

一、液晶 的故事

1888年，奥地利植物学家 F. Reinitzer 在研究胆甾醇酯对植物的作用时，发现这种有机材

料竟然有两个熔点：在 145.5℃，胆甾醇酯先熔化成一种混浊的液体；到 178.5℃，混浊突然消失，液体变成全透明。“如果说固体的胆甾醇酯已在 145.5℃ 熔化为液体，那么，又是什么不同于固体与液体的鬼东西在 178.5℃ 熔化？”为了弄清这个问题，他把这种神奇的材料寄给德国卡斯鲁尔大学的物理教授 O. Lehmann（用附有热台的偏光显微镜研究晶体的鼻祖）。在对这种材料进行充分研究后，Lehmann 渐渐认识到，混浊态的胆甾醇酯是“一种几乎是流体的软晶体”，或者是“一种晶体结构的流体”。最后，他确认这是物质存在的一种新态——液晶(liquid crystals)。Reinitzer 由于明确提出“两个熔点”问题而被公认为是液晶的发现者，而 Lehmann 由于发明液晶一词而多次被提名为诺贝尔奖的候选人。

Lehmann 关于液晶的思想并未被当时所有的人接受，一些大学者，如 G. Tammann（化学家）和 W. Nernst（物理学家）都认为液晶只不过是液体与晶体的混和物。但支持 Lehmann 的人也不少，其中有首次合成液晶的 L. Gattermann 和 A. Ritschke（德国化学家），也有长期从事液晶研究的 D. Vorlander，他不仅合成几百种液晶，而且是首次提出液晶不止是一个相和组成液晶分子的特征应为棒状分子两个重要观点的学者。在液晶研究史上，由于他的这两个发现，液晶从实验到理论才有一条正确的道路。从 1901 到 1934 Vorlander 的小组培养了八十多位液晶博士，因而使位于原东德 Hall 的马丁露德大学在液晶发展史上赫赫有名。在同一时期，一些大物理学家，如 E. Bose 和 M. Born 都涉足过液晶的理论研究。但进展最大的应推法国的 G. Friedel 的工作，他是受到 Lehmann 1909 在巴黎的一次邀请报告的吸引而开始投身于液晶的研究。1922 年，他发表一篇长达 200 多页的大论文，把液晶分为沿用至今的三大类：层状相 (smectic)、丝状相 (nematic) 和螺旋相 (cholesteric)。他正确地解译了丝状相所看到的“黑色丝线”是由于分子排列的线缺陷，nematic 一词就是来源于希腊语丝线一词。

从 1922 到第二次世界大战前夕，液晶研究的地域已在欧洲各国扩展，如瑞典的 C. Oseen 开创了液晶弹性理论（最后完成于 1958 年英国 F. C. Frank 的



单位：中国科学院理论物理研究所

工作)；荷兰与前苏联的学者开始研究液晶的电磁场效应，其中尤以 Fredericksz 的场效应——电磁场可使液晶分子的排列方向发生翻转最为著名。这两个进展是日后液晶显示技术的理论基础。

但奇怪的是，液晶研究在二战后几乎消失。这可能是由于：(1) 液晶的问题已被解决，再研究也不会有大油水，(2) 液晶从未被物理与化学的教科书所载入，对液晶所知的人甚少，(3) 最重要的原因是人们以为液晶是个无用之物。

