

再如医学微电子学也是一门新学科.利用含有集成传感器的微芯片送入或植入人体内,从而对人体进行各种实时监控和测定,以及记录和显示.预计这一新学科在 90 年代会得到蓬

勃发展.

毫无疑问,在十年后的今天,微电子将以新的面貌出现在世界,同时微电子技术作为一种巨大推动力将改变世界的面貌.

孤立子与生命活动^①

庞小峰^②

(西南民族学院物理系,成都 610041)

介绍了孤立子概念和它的奇妙特性,着重叙述了近 20 多年来科学工作者(包括作者本人在内)利用这个概念研究生命体中一个极其重要的问题,即在生物大分子——蛋白质和 DNA 中传递生物能量、物质和信息的孤立子的形成机制、特点和生物功能与当前研究状况及今后前景,给出了一些令人寻味的重要结果.对于人们认识生命的特性,揭示生物的奥秘有极大的作用.

Abstract

First, the concept of soliton and some of its marvellous features are introduced. Then the properties and the biological functions of solitons, such as transporting biological energies, masses and information in protein and DNA molecules in organisms are described. The above results obtained by the author and other scientists show that solitons in living beings play an important role in their lives. Some of the results may be inspiring and helpful to explain the nature of life and reveal the profound mystery in it.

一、妙趣横生的新型准粒子

现在提起“孤立子”,和十多年前大不相同了.当时,只能为少数科学家所掌握,用来解决为数不多的具体问题的一种数学手段.给“孤立子”概念蒙上了一层神秘色彩.如今,很多人都熟悉它,已将它看成一种客观存在的物质,并成为人们解决自然现象和社会活动中非线性问题的强有力的手段.

但是,要认清孤立子^[1],还得提到离现在 100 多年前的英国科学家 Russell 在 1834 年观察到的在水渠中出现的奇妙现象:“由两匹马拉

着在水渠中急速行进的船,突然停下来,在船前激起一个孤立的水波峰,保持巨大速度和原来形状滚滚向前行进了大约 1—2km”.他将观察到的这一现象在英国第 14 届科学促进会议上作了生动的描述.但由于当时科学技术的限制,没有人对这一问题从理论上和实验上作进一步探索.直到 60 年后的 1895 年, Kortewey de Vries 才从理论上推导出了描述这种孤立水波的运动方程,即 KdV 方程式.但人们怀疑 KdV 方程的解是否稳定,而把它放在一边,长期埋没下来.

救活这一工作的是本世纪 50 年代的 Fermi, Pasta 和 Vlam 等人所研究的 FPU 问题.他

① 得到中国科学院国际材料物理中心(ICMP)的资助.

② 中国科学院国际材料物理中心和中国高等科学技术中心成员.

们将 64 个质点用非线性弹簧连成一条非线性振动弦,计算其中能量分布,发现与线性能量均分定理的结果显著不同,由此受到启示:在这个系统中可以出现非线性波.这表明除水系统外,在其他系统中也观察到孤立波的存在.1965 年,美国的 Zabusky 和 Kruskal 用数值方法详细考察了等离子体中孤立波相互碰撞的非线性相互作用过程,给出了碰撞后孤立波不会改变波形的结果而使人感到惊喜.为孤立子的研究打开了宽敞的大门.1968 年,美国的 AKNS 等人又给出了反散射方法求解 KdV 方程的孤立波的方法,为把孤立波的研究推向高峰助了一臂之力.1973 年,人们又在水箱中再现了 Russell 的 KdV 孤立波,从而在世界范围内掀起了“孤波热”.自此以后,人们在大到宇宙,小到基本粒子,复杂到生物体等所有物理系统中都求得了孤立子的存在.

那么,孤立子到底是什么呢?它是如何产生的?具有什么性质呢?这显然是十分重要的.现在来回答这个问题比 70 年代要容易得多.从数学角度来讲^[1],它是非线性微分方程的局域行波解(所谓“局域性”是指解在空间的无穷远处趋于零或确定的常数的情况).同时,这种局域性行波(或孤立波)在通过相互碰撞后不会消灭或碰烂,其波形和速度都不会改变或只有微弱的改变的稳定的孤立波便称为孤立子.从物理上讲^[2],它是由非线性场所激发的,能量不弥散的、稳定的准粒子,这种准粒子具有一切物质的属性,如能量、动量、质量、电荷、自旋等特性,并且在运动中或相互碰撞中也不受到破坏.同时,它还遵守自然界所有规律,例如能量、动量、质量守恒定律.从理论上讲,它遵守无穷多守恒定律.所以它具有一切物质或粒子的共性,是物质世界中的一员.但是,由于它是在非线性场中形成的新型准粒子,因此也具有许多自己的“个性”,例如它既具有波动性,又具有粒子性,同时又是遵守经典运动规律的粒子^[3].所谓波动性,因它是真正的一个行波,它可以速度 v 在时空中传播,又可以在空间不进行传播,处于静止状态.后者称为非传播孤立子.典型例子是 1984

