

1980年生物物理学 学术会议文集

中国生物物理学会 编

科学出版社

1980 年 生 物 物 理 学 学 术 会 议 文 集

中国生物物理学会 编

科 学 出 版 社

1 9 8 2

内 容 简 介

本书收集了1980年中国生物物理学会成立大会暨第三届全国生物物理学学术会议上宣读的综述报告、分组会上部分发言稿共三十二篇。文章内容概括阐述了国内外有关生物物理学及其分支学科研究进展情况和今后的发展趋势;简要介绍了应用于生物物理学研究的一些新技术、新方法。书末还附有大会专题论文目录。

本书可供生物物理学专业、其他生物物理学专业科研工作者及大专院校生物系师生参考;也可供对生物物理学有兴趣的医学、物理学等专业的工作者参考。

1980年生物物理学 学术会议文集

中国生物物理学会 编

*

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982年6月第一版 开本:787×1092 1/16

1982年6月第一次印刷 印张:6 1/2

印数:0001—2,900 字数:142,000

统一书号:13031·1895

本社书号:2572·13—10

定价: 1.05 元

前 言

本书是根据中国生物物理学会成立大会暨第三届全国生物物理学学术会议上宣读的综述报告及分组会上的部分发言编辑而成的。其中综述报告六篇,书面中心发言二十四篇(有些篇为摘要性的)。这些论文、报告都是代表们比较感兴趣的。

中国生物物理学会成立大会暨第三届全国生物物理学学术会议是一九八〇年五月四日至九日在北京召开的。开幕时中国科学院生物物理研究所所长贝时璋同志高兴地说:“在八十年代的第一个春天,生物物理学会正式成立,揭开了我国生物物理学发展的新篇章。”“当前大力加速生物物理学的发展,不仅符合自然科学发展的必然趋势,而且也是祖国‘四化’建设提出的迫切要求,在理论和实践上都有极其重大的意义。”贝时璋同志还向有关领导部门呼吁,要“重视和加强生物物理学学科的组织领导,重视和加强生物物理学专业人员的培养和提高,使生物物理学在今后二十年里有一个飞跃,为我国社会主义建设发挥更大的作用。”

中国科学院副秘书长李苏同志代表中国科学院党组对大会表示祝贺,并且着重讲到各学科间相互渗透的意义和促成数理化新技术向生物学渗透的问题。他指出,今后培养的新一代生物学工作者要有比较坚实的数理化基础知识,要鼓励并创造条件使一些从事物理、数学、化学研究工作的科技人员转向生物学研究领域,要提倡在第一线从事研究的中青年生物学研究骨干,补上有关的数理化基础。

参加大会的科学研究单位和高等院校共 82 个,代表约 200 人,收到论文、报告共 260 篇。代表们对发展我国生物物理学充满了信心和决心,情绪高昂。

许多未能到会的同志也都十分关心会议情况。北京农业大学娄成后教授从出差地发来贺信,表示今后一定要为学会尽力。远在比利时布鲁塞尔自由大学生物物理与放射生物学实验室学习的复旦大学教师罗祖玉同志,特地与他所在小组的负责人 Jean Rommelaere 合作赶写了一篇论文并寄来了该文的摘要。法籍中国科学家、前法国科学院研究员宋守信来信对不能赶来参加大会表示遗憾,并提出申请加入中国生物物理学会,愿为祖国效劳。中国科学院植物研究所所长汤佩松教授,还“以一个一向对生物物理学深感兴趣的科学工作者和对生物物理学在我国大力开展的支持者”的身份,致函大会主席团,预祝大会胜利成功,并祝“万家一心,团结起来,把我国的生物物理学工作推上世界高峰”!

大会共宣读了八篇综述性论文:沈淑敏:“生物物理学与四个现代化”;贝时璋:“对我国生物物理学发展的几点希望”;林克椿:“分子生物物理学的现状与展望”;程极济:“蛋白质与核酸的激发态与能量转移”;谈镐生:“谈谈生物力学”;徐京华:“生物分子手性动力学”;范世藩等:“兴奋研究的进展”;汪云九:“关于生物控制论和生物信息论的一些情况”。这些报告综述了生物物理学不同分支的国内外研究进展情况及今后的发展趋势,有的还提出了个人对一些学术问题的见解和对我国发展生物物理学及开展具体研究课题的意见。

为了活跃学术气氛,充分进行面对面的学术交流,会议的学术交流活动改变过去逐篇宣读论文的方式,增加了新颖的科学墙报展讲的交流形式。共展出墙报 128 篇。在科学

墙报展讲大厅里,气氛十分活跃,论文作者担任讲解员,代表们有目的地阅读自己感兴趣的论文,而且能够面对面地向论文作者请教、展开讨论。代表们反映,科学墙报展讲既可节省时间,又能抓到实质问题深入讨论,是一种名副其实的“交流”形式。

为了便于学术交流,会议代表分成六个小组——分子生物物理组、细胞生物物理组、辐射生物物理组、生物组织的物理性质组、生物信息论与控制论组和理论生物物理组——进行专题讨论,集中讨论了以下几个共同性问题:荧光方法在分子生物物理学研究中的应用;生物膜的流动性;细胞超微结构;DNA 的辐射损伤与修复;辐射与生物系统的作用原初过程;细胞电位;生物流变学与细胞电泳技术;视觉系统的图象识别;生物系统的调节与控制;生物有序性的起源、进化和度量;生物分子间相互作用的本质和特征。

分组专题讨论,是本届会议学术交流的高潮。由于在会前各组都有了比较充分的准备,确定了讨论的专题和主讲人,因此讨论会内容丰富,气氛热烈,有全面的介绍、系统的论述,有即时的补充、讲解,也有争论。通过讨论,代表们从中都得到了收益。

