

P. G. de Gennes 著 孙政民 王新久 编译

液晶物理学

上海翻译出版公司



内 容 简 介

本书译自 P. G. de Gennes 著《液晶物理》(1975年修订版)。全书系统地总结和概括了液晶物理的理论基础和重要课题,详细讨论了液晶的三种主要类型——向列相、胆甾相和近晶相的结构、相变、缺陷和织构以及弹性性质,光学性质,电学性质,磁学性质和流体力学性质。

本书是一本全面论述液晶物理的专著,既可作为高等院校有关专业的教师、研究生和大学生的教学参考书,也可作为从事与液晶有关的研究人员和工程技术人员的参考读物。

液 晶 物 理 学

P.G.de Gennes 著

孙政民 王新久 译

上海翻译出版公司

(上海复兴中路 597 号)

(邮政编码 200070)

此书由上海发行所发行 上海东方印刷厂印刷

开本 85 × 1156 1/32 印张 15.5 插页 24 字数 351,000

1990 年 7 月第 1 版 1990 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—2,000

ISBN 7-80514-322-6/O·78 定价: 10.50 元

中译本序言

液晶最初是 100 年前由德国学者发现的，后来法国的 Georges Friedel 建立了结构分类的基本方案，美国人最先注意到液晶在显示器件中应用的潜在重要性，今天液晶的应用技术大部分掌握在日本人手中……

本书写于七十年代初，那是一个极其令人振奋的时期，液晶的许多新特征都展现出来。从那以后，人们又有了许多其他的发现。对近晶型液晶多形性现象的认识已经拓宽和深化；六方序也已经观察到了；漂亮的拓扑论述对许久以前 F. C. Frank 首先考虑的结构缺陷进行了分类； ^3He 超流相为我们提供了一类新的有序流体，其中配对的角动量就是指向矢。化学家们进行了很大的努力合成出许多向列型聚合物，这种材料可能有重大的工业应用前景。

迄今已经出版了一些更加专门的书籍，其中包括了上述这些新的内容。在法国，Jacques Prost 正在撰写一部非常全面的理论专著。然而我相信本书作为一本液晶的入门书仍然是有用的。

事实上，本书中的一些概念最近已得到应用。例如，从我在 1971 年提出的近晶相和超导体之间的相似性出发，T. Lubensky 及其同事提出了一种新的相，即由手性分子组成的近晶 A^* 相， A^* 相类似于第二类超导体。在这类超导体中磁场可能以涡旋线的形式出现，而在 A^* 相螺旋位错的阵列形成了宏

观扭曲。这个相仅在三个月前才被美国贝尔实验室的一个小组在实验上所发现！

因此本书对中国学生可能仍然有帮助，在我写该序言时人们正关注于更加深刻的问题。我们知道，有创造性的科学技术的发展需要自由和国际合作的气氛，我们希望这部中译本出版时这些条件都已具备。

P. G. de Gennes

巴黎，1989年5月

序 言

我喜爱液晶，因为它既美丽又神秘。我希望本书的读者也会感受到同样的魅力，同时帮助揭开它的奥秘，并且提出新的问题。

尽管人们发现液晶已经有八十年时间了。然而许多在三十年前就应当做过的实验直到现在才正在做，而且液晶应用于电光显示和热象也不过只有十年的历史（这主要应归功于Ferguson和Heilmeyer的努力）。在过去很长的一段时期内液晶研究之所以停滞不前并不能仅仅归结于缺少明显的应用，更重要的原因是在于液晶本身的错综复杂性。液晶研究涉及到很多不同的学科，例如：化学、光学、力学等等；并且需要掌握一些专门的实验技术，例如核磁共振等；此外，还需要具备一定的三维空间想像力以分析复杂的分子排列。我或许算半个理论物理学家，但是在上述技术领域却缺乏很好的训练，所以本书可能很不全面，某些内容特别是化学方面的篇幅还作了尽可能的压缩。另一方面，理论工作者能够并且也应该系统地将其手头研究的课题与其它科学领域进行比较，因此本书中常常与磁学进行类比，这种类比对理解某些问题是有帮助的。将近晶相与超流氦Ⅱ和超导现象进行比较也很有意义，只是这样做意味着要比较熟悉低温物理，而我并不想将这些内容也作为理解本书的必备知识，因此，在提到超流的地方只是一笔带过。

