

生物物理讲座

第七讲 生命系统的超弱光子辐射

顾 樵

(西北大学物理系)

摘 要

生命系统的超弱光子辐射(简称 PE)是自然界普遍存在的现象。其强度为几个—几千个光子/ $s \cdot cm^2$, 光谱分布从红外到紫外呈准连续谱,而且具有高度的相干性。PE 控制着整个细胞的新陈代谢。PE 作为一种极其灵敏的指示器,在医学、药理学、农业、环境科学、地震预报等领域具有广泛的应用前景。

随着科学技术的不断发展,量子生物学触及到了一个十分重要的领域——生命系统的超弱光子辐射(简称 PE)。本文将对 PE 研究的主要结果及最新进展作一简要的介绍。

一、实验研究

关于 PE 的实验研究,可以追溯到二十年代初期。1923 年,苏联科学家 Gurwitsch 作了一个非常有趣的实验^[1](以后称为孳生辐射实验)。实验装置如图 1 所示。把一个葱头的根放入玻璃毛细管,管外有一金属套。管和套的壁上有一个小孔。正对着这个小孔的,是另一个葱头根。两个葱头根靠得很近,但不接触。前者称为探测器,后者称为感应器。采用一定的

手段使感应器末端的细胞快速分裂。过了几个小时,发现探测器在小孔附近长出一个“小包”来!

二者不接触,没有物质交换,为什么探测器会长出小包呢? Gurwitsch 的解释是:感应器在细胞快速分裂时发射微弱的紫外光,正是它刺激了探测器的细胞,使之跟着发生快速分裂。由于当时光检测器不够精确,不能断定这种紫外光的存在,因而这个问题在以后三十多年里一直没有定论。

光电倍增管的诞生证实了 Gurwitsch 的预言^[2]。1955 年,以 Colli 为首的意大利物理研究小组将一些植物芽种(例如小麦、菜豆、扁豆、谷子等)放置在装有光电倍增管的探测器上,确实观察到了 PE。辐射波长为 690—390nm,强度为几百个光子/ $s \cdot cm^2$ 。

六十年代以后,苏联生理学家对 PE 作了进一步的研究^[3-5]。除了植物样品之外,还研究了一些动物样品的 PE 特性,例如青蛙的神经、肌肉,老鼠的肝脏等。研究的样品多达九十余种,并开始进入应用研究。

七十年代中期以后,以 Popp 为首的西德研究小组从实验和理论两个方面对这一课题进行了系统的研究^[6-7]。他们最先使用了“生命系

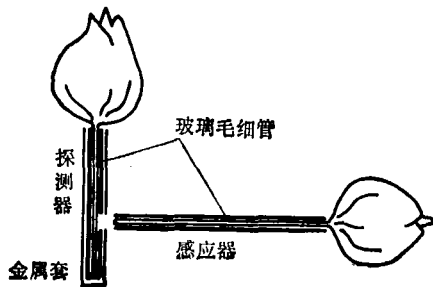


图 1 孳生辐射实验

统超弱光子辐射”这一比较准确的提法,并强调指出这是自然界普遍存在的一种现象,是生物体固有的一种功能。

八十年代以来, PE 的研究更加广泛和深入,已经深入到细胞、亚细胞甚至分子的水平^[8-12]。证明了 DNA 是 PE 的一个辐射源。另外, PE 的应用更加广泛,已经涉及医学、药理学、农学、环境科学等许多领域。我国开展 PE 的研究工作起步较晚,但在国内外已有报道^[10-13]。

现将三十多年来有关 PE 研究的主要实验结果归纳如下:

