جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة القادسية

كلية العلوم

البلورات السائلة وتطبيقاتها

بحث تقدم من قبل الطلبة :

كجزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس

في علوم الكيمياء

بأشراف

م. د. أوراس عدنان

1438 هـ

2017 م

بسم الله الرحمن الرحيم

ولا تلبسوا الحق بالباطل

وتكتمون الحق وانتم تعلمون

صدق الله العلي

العظيم

(سورة البقرة الآية ٢٤)

الاهداء

الى الرسول الاعظم محمد صل الله عليه واله وسلم

الى اهل بيت النبوة ومعدن العلم وموضع الرسالة ومختلف الملائكة

الى

من يحمل كل الطيبة لما احاطني به من رعاية وعنايه منذ نعومة اظفاري

والدي العزيز

الشكر والامتنان

ت	المحتوى

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد واله الطيبين الطاهرين

وبعد لمن دواعي سروري بعد الانتهاء من انجاز البحث بحول الله تعالى وقوته .

ان اتقدم بجزيل الشكر والامتنان الى الاستاذ المساعد الدكتورة (أوراس عدنان) لما قدمت من اراء وافكار قيمة وتوجيهات سديدة وبنائه .

فضلاً عن تواصله الدائم في اثناء مسيرة الكتابة مما اضفى عليه اسس الرصانة العلمية السليمة متمنين له دوام الصحة والعافية والتوفيق

	الآية	
	الاهداء	
	الشكر والتقدير	
	البلورات السائلة وتطبيقاتها	1
1-1	المقدمة	1
2-1	جزيئات واطوار البلورات السائلة	1
3-1	ويذهب البعض الى تقسيم البلورات السائلة – حسب منشئها – الى قسمين كبيرين هما البلورات السائلة الثرموتروبيةThermotropic والبلورات الليوتروبيةLyoteopic	6
4-1	الخواص الفيزيائية الاساسية للبلورات السائلة	7
5-1	الموصلية الكهربائية	9
6-1	الخواص البصرية:	10
7-1	تخضع اللايزوتروبية البصرية لمخاليط البلورات السائلة لقاعدة الاضافة	11
8-1	الثنائية اللونية	12
9-1	خواص المرونة اللزوجة:viscoelastic properties	13
10-1	الظواهر السطحية وكيفية اعداد خلايا البلورات السائلة	15
11-1	توجيه البلورات السائلة	16
12-1	مواد بلورية سائلة جديدة	20
13-1	الانكسار المزدوج وتأثره بالمجال الكهربائي	20
14-1	الخواص الكهروبصرية لأغشية البلورات السائلة المنتشرة داخل بوليمر	20

15-1	استخدام البلورات السائلة في اجهزة العرض	21
16-1	شاشات العرض البلورات السائله ذات المصفوفات الفعاله	23
	المصادر	26-25

البلورات السائلة وتطبيقاتها

١-١ مقدمة:-

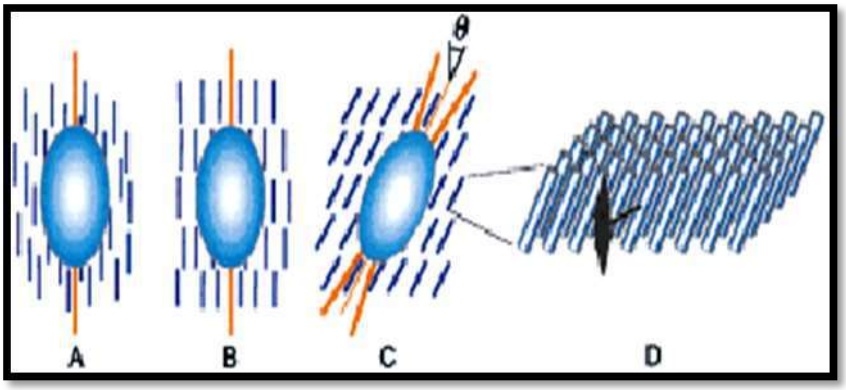
البلورات السائلة (Liquid crystals LCs)هي مواد لها مظهر السائل ولكن جزيئاتها تكون مرتبة في مستويات معينة مثل البلورات تعرف البلورات السائلة بانها الحالة الوسطيه التي ينحصر تكوينها بين الحالة الصلبة البلورية المنتظمة الذي تكون فيه الجزيئات مقيدة الحركة وذات نظام هندسي ذي ثلاث ابعاد والحالة السائلة العادية غير المنتظمة والتي تتحرك جزيئات المادة فيه بصوره عشوائيه.

نعتبر البلورات السائلة نوع من الموائع المحتوية على نظام معين تترتب فية الجزيئات ,وهذا الترتيب هو الذي يجعل المادة لا ايزوتروبية اي لا تكون خواصها الفيزيائية موحدة في جميع الاتجاهات . وقد وجد بالفعل ان اساس معظم الظواهر الكهروبصرية في البلورات السائلة, يكمن في مقدرة محور المواقع الجزيئية المفضل ويسمى الموجة على اتخاذ اتجاهات معينة تحت تأثير مجالات خارجية .

ونقدم فيما يلي وصفا للتركيب الكيميائي والبلوري والخواص الفيزيائية للبلورات السائلة ذات الاهمية التطبيقية المرموقة.

1-2جزيئات واطوار البلورات السائلة

تتخذ جزيئات الاطوار المميزة للبلورة السائلة شكل قضبان كما قد تفعل التجمعات الجزيئية نفس الشيء .ففي الطور المسمى النيماتي Nematic او الخيطي , تتوزع الجزيئات بشكل احصائي بحث تأخذ اتجاه المحور المفضل L والمسمى الموجة (شكل ١) وقد يتغير اتجاة هذا الموجة الا ان المسافة المميزة للتغير تكون اطول بكثير من ابعاد الجزيء نفسة . وعندما يطبق مؤثر خارجي فأن المحاور الجزيئية تنتظم في اتجاه متجانس يشمل المادة كلها ,فتصبح على هيئة بلورة سائلة احادية او جسما وحيد النطاق.



شكل(١)(تماثلا طوار البلورات السائلة)

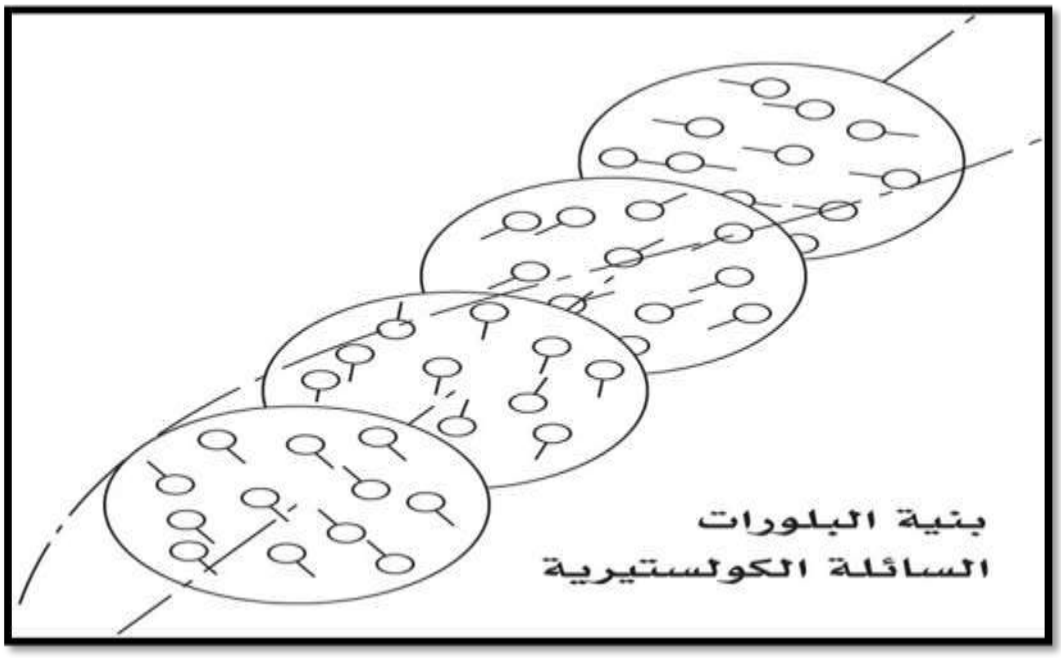
وهناك ايضا طور السميكتيS mectic الوسيط والذي يتميز بنظام اتجاهي ونظام موضعي في ان واحد , بحيث تترتب جزيئات البلورة السائلة في طبقات يبلغ سمكها (d) في المتوسط مايقارب طول الجزيء نفسة (شكل ١ب) وهذه الطبقات قابلة للانزلاق على بعضها البعض ,ويعرف هذا الطور بأنه من النوع (A) والطور السميكتي (A) الوسيط ينتمي مثل الطور النيماتي بصريا الى التماثل احادي المحور وينطيق اتجاه المحور البصري مع الموجة فاذا حدث وكانت هناك زاوية بين الجزيئات مع العمودي على الطبقة فأن الطور السائد يكون سميكتي من النوع (C) . وقد يكون هذا الطور (كيراليا)(اي لة تماثل اليد البشرية) او غير ذلك اعتماد على ما كان الدوران بالنسبة للعمودي على الجزيئات في الطبقات المجاورة قائما ام لا. (شكل c1)

اما فيما يتعلق بدرجات الحرارة فان الطور السميكتي (C) يتجلى عادة عند درجات ادنى من درجات تكون الطور السميكتي (A) واذا حدث انتقال طوري من (A) الى (C) فأنه يكون من النوع المتصل (اي من الرتبة الثانية).