像所有的理论物理学家一样，我习惯于进行严格的数学推导，但是在本书中，我尽可能地插进一些定性的讨论而不只是用方程式来说明问题。不过在第三章和第五章中讨论向列相的流体静力学和流体动力学两部分内容时仍然用了较多篇幅，而且也比较枯燥。Johns Hopkins 大学经典力学小组和 Harvard 大学理论物理小组对这些内容尚存在着某种争议，他们各自用很不相同的语言来讨论问题。幸运的是，他们的主要结论却是一致的。为了说明这一点，我进行了冗长的理论推导。不过，除了这个特殊问题以外，其它理论问题都被压缩了，只留给读者去参考一、两篇主要文献。

需要指出的是，本书并没有罗列所有的实验和理论方面的参考文献，也没有依照出版时间的先后顺序来选取它们。例如，我没有引用 Lehmann 和 Schenk 的著作，因为一般读者可以阅读后来 Friedel 和 Saupe 的综述文章，相比而言，后两位作者的叙述更为清晰和明瞭*。同样，我也略去了不少在分子水平上讨论向列相序的理论文章，尽管它们颇有意思，然而假设过多。

本书选择的题材并不完全，特别是它没有讨论溶致液晶。我个人认为尚需要若干年时间才能充分认识它。同样，本书也没有提及那些奇异的近晶相 D、E、F、G……，以及某些胆甾醇呈现的兰相，这些相都非常有意思，只是我们迄今对它们的了解太少（至少我是这么看的），所以在本书中讨论它们尚为时过早。我的目的在于阐明问题，而不是罗列实验资料。本书的内容在最近三年内曾讲授过多次，但是我知道现在这个版本离预期的目的仍有相当的差距。虽然如此，我仍然衷

*液晶的历史最近已由 H. Kelker 整理发表了，见 *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 21, 1 (1973)。

心希望，尽管本书存在着明显的缺点，它仍会帮助液晶工作者找到共同的语言。

本书得以出版要归功于我的同事和朋友们。首先要提到的是G. Durand和M. Veyssié，他们早在1968年秋就勇敢地开始了液晶的实验研究。后来相继有另外一些研究小组参加他们的工作，由于大家的努力，我们在巴黎的Orsay建立了一个活跃的研究集体，本书就是我们之间频繁讨论的结果。它很大程度上代表了他们共同的见解，因此本书的思想是属于他们的，错误则应归咎于我个人。其次，我还要感谢Orsay的其他朋友们。J. Billard使我第一次见识到液晶，最近他还使我了解到中间相的一些基本性质。R. B. Meyer一直与我通信讨论液晶中的问题，使我获益非浅，我曾希望劝说他为本书撰写部分章节，可惜未能如愿。自去年以来相继来到Orsay的一些访问学者，如O. Litster, P. Pershan, 特别是P. Martin给我很多帮助。F. C. Frank, 以及J. Friedel、M. Kleman曾非常耐心帮助我认识一些复杂的液晶缺陷。G. Sarma和N. Boccara一直与我交流学术上的见解。S. Alexander, D. Martire和J. V. Baron向我介绍了刚棒模型。还要特别提到的有，J. L. Ericksen, H. Gruler, W. Marshall, A. Rapini以及Y. R. Shen，他们仔细审阅了原稿；C. Williams为本书编辑了弹性常数表，L. Leger则整理了粘滞系数表。M. F. Jestin以极大的耐心打印了大部分原稿，M. Cramson和R. Seveste则协助制图和照相。

最后，但并非最不重要的是，我要感谢我的妻子Anne Marie的合作，多少个阳光明媚的周末都牺牲在写作这本书上了。现在，看看这些代价所换来的结果，我并不完全确信

这些代价是值得的，当然我不敢将这本书奉献给她。

P. G. de Gennes

Orsay, 1972年12月

修 订 本 注

在过去两年内，液晶研究领域中发现了许多新的实验事实，在本修订本中我已经把它们包括入内。这些进展主要是：联苯型液晶的发明，预言并合成了具有铁电性的手性近晶 C 相，表面向错和中心的光学观察，向列相 Poiseuille 流动中横向压强效应的发现。我扼要地总结了这些进展，并且对以前一些问题的表述作了修正，最近的实验结果使我们对这些问题有了进一步的认识。例如，Kent 大学对 T_{10} 的测量就相当清楚地阐明了向列相中核弛豫的本质。

最后，我删去了原版中出现的一些小错误。在所有这些工作中，Marie France Jestin 和 Ghislaine Combe 给予我热情的帮助，我衷心地感谢他们。