根据分组交流的情况,代表们还自由组织了内容更为深入的小型座谈会和讨论会,并就各单位的生物物理学科研和教学工作情况进行了交流。

中国生物物理学会五月八日在北京正式成立,第一届理事会由 31 名理事组成(台湾省一人暂缺)。在第一届理事会第一次全体会议上,选出常务理事 11 人,选举贝时璋同志为理事长,林克椿、徐京华、程极济三同志为副理事长,沈淑敏同志为秘书长。

五月九日下午举行大会闭幕式。闭幕式由学会理事长贝时璋同志主持。在宣读了理事会选举结果、通过了“中国生物物理学会章程”之后,由学会副理事长林克椿同志致闭幕词。他总结了大会进行的综述报告、科学墙报展讲和专题讨论会三种形式学术交流活动的情况和理事会选举情况,并强调指出,通过本届学术会议的召开可以看到,虽然经过了十年浩劫,我国生物物理学还是取得了较大的发展。这表现在:研究工作中已经和正在引进许多现代新技术;出现了一些好的研究成果;数学、物理、化学等方面的研究人员和工程技术人员已经加快了向生物学领域渗透的步伐。他最后说,我们的学会今后一定根据与会代表和会员们的意见,有计划地开展经常性学术交流,举办一些训练班、培训班,加强与国际生物物理学界的学术交流,为我国生物物理学科研、教学工作的发展作出应有贡献。

全国科协书记处书记林渤民同志也参加了闭幕式并讲了话。

在一片热烈的掌声中,学会成立大会暨第三届学术会议圆满结束。

由于篇幅所限,部分专题论文、摘要未能编入,表示歉意。计划另行发表的也未编入。

中国生物物理学会

1981 年

第一届理事会名单

贝时璋	林克椿	徐京华	沈淑敏(女)	邹承鲁	范世藩	李 昆
刘育民	程极济	谈镐生	梅镇安(女)	杨同堂	王天铎	杨福愉
高戈伍	郑竺英(女)	卢 侃	姜成后	吴云鹏	梁子钧	方世国(女)
杨文修	秦家楠	陈惟昌	郑荣梁	孙 凯	周佩珍(女)	黄婉治(女)
李德平	吕克定	台湾省一人(暂缺)				

目 录

前言	(iii)
对我国生物物理学发展的几点希望	贝时璋 (1)
生物物理学与四个现代化	沈淑敏 (11)
分子生物物理学的现状与展望	林克椿 (16)
蛋白质与核酸的激发态与能量转移	程极济 (20)
谈谈生物力学	谈镐生 (25)
兴奋研究的进展	范世藩 胡式泠 (28)
用荧光探针菲啉溴红研究 DNA 的二级结构	曹恩华 (33)
荧光偏振在分子生物物理学中的应用	聂松青 (36)
荧光漂白恢复技术——一种研究细胞膜侧向迁移的新方法	刘子遥 蒋连伟 (39)
生物膜的流动性	杨福愉 (42)
生物膜结构流动性的若干基本概念	刘树森 (45)
差示扫描量热计研究生物膜的流动性	胡粹青 (47)
冰冻断裂电镜技术研究人工膜(脂质体)与生物膜相变和分相	黄 芬 (48)
生物膜流动性的生理意义	潘华珍 (50)
细胞膜结构	程 时 (52)
核糖体超微结构与功能研究新进展	赵慧娟 (54)
横纹肌收缩亚显微结构基础的研究	范世藩 (56)
电子探针 X 射线显微分析法在生物学中应用的现状和展望	钟慈声 (58)
从生物大分子的电子显微照片进行三维重构	管汀鹭 程乃乾 (60)
辐射与生物系统作用的原初过程	沈 恂 (62)
微波生物学效应的宏观理论与基本规律	吴殿恺 (66)
激光的生物效应	刘炳荣 (70)
造血干细胞在辐射损伤与恢复研究中的意义	吴祖泽 (72)
微剂量学	张仲纶 薛良琰 (74)
电子顺磁共振技术应用于放射生物学的进展	纪极英 (77)
微电极技术新进展及其在生物医学中的应用	吴本玠 (78)
生物控制论——问题和发展趋势	黄秉宪 (82)
系统理论用于生理学研究的一些近况	刘曾复 潘 华 (84)
脑的机能和生物物理学	陈惟昌 (85)
关于神经系统中信息加工的两个问题	吴本玠 (86)
蝇眼视觉系统的信息加工	郭爱克 (88)
视觉系统的工程模拟	陆惠民 王今著 (89)
附录 大会专题论文目录	(90)

对我国生物物理学发展的几点希望

贝 时 璋

(中国科学院生物物理研究所)

生物学是研究生命的科学。生命的特征就是活的。但研究活的生物和生物样品,由于现在还受实验手段的限制,往往要在致死以后才能进行。特别是研究越深入、越精细,进行活体研究越困难。因此,研究生物学往往需要把活的和致死的生物和生物样品(有时要用提纯的)结合起来进行。这样相辅相成、取长补短的进行研究,对于阐明生命现象及其本质,效果会更好。研究生物物理看来也是这样。

什么叫做“活”?根据生物物理学的观点,是否可以这样讲:所谓“活”,无非是自然界三个量综合运动的表现,即物质、能量和信息在生命系统中无时无刻地不在变化。这三个量有组织、有秩序的活动是生命的基础。无生命物质就不是这样。因而,我们把生命看成是自然界的高级运动形式。生物体内的这种运动、这种变化既很复杂,又极迅速。这种复杂快速的反应,利用现代的新技术,其中有些已经开始可以进行测量和分析了。经过以后研究结果的不断积累和充实,以及新技术的不断改进和提高,相信将来对生命系统中三个量的相互关系、运动规律和发展规律,一定能得到更好的阐明。

