الباب الرابع عشر

نظرية العوازل : Theory of Dielectries

سبق أن بينا أن التوصيل الكهربائى فى الفلزات وأشباه الموصلات ينشأ عن الحركه شبه الحره لحاملات الشحنة . وهناك مواد اخرى تكون فيها الالكترونات وحتى الكترونات التكافؤ مقيده بنويات ذراتها مما يجعل التوصيل الالكترونى لها منعدما .

وتصف نظرية المناطق مثل هذه المواد بأن لها طاقة ثغره Energy gap كبيرة بين منطقتى التكافؤ والتوصيل قد تصل الى بضعة الكترون فولت . وتسمى هذه المواد بالعوازل .

فذرات المواد العازلة تتكون من نويات موجبه التكهرب يحيط بهما عن بعضهما مركزى الشحنة الموجبة والسالبة فى كل جزء منها مما يتسبب الكترونات شديدة الترابط بها . وعندما يؤثر على هذه المادة مجال كهربائى يزاح عنه حدوث استقطاب كهربائى ينشأ عنه ثنائيات قطب محليه فى أجزاء المادة المختلفة local dipoles . وفى بعض المواد العازلة تشكل مجاميع الايونات او الجزيئات ثنائيات قطب دائمة تظهر حتى فى حالة انعدام المجال الكهربائى الخارجى . وبديهى انه عند التأثير بمجال خارجى تترتب هذه الثنائيات قطب فى اتجاهات توازى اتجاه المجال . وتتأثر عملية الاستقطاب هذه بعامل التهييج الحرارى وهى لذلك تعتمد على درجة الحرارة .

تعريفات وعلاقات فى الكهرواستاتيكا

١ ــ تعرف شدة المجال الكهراستاتيكى ، E ، بالقوة التى تؤثر على وحدة الشحنه الموجبه الموضوعه عند هذه النقطه

$$F = q \cdot E$$

٢ — القوة بين شحنتين نقطيتين q_2 ، q_1 تفصلهما مسافة r هى

$$F = \frac{q_1 \ q_2}{4 \ \ r^2}$$

حيث ε_0 هى نفاذية الفراغ وقيمتها ٨٫٨٥ × ١٠ $^{-١٢}$ فاراد/متر .

٣ — شدة المجال فى الفراغ على مسافة r من شحنه q هى

$$E = \frac{q}{4 \pi \ \varepsilon_0 \ r^2}$$

٤ — عند التأثير بمجال كهربائى على مادة عازلة ينتج عن ذلك استقطابا يعرف بعزم ثنائى القطب الكهربائى لوحدة الحجوم وتكون ازاحة العزل الكهربائى D dielectrie displacement

هى :

$$D = \varepsilon \ E$$

حيث ε هى نفاذية الماده .

٥ — مقدار الشحنه Q على لوحى المكثف ذو اللوحين المتوازيين هى

$$Q = CV$$

حيث C هى سعة المكثف ، V هى فرق الجهد بين لوحيه .

وتكون سعة المكثف C هى :

$$C = \frac{A}{\varepsilon\, d}$$

حيث A هى مساحة لوح المكثف ،

d هى المسافة بين اللوحين ،

ε هى نفاذيه الوسـط بين اللوحين .

ويلاحظ أن ادخال وسط عازل بين لوحى المكثف يسبب زيادة فى سعته . وتقاس هذه الزيادة بثابت العازل للمادة K ويساوى النسبة بين نفاذية المادة الى نفاذية الفراغ اى أن ثابت العازل هو :

$$K = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

قياس ثابت العـازل :

يقاس ثابت العازل لمادة بمقارنة سعة مكثف ما C d عندما تكون المادة بين لوحيه الى سعة نفس المكثف C_o وبين لوحيه فراغ .

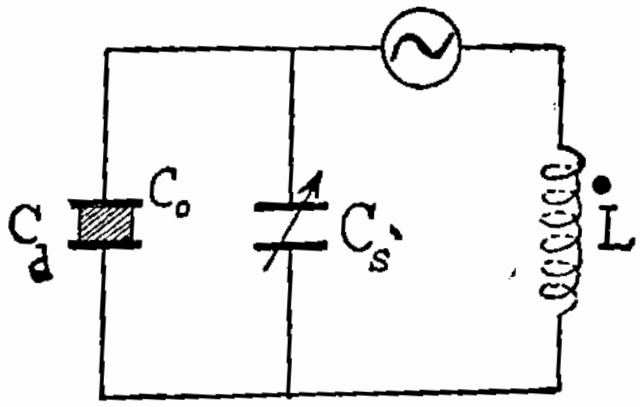
اى أن

$$K = Cd / Co$$

ويمكن قياس السعه بدائرة رنين كهربائيه تحتوى ملف حث L ومكثف متغير السعه Cs ومصدر كهربائى متردد كما مبين بشكل (١٤ — ١) C_o , Cd هما سعتى المكثف وبه العازل مرة والهواء مرة أخرى ،

Cs مكثف عيـارى .

