

## الفصل الثانى

### فيزياء مواد البلورات السائلة

#### ٢ - ١) قصة اكتشاف البلورات السائلة

يعود اكتشاف المواد فى الحالة البلورية السائلة إلى بداية القرن التاسع عشر الميلادى، خاصة بعد تطور أجهزة التكبير المجهرية "Optical microscope"، حيث كان الباحثون يستعملون المجهر البصرى فى البحوث العلمية لدراسة خواص المواد المختلفة وتركيبها الدقيق. وفى عام ١٨٥٣م، اكتشف العالم الألمانى رودلف فيرشو "Rudolf Virchow" مادة الميلين "Myelin" التى تغلف الأعصاب. هذا العالم هو أول من لاحظ تكون المادة فى طورها الفيزيائى البلورى السائل خلال المجهر البصرى، ولكنه فى ذلك الوقت لم يكن على يقين أن هذه المادة (الميلين) تتواجد فى حالتها البلورية السائلة.

وفى عام ١٨٨٨م، استطاع العالم الألمانى أوتو ليهمان "Otto Lehmann" المتخصص فى دراسة درجات انصهار المواد، من تعريف للمادة وهى فى حالتها البلورية السائلة، خاصة أنه كان على دراية تامة بحالات التبلور فى المادة باستعمال المجهر البسيط.

وفى هذه الأثناء كان زميله العالم النمساوى فردريك رينتزير "Friedrich Reinitzer" يحضر بعض المركبات العضوية تسمى بنزوات الكوليستيريل "Cholesteryle benzote".

وقد لاحظ العالم فردريك رينتزير خصائص غريبة تميز هذه المركبات، خاصة بالقرب من درجة انصهارها. وتم ذلك من خلال دراسته المجهرية لتأثير التسخين على التركيب الكيميائى لهذه المركبات. إلا أنه كان يعلم أن هذه المواد النقية قد تتغير أطوارها من كونها فى الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند درجة حرارة خاصة ومميزة. والجدير بالذكر أنه شاهد خلال تجاربه تحولات غير مألوفة، أهمها أن هذه المركبات لها نقطتان للانصهار باختلاف باقى المواد المعروفة فى ذلك الوقت، إحداهما عند درجة حرارة ٤٥,٥م وتتكون عندها سحب من المركب فى طورها السائلى، والأخرى عند درجة حرارة ١٧٨,٥م وعندها تصبح المادة فى حالة سائلة تماماً. وعند التبريد تعود المادة لوضعها الطبيعى.

واهتم رينتزير بهذه الملاحظة وأرسل على الفور بعضاً من هذه المركبات إلى العالم أوتو ليهمان لفحصها. وقد توصل الأخير إلى أن سبب السحابة السائلية عند درجة الحرارة ٤٥,٥م هو تكون طور جديد للمادة الذى سُمى بالطور البينى "mesophase". واستطاع ليهمان بواسطة المجهر البسيط أن يثبت أن تواجد المادة فى هذا الطور البينى يؤدي إلى حدوث استقطاب للضوء، وذلك بعكس السائل العادى الذى يظهر بلون أسود عند مشاهدته خلال مستقطب بصرى متعامد. أما تواجد المادة فى هذا الطور البينى فيجعلها تضاء عند مشاهدتها خلال المستقطب بألوان زاهية.

ولكى نتفهم ما حدث، نعلم أن المصادر الضوئية المختلفة مثل الشمس أو المصابيح الكهربائية التقليدية، تنتج خليطاً من الموجات الكهرومغناطيسية، التي تتذبذب في كل الاتجاهات. فإذا تذبذبت هذه الموجات الضوئية في مستوى واحد يقال إن الضوء مستقطب. ويمكن للمرء اختيار مستوى محدد للاستقطاب من الحزمة الضوئية، ويتم ذلك باعترض الحزمة الضوئية بواسطة ما يسمى بمستقطب بصرى (مثل قطعة البلوريد التي لا تسمح بمرور جزء من أشعة الشمس من الوصول إلى العين).

وفي حالة مرور الضوء المستقطب خلال مستقطب آخر في وضع عمودي على المستقطب الأول يسمى المحلل الضوئي "Optical analyzer" فلا يمر الضوء ولا يتغير الوضع إلا إذا وضعت مادة شفافة بين المحلل والمستقطب البصريين. والجدير بالذكر أن العالم ليهمان كان يعرف مقدماً أن المواد الصلبة في حالتها البلورية تستطيع تعبير مستوى دوران الاستقطاب للضوء، بحيث تجعل الضوء ينفذ كاملاً خلال المحلل الضوئي؛ خاصة أن الضوء يتكون من مجال كهرومغناطيسي متذبذب. وعندما تنتقل هذه الموجات عبر المادة البلورية فإنها تجعل الإلكترونات المكونة لذراتها وجزئياتها تتذبذب ذهاباً وأياباً. ولكن هذه الاستجابة غير لحظية، وقد تبطئ من سرعة انتشار الموجات الضوئية خلال المادة. هذه الظاهرة تسمى «الانكسار الضوئي». وفي بعض المواد التي تعتمد خصائصها الفيزيائية والكيميائية على ترتيب ذراتها وجزئياتها، يكون تأثير التداعي الإلكتروني مختلفاً باختلاف اتجاهات الاستقطاب الضوئي. ولسرعة الضوء قيمتان تعتمدان على درجة الاستقطاب الضوئي بالنسبة للبلورة. هذا ما يؤدي إلى ما يسمى ظاهرة «الانعكاس الثنائي» التي تشاهدها مثلاً في بلورات الكالسيت. وبالطبع التغيير في معامل الانكسار للبلورات يتأثر أيضاً بدوران مستوى الاستقطاب الضوئي، مما يجعل الضوء يعبر خلال المحلل الضوئي والنتيجة هي الحصول على انكسار ضوئي مزدوج "Birefringence" وتكون الصورة ملونة وزاهية.

ومن المعروف لدينا الآن، أن البلورات لها تركيب جزيئي محدد بها يعتمد على تكرار النموذج ثلاثي الأبعاد للذرات أو الجزيئات. وهذا عكس ذرات أو جزيئات السوائل المختلفة، فليس لها أي ترتيب. وبالتالي هذه الجزيئات والذرات تكون حرة في حركتها العشوائية. وللسوائل معامل انكسار واحد، وهذا يجعلها تظهر سوداء اللون (معتمة) خلال مشاهدتها من خلال المحلل الضوئي.

ولذلك فقد اندهش ليهمان ورينتزير عندما شاهدا ظاهرة الانكسار المزدوج والهدب الملونة تظهر من المحلل الضوئي عند استعمال مادة بنزوات الكوليستيريل في طورها البيئي السائلي.

وقد بذل هذان العالمان الجهود المضنية لمعرفة خصائص هذه المواد في طورها البيئي البلوري السائل. وأخيراً توصل «ليهمان» إلى مضمون بسيط وهو أن المادة غريبة. وفي عام ١٨٨٩م استأنف ليهمان دراسته مرة ثانية على هذه المواد وهو على قناعة تامة بأنه يدرس البلورات الرخوة جداً. ومنذ ذلك الوقت اطلق اسم «البلورات

السائلة» على هذه المواد.

والآن، دعنا نتساءل: كيف برزت أهمية مواد البلورات السائلة؟

في عام ١٩٢٤م برزت أهمية المواد البلورية السائلة، عندما نجح العالم الألماني دانيال فورلاندر. "Daniel Vorlander" في دراسة أشكال الجزيئات المكونة للمواد في الطور البلوري السائل، فقد اكتشف أن هذه الجزيئات تأخذ شكلاً يشبه «القضيب» بدلاً من كونها أشكالاً كروية، كما هو الحال في جزيئات المواد البلورية التي تتماسك معاً في مكان محدد وتتركب بطريقة خاصة يكون لكل جزيء وضع خاص يسمى النظام الموضعي "Positional Order". أما الجزيئات وهي على شكل قضبان، فبالإضافة إلى أن لها تركيباً موضعياً يكون لها أيضاً ترتيب اتجاهي "Orientational Order".

ومن المعروف أن البلورات العادية تنصهر عندما تتغلب الطاقة الحرارية المؤثرة على قوى الترابط الجزيئية، وبالتالي ينكسر التركيب البلوري وينهدم الترتيب الجزيئي المكاني.

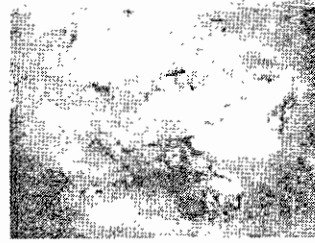
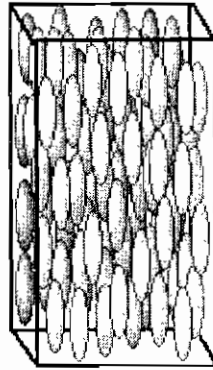
عندئذ، تتحرك الجزيئات بحرية تامة وبطريقة عشوائية.

أما في حالة الجزيئات على شكل قضبان فقد تحدث أشياء أخرى مختلفة. فمثلاً، عند درجة حرارة معينة، قد يكون مقدار الطاقة الحرارية غير كافٍ لتدمير الترتيب المكاني للجزيئات، ولكنها قد تكون كافية لتغيير القوى الجزيئية المسؤولة عن الترتيب الاتجاهي. بالطبع هذا ما شاهده العالم «رينتزر» في تجربته التي وصفت سابقاً، عندما وجد أن انصهار بلوراته تظهر من خلال سحابة سائلية. في هذه الحالة تكون الجزيئات مخططة لأعلى في اتجاه مواز تقريباً لبعضها لبعض، ولكنها موزعة عشوائياً في الفراغ المكاني.

والجددير بالذكر، أن الترتيب الاتجاهي يمتد ليغطي ملايين الجزيئات، وعلى ذلك فإن توحيد الاتجاه يسمى بالموجه "director".

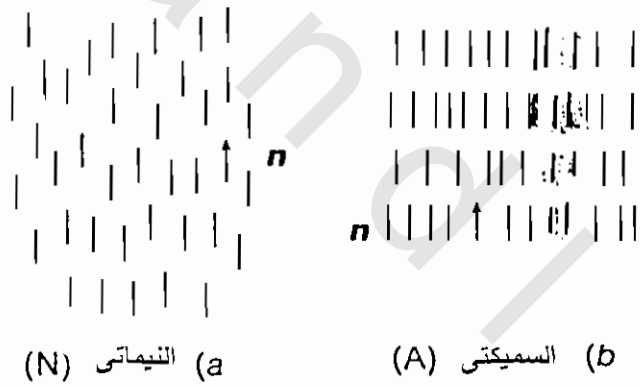
والآن، ما الخواص الفيزيائية لتلك المواد في الحالات الطورية البينية المختلفة؟

فغياب الترتيب المكاني للجزيئات يغير من بعض الخواص الفيزيائية، مثل: تغيير قيمة معامل انكسار المادة، الذي يعتمد في هذه الحالة على الاتجاه عند لحظة القياس بالنسبة للموجه. هذا الطور يجعل المادة مرئية عند النظر إليها عبر المحلل الضوئي. والملاحظ أنه عند زيادة التسخين فإن هذا الطور قد يصل إلى درجة تؤدي إلى تهدم الترتيب الاتجاهي للجزيئات عندما تصبح البلورات السائلة مجرد سائل عادي. وغالباً تسمى درجة الحرارة تلك «بدرجة الحرارة الظاهرية»، وهي تناظر الانتقال من السحابة السائلة إلى السائل الظاهري. وعند التبريد، تحدث عملية عكسية، حيث تترتب الجزيئات (قضيبية الشكل) في ترتيب مائع التركيب "Ordered Fluid Structure". هذا التركيب المبسط للبلورات السائلة يسمى «الطور النيماتى» "Nematic Phase". انظر شكل [١٢]، [١٣].



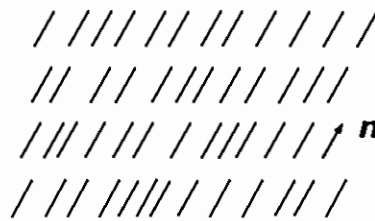
صورة توضح الطور النيماتى للبلورات السائلة

شكل ١٢ : الطور النيماتى .



(a) النيماتى (N)

(b) السميكتى (A)



(c) السميكتى (C)

شكل ١٣ : الترتيب الجزيئى فى الطور النيماتى والسميكتى A , C فى البلورات السائلة.

ومادة الكوليستيريل هي نوع خاص من المواد في الطور النيماتى اللانطباقى "Chiral Nematic Phase" واللانطباقى هنا تعنى أن الجزيئات (قضيبيية الشكل) تماثل اليد بدلاً من الشكل المسمارى الحلزوني .

والملاحظ أنه عندما تتلامس الأشكال المساميرية المجاورة، فإن ذلك يؤدي إلى دوران بعضها لبعض، وهذا ما يحدث في حالة الجزيئات في الطور النيماتى، فتستطيع دوران بعض الجزيئات القريبة بهدوء، هذه الخاصية تجعل موجه الجزيئات ذاته يلف بطريقة حلزونية. وغالباً تكون عملية الدوران الحلزونية الكاملة مساوية للطول الموجى للضوء المرئى.