液晶研究的复兴是在 60 年代，作为复兴的先声是一个美国化学家 G. Brown 在 1957 发表了一篇液晶的长篇综述，他并于 60 年代在美国 Kent 州立大学建立第一个液晶研究所。1958 年在伦敦召开的法拉弟液晶讨论会也起了很大的舆论准备。英国化学家 G. Gray 出版了一本《塑性晶体与液晶》也功不可没。但真正的导火线应归功于美国 RCA 公司 G. Heilmeyer 关于液晶显示技术的发现，他和 Zanoni 等人在 1968 年发现，只要在液晶样品加上很小的电压（10V 数量级），液晶就会被“煮开”而变混浊；电压去掉，样品就会逐渐恢复透明，因此他们向 RCA 的领导呈报了一项电控显示新技术的诞生。但在 RCA 生产部门头头的冷遇之下，Heilmeyer 的建议不但未被接受而且被逼返回原先的半导体研究，而同时还影响一位正在 Heilmeyer 小组作液晶理论研究的访问学者，西德的 W. Helfrich，离开 RCA，Helfrich 70 年代初期返回欧洲不改他对液晶显示研究的初衷。在 1971 年，终于在瑞士的罗切公司同 Schadt 一道发明扭曲丝状液晶场效应而使液晶显示实现工业化。自此，液晶研究便在全世界迅猛发展。法国的 P. G. de Gennes 也因为这个时期对液晶的研究而奠定了他在 1991 年获诺贝尔物理奖的主要基础。今日的液晶显示技术则主要掌握在日本人手中。从液晶的发现与兴衰到再发展，我们看到这是一门多学科交叉和多国协作的研究领域。从奥地利植物学家 Reinitzer 和德国物理学家 Lehmann 合作发现液晶，到 1990 年在加拿大温哥华成立的国际液晶学会，液晶已变成由化学家、物理学家、生物学家、工程技术人员，和医药工作者共同关心与研究的领域。下面要介绍的液晶生物膜模型正是这种交叉合作的一个产物，创立这个模型的正是发明液晶显示

技术的德国物理学家 Helfrich.

二、液晶解开红血球形状之谜

平心而论,生物结构与液晶的联系并非始于 Helfrich. 对细胞学说创立有重要贡献的 Virchow (见恩格斯《自然辩证法》) 1854 年就发现神经细胞髓磷脂溶液具有偏光性(即液晶的特性). 1933 年法拉弟液晶讨论会上,生物结构的液晶性质便正式被提出来讨论. 1965 年在 Kent 召开的第一届国际液晶会议上,这种讨论已单独成为会议的一个议题. 到 1974 年在斯德哥尔摩召开的第五届国际液晶会议上,人们已把生物膜和溶致液晶挂起钩,会后 Friberg 编出《溶致液晶与生物膜》一书. 稍后不久,开创液晶国际会议的 Brown 和 J. J. Wolken 便出版了广为流传的单行本《液晶和生物结构》(有中译本). 但这些议论与书籍只是一般的泛泛而论和定性描述. 他们的主要观点是这样的,生物膜有两个基本功能:使细胞保持一定的体积与内含物和控制细胞里外离子和分子的流动. 为节制物质的传输,细胞膜显然要有序. 而欲使生化反应在膜上进行,膜必然是流体相. 而有序的流体则非液晶莫属.

事实上,生物学家公认的流体镶嵌膜模型(Singer 和 Nicolson 1972 提出)如图 1 所示,也正如上述液晶学家所描述的那样. 生物膜是由双亲脂类分子(Amphiphilic lipids)组成的双层膜. 这些脂类分子

处于液晶态意味着它们可以自由在膜上流动,其接触水的极性头在膜面上的排列不具有点阵结构,而且它们的疏水碳氢链

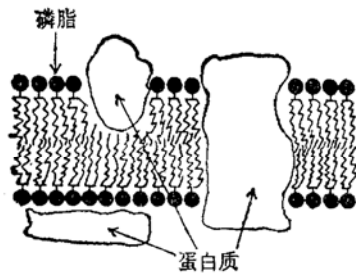


图 1 生物膜流体镶嵌模型示意

不处于僵化状态. 镶嵌在膜上的蛋白质分子则对生化反应负责,如有的蛋白质起着酶的作用,有的则起着离子与分子传输的“生物泵的作用”. 处于液晶态的脂类分子主要有两类,磷脂与胆固醇,前者对膜的功能结构负责,而后者有强化膜的稳定性. 此外还有少量的糖脂,对进出细胞膜的运输离子与分子起识别作用. 如红血球的糖脂对血型的分类有决定性的作用.

