

肥皂泡变激光

(北京大学 王树峰 编译自 Katherine Wright. *Physics*, January 5, 2024)

用肥皂泡可以制作激光器，实现高灵敏的传感，来探测大气压力等环境参数的变化。

变换多彩的肥皂泡可以吸引孩子们好奇的目光，现在人们发现这些肥皂泡还有另一种令人“炫目”的用途——产生颜色可调的激光。研究表明，在肥皂溶液中混入某些染料并制造出气泡，光就可以在球型液体膜中循环、放大并产生激光。激光会环绕气泡形成一个亮环。这种“气泡激光器”可以用作精密传感，测量大气压力或电场的变化。

气泡的魅力很大程度上来自于它们与光的相互作用。当肥皂泡在空气中随风飞舞时，它们五彩斑斓，闪闪发光，并随着移动而变色。这种现象被称为虹彩，产生自肥皂泡液体膜表面的光波干涉。

研究还发现，激光可以在气泡膜内传播，并像闪电一样产生细丝样的分枝。数千根发光细丝中的每一根在传播中都得到保持。这些观察结果促使斯洛文尼亚约瑟夫·斯特凡研究所(Jozef Stefan Institute)和卢布尔雅那大学(University of Ljubljana)的 Matjaž Humar 和 Zala Koren-

njak 思索是否可以使用气泡来产生激光。由于目前基于多种材料的球壳已经被用作激光腔，所以 Humar 说：“我想知道气泡是否也可以通过类似的方式产生激光。”

为了验证这个想法，Humar 和 Korenjak 使用普通的肥皂液与荧光染料混合做了一个气泡器件，它被固定在毛细管的末端并用脉冲激光照射。然后，他们增加脉冲激光的强度，并监测气泡发出的光谱。

在低照射强度下，两人仅观察到荧光，即发射出具有宽波长范围的光。增加脉冲激光的强度后，Humar 和 Korenjak 观察到气泡上有一圈明亮的光。当超过阈值时，他们检测到气泡发射光谱中产生了尖锐的峰，它与照射激光的强度相关。

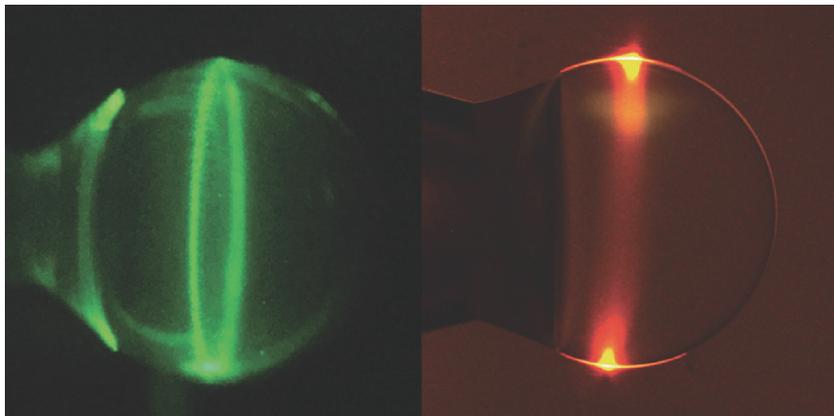
激光器包含三个基本组成部分：能量源、光学谐振腔和增益介质。Humar 说，脉冲激光提供能量，是能量源，气泡的球状膜充当谐振腔，染料则是增益介质。气泡膜内的荧光沿着膜循环传播，当路径长

度满足特定波长的光在循环中可发生重叠时，这些波长的光就会增强，从而产生激光。

Humar 指出，虽然这些实验证明这个想法可行，但肥皂泡激光器并不实用。“水不断从气泡中蒸发，改变了它们的形状、大小以及它们发出的光谱，”为了获得更稳定的激光器，他和 Korenjak 转向近晶型液晶的气泡，原则上这种气泡可以“无限期地存在而没有任何变化”。

他们表明可以通过向气泡中添加空气、改变电场或周围大气压力等外部参数来调节液晶气泡激光器发出的光的波长。所有这些因素都会影响气泡的半径，从而决定发射激光的波长。原理性验证的测量表明，可以检测到小至 0.35 V/mm 的电场和 0.024 Pa 的压力变化。与某些现有传感器相比，其灵敏度相当或甚至更好。对于压力变化，气泡具有显著的宽范围的敏感性。

法国巴黎高科-巴黎高等理工化工学校(ESPCI ParisTech)的液晶研究员 Teresa Lopez-Leon 表示：“气泡的大小及其发射光谱可以通过气泡的膨胀和收缩来动态改变，从而提供前所未有的可调性。” Lopez-Leon 指出，以前是使用近晶型液晶的液滴而不是气泡实现激光发射，气泡非常薄的外壳赋予了它们独特的机械和光学特性。他还提醒人们注意 Humar 和 Korenjak 制造液晶气泡激光器非常轻松，且“它们是令人着迷的研究和应用体系”。



给泡泡戴上戒指：肥皂泡(左)和液晶泡(右)上出现激光发射环