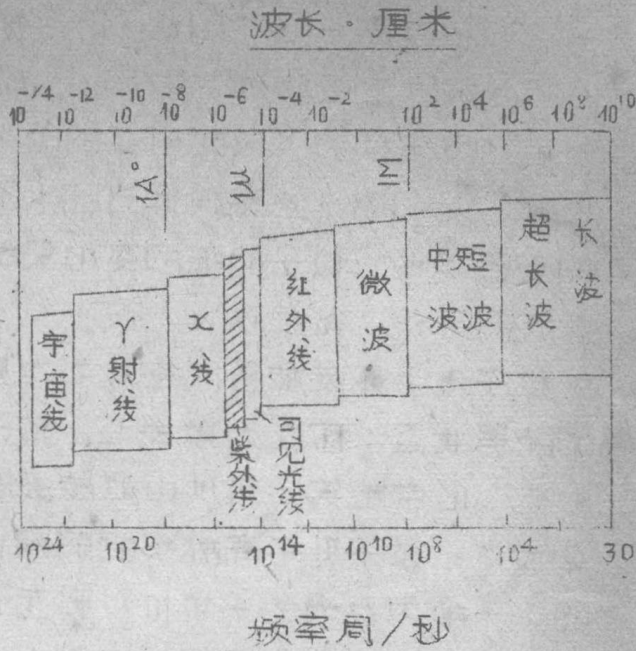


图1 电磁光谱示意图

光谱是电磁谱的一小部份。光谱包括可见光和不可见光两部分。可见光包括红外线和紫外线。



### 电磁光谱

图 2 电磁示意图

注：光的波长单位以毫微米 (mμ) 或埃 (Å) 表示：

$$1 \text{ 厘米} = 10 \text{ 毫米 (mm)}$$

$$1 \text{ 毫米} = 1000 \text{ 微米 (μ 或 μm)}$$

$$1 \text{ 微米} = 1000 \text{ 毫微米 (mμ 或 nm)}$$

$$1 \text{ 毫微米} = 10 \text{ 埃 (Å)}$$

近些年，国际上已渐将微米写法由 μ 改 mμ，将毫米的写法由 mm 改为 nμ。

### 三、光的发生

发光的实质是能量转换的一种形式和结果，它的基本原理如下：

物质中的原子、分子或离子（统称粒子）一般都处于不同的能量状态中。粒子的能量状态在物理学中称为“能级”粒子可能具有的能量状态分布不是连续的，因此对应的能级也是分立的。对于不同能量的能级，人们用一些高低排列的水平线表示，叫能级图。由于能级的不连续性，粒子能级的变化只能采取跳跃的形式，从一个能级跳跃到另一个能级称为“跃迁”。在通常情况下，组成物质的大多数粒子处于最低能量状态称之为基态，只有少数的粒子处于较高的能量状态，称之为激发态。粒子吸收了外界的能量，如热能、电能、化学能等，可以由低能级跃迁到高能级，这一过程称为“激发”。粒子处于高能级的时间，称为能级的寿命，它是非常短的，一般为亿分之一（ $10^{-8}$ ）秒左右。由于粒子内部结构的特殊性，有些能级的寿命很长，达到十分之几秒甚至更长，称为亚稳态能级（亚稳态能级的存在，提供了形成激光的重要条件）。处于较高能级上的粒子，即处于激发态的粒子极不稳定，会自发地跃迁到较低能级上，如图（ ）所示，由  $E_b$  跃迁到  $E_a$ （能级  $b$  的能量大于能级  $a$ ，即  $E_b > E_a$ ），并辐射出能量为  $E_{\text{光子}}$  的光子，这个过程称之为自发辐射。在量子理论中，光子的能量  $E_{\text{光子}}$  和它的频率  $\nu$  的关系为： $E_{\text{光子}} = h\nu$ ，其中  $h$  是普朗克常数，因此  $E_{\text{光子}} = E_b - E_a = h\nu$ 。除激光外，所有光源的光辐射基本上都属于这种自发辐射。

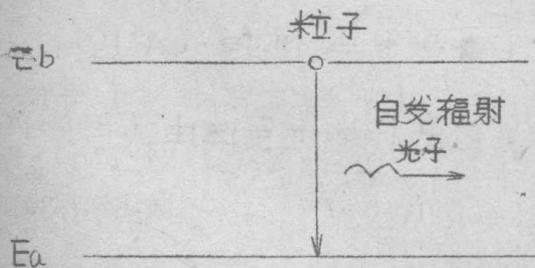


图 3. 自发辐射

当外界的一定的能量作用于物质分子时，概言之，可使分子的运动加强，即整个分子的自旋运动或振动，其所含的原子核及电子的自旋运动可得到加强，这时相对地使该物质的分子跃迁到较高的能级水平，处于激发态，过极短的时间后，它仍要跃迁到低能级水平，同时以光子的形式放散出多余的能量。由于其能量不大，所以光的频率低，波长、长，这种光线即红外线。