物理

年吴汝君等人^[3]和崔洪农与我们观察研究的水槽中的非传播孤立波^[4].它们满足 KdV 方程,非线性薛定谔波动方程和非线性 Klein-Gordon 方程(包括 Sine Gordon 方程)等波动方程.说它有粒子性,是因它具有如上所述的一切粒子的基本特性.在两个孤立子相互碰撞后的规律和一切粒子的碰撞特征与规律是一样的,它比量子力学中讲的微观粒子具有的波粒二象性的物理图象更加具体,更加直接,也更容易理解.它与微观粒子不同的地方,是它遵守经典运动规律,服从牛顿方程式或经典哈密顿方程.这不但可从它的运动方程中得出^[2],也可从崔洪农与我们^[4]对非传播孤立子所进行的实验中观察到.这种孤立子受不同外界作用时,可作匀速或匀加速等多种经典运动(这种特性已制成录相带和图片发行).

孤立子的另一个特性是:它是由通常的物质和粒子在色散力和非线性作用力同时存在的环境或场中演化或自陷而成的.例如,现已为日本电信公司作为超高速信号通信的光孤子是激光光束在非线性介质(如光纤)中的自聚焦而生成的^[1];超导孤立子是超导电子与晶格畸变相互作用生成的^[2];在有机分子和蛋白质分子中的 Davydov 孤立子或在我们建立的新理论中的孤立子是过剩电子或激子与晶格畸变相互作用“自陷”而成的^[5].由于演变或自陷前的物质的性质不同,以及所受到的非线性场不一样,或者说物质的性质和所处的环境不一样,使得形成的孤立子的特性千差万别.例如,有些孤立子的质量大到天体中一个星球或云团,有的质量又仅与电子质量相差无几.其能量、电荷等差别就更大了.各式各样的孤立子存在,标志着非线性世界比线性世界更加奇妙,更加复杂,内容更加丰富多彩.另外,从本质上讲,自然界的一切现象基本上是一个非线性问题,线性现象仅是一种特殊或近似情况.所以,非线性问题才是揭示自然本质规律的科学,而孤立子问题的研究的意义及重要性也就显而易见了.

二、传输生物能量与生物信息的孤立子理论

长期以来,人们对于生命体中生物能量与生物信息传输的微观机制一直未弄清楚,因而对许多生物生理过程(例如肌肉收缩等)的机制及理解模糊不精.然而,人们要去揭示生物奥秘,发展生物工程,又必须首先解决这个问题,因为从生物物理的角度来讲,生命过程就是生物能量、物质和信息的变化、协调和统一的过程.它们有组织、有秩序地综合运动和相互协调变化则是一切生命的基础.另外,由现代科学得知^[6],生物体是一个具有耗散结构特征和自组织结构的、满足热力学第四定律的、开放的非平衡态热力学系统,它要不断地同外界进行物质、能量和信息交换,以维持生物自组织和耗散结构,即维持生命活动.因此,生物能量与信息的传输则是生命活动的最基本、最主要的过程.于是,生物能量和生物信息到底如何传输,以何种形式传输就成为生命科学的中心问题.

由于生命体不同于一般物体,它是由电子、原子、小分子、生物大分子、细胞或生物组织等多种层次组成的最复杂体系.这种复杂性不但表现为层次多,还在于它是具有自我装配、自我复制、自我调节和自我更新的活的生命体.然而,这些问题的关键都在于生物大分子——蛋

白质和核酸(DNA 和 RNA)的存在.因此,研究生物能量和信息在蛋白质和核酸中的传输便是此问题的中心了.

