

生物系统中受激的相干电磁辐射

李 克 学

(中国科学院物理研究所)

提要: 最近 B. Ruth 用最精密的物理仪器重新研究了生物细胞的超弱光子发射现象,被认为是一种相干的受激过程,引起一些科学家们的热烈讨论。本文从物理学角度分析了生物细胞产生相干受激发射的条件与可能性,并认为这是一个值得重视的发展。

Coherent electromagnetic radiations in biological systems

Li Kerue

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: Resently B. Ruth investigated ultraweak photon emission from biological cells with a precision instrument. It was identified as a type of coherently stimulated photon emission. It attracts attentions of many scientists. The present paper will discuss the possibility and conditions of the emergence of stimulated photon emission from the physical viewpoint, and condisers it as a new interesting development of the exploration for the secrets of the biological systems.

一、引 言

由于现代技术的发展,生物物理学触及到了一个十分重要的领域——相干电磁场在生物系统中的作用^[1]。

最近 Popp^[2] 通过对 Ruth^[3] 生物细胞超弱光子发射一系列测量数据的分析,认为生物细胞具有发射相干性电磁辐射的本领。如果这个判断是正确的,那么它将会为生物学家在探讨生命本质方面提供一新的观念。

本文的目的在于从物理学的角度分析生物分子产生相干电磁辐射的可能性,并提请生物学家们注意有关的发展动向。尽管直接

论述这个刚刚开始领域的文献不多,但本文所引用的仍然只涉及其中很小的一部份,与该问题有关的文献请参阅[1]。

二、受激发射是原子分子的基本性质

原子分子的能级结构是人们所熟知的,它告诉我们:在微观世界中物质相互交换能量的方式只能是量子式的。原子或分子仅从照射它的连续谱中挑选出适合它本身能级间隔的那些辐射线加以吸收,而发射谱原则上同吸收谱一样,即共振吸收与发射。同样在

收稿日期:1981年3月30日。

热激发(碰撞激发)过程中,它们也只能从连续能量的碰撞中挑选出那些与其能级间隔相等的动能加以吸收,而发射出的则是能量相当的电磁波。在热力学平衡条件下,能级布居数遵从玻耳兹曼分布的规律性。能级上的自发辐射,感应辐射与感应激发的数目相互抵消处于同温度的热力学平衡状态。在这种情况下较高能级上的布居数永远小于较低能级上的布居数。但是原子或分子的各个能级寿命不同,它们在与外界进行能量交换过程中作为一个开放系统,很少可能处于理想的热力学平衡状态。各能级间的布居数无法用同一温度描述,在个别能级之间可能产生布居数的反转分布,或称做负温度分布。具有负温度分布的系统受到外来的光子,或者由其自身事先自发放出的光子扰动而产生瀑布般的放射现象,就是我们所说的受激发射现象。

上面所描述的受激发射过程所要求的条件在自然界中是存在的,比如在火焰中由于存在温度梯度而造成能级反转分布,在风洞喷口实验中由于温度梯度的存在,建立了气体动力激光,利用化学反应过程中产生的负温度,建立了化学激光器,此外在天体中人们也发现了多种受激发射现象^[4]。

在生物系统中最重要的能源是新陈代谢过程中的生化能,这种能量直接或间接地激发生物分子产生能级反转分布。生物分子能级反转分布一方面是由原子分子的基本性质所决定的,同时它又反映了生物系统的开放性。生物学家们在荧光实验中已经发现^[5] DNA 分子的碱基由于堆垒相互作用能够形成只存在于激发态上的物质,它们在基态上分解成为单体。这种现象已由二核苷酸荧光谱相对于单体荧光谱产生一无结构的红移而得到证实^[6]。并被确认为碱基 α 与 γ 在激发态上形成 Exciplex XpY 或者 Excimer XpX 。我们知道,从能级反转分布的观点来看,此类物质是产生化学激光的理想物质。

看来,对具有能级反转分布的生物发光现象进行深入研究是十分必要的。

三、开放性系统的激发

在统计力学中可以证明^[7],封闭系统中在热平衡条件下温度不可取负值。但是这个证明的前提在我们所讨论的受激发射系统和生物系统中都是不成立的。为了在系统中造成负温度的分布状态,只有向该系统输送能量,即所谓激发。由于系统本身能够以某种形式释放能量,因此只有当输入的能量除维持系统负温度分布所需之外还必须补偿释放的消耗,才可使系统处于稳定的负温度状态。

