

浅谈非线性光学

谢 诒 成

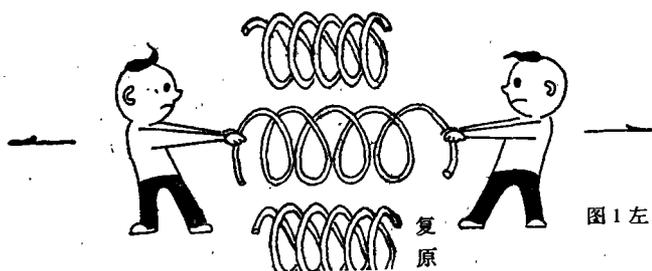


图1左

早期激光实验中有一些过程用当时的理论难以解释。例如，受激喇曼散射 (SRS)，由于这个效应改变原来光的频率而阻止激光的传输，还有一些现象影响了激光的产生。当初，人们为了找到避开这类问题的方法，感到必须弄清它们的机理，于是在现代光学中逐渐开辟出一个新的领域，即非线性光学，它研究在强光作用下物质的响应与场强呈现的非线性关系。

非线性光学过程已给人们提供了各种器件，它们可用于半导体激光器、光计算机、波导、图象处理、图象识别、集成光学等。许多非线性光学元件已用于光信号的开关和控制。非线性光学中的相共轭可使光在通过一定物质后产生的任意的畸变得以修复。用某些

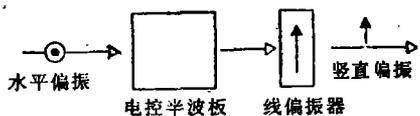
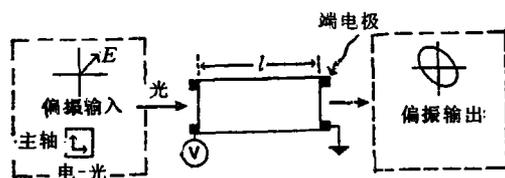
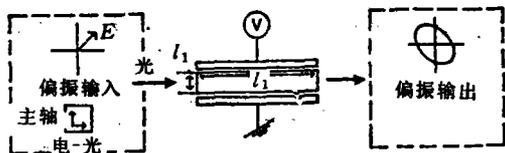


图2

激光器，人们还可通过喇曼下移或倍频得到不同颜色或频率，以便用于光谱学或使光束透过吸收原来频率的激光的某种物质。

在这个意义上可以说，非线性光学是一门材料科学。非线性光学材料就是光能够改变其物质的材料。只要入射光十分强，任何材料都是非线性的。因此，非线性光学又称为强光光学。

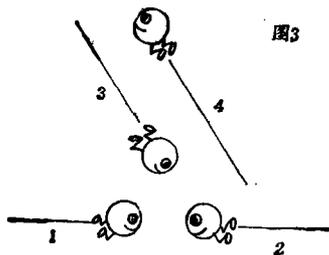


图3

作为一个实用的模型，可把介质中的电子看作简谐振子，即每个电子被“绑

在弹簧上。许多线性光学效应，如反射、折射和传输等，都可看作在弹簧的弹性限度内电子的振荡。而非线性效应发生在弹簧被拉伸到超过弹性限度，当光的强度很大时就会出现这种情况。

玻璃是相当好的线性元件，许多线性过程，如反射、折射和色散等都很容易测到。尽管玻璃也有一非线性系数，但其值极小，因此要引起任何非线性效应都要求极强的功率，譬如从激光器出来的大功率的光。另一方面，其它物质却很容易被光的电场矢量极化，当前人们对有机物质颇感兴趣，其原因之一就是它们的非线性系数很大。

什么是非线性系数呢？从麦克斯韦方程可以写出波方程，通常应用了 $D = \epsilon_0 E + P$ 。这里 D 是电位移矢量， E 是电场强度， P 是极化矢量。非线性效应可用 P 对 E 的幂级数展开来表示：

$$P = \chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 + \chi^{(3)}E^3 + \dots$$