1. 所有生物样品都能产生 PE,强度为几个一几千个光子/ $s \cdot cm^2$,而且生物等级越高,辐射强度越大。

2. PE 的光谱分布从红外到紫外,是准连续的,最短为 200nm,而且随着生物等级的升高,辐射波长发生一定的红移。

3. 外界因素对 PE 强度影响很大。图 2 显示了用不同毒剂处理过的黄瓜种子的 PE 光谱分布。很明显,没有处理的种子,PE 强度较小。用 Cialit 处理后,强度提高一个量级。如果用丙酮处理,强度提高两个量级。可以看出,尽管用毒剂处理,PE 的光谱分布基本不变。

4. 细胞死亡时(与死亡原因无关),辐射强度先是急剧上升,然后按照准指数规律衰减,衰减常数的量级为几分钟至几小时。

5. DNA 是 PE 的辐射源之一。由光或代谢过程激发的 DNA 分子的碱基所形成的激发体具有良好的激光物质的特性。

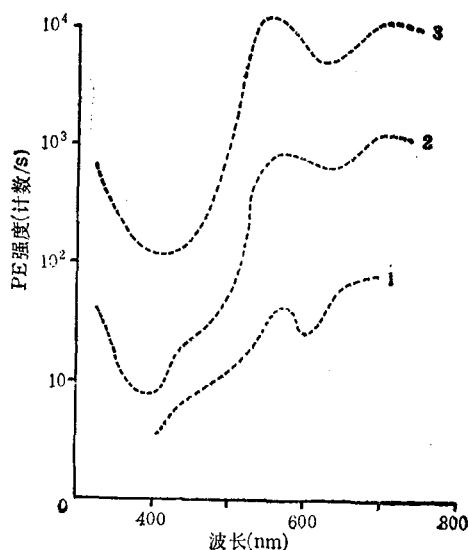


图 2 用不同毒剂处理的黄瓜种子的 PE 光谱
1——未处理; 2——用 Cialit 处理;
3——用丙酮处理

6. PE 是一个典型的非线性效应。一个典型的例子是,切割成块的种子比完整种子的 PE 大 2—3 倍。

7. PE 具有高度的相干性。其经典相干时间为几分钟的量级^[14]。

PE 的探测手段和方法如下: 由于 PE 强度极弱,必须用单光子计数法进行探测。图 3 是 Popp 小组的单光子 PE 探测器的结构示意图。测量时把样品放入石英玻璃样品池 K,然后将 K 推入椭球面的样品室 E 内。K 位于椭球面的一个焦点上。椭球面把样品发射的光子反射到光电管 PM 的光阴极上(光阴极处在椭球面的另一焦点上),产生的电脉冲经电路系统 N

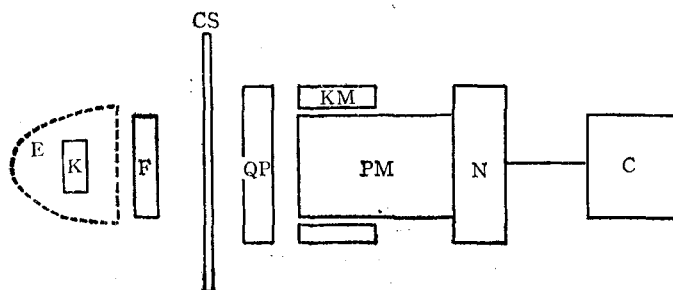


图 3 PE 探测器的结构示意图

(K——样品池; E——样品室; F——滤光片; CS——斩波器; PM——光电管 KM——冷却水套;
N——电路系统; C——计算机; QP——石英玻璃)

的放大和甄别,然后送入计算机C。为了减少本底,用冷却水套KM围住光电管。为了防止冷却的阴极结霜,光电管连同冷却水套被置于真空中。光电管窗前装有斩波器CS,用来扣除本底。滤光片F用于光谱分析。QP是石英玻璃窗口。

