

## 专论与综述

# 生物有序性初探

黄惠慈

(中国科学院生物物理研究所)

生命现象确是宇宙间的一大奥秘。经过人们长时期的努力探讨,一部分奥秘已经解开了,但还有一些根本性的难题,有待我们和后代,继续努力去攻破。在本世纪的前期,人们对生命现象与热力学定律间似乎存在着矛盾,表示迷惑不解。根据热力学第二定律,自然界演化的方向是从有序到无序,但生命的发生、演化、及成长过程显然是从无序到有序,从程度较低的有序到程度较高的有序,即是说,生命使其内部的熵降低,这是无生命世界中难以实现的。这个问题,到1944年由 Schrödinger 给出了正确的解释<sup>[1]</sup>。他说,一个开放系统的熵不一定增加。生命正是一个开放系统,它可从外界引入“负熵”。用数学式来表示即如下:

$$\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_e, \quad \Delta S_i \geq 0$$

式中  $\Delta S_i$  是内部产生的熵,一定不小于零。 $\Delta S_e$  是外部引入的熵,可以是负的。因此,系统的总熵变化  $\Delta S$  可正可负。只要  $\Delta S_i \geq 0$ , 就不违反热力学第二定律。

以上答案为解决热力学与生命间的矛盾作出了重要贡献,但这只是个起步。从物理学的角度来看,人们对生命的描述仍存在很多困难。生命的有序似乎与无生命有序不尽相同,且远比无生命有序为复杂。无生命有序,例如晶体,只是结构上的有序,结构与结构之间,则不能传递信息。生命是活的,具有所谓“活力”,也就是“生物功能”。可以说,生命体除了结构有序之外,还加上功能的有序,即生物大分子或生物部件(如细胞质膜)能进行有秩序的活动,从而完成一些确定的功能。例如:DNA 分子能进行自我复制,并将复制的信息迅速传递给

周围其他细胞中的 DNA 分子;酶分子能起神妙的催化作用,如在很短时间内,协助完成一些不易发生的化学反应;细胞质膜能输送钠与钾离子,而使细胞内外的离子维持一个浓度梯度。如何用现有的物理学(量子力学)的定律来解释这些神妙的生命现象,确是物理学所面临的一大挑战。

著名物理学家 Elsasser 对这个问题所持的态度是否定的<sup>[2]</sup>。他认为,生命现象有它特殊的规律,不是用物理学的语言所描述得了的。他的观点是将死和活之间画了一条严格的界限,在阴、阳两个世界里,阴有阴律,阳有阳法。但在人们理解了生命与热力学定律并不相矛盾之后,逐渐感觉到,这条“死与活的界限”说不定是可以突破的。

向着解决生命难题攀登的科学家取得的成果很多,他们可以互相补充,这里可以提出两位有代表性的人物:Prigogine 和 Fröhlich。Prigogine 认为,在无序中也存在着有序的小涨落,外来能流将系统驱使至远离热平衡时,这些涨落可能增大,最后形成大片的有序结构,他称之为耗散结构<sup>[3]</sup>。生命是否就是耗散结构呢?如果生命现象属于远离热平衡的物理现象,则研究远离热平衡的物理学规律,当可解开生命之谜。Fröhlich 认为,在特殊情况下,无生命系统也能发生类似于生物功能的相干性极强的动态<sup>[4]</sup>,例如,超导现象、超流现象及激光。与激光中的光泵相似,生物功能由未知的“生物泵”来维持。他们的工作,是有启发性的,对解决问题的方向起了指引的作用。

作者倾向于认为物理语言是能够描述生命

**现象的。** 本文将提出一些对生命现象的看法，着重在建立生物有序性和一些生物功能的物理图象。这些看法，因为缺乏实验验证，是很不成熟的，只能看作是作者对生物有序性的探索过程中的一个初步尝试。

在无生命的世界，从无序到有序的方向，是从系统中抽去能量（热），因此，无生命有序以低能量，低熵为表征（抽去的是热能，所以熵降低了）。生命则能量较高。试想，在生理温度下，生物分子能合成如此有秩序的机体，这在无生命世界中是办不到的\*。因此，同样的低熵（有序）状态\*\*，生命态的能量要高于无生命态，这就是说，**生命不处在物理学的基态（ground state）。**