四、生物系统产生受激发射的可能性

虽然我们人类首先是在实验室中发现了激光的存在,然而在生物体中,就象在自然界其它领域一样(如在天体中),具备产生受激相干发射的必要条件。人们在太空中已发现了相当多的证据确凿的非人工相干光辐射线^[4]。

前面已经指出,即然受激发射现象是原子分子的基本性质,那么这种基本性质被带到生物大分子、生物系统中来就是不可避免的。生物分子能级的反转分布自然应该是处于不停的新陈代谢中的生物系统开放性的一个结果。从微观的角度来看生物系统中常见的能量转移过程是属于某种激发过程。生物体内的各种激发现象应是极其丰富的,受激发射的条件是具备的。从现代观点去探讨生物体中各种非光致发光现象将是有启发性的。

从激光的实验物理角度来看生物系统的受激发射最费解的问题,将是所谓激光腔的形成问题。

最简单的办法是用两块平面镜造成

Fabry-Perot 谐振腔。放在腔中的物质由于激发源的泵作用使发光原子能级产生反转分布,最初产生的自发光子在 Fabry-Perot 腔中受到选择,那些在腔中寿命最长的光子最有可能受到放大,对反转的原子能级起瀑布性的感应发射作用。未被选用的短寿命光子,迅速离开激光腔不再起作用。受激发射的光子的方向、偏振、位相及频率与激发光子的完全相同,形成稳定的相干光输出。

如何想象在伸缩性卷曲性都很大的生物分子或生物体内,可以满足实验室中那种精密光学所要求的苛刻条件呢?我们相信,这种费解问题同我们缺乏生物体内其它方面的知识有关,其中包括对生物体内受激发射光的物理特性不了解。在这些方面需要大量的实验工作。例如我们还了解生物膜在各个不同波长范围的光学性质,不了解生物系统是如何储存各种不同波长的光子的。

另一方面实验室受激发射所带来的一些特性不一定是生物体中所必要的,如激光的单向性是平面镜系统捕捉光子的结果。这是为了提高 Q 值,降低损耗所采取的一种措施。生物系统很可能是一种自然的高 Q 值腔,据 Popp 估计,一般分子的单重态衰变时间为 10^{-9} 秒,其振荡腔 Q 值大约为 10^6 ,这是微波存储器在技术上已实现的值。而在生物体内衰变时间大约为小时的量级,因此其 Q 值大于 10^{18} [8],在此情况下要求单向性是无意义的。将实验室中的成腔问题同生物系统的成腔进行对比,只能说实验室中为了实现受激发射而做的一切努力,特别是在光学技术和工艺上的努力对生物系统来讲都是不必要的。因此前面所说的费解问题也自然并不存在。

Popp 在他一系列著作中对成腔问题做过许多讨论,甚至认为 DNA 分子本身就是一个小小的激光腔,这个分子的碱基对三重态与单态的反转分布构成了激光物质。这种可能性还需更进一步的证实。

我们认为不对生物分子的成腔问题过于实验室化,而且在实验室中解决成腔问题使用平面镜系统也并不是唯一的方法。比如有序结构(如晶格)的 Bragg 散射方法等都可代替平面镜系统解决成腔问题,而超辐射现象的存在对我们理解这个疑难是有启发性的。特别值得研究的是生物膜的光学性质,它很可能是生物系统成腔问题的关键所在。细胞质的折射率比石英要大,对光子储存是有利的,已发现光受体细胞具有良好光导性。而细胞膜具有多种光学性能,例如选择性反射、折射、透射、偏振、变白。甚至由于膜的相变会产生光学开关现象。关于生物膜光学性能的研究是一个重要的领域。

五、实验方面的情况

生物系统产生相干受激辐射的问题最终将取决于实验的验证。目前在这方面的进展是令人鼓舞的。为了说明目前的情况,首先回忆一下历史上有关的发现。

在 1920 年 A. G. Gurwitsch^[9]发现在细胞分裂时发射出一种对分裂有影响的很弱的紫外光,后来包括 D. Gabor^[10]在内的一些科学家证实了这一发现,但也引起很多争论。因为当时的光子探测工具不够灵敏,所以这些发现未被最后承认。直到引入光电倍增管之后,在 1955 年围绕 E. Colli 的一个意大利物理学家小组又重新研究起早已被遗忘了的这种所谓 mitogenetic radiation。