عند الحصول على رنين فى الدائرة والمكثف C_o خال من المادة العازلة



شكل (١٤ ـ ١)

تؤخذ قراءة المكثف Cs ثم يوضع العازل فى المكثف فتصبح سعته Cd ويعاد ضبط حالة الرنين وتؤخذ مرة ثانية قراءة المكثفCs ومن القراءتين تحسب السعة Co , Cd ومنهما نوجد ثابت العزل K

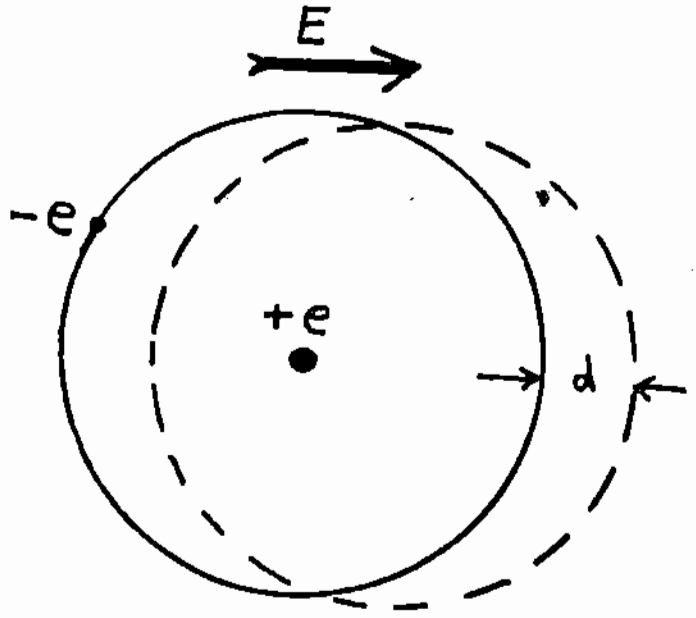
الاستقطابية الاستاتيكة للجزيئات الحرة :

عند التأثير بمجال كهربائى على ذرات او جزيئات حره تنشأ فيها حالة من الاستقطاب الكهربائى تعود الى احد العوامل التاليه :

(١) استقطابية الكترونية : Electronic poraliability

يحدث بتاثير المجال الكهربائى ازاحة نسبيه r بين مركز الشحنات الموجبه والسالبه على الذره وينتكون عن ذلك ثنائى قطب كهربائى (انظر شكل ١٤ ــ ٢) عزمه يساوى حاصل ضرب الشحنه فى المسافه ويكون متجها من الشحنه السالبة الى الشحنه الموجبه . ففى حالة ذرة الايدروجين يكون عزم ثنائى القطب فيها هو $p = e \cdot d$ حيث e هى شحنه الالكترون .

أما اذا اعتبرنا نظاما او جزيئا متعادلا يحتوى عدد من الشحنات qi التى تبعد مسافة ri عن مركز مشترك فان عزم ثنائى القطب حينئذ يكون



استقطاب ذره الايدروجين فى مجال كهربائى

شكل (١٤ — ٢)

$$p = \sum_i q_i r_i$$

وبديهى أن هذا العزم يتلاشى فى حالة عدم وجود المجال الكهربائى حيث يكـــون $\sum_i q_i = 0$ للنظام المتعادل .

(٢) اســـــتقطابيه أيونيه : ionic polarizability

عندما يتركب الجزىء من أيونات فان مواضعها تتأثر بالمجال الكهربائى ويحدث لها ازاحات نسبيه . وينشأ نتيجة لذلك تغير فى أبعاد الروابط بين ذرات الجزىء وكذلك فى اتجاهاتها فى الفراغ مما يتسبب عنه ازاحة مركز

الشحنات السالبه عن مركز الشحنات الموجبه فى الجزىء فيحدث الاستقطاب الايونى .

(٣) الاســـــتقطابيه المتجهه : orientation polarizability

تتميز بعض المواد بوجود ثنائيات قطب دائمه فيها حتى فى حالة انعدام المجال الكهربائى . وعند التأثير بالمجال تدور محاور ثنائيات القطب هذه لتترتب فى اتجاه المجال الكهربائى .