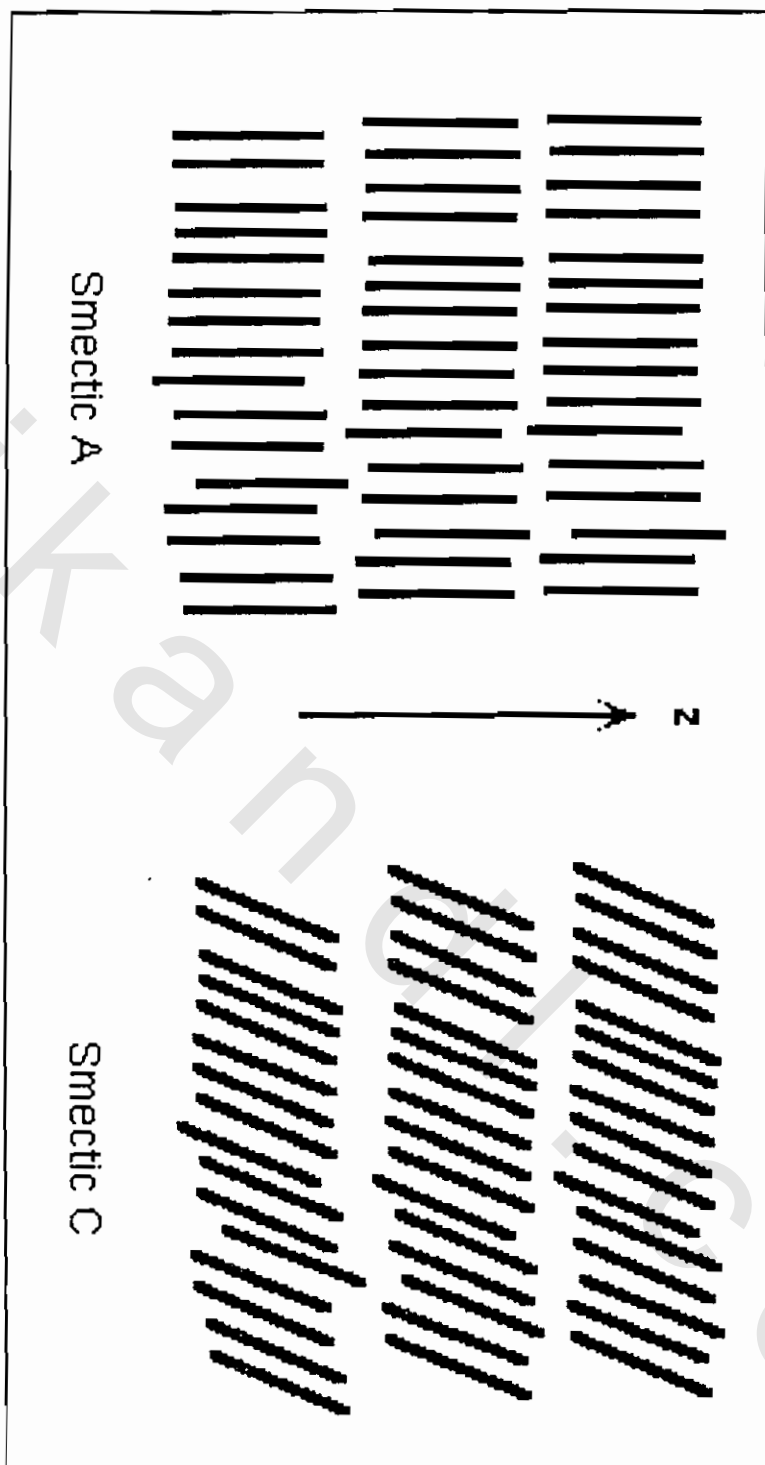
وهذا يعنى أن الطول الموجى المنعكس بواسطة المادة في طورها النيماتى يعتمد أساساً على عدد الدوران في الطول المحدد. وهذا يشبه تماماً عدد الخطوط في المحزوز Grating المستخدم في عملية الحيود الضوئى "Diffraction Grating" التى تحدد الطول الموجى المنعكس من المحزوز.

وتكريماً للعالم «رينتير» أول من شاهد الطور النيماتى اللانطباقى في مادة بنزوات الكوليستيريل فقد أطلق العلماء على هذه الأطوار اسم «أطوار الكوليستيريل». ويمكن حالياً إنتاج هذه المواد ذات الأطوار الكوليستيريلية على مستوى تجارى، حيث أن انعكاسيتها المنتخبة للضوء تكون مرتفعة. وزيادة درجات الحرارة لهذه المواد يقل درجة لف الموجه. وهذا يؤدي إلى تغيير في انعكاسية الألوان الطيفية. ولذلك تستخدم هذه الأنواع من البلورات السائلة في الترمومترات وكذلك في تغيير ألوان الأجسام الحرارية.

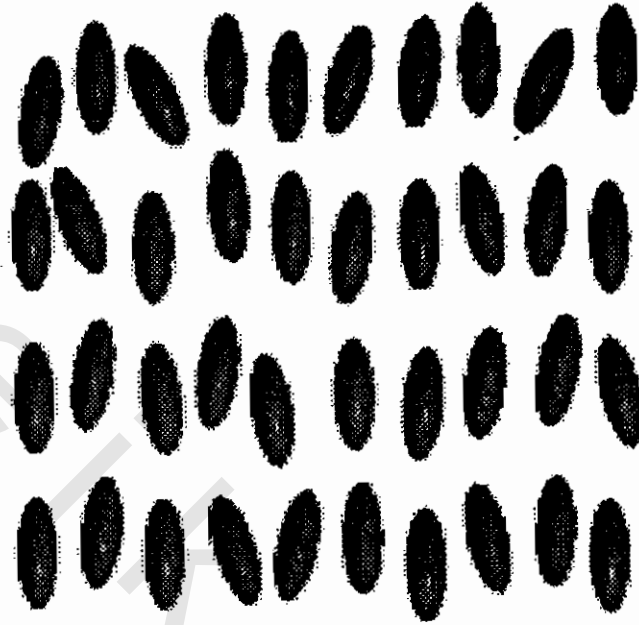
وهناك أنواع أخرى من مواد البلورات السائلة أطوارها البينية أكثر تعقيداً. على سبيل المثال هناك مواد عند تسخين بلورتها فإن ترتيب جزيئاتها المكانية لا ينهدم جميعه، بل قد تتشكل بدلاً من ذلك الطبقات الجزيئية، بحيث تتفاعل جزيئات طبقة ما مع جزيئات الطبقة الأخرى، مما يجعل هذه الجزيئات تتحرك عشوائياً خلال كل طبقة.

هذه الأنواع من المواد التى تحفظ الترتيب المكانية للجزيئات تسمى أطوارها «الاطوار السميكتيكية». "Smectic Phases" انظر شكلى [ ١٣ ب، ج ] وشكلى [ ١٤، ١٥ ]. وفى الحقيقة، تتواجد البلورات السائلة فى أطوار بينية متعددة، ويتضمن ذلك طرقاً عديدة مختلفة من الترتيب الجزيئى فى حالة وسط بين الترتيب التام فى الحالة البلورية وعدم الترتيب فى الحالة السائلة. وتمثل هذه التراكيب الجزيئية المعقدة نوعاً من «العمارة الجزيئية» .

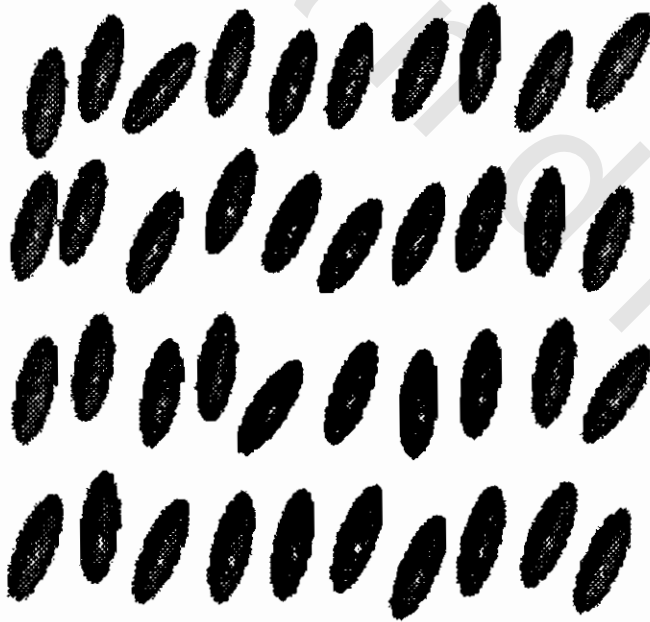
والآن وبعد الجهود المضنية فى مجال البحث ، نحن على عتبة فهم أهمية هذه الأنواع من التأسيس الجزيئى فى الطبيعة، على سبيل المثال وجد أن جزيء الـ DNA الحامل للشفرة الوراثية للكائنات الحية يمثل طوراً نيماتياً. وحالياً يمكن التمييز بين هذه التراكيب الجزيئية فى أطوارها البينية باستخدام مجهر بعدى مستقطب للضوء، ويتم ذلك بالنظر إلى نماذج التداخل الهدبى.



شكل ١٤ : الأطوار السميكتية C.A.



أ. طور سميكتي



ب. طور سميكتي

شكل ١٥ : التركيب الجزيئي في الاطوار السميكتية C, A .

والتركيب المختلف للمواد البلورية السائلة ينتج عنه أنسجة مختلفة المساحات، وتأتي هذه الاختلافات على الرغم من أن اتجاه توحيد الجزيئات يبقى دون تغير خلال المسافات القصيرة، هذه المساحات الصغيرة تسمى الأنطقة "domains". وهذه الأنطقة تتغير عشوائياً خلال المسافات الكبيرة.

والجدير بالذكر، أنه عندما يلتقي قطاعان لهما موجهان مختلفان، فتتكون بذلك تشوهات (مثل ما يحدث في المواد المغناطيسية) وتعتمد درجة التشوه على نوع التأسيس الجزيئي في الطور البيني المميز للبلورة السائلة.

ويلاحظ عند مشاهدة الضوء المستقطب خلال مجهر بصري، نتيجة وضع البلورة السائلة بين مستقطبين للضوء ومتعامدين أن التغيير في معامل انكسار المادة يتسبب الضوء وينتج عن ذلك ألوان زاهية. بينما تظهر التشوهات على هيئة خطوط سوداء أو نقط أو تواصل بين الأنطقة، ويحدث العكس في حالة التصوير الفوتوغرافي الذي يبين أمثلة جميلة كلاسيكية لتكون الأطوار النيماتية والسميكتية.

والمواد البلورية السائلة لها عديد من الخصائص المفيدة، وبعض من هذه المواد تتأثر بتطبيق المجالين الكهربائي أو المغناطيسي. وفي هذه الحالة تعيد اتجاهها الجزيئي، بحيث يكون موازياً أو عمودياً على اتجاه المجال المؤثر.

وبالتالي يتغير اتجاه الموجه، وهذا يعنى أن تغيير معامل الانكسار يؤدي إلى تغيرات في الخواص البصرية للبلورات السائلة. ولذلك اقترح الفيزيائيون استخدام هذه المواد البلورية السائلة في إنتاج أجهزة العرض المرئية التي تستهلك بالطبع طاقة أقل مما في حالة استخدام أنابيب الشعاع الكاثودي المعروفة.

وخلال العقود الأخيرة تم إنتاج أنواع جديدة من عائلات البلورات السائلة المستقرة من أهمها : سيانوبيفينيز الألكيلي

"Alkylcyanobiphenylis".

وتكون جزيئات هذه المواد على هيئة قضبان مرصوفة مكونة أطواراً نيماتية. وتعتبر هذه المركبات اقتصادية ومثالية، وتستخدم في الوقت الحالى فى صنع شاشات العرض فى أجهزة العرض المرئية.

فيما يلي نستعرض أهم الخواص الكهربائية التي تتميز بها مواد البلورات السائلة والتي تمثل بالظواهر الكهروضغطية (piezo-electric effect) والكهروحرارية (pyro-electric effect) وكذلك الفيروكهربية (ferro-electric effect). فكما ذكرنا فى الفصل الأول.. فإن هذه الخصائص الكهربائية الثلاث تميز البلورات الصلبة. ولكن السؤال المهم الذى يطرح نفسه هو: هل تنتقل هذه الخواص إلى المواد فى الحالة السائلة؟ ونقطة البداية فى مناقشة هذا الموضوع تتعلق بكيفية سلوك المادة عندما تطبق عليها مجالاً كهربائياً خارجياً. فمن المعروف أن المواد العازلة (غير الموصلة) والتي تسمى العوازل تستجيب جميعها بالطريقة نفسها للتأثير الكهربائي الخارجى المطبق عليها، حيث إن هذه المواد تستقطب. وقد وجد أن درجة الاستقطاب لهذه المواد تزداد خطياً (على الأقل عند البداية) مع زيادة شدة المجال الكهربائي.

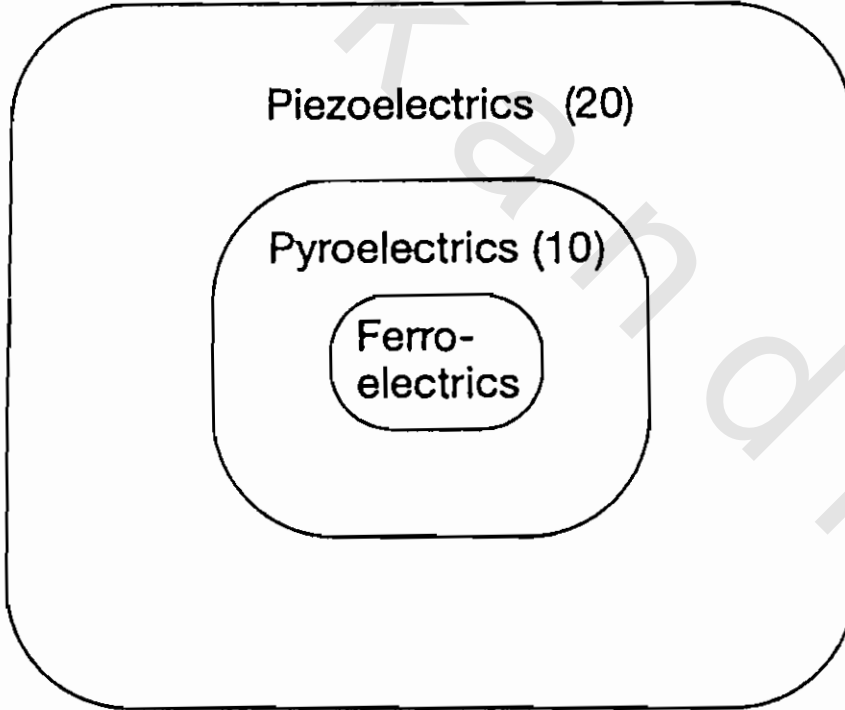
## ٢-٢) الاستقطابية والخواص الكهربائية للبلورات السائلة



وهذا يعنى أن الاستقطاب يغير إشارته مع المجال . وقد تقل درجة الاستقطاب إلى الصفر عند زوال تأثير المجال الكهربائي الخارجى . والاستثناء عن هذا السلوك يكون نادراً أو نسبياً . ولكن فى مثل هذا الاهتمام العلمى والتكنولوجى ، فإن بعضاً من هذه المواد تعتبر نموذجية . ويوجد نوعان من هذا الاستثناء وهما المواد فى حالة التبلور الصلب التى تستطيع بسهولة الانفراد بأسس التناظر ، كما هو موضح فى الشكل [ ١٦ ] . فمن خلال اثنين وثلاثين مجموعة نقطية بلورية من هذه الأنواع ، نجد أن حوالى عشرين مجموعة تتميز بخاصية الكهروضغطية Piezo-electric .