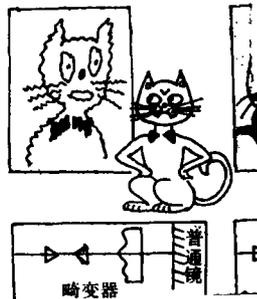
线性效应是第一项，它正比于 E ；第二级非线性效应正比于 E^2 ；第三级非线性效应为 E^3 项。每一级效应的大小由极化率 $\chi^{(n)}$ 决定。如果两个同样频率的光线通过一非线性介质，就会发射出频率为输入光二倍的光线，这叫二次谐波产生，这样生成的短波长的激光极其有用。

另一种二级效应叫泡克耳效应。让一定的直流电压加在一块钽酸锂上，就可改变通过其中的光的相位。在横向调制情况下，所加电压垂直于光的传播方向，则相的滞后正比于电压和电容器的长度，反比于电容器内物质的厚度。在纵向调制时，相的滞后只正比于电压而非线性物质长度无关(图2上和图2中)，因而人们可做一个电控的半波板当作电光的光开关(图2下)。

三级效应可产生四波混频。如图3所示，当三束光在非线性物质中相遇时，会产生第四个光束。什么原因呢？想像束1和束3有完全相同的频率，则它们将互相干涉，在物质中的某些地方，这两束光相长而给出亮纹，在另一些地方，它们相消而给出暗纹。光亮处的物质热，暗纹处的物质冷，热区的物质膨胀因而比冷区折射率低，对束2来说，这样的物质就好像是光栅，于是便发生散射。可以证明，光栅的一级衍射就是沿束4的方向。

无论如何选择束3的方向，束4总是与其入射方向相反。而且，可以从各个不同方向射入许多束3，在物质中造成一个复杂的花样。这时，当再加上束2后，它将在每个方向的光栅上衍射并输出许多束4。其妙处在于如果用束3输入了一个复杂花样，则会使束4得到完全相同的花样，这正是全息术工作的道理。利用非线性物质来得到全息图，就不需要一个胶片来记录了，利用逆过程就得到一个真正的像。

另一种有趣的效应是自聚焦。如果一个高斯束被输入像



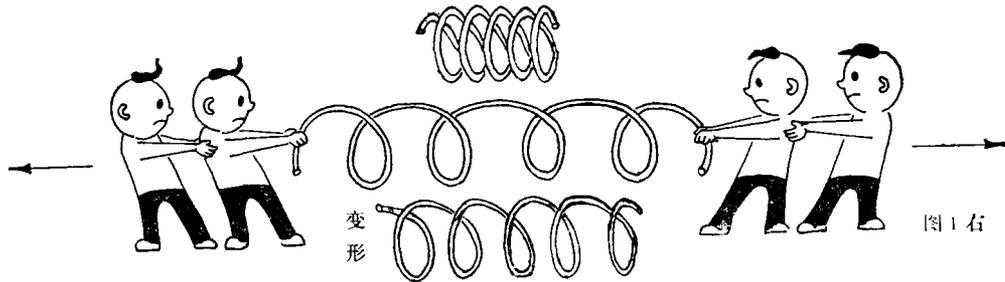


图1右

CS₂ 一类的物质, 光束强度较大的中心将比光束的边缘更容易使分子取向, 则光束中心处的物质折射率就更大. 于是, 物质对于光束就成了凸透镜, 使其聚焦. 而且, 自聚焦与束的粗细无关. 假设原来有一束如一角银币大小的高斯束, 那末只要有足够长的物质, 就可使其收缩到只有几微米细, 而强度非常之大. 自聚焦现象在一般情况下是被当作要

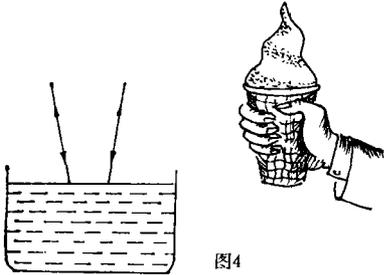


图4

躲开的麻烦, 而有人却可能会发现它对传感器保护很有用.

在另一种三级效应中, 光的自发的与受激的喇曼散射, 我们遇到的是非弹性散射. 在弹性散射中, 自原子或分子吸收与发射的光具有同样的频率. 但在喇曼散射中, 光波引起分子或原子的内部激发, 这可能是转动、振动或电子激发. 激发需要能量, 因而光波必须把一些能量给分子, 剩余的能量就成为波长更长些的散射波.