وينشأ عن ذلك استقطابيه تسمى بالاستقطابيه المتجهه .

القابليه الكهربائيه والاســـــتقطابيه :
Electric susceptibility and polarizability.

تعرف كثافة الاستقطاب P فى ماده بانها العزم الكلى لثنائى القطب فى وحدة الحجوم الناشىء عن مجال كهربائى E وتعطى مقياسا للشحنات داخل العازل فى المجال ، حيث

$$P = (Cd - C_0) V = \quad E - \quad \varepsilon_0 E$$

$$K = \quad / \varepsilon_0$$

$$\therefore P = (K - 1) \quad \xi_0 E$$

$$\therefore K = 1 + P/ \quad \xi_0 E$$

اى ان

$$(K - 1) = P/ \quad \xi_0 E$$

$$= X$$

حيث X هي القابلية الكهربائية للمادة . واذا اعتبرنا وحدة الحجوم منها حيث يوجد عدد N ذرات فان كثافه الاستقطاب تكون

$$P = N.p = \varepsilon_0 . X . E$$

حيث p هو عزم ثنائى القطب الأولى .

$$\therefore p = \varepsilon_0 \frac{X}{N} E$$

$$= a . E$$

حيث $a = \frac{\varepsilon_0 . X}{N}$ تسمى بالاستقطابية polarizability، وهى كما ذكرنا على ثلاثة انواع نبينها تفصيليا فيما يلى

(١) الاستقطابيه الالكترونيه : a_e

نفرض ذرة متعادلة على نواتها شحنه موجبه Ze + يحيط بها سحابه الكترونيه كريه ومنتظمه شحنتها Ze − نصف قطرها R عند التاثير بمجال كهربائى تحدث ازاحة للسحابة الالكترونيه بالنسبة للنواه بمقدار d وتستمر كذلك تحت تاثير قوى متوازنه .

القوة المؤثرة على السحابه الالكترونيه هى

$$F_E = Z e . E$$

وتتزن هذه القوه مع قوة تجاذب الشحنات السالبة والموجبه وهى

$$Fc = \frac{(Ze)^2}{4\ \pi\varepsilon_0 R^2} \left(\frac{d}{R} \right)$$

ويمكن للطالب اثبات ذلك بسهوله ٠

وبمساواة F_E مع Fc نحصل على

$$d = 4\ \pi\varepsilon_0\ E\ R^3 / Z\ e$$

ولكن عزم ثنائى القطب الأولى هو

$$p = Z\ e\ d$$

$$\therefore \quad p = 4\ \pi\varepsilon_0\ E\ R^3$$

وتصبح الاستقطابيه الالكترونيه a_e مساوية الى

$$a_e = \frac{p}{E} = 4\pi\varepsilon_0\ R^3$$

ويلاحظ ان قيمه a_e تعتمد فقط على الحجم الذرى ٠

تغير a_e بتردد المجـــال :

اذا اثرنا بمجال كهربائى متردد $E \sin \omega t$ على ماده عازله يتغير اتجاه متجه الاستقطاب تغيرا توافقيا بسيطا وتكون معادلة الحركه فى المجـــال هى

$$\ddot{x} + \omega_0 x = -(e E/m) \sin \omega t$$

حيث ω_0 هو التردد الطبيعى لذبذبة ثنائى القطب ، ω هو تردد المجال المؤثر .

وبديهى أنه عندما نؤثر على الماده بمجال استاتيكى غير متردد فان $\omega = 0$

واذا اهملنا القوى المقاومة لحركة ثنائى القطب وباعتبار أن الازاحة x تخضع لمعادلة تغير توافقى بسيط

$$X = x_0 \sin \omega t$$

حيث x_0 سعة الحركة ، فاننا نجد عن طريق حل المعادلة التفاضليه

$$- e x_0 = e^2 E / m (\omega_0^2 - \omega^2)$$

وتكون بذلك الاستقطابيه الإلكترونيه

$$a_e = e^2 / m (\omega_0^2 - \omega^2)$$

ونظرا لأن قيمة الاستقطابية الالكترونيه تساوى 10^{-40} تقريبا لذلك فان قيمة ω تكون فى حدود 10^{15} ذبذبه فى الثانيه وهى اكبر كثيرا من قيم التردد لموجات الطيف المنظور . ويمكن لذلك اعتبار أن الاستقطابيه الالكترونيه مهملة القيمه لمعظم المواد العازلة فى المنطقه المنظوره للمجالات الكهرومغناطيسيه