蛋白质分子系统中生物能量和信息的传输问题引起了乌克兰科学家 Davydov 的极大重视.他和他的同事从 60 年代末期以来就一直从事准一维分子系统中孤立子激发的研究^[5].由于图 1 所示的 α -螺旋蛋白质分子的结构可以看成是由三条长链有机结合在一起扭结为螺旋型而形成的,而每一条长链往往可以近似看成一个准一维的具有一定周期的分子系统.于是 Davydov 在 1979 年将他在准一维分子系统中的孤立子理论移植到 α -螺旋蛋白质分子中,研究了蛋白质分子中的结合能的传输问题^[5].他认为在生物体内,由 ATP 水解作用等生物过程提供的能量(大约为 0.48eV)可以通过蛋白质分子中的过剩电子(excess electron)或 amide-I (CO 键)振子的振动量子(大约具有 0.205eV 或 1653cm^{-1} 的能量)同分子链的结构畸变(或低频声子)相互作用而“自陷”成的孤立子来进行传递.此时,这个孤立子和链的畸变一起携带能量和信息,沿分子链方向传输一段宏观距离而可以保持能量、动量、波形以及其他准粒子特性不变.他在 α -螺旋蛋白质分子中因集体激发产生的激子和分子链的位移变化的运动方程表述为^[5]

$$i\hbar \dot{\alpha}_{na} = [E_0 + \chi(\beta_{n+1,a} - \beta_{n-1,a})]\alpha_{na} - J(\alpha_{n+1,a} + \alpha_{n-1,a}) + L(\alpha_{n,a+1} - \alpha_{n,a-1}), \quad (1)$$

$$M \dot{\beta}_{na} = W(\beta_{n+1,a} - 2\beta_{na} + \beta_{n-1,a}) + \chi(|\alpha_{n+1,a}|^2 - |\alpha_{n-1,a}|^2), \quad (2)$$

而把描述由 ATP 水解作用等提供的能量而引起的集体激发的尝试波函数写成

$$|\Phi\rangle = \left(\sum_{na} \alpha_{na}(t) B_{na}^+ |0\rangle_{\text{ex}} \right) \left(\exp \left\{ \frac{1}{i\hbar} \sum_{na} u_{na}(t) P_{na} - \Pi_{na}(t) R_{na} \right\} |0\rangle_{\text{ph}} \right) \quad (3)$$

其中 E_0/\hbar 是一个孤立的氨基酸分子中的 amide-I 振子的振动频率, M 是一个氨基酸分子的质量, J 是沿分子链上的两相邻分子间的迁移偶极能, W 是氢键的弹性系数, L 是两条相邻螺旋长链之间的迁移偶极能, χ 是激子-声子耦合(EPC)常数,它表示了由于氢键变化一个单位时所引起的 amide-I 振子的振动频率的改变. B_{na}^+ 是激子的产生算符, R_{na} 和 $P_{na} =$

MR_{na} 分别表示氨基酸分子的纵向位移算符和相应的共轭动量算符.而 $\beta_{na} = \langle \Phi | R_{na} | \Phi \rangle$. n 表示螺旋的圈数, $a=1, 2, 3$ 表示蛋白质分子的三条链, (n, a) 规定了一个氨基酸分子.如果对 (1), (2) 式作连续性近似,便可得到一个非线性 Schrödinger 方程(NLSE),马上便可以得到由激子通过与分子链的位移相互耦合而自陷成的 Davydov 孤立子,这就是传递生物能量和信息