上述PE探测器的测量下限一般可达2个光子/s·cm²。这个强度低于日光的10¹⁸倍。毋庸置疑,单光子计数的PE探测器的发明,堪称光电子技术的一大进步。

二、PE与激光的类似性

上述实验结果表明,PE是自然界普遍存在的一种现象,是生物体固有的一种功能。从物理的角度理解和描述PE,最好的途径是利用激光的机制。因为正象生物化学沟通了生物学与化学一样,激光的机制沟通了生物学和物理学。

生命系统与激光器确有惊人的相似之处。日本物理学家栉田孝司曾经从协同学^[45]的角度对此进行过全面的论述^[46]。按照协同学的观点,许多表面看来根本不相关的事物却呈现出共同的性质,这就是所谓“有序性”。生命系统与激光的类似性从本质上表现为,二者都是高度有序的系统,通俗地讲二者都是非线性的、非平衡的开放系统。

1. 非线性系统

激光器的工作物质是由大量偶极子组成的,生命系统是由大量细胞组成的。它们的宏观性质都不能由子系统(指偶极子和细胞)的简单相加而得到,因为子系统之间存在着复杂的相互作用。它们都属于非线性系统。

非线性系统的一个突出特征是存在饱和效应。例如,激光器的增益系数表达式为(对于均匀加宽工作物质)

$$G = \frac{G^0}{1 + \frac{I_1}{I}}, \quad (1)$$

式中 I_1 和 I 分别是入射光强和饱和光强, G^0 是

物理

小信号增益系数。当 I 很小时, G 随 I 的变化是准线性的;当 I 很大时, G 趋于饱和值 G^0 。在(1)式中如果 G 和 I 分别表示酶反应速率和酶的浓度,则(1)式恰好是表示生命体中酶反应的基本方程。

2. 非平衡系统

众所周知,连续泵浦激光器的工作物质处于稳定的非平衡状态,这是激光器能够连续输出的必要条件。在生命物质中也能形成稳定的非平衡状态。生物学家在荧光实验中已经发现,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。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^[47]。这是PE产生的物质基础之一。

3. 开放系统

激光器的工作物质之所以能够处于稳定的非平衡态,是因为它不断地从外界泵浦中吸收能量,即它是一个开放系统。生命体也是典型的开放系统。早在四十年代波动力学的创始人薛定谔就提出了生命体“以食负熵为生”的观点。其含义是,生命体熵的减小是因为从外界吸收了能量,正是这些能量维持着生命体赖以生存的有序状态。

总之,生命体与激光器一样,作为非线性的非平衡的开放系统,都具有产生相干辐射的基本条件。不同的是,激光是实验室的相干辐射,比较简单;而PE是一种自然界的相干辐射(如同天体中的多种受激辐射现象一样),相当复杂。

三、PE在生命运动中的作用及应用前景

利用生物化学解释生命运动,存在着一个根本性的困难,就是无法解释动、植物生长时所表现的方向性。因为按照传统的观点,生化反应在各个方向是均衡发生的。如果不存在外界的不均匀性(例如电磁场、浓度梯度等),它不会在某一个方向占优势。这同动、植物生长时所表现的方向性产生很大的矛盾。为了回避这个

矛盾,许多生物学家认为细胞膜能引发定向的化学反应。不过细胞膜本身也是由生化反应制造的。换言之,细胞膜还不能控制生命体的有序生长。那么在生物体内一定存在着一个整体的控制环。许多实验结果表明,这个整体的控制环正是 PE。它不但控制着细胞膜的形成,而且控制着整个细胞的新陈代谢,甚至控制着细胞内和细胞间的信息传递和功能调节^[7,13,17]。许多看来近乎“神秘”的生命现象,都可以从 PE 出发作出自洽的解释,例如酶活性是由超弱光子场所调控的。免疫反应和修补过程除了由相干场的花样识别之外几乎无法理解。生物的律动性甚至可以由 DNA 相干弱耦合给出定量的描述,对细胞核内及细胞间都是如此,而细胞的形态分裂则因此而受到 PE 的触发。

