



## 液晶相与分子“维数”

林 磊

(中国科学院物理研究所)

液晶是奥地利生物学家 Reinitzer 于 1888 年在胆甾醇苯甲酸酯中首先观察到的, 由德国的晶体学家 Lehmann 于翌年命名。“液晶”这两个字, 指的是介乎液体与晶体之间的一种新的物质状态, 目前在基础研究和应用方面都很重要<sup>[1]</sup>。我国的液晶研究亦已有十一年历史<sup>[2]</sup>。

自液晶的发现到 1977 年的 89 年间, 人们所知道的液晶都是在长形的有机分子化合物中找到的。这些分子一般有一个长而坚硬的中心部分, 成板条形, 在一端或两端系有柔软的尾链<sup>[3]</sup>。由长形有机分子构成的液晶态(相), 主要可分为向列相, 胆甾相和近晶相三种(见本文第一节)。这些液晶态的基本性质, 大部分可以通过无体积的棒形(一维)分子模型来解释。

1977 年, 印度的 Chandrasekhar 等首次在圆盘形有机分子的化合物中发现液晶态。其后, 在长方形或不对称的盘形分子化合物中亦相继观察到液晶态。这些分子可以认为是二维的。在这些盘形分子的液晶中, 亦存在向列相和胆甾相, 但没有近晶相; 另一方面, 存在长形分子所没有的柱状相<sup>[4,5]</sup>。

液晶的特点之一是光学各向异性(D 相例外, 见本文第一节)。在上述长形和盘形分子的情况, 液晶态的各向异性与分子本身(一维或二维)的不对称形状有关。

1978 年, Halperin 和 Nelson<sup>[6,7]</sup> 考虑了由质点分子组成的二维点阵, 提出二维晶体在融解为液体之前, 可能出现一个六角相(hexatic)的液晶态。最近, Nelson 和 Toner<sup>[8]</sup> 把这个想

法推广至三维点阵, 认为有立方相(cubic 或 cubatic)液晶态存在的可能性。构成六角相或立方相液晶的质点分子, 依照我们上面的说法, 属于零维分子。关于六角相或立方相液晶的存在问题, 虽然至今还未有决定性的实验论证, 但已引起广泛的注意和研究。从液晶态的角度来看, 零维分子液晶打破了过去认为液晶态必然来自形状不对称的有机分子这个概念, 意义很大。

严格说来, 自然界所有的分子当然都是三维的。这里所说液晶分子的“维数”, 是指用来描述这些液晶态的物理模型中的“分子”维数。换言之, 是指构成各类液晶态时分子形状所必需(或主要)的特征。

既然一维和二维分子已证明有液晶态, 零维分子可能有液晶态, 那么三维分子会有液晶态吗? 我们认为, 答案是肯定的。

近年来, 关于液晶相的研究进展很快。本文的目的: 依照分子“维数”的观点, 系统地介绍和总结目前所知(1)各种(热致)液晶相的结构, 特别是近晶相和盘形分子液晶; (2)各液晶相之间的相变顺序, 包括重入现象; (3)讨论三维分子液晶相的存在及其性质, 最后一点显然具有推测性质, 希望会引起理论和实验工作者的进一步探讨。

### 一、一维分子

我们以短黑线来代表长形分子。依其结构,

分为(1)向列相, (2)胆甾相, (3)近晶相, (4)D相和蓝相四类<sup>1)</sup>。

### 1. 向列相

向列相( $\mathcal{N}$ )由非手性分子组成, 分子大致上平行排列, 质心位置无长程序, 可以在三个方向流动(图1)。

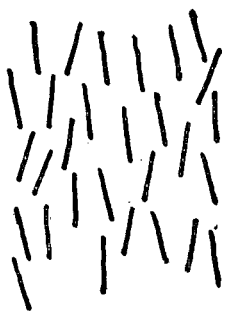


图1 向列相 $\mathcal{N}$

### 2. 胆甾相

胆甾相( $\mathcal{N}^*$ )可以看作由向列相平面重叠而成, 平面内分子互相平行, 其共同方向成螺旋状变化(图2)。螺距 $P$ 约为 $3000\text{ \AA}$ , 与光波长同量级。