举一些例子来说明研究生命三个量的重要性。

生命的一个重要活动,便是在常温常压下的生物催化。而生物的主要催化物质(催化剂)就是酶。酶的催化速度、效率、特异性等等,是任何其他天然和人工的催化剂所不能与之比拟的。酶的重要性,不仅表现在参与去氧核糖核酸的复制、去氧核糖核酸转录核糖核酸、核糖核酸翻译蛋白质,而且还非常广泛地参加各种各样的生命活动。例如,肌肉收缩、神经传导、感觉功能、呼吸、消化、生长、发育、遗传、变异、整个新陈代谢、能量转化、信息加工、以至各种思维活动等等。生物的活动如果没有酶参加,就不好理解。而研究酶,要研究其物质是无疑的(如酶的蛋白质性质),同时催化作用亦需要能量(如释放高能磷酸键),而某一催化反应是否在某一时刻进行,又受其他反应的影响(如 cAMP),这也就是信息在起作用。因此,整个生命过程中贯穿了物质、能量和信息这三者的变化、协调和统一。此外,在一切生命活动中都需要消耗能量或产生能量以及能量转化等。据有人研究,动物的记忆活动与核酸和蛋白质有关系,并认为,它们是记忆的物质基础,可能还是记忆的存储元件。同时,还认为记忆是信息的储存,学习则是信息的加工。所以,学习和记忆的过程,也有物质在活动,进行着能量转化,进行着信息加工。由此可见,探明物质、能量、信息三者的关系及其运动和变化规律,对于阐明生命的本质,无论从理论和实践看,意义都是十分重要的。从生物物理学的角度开展这方面的研究,会起很大作用。

生物是发展的。随着个体发育和系统发育的进展,生物的物质结构越来越复杂、能量利用越来越精密、信息量越来越增大。生物物理学,一方面要研究各种生命活动的量子效应、信息处理、物质和能量变化的机理;另一方面,要与宏观结果联系起来,将其中整个过

程加以分析和阐释。生物物理学不仅要研究生物在亚分子水平、分子水平、分子聚集体水平上找出生命活动的规律,也要探索从亚分子水平、分子水平、分子聚集体各级水平有组织、有秩序的活动,如何影响细胞、器官以至整体各级水平生命活动的规律。因此,我们一方面要重视量子生物学、分子生物学和细胞生物学的发展;另一方面,也要对现阶段比较宏观的重要领域,如生物控制论、信息论,生物热力学等广泛开展研究。

圣-乔其把生命现象与构成生命物质的分子、原子以及亚原子、粒子的行为联系起来;并认为,要是人们对生物所有结构和功能、所有水平——从电子水平到超分子各级水平连成一体作出全面的了解,那就有可能阐明生命的本质。

从生物物理学的发展看,另一个重要问题,便是如何使生物物理学逐步地成为定量科学。

作为定量科学,首先要求把实验数据能重复地加以确定以及把所得的测定数据能在适当的坐标系统中进行正确处理。这是先决条件。但只满足这些要求,还是不够的,还不能真正称为定量科学。对于定量科学更重要的是,要求能提出和建立广义理论,或带有广泛意义的定律和法则,或对于阐明某一自然规律具有普遍性的意义。

生物物理学不是一般的研究物理,而是研究生物的物理。因此,要把生物这样复杂的对象完全简化为物理来描述,那是不现实的。但是用物理学的概念和方法对生物进行研究和讨论,现在已经有了条件,而且是非常必要的。所以,现阶段我们开展生物物理的研究,特别是在基础理论方面应该着重下列两点:一方面,要把复杂的生命系统用物理概念和方法尽可能地加以合理的简化来进行研究;而另一方面要有更大的比重,利用现代化仪器技术广泛地开展生物物理学的实验研究,从而多多取得正确的数据,为创造理论和丰富实际作出贡献。这样就有可能使生物物理学逐步地成为定量科学。

从生物物理学当前和今后的发展,我认为下列六个问题应引起重视。

一、生物系统中力的作用

生物物理学对于生命系统中力的作用,首先要给以应有的重视。因为,这里可以看到由多重能级、不同类型的物质和复杂的动力学所构成的精细结构。例如,生物的多分子聚集体这种超分子水平的结构,如大家熟知的核糖体、溶酶体及所谓“微粒体”等结构。根据量子力学,力的作用距离与探测此作用距离所需的能量转移是密切相关的。生物系统各层次(水平)——分子、分子聚集体、亚细胞、细胞、组织等的有序结构,主要决定于分子内和分子间的各种力发生有组织的协同作用。系统越大,层次越多,力的相互作用越复杂,分析起来也就越困难。对于处理多分子系统的相互作用,统计力学和热力学可能是有效的方法。

根据物理学的观点,自然界的一切物体都是通过四种力,即引力、电磁力、强相互作用力和弱相互作用力而起作用的。各种力都可以用两个重要参数来表示,即作用距离和耦合强度。在生命系统中,四种力都起着作用。但过去只着重于弱相互作用的研究,例如对各种弱键的探讨。就蛋白质来说,一级结构的主链,是共价键,而二、三级结构,是由较弱的作用力所决定。如蛋白质加热变性,较弱的作用力先受到摧残,于是二级和三级结构都被破坏。这时,多肽链虽然仍可维持,而链上的有序构型则成为无规状态。弱力所起的作

用,相对地来说是不稳定的,但在生物系统中起的作用,却十分重要。这是生物物理学研究生物结构和功能值得注意的一个问题。一般说来,生命世界是没有新的能量标度可以寻找的,但是否真是这样?还有待以后的研究来回答。至于电磁相互作用在生物系统的作用如何?下面的叙述中还会涉及到。

在物理科学和生物科学中,广泛存在的一个问题,便是序、结构、稳定性、自聚集等决定于短程力,还是长程力?