大家知道，宏观的有序状态必定与微观的量子态凝聚（集结）相对应。低熵的微观物理图象，应是系统的组成分子凝聚（集结）在某个量子态能级上。**生物分子所凝聚的量子态既然不是基态，则应是某个激发态<sup>[7]</sup>。**这与无生命有序不同，它是分子在基态能级上凝聚，从而符合低熵低能的要求。如前所述，生命是开放系统，因此可以维持这样的能量较高的集结状态。这与 Prigogine 所说的“远离热平衡”是相符合的。

现在让我们试用上述的模型来说明一些典型的生物功能，如质膜运输离子，酶解离底物分子等。细胞质膜上的脂质和蛋白质分子，能与 ATP 起化学反应，ATP 变成了 ADP，反应所释放的能量即用来运输钠和钾离子。一般是将钠离子排出细胞外，将钾离子运入细胞内。这一运输过程的详细机理现在还不清楚。但有两点是很值得思考。第一，膜上负责运输离子的分子必定处在有序状态，即凝聚在一个量子态（移动、振动、或转动、或各种运动的组合态），否则是不可能将离子从膜的一边运到另一边去的。我们提出的模型能说明这一点。第二，要使膜分子处在有序状态，它们得自  $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP}$  化学反应的能量形式是什么呢？必定不是热能。一般化学反应所提供的多是热能，但多数生物化学反应提供的似乎不是热能。热能是各向同性的，膜如接受了热能，就不可能将离子从一侧运

输到另一侧。因此，这儿引出了一个新问题， $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP}$  这个反应所释放的能量当是什么形式？

在讨论这个问题之前，让我们就上述的第二点作一个小结。生命体中的能量传递似乎具有较高的效率，并且多数借生化反应获得的能量似乎不是热能。如果这点正确的话，我们可以说，**生命的运转方式不同于热机（heat engines）。**这点认识是很重要的。因为把生命和热机区别开来，有助于物理学家们在研究生物能力学时；不致将它和热力学混淆起来。

生化反应除了提供的能量可能不是热能之外，还有几个特征：反应具有高度的识别力，反应非常快速、反应几乎完全单向进行。一般化学反应的机制，是分子间短程作用力，如 Van der Waals 力，用这类分子间短程作用力，就无法说明生化反应的特征。Fröhlich 曾猜测，生化反应的机制，很可能是长程作用<sup>[4]</sup>，如电磁力，并且还是相干性很强的长程作用（例如激光）。如果是这样，这就能解释生化反应的种种特征了。根据我们的模型，生物能传递的每一类关键性分子（如 ATP），若都凝聚在一个非基态能级，则造成的情况是**局部的占据数反转，在反转量超过临界值时，即能产生相干的受激辐射（激光）。**这也就是 Popp 等提出的“生物光子”<sup>[8]</sup>。如果生物分子在一个激发态凝聚，则产生生物光子是可能的。至于生物光子的贮藏和强度放大的机制，也可猜测是细胞质膜兼具如激光器中共振腔的功能。如果是这样，那么每个细胞都成激光放大器了！活体内分子占据数反转，应该很接近于临界值（但未超过），因此，一旦反应被触发，反转量即越过临界值，于是立即产生相干辐射。激光是有序性很高的能量\*\*\*。

\* 此处所说的无生命系统，并不包括远离热平衡的有序系统，如激光。这就是为何 Haken 将激光与生命现象放在一起研究的一个原因了<sup>[5]</sup>。

\*\* 这儿有个问题。生命是开放的非平衡系统，而开放非平衡系统的熵如何定义，尚在探索之中。作者也参与了这方面的工作<sup>[6]</sup>。

\*\*\* 相干的受激辐射光子群可看作非平衡态玻色子凝聚，一如氦的超流现象可看作平衡态玻色子凝聚。二者的熵都是都很低的。

它与物质作用后使物质发生何种变化,是目前物理学中的一个新课题;但膜上担负离子运输任务的分子,在接受 ATP 发出的有序能量(可能是激光)后,向同一量子态凝聚,似应无疑。

许多酶的特异作用,可能也和激光有关。借着“酶激光”的非线性作用,底物小分子得以解离,从而使不易完成的化学反应得以完成<sup>[9]</sup>。我国不是有“气功疗法”吗?气功医师是否从手心中发出了某波段的激光,而这正是病人所缺少的酶所发出的那种激光呢?