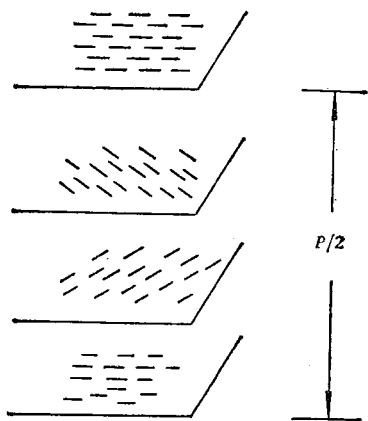


图2 胆甾相 $\mathcal{N}^*$

胆甾相可以由胆甾醇衍生物或手性分子获得, 亦可以用向列相加进手性分子而成。目前所知, 单元化合物若具有胆甾相, 就不会出现向列相; 反之亦然。

### 3. 近晶相

近晶相<sup>[9,10]</sup>分子分层排列, 层内分子互相平行, 其方向可以垂直层面, 或与层面倾斜。分子

质心位置在层内可以无序, 似流体自由平移; 或有序, 象晶体成二维点阵。片层之间的相关程度在不同相中有强有弱。手性分子化合物则可以以扭曲的螺旋片层状出现。非扭曲型近晶相依其发现先后, 以英文字母 $A, B, C, \dots$ 命名。目前已发现非扭曲型至少有 $A-I$ 八种(体心立方D相不算在内), 扭曲型 $C^*, F^*, H^*$ 三种。

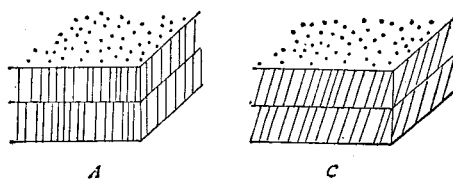


图3 近晶A相和C相

A相分子与层面垂直, 层内分子质心无序, 象二维液体。层厚 $d$ 约等于或略小于分子长度 $L$ (图3)。含腈基( $C\equiv N$ )化合物的A相可能有 $d \approx 1.2-2L$ , 是双分子层结构<sup>[4]</sup>(称 $A'$ 相)。

C相与A相在结构上唯一不同之处是分子与层面倾斜, 倾角每层一样(图3), 依温度而定。C\*相由手性分子组成, 分子在同一层中互相平行, 各层分子与片层法线( $z$ 轴)倾角 $\theta$ 保

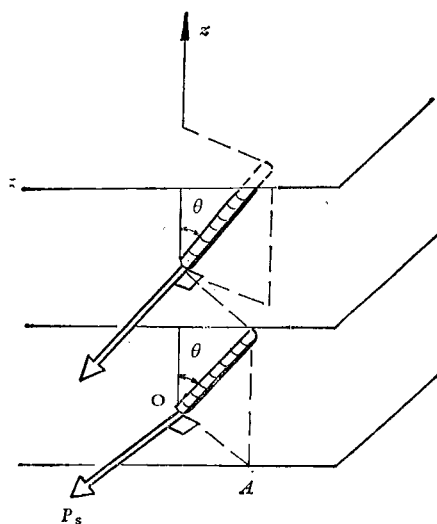


图4 近晶 $C^*$ 相

1) 本文的分类法考虑了较新的实验结果, 与文献[9]的有所不同。

持不变,但分子在层面上的投影  $OA$  则象  $N^*$  相中一样作螺旋状变化(图4).在  $C^*$  相,对称性允许出现与分子垂直而与层面平行的自发极化矢量  $P_s$ ,所以是铁电性液晶(于1975年由 Meyer 等首次合成).目前所知的铁电性液晶只有  $C^*$  和  $H^*$  相两种(参看本文第四节).

在  $B$  相片层内,分子质心排列成六角面心形(图5).若取任一层的分子中心位置为  $A$ ,那么,相邻的一层分子可以在  $A$  或  $B$  位置,而第三层分子可以在  $A, B$  或  $C$  位置(图6).于是就有三种可能排列:  $AAAAA\cdots, ABABAB\cdots, ABCABC\cdots$ . 这三种排列通过 X 射线衍射实验都已观察到.  $ABAB\cdots$  型比较普遍.随温度改变可以发生这些类型之间的互相转化.事实上,  $B$  相片层之间有弱关联,并不互相独立.