(٢) الاستقطابيه الايونيه : a_i

تحتوى جزيئات المواد الايونيه على شحنات موجبه وأخرى سالبه تتوزع بشكل خاص فى الفواغ يتوقف على التركيب الجزيئى للماده . ويتوقف على

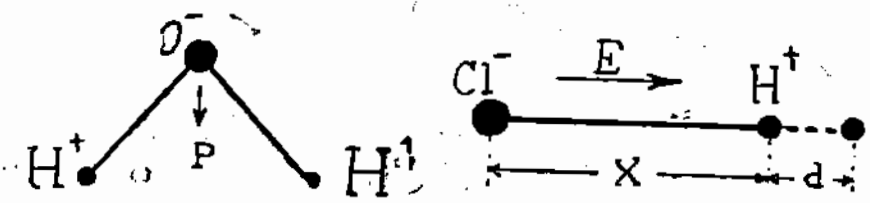
هندسة التوزيع لهذه الشحنات فى الجزىء عزم ثنائى القطب . فمثلا جزىء ثانى اكسيد الكربون $C O_2$ جزىء متماثل

$$\overline{O} = \overset{++}{C} = \overline{O}$$

ونتيجة لهذا التماثل يتلاشى عزم ثنائى القطب فيه .

اما جزىء الماء $H_2 O$ فان له عزم ثنائى قطب يساوى تقريبا ١٫٩ × ١٠ $^{-١٨}$ وحده سم جم/ث وذلك نسبة لتركيبه الهندسى وعدم تطابق مركزى الشحنات الموجبه والسالبه فيه .

وعند التاثير على مثل هذا الجزىء بمجال كهربائى يسبب ازاحة المركزين نسبيا عن بعضهما بمسافة d واذا كانت الشحنه هى q فان عزم ثنائى القطب يكون $p = q \cdot d$ وتستخدم الطرق الطيفيه عادة لتعيين تمدد الرابطه بين الايونات فى وجود المجال وذلك عند تعين p



جزىء الماء

شكل (١٤ ـ ٣)

وعند تطبيق ذلك على بلورات ايونيه مثل كلوريد الصوديوم نوجد الازاحه d بين مركزى الشحنات الموجبه والسالبه فى الشبيكه بتاثير مجال كهربائى وذلك باعتبار شبيكه طوليه ثنائية التركيب تتكون من تعاقب أيونات موجبه وسالبه . وبتشعيع هذه الشبيكه بأمواج كهرمغناطيسيه $E = E \cdot e^{-i\omega t}$ يمكن ايجاد سعة الازاحة لكل أيون فيها (انظر باب ديناميكا الشبيكه) على الشكل الآتى : —

$$\eta = \frac{e\,E/M}{\omega_0^2 - \omega^2} \qquad \zeta = \frac{-\,e\,E/m}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

حيث M , m هما كتلتى الايونين المكونين للشبيكه ، ω هو التردد المستعرض للشبيكه (الفونونات الضوئية)

ولكى نحسب الاستقطابيه الايونيه ; a_i نوجد اولا الازاحه النسبيه للايونين .

$$d = (\eta - \zeta)$$

ومن ثم تكون

$$a_i = e\,d\,/\,E$$

فاذا اعتبرنا مجالا كهربائيا استاتيكيا يمكننا التعويض فى المعادلات السابقة بقيمة صفريه لتردد المجال ω وبذلك يكون

$$d = (\eta - \zeta) = e\,E\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}\right) / \omega_0^2$$

ويصبح عزم ثنائى القطب :

$$p = e\,.\,d = e^2 E\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}\right) / \omega_0^2$$

أى ان الاستقطابيه الايونيه هى

$$a_i = \frac{p}{E} = e^2\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}\right) / \omega_0^2$$

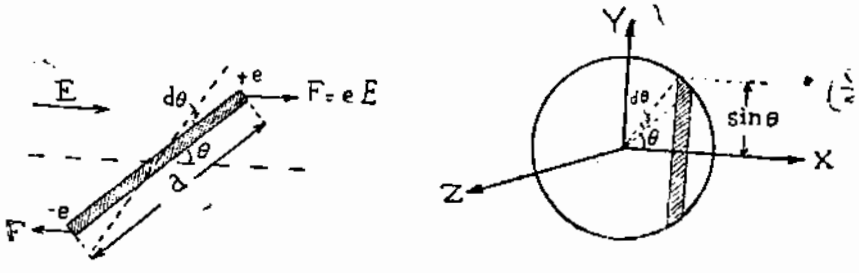
$$= e^2 / m^* \omega_0^2$$

حيث m^{*} $= \frac{m\ M}{m + M}$ هى الكتله الفعاله (reduced mass)
لزوج الايونات المكون لثنائى القطب