吸引 Helfrich 进入生物膜研究的是一个生理难题:为什么人体中的红血球是双凹碟形(图 2)而不是其它几何形状?这个问题与显微镜的发现一样古老. 人们对红血球形状特别感兴趣是由于哺乳类动物与人的红血球是无核细胞,因此其形状完全取决于细胞膜的力平衡,是研究生物膜最理想的客体. 为解释红血球的双凹碟形,生物力学家曾从薄壳力学的概念出发,给出各种计算模型. 如冯元桢与 Tong (1968) 曾把红血

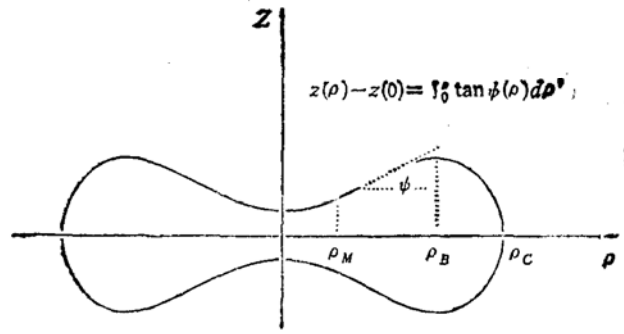


图 2 人红血球双凹碟形

球膜想像成由两个弹性薄壳夹住一层各向同性液体的“三明治”,为了达到所期望的双凹形状,他们不得不假设这个“三明治”的层厚是不均匀的,但这就有悖于电镜观察的结果——膜厚实际是均匀的. 尤其是与红血球沿血管壁的坦克履带式的运动方式比较,薄壳的模型是不可能的. 为此, Sirs (1970) 提出生物膜是由一片片簧片式的元件连成的“甲衣”(如手表的簧带),但与其他人的数据不合 (Branton, 1969; Weinstein 和 McNutt 1970). Lopez 等人 (1968) 认为红血球膜中间内凹是由于在中间部分膜的带电与外周部分不同的缘故. 但 Greer 和 Baker (1970) 的测量表明膜带电是均匀的. Shrivastav 和 Burton (1969) 则干脆假设红血球膜相向部分存在着长程吸引力,膜在细胞中部内陷是由于这种力相吸的结果,但电镜研究否定这种力的存在. 而 Murphy (1965) 则把双凹的成因归结为膜中胆固醇的分布不均——轴心部分的胆固醇少于外周,所以“碟”的边沿有较大的内应力而外凸弯曲,而中部应力较小而内凹平坦. 但实验发现胆固醇在膜上的分布却是均匀的 (Seeman 等 1973; Higgins 等). 有鉴于这些失败的模型,加拿大的生物力学家 Canham (1970) 则主张,不要问膜的双凹是出自什么物理因素,而唯象地假设细胞的形状只取决于膜曲面的弯曲弹性能 $E = \oint (2H)^2 dA$ (H 是膜曲面平均曲率,积分取自膜表面全部) 的极小值状态. Canham 利用计算机模拟,果真发现双凹碟形是个弹性能的极小值态. 然而,不幸得很,Deuling 和 Helfrich 1976 年进一步研究,发现杠铃状的细胞也是这个模型的结果. 但人们并没有发现有杠铃状的红血球. 因此应该说,生物力学家已费尽心思解决此问题. 截至 70 年代,红血球的双凹碟形并未解决,而成为一个难猜之谜.

形状问题是凝聚态物理最古老但又是难以解决的问题. 从天然矿石的形状, N. Stensen (1669) 归纳出晶体面角恒等定律. 为什么会有这种定律,答案是到 1901 年 G. Wulff 才给出的. 他并证明晶体的形状是在定体积下将晶体表面能极小化的变分结果. Wulff 定理的一个重要推论是这样的:天然的晶体都是凸的多面体. Wulff 定理的严格数学证明,对二维

晶体是 60 年代解决的,但三维晶体则至今未解决。液体表面的形状的方程是 Laplace 1806 年推出的,即大家熟悉的毛细管液面方程 $H = \Delta p / 2r_0$ 。对于肥皂泡来说, Δp 是泡里外压差, r_0 是肥皂液的表面张力。容易看出,球面是方程一个解。但严格证明这是唯一的闭合解,则是前苏联的几何学家亚历山大诺夫 50 年代才完成。为了证明这个定理,他开拓了许多曲面整体几何的分析工具(见《内蕴几何》一书)。

有鉴于晶体与液体表面的形状难题,红血球的双凹碟形问题的困难便可想而知。但从上述 Wulff 定理的推论(晶体是凸的)和 Laplace 定理的结果(只有液体球面的唯一解)这两点出发,人们可以肯定:细胞膜既非晶体亦非液体,(因为红血球是非凸非球)。而介于晶体与液体的物态则非液晶莫属。这就回到本节开头讨论的结果。