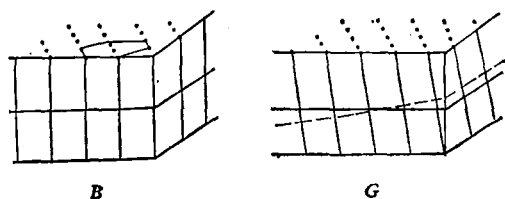


图5 近晶  $B$  相和  $G$  相

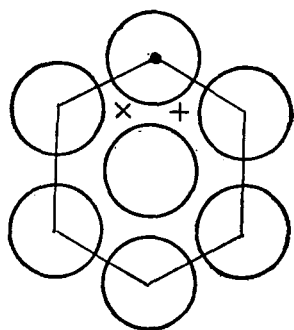


图6 六角面心形的  $A(\bullet), B(+), C(\times)$  三种位置

$G$  相的分子互相平行并与层面倾斜.在与分子长轴垂直的截面(图5虚线)上,分子分布如图6,所以这个结构称为准六角形( $G$  相以前曾称为倾斜  $B$  相,见图5).

$E$  相分子与片层垂直.片层内分子排列如鲱骨形(即人字形).把  $E$  相分子对层面倾斜,即得  $H$  相结构(图7).

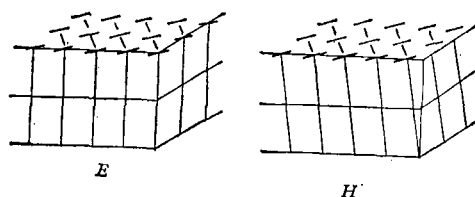


图7 近晶  $E$  相和  $H$  相

$F$  相与  $G$  相相似,片层内分子有准六角形排列,但局域来看,则有鲱骨形结构.层与层之间的相关性很弱.  $I$  相亦是倾斜的准六角形结构,发现较迟,结构方面还待深入探讨.

$F^*$  相和  $H^*$  相都由手性分子构成,相对于  $F$  和  $H$  相的扭曲状态(就象  $C^*$  是  $C$  的扭曲状态一样).在片层内分子作晶格排列.

#### 4. $D$ 相和蓝相

液晶相在光学上一般是各向异性的,但  $D$  相在光学上却是各向同性,其结构是由若干分子为一组的单元所构成的体心立方体.

手性分子由各向同性液相冷却为胆甾相之前,有时在小于  $1^\circ\text{C}$  范围内会出现一个或两个蓝色的相,记为  $B_1^*$  和  $B_2^*$  相.以前有人认为是体心立方结构,但最近实验表明,倾斜的螺旋结构更为合适,就象图4的  $C^*$  相,但不存在片层.

上述各种结构,除  $N, N^*, A, C, C^*$  相等比较肯定外,其他目前还处于热烈研究阶段<sup>1)</sup>.

#### 5. 相变序列

一般说来,液晶相越有序则出现的温度越低.我们以  $\mathcal{C}$  和  $\mathcal{I}$  分别代表晶体和各向同性液体.一维分子液晶的相变序列有两种(冷却时由右至左):

$$\begin{aligned} \mathcal{C} & - H(H^*) - G - F(F^*) - I - B \\ & - C(C^*) - A - N(N^*) - B_1^* \\ & - B_2^* - \mathcal{I} \end{aligned}$$

和

$$\mathcal{C} - E - B - A - N - \mathcal{I}$$

其中  $H(H^*)$  表示  $H$  或  $H^*$ ,余类推.当然,特

1) 关于近晶相的织构,见文献 [9, 11].

表1 一维分子的液晶相

		晶 体	近晶相			向 列 相	蓝 相	各 向 同 性 液 相	
			有 序		无 序				
			蜂 骨 形	六 角 形					
				准					真
非手性分子	垂直	$\mathcal{S}$	$E$		$B$	$A$	$\mathcal{N}$	$\mathcal{I}$	
	倾斜		$H$	$GFI$		$C$			
手性分子	扭曲		$H^*$	$F^*$		$C^*$	$\mathcal{N}^*$		$B_1^*E_2^*$
			体心立方			$D$			