وهذا يعنى أن المواد التى تنتمى إلى هذه المجموعة البلورية تكتسب خاصية الاستقطاب حتى فى غياب تأثير المجال الكهربائي الخارجى . وعندما يؤثر عليها إجهاد آخر وعادة يكون الضغط ، يصبح الاستقطاب خطياً كدالة فى مقدار الإجهاد . وبالتالي يغير الاستقطاب من إشارته . وهذا التأثير الخطى يؤدي إلى انفعال بلورى

### Dielectrics (32 point groups)



شكل ١٦ : تتوزع أنواع البلورات السائلة على ٣٢ مجموعة نقطية تتميز بالخواص الكهربائية للمواد العازلة منها ٢٠ مجموعة لها خاصية الكهروضغطية و ١٠ مجاميع لها خاصية الكهروحرارية ومجموعتان لهما خاصية الفيروكهربية .

عند التأثير بمجال كهربائي خارجي (التأثير العكسي). ومن أهم المتطلبات الأساسية للحصول على خاصية كهروضغطية هو تواجد المادة في أقل تماثل مركزي. وخلال الاقسام العشرين للمواد البلورية التي تتميز بخاصية كهروضغطية موزعة على مستوى هرمي مرتفع يوجد منها عشرة مجاميع ذوات خاصية كهروحرارية "pyro- electric". وهذه الخاصية تتميز بأن الاستقطابية تظهر في المواد في غياب كل من المجال الكهربائي والضغط الخارجين.

حينئذ، يقال إن تلك المواد تمتلك استقطابية ذاتية عينية (macroscopic). ومن أجل أن تمتلك المواد هذه الخاصية، يجب أن يتوفر لتركيبها البلوري موجه واستقطابية غير عكسية. وهذا الشرط أيضاً يجب أن يتحقق في السوائل. ويمكن تعريف الموجه الذاتي بامتلاكه استقطابية عينية. ولذلك يجب التركيز على كلمة عيني، حيث توجد أمثلة عديدة لسوائل معقدة ولكن تتواجد جزئياتها مستقطبية. هذه المواد تبين أنواعاً مختلفة من الاستقطاب الذاتي غير المضاف إلى الاستقطاب العيني. وعادة يتواجد الاستقطاب العيني على شكل حبيبات تلقائية. وهذا يعني أنها أجزاء ماكروسكوبية تتميز بموجه استقطابي محدد. والجدير بالذكر أن الوسط يتفاعل مع المجالات الخارجية المؤثرة بطريقة مختلفة تماماً، ويذكرنا ذلك بسلوك المواد المغناطيسية.

وبينما تكون الخصائص المغناطيسية للمواد معروفة لنا منذ قديم الزمان، إلا أن تعرف المادة التي تكتسب خاصية التكهرب مازال حديث العهد. فالخاصية الكهروحرارية "pyro electric" تم اكتشافها عام 1700م. وكان أول وصف علمي حقيقى لهذه الظاهرة، قدمه العالم الألماني «هوك» عام 1756م، وكذلك العالم الأسكوتلاندى «دافيد برديستر» الذي اهتم بدراسة سلوك عدد كبير من المعادن. وفي عام 1824م اطلق اسم الكهروحرارية على هذه الظاهرة. إلا أن المرء دائماً ينظر إلى أحدث اكتشاف للعلم في القرن الذي يعيش فيه، ومفاهيم الفيزياء الحديثة المتاحة حالياً تمكننا من الفهم الحقيقى لهذه الظاهرة. وتاريخياً فإن "Pyro" يرتبط إيمولوجياً بالنار.

وعلى ذلك، فإن تغيير درجة الحرارة للمادة بمقدار  $\Delta T$  يسبب ظهور الاستقطاب بدرجة استقطابية P. وبهذه الطريقة تعرف خاصية الكهروحرارية. والشئ الرئيسى الذى يربط هذه المواد بالخاصية الكهروحرارية أنها تمتلك استقطاباً عينياً (ماكروسكوبياً). أى أن لها ثنائى قطب كهربائى فى غياب تأثير المجال الكهربائى الخارجى.

ومن المعروف عادة أن الأقطاب المشحونة لا يمكن ملاحظاتها لوجود الشحنات الحرة التى تسبب تعادل الأقطاب فى وقت قصير. وبالطبع هذا الحاجز الذى تشكل لا يحدث مطلقاً فى مجال المغناطيسية الذى يجعل الظواهر المغناطيسية أكثر بساطة مقارنة بالظواهر الكهربائبة المناظرة.

وعلى ذلك نجد أن درجة الاستقطاب P تكون دالة فى درجة الحرارة. حينئذ، فإن

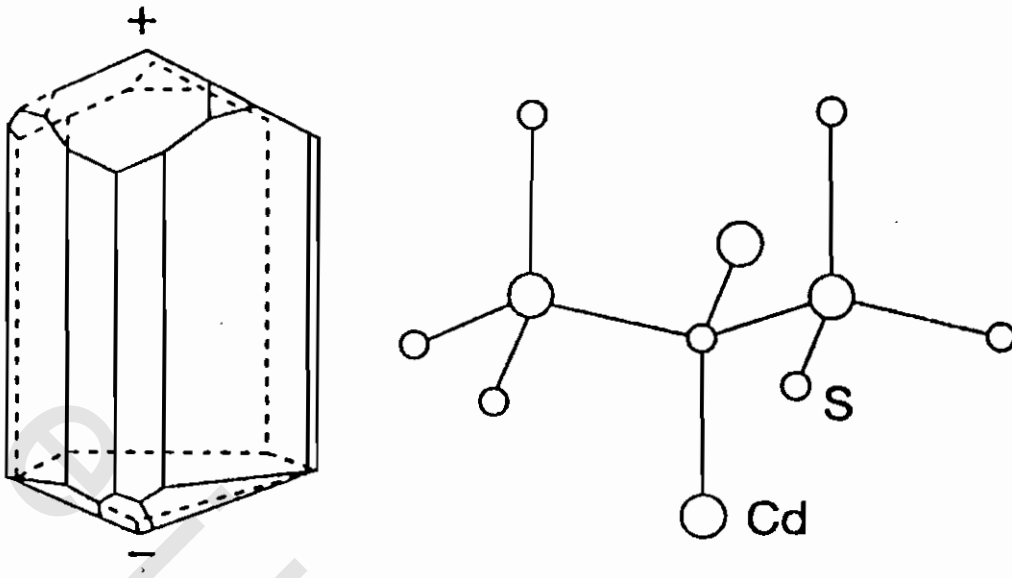
التغيير فى درجة الحرارة يسبب إضافة لدرجة الاستقطاب مقدارها  $\Delta P$ . وهذا المقدار لا يمكن تعويضه بواسطة الشحنات الحرة المتواجدة فى المادة، حتى يتم توزيع الشحنات مرة أخرى والحصول على الاتزان التام. وبالطبع هذه طريقة أخرى لقياس درجة الاستقطاب، حيث يتكامل التيار الناتج من الخاصية الكهروحرارية خلال دائرة كهربائية بعد إشعالها بنبضات الليزر الذى يعمل فى المدى الطيفى للأشعة تحت الحمراء .

والجدير بالذكر، أن ظاهرة الكهروحرارية اكتشفت عام ١٨٨٠م فى فرنسا بواسطة الاخوين بيير وجاك كورى. وكانت لنتائج هذا الاكتشاف أهمية خاصة فى ذلك الوقت خاصة من الناحية الاستراتيجية. وقد استعملت هذه الظاهرة فى تطوير جهاز سونار لرصد الغواصات فى أعماق البحار خلال الحرب العالمية الأولى.

وفى عام ١٩٢٠م تمكن العالم الفيزيائى الأمريكى «جوزيف فالاسيك» من اكتشاف خاصية كهربية تتميز بها بعض المواد اطلق عليها اسم «الفيروكهربية». وحديثاً يمكن تصنيع تلك المواد، ومن أهمها مادة تيتنات الباريوم "BaTiO<sub>3</sub>" هذه المادة استخدمت خلال الحرب العالمية الثانية.

وفى بعض المواد التى تتميز بخاصية الكهروحرارية مثل كبريتات الكادميوم، يشاهد عدم وجود تماثل قطبى فى تركيب شبكتها البلورية. وهذا يتم تأسيسه خلال عملية النمو البلورى، حيث ينعكس ذلك على الهيئـة البلورية. والشكل [١٧] يبين القطع كاملة النمو من هذه البلورات وتكوينها فى الجوانب العليا والسفلى.

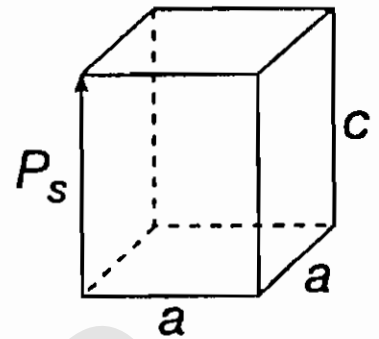
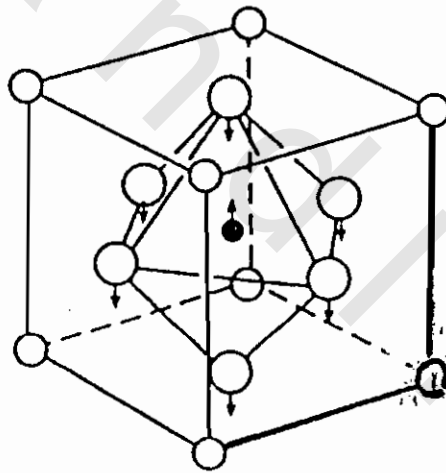
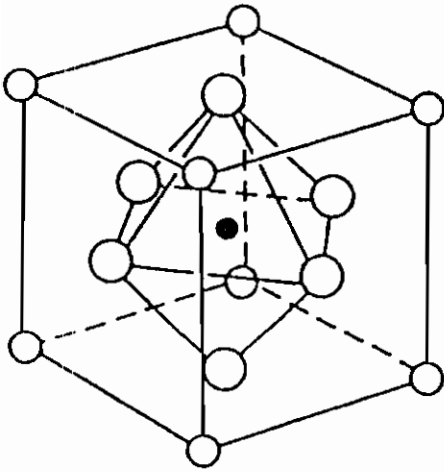
فإذا، طبق مجال كهربائى خارجى موجه على امتداد وفى عكس اتجاه الاستقطاب، عملياً يكون هذا المجال غير مؤثر على الاستقطاب ذاته الذى يكون حبيساً داخل الشبكة البلورية خاصة أنه لا يمكن أن ينعكس. ومن هنا، نرى اختلافاً بين الظواهر الكهربائية والمغناطيسية فى المادة. على سبيل المثال، البرم الذاتى فى المادة المغناطيسية لا يمكن أن تحبس بالطريقة نفسها دخل الشبكة. إلا أننا، نعتبر هذا التركيب قد تشوه فى زمن قصير على امتداد اتجاه واحد بدلاً من كونه تكعيبياً، كما هو موضح فى شكل [١٨] لمادة BaTiO<sub>3</sub> تيتنات الباريوم.



شكل ١٧: الشكل البلوري لمادة كبريتات الكاديوم.

Paraelectric

Ferroelectric



شكل ١٨: الشكل البلوري لمادة تيتانات الباريوم  $BaTiO_3$ .

ونتيجة لحالة الاتزان تلك، وعند درجة حرارة الغرفة، يتكون ثنائي القطب البلورى، وعلى امتداد اتجاه رباعى الاضلاع. هذه الحالة بعكس البلورة التكميلية ولأسباب التناظر، لا يمكن أن تمتلك هذه المواد استقطابية عينية (ماكروسكوبية) وعلى الأكثر قد تمتلك تمغنطاً عينياً فقط. ولكن عند تطبيق المجال الكهربائى بشدة مرتفعة وكافية وفى اتجاه معاكس لاتجاه الاستقطاب P، فيمكن حدوث تشوه داخلى صغير للذرات. ويعكس اتجاه المجال، يحدث تكافؤ طاقى ولكن بعكس التشوه. والمواد التى يسلك الاستقطاب فيها هذه الطريقة تمثل أهمية كبيرة للمجاميع المميزة بخواص الكهروحرارية وتسمى هذه المواد الفيروكهربائية.

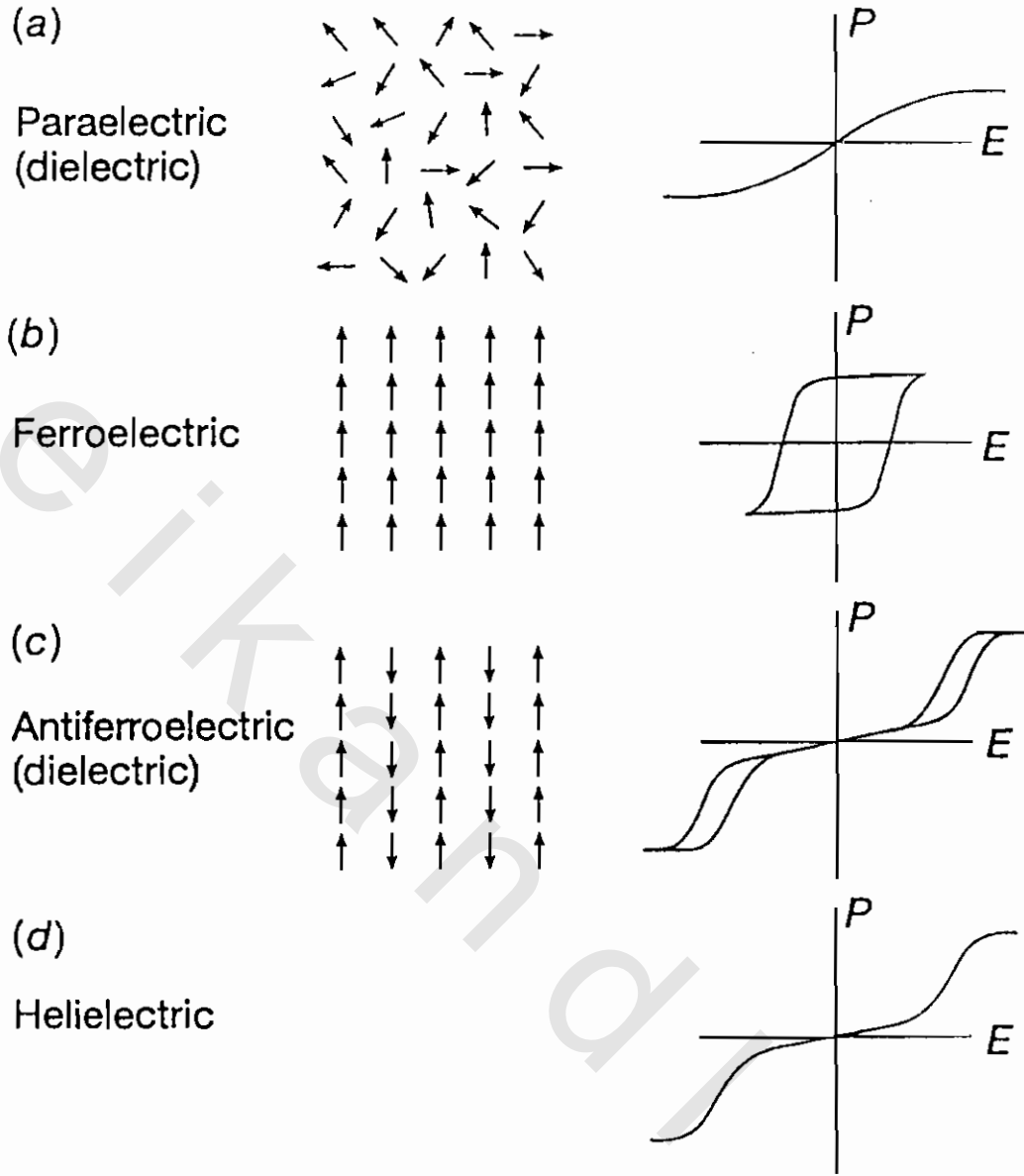
وعلى الرغم من وجود أنواع من المواد الفيروكهربية، فيمكن تمييز خصائصها الأولية عن باقى المواد، ليس فقط لأنها تمتلك استقطابية عينية (ماكروسكوبية) بل أيضاً لوجود وضعين مستقرين لها فى غياب المجال الكهربائى.