P. G. de Gennes

巴黎 1975年4月

译者序

液晶是介乎固体和液体之间的一种新的物质状态。尽管液晶的发现已经有 100 年的历史(1888—1988)，但是长期以来，由于历史条件的限制，人们对液晶知之甚微。直到本世纪六十年代，特别是1968年发现了向列相液晶的电光效应后，对液晶的研究才蓬勃开展起来。二十年来，液晶广泛应用于许多新技术领域，尤其在显示应用中获得了巨大的成功。与此同时，液晶的基础理论也大大向前发展了。今天，液晶作为物理学、化学、生物学、电子学等多学科交叉的一门边缘学科正在成为一个十分活跃的研究领域，对当代科学技术的发展日益显示出重要作用。

本书译自 P. G. de Gennes 所著的《液晶物理》(The Physics of Liquid Crystals, 1975 年)。作者 de Gennes 教授是法国著名的物理学家，国际凝聚态物理界的知名学者，在超导、液晶、聚合物等领域都作出过重要贡献。写作本书时，他在法国巴黎南大学 Orsay 固体物理实验室领导液晶的研究工作，从六十年代末到七十年代中期，de Gennes 教授及其同事们在液晶研究的一系列问题上取得了重大进展，为奠定液晶的现代理论基础作出了突出的贡献。

《The Physics of Liquid Crystals》一书初版于1974年，1975年作了少量增删和修改。全书取材丰富，内容全面，理论推导严格、简洁，物理思想清楚，并且整理了很多实验结

果，另外每章均附有一些例题及其解答，这对于理解书中内容颇有帮助。因此该书出版后一直是国际液晶界倍受欢迎的-部权威性经典著作。所以我们认为，值此液晶发现 100 周年之际，将此书译成中文是很有意义的，希望它能对读者有所裨益。

原书共分七章，考虑到十多年来液晶理论的飞速发展，故增补了一章“液晶研究的某些新进展”，作为第八章，内容包括：A. J. Leadbetter 的文章“液晶的结构分类”[选自“Thermotropic Liquid Crystals” Ed. by G. W. Gray, John Wiley and Sons, 1987, p 1—27.]，E. T. Samulski 的文章“聚合物液晶”以及 P.S.Pershan 的文章“溶致液晶”[分别选自 Physics Today, Vol 35, No 5, 40 (1982); 34 (1982)]以帮助读者对液晶的类型及相关的物理问题有进一步的了解。关于液晶研究的其他新进展，由于篇幅所限，不能一一叙述了，读者可参阅有关文献。

本书由南京大学物理系孙政民和清华大学现代应用物理系王新久共同翻译而成。王新久译第一、二、三、八章，孙政民译第四、五、六、七章，并且相互进行了校阅，最后由孙政民在语气、用词上作了统一。对原书中的印刷错误或笔误，凡是我们发现并且确认的，都已作了改正，其中重要的改正还加了译者注。另外，原书中所引用的但当时尚未发表的文献，我们都尽可能地给出该文献的出处。

de Gennes 教授对《液晶物理》中译本的出版非常高兴，并热情地写了“中译本序言”。南京大学冯端教授和闵乃本教授以及清华大学赵静安教授对本书的翻译均给予了鼓励和支持。另外，深圳天马微电子公司为本书的出版提供了赞助，译者谨向他们表示深切的谢意。

由于译者学识浅薄，水平有限，书中难免有不少缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

孙政民 王新久
一九八七年九月于南京

目 录

第一章 各向异性流体——液晶的主要类型和性质	1
1.1 引言	1
1.2 构造单元	3
1.2.1 小的有机分子	3
1.2.2 长螺旋棒	5
1.2.3 复合结构	6
1.3 向列相和胆甾相	8
1.3.1 严格意义的向列相	8
1.3.2 胆甾相：向列相的一种畸变形式	10
1.4 近晶相	15
1.4.1 近晶A相	16
1.4.2 近晶C相	17
1.4.3 近晶B相	19
1.5 其它的中间相	20
1.5.1 奇异的近晶相	20
1.5.2 长棒系统的长程序	21
1.6 液晶的重要性质	22
参考文献	25
第二章 向列相的长程序和短程序	27
2.1 序参数的定义	27
2.1.1 微观定义	27
2.1.2 宏观定义	35