→ 温度

例外:  $\mathcal{S}-\mathcal{N}-A-\mathcal{N}-A-\mathcal{I}$

定的液晶化合物并不同时具有上述所有的相。上面的序列只是表明这些相如有出现，则依一定顺序而已。

值得注意，存在不符合上述序列的例外情况，也就是重入现象（见下文）。表1列出了一维分子液晶的相结构及其相变序列。

鉴于新的液晶相不断发现，看来一个根据结构来命名液晶相的系统方案，将是很有必要的。关于这方面的工作，可参看 deVries<sup>[12]</sup>，Helfrich<sup>[13]</sup>，Goodby 和 Gray<sup>[14,10]</sup> 等人的文章。

### 6. 重入现象

如表1所示，近晶A相的温度通常在向列相 $\mathcal{N}$ 之下。但某些极化度较高、以腈基为终端的化合物(如  $nCB$ ,  $nOCB$ , T8 等)，在冷却时却可能出现  $\mathcal{S} \rightarrow \mathcal{N} \rightarrow A \rightarrow \mathcal{N} \rightarrow \mathcal{S}$  这个序列。在低温的  $\mathcal{N}$  相称为重入  $\mathcal{N}$  相<sup>1)</sup>，是

Cladis 于1975年首先发现的(参看文献[4]和文献[13]中的 Cladis 的文章)。

也有一些含腈基化合物，如 T8，冷却时甚至有  $\mathcal{S} \rightarrow \mathcal{N} \rightarrow A \rightarrow \mathcal{N} \rightarrow A \rightarrow \mathcal{S}$  这个情况(图8)，即  $\mathcal{N}$ ,  $A$  各出现两次，称为双重入现象。重入现象在超导体中亦有发现，但 T8 是凝聚态中首次观察到两个重入相的物质。

这类化合物可以有  $A-A'$  相变 ( $A, A'$  分别为单分子和双分子层结构)。双分子层结构与重入现象有密切关系<sup>[4]</sup>。

我们最近的理论工作表明<sup>[17,19]</sup>，普通向列相液晶在高压(数个 kbar)下可能出现  $\mathcal{S}-\mathcal{N}-\mathcal{S}$  的重入  $\mathcal{S}$  相。最近，在盘形分子液晶亦观察到重入现象。

## 二、二维分子

目前发现有液晶相的盘形分子已有多重(参看文献[4,5]和文献[10]中的 Billard 和 Gasparoux 的两篇综述性文章)。一些典型的例子见图9。这些分子均具有一个圆形或椭圆形盘状的刚性中心部分，周围有长而柔软的脂肪族尾链，分子具有6重至2重对称性。二维分

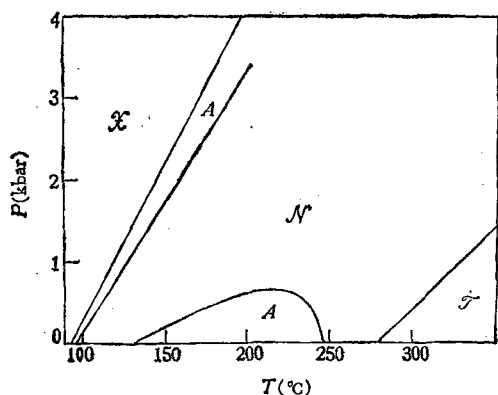


图8 液晶 T8 的双重入现象

1) 与一般想象(参看文献[15],第2页)相反,热力学并没有规定低温相必然比高温相有规则(见文献[16],第449页)。重入  $\mathcal{N}$  相温度比  $A$  相低,但后者比前者有序,正好说明这一点。

2) 参看刘家冈,硕士论文,中国科学院物理研究所(1981)。

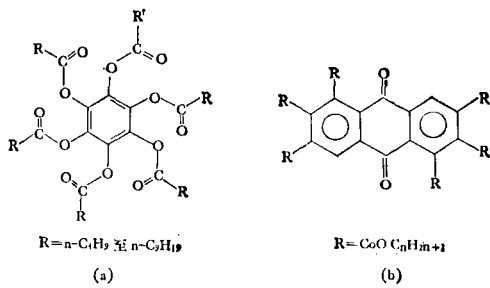


图9 液晶二维分子的例子

(a) 苯-六正烷基羧酸酯; (b) 萘-二正辛基羧酸酯

子液晶具有向列相 ( $\mathcal{N}_D$ )、胆甾相 ( $\mathcal{N}_D^*$ ) (图10)和柱状相 ( $\mathcal{D}$ )三类。