原子和分子周围存在着短程力场。这个概念根据对原子、分子形状和几何的分析,认为是合理的。本世纪初期 Langmuir 研究脂类单分子层的聚集和吸附,曾确定短程力的重要性。短程力的重要已为现代生物学工作者所熟知。凡空间构型、分子几何等无不与之有关。现代生物学讨论蛋白质、DNA、生物膜等的结构,其中关于疏水和亲水相互作用、氢键(氢桥)、分子各种包装(缩合),与短程力的作用也是分不开的。

关于长程力的作用也是值得注意的。在生物系统中,较大的物体的静电相互作用,电解质的表面性质,聚集体的原子间弥散力,都属于长程力的作用。胶体粒子的稳定性和相平衡,也由长程力所决定。而对于脂类物的结构,胶束、生物膜,则短程力起着主要作用。在各个结构系统中,短程力和长程力都可居主要或次要的作用地位。从理论上探讨,统计力学可能是重要的研究手段。

氢键(氢桥)要着重地提一下。对生物大分子的结构进行观察,可以发现,根据原子距离就有各种不同键,如共价键、离子键范德瓦耳斯相互作用等。两个电子偶相互作用的能量在一个氢原子上,相当于共价键和范德瓦耳斯相互作用之间的能量。用这样一个能量数量级的系统,可以来描述氢键。范德瓦耳斯力,无论在物质和生命系统中,都是广泛起作用的一种力。第一个用量子力学正确地处理原子间的范德瓦耳斯力的,是我国物理学家王守竞。一九二七年,他就得到了使人满意的有关范德瓦耳斯力的近似值,至今还在文献中被引用,还被人们所公认。

圣-乔其特别指出,在生物系统中,电荷转移的相互作用具有重要意义。Ladik 根据 DNA 和蛋白质能带的计算,认为 DNA 和蛋白质之间存在着电荷转移。另一方面,具有硫氢基的化合物,也有可能把它的额外电子转移给某些多肽的导带,这样也可形成电荷转移的反应。这都说明电荷转移是生物大分子的重要作用,同时,也是氢键作用的重要标志。作用于形成氢键的力,现已能测定的有:分子间的静电相互作用,分子的相互极化,共价键合力,电子间斥力等。所以,从化学键来看,除电子作为基本粒子进行连接外,也可用氢原子核,即用氢键作为连接。氢键是一种较弱的键,是由氢核(质子)来承担的。这里涉及的是一种静电的作用,就像两个带负电的原子在竞争着一个质子。在生物的结构中,分子内和分子间的氢键非常重要,因为它对维持生物大分子及其聚集态的形状和构型有决定性的作用,它把主链上的一定基团,相互间横的或斜的连接起来。

关于氢键的质子态。分子间或分子内组成氢键,总是其中一个分子或分子的其中一个部分给出质子,称为质子供体。另一个分子或分子的另一个部分对组成氢键则供出一个自由电子偶,叫做电子供体。因此,可以设想,在氢键连接中,从一个分子到另一个分子,可产生一个质子转移,成为键连接中的一个极性形式。在分子内组成氢键时,则分子内部可经过 π 电子的传递,即电子转移而产生电荷的平衡形式。连接电子的来源,可由残基也可由氢原子供给。质子则由连接中所形成的电子态,用阴性电子云紧握起来。总之,生物

系统中力的作用,研究的还很少,生物物理学将有可能去发现其中更多的原理。

附带地在这里提一下。一个现代化的研究工具是利用科学研究用的反应堆所提供的,主要能量范围在 0.1—200 毫电子伏 (meV) 之间的低能中子流。聚集态物质的内部粒子各种运动,例如晶格振动、磁矩的扰动、液体中分子的扩散、不同分子或分子团间的振动、旋转离子迁移等等,所涉及的能量(吸收或放出)大致也在几个至几百个毫电子伏的范围内,正好与低能中子的能量同一数量级。因此,利用低能中子散射来研究生物的某些聚集态物体及其动态结构,是很有意义的。

二、生物所利用的基本粒子

据目前所知,在生物体内最活跃的物理学上的所谓基本粒子,可能就是电子和质子。因此,生物体内或从生物提取出来的物质,若有半导体性质,则应有电子半导体和质子半导体之分。关于这一点,至少在生物的提取物方面已经可以确定。

生物都是含水系统。水溶液中自由电子的研究,似乎是一个值得注意的发展方向,看来对于许多科学领域都会感到有兴趣。人们认为,可能具有实际意义和应用价值。首先是,通过许多溶剂中溶剂化电子的研究,对许多溶液结构的阐明,将提供重要资料。研究水化电子(水溶剂化电子)对生物水的结构和性质的探讨,可能也有重要意义。生物是脱离不了环境的。环境各种物理因素可影响生物水。例如,电离辐射可影响水产生所谓水化电子(e_{aq}),这是水溶液中所产生的水的自由电子。这种水化电子非常不稳定,寿命很短。不过,利用现代化技术,例如闪光光解技术、脉冲射解技术,结合光谱测量和分析,就可以进行研究,至少能证明其存在。还有其他方法也值得注意,如闪热、高能脉冲电子等。水化电子是溶剂化电子的一种。溶剂化电子的特点是,在这种由溶剂离解出来的自由电子的周围,溶剂分子好像形成一层“膜”把它包围起来。这层“分子膜”可以在一定时间内把这个自由电子(溶剂化电子)禁闭起来。溶剂化是一个总名称,对于所有溶剂都是适用的。若以水为溶剂,可称为“水化电子”。生物体内的水,它的作用不仅是溶剂,同时也是介质、载体,或是分子的组成部分。此外,它也直接参加生物反应。形成水化电子就是生物体内的水所发生的反应的一种。生物是充分利用所谓“液态电子”来进行各种生命活动的。一方面利用自由电子(水化电子),而另一方面,则利用离子作为载流子进行电子活动。有人倡议发展“液态电子学”。如果这个方向将来有发展前途,那么研究生命的电子过程则更有意义了。

