

# 生物液晶物理研究及其进展

关荣华

(华北电力大学应用物理系 保定 071003) (河北工业大学 天津 300130)

康文秀

液晶是凝聚态物理研究的重要对象,生物液晶物理是液晶物理理论在生命科学中的具体应用,是生物学与液晶物理学共同研究的交叉学科。

## 一、液晶及其研究的历史回顾

液晶是物质相变过程中处于固态与液态之间的一个中介相。液晶态中物质分子的排列既不像固态那样完全有序,又不像液态那样完全无序,而是处于两者之间的在3维空间失去1维以上平移有序的长程取向有序体系。这使液晶状态的外观是流动的浑浊液体,同时又兼有液态和固态二者的特性。

液晶的发现可追溯到19世纪。1888年奥地利植物学家莱尼茨尔首先观察到液晶现象。他在测定有机物熔点时,发现某些有机物熔化后会经历一个不透明的浑浊液态阶段,继续加热,才成为透明的各项同性液态。翌年,德国物理学家莱曼亦观察到同样现象,并发现呈浑浊状液体的中间相具有和晶体相似的性质,故称为“液晶”。随着研究工作的深入,很多科学家开展了液晶理论工作的研究,确定了液晶的定义、分类、发展了液晶的双折射理论及相变理论。有关液晶的X射线结构分析,液晶弹性和粘度性质、分子之间作用力及光散射、胆甾相旋光理论的研究也都有相当进展。

1922~1933年期间,欧新和祖歇提出了液晶连续体模型,并经夫兰克重新研究和完善,创立了液晶连续体理论,研究了外场对液晶的影响,测量了液晶的磁导率,并开展了液晶的化学合成和物理实验研究工作。他们提出的液晶态物质有序参数、取向有序等概念,大大促进了以后的液晶研究工作。

1933~1945年期间,喀斯特等首次测量了液晶的介电常数,夫尔兰德(D. Vorlander)研究了同系列液晶物质热力学性质变化的一般规律。但是由于在液晶工业技术领域尚未得到应用,并且,以量子力学为基础的固体物理在这一期间发展迅速,特别是在半导体研究方面取得很大成绩,致使许多研究人

员被吸引到半导体方面的研究工作中去。

美国肯特州立大学的布朗等人整理了1888~1956年期间的有关液晶的文献约500余篇,于1957年发表在“化学评论”上,引起了科学界的强烈关注。1958年以后,赫加森(J. L. Hergason)系统地研究了胆甾相液晶的性质后,开始研究向列型液晶的电光性质和其他现象。随后格蕾发表了专著《液晶的分子结构和性质》。这些都为研究和应用液晶材料提供了理论和实验的系统总结。

第一次液晶国际会议于1965年召开。同年在美国化学会召开的胶体和表面化学的讨论会上,专门发表了许多有关液晶的论文,于是液晶的研究又重新受到关注。特别是沙特(M. Schadt)和海尔弗里特(M. H. elfrich)发现了液晶的扭曲电光效应与集成电路相匹配,使液晶得到极为广泛的应用,为当代新兴的液晶工业奠定了基础,同时亦促进了液晶理论的基础理论研究。

近10年来液晶科学获得了许多重要发展,研究领域遍及物理、化学、电子学、生物学各个学科。当今,不仅应用液晶显示获取所需信息在人们生活中随处可见并占有重要地位,而且应用液晶理论研究生物体内进行的生命过程已成为具有挑战性的热门课题。

## 二、生物液晶物理理论的建立及其进展

实验证明生物体内的流体不是普通流体,而是液晶。生物液晶物理研究生命过程中,组织、疾病、衰老等过程中液晶态的变化及生物膜结果和功能、生物体能量,信息传递过程、光合作用及液晶结构和行为之间的关系。

根据液晶所含成分是否单一,液晶可分为两类:一类是热致液晶,另一类是溶致液晶。由于加热破坏结晶晶格而形成的液晶称为热致液晶。而把某些有机物放在一定的溶剂中,由于溶剂破坏结晶晶格而形成的液晶称为溶致液晶。目前用于显示的液晶