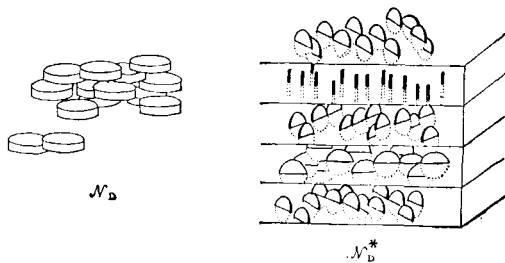


图10 向列相  $\mathcal{N}_D$  和胆甾相  $\mathcal{N}_D^*$

### 1. 向列相和胆甾相

$\mathcal{N}_D$  和  $\mathcal{N}_D^*$  相与一维分子的  $\mathcal{N}$  相  $\mathcal{N}^*$  相相似, 只需把后二者的长棒轴用盘形的法向轴代替即可。换言之, 在  $\mathcal{N}$  和  $\mathcal{N}^*$  中分子平行于指向 (director), 而在  $\mathcal{N}_D$  和  $\mathcal{N}_D^*$  中分子与指向垂直。所以,  $\mathcal{N}_D$  和  $\mathcal{N}_D^*$  的光学特性和抗磁性各向异性均为负的。

### 2. 柱状相

通过光学织构 (texture), 热测量和 X 射线衍射的观察, 发觉柱状相事实上分为四种:  $\mathcal{D}_{ho}$ ,  $\mathcal{D}_{hd}$ ,  $\mathcal{D}_{rd}$  和  $\mathcal{D}_t$  (图11)。在  $\mathcal{D}$  相中分子堆积成柱, 在同一柱中分子间隔可以是规

则有序的 (order, 以  $o$  代表), 也可以是不规则无序的 (disorder, 以  $d$  代表)。不同柱内的分子质心位置无关联性。由各柱排列构成的二维点阵, 可以是六角形 (hexagonal, 以  $h$  代表) 或长方形 (rectangular, 以  $r$  代表)。在  $\mathcal{D}_t$  相中, 分子相对于柱轴方向有倾斜角 (tilted, 以  $t$  代表)。所有这些  $\mathcal{D}$  相的粘滞性较高, 具有双折射性, 其光学织构与近晶相很相似。

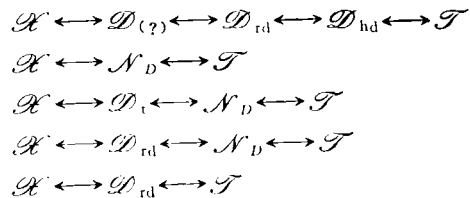
最近, 有人认为图9(a)分子  $\mathcal{D}_{ho}$  相中的分子, 事实上是与柱轴倾斜的, 是准六角形结构。

上面所用  $\mathcal{D}$  相符号来自 Destrade。文献上也有采用  $\mathcal{D}_A$ ,  $\mathcal{D}_R$ ,  $\mathcal{D}_C$  等符号的<sup>[40]</sup>。柱状相在文献上也有不同的名称 (圆柱型 columnar, 棍型 canonic, 盘型 discotic 等), 还未有统一起来。

从结构上看, 可以认为柱状相, 近晶相, 向列相是在一个, 二个和三个空间方向发生融解的相。柱状相的流体动力学性质和缺陷都有其独特之处。值得指出, 几何效应对二维分子会比对一维分子来得重要。

### 3. 相变序列

二维分子液晶相之间的转变有下列顺序:



可是亦出现了与重入现象相似(但不尽相同)的逆序列:

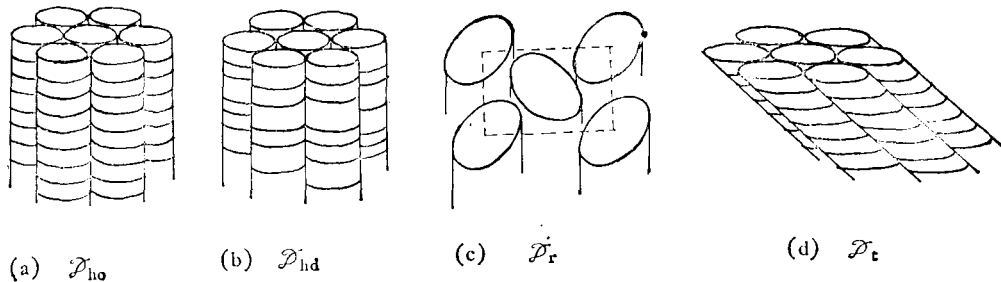
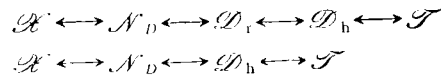


图11 柱状相

### 三、零维分子

在本文第一、二节提到的液晶相,都是由有方向性(长形或盘形)的分子组成的.现在介绍由各向同性分子(以零维的质点代表)组成的液晶相.