可见光和紫外线的发生则需要更大的能量，作用于原子，其机理如下：

原子的基本结构是由带正电的核及沿着一定的轨道绕核转动的带负电的电子构成。电子与核内带正电的质子在一般状态下是相等的。原子的原子量越大核内质子越多，核周围的电子越多。不同原子的核周围的电子数也不相同，不同数目的电子按规律分布在距核不同远近的轨道上移动，形成电子层。离核最近的一层称K层，往外依次称为L，M，N，O，P，Q层，共7层。按顺序分为 $n=1$ — $n=7$ 层。每层容纳的电子数有一定限度，原子核与电子之间存在着吸引力，电子离核越近，势能越小离核越远，势能越大。当外界的能量作用核原子时，其外围的电子可吸收能量，从而上升到离核较远的高能层上去，此即表明该原子处于激发态，即该原子处于较高的能级，但这种状态极不稳定，随后电子便又回到较低的能层，并放出多余的能量，发生以电磁波形式运动着光子——发光。电子从高能层回到低能层时，经过的能层多，放出的能量大，发出光的波长较短，可形成紫外线，反之，放出的能量小，则形成可见光。

#### 四、光的传播

光在传播过程中，除了在不同媒质中发生速度的变化（已知前述）外，还可有一系列规律性的变化，述如下：

（一）光的反射：当光线照射到二种媒质的界面上时，一部分从界面上在原来的媒质里反向传播，称为光的反射，

光的反射定律即入射线，反射线和法线在同一平面上，入射

角和反射角分别在法线的两侧，入射角等于反射角（图 4）。光能反射多少，由媒质的性质和入射角的大小决定，例如：光经空气垂直照射到玻璃面，反射的光能约为 5%，光经空气垂直照射到水面，反射的光能约为 2.2%。当入射角增大时，反射光的能量也增大。

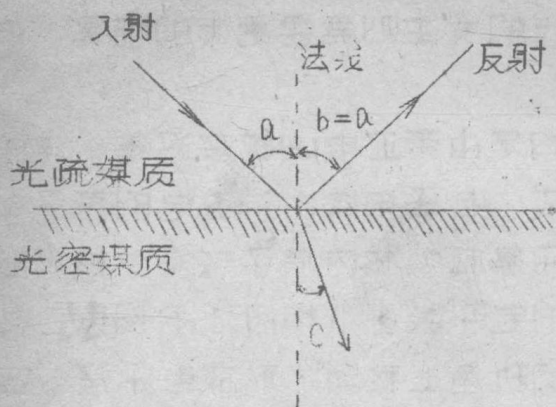


图 4 光的反射与折射

(二)光的折射：当光线从一种媒质射入另一种媒质时，其传播方向发生改变的现象，称为折射。

光的折射定律即入射线，折射线都在同一平面上，入射线和折射线分位于法线的二侧，入射角的正弦和折射角的正弦的比，对一定的两种媒质是一个常数，两媒质间的常数称折射率。光在各媒质中的折射率是不同的。两种媒质的绝对折射率相比，较小者称为光疏媒质，较大者称为光密媒质，如空气的绝对折射率近于 1，水的绝对折射率为 1.33。光线由光疏媒质进入光密媒质时向着由入射点所作的媒质交界面的法线偏折（图 4），按牛顿的解释，这是因为光密媒质的质点对光微粒的吸引力的缘故，反之，当光由光密媒质进入光疏媒质时，则离着法线偏折。折射角度的大小还与光的波长有关，波长越短折射角越大。

(三)光的照度定律：物体的单位面积上所得到的光能量，称为照度。光的照度随光流与被照物体表面的距离及投射角度的变

化而改变。

照度的平方比定律即当光源是一点时，垂直照射于物体表面上的照度，与光源距离的平方成反比（不采用反射罩）。

例如：有点状光源  $L$ ，当距离  $d_1$  时，照射的面积是  $ABCD$ ；当距离增大二倍（ $d_2$ ）时，照射面积是  $A_1B_1C_1D_1$ ，即照射面积扩大 4 倍，而照射强度也相应地减弱 4 倍；当距离增大 3 倍（ $d_3$ ）时，照射的面积是  $A_2B_2C_2D_2$ ，即照射面积扩大 9 倍，而照射强度也相应地减弱 9 倍，因此制定公式如下：