(٣) الاســـــتقطابيه المتجهه : a_o

اعتبر الان ماده عازله تتكون من جزيئات قطبيه لها عزم ثنائى قطب دائم p تكون القوة F التى تؤثر على كل قطب نتيجة لمجال كهربائى E هى $F = e E$ وتعمل فى اتجاه المجال بالنسبه للشحنه الموجبه وفى عكس اتجاه المجال بالنسبه للشحنه السالبه . ينتج عن ذلك ازدواجا عزمه C يعمل على دوران ثنائى القطب فى اتجاه المجال اى لانقاص الزاويه Θ التى يعملها ثنائى القطب مع اتجاه المجال المؤثر .

$$\therefore\ C = e E d \sin \Theta$$
$$= p E \sin \Theta$$



شكل (١٤ ـ ٤)

نفرض ان ثنائى القطب قد دار بزاويه صغيره $d\Theta$ الزياده فى طاقة الموضع يساوى $C\ d\ \Theta$ بواسطة التكامل نحصل على طاقة الموضع الكليه U لثنائى القطب فى المجال E

$$U = \int C \, d\,\Theta$$

$$= \int p\, E \sin\Theta \, d\,\Theta$$

$$= - p \quad E \cos\Theta$$

عند انعدام المجال الكهربائى يكون توزيع اتجاهات ثنائيات الاقطاب فى الفراغ توزيعا عشوائيا عند اى درجة حراره T ولكن عند وجود المجال يكون احتمال وجود ثنائى القطب فى اتجاه يعمل زاوية تقع بين Θ ، $\Theta + d\,\Theta$ مع اتجاه المجال هو

$$2\pi \sin\Theta \, d\,\Theta \exp(-U/kT)$$

وذلك كما يمليه احصاء ماكسويل وبولتزمان .

وتكون الزياده فى الاستقطاب الناشئه عن اى ثنائى قطب هى مركبه عزمه فى اتجاه المجال اى $p\cos\Theta$ وتكون الزيادة المتوسطة لعزم ثنائى القطب هى p ونحصل عليها بالتكامل من زاويه $\Theta = 0$ الى $\Theta = \pi$

$$p = \frac{\int_0^{\pi} p\cos\Theta \cdot 2\pi\sin\Theta \, d\,\Theta \cdot \exp(-U/kT)}{\int_0^{\pi} 2\pi \sin\Theta \, d\,\Theta \exp(-U/kT)}$$

ولحل التكامل نستخدم التعويضات التاليه

$$B = \cos\Theta \; ; \; y = pE/kT$$

وبذلك نحصـــــل على

$$\overline{p} = \frac{p \left[\int_{-1}^{+1} e^{By} \cdot B \, dB \right]}{\int_{-1}^{+1} e^{By} \, dB}$$

$$= p \frac{d}{dy} \left[\log \int_{-1}^{+1} e^{By} \, dB \right]$$

$$= p \left[\frac{d}{dy} \log \left(e^{y} - e^{-y} \right) - \frac{d}{dy} \log y \right]$$