传统的生物化学和生物物理学,比较注重对分子、原子,即物质部分的研究,而比较忽略对辐射性质的研究。其实物质和辐射是相辅相成的,有物质处必有辐射。尤其像生命这种开放的、处于非平衡态的系统,其辐射的内容,必定丰富多彩,并且十分复杂。从根本上来说,一切生物的能量都来自太阳的辐射。我们相信,辐射在生物体内如何流转,也必定是很有趣的问题,只是尚未为我们所完全认识而已。生物能的运转,除了借电子传递、电缆式传递(神经)、机械式搬运(血液)、声波传递(味觉)<sup>[10]</sup>之外,必定还存在着借辐射传递的途径。生物能量的传递主要在传递信息\*,因此它是高度有序的。相干受激辐射应是其中的一种方式。当然,研究生物体内的辐射是很艰巨的。第一,这种辐射很微弱,强度约在每秒每平方厘米数十个到二千个光子之间<sup>[12]</sup>;第二,研究必须在活体内进行。但国际上对这项工作已重视起来,如 Ruth 就做了不少定量的工作<sup>[12]</sup>。在 Ruth 的论文里,就提到一些实验,证实细胞进行有丝分裂的信息,是经由紫外辐射而传递的,并提到了辐射的相干程度的测定问题,说相干长度可达数公

里。作者认为,在今后生物物理学的发展中,生物辐射的研究必将占据重要的地位。

最后,总结本文作者所提出的一些观点:

1. 生命现象应能用物理定律来阐明,而无需借助于特殊的“生命法则”。
2. 生命物质不处在量子力学的基态。
3. 生物体中关键在于能量转换的各类分子,可能都凝聚在各自的某些量子激发态能级上。
4. 生命运转过程的机制与热机不相同。
5. 生物分子在激发态的凝聚造成了占据数反转,反转量接近临界值。反应受触发时,反转即越过临界值,从而产生相干受激辐射(激光),这是生物体内一种重要的能量传递方式。

### 参 考 文 献

- [1] Schrödinger, E.: *What is Life?*, Cambridge Univ. Press, London and New York, 1944.
- [2] Elsasser, W. M.: *The Physical Foundation of Biology*, Pergamon Press, Oxford, 1958.
- [3] Nicolis, G. and Prigogine, I.: *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*, Wiley-Interscience, New York, 1977.
- [4] Fröhlich, H.: *Phys. Lett.*, 51A, 21, 1975.
- [5] Haken, H.: *Synergetics*, Springer-Verlag, Berlin, 1977.
- [6] 黄惠慈、金龙煊:《科学通报》,待发表。
- [7] 黄惠慈:《科学通报》,25, 300, 1980。(外文版 *Kexue Tongbao* 25, 640)。
- [8] Popp, F. A.: *Electromagnetic Bio-Information*, Urban and Schwarzenberg, München, 1979.
- [9] 李克学、蔡诗东:《科学通报》,待发表。
- [10] 曾广植:《科学通报》,25, 856, 1980。
- [11] 贝时璋:《生物科学动态》1964年,第2期第17页。
- [12] Ruth, B.: *Electromagnetic Bio-Information*, Urban & Schwarzenberg, München, 1979.

[本文于1980年4月3日收到]

\* 我国著名生物物理学家贝时璋先生在1964年就提出如下观点:新陈代谢不仅包括物质代谢和能量代谢,还应当包括“信息代谢”<sup>[11]</sup>。

### • 会议简讯 •

### 广东省生化学会成立大会在广州举行

广东省生物化学学会成立大会暨1980年度年会,于12月中旬在广州市广东科学馆召开,大会收到了中国生化学会理事长王应睐教授的贺电和副理事长曹天钦教授及常务理事沈昭文教授的贺信。中科院上海生化研究所许廷森副研究员,代表生化所参加了大会。大会邀请中国生化学会副理事长邹承鲁作了“分子生物学的现状与展望”和“国外生化研究动态”的学术报告;香港中文大学生化系曹宏威博士作了“冠醚——一种

研究无机生物化学的工具”的学术报告。中科院华南植物研究所副所长郭俊彦研究员,也应邀作了“参加澳大利亚第四届国际生物固氮会议及其出访观感”的报告。会议期间代表们共报告和交流了学术论文六十多篇。

大会选举产生了广东省生物化学学会第一届理事会,理事会又选出了任邦哲名誉理事长,徐晓利为理事长及副理事长、常务理事和秘书长等负责人。

(周永生)