首先考虑二维的质点点阵.二维系统的物理性质与三维的很不一样<sup>[6,7]</sup>.例如,二维晶格的平移序参数并不存在真正的长程序(虽然二维晶格确实存在).对于任意的序参数 $\phi$ ,依其在远距离时的关联性质,可以定义三种序:

(1) 长程序(L):  $\lim_{r \rightarrow \infty} \langle \phi(r)\phi(0) \rangle \neq 0$ ;

(2) 准长程序(Q):  $r$  很大时,  $\langle \phi(r)\phi(0) \rangle \sim r^{-\eta}$ ;

(3) 短程序(S):  $r$  很大时,  $\langle \phi(r)\phi(0) \rangle \sim e^{-r/\xi}$ , 这里指数通常与温度有关,  $\xi$  为关联长度.

在二维的三角形点阵中(每个点上有一质点),可以定义两个序参数: 平移序参数(与质心位置有关)和取向序参数(与连接相邻两质点直线——键的方向有关).当温度改变时,根据与位错和向错有关的融解理论,在晶体与液体之间可能出现一个新的液晶相,称为六角相.这三个相由表 2 定义.

表 2 二维三角点阵的三个相

序参数	固相	六角相	液相
平移	Q	S	S
取向	L	Q	S

为了把上面的描述形象化,让我们把三角形点阵想象为由大小相等的菱形板块所合并而成[图 12(a)],就象由砖块砌成的地板一样.假如把这些菱形板块看作是一个单元,相当于一个有方向性的大分子,那么,当温度升高时,就有可能出现长形分子那样的向列相[比较图 1 和图 12(b)]和各向同性液相.前者相应于这里的六角相,后者相应于这里的液相[图 12(c)].

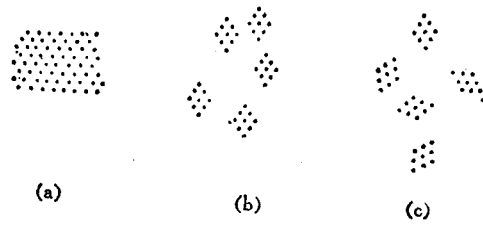


图 12 二维三角点阵

(a) 固相; (b) 六角相; (c) 液相

当然,图 12(b) 和 (c) 只是简化了的理想情况.与长形分子不一样,板块之间还是有质点填充其间的,构成位错和向错.事实上亦不存在分割整齐的菱形(或其他形状的)板块.假如把菱形板块理解为短距离内分子的排列,则较为接近现实.分子的键在这里扮演的角色,正相当于一维分子液晶中的分子长度.根据理论分析,固相中位错对的解体导致六角相的产生,而向错对的解体则是六角相融解为液相的原因.

与上面相似的液晶相,同样可以出现于方格或其他二维点阵.有人认为<sup>[18]</sup>,近晶 B 相可以看作是由六角相片层堆叠而成的.最近,上述零维分子六角相的理论已推广至由倾斜一维分子组成的二维薄膜(相当于近晶 C 相薄膜<sup>[4]</sup>),预言了多种多样新的液晶相,并给出了相图<sup>[6]</sup>.不过,有关六角相和上述各种预言,都还未有肯定的实验鉴定,计算机模拟实验则提供了正反两方面的证据(参看文献[8]).与此有关的研究目前还在热烈进行中.

与二维的六角相相对应,三维晶体在融解为液体时可能经过一个“立方相”液晶态,这个立方相对扭转有抗拒力<sup>[9]</sup>.