وهناك حالات اكثر تعقيدا حيث يظهر النظام الموضعي كما في الشكل (1d)حيث يكون للجزيئات نظام سداسي في المستوى السطح . ويكون هذا الطور سميكتي ايضا ولكن من النوع B_h (يرمز الحرف h الى كلمة سداسي hexagonal) .وهو ينتظم في شبيكة سداسية تتعامد فيها الجزيئات مع الطبقات . وقد تكون بعض اطوار البلورات السائلة هذه اقرب ما تكون من بلورات الحالة الصلبة المعروفة .

وعندما تكون الجزيئات (كيرالية) بحيث لاتمتلك تماثلا مراويا او مستويات تماثل فأن عددا من الاطوار الوسطية الكيرالية يبدأ في الظهور , ومثال ذلك الطور المسمى الكوليستري او النيماتي

الكيرالي (شكل٢أ) وتتمتع الجزيئات المكونة للبلورات الكوليسترية بنشاط بصري ملحوظ , كما تتميز بأن اتجاه المحور الاطوال للجزيئات في كل طبقة من الطبقات المتعاقبة يصنع زاوية مع زاوية مع اتجاه محاور الجزيئات في



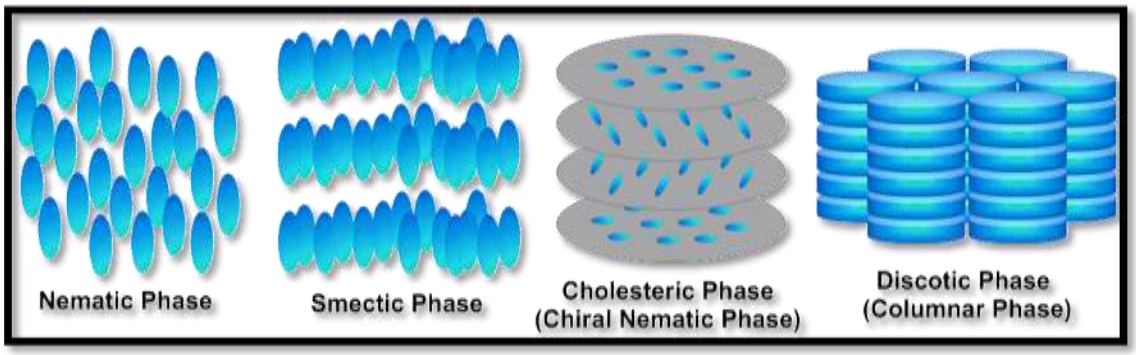
شكل(٢)تركيب الطور الكوليستري

الطبقة الثانية.ومن المعلوم ان كل طبقة تتكون من جزيئات ذات اتجاهات متوازية كما انها تتحرك بحرية في اتجاهين بحيث ينتج حلزون ذو (خطوة) مقدارها p_o اعتماد على طبيعة الجزيئات (٢) ويدور محور الاتجاه (الموجة) زاوية مقدارها 2π خلال كل خطوة p_0 ويصور الشكل (٢) تركيبا حلزونيا ذا ثلاثة ابعاد يحتوي على جزيئات كيرالية . وقد اصطلح على وصف هذه الاطوار بالزرقاء ويحدث احيتانا ان تتراص (اجزاء من الحلزون)بحيث تتكون شبيكات مكعبية متنوعه تقترب ثوابتها من خطوة الحلزون .

والبلورات السائلة الكوليسترية– مثل النيمانية احادية المحور سواء موضعيا او على المستوى الماكرو سكوبي. وينطبق المحور البصري لها مع محور الحلزون الذي يتعامد دائما مع المحاور البصرية النيمانية الموضعية.

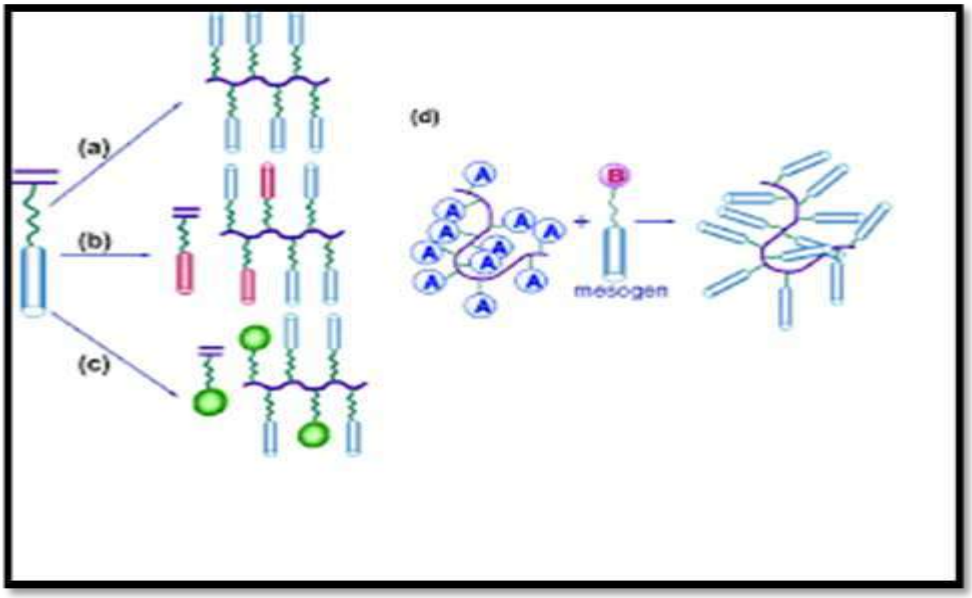
وهناك من الجزيئات ماهو على الشكل اقراص تكون بمثابة لبنات اطوار وسيطة تأخذ شكل الاعمدة(٣) وقد يكون تجمع هذه الاقراص في الاعمدة بغض النظر عما اذا كان ترتيبها داخل

كل عمود منتظما ام لا .وتشكل هذه الاعمدة شبيكة سدسية او قائمة وعلى وجه العموم ,فأن هذه الاطوار احادية المحور وسالبة وينطبق المحور البصري على الموجة L.



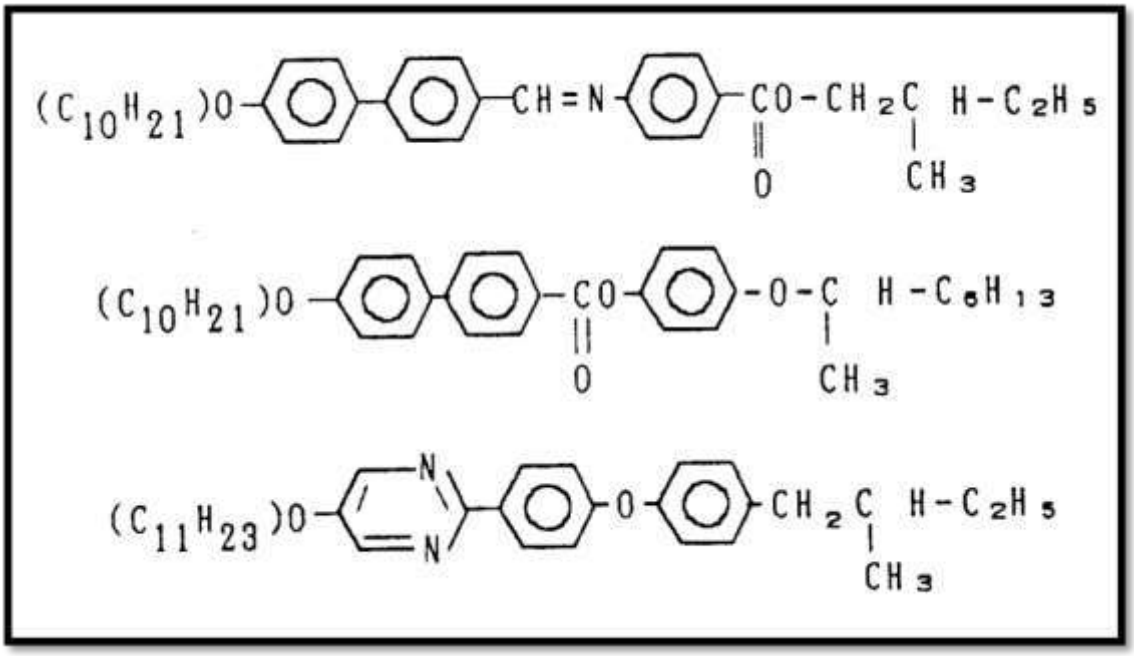
شكل(٣)بلورات السائلة ذات الجزيئات

والبلمرات ذات السلاسل الجزيئة الخطية او التي على شكل المشط هي من الحلات الخاصة للبلورات السائلة والشكل(٤)يوضح طورا نيماتيا مكونا من جزيئات بوليمر ذات سلاسل خطية طويلة الان الاطوار الوسيطة للبلمرات تتميز بقدرتها على تكوين حالة زجاجية يكون فيها ترتيب البلورات السائلة متجمداً وتعتبر هذه الظاهرة اساسا للعديد من التطبيقات الحديثة للبلورات السائلة البوليمرية وعلى وجه الخصوص الفيروكهربائي منها.