هذا بالإضافة إلى أن الاستقطاب ينعكس بين هذين الوضعين عند تطبيق المجال الخارجى. وهذا يتشابه مع المواد الفيرومغناطيسية، فالبلورات الفيروكهربية وفى غياب المجال الخارجى تبين أنطقة (domains) ذات استقطابية متجانسة، وتوزع هذه الأنطقة بطريقة تجعل الاستقطابية  $\Delta p=0$ ، (أى أن لها كثافة شحنة مساوية للصفر). وعلى العكس تماماً، فالمواد التى لها خاصية الكهروحرارية لا يكون لبلورتها أى أنطقة وتعتبر فى حد ذاتها ذات نطاق وحيد كلما كانت البلورة غير ملفوفة (Twined).

ومما سبق يمكن القول أن المواد المستقطبة هى المواد التى تتميز بوجود ثنائى القطب الذاتى بها. على سبيل المثال، السائل تكون جزيئاته ثنائى القطب، والمواد الصلبة تكون ثنائى القطب موزع عشوائياً، وبأى نوع من الترتيب، ويكون لها اثنتان من الشبيكات الفرعية "Sublattices". كل منها ذو استقطاب متجانس ولكنه معاكس فى الاتجاه ويتعادلان معاً. وبالتالي تصبح المادة غير فيروكهربية.

وما عدا المواد التى لها خاصية كهروحرارية، يعتبر المعامل (P-E) (حيث P درجة الاستقطاب و E شدة المجال الكهربائى المطبق) هو البصمة الفعلية التى تقسم على أساسها المواد، كما أنه يميزها فى التطبيقات البيولوجية. وشكل (١٩)، يوضح سلوك المواد المستقطبة فى وجود مجال كهربائى شدته E، وذلك برسم الاستقطاب P كدالة فى شدة المجال E.

وفى الشكل (١٩)، نرى أن ثابت العزل يستجيب خطياً مع زيادة درجة الاستقطاب P، إلى أن يصل إلى قيمة التشبع عند شدة مجال كهربائى مرتفعة. ومن حيث المبدأ، هذا السلوك هو نفسه فى حالة وجود ثنائى قطب موضعى (Local)، فيما عدا تلك المواد التى لها ثنائى قطب موضعى (مكانى) ذو القيمة المشبعة العالية نتيجة الاستقطابية الموجهة، مقارنة بالقيمة المناظرة الناتجة عن الإزاحة الاستقطابية، كما أن ثابت العزل لهذه المواد يعتمد بشدة على درجة الحرارة التى تحدث تهيئاً حرارياً عكسياً "Thermal agitation Counteracts".



شكل ١٩ : منحني الاستجابة الذي يوضح العلاقة بين درجة الاستقطاب  $P$

وشدة المجال المطبق  $E$  للمواد الآتية :

أ - الباراكهربية .

ب - الفيروكهربية .

ج - ضد الفيروكهربية .

د - الحلزونية الكهربية .

والجدير بالذكر، أنه في حالة إعادة التصنيف لثنائي القطب على امتداد المجال، وإذا كانت الجزيئات تعاني من نقص في ثنائي القطب الدائم، تكون الاستقطابية المكانية المحتمة غير معتمدة على اتجاه المجال أو درجة الحرارة.

وقد تكون جزيئات ثنائي القطب مصففة تلقائياً، عند درجة حرارة محددة (درجة حرارة كوري) وفي وضعية استقطابية متجانسة. وعند درجة الحرارة تلك،

تكون القابلية المغناطيسية "magnetic Susceptibility"  $\chi = \frac{dp}{dE}$  ذو قيم كبيرة جداً وتعتمد بشدة على التغيير في درجة الحرارة.

عند هذه النقطة، دعنا نصف ظاهرة أخرى هي «ظاهرة عدم الاستقطاب» في غياب تأثير المجال الكهربائي الخارجي. فمن المعروف لدينا، أن قيمة القابلية المغناطيسية للعوازل تكون مرتفعة وتعتمد بشدة على درجة الحرارة، كما هو الحال في المواد المتساحتة كهربائياً "Paraelectric".

والسؤال الآن: هل حقيقة يوجد انتقال في هذه المواد من الوضع الرتيب أم لا؟ فلاحظ أن المادة التي لها خاصية كهروحرارية، تتميز بالمنحنى نفسه بين الاستقطاب وشدة المجال الكهربائي (P-E) للعوازل العادية، لأن تأثير المجال الكهربائي المطبق يسبب انتقالاً خطياً نقيضاً للتأثير الكهروضغطي "The Converse Piezoelectric"، والذي يؤدي بالتالي إلى الاستقطاب الخطي.

والشكل [ ١٩ ب ] يبين منحنى الاستجابة غير الخطية للمواد الفيروكهربية. فالوضعان المستقران -P, +P، عند مجال شدته صفر، يتكون عندهما منحنى التخلفية الذي يوضح النقط الحرجة التي يتغلب عندها المجال الخارجي من أجل تحديد نقطة الانقلاب من وضع إلى آخر، ومنحنى الاستجابة للوضع (ضديد) الفيروكهربى موضح في الشكل ( ١٩ ج )، حيث تكون الاستقطابية العينية (الماكروسكوبية) الابتدائية مساوية صفرًا كما هو الحال في العوازل التقليدية.

عندئذ، تكون الدالة (P-E) علاقة خطية كما هو موضح بالشكل [ ١٩ أ ] والواضح أنه، حتى عند البداية وعند النقطة الحرجة المحددة بأحد استقطابات الشبكة تنقلب وتتحول في الاتجاه إلى النقطة الأخرى. في هذه الحالة يفترض أن المجال الخارجي مطبق على امتداد اتجاهات الشبكات الفرعية "Sublattices". والشئ المميز لإطار التخلفية المضاعف "Double hysteresis loop" كشف عن وجود اثنين من الشبكات ( كما يفترض في الحالة ١٩ ) وعند التوزيع العشوائي لثنائيات القطب. وعند الحدود، وعندما تنكمش إطارات التخلفية إلى خطوط رقيقة ( كما هو الوضع الموضح في الشكل ١٩ د ) نحصل على نوع خاص من منحنى الاستجابة.

وطبقاً للتشابه في العرض السابق، فإن المواد الغير فيروكهربية تنتمي إلى العوازل غير المميزة والتي تصنف خارج المجموعات العشرين من المواد الكهروضغطية التي تحدثنا عنها سابقاً.

في هذا الصدد، يوجد ميل أكيد لإيعاز كل شئ إلى السلوك الاستقطابي

الفيروكهربى، إلا أن هذا المفهوم عادة غير دقيق، خاصة لأن كلمة الكهرو-حرارية ليست موصوفة فيزيائياً بشكل جيد كدالة فى الاستقطاب، بل نتيجة لثنايى الحرارى، هذا يؤدى إلى بلبلة عند استعمال ظاهرتى الكهروضغطية والكهروحرارية، حيث يجب أن تستخدم هذه الكلمات بالدقة نفسها والحرص على التطبيقات التكنولوجية المرتبطة بهما. ووجود وضعين للاستقطاب ( كما هو موضح بالشكل ١٩ ب ) يكون مؤثراً تكنولوجياً، حيث إن المواد الفيروكهربية يكون لها أساساً خصائص الذاكرة مثل المواد الكهرومغناطيسية. والحقيقة فى ذلك أنه لم يتم حتى الآن تطوير معدات ذاكرة من المواد الفيروكهربية، حيث أن التحول بين معنى الاستقطاب يكون مرتبطاً عادة بتغيير التشوه فى الشبكة. وهذا يؤدى بالتالى إلى التداعى البلورى.

وبهذا المنطق، تم اكتشاف الظواهر الكهربية نفسها فى السوائل. وهذا يكفى لحل المشكلة الثانية لأن المشاكل الملازمة لمواد الحالة الصلبة الفيروكهربية لها خصائص غريبة. هذه الخصائص غير مكتشفة حتى الآن؛ نظراً لأن الخصائص الحرارية (الكشاف الحرارى) والكهروضغطى (عند قيم مرتفعة لثابت العزل)، بالإضافة إلى أن تلك المواد تكون مفيدة فى التطبيقات التى تعتمد على الخاصية الكهروبصرية، حيث تستعمل فى حاسبات الجيب وفى مجال البصريات غير الخطية وكذلك التوليد التنغيمى الثانى "Second harmonic generation".

## ٢-٣) الاستقطابية فى السوائل

الآن، دعنا نتساءل: هل تستطيع السوائل تكوين ثنائيات القطب لتصبح فيروكهربية أو كهروضغطية؟ على سبيل المثال، إذا ركبنا محلولاً رغوياً "Acoltoidal Solution" من جسيمات صغيرة من تيتانات الباريوم  $BaTiO_3$  الفيروكهربية. هل يكون السائل فيروكهربياً؟ والإجابة لا. لا تكون السوائل فيروكهربية. فى هذه الحالة تكون استجابة السائل للمجال الكهربائى على الصورة الموضحة فى الشكل (١٩). هذا بالفعل حقيقى لأن السائل له قيمة مرتفعة للقابلية المغناطيسية للعازل، ويجب أن نطلق عليها اسم التساحت الكهربائى الفائق "Super Paraelectric".

وبالمثل هذا التساحت يطلق على المحاليل العالقة من جسيمات فيرومغناطيسية والتى لا تبين أى سلوك تجميى. فالسوائل متباينة الاتجاهات لا يكون لها استقطابية فى أى اتجاه؛ لأن الدوران الممكن هو عملية متناظرة، وهذا بالطبع لا يعتمد على نقصان المراكز العكسية فى السوائل، أى إنها تكون لا انطباقية "Chiral" أو لا. ولذلك، يمكننا تقليل التناظر والحصول على سائل متباينة الخواص فى النواحي الموضعية والاتجاهات. أى التحول إلى البلورات السائلة. ومن أجل فحص ظهور ظاهرتى الفيروكهربية والكهروحرارية بطريقة مقبولة، فمن الطبيعى أن السائل وسط متناح موحد الخواص فى جميع الاتجاهات "isotropic" وجزئياته تكون ثنائى القطب التى تبين استقطابية أثناء السريان، نظراً لأن معامل المرونة القاصى يقلل من التناظر وجزئياً يقلل من ترتيب ثنائيات القطب، وهذا بالطبع يهدم العشوائية. فإذا كان



السائل لانطباقي ( مرآوى ) فسيكون مستقطباً . ولكن لا تعتبر هذه السوائل كهروحرارية، إلا أنها قد تكون ثنائية الانكسار "birefringent".

ومن الواضح أن هناك مزيداً من الاهتمام العلمى والتكنولوجى للتأثيرات الاستقطابية فى انسياب السوائل، خاصة السوائل البيولوجية التى تكون جميعها لانطباقية "Chirality".

أما الأنواع الأكثر شيوعاً من السوائل غير المتناحية والمتباينة فى الخواص المكانية والاتجاهية "anisotropic liquid" فتسمى البلورات السائلة متوازية التوجه "Nematic liquid crystal" كما هو مبين بالشكل [ ١٢ ] . هذه السوائل ذات أبعاد ثلاثية وتشبه جزئياتها بالقضبان العادية، كما أوضحنا سلفاً، حيث إنه طبقاً لتفاعلات فان درفال وستيرك المعروفة تجعل هذه القضبان متوازية مكانياً . هذا الاتجاه المكانى يفضل أن يكون تقليدياً ويمثل بمتجه الوحدة  $n(r)$  ويسمى بالموجة . وهو نوع من محور التماثل المكانى، حتى إذا كان جزئى وحيداً غير متماثل فى الشكل والأقطاب "Polarity" . هذه التأثيرات فى المتوسط تؤدي إلى دوران سريع حول محورها الأعظم، وتوزع بالتساوى عند الرأس والذيل . ولذلك فالطور المتوازي المكانى ( النيماتى ) "Nematic phase" له تماثل أسطوانى الشكل حول المحور ويكون ثابتاً "invariant" تحت تغيير الإشارة فى الموجه  $n \rightarrow -n$  . هذا هو الشرط

الأول . وهذا الثبوت يعنى أن السوائل التى جزئياتها متوازية مكانياً ( نيماتية ) تكون بالفعل غير مستقطبة . وتتكون جزئياتها من ثنائيات القطب . ولكن المحاور العظمى ( الطويلة ) تجعل التوزيع فى هذه الحالات حول متوسط الاتجاه الذى نصفه عادة بدوال كثيرات حدود لجنדר  $P_n(\Theta_i)$  ، حيث إن  $\Theta_i$  تمثل زاوية التناظر للجزئى (i) بالنسبة للموجه  $n$ ، حينئذ، فإن أول حد لا يساوى الصفر ويعطى بالعلاقة

$$P_2 = \frac{1}{2} \langle (3 \cos^2 \Theta_i - 1) \rangle_0$$

حيث  $\langle \rangle_0$  يعنى المتوسط الإحصائى المكانى للزاوية . وفى حالة التوزيع العشوائى الاتجاهى "isotropic liquid" تكون قيمة  $P_2=0$  .

أما فى حالة التصفيف المتوازي التام تكون قيمة  $P_2=1$  . وبالتالي فقيمة  $P_2$  عادة تستخدم كجزء قياسى لمعامل الترتيب النيماتى ( المتوازي ) . وفى العادة تتغير قيمة  $P_2$  حول 0.6 عند درجات الحرارة المنخفضة وحول 0.4 عند الانتقال إلى الطور متناحي الترتيب المكانى والاتجاهى، حيث إن هذه القيمة تصل سريعاً إلى الصفر عند الانتقال من الرتبة الأولى .