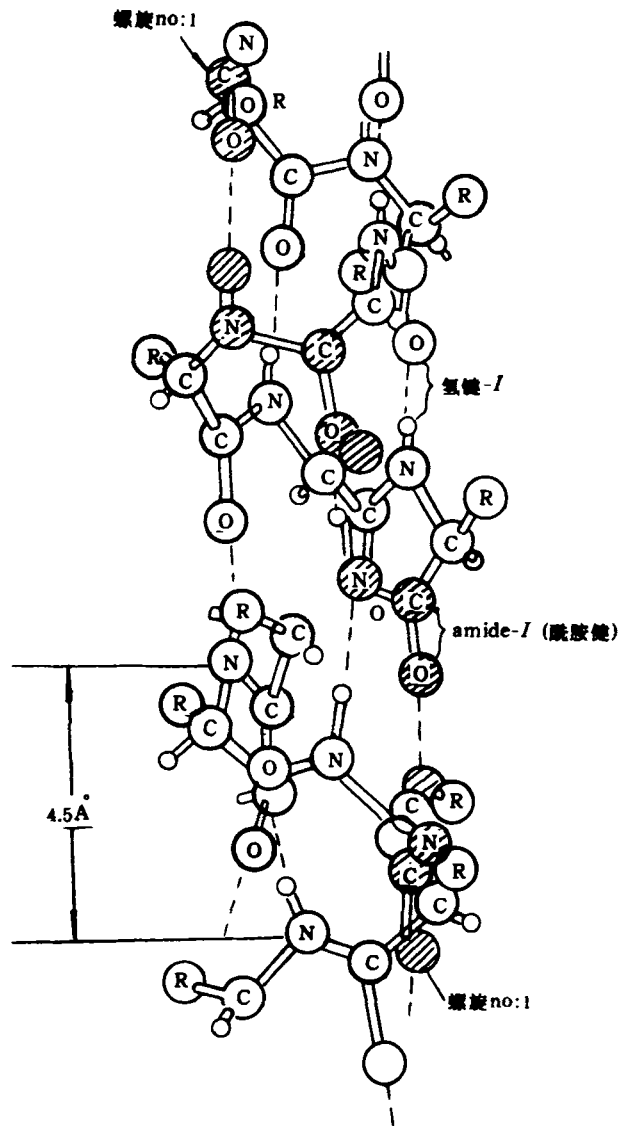


图1 α 螺旋蛋白质分子的结构

的 Davydov 孤立子机制及理论. 在这种机制中, EPC 常数 χ 是一个关键因素. 许多人的研究表明^[7], 产生 Davydov 孤立子, χ 应有一个阈值存在, 在这个阈值之上, 有 Davydov 孤立子存在, 在此值之下, 则没有. 1980 年, Kuprievich 等人用从头算起法求得 $\chi = 35\text{PN}$, 后来算得 $\chi = (30 - 60)\text{PN}$, Pierce 算得 $\chi = (7 - 26)\text{PN}$. Careri 等人求得 $\chi = 62\text{PN}$, Scott 等人用数值计算方法求得 $\chi = 50\text{PN}$. χ 的如此差异是蛋白质分子的氢键长度(大约为 $2.8 \pm 0.12 \text{ \AA}$)取值不一样及所用的方程的近似程度的差别等造成物理

的^[7]. 另外在氢键长度变化范围内, CO 键居于 1 价与 2 价之间, 因此 CO 键的强度灵敏地依赖于邻近氢键长度的变化, 致使 χ 值也相应改变. 现在人们作计算时, 对单链蛋白质模型常取 $\chi = (20 - 62)\text{PN}$, 对三链蛋白质模型常取 $\chi = (35 - 62)\text{PN}$.

Davydov 理论为生物能量与信息的传递提供了一个很好的机制. 对此, 在后来的十多年间, 许多著名的科学家如 Scott 等及其他科学工作者全面深入地研究了 this 理论, 并将它用来解释肌肉收缩等多种生理现象, 获得了一定

成功^[7-12]. 而理论的研究主要集中在两个方面: 一是 Davydov 理论的精确性; 二是 Davydov 孤立子的热稳定性和理论的实用性.

在 80 年代初期, Scott 等人认为(1), (2)式的 Davydov 方程组未能全面反映蛋白质分子中各种偶极矩相互作用能的影响. 他们加进了这些相互作用, 提出了修正的 Davydov 方程组^[7], 并进行了具体的数值计算, 求出了 Davydov 孤立子的振动结构. 作者又采用特殊方法第一次求出了它的严格解析解, 给出了 Davydov 孤立子的一些奇异特性^[8], 增强了人们对 Davydov 孤立子的本性认识. 最近 Olsen 等人^[9]用分子动力学编码方法来表示沿螺旋轴方向的力学传递. 在研究中他们发现修正的 Davydov 方程组仍未完全考虑真实的 amide-I 振子之间的各种相互作用. 另外, 在一个实际的 α -螺旋蛋白质分子中, 可能还有一些自由度通过一些附加的衰减机制妨碍了孤立子的运动, 或通过一些较独特的弯曲和扭转组合畸变来改变孤立子的状态. 这在 Davydov 方程的动力学特性的研究中都是应当加以考虑的.