PE 研究有着广泛而明确的应用前景。应用的基本思想是,PE 作为微观生命活动的一种宏观表现,必然与各种细致的生命过程相联系。通过对 PE 的测量和分析就可以深入地认识这些生命过程。而且在此基础上还可以利用各种手段(物理的、化学的、生物的等)人为地调节 PE,以控制生命过程。事实上 PE 作为一种极其灵敏的指示器,已经开始用于医学、药理学、农学以及环境科学等。

在医学方面,通过对人血清(血浆)发出的 PE 的测量和分析,可以非常准确地诊断许多疾病。健康人与病人的 PE 大不一样。不同类型疾病的 PE 也有明显差别。表 1 是心血管病人

表 1 心血管病人与健康人的 PE 值

病变类型	统计人数	PE(电脉冲/s)
健康人	25	4.6±0.5
肥胖型动脉粥样硬化	23	2.9±0.6
慢性下肢静脉机能不全	22	2.8±0.5
营养性张力障碍和静脉腺病	11	2.0±0.6

与健康人的血清 PE 测量的统计结果。可以看出各种心血管病人的 PE 值普遍低于健康人。

在癌症研究中,有一个鉴别肿瘤和炎症的因子 \mathcal{E} 是极其有用的,它由下式表示:

$$\mathcal{E} = PE_0 \cdot EPE_b - PE_b \cdot EPE_0, \quad (3.1)$$

这里下标“0”和“b”分别相应于正常人和病人。EPE 表示由交流电诱发人血清 PE 所探测到的辐射强度(称为电诱发 PE)。研究结果得出:肿瘤患者 \mathcal{E} 为正,炎症患者 \mathcal{E} 为负。表 2 给出了 130 名不同性别、年龄的健康人和 342 名患者的统计调查表。鉴别率达 100%,无一例外。

利用 PE 还可以检测病人对某些药物是否过敏。临床上常用察问病史,皮肤试验,血清学和细菌学等方法来检验。这些方法不是信息不足,就是手续繁复。一种灵敏而简便的方法是利用 PE。具体作法是在患病者血清中加入待检的药剂,观察混合物的 PE。表 3 给出了利用

表 2 利用 PE 鉴别癌症和炎症的统计表

病变类型	PE		EPE		\mathcal{E}
	统计人数	电脉冲/s	统计人数	电脉冲/s	
健康人	130	315±19	45	189±16	0
喷门和食道癌	193	361±13	60	389±18	正
子宫颈癌	24	274±24	11	405±37	正
肺癌	49	212±17	24	298±21	正
消化道慢性炎壑	22	391±19	19	138±20	负
肺部慢性炎症	17	367±20	15	192±26	负
消化道急性炎症	8	580±68	8	186±17	负
急性肺炎	7	632±75	7	198±22	负
烧伤病人	22	106±36	22	102±18	负

表3 利用 PE 检验病人药物反应的统计表

药 物	PE (相对单位)		
	不耐药病人 (113 名)	耐药病人 (40 名)	健康人 (15 名)
未加药	9.3±2.5	9.4±1.7	2.7±0.7
链霉素	20.7±6.7	9.7±1.5	2.6±1.0
异烟肼	16.3±2.8	9.7±1.5	2.7±0.9
对氨基水杨酸	16.0±3.2	9.9±1.8	2.5±0.8

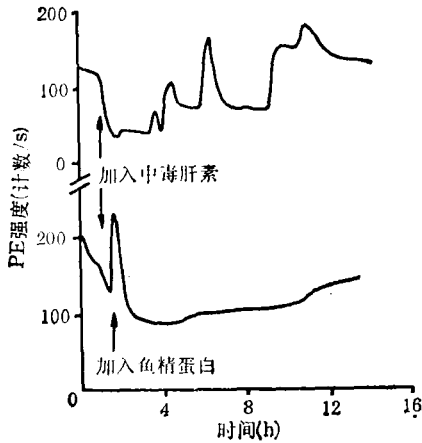


图4 PE 作为中毒和抗毒的指示器

这一方法检测肺结核病人对结核菌素的耐药反应的统计表。可以看出,与健康人的 PE 相比较,耐药病人的 PE 要高出 2—3 倍,不耐药病人高出 6—8 倍。采用这一方法只需 15—20 分钟即可检测完毕,而且准确、无损。