在足够高的光强照射下便出现受激喇曼散射. 物质被激发了, 继而发生的是原来的激光和散射光的干涉, 来共振地驱动分子, 因此分子的响应很大, 从而得到了很强的散射光效应. 散射光越强, 其强度增长越快, 实际上, 是指数式地上升. 这样, 我们就得到了从原始激光把能量直接转换到更长波长的散射光; 这种光波叫斯托克斯波.

受激布里渊散射 (SBS), 是光被物质中的声波散射出来的, 也是一种三级效应. 声波是密度的变化, 在物质中它以声速传播. 这种密度变化导致了物质中折射率的变化, 因此, 它们能散射光, 其方式类似于晶面上的布喇格散射.

苏联的谢尔多维奇首先用 SBS 产生了相共轭的光. 他取一束光, 并使其聚焦在液体中, 让它在液体内的声波上反射出来. 当一激光束聚焦到液体中时, 谢尔多维奇发现光恰从入射的方向上反射回来, 聚焦束好像在液体中收敛的光锥. 入射光锥的顶点不必定要在物质的入射面上. 就象一个被咬掉了底部的蛋卷冰淇淋, 想象把它直立地贴向液箱的入射面, 这就描绘出光似乎进入与返回的路径 (图 4), 因为液体是一个相共轭器. 另一方面, 如果在照射面处正好放一面普通镜子, 那么反射光必定仍然聚焦成一点, 然后又发散. 接着, 谢尔多维奇让激光透过一个目标的幻灯片, 然后通过一个畸变器. 畸变器好象

一块半透明的塑料浴罩, 透过它看物体就不太清楚. 它被安放在液箱正前方, 当目标的象通过时, 图象变得弥漫了, 然后送到液体中. 当光返回时, 它也返回到你跟前, 在返回中第二次通过相同的畸变器. 这时看到的不是更为畸变的图, 而是无畸变的图, 它出来时完全保持原样 (图 5).

光学双稳性是目前非常吸引人的又一种效应. 对于一个给定的输入范围, 可得到两个输出位. 当送入一束输入强度是 I_h 的光, 其输出将会是 0 位, 若再送一个脉冲来写下某个信号, 它就被存入, 从 0 到 1 (图 6 上).

光学双稳元件在光开关中很有用, 并可仿照电子逻辑门做成光的逻辑门. 在图 6 (下) 中, 确定了两个“维持”位: I_h (与) 及 I_h (或), 并分别确定了 0 位. 要打开 1 位, 输入强度必须大于开关的阈 I_s . 在“与”运算中, 需要两个同步的输入脉冲才能使 0 跳到 1, 或从 1 关到 0; 在“或”运算中, 只需要脉冲 1 或脉冲 2 中的任一个就可改变位.

今天, 非线性领域在光学中的普遍与重要性为整个世界所重视, 其发展是指数式的. 近年来, 对非线性行为的研究已进行到对混沌的新的理解. 光学混沌的研究已贯彻到光双稳元件、多模激光器、通过相共轭多波混频、四波混频和光折射现象等等的大量工作中. 可以说, 几乎任一种非线性光学过程在某些情况下都可导致混沌行为.

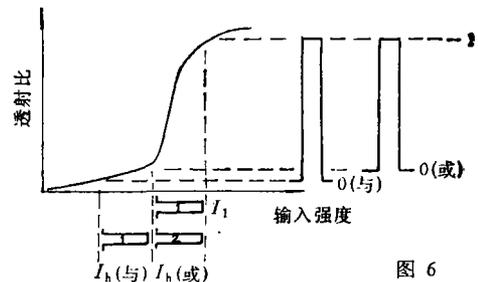
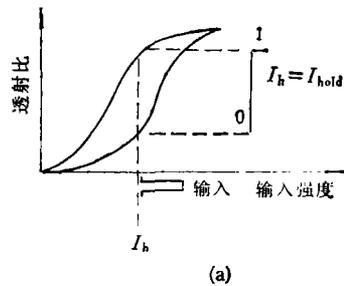


图 6