关于 Davydov 理论的实用性就是指 Davydov 孤立子在生理温度 300—310K 时是否稳定存在, 它的寿命是否足够长, 长到它能完成传递生物体的能量和信息的任务, 这是 Davydov 理论能否存在下去的一个关键问题. 如果在这个温度下, 它的寿命极短, 便无法起到它应有的作用, 则 Davydov 理论再好也没有意义了. 对于这个问题分歧意见较大, 大多数人持否定态度. 尽管 Scott 等人用数值计算法得出了 Davydov 孤立子在 300K 时仍能存在, 但 Lomdahl 等人通过对 Davydov 方程附加一个涨落项和色散项的办法所作的数值计算表明, Davydov 孤立子在 300K 时的寿命太短而无法生存, 也没有任何生物学运用价值. 令人信服的论证是 Cottingham 等人^[10]用量子力学的微扰理论方法计算了 Davydov 孤立子在 300K 时的寿命仅达 10^{-12} — 10^{-13} s. 在这段时间内, Davydov 孤立子只能走过不到十个氨基酸分子的距离而失去了生物学意义, 因而无法承担起传递生物能量与

信息的功能. Wang 等人使用蒙特卡罗方法和单螺旋线模型去计算了 Davydov 哈密顿算符的本征态的热力学平衡特性, 得到了在 300K 时 Davydov 孤立子是极不稳定的结论. 另外, Forner 等人 and Lawrence 等人都作过温度效应的研究^[11,12], 并也得出过相同的结论. 看来 Davydov 孤立子不大可能在 300K 的生理温度范围内存在而去完成它的生物功能. 这个结论也可以从 Davydov 本人得到的孤立子宽度反比于 $(1 - T/T_0)$ $\left[T_0 = \frac{\pi}{2} \frac{\hbar}{K_B} (\sqrt{\frac{W}{M}}) \right]$ 的公式中得到证实. 在 $T = T_0$ 时, 孤立子变成了一个无限宽的扩展态(这不是孤立子状态). 对于三螺旋蛋白质模型来讲, $T_0 = 100$ — 120 K, 即 Davydov 孤立子也不可能在 300K 的温度下存在下去.

基于这些问题, 在 1989 年在丹麦召开的专门讨论 Davydov 孤立子的国际会议上, 代表们一致认为 Davydov 理论是一个十分粗糙和不完善的理论, 需要改进和发展^[11,12]. 但又如何改进和发展呢? Takeno 等人建议关于自陷量子振动能量的 Davydov 描述应修改为表示允许振动量子数随时间而改变. 它可以通过把迁移偶极算符 $J(B_n B_{n+1}^+ + B_n^+ B_{n+1})$ 改变成为 $J(B_n + B_n^+)(B_{n+1} + B_{n+1}^+)$ 来得到. Lindenberg 和 Miglioni 等人拥护这种观点, 但得到的结果并不理想. Wang 等人从改进计算方法出发, 也未得到好的效果. 看来只动“小手术”改进计算方法是无法收到好的效果的. 必须对蛋白质分子中的集体激发特性进行重新认识和重新研究, 才可能收到好的效果.

近几年来, 我们认真分析了 Davydov 理论之所以不适合于生物蛋白质分子系统的重要原因, 是 Davydov 理论是他多年研究的一般分子系统的孤立子理论机械地移植到蛋白质分子中来造成的^[5]. 但生物大分子的蛋白质是不同于一般分子系统的, 它是一类生物自组织系统^[6]. 因此在建立描述该体系中集体激发的哈密顿函数和波函数时, 必须考虑这个基本特性, 不能机械照搬. 我们在分析由 ATP 水解作用

等提供的能量而引起的蛋白质分子的结构畸变和局域性涨落的特点后,给出了一个较为全面

$$H = \left(\frac{1}{2m} \sum_i p_i^2 + \frac{1}{2} m \omega_0^2 \sum_i r_i^2 - \frac{1}{2} m \omega_1^2 \sum_i r_i r_{i+1} \right) + \left(\frac{1}{2} M \sum_i R_i^2 + \frac{W}{2} \sum_i (R_i - R_{i-1})^2 \right) + \left(\frac{1}{2} m \chi_1 \sum_i (R_{i+1} - R_{i-1}) r_i^2 + \sum_i m \chi_2 (R_{i+1} - R_i) r_i r_{i+1} \right). \quad (4)$$

在这里我们不但考虑了低频声学声子的作用,而且也考虑了纵向光学声子的作用,同时还考虑了 amide-1 振子与所在氨基酸分子及相邻氨基酸分子的振动量子(声子)之间的相互作用.并且我们还论证了在这个具有自组织特征

$$|\Phi\rangle = |\varphi_i\rangle |\beta_q\rangle = \left(\frac{1}{\lambda} \sum_{nn} (1 + \varphi_{nn}(t) B_{nn}^+) \right) |0\rangle_{\alpha_x} (\exp \{ \sum_{mq} (a_{mq}^*(t) \hat{a}_{mq} - a_{mq}(t) \hat{a}_{mq}^+) \} |0\rangle_{\beta_h}). \quad (5)$$