在药理学研究中,PE 也是一个极其灵敏的指示器。图 4 显示了 PE 对小麦芽体中毒和解毒的指示。对于正常发射 PE 的小麦芽体注入中毒肝素,PE 出现异常:开始跳跃式上升,大约 12 小时后持续下降,直至死亡。如果加入中毒肝素后不久,又加入鱼精蛋白,PE 的变化则大不一样:开始出现一个尖峰,尔后转入正常芽体的辐射。这个实验表明:(1)中毒肝素对小麦是毒性物质;(2)鱼精蛋白对于小麦芽体的肝素中毒具有良好的拮抗作用。

在农业方面利用 PE 可以研究农作物的各种抗性(如抗寒、热、盐、病等)。图 5 显示了几种农作物的芽种的 PE 随环境温度的变化曲线,其中峰的位置对应高临界温度(UCT),超过这个温度,PE 准指数地下升,直至芽种死

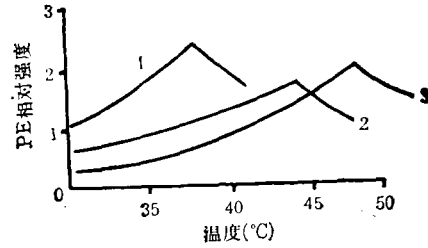


图5 温度对芽种 PE 的影响

1——小麦; 2——玉米; 3——棉花

亡。可以看出,棉花的 UCT 最高(约为 47°C),意味着它的抗热性最好。

利用 PE 还可以获得施用化肥和农药的最佳时间和剂量^[13]。给作物施用化肥或农药后,PE 变化比作物生长指标(生长量、叶面积、同化器官的重量等)的变化要快得多。实验证明,如果施用 5×10^{-5} mol/L 的除莠剂,叶重才有变化的话,那么采用 5×10^{-8} mol/L 的除莠剂,就可以引起 PE 的显著变化。这样就可以根据 PE 的变化程度来选择施用化肥和农药的最佳时间和剂量。

PE 还可以应用于环境科学和地震预报。实验中发现当环境中存在 $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 SO_2 时,有些植物的 PE 已有明显变化。因而可以用这些植物的 PE 变化程度定量地分析环境中 SO_2 这一有害物的含量,以判断环境污染的程度。这种方法比环境科学中目前采用的各种物理、化学方法要简便、准确得多。另外据研究,地震发生之前,大气中有些物质的含量显著增加(例如硫),导致一些植物的 PE 显著变化,从而为震前预报提供一条根据。

综合上述,PE 作为生命过程的一个极其灵敏的指示器,已经开始应用于许多领域,而且会得到越来越广泛的应用。它的发展是令人鼓舞的。但是也应该看到,在 PE 的基础研究中还有许多重要问题没有解决。首先是 PE 产生的生物学机制。有人认为 PE 是生物系统内的生化反应引起的;有人认为与脂质的过氧化作用有关,还有人认为 PE 是自由基的产物。到底是什么起主要作用,还需要进一步探索。另外,从量子光学的角度看,PE 的光子统计^[18-19]应该包

含着丰富的生物学信息。如何通过 PE 的光子统计测量获得有实用价值的生物学信息,是一个尚待解决的重要的理论和实际问题。还有,长期以来人们对中医“经络”的实质进行了大量的研究,但似乎一直没有发现它的形态结构^[20]。作为物质的一种存在形式,经络很可能是一种场的作用。那么经络与 PE 光子场之间是否存在某种联系,这是一个值得深入探索和研究的问题。

[1] A. Gurwitsch et al., Arch. F. Entw. Mech., 100(1923), 11.
 [2] L. Colli et al., *Experientia*, 11(1955), 479.
 [3] V. A. Veselovskii et al., *Biophysics*, 8(1963), 147.
 [4] I. G. Shtrankfeld et al., *Biophysics*, 13(1968), 1082.