$$= p \left(\coth y - \frac{1}{y} \right)$$

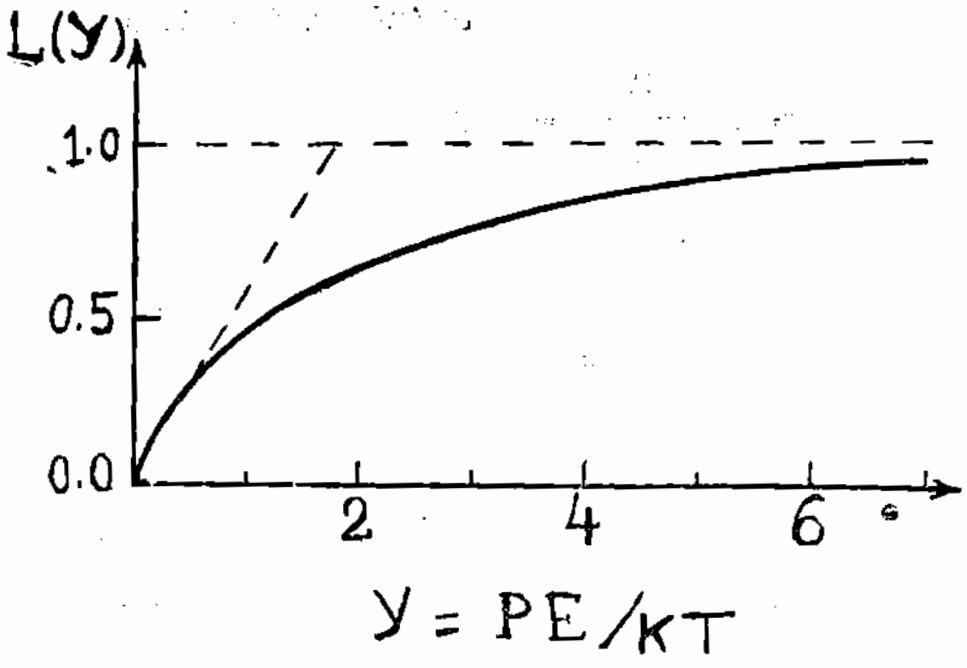
$$= p \; L \; (y)$$

واذا كان هناك عدد N ثنائيات قطب فى وحدة الحجوم من الماده فان الزيادة الكليه للعزم فى وحدة الحجوم هى

$$P_0 = N \overline{p} = N \; p \; L \; (y)$$

وتعرف L (y) بدالة لانجفين وتقترب قيمتها من الصفر عندما تؤول قيمه y الى الصفر بينما تاخذ قيمتها الوحدة للقيم الكبيرة من y كما فى شكل (١٤ ــ ٥)

ويلاحظ ان ميل المماس للمنحنى بين L (y) مع y بالقرب y = O



شكل (١٤ — ٥)

ويمكن اثبات ذلك رياضيا كما يلى بفك الداله L (y)

$$\text{cothy} = \frac{1}{y} + \frac{y}{3} - \frac{y^3}{45} + \cdots$$

$$\therefore \quad L(y) = \left(\text{cothy} - \frac{1}{y}\right) = \frac{y}{3}$$

وذلك باهمال الحدود التاليه

وعلى ذلك فعند درجات الحرارة المرتفعة والمجالات الصغيرة يمكن تقريب الاستقطاب المتجه فى وحدة الحجوم الى :

$$P_0 = N\ p^2\ E\ /\ 3\ kT$$

وتكون الاستقطابيه المتجهه هى

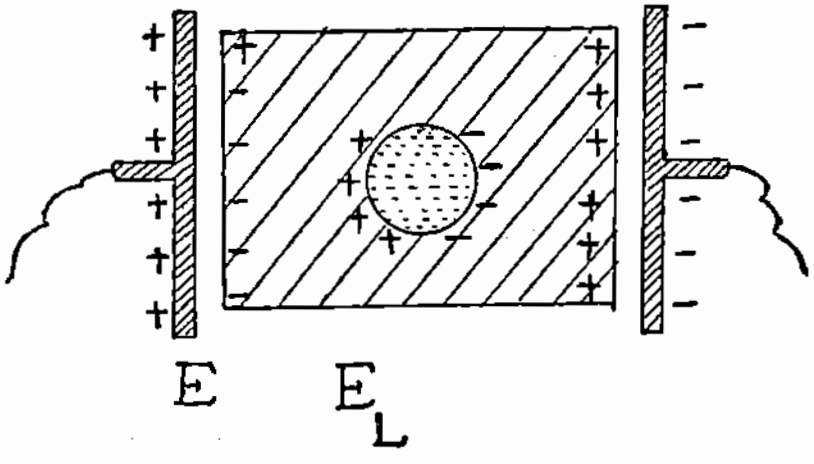
$$a_o = \frac{P_o}{NE} = p^2 / 3\,kT$$

ويلاحظ انه فى حالة وجود اكثر من نوع واحد للاستقطاب تجمع كل اصنافه وتكون الاستقطابيه الكليه هى

$$a = (a_e + a_i + p^2 / 3\,kT)$$

المجال المحلى فى العوازل الجـــامده :

فى العوازل الجامده لا تتأثر ذراتها وجزيئاتها بالمجال الكهربائى الخارجى فحسب وانما ايضا تتأثر بثنائيات القطب المحيطه والتى نتجت بفعل المجال المؤثر . وعلى ذلك يمكن تقسيم المجال المؤثر على ذره او جزىء ما فى العازل الى الأجزاء التاليه : ــ



شكل (١٤ ــ ٦)

١ ــ المجال الخارجى الناشىء عن الشحنات كالموضوعه على لوحى المكثف المحتوى على المــادة العازله .