再采用新方法,得出了与 Davydov 理论迥然不同的结果.例如其孤立子的能量为 $12-36\text{cm}^{-1}$,与实验值 15cm^{-1} 相当接近,但 Davydov 理论得到的孤立子能量为 1.3cm^{-1} ,与实验值相差甚远.我们还得到激子速度 $v_k = 10^3\text{ms}^{-1}$,声速 v_{aq} 为 $5 \times 10^3\text{ms}^{-1} \leq v_{aq} \leq 10^4\text{ms}^{-1}$,与实验值 $(3.6-4.8) \times 10^3\text{ms}^{-1}$ 接近.但 Davydov 理论得到的 $v_{aq} = 100\text{ms}^{-1}$,与实验值相差较远.计算了由新孤立子运动产生的比热与实测值吻合.因此我们的理论获得了很好成功,被国外专家称为 Pang's 理论.最近我们又研究了这类新孤立子的温度效应,发现这类新孤立子的振幅虽然随温度而改变,但在 310K 时,这类孤立子仍是稳定的.单就温度的影响来讲,在 310K 时仅比 10K 时增加了二至三倍.但若又考虑由温度不等于零而引起的分子链非线性振动效应对孤立子振幅引起的减少的抵消作用后,这孤立子在 310K 的振幅变化不大,因而保持稳定.临界温度可达 $348-359\text{K}$.我们还计算这类孤立子在 310K 时的寿命可达 $10^{-9}-10^{-8}\text{s}$,与 Princeton 大学 R. Austin 等人实测结果 10^{-10}s 很接近,在这段时间内,它可通过大约 10^4 个氨基酸分子.这表明这类孤立子足够能承担起自己的生物功能,在生物学过程中是非常有用的^[15].另外我们又论证了这类孤立子的量子特性,非线性振动对它的影响,超声速运动特征,自发辐射效应,拉曼散射以及穆斯堡尔效应等问题,都获得了较合理的结果.说明我物理

反映蛋白质分子的动力学特征的哈密顿量^[13]:

的蛋白质分子中所产生的集体激发所具有的相干特性^[14],因而应当用相干态波函数(即我们的波函数)^[13],而不是 Davydov 波函数来描述这种状态.该体系的波函数应当表示为

们的理论是正确的,适合蛋白质分子系统.

关于蛋白质分子的生物能量由孤立子传递的实验研究已由 Webb 和 Careri 等人^[16]对与它的结构完全相似的 $[\text{CH}_2\text{CONHC}_6\text{H}_5]_x$ 分子晶体中的拉曼光谱和红外谱测试和 Faun 等人对蛋白质分子所作的自由电子激光脉冲测试以及 BobKnoK 等人的微微秒泵-探针实验测定工作中所证实.看来以上的理论是正确的.

三、核酸中的孤立子及其生物功能

对于另一类生物大分子——核酸(DNA 和 RNA)则是生物遗传的物质基础和生物遗传信息的负载者,包括人在内的生物之所以能一代一代相传下去,就是由 DNA 分子的解链和复制功能引起的.并且它还可用来制造蛋白质的模板.然而人们一直未弄清楚这个复制过程是如何完成的.因而对生物遗传与变异及癌症等疾病的原因一直未弄清楚.实验测定复制叉的移动速度,对原核细胞约为每秒 1000 核苷酸,对于真核细胞约为每秒 100 核苷酸.这速度大约为 10^{-5}cms^{-1} 的数量级.如果我们把解链过程看成机械的螺旋转动,则 DNA 的转动速度大约应为 $10-100$ 转/秒.这么大的速度,对 DNA 的运动来讲是无法理解的.但若把 DNA 的解链看成一种量子力学的构象改变,运用微观动力学理论可以估计出复制叉的移动速度约为 10^5cms^{-1} ,大大高于实验值.若放弃微观动

力学观点,采用统计力学的途径,可得到合理的复制叉速度,但又难于解释解链与复制的高度有序性.看来 DNA 的解链与复制是一个非常复杂的问题.但我们最近利用 DNA 的孤立子运动和分形理论可能对这个问题有较合理的解释.