[5] Б. И. Тарусов, Сверхслабые Свечения в Биологии, Издательство Напки, Москва, (1972), 170
 [6] B. Ruth et al., *Z. Naturforsch.*, 31C (1976), 741.
 [7] F. A. Popp et al., *Electromagnetic Bio-Information*, Urdan and Schwarzenberg, (1979).
 [8] H. Fröhlich et al., *Coherent Excitations in Biology*, Springer, Berlin, (1983).
 [9] F. A. Popp et al., *Cytobios*, 37(1983), 71.
 [10] K. H. Li et al., *Phys. Lett.*, 93A (1983), 262.
 [11] 胡天喜等,核技术, No. 5(1983), 24.
 [12] Gu Qiao (顾樵), *Opt. News*, 12(1986), 739.
 [13] 顾樵,量子电子学,5(1988),97.
 [14] F. A. Popp, *Phys. Abstracts*, 90(1987), 9233.
 [15] H. Haken, *Synergetics*, Berlin, New York, (1983).
 [16] 柿田孝司,レーザー研究,7(1979),241.
 [17] J. P. Morgan et al., *Photochemistry and Photobiology*, 3(1980), 207.
 [18] F. A. Popp, *Collective Phenomena*, 3(1981), 187.
 [19] 顾樵,中国激光,15(1988),484.
 [20] 张仁,陕西中医学院学报,8(1985),10.

莱 曼 α 森 林

陈 建 生

(中国科学院北京天文台)

直至本世纪六十年代,人类还无法探测到分布在遥远星际空间的物质。而对这些物质的密度、成分和分布的探测对于了解星系的形成和宇宙演化都是极为重要的。

类星体及其光谱中吸收线的发现为研究星系际物质物理学提供了重要的手段。类星体是宇宙中最“明亮”的天体,因而也是可被观测到的最遥远的天体。迄今观测到的谱线红移最高的类星体,其红移值为 $Z = 4.43$, 相应的到我们的距离约为宇宙半径的 93%。从如此遥远天体发射的光,将通过广阔的星系际空间才能到达地球。星系际空间的物质对光的吸收,将在类星体光谱上产生一系列的吸收线。对这些吸收线的分析研究是目前能借以了解遥远宇宙空间的唯一手段。

类星体光谱中的吸收线可以给我们提供产生吸收线的物质的大量信息。根据这些物质的性质,我们可以把类星体光谱中的吸收线大致

分为三类:(1)由类星体本身抛射出的高速运动物质对类星体发射出的光吸收而形成的宽吸收线系统;(2)类星体发出的光通过视线方向上的星系晕或星系盘时,晕或盘中物质对光的吸收形成的吸收线系统,它们是窄的金属线系统;(3)由散布在星系际空间的物质的吸收而产生的所谓莱曼 α 森林 (Lyman α forest)。本文只介绍最后一类吸收线系统。

莱曼 α 森林是指在类星体光谱中,位于氢的莱曼 α 发射线短波侧的密集的吸收线丛。它和分布在该发射线长波侧的稀少的谱线形成鲜明的对照。在所有高红移类星体的光谱中无一例外地均存在莱曼 α 森林。

莱曼 α 线的静止波长为 1216 \AA , 是一条远紫外的谱线。对一个红移为 Z 的类星体,观测到的莱曼 α 发射线的波长为 $1216 \times (1 + Z) = 3648 \text{ \AA}$, 其短波侧已有相当部分移到可见光区以内。所以,用地面上的光学望远镜去观测