质子也是在生物体内一种活跃的基本粒子。它的半径约相当于一般元素的原子和离子的 10^{-5} 。所以,质子与一般原子和离子比较,活动性要大得多,但与电子比较,活动性差得很远(电子运动比离子约快 10^7 倍)。质子在一定位置上停留时间也极短;因此,质子与一般基本粒子一样,具有物质的二象性,即具有质点(粒子)和波动的双重性。在生物系统中,质子的运动一般是作为处在粒子(质点)状态来描述的。在某些场合也需要以波动概念来解释。在生物学研究中,人们对于质子态、质子去定域、质子隧道效应等问题,都较有兴趣。从波动力学观点讲,电子显示无定域性。因此,波的概念就比较明显,以粒子(质点)来描述,则居次要地位。在生物学研究中,对电子在许多场合也需要有质点概念,而对质子则更是突出。生物水本身既是质子供体,也是质子受体,就是说水能给出质子和接受

质子,而且反应是可逆的。

生物体内的电子和光子经常发生着关系。许多生物组分,由于吸收了光而产生电子跃迁;反过来,电子跃迁回基态而发射光,这是经常所遇到的现象。生物的光电现象,应该引起我们充分注意,其中还伴随着能量转化这个重要的问题。

生物的能量转化与工程和物理化学上所描述的能量转化是有所不同的。区别主要表现在下列两个方面:一方面,生物与机器不同,它不仅承担着一切对外活动,而还维持着体内各种各样的工作,例如,生命是个动态过程,经常不断地进行着体内的组成和分解作用。所有这些都是生物的内在活动,这是机器所没有的。而另一方面,生物进行所有一切活动,体内并无明显温度变化,即生物是在等热下(相对恒温下)进行工作的。所以,生物不能看成是热机。它不是把食物的化学能转化为热来承担工作的。这种情况使生物有可能无损耗地完成各种可逆反应,以便在常温常压下进行一切工作。

三、生物的一些物理性质

许多分子和原子具有本身的永磁矩,这是与外界磁场无关的。在顺磁性物质方面,因为热运动的关系,矩的方向在物质的空间中是随机分布的。某些固体具有铁磁的性能。这里存在着小的区域,所谓 Weiss 畴。在这小区域中,分子或原子的磁矩是并联取向的。超过一定的温度(居里点),由于热扰动,磁畴消失,物质则显示顺磁性。在反铁磁的固体,人们设想,这里存在着两个亚点阵,它们彼此之间的磁化方向是反极性并联的,但它们的磁矩是同样大小的。在亚铁磁的固体,也存在着两个反并联的亚点阵,而磁矩则不是相等的。与这些现象相对应,同样情况也存在于带有电极性分子所组成的物质。这里也可区分为铁电、反铁电和亚铁电等物质。

生物体内虽缺乏固体结构,据推测这些现象可能也都是存在的。至少在提取出的某些氨基酸、胍、尿素等衍生物的晶体和去氧核糖核酸纤维都具有铁电的性质,而肌蛋白、角蛋白、胶原等还具有压电性能。

铁电、反铁电和亚铁电现象的形成,是由于分子或原子永偶极矩的存在,使相互间能自发地进行并联或反并联的取向。如何使分子自发地带电,这一问题至今没有搞清楚。所有铁电物质在自发极化状态下,同时也是压电物质。铁电性物质往往也具有电子半导体的性能。对这种物质曾进行过电致发光的研究。值得注意的是,这种物质,除电子传递外,可能也进行离子传递。因此,同时也具有离子半导体性质的可能。压电性物质还具有典型的共振现象。检验生物及其产物的压电性质,主要是采取压电共振的方法。据初步测定,去氧核糖核酸、核糖核酸、核蛋白、许多蛋白质都具有压电共振效应。核蛋白、蛋白质、磷脂等在生物体内可以组成有序的液晶结构。这些薄膜也可以具有铁电的性质,有些胶体颗粒和胶束有时也有铁电的性能。铁电性质在没有晶体结构的物体中可以出现。据报道,液晶也有铁电性质。

在生物体内的许多重要物质,它们的分子可以自发地沿纵轴并联起来。这种并联也可以在人工条件下造成,例如把这种物质的溶液,经过蒸发或沉淀超越一个临界的浓度,这样就产生溶致液晶。另有许多物质,加热到一定的温度范围接近于熔点,这样也可以出现自发的并联现象。这种聚集态叫做热致液晶。自发的并联取向可以造成一维的分子序列

(向列型有序态)或形成二维的分子序列(近晶型有序态)。自发的并联取向可能是由于分子具有永磁矩或电偶极(永偶极矩)的关系。这里的序列也限于小区域,叫做 Born 畴(以物理学家 Max Born 命名),与铁磁性物质的小区域(Weiss 畴)在电磁类似性方面是可以比拟的。所以,液晶的小区域概念,也相当于铁电的畴概念。因而 Bernal 认为,铁磁体、铁电体、结晶液体(即液晶)具有共同的特征,即三者的畴结构是偶极自发取向的。

近晶型的结构是有层次的。分子的排列成为层格。分子的纵轴通常垂直于层的平面。而向列型的结构,则是指分子成线状排列,即分子进行线状或近线状的取向。所以,生物液晶的结构不一定限于膜状。纤维状液晶也有。

总起来说,液晶和生物膜有共同的特征,即它们的信息载体主要是离子。对任何电子装置都要重视两个参数。一是信息载体(离子或电子)的传递速度,二是它的传递距离。就这两个参数来说,电子要远比离子优越,但离子也有其特殊的优点。特别是,生物体内许多重要反应与离子强度有密切关系。