وهذا يعكس بالطبع حقيقة أن اعتماد تصحيح الاتجاه على تجاذب قوة فان درفال لم يكن فعالاً، إذا كانت الجزئيات غير متوازية بدرجة كافية .

وحتى فى حالة الرتبة الأعلى من دوال كثيرات حدود لجنדר  $P_4$  التى تصف الترتيب النيماتى بدقة أكثر من قيمة الرتبة  $P_2$  . وفى هذه الحالة يمكن القول أن

النيماتية أساساً هي ترتيب رباعي الأقطاب Quadrupolar Order.

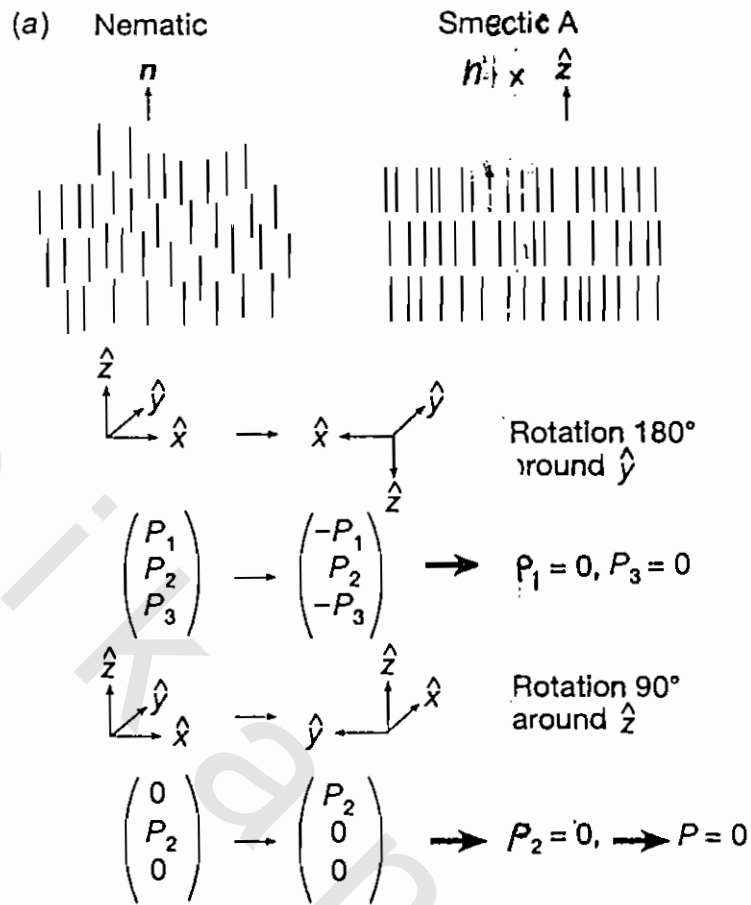
والشئ نفسه بالنسبة للأطوار السميكتية "Smectic Phases" والتي تكون جزيئات المادة سطحية ومتوازية التوجه مع درجة استقطابية  $P$  بلغت حداً أعلى قليلاً من قيمها، إذا انتقلنا من الحالة النيماتية إلى الحالة السميكتية  $A$  إلى الحالة السميكتية  $C$ .

هذا الترتيب رباعي الأقطاب على امتداد الموجه بالطبع يميز جميع الأطوار في البلورات السائلة من أجل أن يكون الشرط بتغير إشارة الموجه ( $n \rightarrow -n$ ) محقق. وهذا يعني على وجه الخصوص، أن  $P_1$  وكثيرات حدود لجندر الأخرى مساوية للصفر. بينما الجزيئات ذاتها تكون ثنائية القطب حتى الاستقطاب المكاني يكون صفرًا. إذاً،  $\langle P \rangle = 0$ ، في الطور النيماتى. وهذا ما نعنيه بعدم الاستقطابية. وبذلك، فلا يمكننا أن نسأل إذا كان التور النيماتى له استقطاب عيني.

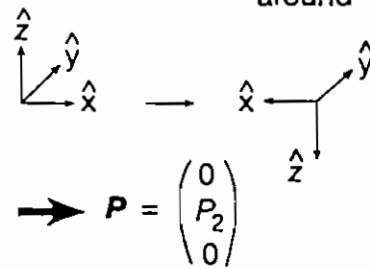
ومقدار قبول تأثير ظاهرة الكهروضغطية في الطور النيماتى يمكن الحكم عليها في الحال، حيث إن الضغط لا يشوه الموجه لأن السائل لا يمكنه أن يتحمل الإجهاد القاصى الاستاتيكي (Static Shear). ولذلك، يمكننا أن نتقل بالمناقشة إلى قسم هام من البلورات السائلة في طورها السميكتى، حيث يكون لها درجة حرة واحدة انتقالية وهي بلورية.

فالبلورات السائلة في طورها السميكتى تتكون جزيئاتها في طبقات وتصنع في أشكال مختلفة. إلا أننا سوف نحدد مناقشتنا هنا على المواد البلورية السائلة في طورها السميكتى  $C, A$  كما هو موضح (بالشكل ١٥). والفرق بين هذين الطورين هو أن الموجه يكون على امتداد الاتجاه العمودى على الطبقة في الطور  $A$  ويميل بزوية ما في الطور  $C$ . والطبقات هي مواع تامة معرفة في بعدين. والجدير بالذكر أن هذه السميكتيات تكون سوائل في بعدين وتكون صلباً في بعد واحد. وفي معظم المواد البلورية السائلة، حيث تظهر الأطوار البينية، يحدث انتقال طورى من الرتبة الثانية من الطور  $A \leftarrow C$  عند درجة حرارة كورى ( $T_c$ ) وتحت هذه الدرجة تبدأ الجزيئات فى اللف، وبمعامل  $\psi = \Theta e^{i\varphi}$ ، حيث  $\Theta$  تمثل زاوية اللف بالنسبة للاتجاه العمودى على الطبقة، و  $\varphi$  تمثل الزاوية الأز موسية التى تبين اتجاه اللف على مستوى الطبقة. وتغير الزاوية  $\varphi$  يسبب تغييراً طورياً. والموجه فى الطور  $C$  عملياً يكون حراً ويتحرك على شكل مخروطى وينصف القيمة العظمى للزاوية  $\Theta$  حول الاتجاه العمودى للطبقة، كما هو موضح بالشكل [٢٠].

والآن، يمكننا التساؤل: أى من البلورات السائلة ثلاثية التماثل (شكل [٢٠]) تكون موائمة باستقطاب عيني ذاتى متجهى خلال الوسط؟ أولاً: ثبوت الشرط ① عند  $n \rightarrow -n$  يعنى أساساً أنه يوجد استقطاب  $P$  فى الوسط. وهذا الاستقطاب ليس له مركبات على امتداد الموجه  $n$  لأن عملية التماثل ① بعكس الإشارة لهذه المركبات تجعل الاستقطاب  $P$  عمودياً على الموجه  $n$  أى  $(P \perp n) \leftarrow ②$ .



Symmetry operation : rotation 180° around  $\hat{y}$



شكل ٢٠: التوزيع الجزئي للبلورات السائلة

في الطور النيماتى والطور السميكتى A .

ولكن من حيث المبدأ، فإن الاستقطاب  $P$  العمودي على الموجه  $n$  فى الأطوار النيماتية أو السميكتية  $A$  يكون مستحيلاً إلا فى حالة الأطوار التى لها تماثل أسطوانى حول الموجه  $n$ . ولذلك، فالدوران بزواوية  $180^\circ$  حول  $n$  يجعل التماثل متواجداً وبالتالي يلغى أى تعامد بين  $n, P$ .

أما فى الطور السميكتى  $C$  فالوضع مختلف، لأن الوسط هنا يبرز اتجاهين غير واقعين على الخط نفسه، أحدهما  $n$  والآخر  $Z$  (العمودى على الطبقة)، وبالتالي يمكننا تكوين متجه منهما على الصورة  $Z \wedge n$  والذى يأخذ الاتجاه القطبى، ما عدا إذا كان لف المستوى حيث تعتبر مستوى مرآة، تؤدى إلى انعكاسية عملية التماثل وبالتالي تلغى تعامد الاستقطاب  $P$  مع هذا المستوى. هذا يعنى أن الطور السميكتى  $C$  لا انطباقى (Chirality) ويسمى الطور  $C^*$ . وهذا الطور بالطبع يسمح بأن يكون الاستقطاب المكانى عمودياً على لف المستوى.

## ٢-٤) مبادئ نيومان وكورى والخاصية الفيروكهربية؛

عند الإجابة عن السؤال إذا ما كانت المادة لها استقطاب تلقائى أم لا؟ أو إذا ما كان التأثير الخارجى عليها يجعلها مستقطبة، لأبد من الاستعانة بمبدأين على درجة كبيرة من العمومية، ولكنهما مفيدان، وهما مبدأ نيومان ومبدأ كورى. أولاً، فى عام ١٨٣٣م قال نيومان إن أى خاصية فيزيائية فى الوسط يجب أن تثبت عند عمليات التماثل لكل مجموعة نقطية فى هذا الوسط. وثانياً، وفى عام ١٨٩٤م قالت عالمة كورى إن الوسط الذى يتعرض لفعل مجال خارجى يغير نقاط التماثل به ويعتمد ذلك على الربط بين عناصر التماثل المشتركة مع المسبب للفعل المؤثر.

والجدير بالذكر، أن مبدئى نيومان وكورى هما من المبادئ المفيدة فى علم فيزياء المواد الكثيفة اليوم. وكلاهما يمكن صياغته بطرق مختلفة. على سبيل المثال، مبدأ نيومان يمكن صياغته على الصورة الآتية: «عناصر التماثل للخصائص الذاتية يجب أن تشمل عناصر التماثل فى الوسط». هذه الصيغة تؤكد أن كل خاصية فيزيائية قد (وغالباً) يكون لها تماثل مرتفع، ولكن ليس أقل من تماثل الوسط. وأحسن مثال على ذلك هو البلورات التكعيبية التى تعتبر متساحتة (أى مرئية مكانياً واتجاهياً). وهذا يعنى أن سماحية العازل يكون لها تماثل كورى فى البلورة التكعيبية. والتوظيف العام لمبدأ نيومان فى المواد الكثيفة هى طبيعى وأكثر صياغة رياضية. وبالنسبة لتصيق مبدأ نيومان على مواد البلورات السائلة فطبقاً لمعالجة «توسيوم وفيليبس» يتم ذلك بطريقة بسيطة باستكمال عمليات التماثل فى الوسط كما هو موضح بالشكلين [٢١] و [٢٠]. وباختيار اتجاه  $Z$  على امتداد الموجه (كما هو الحال فى الشكل ٢٠)، ويفرض أن الاستقطاب غير الصفرى يمثل بالدالة  $P = (p_x, p_y, p_z)$  فى الطور النيماتى أو الطور السميكتى  $A$ ، وبال دوران بزواوية  $180^\circ$  حول محور  $z$  تتحول مركبات الاستقطاب  $p_x, p_z$  إلى  $-p_x, -p_z$ ، ولذلك كلا (هذين المركبين يجب أن يساوى صفرًا، لأن الدوران تشغيلى التماثل فى الوسط. أما الدوران بزواوية  $90^\circ$  حول محور  $Z$  يحول الاستقطاب  $p_y$  المتبقى إلى  $p_x$ . وبالتالي نرى أن عمليات التماثل للوسط ليست هى عمليات التماثل للخاصية، مما يهدم مبدأ نيومان، وفى هذه الحالة يجب أن يخضع الاستقطاب  $P$ .

أما بالنسبة للبلورات السائلة في الطور السميكتي C، وبال دوران بزواوية  $180^\circ$  حول محور -y يكون مازال عملية التماثل، لذا فإن الاستقطاب P يكون مازال له مركبة في اتجاه -y هي  $p_y$ . أما بالدوران بزواوية  $90^\circ$  حول محور -z، فلا يكون هناك أى عملية للتماثل (كما هو موضح بالشكل ٢٠ ب). ولكن إذا كان المستوى XZ كمستوى مرآه، إذاً الاستقطاب P يجب أن يساوى صفراً. ومن أجل أن نجعل قيمة مركبة الاستقطاب  $P_y$  باقية، يجب وضع دفع بسيط على الجزئيات تجعلها لا انطباقية (Chirality). على سبيل المثال، يمكن تصنيع جزئيات تحتوى على ذرة أو أكثر من ذرات الكربون المتماثلة، وقد تكون كافية من حيث المبدأ لتحلل بعض من صفاتها اللا انطباقية في الوسط المضيف، بحيث يمكن إزالة المستوى المرآة. في كلتا الحالتين يكون هناك عنصر تماثل فقط يبقى له محور دوراني ثنائي الشئ -Two-Fold Rota tion Axis" على امتداد اتجاه -y. والاستقطاب في هذه الحالة يكون على امتداد الاتجاه المسموح به .

والجدير بالذكر أنه في عام ١٩٧٤م نجح بعض العلماء الأمريكيين في جامعة هارفارد الأمريكية من تعرف خواص التماثل السميكتي الليفة اللا انطباقية Chiral telted smectic التي تسمح باستقطابية تلقائية في اتجاه عمودى على مستوى اللف. وبالتعاون مع العلماء الفرنسيين، أمكن تصنيع هذه المواد للمرة الأولى التي تتواجد بها البلورت السائلة القطبية.

وبالطبع، تلك المواد تبين الطور السميكتي  $C^*$  الذى لم يرصد من قبل. وقد أطلق عليها اسم البلورات السائلة الفيروكهربية "Ferroelectric liquid crystal". وبذلك بدأت الخطوات الأولى نحو اكتشاف سلوك تلك المواد. وتبعاً لجدلية التماثل التي نوقشت سلفاً، نرى أن الاستقطاب التلقائي المكاني P مرتبط بقوة مع الجزئ الذى يقع في المستوى  $\pm Z\Lambda n$  (الإشارة الموجبة أو السالبة تميز المادة). ولكن المطلب الرئيسى لوجود الاستقطاب هو أن الجزئيات تكون لا انطباقية، والتفاعلات اللا انطباقية تؤدي إلى تركيب حلزوني فائق غير متكافئ (كما هو مبين بالشكل ٢١ ب).