### 四、三维分子

很多长形分子都带有较强的电偶极子<sup>[3]</sup>,但在液晶中由于分子排列总是互为补充(图 13),总偶极矩为零,因此在向列相、胆甾相和大部分的近晶相中不呈铁电性(见本文第一节).在三维分子的情况,例如图 14 所示的碗形分子,由于分子形状的特殊性,分子排列时偶极矩的抵消将会比一维分子来得困难(分子朝同一方

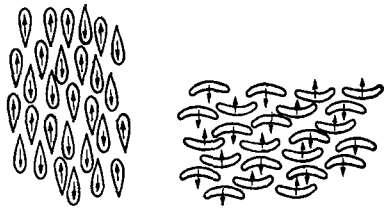


图 13 长形液晶分子电偶极子互相抵消的两种情况

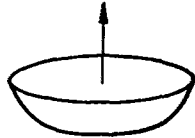


图 14 碗形分子(箭头代表偶极子)

向排列的机会较大),就有可能出现铁电性的向列相,分子有手性时则为胆甾相。

在这个情况,液晶相的物理量不一定服从  $n \rightarrow -n$  对称性,这里  $n$  代表指向(分子平均取向)的单位矢量。对碗形分子液晶来说,仍有单轴转动不变的局域对称,向列相弹性自由能与一维分子的 Frank 自由能完全一样(因为 Frank 自由能的推导不依赖于  $n \rightarrow -n$  对称<sup>[19]</sup>)。可是,耗散函数就会比普通长形分子的多出几项(见文献[20]的(5.6)式),出现一些在一维分子向列相中所没有的新效应。例如,温度梯度可以引起分子取向的改变,反之亦然。

可以想象,碗形分子液晶亦会出现柱状相,但无近晶相。此外,由于碗形分子比盘形分子更容易堆叠起来,有可能出现介乎向列相和柱状相之间的一种新相,就是在向列相中离散的分子以外,夹杂一些由分子堆叠而成的短柱。

除了碗形分子外,当然也可以考虑金字塔或半圆球型的三维分子。但在后面这些情况,偶极子的相互抵消比较容易,不易出现铁电性液晶相。应该指出,这里所说的碗形分子,只是一个象征性的说法。实验上只需选取一些略为扁平,上下两方向不对称的分子即可。分子之间要有一定的重叠能力,但又不能太强,否则一重叠就可能只出现固相而不是液晶相了。

三维分子液晶相由于有铁电性;会有广泛的实际用途,其性质与目前所知的液晶相<sup>[21]</sup>亦将大有不同,值得进一步深入探讨。

## 五、结 束 语

液晶相及其相变的研究,是目前凝聚态物理的一个热门课题<sup>2)</sup>。有关重入现象,铁电性液晶,盘形分子液晶,二维六角相和立方相等,都是最近几年才发现和提出来的。本文首次从分子“维数”的角度,介绍了这些新的进展,并预言了三维分子铁电性液晶的存在及其独特性质。

## 参 考 文 献

- [1] 林磊,百科知识,6(1980),60.
- [2] 林磊,见自然科学年鉴(1981),上海科学技术出版社(1981).
- [3] 王良御,物理,10(1981),325.
- [4] 林磊,见谈曼琪,丁学善,林磊(编译),液晶,(待发表).
- [5] S. Chandrasekhar, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **63** (1981), 171.
- [6] B. I. Halperin, in *Proceedings of the Kyoto Summer Institute*, Y. Nagoaka, S. Hikami, eds., Publication Office, Progress of Theoretical Physics, Kyoto (1979).
- [7] D. R. Nelson, in *Proceedings of the Enschede Summer School on Fundamental Problems in Statistical Mechanics, 1979*, E. C. D. Cohen, ed., North Holland.
- [8] D. R. Nelson, J. Toner, *Phys. Rev.*, **B24** (1981), 363.
- [9] D. Demus, L. Richter, *Textures of Liquid Crystals*, Verlag Chemie, Weinheim (1978).
- [10] W. Helfrich, G. Hoppe, eds., *Liquid Crystals of One and Two-Dimensional Order*, Springer-Verlag, Heidelberg (1980).
- [11] 刘维工、赵静安,物理,11(1982),178.
- [12] A. deVries, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **63**(1981), 215.
- [13] S. Chandrasekhar, ed., *Liquid Crystals*, Heyden, London (1980).
- [14] J. W. Goodby, G. W. Gray, *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Lett.*, **49**(1979), 217.
- [15] J. Bardeen, 蔡建华,物理学进展,1(1981),1.
- [16] L. D. Landau, E. M. Lifshitz, *Statistical Physics*, 3rd Edition, Part 1, Pergamon, Oxford (1980).
- [17] 林磊、刘家岗,科学通报,(待发表).