2.2	向列相序的统计理论	41
2.2.1	刚棒系统的平均场计算	41
2.2.2	具有 S^A 相互作用的平均场理论(Maier-Saupe 理论)	50
2.3	短程序效应	55
2.3.1	计算机模拟	55
2.3.2	T_0 之上的 Landau 自由能	57
2.3.3	静态预相变效应	59
2.4	混合物	64
2.4.1	混合系统的重要性	64
2.4.2	一般倾向	66
	参考文献	67
第三章	向列相单晶的静态畸变	70
3.1	连续体理论	70
3.1.1	长程畸变	70
3.1.2	畸变自由能	72
3.1.3	畸变能公式的讨论	76
3.1.4	边界效应	84
3.1.5	向列相传递力矩	93
3.2	磁场效应	95
3.2.1	液晶分子的抗磁性	95
3.2.2	磁相干长度的定义	98
3.2.3	Fredericks 转变	102
3.3	电场对绝缘向列相的影响	116
3.3.1	介电各向异性	116
3.3.2	畸变感应极化(挠曲电效应)	118
3.4	指向矢取向的涨落	123
3.4.1	光散射实验	123
3.4.2	向列相单晶的取向涨落和取向相关性	125
3.4.3	取向涨落引起的光散射	130

3.5 向列相的流体静力学	139
3.5.1 自由能与分子场	139
3.5.2 应力和作用力	139
3.5.3 力矩的平衡	145
参考文献	151
第四章 向列相的缺陷和织构	164
4.1 观察	164
4.1.1 黑色丝状物	154
4.1.2 “纹影结构”	154
4.1.3 缺陷的类型	156
4.2 向错线	168
4.2.1 “强度”的定义	168
4.2.2 向错线周围的畸变场	159
4.2.3 线张力的概念	171
4.3 向错点	174
4.3.1 整数强度向错线的不稳定性定理	174
4.3.2 “核心”的解释	176
4.3.3 在其他情形中对点缺陷的观察	177
4.4 磁场作用下的墙	179
4.4.1 180° 墙	179
4.4.2 由Fredericks转变形成的墙	182
4.4.3 从墙到向错线的转变——“箍缩”	183
4.5 中心	184
4.6 表面向错	186
参考文献	187
第五章 向列相的动力学性质	189
5.1 向列相动力学方程	189
5.1.1 取向和流动之间的耦合	189

5.1.2	动力学变量的选择	190
5.1.3	流动向列相的熵源	191
5.1.4	摩擦定律	196
5.2	测量 Leslie 系数的实验方法	204
5.2.1	强取向场作用下的层流	204
5.2.2	超声切变波的衰减	209
5.2.3	无外场时的层流	215
5.2.4	变化的外场	217
5.2.5	非弹性光散射	227
5.3	电场作用下的对流不稳定性	230
5.3.1	基本电学参数	231
5.3.2	低频时的实验观察	236
5.3.3	Helfrich 解释	238
5.3.4	推广到高频范围	241
5.4	分子运动	247
5.4.1	介电弛豫	247
5.4.2	核自旋—晶格弛豫	248
5.4.3	声弛豫	250
5.4.4	平移运动	253
5.4.5	摩擦系数随温度的变化	258
5.4.6	T_c 之上的半慢运动	259
	参考文献	265
第六章	胆甾相	269
6.1	理想螺旋的光学性质	269
6.1.1	平面织构	269
6.1.2	Bragg 反射	271
6.1.3	任意波长的光的透射性质(垂直入射)	275
6.1.4	解释	278
6.1.5	结论和推广	289

6.2 影响螺距的因素	290
6.2.1 物理化学因素	291
6.2.2 外场	298
6.3 动力学性质	308
6.3.1 研究平面织构中的微小运动	309
6.3.2 宏观流动	311
6.3.3 对流不稳定性	316
6.3.4 热通量产生的力矩	321
6.4 胆甾相的织构与缺陷	324
6.4.1 织构	325
6.4.2 奇异线	327
参考文献	336
第七章 近晶相	340
7.1 主要近晶相的对称性	340
7.1.1 液体层	340
7.1.2 “固体”层	348
7.2 近晶A相和C相的连续体理论	353
7.2.1 近晶A相的静力学	353
7.2.2 近晶A相的动力学	374
7.2.3 近晶C相	385
7.3 相变和预临界现象	396
7.3.1 $C \rightleftharpoons A$ 相变	397
7.3.2 $A \rightleftharpoons N$ 相变	400
7.3.3 $C \rightleftharpoons N$ 相变	409
参考文献	411
第八章 液晶研究的某些新进展	414
8.1 液晶的结构分类	414
8.1.1 引言	414
8.1.2 有关结构的一些概念	417