على سبيل المثال، يوجد تفاعلان شاملان في هذا الحلزون، أحدهما لا انطباقى ويؤدي إلى البرم التلقائي والآخر انطباقى (Steric) ويؤدي إلى تشوه بالثنى التلقائي في مجال الموجه. وزاوية الطور  $\phi$ ، تصف الجانب الأيمن أو الأيسر للحلزون بدورة في حدود ميكرومتر ( $1\mu m=10^{-6}m$ ). بينما الطبقة السميكتية لها بالطبع دورة طولها بعض من النانومتر ( $1nm=10^{-9}m$ ). والترتيب الحلزوني يجعل الاستقطاب العيني صفراً للعينة الصلبة، وفي الوقت نفسه الاستقطاب يحقق علاقة الاستقطاب الميلي  $p=0$  في كل مكان.

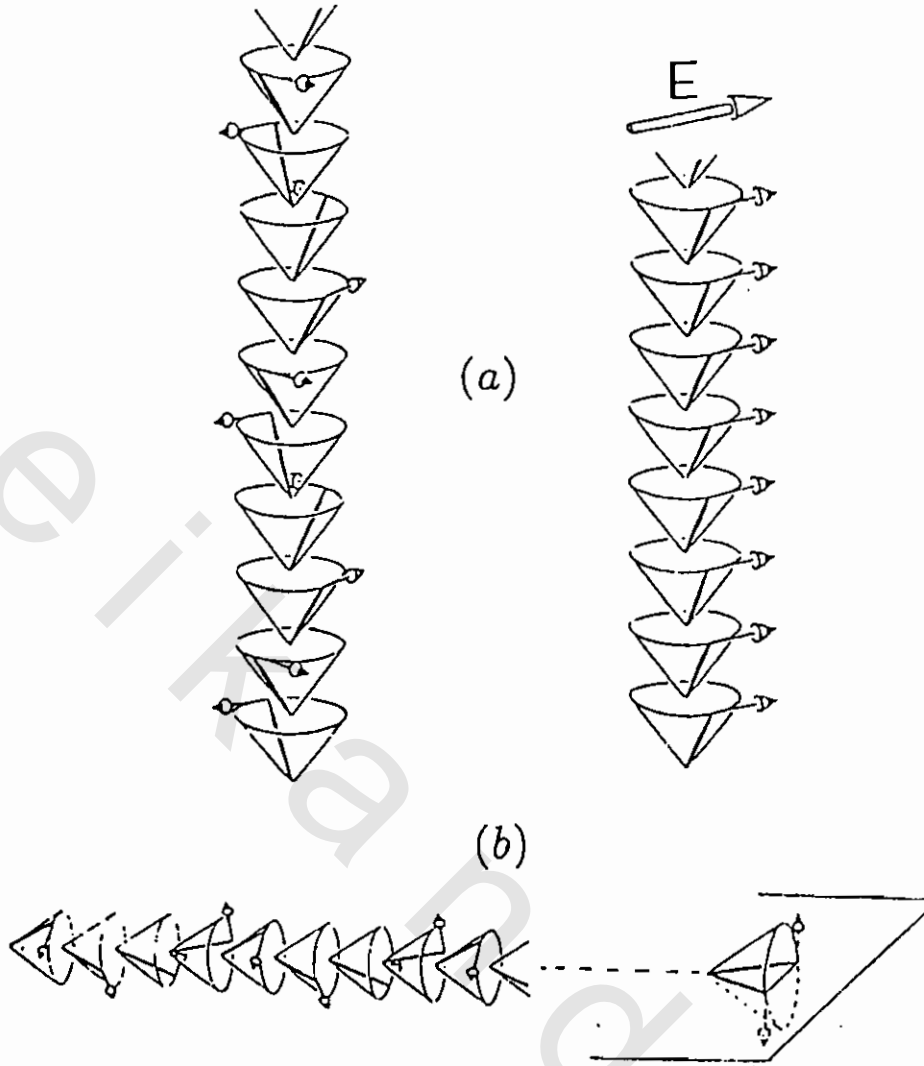
وبذلك، يكون هناك طريق آخر لتكوين مناطق من الصلب الفيروكهربى. ولكن لا توجد قوة قهرية قسرية في هذا التركيب إذا طبق مجال كهربائي خارجي في اتجاه عمودى على المحور الحلزوني، وبذلك يهدم الشكل الحلزوني للجزئ وبالتالي يلف محور الاستقطاب المكافئ أكثر في اتجاه المجال المطبق (كما هو موضح بالشكل ١٩ أ).

وكما أوضحنا في (الشكل ١٩ د) ، لمنحنى الاستجابة (p-E) يكون ثابت العزل مناظراً لضديد الفيروكهربية خلال إطار التخلفية الرقيق . هذا السلوك يعرف في مجال فيزياء الجوامد بالتركيب اللانطباقي "Chiral Structure" للمركب  $\text{NaN}_2$  ويسمى التركيب الحلزوني ضديد الفيروكهربية "helical antiferroel" وباختصار، يمكن تسمية هذه الظاهرة «الحلزون الكهربائي» "helielectric". فالحلزون الكهربائي في الطور السميكتي  $C^*$  له استقطابية عينية تساوى صفراً (مثل المواد ضد.بدة الفيروكهربية) ، وبالتالي ليس لها تخلفية ولا نقاط حرجة، وأيضاً ليس لها استقرارية ثنائية. إلا أنه يمكن تحويل هذا التركيب ببعض من التحايل إلى تركيب له خصائص مختلفة، كما هو موضح بالشكلين (٢١ أ، ب). دعنا نفترض إمكانية تحضير السطح بطريقة تجعل الشروط الحدية للجزئ تجعله ذا توازٍ سطحي دون توجيه محدد. وبجعل السطوح أصغر وأصغر، يصبح التناقض بين الترتيب الحلزوني والترتيب السطحي أكثر مرونة، بحيث لا يهدم التركيب الحلزوني من خلال القوى السطحية. ومن المعروف أن التركيب الحلزوني لا يظهر إذا كانت العينة لها سمك محدد. فالشكل الحلزوني له طاقة منخفضة، والمشكلة الفيزيائية أن الشكل الحلزوني يتميز بطول محدد يسمى الدورة الحلزونية P، وبناء عليه يمكن أن نتوقع أن يكون سمك العينة d أقل من طول الدورة الحلزونية للجزئ P. أى إن القيمة الميكرومترية تسمح للموجه أن يقطع السطح المخروطي السميكتي نظراً لتوافق القيد المخروطي والقيد السطحي للعينة. وهناك وضعان هما التماثل حول المحور المخروطي والاستقطاب المناظر لأعلى أو إلى أسفل على الترتيب. ومن المفهوم الطاقى، فإن هذين الوضعين متكافئان ويؤدي ذلك إلى استقرارية ثنائية متناظرة. وفي حالة صنع عينات رقيقة بسمك  $d=1\mu\text{m}$  وتحقق بعض الشروط الحدية، سوف تظهر تلقائياً مناطق فيروكهربية فى غياب المجال الكهربائي المطبق. وبتطبيق المجال الكهربائي، يمكن الحصول على مجموعة من المناطق التى تنمو على حساب مناطق أخرى. وتنعكس العملية بانعكاس اتجاه تطبيق المجال. وفى حالة وجود تماثل ثنائي الاستقرار (كما هو موضح بمنحنى الاستجابة ١٩ ب)، يمكن تسمية تركيب العينة «بالاستقرار السطحي للبلورة السائلة الفيروكهربية».

#### "Surface - Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal (SSFLC)"

هذا الاستقرار السطحي يجعل الطور السميكتي  $C^*$  فى طبيعته البلورية ويحول الاستقطابية العينية إلى الحجمية.

والحالة الوصفية للطور السميكتي  $C^*$  الحلزوني الموضح (بالشكل ٢١) له نقضة تماثل  $D_{\infty}$ ، التى لا تسمح باتجاه استقطابى. حينئذ، فلا تتواجد ظاهرة الكهروحرارية أو الفيروكهربية وبالأحرى ظاهرة الكهروضغطية. أما إذا طبق ضغط (أو شد) فى اتجاه عمودى، نجد الطبقات السميكتية فى التركيب الحلزوني، فلا يظهر أى استقطاب عيني. والتأثير الواضح فى هذه الحالة فقط هو التأثير على درجات السنون



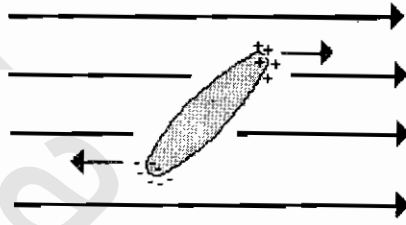
شكل ٢١: الشكل الحلزوني للطور السميكتي  $C^*$

(pitch) للحلزون (انظر شكل ٢٢). ومن ناحية أخرى إذا فعلنا الشيء نفسه على الترتيب السطحي المستقر، كما هو موضح بالشكل (٢٣)، وتغيير زاوية اللف  $\Theta$ ، وبالتالي الاستقطاب المكاني  $P$  الذي يتناسب مع زاوية اللف، حينئذ نتأكد حقيقة أن التركيب الفيروكهربى يستلزم أن تكون العينة كهروضغطية. وبناءً على ذلك فإن التركيب الاستقرار السطحي للبلورات السائلة الفيروكهربية يتميز بالخاصية الكهروحرارية، حيث إن كلاً من  $P, \Theta$  دوال في درجة الحرارة. وبما أن هناك استقطاباً عينياً فيجب أن يكون هناك ارتباط قوى مع المجال الخارجى الذى يؤدي إلى استجابة في زمن قدره ميكروثانية ( $10^{-6}$  Sec) طبقاً للعلاقة:

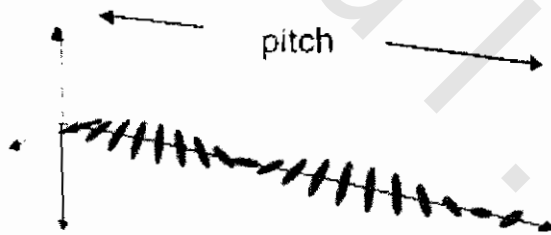
ن ا ح P.E

حيث تمثل معامل اللزوجة التي تميز الحركة حول المخروط هذه الصيغة تسمى « صيغة جولد ستون ».

والجدير بالذكر أن الفرق  $\Theta$  2 بين اتجاهات المحور البصرى يؤدي إلى تأثيرات كهروبصرية عالية التمايز. هذا التمايز يزيد مع السرعة الفائقة التي تتجاوز ثلاث مرات أسرع منها في حالة البلورات السائلة العادية مع التلازم الجوهري للذاكرة يجعل هذه المواد استراتيجية خاصة في مجال التطبيقات الكهروبصرية التي تستخدم في الأغراض العسكرية والمدنية على حدٍ سواء.



(أ)

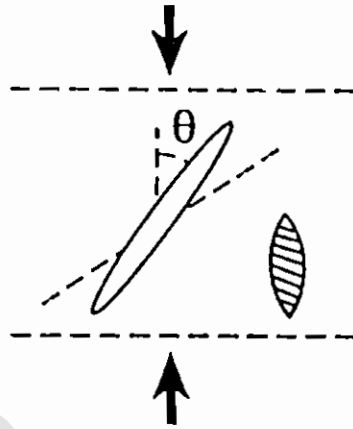


(ب)

شكل ٢٢ : أ: استقطاب وتكوين ثنائى القطب فى وجود المجال الكهربى .

ب : طول الطبقة (pitch) الجزيئية الحلزونية





شكل ٢٣: الضغط مطبق عمودياً على الجزئ في الطور السميكتي  $C^*$  مستقر السطح.

وكما رأينا، أن المواد البلورية السائلة في طورها السميكتي  $C^*$  ليست مواد فيروكهربية أتوماتية. ولكنها تتميز بخاصية الاستقرار السطحي بأشكال محددة. ولذلك، فإن الظاهرة الفيروكهربية ليست خاصة بحجمية للبلورات السائلة، وهي ليست بالتالي خاصة لسائل حتى لو كان ذا بعدين. وقد يحاول البعض إنقاص درجة لف الحلزون بإضافات لا انطباقية لها قدرة برم انعكاسية (وهذا من السهل عمله)، بدلاً من إنقاص اللف الحلزوني بواسطة المرونة السطحية كما هو موضح بالشكل (٢١) أ) إلا أنه حتى الحلزون المكافئ (ذى السنون الدقيقة) يكون اللف التركيبي الحجمي بطريقة تؤدي إلى إلغاء الاستقطاب الكلي. وهذا ليس مستغرباً لمادة لها خصائص السائل.

وبمعنى آخر، تكون البلورات السائلة الحجمية دائماً ضديدة الفيروكهربية بطريقة أو بأخرى. وأخيراً يجب أن نذكر أن البلورات السائلة ضديدة الفيروكهربية المنتظمة تتولد عندما تُلف طبقاتها السميكتية في اتجاهات متعاكسة والتي ترتبط باستقطابية مكانية متعاكسة. وهكذا تتكون شبيكتان فرعيتان متشابهتان للحالة الصلبة.

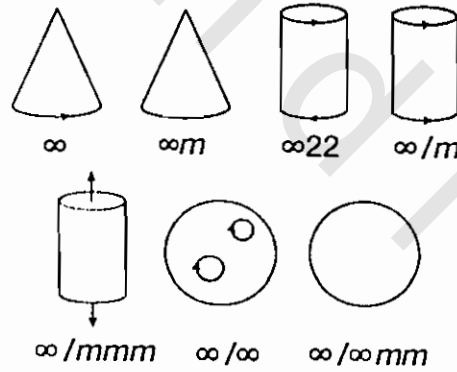
إذا رغبتنا في فحص الشرط الخاص بالإجهاد المرن اللازمة لتوليد استقطاب عيني، لا بد من العودة إلى مبدأ كورى الذى هو تعميم لمبدأ نيومان، والذي هو فى الحقيقة انتهاك لأكثر الدراسات الفيزيائية المهمة كما ذكرنا سلفاً.

ومن بين هذه الحالات الانتقالات الطورية التى تهدم التماثل التلقائى الجزئى، حيث تمثل درجة الحرارة بلغة كورى القوة الخارجية. ومبدأ كورى ينص على «عندما ينتج مسبب التأثير فعناصر التماثل لهذا المسبب يجب أن تتواجد فى التأثير ذاته». وهذا يعنى أن إنتاج التأثير (الخاصية المستحثة) له تماثل زائد، ولكنه ليس أقل من

## ٥-٢ الخصائص الكهروضغطية

تماثل المسبب ذاته .