1) 与本文内容有关的原始文献,可参看文献[5-8]和最近几个国际液晶会议录(1979在印度举行的国际液晶会议<sup>[13]</sup>;1980在西德举行的国际液晶会议<sup>[14]</sup>;1980年在日本京都举行的第八届国际液晶会议,文章见 *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1981年63卷等)。

[18] R. J. Birgeneau, J. D. Litster, *J. Physique Lett.*, **39**(1978), L399.  
 [19] 林磊, 物理, **9** (1980), 8.

[20] L. Lam (林磊), *Z. Physik*, **B27** (1977), 349.  
 [21] H. Kelker, R. Hatz, *Handbook of Liquid Crystals*, Verlag Chemie, Weinheim (1980).

## 近晶相液晶的织构和缺陷<sup>1)</sup>

刘维工

(中国科学院成都分院)

赵静安

(清华大学近代物理研究所)

最近几年,对于近晶相 (smectic phase) 液晶的研究在国外蓬勃开展起来。主要有三个方面吸引着探索者:一是人们对近晶相物理性质的了解比向列相 (nematic phase) 和胆甾相 (cholesteric phase) 更不清楚,有大量值得研究的问题;二是从结构上来讲近晶相比其它两种相更与晶体、生物膜相关,进一步探索近晶相的物理化学性质与晶体、生物膜所特有的某些功能的关系是很有意义的;三是1980年在两个国际学术会上分别提出了利用近晶相液晶解决其它两类液晶在电视显示上所造成电光响应速度慢的问题,引起了人们的注视。

在由X射线衍射数据分析所获得的近晶相液晶分子的排列模型中,分子的指向矢  $\mathbf{n}(r)$  是空间位置坐标的连续函数。织构指的是在偏光显微镜下观察到的各种液晶薄层的图案,这些图案是由于分子排列的不连续性(或奇异性)所造成,与晶体中的位错很相似。各种织构的特征与不同类型的缺陷有关。液晶中的缺陷多产生在边界上或不能溶于液晶的微小粒子处。在液晶态的生长过程中,流动、电磁场、温度梯度或机械压力的强烈扰动也可以使液晶产生缺陷。液晶中的分子不象晶体中的原子、离子或分子排列的那样紧密,发生结构变化所需之能量比晶体中低得多,所以在液晶中可以产生较强的畸变(缺陷的尺寸较大)。大多数的畸变不象晶体那样以位错面列或位错网络把晶体分成不同的畴区,而是在点上或线上存在着指向矢的不连续性。这个点和线分别称作奇异点和奇异线。富兰克将这种分子排列的奇异性称为向错

(disclination)。

近晶相液晶的结构,目前已有十几种之多,按其发现的先后,按英文字母的顺序,分别命名为  $S_A, S_B, S_C \cdots S_I$  等。每种结构的性质、不同结构之间的差别以及分类的方法,详见文献[2]。

下面介绍几种常见的近晶相织构和缺陷:

### 1. 近晶 A 相的织构

#### (1) $S_A$ 的平面织构

平面织构是  $S_A$  最简单的一种构型,各层平行于基板排列,分子垂直于层平面取向。此排列称为垂面校列 (homeotropic) 或膺各向同性。好的取向制品在偏光显微镜(偏振片正交)中,光线将平行于分子的光轴传播,并且由于偏振片正交光线几乎完全消失,只是在样品的边缘或气泡周围才出现亮带。有时平面织构也以阶梯形液滴 (stepped drops) 出现(图1),从一个坪 (plateau) 过渡到另一个坪以台阶标志,其厚度不是唯一的。用显微镜观察这些台阶常常呈

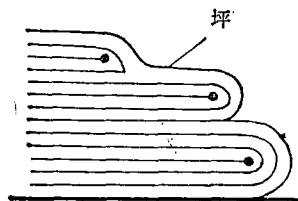


图1 阶梯形液滴的拓扑

现很多条线。阶梯形液滴由  $\pi$  向错,即分子的指向矢旋转了  $180^\circ$  所产生的向错所构成。

1) 本文主要取材于参考文献[1]。