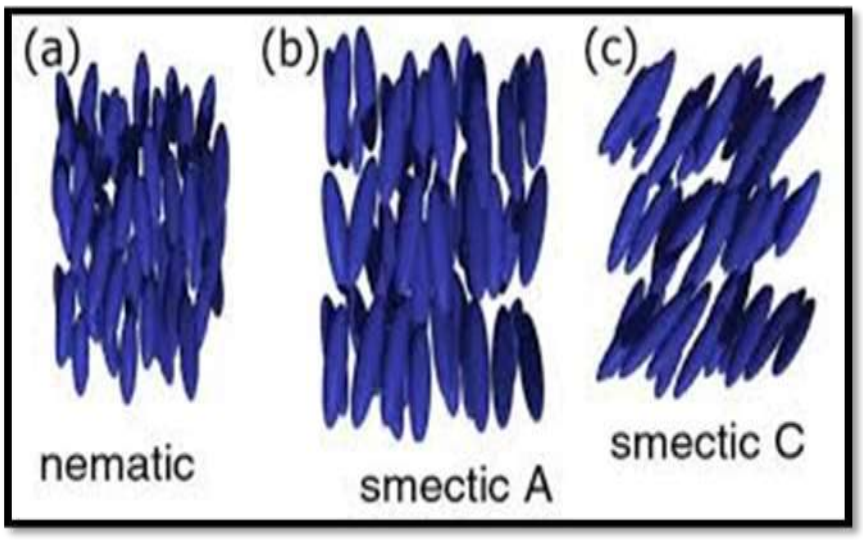
شكل(٤)بلورات سائلة بوليمرية ذات اساس من بوليمرخطي

وتعتبر البلمرات التي تاخذ الشكل المشط من اهم المواد المستخدمة في تطبيقات الكهرو بصرية , اما اجزاء هذه البلمرات فهي مكونة من سلسلة رئيسية وفواصل ومجموعات جزئية جانبية , وان كان من الممكن اضافه بعض المجموعات الكيميائية الوسطية ذات وظائف المحدده الى التركيب الجزيئي



(شكل٥)بعض امثلة البوليمرات التي تستخدم في تطبيقات الكهرو بصرية

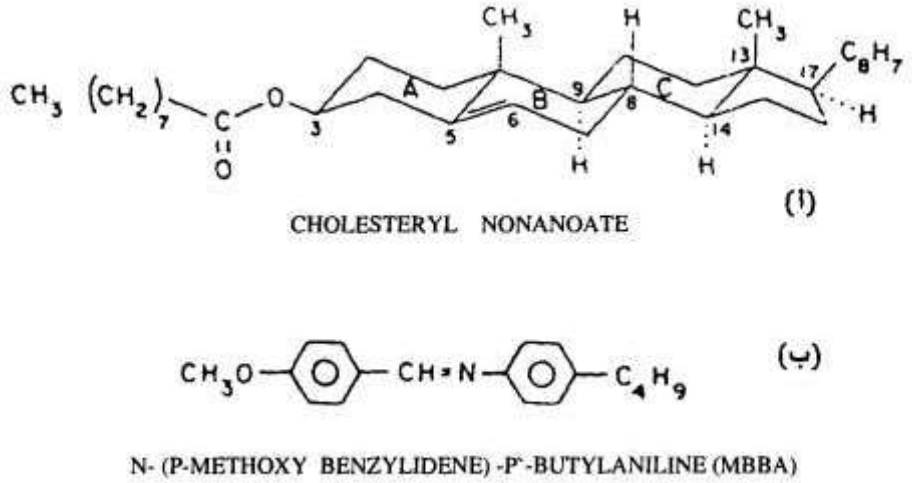
ويتكون الطور الكيرالي للبلورات السميكتية c من جزيئات ذات نشاط بصري . ويكون التماثل الموضعي للطور C وهو(C_2) قطبيا . لان مستوى الميل الجزيئي (شكل٦) لم يعد مستوى انعكاس مرأوي .. وهكذا يسمح للاستقطاب التلقائي ان يكون موازيا للطبقات. وتلتف كل طبقة متتالية في الطور Cالسمكتي بزاوية ما بالنسبة للطبقة التي سبقها وبذلك ينشأ تركيب ملتوي ذو خطوة مقدارها P_0 . ومن الامثلة التقليدية للطور السميكتيC– الذي يتمتع بخواص فروكهربية– ويرمز لة بالرمز D او DOBAMBC L



الشكل (٦)التركيب الجزيئي والترتيب داخل الطور السمكتي الكيرالي

3-1 ويذهب البعض الى تقسيم البلورات السائلة – حسب منشئها – الى قسمين كبيرين هما البلورات السائلة الثرموتروبيةThermotropic والبلورات الليوتروبيةLyoteopic

١- البلورات الترموتروبية : وهي التي تنتج عند تسخين المادة الصلبة ومن امثلتها مادة كوليستريل نونانويت (الشكل ٧أ) ومادة N. (P-METHOXY BENZYLIDENE—P P BULYLANIIINE) الشكل ٧ب)



شكل (٧) نماذج من التراكيب الجزيئية التي تنتج عنها اطوار ثرموتروبية وسطية

٢- البلورات الليوتروبية : وهي التي تتكون عند التحضير محاليل بعض المواد في مذيب ايزوتروبي ويشترط ان يكون تركيز المادة المذابة كبيرا , ويلاحظ ان الوحدات التي على هيئة قضبان دقيقة كبيرة بالنسبة لوحدات البلورات الثرموتروبية ,ولكن النسب المحورية لها نادرا ما تزيد على ١٥ (النسبة المحورية هي النسبة بين طولي المحور الكبير الى المحور الصغير)ويذكر ان حمض DNA النووي وبعض الفيروسات مثل فيروس ورق نبات الدخان وكثير من الببتيدات الصناعية وغيرها تكون اطوارا وسيطة ليوتروبية عند اذابتها في مذيبات مناسبة – كالماء مثلا- وبتركيزات مناسبة .

1-4الخواص الفيزيائية الاساسية للبلورات السائلة

الخواص العزلية Dielecteic properties

تعتبر السوائل العضوية النقية من المواد العازلة كهربائيا وكذلك المواد الديا مغناطيسية $\sigma \approx$ (0) وتكون الانفاذية المغناطيسية لها هي$\mu_0 = 1 + 4x \approx 1$ اما معامل انكسارها فهو $n^2 = \mu\tau\varepsilon = 1$ وعند الترددات المرتفعة تكون السماحيةالعزلية$\varepsilon(\omega \to \infty) = n^2$ محكومة بمتوسط استقطابية ما يسمى بالتشوه الالكتروني والايوني للجزيء من خلال معادلة

$$\frac{n^2-1}{n^2+2} = \frac{4\pi}{3}\frac{\rho}{m} \cdot N_A \langle\gamma\rangle^E$$

لورنتز-لورنتز

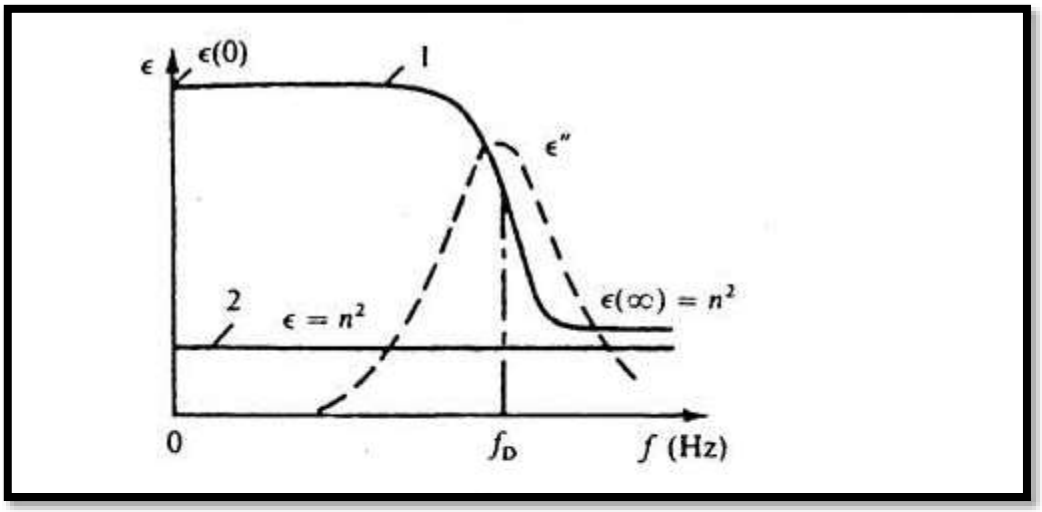
حيث ρ هي كثافة المادة ,m الوزن الجزيئي لها , N_A عدد افوكادرو اما (γ) فهو متوسط الاستقطاب في وجود مجال كهربائي شدته E . اما عند الترددات المنخفضة فأن السماحيةالعزليةالاستاتيكية تعطى في ابسط صورها بمعادلة ((كلاوزيوس–موسوتي))

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{4\pi}{3}\frac{\rho}{m} \cdot N_A\left(\langle\gamma\rangle^E + \frac{\mu^2}{3k_BT}\right) \qquad (15-2)$$

حيث $\frac{\mu^2}{3KT}$ مقدارها يعبر عن المركبة الاتجاهية لمتوسط الاستقطابية الاستاتيكية والتي تعتمد على عزم ثنائي القطب الكهربائي μللجزيء يوضح الشكل (٨) كيفية تغيير السماحيةالعزلية مع

التردد في حالة السوائل ذات جزيئات قطبية (المنحنة ١) وسوائل ذات جزيئات غير قطبية (المنحني٢) وتعتبر هذه المنحنيات اساسا لاستنتاج زمن الاسترخاء من معادلات (ديباي).

$$\varepsilon^*(\omega)-\varepsilon(\omega)=\frac{[\varepsilon(0)-\varepsilon(\omega)]}{1-i\,\omega\,\tau_D} \qquad (15-3)$$