٢ ــ مجال معاكس للاستقطاب polorizing field وتنشأ عن الشحنات التأثيريه المعاكسه والتى تكون على سطحى العازل المقابلين للوحى المكثف (انظر شــكل ١٤ ــ ٦)

ويكون مجموع المجالين الســابقين هو المجــالا الماكروســكوبى المؤثر على العــازل ، E

٣ ــ مجال لورنتز E_L وينشــأ عن استقطاب الشحنات داخل ســطح افتراضى داخل العازل يحيط بالذره أو الجزىء المعنى على أن يكون نصف قطر هذا السطح كبيرا بالنسبه لابعاد الذرة وصغيرا بالنسبة لابعاد العــازل نفســـه .

٤ ــ المجال الناشىء عن ثنائيات الاقطاب الموجودة داخل السطح الافتراضى نفسه ويؤخذ فى الاعتبار تأثير ثنائيات القطب المجاوره وما بعد المجاوره للذره .

ويمكن اهمال ذلك الجزء من المجال اذا كان التركيب البلورى للماده تكعيبيا متماثلا .

وعلى ذلك فان المجال المحلى المؤثر على اى ذره فى العازل يساوى

$$E_{Local} = E + E_L$$

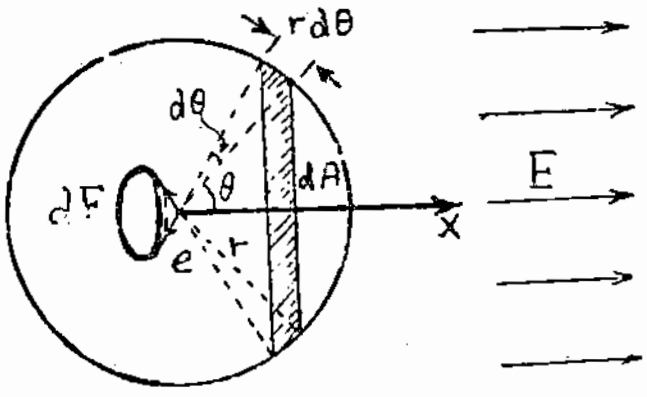
حســاب مجال لورنتز E_L

لايجاد مجال لورنتز نعتبر السطح الافتراضى المبين بشكل (١٤ ــ ٧)

وتأخذ عنصرا مساحته dA على شكل حلقه ، من هندسة الشكل :

$$dA = 2\pi r^2 \sin\theta \, d\theta$$

الشحنه الكهربائيه على هذه المساحه dA تساوى



شكل (١٤ — ٧)

$$Q = P \cos\theta \, 2\pi r^2 \sin\theta \, d\theta$$

وبتطبيق قانون كولوم تكون القوة dF المؤثرة من هذه الشحنه Q على شحنه e موجوده عند مركز السطح هى

$$dF = eQ / 4\pi\xi r^2$$

حيث r نصف قطر السطح الافتراضى .

مركبه هذه القوة فى الاتجاه السينى وهو فى نفس الوقت اتجاه المجال المؤثر هى

$$dF_x = eQ \cos\theta / 4\pi\xi r^2$$

$$= \frac{eP \cos\theta \cdot 2\pi r^2 \sin\theta \, d\theta \cdot \cos\theta}{4^2\pi \xi_0 r^2}$$

وباجراء التكامل نحصل على مركبه القوة الكليه فى اتجاه المجال

$$Fx = \int_{o}^{\pi} dFx$$

$$= e\ P / 3\ \varepsilon_o$$

ويكون مجال لورنتز هو

$$E_L = \frac{Fx}{e} = \frac{P}{3\ \varepsilon_o}$$

ويكون المجال المحلى عند نقطة فى شبيكه تكعيبيه هو

$$E_{Loc.} = E + \frac{P}{3\ \varepsilon_o}$$

علاقة كلوزيوس — موزوتى :

تحدد هذه العلاقة الاستقطابيه الكهربائيه لذرات ماده عازله اذا عرف لها ثابت العازل k

عزم ثنائى القطب لذره مفرده هو

$$p = a \cdot E_{Loc.}$$

ويكون الاستقطاب معرفا بعزم ثنائيات القطب لوحدة الحجوم من العازل هو

$$P = \sum_{i} N_i a_i E_{Loc.} \qquad (i)$$

حيث N_i هو عدد الذرات فى وحدة الحجوم . والجمع Σ يؤدى على جميع الذرات من نوع i الذى له استقطابيه a_i ويوجد فى مجال محلى E_{Loc} (i)