关于 DNA 中的孤立子运动,最早由 Englander 等人^[17]研究过,以后 Yomosa^[18]等人及我们^[19,20]对 B-DNA 的平面基转子模型的孤立子理论也作过广泛、深入的研究.近似认为

$$I_n \ddot{\varphi}_n = J_n [\sin(\varphi_{n+1} - \varphi_n - \varphi_0)] + J'_n [\sin(\varphi_{n+1} - \varphi_n - \varphi_0)] + h_n \sin \varphi_n - \lambda_n \sin(\varphi_n - \varphi_n) - \chi_n \sin(\varphi_n - \varphi_n) + 3\beta_n \cos \varphi_n \sin \varphi_n - \alpha_n \sin \varphi_n, \quad (6)$$

$$I'_n \ddot{\varphi}'_n = J_n [\sin(\varphi'_{n+1} - \varphi'_n - \varphi'_0)] + J'_n [\sin(\varphi'_{n+1} - \varphi'_n - \varphi'_0)] + h_n \sin \varphi'_n - \lambda_n \sin(\varphi'_n - \varphi'_n) - \chi_n \sin(\varphi'_n - \varphi'_n) + 3\beta_n \cos \varphi'_n \sin \varphi'_n - \alpha_n \sin \varphi'_n, \quad (7)$$

作者曾对这组差分方程在分立与连续近似下的解作过研究,发现 DNA 有包括混沌状态在内的各种空间构象和局域性涨落态存在.同时也存在各种各样的孤立子激发.利用这些孤立子的不同性质及其变化特点,借助于各种酶(如解链酶、旋转酶、拓扑异构酶、引发酶和连接酶等)的参与,在 Mg^{+1} 离子和其他调节因子及恰当的生化反应过程的配合下,解释了 DNA 的解链与复制过程以及转录过程.指出了 DNA 的这种复制过程是一种分形现象,其分维数为 0.63. 正常的分形造成了一代一代的相传,不正常的分形造成了遗传的变异和癌症等疾病的发生.以上这些结果看来较为合理.这种孤立子理论已为室温下 DNA 的自行打开与关闭的氘-氘交换实验结果和 DNA 的激光拉曼光谱实验所证实,当然这里还有许多问题值得进一步研究.

但以上这个理论的自身弱点也仍存在.它仅考虑了 DNA 中碱基的相对运动,而未考虑组成 DNA 的其他两部分:脱氧核糖和磷酸根及碱基在 ATP 水解作用等的刺激下,引起的局域性涨落和结构畸变所产生的分子内部的激发状态,从而在 DNA 中缺少生物能量与信息的传输过程和交换变化.最近我们考虑了这一效应,运用在蛋白质分子中较为成功的 Pang's 理论,研究了包括碱基在内的整体 DNA 的动

DNA 的碱基(C. T. A. G)是一个平面转子.双螺旋中的两个转子在 ATP 水解作用和外界刺激提供的能量的作用下,可分别绕着螺旋轴转动(其转角为 φ_n 和 φ'_n),从而改变了 DNA 的构象,引起互补碱基之间的氢键能,相邻碱基之间的堆积能和螺旋状扭转能,碱基集团之间的范德瓦尔斯相互作用能和 Fr ohlich 吸引能等的变化.考虑到这些效应,我们把第 n 个互补碱基的运动方程表示为^[19,20]

力学特征^[20],得到了在 DNA 中存在着前面讲的结构孤立子,还存在传递生物能量与信息的传播孤立子.它们之间密切配合,互相合作,完成了 DNA 的生物功能(如复制、转录、转释信息存储、遗传与变异、基因表达等)以及 B-DNA 和 A-DNA 与 Z-DNA 态之间的相互转化,得到了较为合理的结果.目前这方面的研究工作还在进行.

由以上的研究可以看出:生命活动是紧密地与孤立子运动相关的.这主要是由于生物的各个组织以及组成它的生物蛋白质和核酸都是一类生物自组织.这种生物自组织是一个典型的非线性系统,从而在其中造成了各式各样的孤立子.同时生物功能的完成,例如生物的生存,必须要正确判定外界刺激的大小与性质,作出恰当的反映,这就需要能量与信息传输的无损失的保真性.要做到这一点,必须要孤立子才能完成,而其他形式的载流子(如电子、空穴、激子等)各种各样的准粒子,以及各类弹性波等都不可能承担起这一任务.因此生命孤立子的研究显得非常重要.它是揭示生物奥秘,认识生命的特性和本质的一个关键.深入研究它,对于发展整个生命科学有着极其重要的作用.

[1] 郭柏灵、庞小峰,孤立子,科学出版社,(1987),1.