$$I \propto \frac{1}{d^2}$$

$I$  —— 照射面上的照度， $d$  —— 照射面与光源的距离。

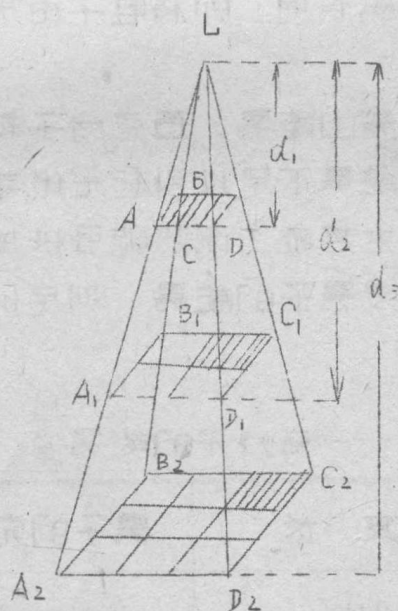


图 5. 平方反比定律示意图

在光疗中所用的光源多不是点状光源，且带反射罩，距离也不很远，因此不完全符合这一定律。

照度的余弦定律即在不平行光线照射下，被照表面的照度与光

线入射角的余弦成正比，因此照度的大小与光线的入射角有关，详见紫外线部分。

## 五、物质对光的吸收

能是物质运动的度量。各种物质对光能的吸收和蓄积必然伴随其运动形式的某种变化。当吸收长波红外线的能量时，可使固体分子的运动速度加快，可使气体分子无秩序的运动加快。当吸收短波红外线的能量时，可使原子在分子内的各个水平位置上摆动，其所需的能量，每克分子物质为 1—40 千卡。当吸收可见光线的能量时，可使电子位移，其所需之能量，每克分子物质为 35—71 千卡。当紫外线照射时，每个分子物质可吸收 71 至数百千卡的能量，此时典型的反应是电子由内层轨道跃迁到外层轨道，则原子或分子处于激发状态，此外也可产生电离效应。X 射线和 γ 射线有最显著的电离作用，即将电子由原子或分子的外层轨道中击出。

大多数光化学反应所需的能量，每克分子物质为 20—100 千卡。长波红外线量子的能量不足以引起光化学反应，但当它引起分子运动加快时，可产生热能，而热能可以加速化学和生物化学反应。可见光线和紫外线量子的能量，则足以直接引起光化学反应。

辐射量子的——克分子的能

表 1

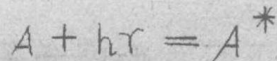
| 射线种类及波长                  | 量子的克分子能(千卡) |
|--------------------------|-------------|
| 红外线(短波部分) 0.9 $\mu$      | 28.42       |
| 可见光线(黄、绿下门) 571.3m $\mu$ | 49.72       |
| 紫外线                      |             |
| A 段 350.7m $\mu$         | 80.00       |
| B 段 294.0m $\mu$         | 96.63       |
| C 段 253.1m $\mu$         | 112.25      |
| 180.1m $\mu$             | 157.73      |

## 六. 光电效应

紫外线及可见光线(短波部分)照射可引起光电效应:产生光电效应的基本条件是每个光子的能量必须足以将电子由原子或分子的外围轨道上击出。例如:不论红外线的照射强度多大,因其光子的能量小,均不能引起光电效应。实验已经证明:紫外线及可见光线照射人体,动植物、一定的化学物质、金属等时均可产生光电效应。在紫外线的生物学作用中光电效应有显著作用。

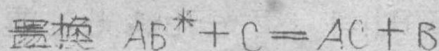
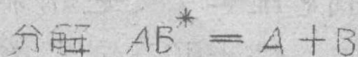
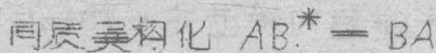
## 七. 光化学效应

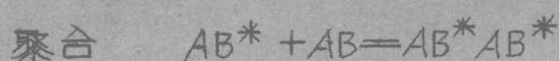
当进行光化学反应时,原发的物理过程是吸收光子,从而使原子处于激发状态,



符号\*表示原子的激发状态,  $h\nu$  决定被原子A所吸收的光子。

处于激发态的原子的进一步反应是继发的过程,可表现为各种形式。若激发态原子属于分子系统,则处于激发态的分子。在这种条件下,继发反应不仅由激发态原子的反应决定,而且也由在分子内所发生的变化决定,激发态分子的最重要的光化学反应可有以下几种类型:

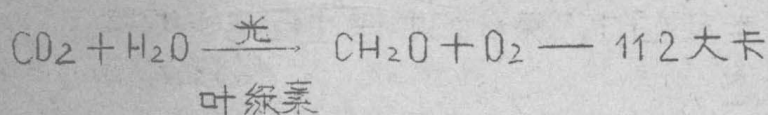




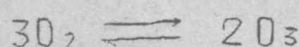
平时常见的光化学效应举例：

光分解效应即在光的作用下化学键断裂，造成物质分解的结果。例如光线作用于人的视网膜杆状细胞内的视紫红质，促使视紫红质分解为视蛋白和反视黄醛，在其分解过程中使杆状细胞除极化，产生视觉冲动，延视神经传至中枢，从而引起视觉。