شكل(٨)تأثير التردد على السماحيةالعزلية للسوائل ذات جزيئات القطبية

حيث ϵ' هو الشق الحقيقي , ε'' التخيلي للسماحيةالعزلية التخيلية بحيث يشكلان معا السماحية المركبة . $\epsilon^* = \varepsilon' - \varepsilon''$

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon' &= \varepsilon(\infty) + \frac{[\varepsilon(0) - \varepsilon(\infty)]}{(1+\omega^2\tau_D^2)}\\ &\text{من } \varepsilon'' \text{ ,}\\ \varepsilon'' &= \frac{[\varepsilon(0) - \varepsilon(\infty)]\omega\tau_D}{1+\omega^2\tau_D^2}\end{aligned}\right\}$$

وهكذا فالمعادلة تصف المنحنى الموضح بالشكل (٨) الذي يمثل علاقة التردد بالشق الحقيقي منε^* والتردد المميز . كما يمثل علاقة التردد بالفقد العزلي . وهذا الفقد هو الذي يسبب في وجود مركبة فعالة للتيار الكهربائي حتى في وسط عزل تماما لايحتوي على ناقلات للشحنة . والموصلية الكهربائية الناجمة عن الفقد العزلي هي

$$\sigma_D = \varepsilon // \frac{\omega}{4\pi}$$

وفي الخلاصة فان السماحيةالعزلية المركبة تصبح :

$$\varepsilon^* = \varepsilon + i\frac{4\pi}{\omega}\sigma_D$$

1-5 الموصلية الكهربائية :-

من الثابت ان التوصيل الكهربائي يرتفع في البلورات السائلة بشكل كبير بسبب وجود الشوائب , حيث تتفكك جزيئاتها مخلفة ايونات موجبة كاتيونات واخرى سالبة انيونات .ويحث ان تلتئم هذه الايونات مرة اخرى طبقا للعلاقة :

$$AB \leftrightarrow A^- + B^+$$

فاذا كان المجال ضعيفا , ومعدل التأين منخفضا فأن الموصلية توصف بالمعادلة :

$$\sigma = e\left(\mu_+ - \mu_-\right)\left(k_D\, C^* / k_R\right)$$

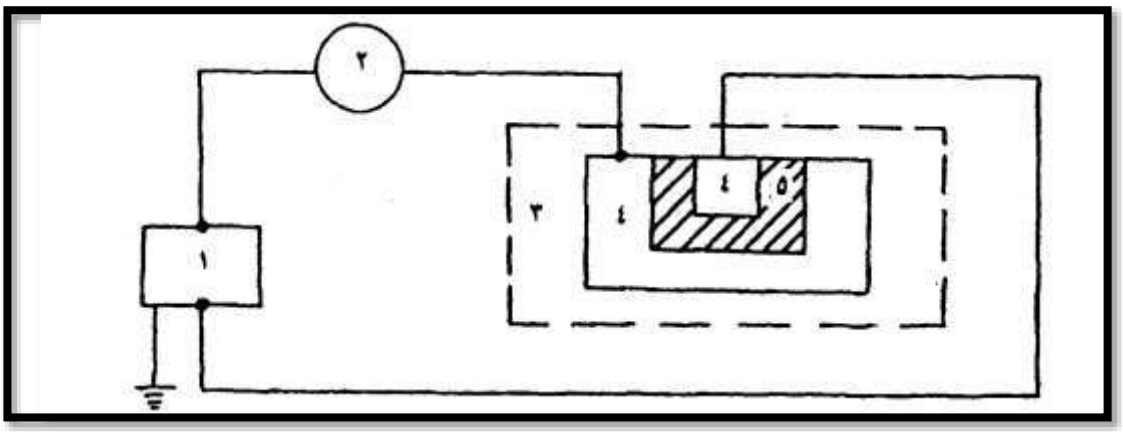
حيث μ_-, μ_+ هما حركيتا الايونين الموجب والسالب على الترتيب و $-C^*$ تركيز الشوائب في السنتمتر المكعب . والثابتان K_R, K_D هما اللذان يحددان معدل التفكك والالتئام على الترتيب

ويتوقف اعتماد الموصلية الكهربائية على درجة الحرارة على تغير حركية الايونات وثابتي التفكك والالتئام مع درجة الحرارة وتوصف – بشكل عام –بالعلاقة التالية

$$\sigma = \sigma_0 epx(-\frac{w}{KT})$$

بقى ان تعرف ان الموصلية الكهربائية (او المقاومة النوعية) من بين اهم السمات المميزة للبلورات السائلة ,حيث تصل قيمتها في غالبية البلورات السائلة الى $10^{-11} ohm^{-1} cm^{-1}$

ولايجب ان تزيد قيمة σ عن هذا الحد اذا كان علينا استخدام البلورات السائلة في تطبيق تتعرض فيةلاشعاع قوي نسبيا من موجات فوق البنفسجية او تحت الحمراء لفترات طويلة (عدة مئات من الساعات) ويرى في الشكل (٩) طريقة موثوق بها لتعيين σ



شكل (٩)طريقة قياس الموصلية الكهربائية لبلورات سائلة

6-1الخواص البصرية: *Optical Properties*

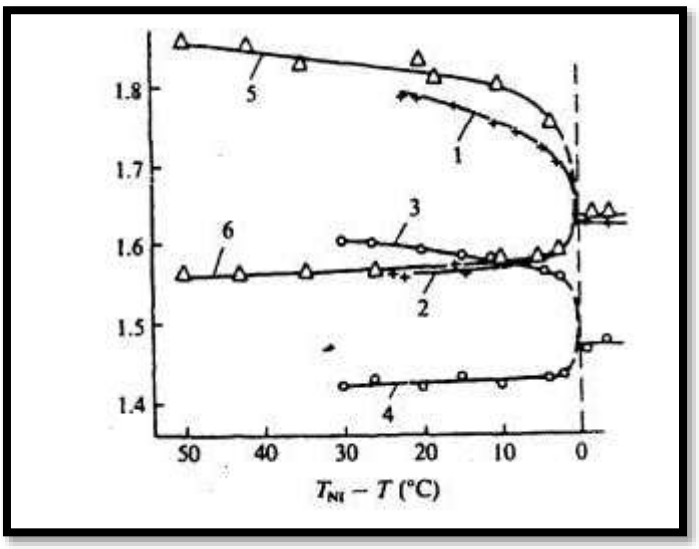
١- اللايزوتروبية :

يرتبط سلوك البلورات السائلة احادية المحور عند الترددات المرتفعة وهنا بأسهام كل من الاستقطاب الكهربائي والاكتروني والايوني ولايظهر اسهام مركبة الاستقطاب الاتجاهي الناشيء عن ثنائيات القطب ولهذا يصبح شقا معامل الانكسار المركب وهما معامل الانكسار n ومعامل الامتصاص k لا ايزوتربيين . ولكل منهما مركبتان رئيسيتان هما k_l, k_{ll}, n_l, n_{ll}يوضح الشكل(١٠)منحنيات تغير معاملات الانكسار الرئيسية مع درجة حرارة لثلاث من البلورات السائلة النيماتية . اما القيمة المتوسطة لمعاملات الانكسار في

الطورالنيماتي فهي تعطي بالمعادلة

$$\langle n^2 \rangle = \frac{1}{3}\left(n_{//}^2 + 2n_{\perp}^2\right)$$

علما بأن الكمية($(n)^{2\frac{1}{2}}$) تختلف عن معامل الانكسار n_{is} في الطور الايزوتروبي بسبب اعتماد كثافة المادة على درجة الحرارة . اما استقطابية الجزيئات المتوسطة فهي لاتعتمد على درجة الحرارة.



شكل (١٠)

ويمكننا تعريف مايسمى باللاايزوتروبية البصرية بالمقدار Δn حيث

$$\Delta n = n_{ll} - n_{l}$$

وتحدد Δn تماما بلا ايزوتروبية الاستقطابية مقاسة بالتوازي وبالتعامد مع المحور الجزيئي الطويل.

وتزداد قيم اللاايزوتروبيةΔnمع كل من

١- استطالة سلسله الترابط الموازية للمحور الجزيئي
٢- عند استبدال الحلقات العطرية المشبعه بأخرى غير مشبعة
٣- عند تقصير سلسله ((الالكيل))في نهاية المجموعات الجزيئية فتصبح سلسلة على هيئة تبادلات زوجية وفردية
٤- زيادة قيم بارامتر الترتيب .

***7-1* تخضع اللاايزوتروبية البصرية لمخاليط البلورات السائلة لقاعدة الاضافة .**

$$\left[\frac{1}{\rho}\,\frac{\left(n^2-1\right)}{\left(n^2+1\right)}\right]_{mix} = \sum_i C_i\left[\frac{\left(n_i^2-1\right)}{\left(n_i^2+1\right)}\cdot\frac{1}{\rho}\right]$$

حيث c_iهو الكسر الجزيئي للمركبة (i) في المخلوط.