值得重视的一类半导体,是非晶态半导体。这类半导体之所以值得注意,是因为它具有许多优点,例如:对温度变化、杂质影响、受空气腐蚀以及辐射损伤等的敏感性比较容易控制。同时,新的线路、连接法、开关装置等的设计,对电子学、计算机、自动化方面的发展,看来也都是有兴趣的。在这个问题上,人们常常想到动物和人的脑和神经系统以及感觉器等。生物是利用非晶态的材料和元件来解决它像电子学、计算机、各种自动化装置所能解决的问题。所以有人曾经提出疑问,难道电子仪器、计算机、自动化装置不能跳出传统的设计范围吗?所谓非晶态的半导体,首先值得注意的是生物液晶,还有细胞内各种其他组分也可以具有非晶态半导体的性能。

另一个重要问题,便是自然界旋光性的形成。现在地球上绝大多数的生物,体内的蛋白质基本上都是由 L-型的氨基酸所组成。而核苷酸和核酸,则含 D-型的核糖或脱氧核糖。为什么生物有这种旋光性的选择?它对生命和生命起源有什么关系?都不知道。如果生物的蛋白质都由 D-型氨基酸组成,而核酸则由 L-型核糖组成,那么生物将有怎样变化呢?这个问题就很难回答了。这也是生物物理学所感兴趣的问题。

生物的物理特性是很多的,在此不再一一例举。只是想再提一下关于生物的固有频率问题。生物对周围环境的物理因素有一定的反应,生物与环境、生物与生物之间能交换信息和进行通信(主要是指生物与生物)。生物对外界的接触和交换信息、进行通信,不仅具有接收器的作用,也具有发射器的功能。就外界接收各种物理因素来说,例如人的视觉感受和听觉感受就有一定的频率范围。在发射方面是否也有一定的频率?这些频率是否固有频率,还是接收时的共振频率?频率是否能够改变?如何变频?像蝙蝠、海豚、许多昆虫、鱼类等等。这些问题,是否值得研究注意?研究生物的固有频率、共振频率之所以值得重视,一方面对人和动物处在特殊环境下要提出防护措施可寻找依据;而另一方面,又可为通信、探测、定向、导航等装置的设计,提供资料。

四、生物膜与液晶

从细胞重建的过程来看,我们很同意 Robertson 的观点,认为细胞基本上是一个三相

系统。第一是基质相,第二相由各种细胞器腔中的内含物所组成,第三是膜相。根据这一观点,膜相占整个细胞的很大比重。因此,膜结构的重要性,是容易理解的。

在生命起源的探讨中,人们总是着重于蛋白质和核酸,很少注意脂类对生命起源和细胞起源的重要性。现在看来,脂类对生命起源和细胞起源是不可缺少的物质。双分子类脂层在生物膜中处于骨干地位。这是因为脂类在含水环境中可以进行自组织成为连续的薄片。这种脂膜的功能有两方面:一是作为容器能容纳各种生物大分子;另一是作为表面载体有序地整合和组装生物大分子。有人认为,很可能只有在膜结构出现以后,才能真正有生命形态在古老的海洋中形成。

生物膜内具有双分子脂膜,是一九五二年 Danielli 发现的。脂膜是一切生物膜的骨干层。它的作用还在于阻挡离子和亲水性物质的渗透。除脂类以外,生物膜还由各种蛋白质和酶所组成,而且比重较大。膜的许多重要功能由蛋白质承担。例如:特殊离子和其他小分子亲水性物质的转移,各种酶活动,电子转移,许多物质和能量代谢,细胞表面接受激素等,都由蛋白质来承担。双分子类脂层的化学性质及其物理状态决定了膜的流动性。同时,蛋白质分子在脂膜上分布,与生物膜形成流动结构也有关系。一九七一年, Singer 提出了(流动)镶嵌模型。现有的(流动)镶嵌模型是根据多方面的实验资料而提出的,例如根据 X 射线衍射、差示扫描量热计、自旋标记结合电子自旋共振、核磁共振等技术的研究。这些研究都说明脂类分子在生理温度下,呈液体双层结构,其头部极性基团朝向水相在膜的两边,其碳氢尾端则尾尾相对,排列于膜的中间。蛋白质分子,有的部分地,有的整个地插在脂膜内,使双层脂膜在有些部位出现不连续的结构状态。

在水相中形成的人工脂膜,厚度约 70 埃。这种人工脂膜,从其物化性质看,已接近细胞的脂膜,具有取向的脂类分子。最薄的质膜的厚度约为 100 埃,由脂类和蛋白质所组成。膜的组成主要依靠分子间较弱的相互作用,如氢键、弥散力、疏水键等。从生物物理学的角度,研究生物膜的分子机理,虽然膜的结构和功能很复杂,作用过程也是多种多样,但用适当的实验手段或理论探讨来研究有关生物物理的问题,还是有发展前途的。现在对于生物膜的本质,知识还比较零碎,有待进一步地加强研究。

在生物超分子组织形式中,膜的结构看来非常重要。一般重要生命活动基本上都在膜上进行。离子在膜上活动和传递具有高度组织性。生物膜的研究,历史已经很久。人工薄膜的研究,则是在一九五五年才开始的。当时曾研制出“离子示振器”。这是由一个盐电池和一层脂膜所组成的装置,曾确定了这种人工薄膜上离子分布的规律,并指出这种分布与半导体晶体管内的少数载流子有显著的相似性。一九六四年,提出了生物膜上活性离子传递的数学模型,并认为其具有与半导体三极管相似的性能。随后,则报道这种膜的结构具有电性质。倘使加入少量的蛋白质,则可观察到显著的负电阻。其所发生的电流-电压特征与半导体隧道二极管有一定的类似性。