苏联一些生物物理学家们从 1960 年又从新开始研究他们所谓的“超弱发光”现象,涉及范围极广,包括各种不同的动植物细胞。见[1]中表 1 所列文献。

1974 年 Popp 工作组中的一位年轻的物理学家 B. Ruth^[11]建立了一套精密测量设备,用以验证《超弱光子发射》。该设备的测试下限是迄今为止最低的,每秒钟每平方厘米平均有两个光子即可给出信号,其强度低

于日光的 10^{18} 倍。他们的以及其它工作组到目前所得的结果可概括为:

1. 除极少数低等生物细胞之外,在所有测试过的动、植物细胞中都发现不同程度的弱光子发射现象。其强度从几个到上千个光子/(秒·厘米²)。谱分布在从红外到紫外区,至少可到 200 毫微米。

2. 所有物质的发射本领都会受到外界因素的干扰。比如由于化学物质引起细胞中毒,则其发射强度增高。这种现象可根据物质不同及其经历的历史不同而各异。比如干燥的孢子遇水后发射增强^[12],而新鲜的粮食萌芽则恰好相反。

3. 细胞死亡时(与其死亡原因无关)辐射开始增强,然后几乎与频率无关地下降,直至生命功能消失。其半衰期从几分钟到小时的量级不等^[13]。

4. 如果在所观察的谱区中用单色或白色的弱光照射细胞也可得到类似的与频率无关的非指数非线性衰变时间。依目前的观察情况来看,这种“光子存储”现象不可能像“延迟发光”那样只用染色体系统加以解释^[14]。

以上的结果表明超弱光子发射不是来源于偶然的化学发光。仅就它与温度的关系来看可知是某种与通常的物质交换过程相联系的事件,或者受一定的代谢过程控制,或者反过来调制某种代谢过程。超弱光子发射也不是通常理解的生物发光,尽管生物发光本身的机制还远未明了。仅就此现象的普遍性以及不间断的辐射,其强度又十分弱并受温度与化学物质的影响就无法同生物发光加以比较。相反,生物发光倒可能是由超弱光子发射所触发的过程。

近年来 Popp^[13] 领导的小组提出了生物系统的相干辐射理论。并对 DNA 作为受激发射的单元进行了模型分析。认为 DNA 本身具有超导体性质是一种能维持着高 Q 值的

谐振腔。DNA 中能级布居数的玻耳兹曼因子大约为

$$f(\nu) = \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right) \simeq 1$$

这是产生弱光子受激发射的原因。这里的依据是 Ruth 以及其它工作组的一系列实验。Popp 小组的工作在国际上受到一系列单位的重视。

在此对钱学森同志对本文的关心及所提的宝贵意见;生物物理所黄惠慈同志对本文所作的有益讨论;以及北师大方福康同志协助征求有关方面的意见,表示感谢。

参 考 文 献

- [1] F.A. Popp; *Laser+Elektro-Optik*, 1980, **12**, No. 3, 28.
- [2] F. A. Popp et al; *Electromagnetic Bio-Information*, p. 123, Urban & Schwarzenberg 1979.
- [3] B. Ruth; in 2, p. 107.
- [4] E. Bettwieser; *Umschau in W. U. T.*, 1978, **78**, 659.
- [5] J. Eisinger, R. G. Shulmann; *Science*, 1968, **161**, 1311.
- [6] J. P. Morgan, M. Daniels; *Photochemistry and Photobiology*, 1980, **31**, 207.
- [7] J. 朗道, E. M. 栗弗席兹著,《统计物理学》,人民教育出版社(1964), 42~46.
- [8] F. A. Popp; *Umschau in W. U. T.*, 1979, **79**, No. 235.
- [9] A. Gurwitsch et al., in "Arch. F. Entw. Mech." 1923, **100**, 11.
- [10] H. Koebner; *Laser+Elektro-Optik*, 1980, **12**, No. 2, 30.
- [11] B. Ruth; *Dissertation*, Marburg 1977.
- [12] J. Slawinski et al.; *Bio-Photon Physics*, 1980, **4**, 1.
- [13] F. A. Popp; S. 2.
- [14] S. Malkin; *Delayed Luminescence*, in *Photosynthesis I: Encyclo-Pedia of Plant Physiology*, **5**. Springer, Berlin 1977.

注:在修改本文时,该方面的研究已有很大进展,最新的实验结果表明, DNA 分子在活体中确实是一种辐射源,同理论上的描述相符。