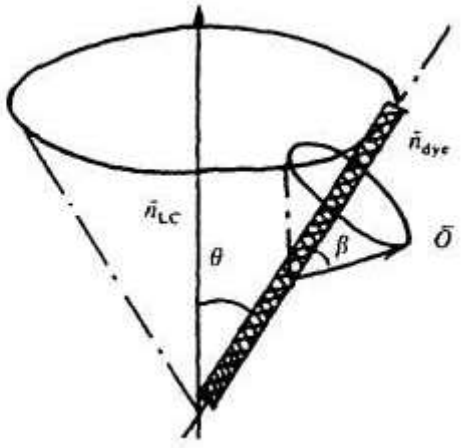
8-1الثنائية اللونية *Dichroism*

تحدث لا ايزوتروبية الامتصاص (او ما يسمى ثنائية اللون) في البلورات السائلة . اما بسبب وجود مذبذب ذي طول موجي قصير والذي ينطبق عادة مع اتجاه المحور الجزيئي الطويل او بسبب الشوائب مثل الصبغات ثنائية اللون (ويمكننا ان نطلق على هذة الشوائب اسم الضيوف)الذائبة في البلورات السائلة (المضيفة) وسنتناول الحالة الثانية لاهميتها في التطبيقات العملية وذلك في اطار ما يعرف بتأثير (ضيف – مضيف)

هب ان لدينا جزيئات من الصبغة الضيف وهب ان المحور الجزيئي الطويل يميل بزاوية مقدارها θمع الموجة Lللبلورة السائلة (المضيفة) ثم دع مذبذب الامتصاص O يميل بزاوية مقدارهاβ مع المحور الجزيئي الطويل للصبغة شكل(١١) عند ئذ يكون باراميتر الترتيب للصبغة ثنائيةاللون مرتبطا مع النسبة الثنائية الونية$N = \frac{D_{ll}}{D_l}$ بالعلاقة التالية

$$S_{dye} = \frac{(N-1)}{(N+1)}\left[1 - \frac{3}{2}\sin^2\beta\right]^{-1}$$

وعلى هذا يكون تعريف النسبة للصبغة او N هو انها النسبةبين الكثافتين الضوئيتين (البصريتين) الناتجتين عن قياس الاستقطابية لمحلول الصبغة ثنائية اللون في البلورة السائلة التي تاخذ اتجاها اما موازيا اومتعامدا مع متجه استقطاب الضوء على الترتيب



شكل(١١) موقع مهتز الامتصاص بالنسبة للبلورة السائلة

1-9خواص المرونة اللزوجة:viscoelastic properties

يتحدد سلوك البلورات السائلة في وجود مجالات كهربائية بما لها من خواص المرونة اللزجة . ومن هنا تاتي اهمية معرفتها والواقع ان تلك المجالات تتحكم في البارامترات المميزة مثل الجهود الكهربائية الحاكمة ومدى انحدار منحنى الجهد مع انبعاث الالكترونات وزمن الاستجابة وغيرها.

١- المرونة *Elasticity*

يكمن الفرق الجوهري بين التشوهات في بلورة السائلة وفي بلورة الصلبة في ان البلورات السائلة لا تعاني من ازاحات انتقالية للجزيئات عند حدوث تشوهات للعينات بفعل اجهادات خارجية . ويرجع هذا الى انزلاق طبقات البلورة السائلة على بعضها البعض.

وترتبط مرونة السوائل الايزوتروبية بالكثافة وتغيرها , اما تغيرات الكثافة في البلورات السائلة فيمكن التغير عنها بمعاملات مناسبة وتظل المرونة المرتبطة بالتغيرات الموضعية لا تجاهات الموجة هي المميزة الرئيسي.

وغالبا مانلجأ الى الفروض التالية عند وصف مرونة البلورات السائلة النيماتية:

١- يتغير اتجاه الموجة *L* بالتدريج الشديد اذا قورن بالابعاد الجزيئية للبلورة السائلة,وعلينا ان نستنتج ان بارامتر الترتيب *s* يظل ثابتا عبر حجم البلورة السائلة باكملها وذلك عند درجة الحرارة ثابتة *T* في حين ان مجال الموجة *L* هو فقط الذي يتغير تبعا للمجالات الكهربائية الخارجية او غيرها.
٢- لا بد من اخذ التماثل الاسطواني لتركيب البلورة السائلة النيماتية في الاعتبار , وكذلك غياب القطبية
٣- ان ما يظهر في التعبير الرياضي للطاقة الحرة هو مربعات قيم تشوه الموجة وذلك طبقا لقانون هوك

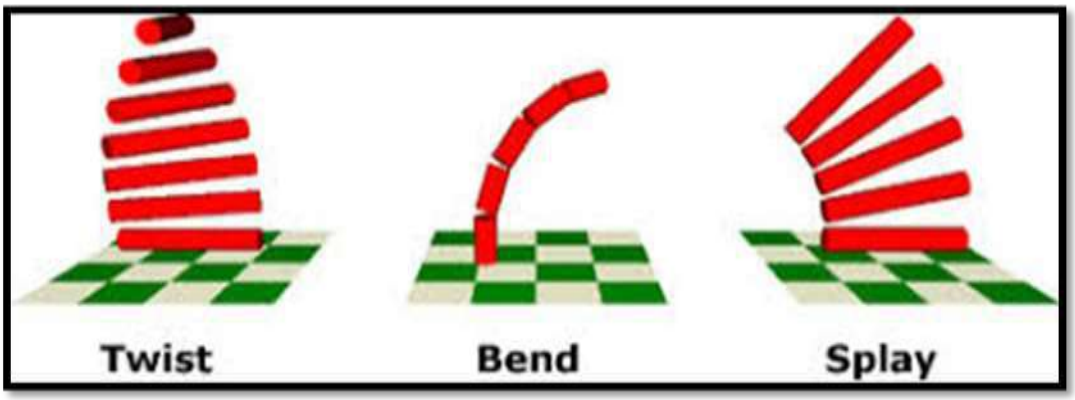
وبناء على هذه الفرضية فأن كثافة الطاقة الحرة المرنة للبلورة السائلة النيماتية ستاخذ الشكل التالي؛:

$$g = \frac{1}{2}\left[K_{11}(\text{div } \mathbf{L})^2 + K_{22}\,(\mathbf{L}\ \text{curl}\ \mathbf{L})^2 + K_{33}\,(\mathbf{L} \times \text{curl}\ \mathbf{L})^2\right]$$

وهذه المعادلة هي الاساس في دراسة جميع الظواهر الكهرو بصرية في البلورات السائلة النيماتية فالحد الاول يصف التشوه *S* وهو اول حرف في كلمة SPLAYاما الحد الثاني فيصف التشوة*T* اول حرف في كلمة TWIST *والحد الثالث* يصف التشوه *B* اول حرف في كلمة *BEND* ويلخص الشكل (١٢) هذة الانواع الثلاثة للتشوة .ويتشابة الموقف تماما في حالة البلورات السائلة الكوليسترية او النيماتية .

وتحمل نظرية المرونة سماتها الخاصة في حالة البلورات السميكتية حيث تشترك التشوهات المرتبطة بتغير المسافة بين الطبقات في جميع الاطوار السميتكية وان كانت غير مرتبكة عموما – بتغير اتجاه الموجة ولذلك يظهر معمل اخر للمورنة *B*,

اما في البلورات السميكتية *A* فأن لتشوه الوحيد الممكن هو التموج النوعي للطبقات السميكتي بحيث تظل المسافة بين الطبقات ثابتة ويظل الموجة عموديا على الطبقة ويضع هذا التشوه قيدا على مجال الموجة,



شكل (١٢) انواع التشوه الاساسي في البلورات السائلة

وعلى ذلك التباعد قيم معاملات الالتواء والانحناء بالقرب من من التحول الطوري الذي ينقل البلورة من النيماتي الى السميكتي*A* اي ان المعادلة ليست صالحة للتطبيق على البلورات السائلة السميكتي من النوع *C* حيث يسود التعامل مع الثوابت المرونة النوعية

ب- اللزوجة *Viscosity*

من المعروف ان معاملات اللزوجة لوسط ما هي النسب بين مشتقات الاجهاد اللزج ومشتقة السرعة بالنسبة للزمن.

وتتغير لزوجة السوائل الايزوتروبية بشكل عام بتغير درجة الحرارة طبقا للقانون المعروف .

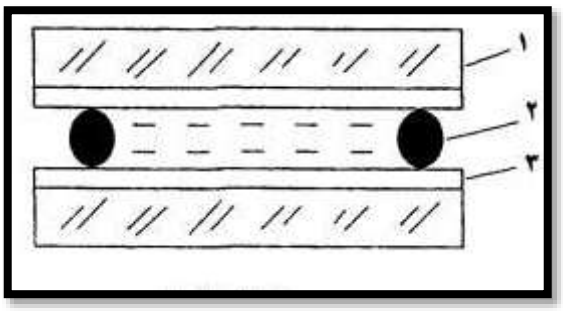
$$\eta_{iso} = \eta_0 \exp\left(E/KT\right)$$

حيث ان هي طاقة تنشيط انتشار الحركة الجزيئية وهناك علاقة مماثلة لكل صور اللزوجة النيماتية على كل مدى الطور الوسيط فيما عدا مناطق التحول الطوري

*10-1*الظواهر السطحية وكيفية اعداد خلايا البلورات السائلة :

يعتبر التفاعل البلورات السائلة مع الاطوار الملاصقة لها (كغاز او سائل او صلب) من الموضوعات المثيرة للاهتمام من حيث السلوك الكهرو بصري لها فالطور النيماتي– مثلا على درجة عالية من الاهمية في مجال تطبيقات النبيطات الكهرو بصرية ولهذا تجد دراسة خواص سطوح البلورات النيماتية:

ومن اشهر الخلايا التي على شكل شطيرة (١٣) تلك التي تستخدم في معظم التطبيقات العملية او عند فحص البلورات السائلة ودراسة خواصها . ويتم في هذا الخلايا تكوين طبقة رقيقة يتراوح سمكها من ١الى١٠ ميكرون بين لوحين زجاجين مزدوجين بأقطاب شفافة ويحتفظ بمسافة ثابتة بين الوحين بواسطة فواصل عازلة تباعد بينهما وتكون هذه الفواصل مصنوعه من الميكا او البولي اثيلين .اما اذا كانت الفجوة بين الوحين الزجاجية ضيقة (١ميكرون) فأننا نستعين ببعض الكرات الزجاجية الدقيقة اوقطع من الالياف الزجاجية ذات الاقطار المناسبة وعند فحص البلورات السائلة فأننا نسقط الضوء على الخلايا بأمتداد المجال الكهربائي او بزاوية محددة