Helfrich 流体膜的思想就是从图 1 的生物膜型出发,认为磷脂的碳氢链代表着分子的取向,它也是膜曲面的法向及作为液晶的指向矢。把这个概念代入 Oseen-Frank 液晶弹性公式,他导出了弯曲膜的弹性自由能

$$F = (k/2) \oint (2H + c_0)^2 dA + \bar{k} \oint K dA + \Delta p \int dV + \lambda \oint dA, \quad (1)$$

式中 H 与 K 是膜面的平均曲率与高斯曲率; k 与 \bar{k} 是液晶的弹性常数与膜的厚度的乘积,由此可从理论推断 k 与 \bar{k} 的数量级是 10^{-11} 尔格(已被实测证实);而 Δp 与 λ 则是膜内外渗透压差与膜的表面张力。对 F 进行变分,细胞或人工生物膜泡的形状便由下列的曲面方程(Ou-Yang, Helfrich, 1987)

$$\Delta p - 2\lambda H + k(2H + c_0)(2H^2 - 2K - c_0 H) + 2k\nabla^2 H = 0 \quad (2)$$

所描述。方程中 ∇^2 是曲面的拉帕拉斯算子,而 c_0 是 Helfrich 自曲率常数,与膜的生物功能有关(见下述)。这个方程是微分几何尚未深入研究过的新方程,其数学物理意义是自不待言。微分几何的经典理论主要是建立在两个比较简单的曲面方程, $H = 0$ (极小曲面)和 $H = \text{常数}$ (常平均曲率曲面),它们是(2)的两个特解而已。

我们最近证明,方程(2)确实存在着形如红血球形状的解(Naito, Okuda and Ou-Yang, 1993)

$$z(\rho) = z(0) + \int_0^\rho \tan \psi(\rho') d\rho', \quad (3)$$

$$\psi(\rho) = \arcsin [c_0 \rho \ln(\rho/\rho_B)].$$

(3) 中的 $z(\rho)$ 是细胞沿对称轴的剖面的曲线,而 $\psi(\rho)$ 是膜切平面的切角(图 2)。容易证明(用初等微积分知识),在 c_0 为负值时,曲面是双凹碟形的。那么 c_0 的物理意义是什么?最近也被弄清楚了,它是与细胞跨膜电压 U 及液晶的挠曲电效应有关系(Ou-Yang,

Hu Jian-gou, Liu Ji-xing, 1992)

$$c_0 = \epsilon_{11} U / k, \quad (4)$$

式中 ϵ_{11} 是液晶的挠曲电系数。由方程(2)积分,我们还得到由细胞形状反求 c_0 、 Δp 和 λ 的一组线性方程组,代入 Evans 与冯元楨(1969)对红血球的实测数据,我们由(4)居然第一次从理论算出膜电压为 $U = -15.0 \text{ mV}$, 与实验(用微电极穿刺细胞膜)测出的数值 -14 mV (Lassen 等, 1968)及 -8 mV (Jay and Burton, 1969)在数量级上与符号上均相符。这个结果是相当鼓舞人心的,因为我们为液晶生物膜模型找到了第一个应用——由细胞形状无损测量细胞内压(即 Δp)与膜电压 U 。

而 c_0 的表达式(4)表明 Helfrich 液晶生物膜描述的不是“死”的膜而是“活”的膜,因为膜电压是反映了膜上蛋白质离子通道所控制“反常”或“活”的离子传输过程。总之,由上述结果我们看到,红血球的双凹碟形的难解之谜在液晶模型的框架下完全地破译了。红血球的双凹碟形居然能用有限的解析函数(3)精确表达实在是一件意外的事例。

三、环形泡发现的意义

Helfrich 膜自由能公式到了 80 年代末也被一些搞二维统计理论的人接受为二维系统的哈密尔顿量而展开为随机表面与量子膜(以哈佛的 D. R. Nelson 为代表)的研究潮流,所以 de Gennes 在其诺贝尔物理奖演讲 [Rev. Mod. Phys. 64, 645 (1992)] 中说,“开创于 Helfrich 的膜理论至今显示了这种奇怪的现象——“肥皂泡描述概念与高智商的超弦理论的思想在某种程度上是同出一辙”。不过这只是在物理界内部发生的事。