材料大多是热致液晶,而生物系统中存在的流体大多是溶致液晶。

生物结构与液晶的联系一直受到各界的关注。1854年维乔(Virchow)在研究麦琳结构时,注意到麦琳具有液晶结构的特性。随后莱曼(Lehman)撰文叙述了液晶在生命科学中的重要前景。1933年,在法拉第液晶讨论会上,生物结构具有液晶特性的观点被提出讨论,到1965年,这一论点便正式成为独立议题。1973年,德国液晶物理学家海尔弗里特根据向列相液晶与类脂膜的相似性,对生物膜形状的液晶模型进行了讨论,提出膜的自发曲率弹性理论,并在此基础上数值计算了人的红细胞正常与非正常情况下的形状。而后,我国理论工作者欧阳钟灿等也介入这一领域的研究,与海尔弗里特合作将研究成果于1987年以论文形式发表在美国的《物理评论》上。随后,我国理论物理工作者开始独立研究,做出了一系列有影响的工作。1990年,欧阳钟灿在海尔弗里特模型的框架内,相继得出脂双层膜泡的一系列解析解,首次预告了脂双层膜的环形形状,并指出:它的两个生成圆的半径必须满足  $r/R = 1/\sqrt{2}$  或 0。这个预言得到了实验的验证。近来,通过对膜泡状态方程的微扰分析和数值模拟,又得到若干与临床发现的病态红细胞形状类似的膜泡形状,此外,根据最近的实验结果,研究出在膜蛋白影响下出现的轴对称开口膜泡形状。最近,又预告了一个被命名为超德罗尔(Delaunay)曲面的新的解析解,这正在等待实验的验证。

生物结构与液晶具有密切的联系已被越来越多的事实所证实。神经细胞髓磷脂溶液具有液晶所具有的偏光特性,哺乳动物发育过程中肢节轴索的诞生与液晶相变产生的几何拓扑结构联系在一起,生物肌肉组织与细胞结构同样显示出与液晶各相相似的分子堆积结构。生物学家公认的生物膜流体镶嵌模型认为膜糖蛋白是浸泡在2维脂类双亲分子液体膜中,如果把双亲分子脂类分子膜当成普通流体,则无法解释蛋白质在细胞膜上的扩散本领,也无法解释为什么人的红细胞是双碟形而不是其他形状,只有将分子膜视为液晶,并采用液晶膜曲率弹性理论才能让上述现象得到证明。不仅如此,根据生物膜是液晶的线索,生命科学中许多困难的问题,如细胞膜的融合,蛋白质在膜上的奇异扩散,以及细胞分泌的胞吐与内吞现象都正在一一得到理论上的解释,以胆甾相液晶为模型所建立的手征分子生物膜理论

很好地解释了分子的自组装螺旋结构,并被物理学家和病理学家联合应用于研究胆结石的螺旋结构。

目前,用液晶理论研究生物现象的内容更加深入广泛,液晶相的拓扑缺陷和相变理论用于研究生物膜融合的机制当中,人们认为,层状液晶提供了可以研究膜相互作用、局部缺陷和相变的有用的膜模型系统,它们类似于一叠完整的膜,中间被极薄的水层隔开,可以应用相变的现代物理理论。膜上分子的迁移率也会像液晶里那样的相变而发生改变。液晶显示技术原理也用来试图解释生物体内信息的传递。我们知道,外加电场会引起液晶分子的重新排列与堆积,而基因和药物用生物膜泡包裹在体内传递相当于外加电场(蛋白质或药物)诱发膜融合,并推动蛋白质移动。这些都是液晶生物膜动力学理论大有可为的课题。

从液晶的发现,到液晶显示技术及生物液晶理论的建立,生物液晶物理作为交叉学科的凝聚态研究对象,揭示了物理学的发展前景,为物理学的发展提供了创新机遇。尽管已经取得了一系列与实验相符的理论结果,但这个领域的研究还处于初期,还期待着更多理论上和实验上的进展。在物理、化学、生命科学等交叉领域中,做别人没能做过的工作是物理工作者今后的重要任务。

## 作者简介



关荣华,女,1964年出生,河北石家庄市人,1985年毕业于河北师范大学物理系,后工作于华北电力大学应用物理系,从事物理教学与研究,1999年获红外物理专业理学硕士学位,现为河北工业大学液晶表面物理专业在读博士生。



康文秀,女,1964年出生,河北正定县人,1985年毕业于河北大学物理系,1988年获理论物理专业理学硕士学位,后一直工作于华北电力大学应用物理系,从事物理教学与研究。