ولهذا، يجب استخدام مبدأ كورى بحذر، على سبيل المثال: انحراف إبرة مغناطيسية بطريقة محددة على اليسار أو اليمين عند إمرار تيار كهربائي في اتجاه معين خلال سلك موصل، في هذه الحالة يبدو كل شيء متماثلاً تماماً (مغناطيس أو تيار) بالنسبة إلى المستوى الذى يحتوى الإبرة والموصل. فإذا كان هذا المستوى مرآة مستوية، فنرى أن الإبرة لا يمكن أن تتأرجح في أى اتجاه. وحل هذا التناقض الظاهري هو أن هذا المستوى ليس مستوى مرآة نظراً للخصائص التماثلية للمجال المغناطيسى. والمشكلة الرئيسية تكون عند تعرف الخصائص الانعكاسية للأشكال الهندسية، حيث إننا لا نعرف الخصائص المناظرة للأشياء التجريدية مثل الكميات الفيزيائية. وفي الحقيقة إن المجال المغناطيسى له خصائص انحراف، والدرس المستفاد من ذلك هو أننا لا يمكن أن نعتد على ظهور التأثير عند تحكيم التماثل للمجالات المختلفة وعلى خصائصها الفيزيائية بصفة عامة. والجدير بالملاحظة أن العالم بيير كورى هو أول من درس تلك التماثلات بطريقة منتظمة لوصفها. وقد أدخل سبع نقاط حدود لمجيب التماثل وتسمى مجاميع النقاط المتصلة وغير المحددة. وأضاف تلك المجاميع إلى مجاميع التخطيط البلورى الأثنين والثلاثين التى تحدثنا عنها فى الفصل الأول. وبهذا التركيب استطاع العالم «بيير كورى» تقسيم التماثل وللأوساط الممكنة وكذلك جميع الخصائص الفيزيائية الممكنة، موضعاً التماثل المتصل ومخططاً للأشكال الهندسية البسيطة التى تتبعها (كما هو موضح بالشكل ٢٤).



شكل ٢٤ : المجاميع السبعة لبيير كورى وهى مجاميع نقطية، حيث  $\infty/m$  تمثل المتجه المحورى  $\infty$ ،  $\infty 22$ ،  $\infty/\infty$  تشكل المجاميع الانتمائية.

والآن، ما هى الشروط التى تجعل تطبيق إجهاد على وسط عام يسبب إزاحة كهربية؟ المشكلة الأساسية هنا تتعلق بالبحث عن وصف واقعى لتماثل الإجهاد المطبق.

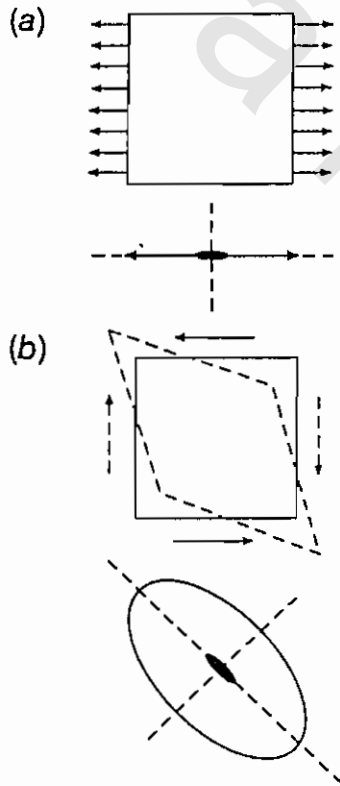
والمعروف لدينا أن الإجهاد لا يمكن وصفه بمتجه قطبي لأنه على الأقل به متجهان،

كما هو موضح بالشكل ٢٥.

على سبيل المثال، الإجهاد التوتري في بعدين، وكما هو الحال في الحجمى القاصى يكون له مستويا مرآة متعامدان، أحدهما محور ثنائى الثنى، والآخر هو مركز التماثل. وفي الأبعاد الثلاثة يكون هناك ثلاثة مستويات مرآة، اثنان لهما محاور ثنائية الثنى والثالث مركز التماثل.

والآن، دعنا نطبق الإجهاد بطريقة عامة بحيث يكون تماثل المحاور الثلاثة تماثلها ثنائى الثنى Two fold Symmetry ومستوياته الثلاثة ذو تماثل انعكاسى. هذه المستويات ليس لها موجهاً، حيث إنهما وسط انتقالى، وطبقاً لمبدأ كورى فإن الوسط الإجهادى لا يستبقى أيّاً من مستوياته أو محاوره. أما إذا كان مركز التماثل فى اتجاه  $Z$ ، فإن الوسط سيبقى مركز تماثله لأن الإجهاد له أيضاً مركز تماثل.

ويعنى هذا أن الوسط الذى له تماثل انعكاسى ليس له خاصية كهروضغطية. مما سبق يمكن القول بأن البلورات السائلة هى أحد أطوار المادة التى تتواجد بين الحالة السائلة والبلورية، وجزئياتها عادة عضوية وتكون قضيبيّة الشكل طولها ٢٥ انجستروم، ويعتمد ترتيب الجزئيات فى المادة على درجة الحرارة. على سبيل المثال الطور النيماتى يتميز بالترتيب الاتجاهى المتوازي للجزئيات.

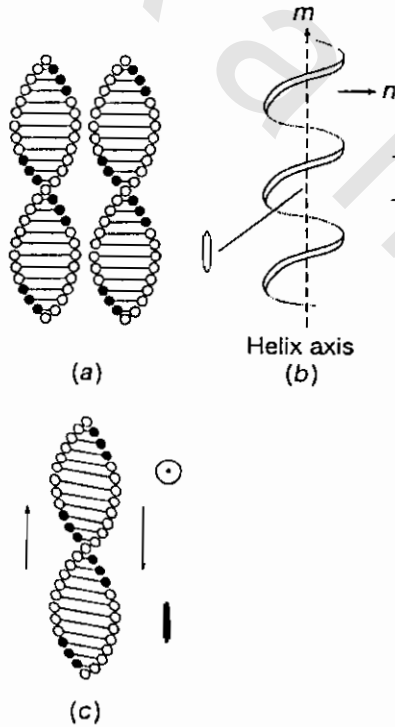


شكل ٢٥: أ) الإجهاد الشدى.

ب) الإجهاد القاصى.

والاتجاه الجزيئي وكذلك الخصائص البصرية للمادة يمكن التحكم بها بواسطة المجال الكهربائي المطبق. ويكون الطور النيماتى وما زال أكثر الأطوار المعتادة للمواد فى حالتها البلورية السائلة التى تستخدم فى شاشات العرض displays، ومعظم الأجهزة تستعمل الأشكال النيماتية المجدولة (ملفوفة). أما الأطوار السميكتية وجد أنها تعتمد بدرجة أقل من الأطوار النيماتية على درجة الحرارة. وتشكل هذه الأطوار من طبقات محددة تنزلق فوق بعضها كما يحدث فى محلول الصابون. والأعوار السميكتية لها ترتيب مكانى فى اتجاه واحد. وفى الطور السميكتى A تكون جميع الجزيئات متجهة فى اتجاه الطبقة العمودية، بينما الطور السميكتى C تكون الجزيئات ملفوفة بعيداً عن الطبقة العمودية، انظر الشكل (٢٦) ..

وهناك أطوار ملفوفة أخرى لها ترتيب حلزوني مثل الطور السميكتى I و F، كما توجد أطوار سميكتية أخرى مختلفة. والجزيئات المهمة التى لها أطوار ملفوفة هى الجزيئات اللانطباقية «chiral molecules» وتمتلك هذه الأنواع من الجزيئات استقطابية دائمة، ولذلك فإنها تتميز بالخاصية الفيروكهربية.



شكل ٢٦: الشكل الحلزوني للجزيئات

- (أ) فى الطور السميكتى A.
- (ب) فى الطور السميكتى C.
- (ج) فى الطور السميكتى C\*.

والبلورات السائلة الفيروكهربية تستجيب بسرعة للمجال الكهربى المطبق عنها فى حالة البلورات السائلة فى أطوارها النيماتية .  
ولذلك، تستعمل هذه المواد فى الأجهزة الكهروبصرية ثنائية الاستقرار . وهذا النوع من البلورات السائلة يسمى البلورات السائلة الفيروكهربية ذا الاستقرار السطحى .

والجدير بالذكر أنه فى عام ١٩٧١م تم اكتشاف ظاهرة النيماتية المجدلية « Twisted Nematic » بواسطة العالمين الألمانين هيلفريك وتشات Helfrich & Schadt . وهذا الاكتشاف يمثل أول تطبيق ناجح لاستخدام البلورات السائلة .  
والياً توجد أجهزة نيماتية مجدلية، فى هذه الأجهزة توضع البلورات السائلة بين مستقطبين عموديين للضوء . ويتحكم بواسطة المجال الكهربائى فى الانكسار الضوئى المزدوج .

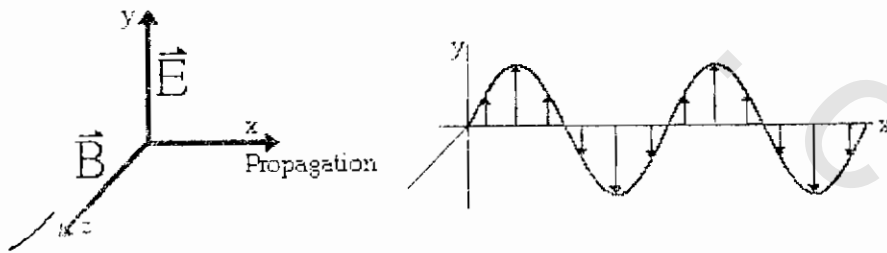
وفيما يلى نلقى الضوء على الاستقطاب الضوئى والانكسار المزدوج .

## ٢ - ٦) الضوء والاستقطاب

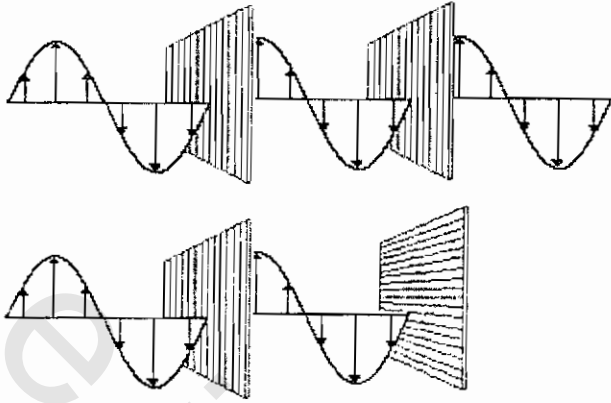
من المعروف لدينا، أن الضوء يمثل موجات كهرومغناطيسية مستعرضة نتيجة للتذبذب المتبادل للمجالين الكهربائى والمغناطيسى المتعامدين، كما هو موضح فى الشكل [ ٢٧ ] على يسار الصورة . ويبين المجال الكهربى فى اتجاه المستوى XY والمجال المغناطيسى فى اتجاه المستوى XZ وبذلك يكون انتشار الضوء فى اتجاه X . والشكل [ ٢٧ ] على اليمين يبين اتجاه انتشار المجال الكهربائى . وقد جرت العادة على استعمال متجه المجال الكهربائى، نظراً لأن مركبة المجال المغناطيسى يكون لها السلوك نفسه .  
ودالة المجال الكهربائى جيبيية، تتميز الموجة الضوئية بالطول الموجى ( $\lambda$ ) والتردد ( $\nu$ ) وسرعة الانتشار (C) .

$$\lambda \nu = C$$

وترتبط هذه المتغيرات بالعلاقة



شكل ٢٧ : الانتشار الموجى الضوئى الكهرومغناطيسى .



شكل ٢٨ : الاستقطاب الضوئي.

ويتكون الضوء الأبيض المعتاد من موجات كهرومغناطيسية تتذبذب بجميع الزوايا الممكنة. ويعتبر الضوء مستقطباً خطياً عندما تتذبذب موجاته في اتجاه مستوى واحد محدد. المستقطب الضوئي هو مادة تسمح بالضوء الذي يتذبذب بزاوية محددة من العبور خلاله. واتجاه التذبذب خلال المستقطب يسمى المحور السهل « Easy axis ».

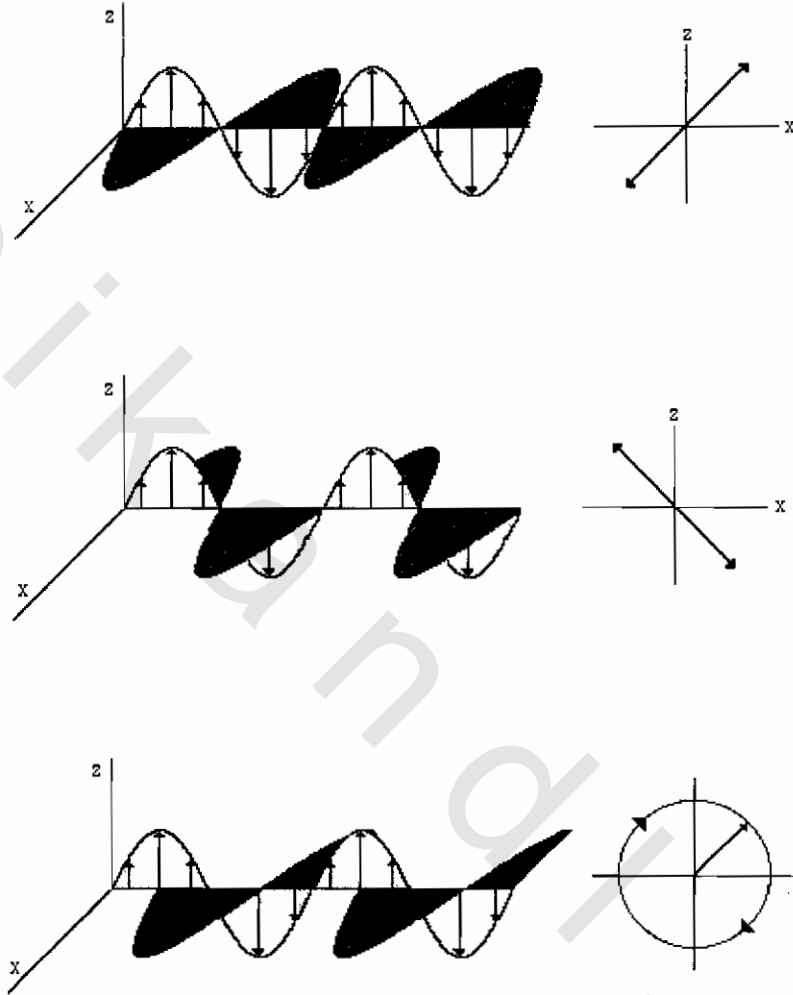
وعندما يوضع مستقطبان ضوئيان، بحيث يكون محوريهما البصريان متوازيين، فإن الضوء يعبر خلالهما. أما إذا كانت المحاور البصرية متعامدة (بزاوية  $90^\circ$ )، فإن الضوء الذي يعبر المستقطب الأول، يحبس بواسطة المستقطب (المحلل) الثاني. وبدوران المحاور البصرية بزاوية بين  $0^\circ$  -  $90^\circ$  نجد أن كمية الضوء النافذ تقل. وهذه الظاهرة موضحة بالشكل [٢٨].