[2] Pang Xiao-feng(庞小峰),*J. Low. Temp. Phys.*, 58

- (1985), 334; 新疆大学学报(自科版) No. 3(1988), 33; 低温与超导, No. 4(1989), 13.
- [3] Wu. J. Kealian. R and Rudnick. I, *Phys. Rev. Lett.*, **52**(1984), 1421.
- [4] 崔洪农等, 水动力学研究与进展, No. 1(1991), 18.
- [5] A. S. Davydov, *J. Theor. Biol.*, **38**(1973), 559; *Phys. Scr.*, **20**(1979), 387.
- [6] 庞小峰, 大自然探索, No. 3 (1987), 125; 医学物理, No. 3(1986), 8; 西南民族学院学报(自科版), No. 4(1992), 276.
- [7] A. C. Scott, *Phys. Rev. A*, **26**(1982), 578; *A*, **27**(1983), 2768; *Phys. Scr.*, **25**(1982), 651.
- [8] 庞小峰, 生物化学与生物物理学报, **18**(1986), 1; 原子与分子物理学报, No. 4(1986), 275; 运用数学学报, **10**(1986), 287.
- [9] O. H. Olsen, et. al., *Phys. Rev. A*, **38**(1988), 5856; **39**(1989), 3130.
- [10] J. P. Cottingham et al., *Phys. Rev. Lett.*, **62**(1989), 223.
- [11] P. L. Christansen and A. C. Scott(eds), *Davydov's Soliton Revisited*, Proc. Workshop on Self-Frapping of Vibrational energy in Proteins, Plenum Press, London, 1990.
- [12] A. C. Scott. *Physica D*, **51**(1991), 331.
- [13] Pang Xiao-feng(庞小峰), *J. Phys. Condensed matter* **2**(1990), 9541; 原子与分子物理学报, No. 1(1987), 383; Proc. 10th IBPC Canada Vancouver, (1990), 371.
- [14] 庞小峰, 原子与分子物理学报, No. 3(1989), 1235.
- [15] Pang Xiao-feng(庞小峰), proc. 6th ICMP, ShanYang, (1992), 26.
- [16] G. Careri. et. al., *Phys. Rev. Lett.*, **51**(1983), 304; *Phys. Rev. B*, **30**(1984), 2674.
- [17] S. W. Englander. et. al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, **77**(1980), 7222.
- [18] S. Yomasa, *Phys. Rev. A*, **27**(1983), 2120; *A*, **30**(1984), 474.
- [19] 庞小峰, 西南民族学院学报(自科版), No. 2(1992), 133; 高压物理学报, No. 2(1992), 116.
- [20] Pang Xiao-feng(庞小峰), Proc. 10th IBPC (Canada 1990. August) and Proc. ICMP, Wechan, (1991), F4-1.

光纤孤子通信原理和研究进展

钟卫平* 李中辅

(武汉大学物理系, 武汉 430072)

欧阳荣

(赣南师范学院物理系, 赣州 341000)

光纤孤子通信是一种全新的高速大容量长距离通信技术. 它是一种非线性通信, 和下一代最有发展前途的通信方式, 其信息传输容量比现有最好的线性通信系统还要高一至二个数量级. 该文介绍了光纤孤子传输理论, 光纤孤子通信技术的发展和有关的研究成果.

1966年英籍华人高锟提出光纤可以用作通信的传输线, 虽然当时制造的光纤损耗高达1000dB/km, 但到1980年, 日本利用轴向沉积法生产出损耗为0.2dB/km的普通石英光纤, 促使光纤通信技术有了迅速的发展.

光脉冲在光纤中传输时有光损耗, 使光的能量不断地衰减, 因而能使用的光纤长度是有限的. 为了实现长距离光通信, 就得在一定距离建立中继站, 把衰减的信号反复增强, 因而光纤损耗决定了光信号被增强之前可传输的最大距

离. 而光纤色散限制了光通信系统的传输容量, 色散越小, 光信号所携带的信息容量就越大, 例如光脉冲的脉宽由1000ns减小到1ns, 则所传输的信息容量将由1Mbit/s增加到1000Mbit/s. 为了增大光脉冲的传输距离和信息容量, 美国学者哈瑟加瓦(A. Hasegawa)在1973年就提出了光纤中实行光孤子(optical soliton)传输的概念^[1]. 1980年, 得到了莫勒瑞尔(L. F.

* 现在单位: 广东惠州市邮电局, 惠州 516012.