شكل(١٣) خلية على شكل شطيرة

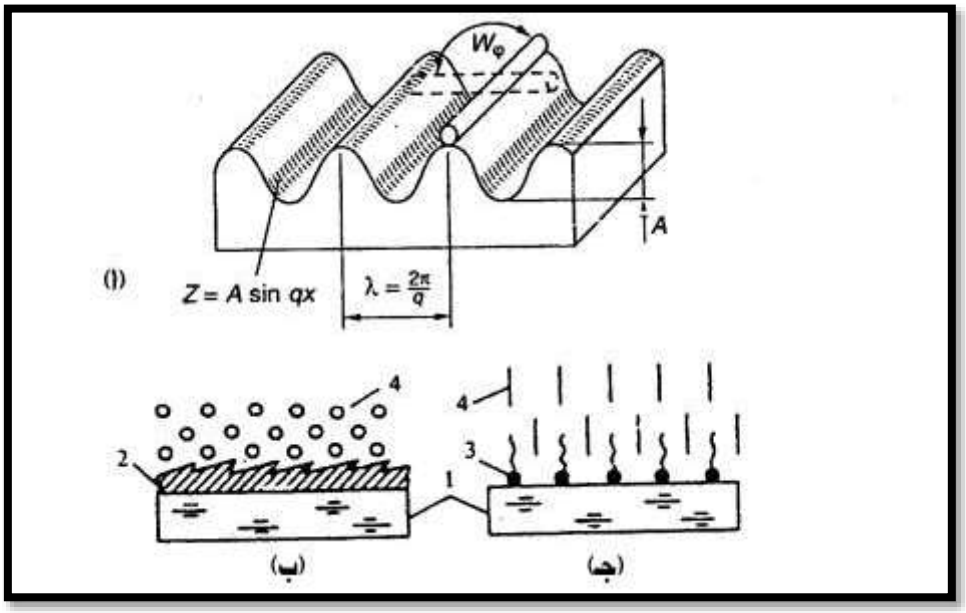
اما الطلاء الموصل الشفاف فهو غالبا من مادة اكسيد القصدير او اكسيد الانديوم حيث يمكن الحصول على طبقات من اكسيد القصدير ذات مقاومة كهربائية ضئيلة .ويمكن بهذه الطريقة الحصول على طبقات ذات سمك مختلف يعتمد على ما اذا كانت الشفافية ام المقاومة الكهربائية هي العامل الحاكم .ثم تثبت الاسلاك توصيل رفيعه بطبقات اكسيد القصدير بواسطة محلول من مادة بولي فنيل بيوتي رال اللاصقة والمذابة في الايثانول وقد يستخدم اكسيد الانديوم على هيئة طبقه رقيقة تكونت بأسلوب الرش الكاثوديللانديوم تحث ظروف التفريغ . وقد تكون هذه الطريق اكثر كفاء من السابقتها وان كانت خواص الطلاء – كالشده الميكانيكية والشفافية والمقاومة الكهربائية –لا تكاد تختلف عنها .

*11-1*توجيه البلورات السائلة :

١- التوجيه الاستوائي (المتجانس)

اذا دلك سطح الزجاج بقطعه من الورق او القماش دلكا ميكانيكيا فان ذلك السطح يكتسب تضاريس دقيقة في طبقة طلاء الاقطاب الكهربائية او في الزجاج نفسة بحيث يصبح السطح مليئا بالنتوءات والمنخفضات التي من شانها العمل على توجيه جزيئات البلورات السائلة توجيها على امتدادها ويؤدي هذا في النهاية الى انشاء توجية استوائي (شكل١٤) ويتم انجاز هذة العملية بنجاح عن طريق تبخير بعض الفلزات او الاكاسيد على السطح ان يكون اسقاط الابخرة مائلا ةتتضحهذة العملية في(الشكل١٤ب)حيث من الواضح الية الحصول على توجيه استوائي

لبلورات سائلة استوائية بواسطة التبخير المائل لغشاء رقيق من الفلز



شكل (١٤) تكوين توجيه استوائي (متجانس)

وهناك ايضا اسلوب اخر يتم فيه استخدام الشبكات الدورية المجهزة بطريقة الطباعة الضوئية بهدف الحصول على توجيه استوائي يشكل البلورات السائلة النيماتية .

وقدثبت ان لتقنية رص الجزيئات ضوئيا فوائد واضحة تفوق اسلوب الدلك (الاحتكاك) المعتاد . ومن تلك الفوائد مايلي :

١-تجنب تكون الشحنات الكهروستاتيكية والشوائب وحدوث أي تلف في الطبقات التحتية ميكانيكيا .

٢- امكانية انتاج بنية ذاتم وجه محدد للبلورات السائلة في اطارمساحة مختارة من الخلية .

تنقسم المواد المستخدمة في رص الجزيئات ضوئيا لقسمين حيث يعتمد القسم الاول على استخدام بوليمرات ضوئية خطية. اما القسم الثاني فيعتمدعلى صبغات ازوية *AzO*وجزيئات صبغات اخرى مندمجة في مادة بوليمرية رابطة اوفي اغشية نقيةحضرت بالتبخيرتحت تفريغ عالي.

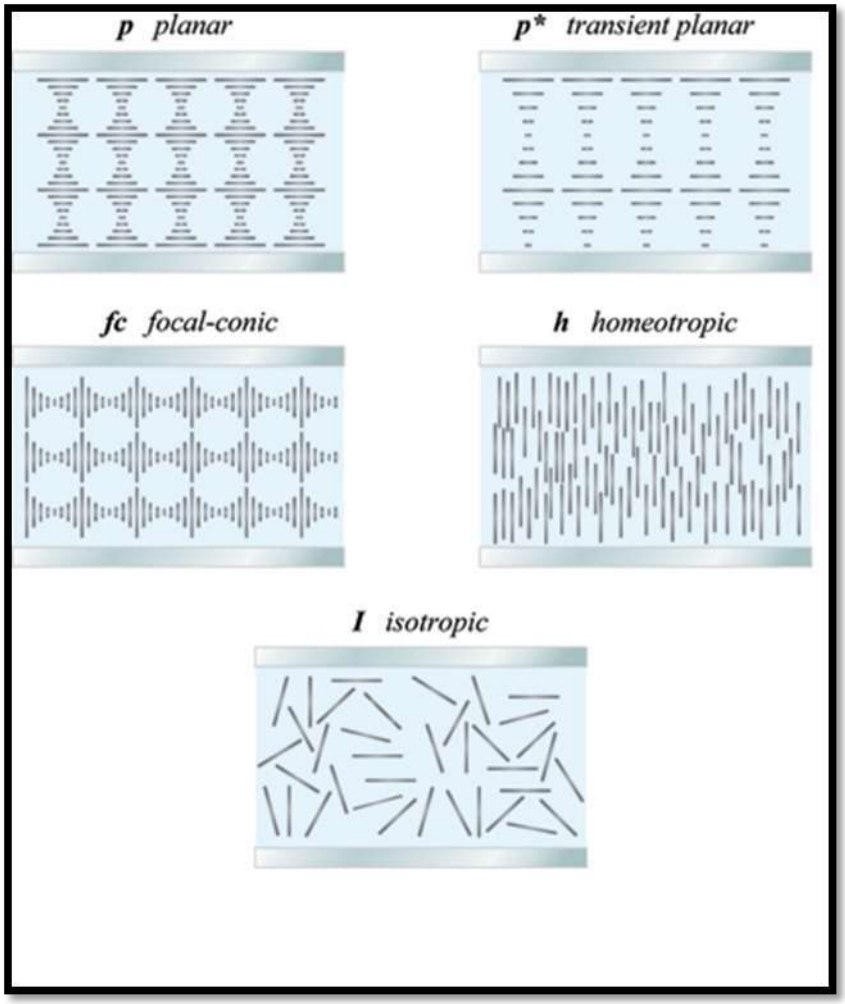
ب- التوجيه المتجانس الموحد *Homeotropic*

يوضحالشكل (١٥-١٤). كيفية الحصول على هذا النوع من التوجيه باستخدام طبقةاحادية الجزيء لمادة خافضة للتوتر السطحي. ويتم ذلك بسحب الطبقة التحتية من المحلول ثم بلمرة اغشية السليكون العضوي مباشرة فوق الطبقة التحتية باستخدام تفريغ البلازما , وتتيح هذه الطريقة امكانية اضافة الشوائب النشطة مباشرة الى البلورة السائلة (مثل الليسيثين اواحماض الكوكسيبنزويك). وقد استخدمت هذة الطريقة في توجيه مختلف انواع البلورات السائلة مثل النيماتية والكوليسترولوالسمكية .

وتستعمل الاشعة فوق البنفسجية ايضا لإتمام عملية التوجيه حيث يسلط الضوءغيرمستقطب عموديا على العينة المحتوية على طبقة حساسة للضوء . وتميل جزيئات البلورةالسائلة الى اتخاذ اتجاه متعامد مع متجه استقطاب الضوء ليصبح الاتجاه المفضل الوحيد المتاح هو اتجاه الضوء.