欲使生物学界接受液晶生物膜理论则仍然任重而道远。虽然最近的分子与细胞生物物理教科书也开始纳入 Helfrich 理论,但无论是国内或国外,搞膜的生物工作者多数对用复杂数学描述的理论还是不屑一顾。为此,人们需要更多的、能引起人们强烈兴趣的事例。1990 年我们从方程(2)发现一个环形曲面解(Ou-Yang 1990),这种曲面可以看成是一个圆圈(半径为 r)环绕一个大圆(半径为 R)转出来的曲面。一个苛刻的条件是半径比 $R/r = \sqrt{2}$ 。次年,这个预言即被巴黎高师的实验室证实(Mutz and Besimon, 1991),他们在人工生物膜中看到大小不等的 24 个环形泡; $R/r = \sqrt{2}$ 的关系都被准确符合。1992 年该实验室还发现了非轴对称环形泡(B. Fourcade 等),我们又再次证明这种杜邦环面(Dupin cyclide)是方程(2)的精确解(Ou-Yang, 1993)。这些显而易见的理论与实验的符合事例应该说是把液晶生物膜理论推到了又一高峰——理论已能指导实验去发现新的生物膜构形。

更重要的意义是,环形泡是生物膜本性为液晶这

一基本观点的直接证明。早在1922年法国的 Friedel 就发现层状液晶会形成一套套环面相堆叠的焦锥织构(Focal Conic texture), 它们都是一系列杜邦环面(图3)。显然, 生物膜的环形泡与层状液晶的焦锥织构的本质与机制是一致的——液晶是它们的共同图像。想了解生物膜上发生的事, 最好是先想一想液晶会发生什么事。这一点是远远超越 Helfrich 的膜形状理论。下面将给出一个具体的事例。

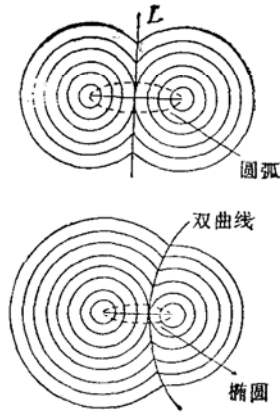


图3 层状液晶常见的焦锥织构是由一系列杜邦环面等距排列堆叠。上图是该织构侧视剖面, 下图是顶视剖面。

四、手征生物膜——螺旋相液晶

在千姿百态的生物形态中, 小若细菌大若海螺, 螺旋状形态非常常见。令人迷惑不解的是从生物分子上溯到人这种高等动物, 各个层次都存在着普遍的手征不对称。例如, 地球上发现的氨基酸多见于左旋, 蛋白质和 DNA 基本上是右旋。螺旋细菌, 旋花类植物的螺旋盘绕以及海螺的外壳也均以右旋占多数。理解不同层次生物结构对某种旋向的偏好是探索生命起源与进化奥秘最有趣的问题之一。这究竟是生机论的结果还是物理原理能够理解? 最近手征生物膜螺旋结构的发现与理论研究对上述问题作出了部分回答。

天然生物膜的螺旋结构早有报道(如我国学者林克椿 80 年代初期在国外的工作)。但是, 1984 年日本化学快报同时报道了两个实验室对同一类手征分子组成的人工生物膜的螺旋结构的发现(N. Nakashima 等; 和 K. Yamada 等)。在较高温度, 这类膜以闭合泡形式出现。降低到某一临界温度以下, 泡解体, 组成膜的分子重新凝聚为一种扭曲的螺带, 随着温度的进一步降低, 这些螺带会变形如同缠绕在一个长圆柱上的缎带, 其螺角均近于 45°。这种螺带不仅沿轴向迅速生长, 而且也会沿侧向生长使螺间距闭合而长成 0.1—10μm 的长管子。1990 年, 美国海军实验室的研究人员发明了在这种细管镀金或铜的新技术, 而使这种“用生物工程进行微结构加工”的微管可用于光电子技术、微形手术和药物导弹。正是由于生物膜螺旋结构对生命科学基础性与实用性的潜力, 在理论界引起了争先理解膜为什么会自动卷曲成螺旋的竞赛。