近年来,把细胞表面看成具有液晶的性质,曾有不少的实验室提出了证据。特别是质膜,认为是属于近晶型的液晶。细胞表面一方面显示液晶的性质,而另一方面还存在着复杂的分子聚集和分子取向。在生物体内的许多重要物质,它们的分子可以自发地、自组织地沿纵轴并联起来,可能与分子的永磁矩或永偶极矩有关。这种并联也可在人工条件下进行,上面已经叙述过。

生物膜证明是液晶结构,最近在文献中报道越来越多。生物膜既然占整个细胞很大

的比重,因此可以设想,细胞内主要组成都有处于液晶状态的可能。液晶既具有铁电性质,又具有压电性质,因而从细胞中提出来的一些物质具有铁电、压电性能,也是可以理解的。组成液晶,要求分子具有一定的形状,如杆状、链状、带状、板状等。液晶这个聚集态是一九三一年提出来的;其实 Reinitzer 在一八八八年早已发现。一般说来,液晶是介于典型的液体和晶状固体之间的一种聚集态。可以分为近晶型、向列型和胆甾型三种。所谓液晶,在力学性质上有接近液体那样的流动性,而在光学上则具有晶体性质的一种物质状态。近年来对生物膜提出流动镶嵌模型,也是符合液晶的性质的。除分子的形状外,组成液晶的条件还要求分子具备电极性。由非极性分子组成的物质或物体不能形成液晶态。

从上面的一些叙述看来,根据液晶的概念和观点来研究生物膜,似乎是一个方向,理论和实际意义可能也很大。

五、生物水

生物都是含水系统,只有在含水的情况下才存在生命活动。联系到生物体内的物质与水一起处在溶胶的状态,所谓“水化”则是指水分子参入某种分子,成为络合物(配位络合物)的形式,或与别的分子用氢键连接起来,或成为其他化合形式。在生物系统中,研究水的结构、性质和运动规律,从生物物理学看,是一个重要的课题。因为没有水,就没有生命。

生物组织和细胞内有两种水,即游离水(自由水)和结合水。刚才所说的水化,就是指结合水的作用。组织和细胞内流动性较大,且不与别的分子成为结合状态的水,称为游离水(自由水)。结合水在体内处于有序状态,因而有利于能量传递。

细胞死亡,结合水分离。在这样情况下,蛋白质或其他物质的侧链和分子界面失去了水,失去水的部分成为带电形态(带阳电或带阴电)。而被分离出了水的分子,则称为去溶剂分子。这种现象叫脱水作用。水化和脱水在组织和细胞内经常进行,但在活的情况下,水化是占优势的。许多物质水化值是很高的。例如,蛋白质的水化值(水合值),一般都很高。一克干重蛋白质,水化值可达 0.2—0.5 克。研究生物水的结构和性质,近年来发展了不少的物理方法,如吸收等温线、蒸气压、凝固点、比热、溶剂性质(渗透压、溶质浓度)、自扩散等的测试,以及利用脉冲核磁共振技术、宽线核磁共振、介电弛豫(介电常数、介电消失)、荧光探针、X 射线散射、红外(振动频率、振动强度)等等。

在生物体内,利用水的优点,许多生命活动就可以依靠各种离子来进行。这也是生命重要特征之一。在水溶液中,离子作用的强度,决定于所参加离子的浓度和活动情况,即所谓离子强度。由于离子的活动,在溶液中就产生电导现象。因此,在生物体内所形成的电流传导(电导),主要是因为离子的关系。这样也容易理解,在含有离子的体液中,应该有一定的电导能力的存在。在溶液中各种离子和分子的相互作用,为人们对探索生命活动带来了启发。在电解溶液中,对离子之间的作用力进行理论探讨,Debye 和 Hückel 以及 Onsager 曾作了尝试。

在含水系统中,离子强度(浓度)影响很大。例如,对细胞核内染色质来说,约在 0.01—0.45 N NaCl,染色质是不溶解的,形成纤维状和小颗粒的结构。如果在纯水中或

非常稀释的盐溶液内(例如 $< 0.01\text{ M NaCl}$)或离子浓度超过 0.45 M NaCl 以上,则染色质形成胶状。最后,随着浓度继续上升或下降,染色质渐渐溶解。这种膨胀和溶解都是可逆的,即在相反的处理下,又可成为不溶解的结构。在间期(休止期)细胞核内的离子浓度,有人估计相当于 0.42 M NaCl 。因此,在细胞分裂周期中,染色质结构的变化,如染色体的形成和消失,是否与核内或胞浆内离子强度的变化有关?这一问题似值得探讨。从而也可设想,离子强度对生物体内其他结构的变化,可能也会有影响。

六、生物的自组织

大家知道,许多动植物的细胞和器官,甚至整个身体,特别是在发育中的动植物,再生能力很强、令人惊奇。有时去掉一部分,还可以重新恢复完整。在有些低等动物,整个身体拆散,分散的细胞又可集合起来,重新组成完整的个体。这主要是靠机体有自组织和自装配的能力。分析这类机能,近年来已开始利用系统理论进行探索,特别是研究细胞和组织间的信号传递和寻找信号系统,探讨其物质基础和模式(pattern)的形成等。从分子生物学观点进行初步分析,认为细胞膜起着重要作用。膜的结构和功能及其所产生的刺激因素和膜上所形成的受体以及各种传递因素都在开始探索。据初步了解,细胞进行相互接触和聚集,都是有物质基础的,而细胞膜能发生特殊反应,也是重要原因之一。