ج) انواع اخرى من التوجيه :

يوضحالشكل (١٥-١٥) انواعااخرى مختلفة من اساليب توجيه البلورات السائلة النيماتية , اما الشكل (١٥-١٦) فيتعلق بالبلورات الكوليسترولية والسمكتية . على ان خلق توجيه ملتو لبلورةسائلة نيماتية ذات زاوية دوران اكبرمن ٩٠ من الامورالمستحيلة , ولذلك صارمن الضروري اضافة مادة تيسرالحصول على زاوية الالتواء المطلوبة في البنية النيماتية , وقد وجد ان الزاويتين ١٨٠و٢٧٠ هما الاكثر ملائمة للتطبيقات العملية.



شكل (١٥) انواع مختلفة من اتجاهات البلورات السائلة النيماتية

وعندما يصبح موجة البلورة السائلة الكولسترولية موازيا لسطحي الخلية , وذلك من خلال معالجة محددة , فان الحلزون يكون عموديا على السطحين الزجاجيين . وعندئذ يمكننا الحصول على نسيج استوائي ذي نشاط بصرى . اما اذا كانت جزيئات البلورة الكولسترولية متعامدة على سطحي الشريحتين الزجاجيتين فان محور الحلزون سيجد نفسه مضطرا لان يكون موازيا للسطحين وهنا يحدث مايسمى بالنسيج الشبيه ببصمة الاصبع .

12-1مواد بلورية سائلة جديدة :

يجتهد الباحثون طوال الوقت لاستنباط وانتاج بلورات سائلة جديدة تسهم في تطوير الحاسبات الشخصية المحمولة واجهزة التليفزيون ذات الشاشات العريضة وخدمة مجال الهواتف المحمولة ويلخص الجدول (١٥-١) احدث ما وصلت إليه تقنية البلورات السائلة وتطبيقها .

13-1الانكسار المزدوج وتأثره بالمجال الكهربائي

عندما نطبق مجالا كهربائيا على طبقات البلورات السائلة فأن ثمة نوعا من تشوه التوزيع الجزيئي الاولى للموجه بأخذ في الظهور ويؤدي بدوره الى تغير في الخواص البصرية لخلية البلورات السائلة . ويقع تغير اتجاه الموجه *L* في وجود مجال كهربائي تحت تأثير الازدواج العزلي الذي يتناسب مع اللاايزوتروبية العزلية £ اما تأثير الازدواج المغناطيسي على اتجاه الموجة فيتحدد بمقدار كثافة طاقة التفاعل :

$$g_h = -\frac{\Delta \chi}{2\,(LH)^2}$$

14-1الخواص الكهروبصرية لأغشية البلورات السائلة المنتشرة داخل بوليمر

تجذب اغشية القطيرات النيماتية المنتشرة في وسط بوليمري رابط او بلورات السائلة المنتشرة في بوليمر *PDLC* الكثير من الاهتمام نظرا لتميز خواصها. وعند تحضير مثل هذا النوع من الاغشية تتولى بعض العمليات المهمة وهي فصل الاطوار ثم التغليف الدقيق ثم تكون المستحلب .

ا-ينطوي فصل الاطوارعلى مزج البلورة السائلة مع مادة بوليمرية شفافة ذات طبيعة سائلة ووزن جزيئي منخفض نسبيا , ثم تتم تسوية المزيج بواسطة ضوء فوق بنفسجي او برفع درجة الحرارة اوبأضافة عامل كيميائي يحفز عملية البلمرة . وبعد التفاعل تصيرالبلورة السائلة اقل

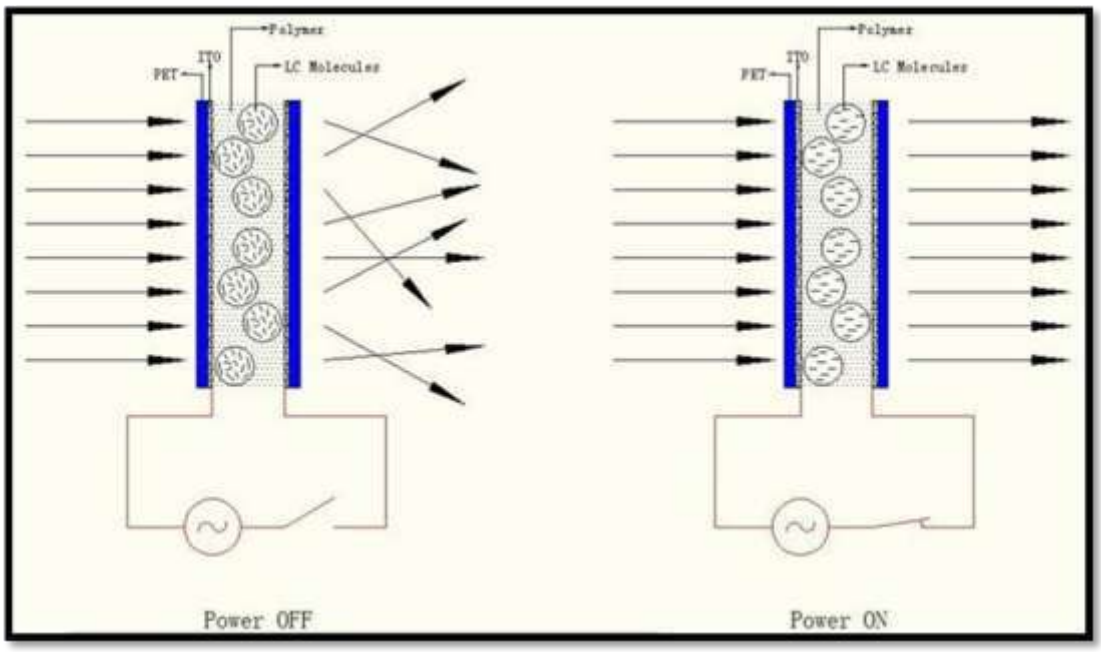
ذوبانية من البوليمر . وتبدا القطيرات الضئيلة في التكون وفي نهاية عملية التسوية هذه ينتج جسم مكون من مادةتحتوي على قطيرات نيماتية موزعة بداخلها

ويستخدم الكلوروفورم كمذيب للبلورات السائلة والبوليمرات ,حيث يمزج المحلول مع كرات زجاجية ذات قطر محدد يتيح الحصول على فجوة ذات سمك المحلول على طبقة تحتية حاملة من الزجاج المغطى بطبقة من مادة *ito* وترتفع درجة الحرارة حتى*140c*. وبعد ان يتبخر الكلوروفورم تماما يوضع غطاء زجاجي اخر مغطى بطبقة من *ITO* فوق المجموعه الاولى ويمارس علية ضغوط خفيفه ثم يترك الجميع ليبرد

اما الخصائص التركيبية للغشاء فيتم التحكم باختيار البلورات السائلة والبوليمر المستخدم وباختيار تركيز مناسب للمحلول والمذيب المستخدم وضبط معدل تبخير المذيب ودرجة الحرارة الاعداد وغيرها.

*15-1*استخدام البلورات السائلة في اجهزة العرض :

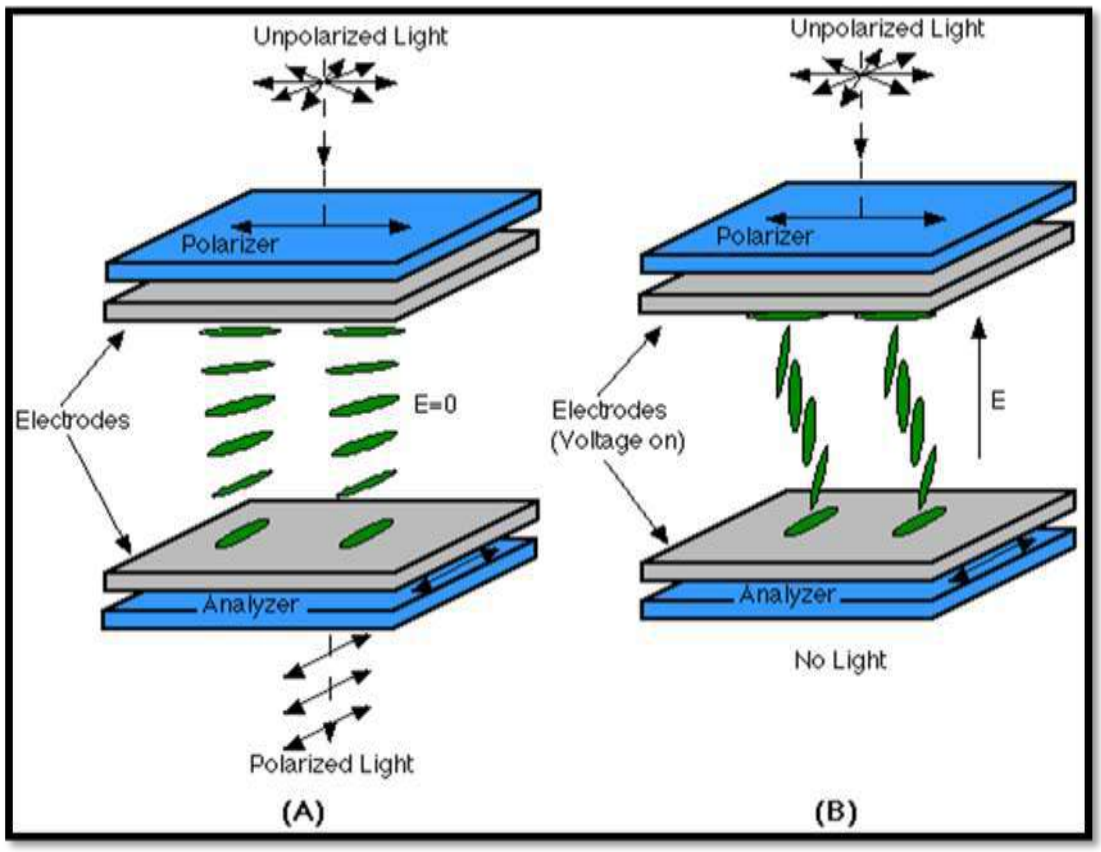
لقد بدأ الاهتمام باستخدام البلورات السائلة كمكون مهم في اجهزة العرض منذ نهاية ستينات القرن العشرين ثم ازداد الاهتمام بها عندما اكتشف اثر (التششت) الديناميكي في البلورات السائلة ذات الايزوتروبيةالعزلية السالبة (١٨) حيث يتشتت الضوء بشدة عندما تزيد شدة المجال عن قيمة مشرفيه معينة وتزامن مع هذا الاكتشاف ظاهرتين بصريتين في البلورات السائلة فيما له صله بتطبيقاتها في اجهزة العرض وقد اطلق على اولاهما ظاهرة (ضيف-مضيف) وهي التي تتجلى في مخاليط البلورات السائلة ذات الصبغات ثنائية اللون . اما الظاهرة الثانية فهي تحول بين الطورين النيماتيوالسميكتي في وجود مجال كهربائي