首先应认识的是, Helfrich 流体膜理论(见第二节)是不可能产生螺旋结构的。原因是 Helfrich 所基于的 Nematic 液晶是非手征性的; 事实上, 若把座标系由右手系换成左手系, 方程(1)与(2)都不改变。为

此 Helfrich (1986) 把螺的螺旋卷曲归结为膜边缘的挠曲弹性, 并把线弹性密度写为

$$F_T = k_T \sin \varphi \cos \varphi, \quad (5)$$

其中 φ 为挠曲的螺角。这样, F_T 的变分能得到 $\varphi = 45^\circ$ 的实验观察结果。de Gennes (1987) 则把膜的卷曲力归结为分子铁电性在边缘的极化电荷的相互作用。1988 年, Helfrich 与 Prost 则把(5)推广到膜表面, 其中 φ 被假设为分子长轴取向在膜面投影(下称取向线场)与螺轴的夹角。这个改善的理论可解释缠绕在圆柱面的螺旋缎带, 但不能说明泡的解体与中间相——扭曲螺带。

我们 90 年代的工作(Ou-Yang, Liu Ji-xing)则是从膜为液晶的本质出发“从头计算”螺旋膜结构。大家知道, 在高温区, 液晶处于 Nematic, 分子相互平行并垂直于膜面(这是 Smetic A 与 Helfrich 流体膜的特征), 故分子取向在膜面投影是点(即不形成线场), 但降低温度, 分子发生倾斜(叫做 S_c 相), 如果分子有手征性, 取向不平行而是螺旋排列(叫为螺旋相, 在层状则称为 S_c^*)。所以, 若定义双亲分子的烃链取向为 d , 则 d 与膜面法向不重合, 而且随位置发生变化。这样一来, 表征手征性的 Oseen-Frauk 液晶自由能项

$$g_{of} = -k_1 d \cdot \nabla \times d \quad (6)$$

就不为零。把(6)对膜体积积分, 我们得到手征膜的自由弹性能的新形式, 其中有一项正比于取向线场的测地挠率的能量项 $F_c = -2k_1 \sin^2 \theta_0 \oint \tau_c dA$ 。从这项能量式, 我们看到 F_c 不为零的首要条件是分子的倾斜(倾斜角以 θ_0 代表), 其次是手征性(液晶手征弹性系数 k_1 为代表)。而微分几何有一条定理, 线场的测地挠率

$$\tau_c = (c_1 - c_2) \sin \varphi \cos \varphi, \quad (7)$$

其中 c_1, c_2 为膜面两个主曲率, φ 是线场方向与主曲率方向的夹角。对圆柱面, $c_1 = 0, c_2 = -1/2R$ (R 为圆柱半径), (7) 则是 Helfrich 的假设(5)。但非圆柱情况(c_1, c_2 是曲面位置的函数), (5) 即不适于(7)。

根据由螺旋状液晶得出的膜与线场的能量形式, 变分后可得到膜形状曲面与线场的平衡方程。根据方程, 我们解出图 4 所示的膜从球形到扭曲带, 到柱形螺带变化过程, 这些过程正是实验所发现的。尤其令人欣慰的是, 我们证明了膜螺管半径与螺旋状液晶的螺距是同一数量级(0.1—10μm)。这就使原来摸不到门的实验现象的规律与数据建立在完全清楚的物理图像——液晶基础上。

膜从流体相(以 L_c 代表, 在液晶是 S_A) 发展为手征倾斜相(以 L_c^* 代表, 在液晶是 S_c^*), 复杂程度有了很大的变化。因为即使是同一形状 of 细胞, 由于膜上的线场不同, 细胞也表示出其特异性。这就使生物细胞膜所载的信息极大地增加。再说线场的存在, 必然使膜上出现线场的极点(这是潘加来关于线场与曲