والاستقطاب الخطي هو حالة خاصة من الاستقطاب الدائري للضوء. فإذا اعتبرنا موجتين ضوئيتين، إحداهما مستقطبة في المستوى  $XZ$  والأخرى مستقطبة في المستوى  $XY$  فإذا وصلت الموجتان إلى النقاط العظمى والصغرى في اللحظة نفسها (يقال إن لهما الطور نفسه) تكون المحصلة الاتجاهية لهما في اتجاه واحد ومستقيمة خطياً عند زاوية  $45^\circ$ . وهذا مبين بالشكل [٢٩]. وبالمثل، إذا كانت الموجتان بينهما فرق طورى بزاوية  $180^\circ$ ، فالمحصلة تكون استقطاباً خطياً عند زاوية  $45^\circ$  ولكن هي عكس الاتجاه.

وإذا كانت الموجتان بينهما فرق طورى قدره  $90^\circ$ ، فالموجة المحصلة تكون مستقطبة دائرياً. والشكل [٢٩] يوضح اتجاه المجال الكهربائي لهذين الموجتين. والحالة العادة، عندما يكون فرق الطور اختيارياً (ليس بالضرورة  $90^\circ$  أو  $180^\circ$ ) عندئذ، يصبح الضوء مستقطباً على قطع ناقص بدلاً من دائرة.

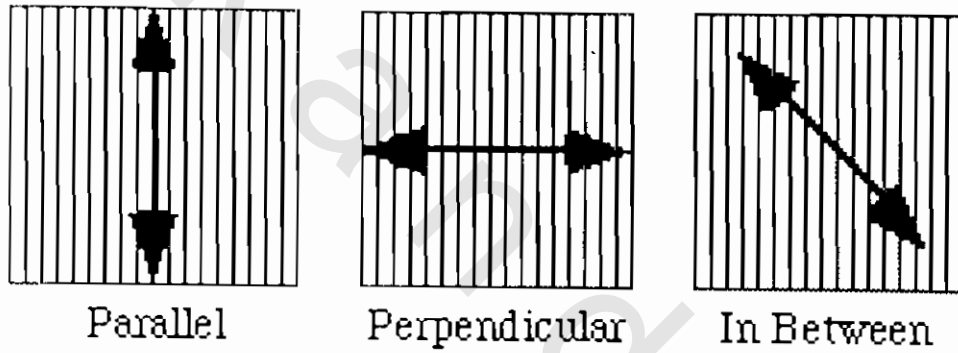
نظراً، لطبيعة البلورات السائلة المتناحية «anisotropic» فيقال إن البلورات السائلة ذات انكسار مزدوج إذا تحقق وكان للمادة أكثر من معامل انكسار للضوء. وفي حالة البلورات السائلة، يستقطب الضوء الساقط في اتجاه مواز للموجة فيكون له

## ٢ - ٧) الانكسار المزدوج في البلورات السائلة



شكل ٢٩: أنواع الاستقطاب .

معاملات انكسار مختلفة ( حيث ينتشر الضوء داخل المادة بسرعات مختلفة ) عنها من الضوء المستقطب في اتجاه عمودي على الموجه ( انظر الشكل ٣٠ ).  
وعندما يدخل الضوء مادة مزدوجة الانكسار، فإن الشعاع الضوئي ينقسم بسرعة إلى مركبتين إحداهما شعاع اعتيادي، والأخرى شعاع غير اعتيادي. وذلك لأن المركبتين ينتقلان بسرعات مختلفة، وبالتالي تكون الموجات غير متوافقة في الطور. وفي البلورات السائلة النيماتية يكون فرق الطور بين الشعاع الاعتيادي وغير الاعتيادي بين 0.1 و 0.2. ويعتبر سمك العينة من العوامل المهمة في عملية الاستقطاب. لأن الحيوذ الطوري تتجمع على طول مسار الانتشار الضوئي داخل المادة. وبذلك فإن درجة الاستقطاب تعتمد على مقدار السمك ومعامل الانكسار في المادة.



شكل ٣٠ : الانكسار المزدوج.



## ٢-٨) الخصائص الكيميائية للبلورات السائلة

تنقسم البلورات السائلة إلى قسمين هما:

١ - بلورات سائلة ذات انتحاء حرارى Thermotropic Liquid Crystal

٢ - بلورات سائلة ذات انتحاء تآكلى Lyotropic Liquid Crystal

وعلى الرغم من أن هذين النوعين من البلورات السائلة مختلفان فى طريقة التشغيل التى تقود إلى نظامهما الذاتى، إلا أنهما يكونان متشابهين فى كثير من الطرق.

والتركيب الانتحائى الحرارى يحدث فى معظم البلورات السائلة، نظراً لأن هذه المواد معرفة بالانتقال إلى حالة التبلور السائلى المحثت حرارياً. فيمكن الحصول على حالة التبلور السائلى برفع درجة حرارة المادة الصلبة و/أو بخفض درجة حرارة السائل. والبلورات السائلة ذات الانتحاء الحرارى يمكن تصنيفها إلى نوعين هما:

أ- بلورات سائلة ثنائية الصورة البلورة Enantiotropic Liquid Crystal

ب- بلورات سائلة وحيدة الصورة البلورة Monotropic Liquid Crystal

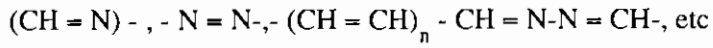
وبصفة عامة، تحدث الأطوار البينية فى الانتحاء الحرارى نتيجة لقوة التفريق بين الجزيئات والتفاعلات بينهما. وعلى النقيض من ذلك، نرى أن الانتقالات فى الانتحاء المتألف للبلورات السائلة يحدث نتيجة لتأثير المحاليل المضافة، وليس نتيجة لتغير درجة الحرارة. والأطوار البينية فى الانتحاء المتألف تحدث نتيجة الحث المحلولى الذى يجعل جميع مكونات الموروثات البينية فى تراكيب غروية. وهذه الموروثات تتكون من «ليوفيليك» Lyophilic (تجاذب - محلولى). وليوفوبيك Lyophobic (طارد - محلولى)، وهذا يؤدي إلى التراكيب الغروية فى المحلول. وبزيادة تركيز المحلول وتبريده، فإن جزيئات الرغويات تزداد حجماً وتندمج ثم يفصل التشكيل الجديد للبلورات السائلة من المحلول.

والجدير بالذكر، أنه يوجد عدد كبير من المركبات الكيميائية العضوية المعروفة بتعدد الطوري البلورى السائلى. وجزيئات هذه المركبات لها الخصائص الكيميائية والفيزيائية نفسها.

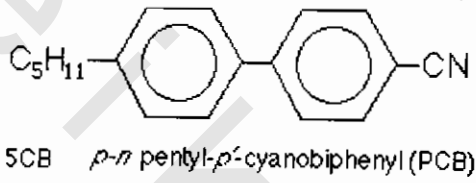
والبلورات السائلة ذو الانتحاء الحرارى تتشكل جزيئاتها بطريقتين:

١- بلورات سائلة جزيئاتها تشبه الأقراص المستوية (discatics) وتتكون من قلب من الحلقات الأروماتية (العطرية) المجاورة.

٢- بلورات سائلة جزيئاتها تأخذ أشكالاً قضيبية تترصص على طول الوجه المكاني. على سبيل المثال البلورات السائلة مثل (5CB) الموضحة بالشكل (٣١) تكون جزيئاتها مشابهة إلى شكل القضيب وتكون كتلة الجزيء الجرامى لها منخفضة وتسمى Rod-Like Low Molar Mass (LMM) Liquid Crystal ويتطلب امتداد الجزيء للمحافظة على صلابته وتركيبه الخطى. والقوة الداخلية للمجاميع تجعل المركب الناتج له تشكيل خطى. والوحدات المتصلة تحتوى على روابط متعددة، مثل:



وهذه الروابط تستخدم لأنها تحدد من حرية دوران المجموع. وهذا يتفق مع حلقات الفينيلين التي تشجع الاستقطاب الانتقائي وتزيد من طول الجزيء وتحافظ على صلابته. الجدول ( ١ ) يبين بعض أنواع من البلورات السائلة.

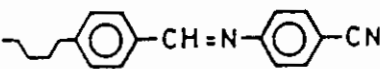
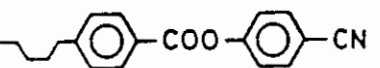
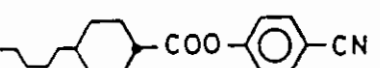
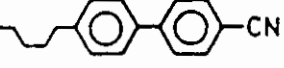
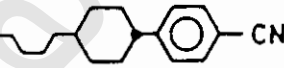
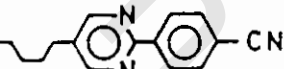
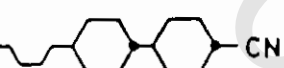
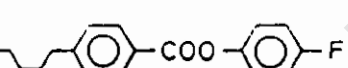
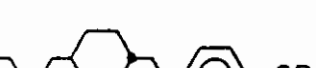
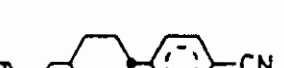


شكل ٣١: تركيب جزيئي في مركب 5CB



شكل ٣٢ : التركيب الجزيئي لمركب 5CB بين الطور  
النيماتى واستعماله الجيد فى شاشات العرض .

جدول ١ : بعض من أنواع البلورات السائلة في طورها  
النيماتى ذى الأهمية التكنولوجية .

1971		{211}
1972		{83}
1973		{84}
1974		{82}
1977		{86}
1977		{87}
1978		{88}
1981		{89}
1983		{90,91}
1985		{45}

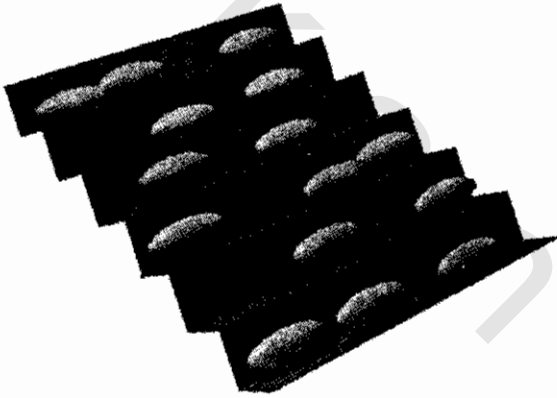
## ٢ - ٩) تجهيزات الأسطح والأنسجة والتشوه في البلورات السائلة

### Surface Preparations, Textures and Defects

#### أ تجهيز الأسطح

#### Surface Preparation

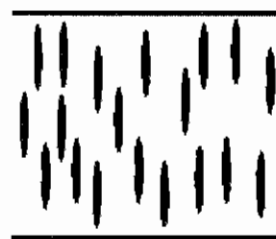
في غياب المجال الكهربائي الخارجى، فإن موجه البلورات السائلة يكون حراً في تحديد أى اتجاه. إلا أنه يمكن التحكم بقوة خارجية تجعل الموجه يشير إلى اتجاه محدد ويتم ذلك بعمل نظام عامل ارتباط خارجى an outside agent system. على سبيل المثال، ألواح الزجاج عادة تستخدم لمشاهدة البلورات السائلة بعد معالجتها وصلها بمادة بلمرية، تصطف جزيئاتها بالقرب من السطح فى اتجاه محدد. هذا السطح يحك بقطعة من القماش لخلق نقر (grooves) دقيقة متتالية. وبوضع البلورات السائلة تتجه جزيئاتها على طول المحور الموازى لهذه النقر. الأسباب الفيزيائية التى يرجع إليها لتجهيز السطح غير مفهومة حتى الآن وما زالت الأبحاث جارية لفهمها. انظر شكل (٣٣).



شكل ٣٣: تجهيز الأسطح يوضح توزيع الجزيئات على النقر السطحية.



Planar Texture



Homeotropic Texture

شكل ٣٤: تكوين الأنسجة.

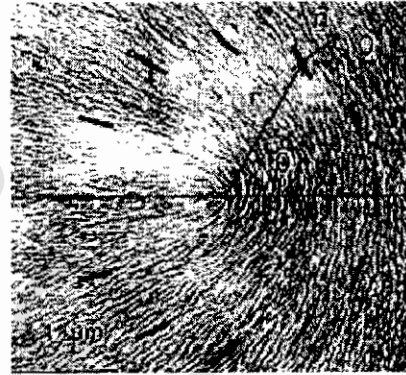
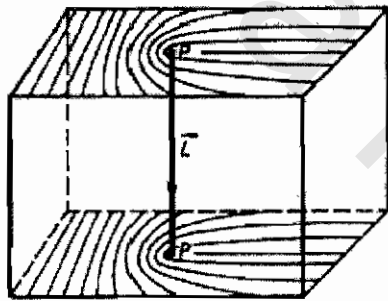
ب - الأنسجة:

مصطلح أنسجة يرجع إلى توحيد اتجاه جزيئات البلورات السائلة بالقرب من السطح. فكل بلورة سائلة لها طور بيني يمكنها من التشكل ذاتياً بأنسجة مميزة يكون من المفيد تحديدها، مثل الأنسجة النيماتية وخلافه التي تتحدد من اتساع الفجوة بين الشرائح الزجاجية «المحكوكة» الأسطح، (كما وصفنا سابقاً) وتكون موازية لاتجاه الحث. وعينة البلورات السائلة الداخلية يمكن توجيهها في نظام أنسجة سطحية Planer Textures كما هو مبين بالشكل (٣٤). ويتم ذلك باستعمال غشاء (فيلم) رقيق من البلمر، أو في وجود مجال كهربى مطبق في اتجاه عمودى على السطح هذا يعطى أنسجة مدارية مثالية homeotropic Textures.

التغيير المفاجئ في استظهار الصور المبينة خلال الانكسار المزدوج سرعان ما يعترض اتجاه الموجه بالقرب من نقطة (أو خط) شاذة، ويؤدى ذلك إلى تكون منطقة يكون عندها الموجه غير معرف.

والشكل (٣٥) يبين اتجاه الموجه بالقرب من منطقة التشوه. والجدير بالذكر أن التشوه البؤرى المخروطى يكون مسئولاً عن كثير من التراكييب فى البلورات السائلة فى طورها السميكتى.

ج- تشوه البلورات السائلة



شكل ٣٥: تشوه الشكل الجزيئى فى البلورات السائلة عندما يقترب الموجه من نقاط (أو خطوط) شاذة.