光合作用即植物在光的作用下将自然界的无机物变为植物本身的有机物同时放出氧。例如：绿色植物通过叶绿素吸收光能后，使  $CO_2$  和水同化而产生碳水化合物，在此过程中  $CO_2$  被还原，水分子被氧化，同时释能 112 大卡/克分子，这能量来源于光。



光聚合作用即元素成分不变，但以分子量成倍增加的形式构成反应物，例如：紫外线照射时可将空气中的氧聚合为臭氧。



光化学效应是光的生物学作用的重要基础和反应性反应的一个重要环节。对于某些光化学反应的机理尚待做进一步研究。

## 八、荧光和磷光

某些物质吸收了波长较短的光能后可发出波长较长的光能（即继发的光能量低于电子照射的光能量）荧光即外界光线停止照射时，该物所发的光也随之消失，磷光即外界光线停止照射时，该物质所发的光还持续一定时间。荧光和磷光主要是由于短波光线，如紫光，紫外线、X线等照射引起的。

荧光现象已得到广泛的医用，例如：利用X线照射硫化钡荧光板所发出的荧光做透视，荧光显微镜即利用波长为 365 mμ 的紫外线照射组织、染色的细菌，抗体等，可发出不同颜色

光具有一定的特异性从而用于区别活组织与坏死组织，新生组织与陈旧组织，正常组织与癌组织。

### 九、在丝状分裂期发生的射线

在生命活动过程中除在组织细胞内伴随有热和生物电的产生和变化外，同时产生射线，正在增殖的细胞，活动时的肌肉，兴奋时的神经均有辐射发生。这种辐射的光线是波长  $290 - 480 \text{ m}\mu$  的紫外线，称为丝状分裂期发生的射线，它的强度极小，每秒钟一平方厘米，约  $8 \times 10^{-9}$  尔格。这种射线是在体内氧化蛋白分解的糖酵解过程中发生的，因此认为这是在分解过程中所释放的能量的一种表现形式。

光的作用机理与丝状分裂期发生的射线有密切的关系。在紫外线作用下体内产生一系列生化学的变化，同时伴有丝状分裂期发生的辐射，实验发现：在紫外线的<sup>射线</sup>皮肤的内部出现丝状分裂期发生的辐射，因此，在外界光能作用下被吸收的部分光能可以成为体内继发性辐射的泉源，这种辐射又可影响到邻近的组织，较深层组织，以及由于血流而影响到远离部位的组织。进一步研究发现：血浆、尿及其它生物体液均可发出超弱的自生微光，其水平与机体各系统的功能状态有关。

## 第二节 红外线疗法

### (一) 红外线的物理性质

在光谱中波长自  $0.76$  至  $400 \mu$  的一段称为红外线（参见附注）。红外线是不可见光线。所有高于绝对零度（ $-273^\circ\text{C}$ ）的物体都可产生红外线，现代物理学称之热射线。

附注：关于红外线波段的划分各种理疗书籍的描述多不一致，举例如下：

| 红外线波段范围                          | 书 名          | 作 者           |
|----------------------------------|--------------|---------------|
| $760\text{ m}/\mu - 400\mu$      | 实 用 理 疗 学    | 广州部队总医院主编     |
| $760\text{ m}/\mu - 400\mu$      | 理疗学(第四分册)    | 陈 达 光         |
| $760\text{ m}/\mu - 420\mu$      | 物理疗法(第三分册,光) | Парфенов      |
| $760\text{ m}/\mu - 343\mu$      | 理 疗 学 基 础    | Варухин В. В. |
| $698\text{ m}/\mu - 300\mu$      | 光 疗          | Шиманко       |
| $700\text{ m}/\mu - 800\mu$      | 理 疗 手 册      | Обросов       |
| $760\text{ m}/\mu - 50\mu$       | 电 疗 与 光 疗    | 小汤山疗养院        |
| $770\text{ m}/\mu - 15\mu$       | 电 疗 与 光 疗    | Kovács        |
| $760\text{ m}/\mu - 1\text{ mm}$ | 物理疗法的实际      | 高 桥 日 光 正     |

红外线光谱可分为两部分：

近红外线或称短波红外线，波长  $0.76 - 1.5\mu$ ，穿入人体组织较深。

远红外线或称长波红外线，波长  $1.5 - 400\mu$ ，多被表层皮肤吸收。

在红外线光谱中只有近红外线具有明显的光电作用和光化学作用；远红外线即红外线光谱中的绝大部分照射物体时，只能引起分子或分子中的原子振动或摆动加强，即引起分子动能的改变，从而产生热。

水吸收红外线的性能很强，10 厘米的水层可完全阻止红外线透过，因而高温车间常用雾状喷水的方法，吸收大量的红外线以降温。在水中加入铜盐可更加强其吸收红外线的性能。