面拓扑的一个定理所决定)。极点的个数及性态(由其

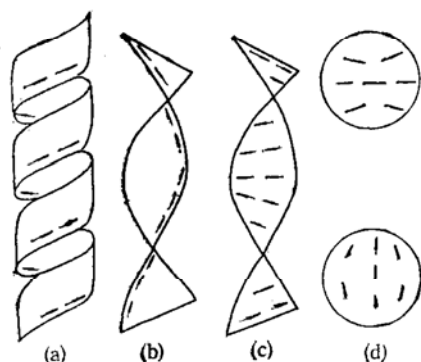


图4 手征倾斜生物膜的螺旋结构,从A到D的变化对应于温度从低到高的构形

指数代表)在生物膜的功能上将有许多重要意义。因为对于实际的生物膜,奇点可能对应于镶嵌在膜上蛋白质的定位,而线场的存在对应着这些大分子在膜上侧向扩散的各向异性与局域化。这些正是近年来实验上发现的膜上(尤其是上皮细胞的质膜)酶与运输蛋白质的所谓成帽现象——即大分子依据各自功能特点被限制在膜的不同部位。一句话,手征生物膜的理论已经比 Singer 和 Nicolson 所提出的流体镶嵌模型进了一步,它使蛋白质大分子在膜上配置的定量描述有了可能,而这正是细胞生物学中另一大难题——细胞识别有了可入门的钥匙。当然,这些特点尚待生物学家予以证实。

五. 结束语

液晶生物膜理论是 70 年代发展起来的新兴边缘学科,是理论凝聚态物理同生物学相互渗透、相互融合的产物。这一交叉学科在我国理论物理工作者的努力参与下,已取得令人瞩目的进展。本文所介绍的几个方面,如形变方程的导出,红血球精确解的求出,环形膜泡的发现,和手征生物膜理论的建立都出自我国学者之手。这一切表明,在这个新兴的领域,我们的理论物理工作者已占有一席之地。在这种良好的开端下,有关方面(物理与生物两方面)投入更大的研究力量将是十分必要的。在这里,我想引用美国生物力学专家瑞克(E. Racker)的一段话来作为本文的结束语。

“目前,我们科学界中的科学精神并不太高。社会以至一些国家的主管机构对基础科学研究的同情和支持都越来越少了,基础科研被看作是一种奢侈品。其实,社会对基础科学的冷落也非现在才开始。当法拉第证实了他在电学上的第一个发现时,一位名叫格雷斯通的人(后来他是英国的财政大臣)问法拉第,这玩艺儿有什么用处?法拉第回答他说:‘噢,先生,将来有一天你会从它身上征收赋税的。’这个小故事一方面告诉了我们,有格雷斯通那样的人对基础科学不感兴趣,但另一方面也告诉了我们,法拉第的创造力远远超越了时代现实。在基础科研中,如果以是否有用这种考虑来支配我们的投入,那意味着一种灾难。”

电离层中等离子体对核聚变研究的启示

苏中启

大气层之上层的等离子体波动是破坏人造卫星通讯的主犯。当太阳辐射轰击上层大气层或电离层时,被粉碎的原子变成由自由电子与离子构成的喧闹海洋。物理学家们希望,通过观察此种高空活动,能够从中学到如何在地面上对核聚变反应进行更好的控制。

和电离层一样,核聚变反应也拥有荷电粒子的海洋。伊利诺大学电气工程师尔汉·库德基解释说“在聚变反应中,如何处理不稳定的等离子体是一重大问题”。库德基发现,电离层中的等离子体,对核聚变来说,其实是“一个极好的室外实验室”。他与他的同事

们正在利用雷达跟踪大气层的等离子体波,当它们围绕地球波动时。他说“它类似于人们在海滩上寻找白帽浪”(波峰有白色泡沫的海浪)。

库德基希望能收集到足够的资料以便有助于建立一个计算机模型,而此模型可以跟踪等离子体在何处和如何形成与运动。如果此等离子体模型能适于描述核聚变反应,它将揭示出一开辟利用此不驯服但取之不尽的潜在能源的途径。译自美国《健康与科学进展》90年7-8月号第53页

(上接第18页)

荣获1992年全国优秀科技期刊评比二等奖,《现代物理知识》荣获1992年全国优秀科技期刊评比三等奖。出版了“全国加速器物理讨论会论文集”,“高能所第四届计算机应用报告会文集”,“第六届全国粒子物理理论学术会议文集”等会议文集。

全年接待来访和顺访外宾达446人次,派出177人次,与美国SLAC等42个单位合作进行高能物理实验与数据分析,为韩国制造安装调试电子直线加速器等国际合作均很成功。与美国超导超级对撞机(SSC)、西欧中心(CERN)的大型强子对撞机(LHC)的合作均获得进展。