شكل (١٧)

وتتخلص ظاهرة (ضيف –مضيف) في ان البلورات السائلة حيث تتعرض – وهي تقوم بدور (المضيف)- لتأثير مجال الكهربائي فأن جزيئات الصبغة المنتشرة فيهاوهي تقوم بدور (الضيف) ستقوم بتسهيل حدوث الظاهرة حيث تتجه جزيئات الصبغه مع جزيئات البلورات السائلة في اتجاة موحد

وقد شاع استعمال البلورات السائلة بشكل واضح كشاشات عرض عد اكتشاف ظاهرة الالتواء التي تجلت في معظم البلورات السائلة ويلخص الشكل(١٨)هذة الظاهرة



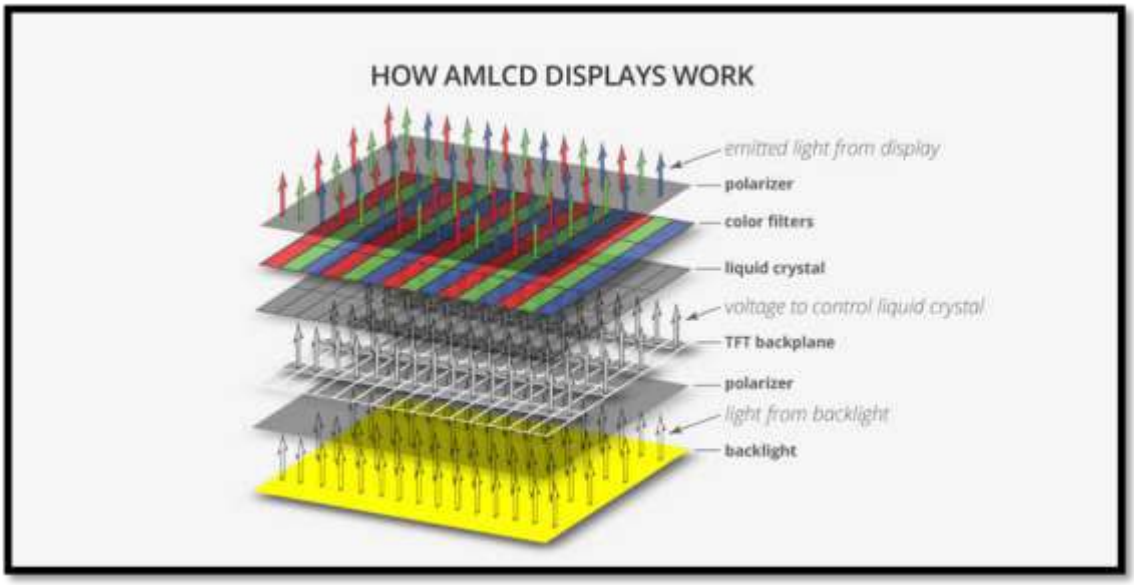
شكل (١٨)

ومن التطبيقات الشائعه لهذه الوسائل ما هو متبع في ساعات المعصم والالات الحاسبه والالعاب الاكترونيه وشاشات التليفون المحمول والات لتصوير الفوتغرافي والفيديو والكثير من الاجهزه العلميه والطبيه واجهزة القياسات الخاصه بالسيارات ووسائل الانتقال المتنوعه

16-1 شاشات العرض البلورات السائله ذات المصفوفات الفعاله

يتلخص مبدأ المصفوفات شكـــل الفعاله (النشطه) في التحكم المنفرد لكل عنصر من عناصر الصورهالمعروضه على شاشة البلورات السائله . وهذا العنصر *PIXLE*(مشتق من كلمتي صوره *PICTURE*وعنصر *ELEMENT*) ويتم التحكم بواسطة عنصر غير خطي متصل به كما في الشكل ٢٠ حيث ترى نبيطه ذات طرفين او ثلاثه . اما ذات الطرفين فهي اما ثنائيات *DIODES*صنعت من اغشيه رقيقه *THIN FILM* ويرمز لها عادة اختصارا بالحروف *TFD* واما هي نبيطه *MIM* او فلز عازل – فلز وسنبدأ في التعرف على الاخيرة .

تتكون العناصر *MIM* من طبقات متعاقبه من فلز ثم ماده عازله ثم فلز وهي بهذا تشبه المكثف الكهربائي كما في شكل ٢١ اما المادهالعازله في تحتوي مراكز لاقتناص الالكترونات . حتى اذا مازاد الجهد المطبق على العنصر *MIM* عن قيمه مشرفيه معينه *Vth* فأن المجال الكهربائي قادرا على تحرير تلك الالكترونات فيمر تيار مقداره *IMIM* متناميا بشكل اسي مع فرق االجهد . ويتميز هذا التأثير بانه متماثل لأن كلا من التيار الموجب والسالب يعتمدان على الجهد المطبق بنفس الاسلوب شكل(٢١)



شكل(١٩)

ويمثل هذا التماثل اهميه خاصه حيث يصبح من الممكن تغيير اشارة الجهد المطبق على عناصر البلوره السائله والاحتفاظ بجهد صفري في المتوسط وذلك تجنبا للتحلل الكهروكيميائي الذي قد يحدث للبلورات السائله . اما اذا لم يصل الجهد الى القيمه*Vth* فأن حاجز الجهد عند السطح البيني سيمنع ظهور اي تيار كهربائي وعند القيم الكبيره للمجال تقوم الالكترونات بالحركهالنفقيه خلال حاجز الجهد مما يرفع من قيمة التيار (ظاهرة بول –فرينكل)

تتولى نبيطات *MIM*عمليةشحن المكثف *CLC*بالتوافق مع اقطاب الجهد المستخدم كما فيالشكل ٢١ ويتم التحكم في عملية الشحن بواسطة جهد الصفوف *Vr* وجهد الاعمده*Vc* حتى ينشأ الجهد *Vlc*عبر البلورهالسائله :

Vlc=Vr-Vc-Vmim-

المصادر :

- البصريات الفيـزيائية، أ.د. أحمد فؤاد باشا، أ.د. شريف أحـمد خيرى، دار الفكر العربى، ١٩٩٨م.
- فيـزياء الجوامد، أ.د. محـمد أمين سليمـان، أ.د. أحمد فؤاد باشـا، أ.د. شريف أحمد خيرى، دار الفكر العربى، ٢٠٠٠م.

- Fundamentals of Optics: Jenkins F.A. and White, H.E. Mc Graw Hill (1957).
- International Tables for x-ray Crystallography: J.S. Kasper and K. Lonsdale I.U.C. (1992).
- Introduction to Oxford Univ. Press (1992): Solid State Physics. 7th Edition. C. Kitte. John-Wiley and Sons (1997).
- Introduction to Physics: A.I. Kitaigorodsky, (1968). Mir Publishers.
- Liquid Crystal Devices, Physics and Applications. Chigirnou, V.G. Artech House, Boston, London (1999).
- Liquid Crystals: Chandrasekhar S. Cambridge University Press Combridge (1977).
- Local Atomic Arrangements Studied by x-ray diffraction: J.B. Cohen and J.E. Hilliard, (eds.), Gordon Breach, New York (1966).
- Mechanical Behaviour of Materials: M.A. Meyers, K.K. Chawla, Prentice Hall N.J. (1998).
- Organie Chemical Crystallography: A.I. Kitaigonodsky (1957). Consultants Burean, New York.

- Structure and bonding in Crystalline Materials: G.S. Rohrer (2001). Cambridge University Press, UK.
- Text Book of Polymer Science: F.W. Billmeyer, Wiley. Interscience. N.Y. (1971).
- The Atom - Atom Potential Method: A.J. Pertsin & A.I. Kitaigorodsky (1986). Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- The Determination of Crystal Structures: H. Lipson and W.Cochran (1966).
- The Interpretation of x-ray Diffraction Photographs: N.F.M.Henry, H. Lipson and W. A.Wooster (1951). London: Macmillan and Co., Ltd.
- The Physics of Liquid Crystals: De Gennes, P.G. Oxford, Clarendon Press (1974).
- The Powder method: L.V. Azaroff and M.Z. Buerger (1958). Mcgraw - Hill Book Co., Inc., New York.
- The Rietveld Method: R.A. Young (1993). I.U.C. Oxford University Press.
- X-ray Crystallography: M.J. Buerger (1962). John Wiley & Sons, INC. London.