根据细胞重建的多年来实验,认为生物体内如果原料和条件存在的话,细胞可以一步一步地自组织起来,这基本上已得到了证明。生物各层次的结构都能自发地形成,就是说都能自组织和自装配起来的。再举一个简单的例子,烟草花叶病毒是大家所熟知的一种病毒,它具条索的形状,长度约有3千埃。包有外壳,由2千以上重复的螺旋状排列的蛋白质亚单元所组成。内有螺旋RNA链,在外壳内部盘旋着。整个病毒可用碱或酸分解。在中性pH值的条件下,蛋白质亚单元和RNA又可以重新集合起来,自发地组织和装配成为完整的烟草花叶病毒。这是像病毒那样一个超分子水平的结构进行自组织和自装配的一个例子。X射线衍射的研究,对烟草花叶病毒的空间结构作了精细的分析。特别是,对于多肽链的空间构型已接近于较彻底的阐明。这样就有可能提出较完整的模型,来澄清蛋白质与RNA的相互关系以及蛋白质亚单元间的相互关系。这样也就有可能,使人们对于这种超分子结构,并且具有初步的能表示简单的生命活动的病毒体,从其原子组成到有初级的、原始的生命结构,经过自组织、自装配得以逐步加深认识。物理学家K. Mendelssohn (1975),从物理学观点对于生命作了一些设想,他说:如果把蛋白质分子制成为晶体,这样的组装就看不出有什么生命。但必须从另一种组装形式来考虑,如果短程力、键角等的相互作用,对物质的装配很恰当,那就可能会出现生命现象。他又说,对于生命来说应该重视两个特性。一是分子要有适当的种类配备和相互有适当的空间关系,使能提供成为具有长程序电子流的“容器”。其次是提供电子流容器中的原子本身结构不一定需要特殊构型,但要求电子流能保持共振状态。这样可能会出现生命现象。这是物理学家对生命的一种简化概念。

每种结构都应该有与它相对应的程序设计。对这种程序的分析,首先要看结构如何组织起来和稳定性如何?生物大分子的结构,对它程序的分析,已经很不容易,要分析细胞结构的程序,就更困难了。无论是研究静态和动态结构,必须先把一些概念搞清楚。根

据计算机技术的观点,结构无非是硬件,而程序则是软件,后者可以说是一个指令,好象把一套程序(指令组)输入到计算机内那样。就在这样情况下,一种结构按照程序设计来进行自组织和自装配,至于稳定性如何,那要由程序来决定。生物物理学不仅要研究生物的结构和功能及其物理性质,还要探讨结构的程序和程序设计。

近年来,关于非平衡过程热力学对描述生命系统的意义,开展了讨论。Prigogine 等提出了耗散结构的理论,这是热力学关于探讨结构、稳定性和熵涨落的一种新的尝试。特别是最近关于表面热力学的研究,不仅对物理化学,也对细胞生物学带来了重要的启发。对表面的自组织以及空间和时间性耗散结构的讨论,也很有启发。

总起来说,生物物理学是一门重要的边缘学科,它与其他兄弟学科一起,共同承担着加深对物质的认识和揭露生命的奥秘的重要任务。它的发展前途是广阔的,理论和实际意义是很大的。让我们在党的领导下,艰苦奋斗,团结一致,为生物物理学科的发展作出积极的贡献。

生物物理学与四个现代化

沈 淑 敏

(中国科学院生物物理研究所)

一、前 言

四个现代化建设中,科学技术现代化是关键,没有科学技术现代化,就不可能有国民经济的飞速发展。

生物物理学是个什么样的学科,为什么总觉得它不定形。分析起来有三方面原因:

(1) 研究物质运动的规律,物理学只研究了无生命的这半边,研究的广度和深度大家都清楚,它也从研究过程中派生出许多分枝学科。物理学是个非常大的学科领域,顾名思义,生物物理学同样有这样宽的领域。因此出现孕育在生物物理学科内的各分支学科,往往成熟或半成熟就独立出去是十分自然的,国际上的电生理学、放射生物学、生物医学工程学等等就都是这样先后成为独立的学科。在国内有两种极端的争论,一种是认为不存在生物物理学这门学科。另一种又认为生物物理学是个无所不包的大口袋,这两个极端都对生物物理学的成长没有好处。

(2) 从物质世界的运动形式来看,生物是物质运动的最高形式。生物与化学的运动形式从层次上比较近,因此生物与化学的渗透比较早,生物化学早已是一门十分成熟的学科,并且已经进入到分子生物化学。生物与物理的渗透的难度要大一些,由于运动形式隔了一个层次,也由于过去从事生物和从事物理学的专门训练不一样,共同语言不多。

(3) 相当长一段时间,生物学工作者强调生物的特殊性多了些,而不大注意包含在高级运动形式中的低级运动形式,也就是与其他学科的共同性。因此使本来是一门十分生气勃勃的生物学,停留在描述性的、定性的科学行列,十分枯燥无味。生物物理学在这种情况下得不到支持,就是由于这些原因。

二、生物物理学的发展简史

早在 1786 年 Galvani 就研究过肌肉的静电性质,1796 年 Thomas Young 提出光的波动学说、色觉理论的同时也研究了心脏的水动力学性质及眼睛的几何光学性质。1821—1894 年 Helmholtz 发表了能量守恒定律应用于生物系统的论述,同时他也研究了肌肉收缩问题,并测量了神经脉冲传递速度。这些可以说是最早的生物物理学工作。1930 年 Hill 研究了肌肉的热和能量效应, Astbury 用简单的 X 射线衍射研究毛发、丝和羊毛的纤维结构,发现了三种纤维状蛋白。在信息如何沿单根神经纤维传递问题的探讨中,早在 1930 年已经把电技术和分离单根神经纤维技术联系起来,阐明了神经纤维传导信息的特征是一连串以匀速传递的电脉冲,这些脉冲是由膜内外电位差的变化所引起的。在观察