من معـــادلة لورنتز

$$E_{Loc.} = E + P/3\ \varepsilon_0$$

$$\therefore\ (P / \sum_{i} N_i a_i) - (P / 3\ \varepsilon_0) = E$$

$$\therefore\ E/P = \frac{1 - (1/3\ \varepsilon_0) \sum N_i a_i}{\sum N_i a_i}$$

وباســـــتخدام معادلة القابليه الكهربائيه

$$\chi = (K - 1) = P/ \varepsilon_0 E$$

نحصـل على

$$E/P = 1/ \varepsilon_0 (K - 1)$$

وبحل المعادلتين لايجاد $\Sigma N_i a_i$ نحصل على

$$\frac{1}{3\varepsilon_0} \sum N_i a_i = \frac{K - 1}{K + 2}$$

وتعرف هذه المعادلة بمعادلة كلوزيوس — موزوتى ويلاحظ أن الاستقطابية هنا مضافه اى أن

$$\Sigma \text{ Ni ai} = (\text{N}_e \text{ a}_e + \text{N}_o \text{ a}_o + \text{Ni ai})$$

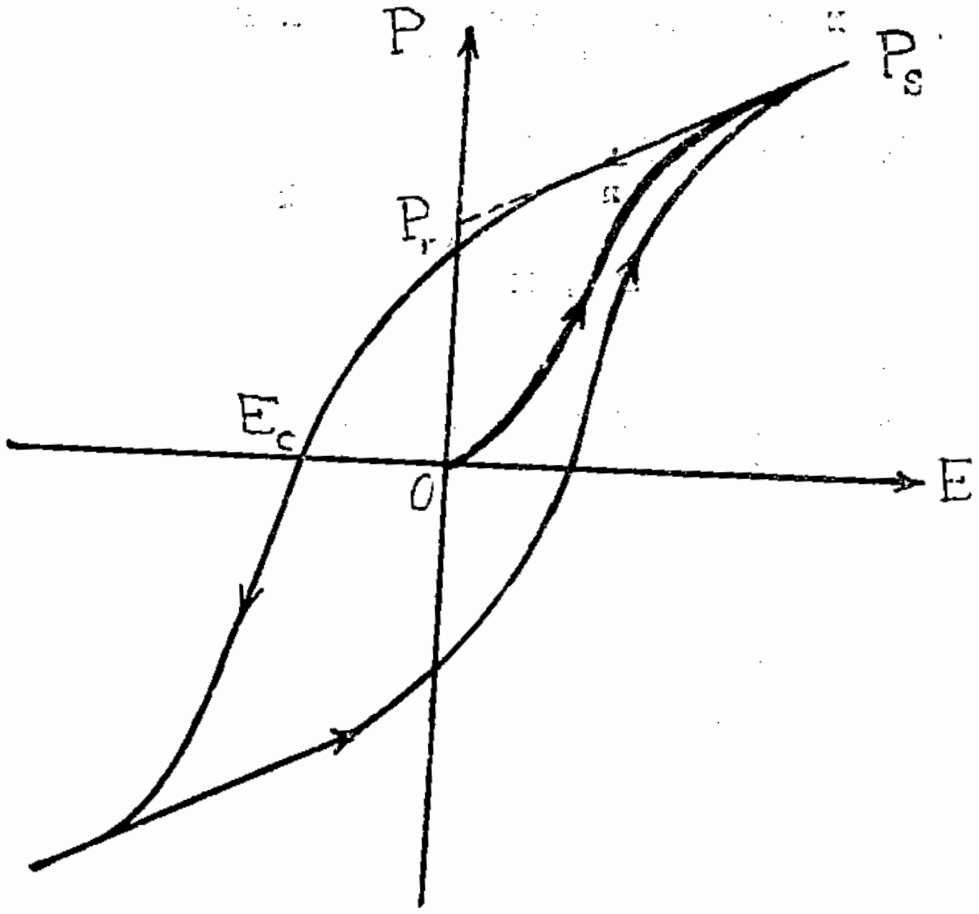
فى منطقة المجالات الكهرمغناطيسيه للترددات فى الطيف المنظور يرتبط ثابت العزل للمادة k بمعامل انكسارها الضوئى n بالعلاقه

$$n^2 = K$$

وتكون الاضافات الى الاستقطابيه الناشئه عن الاستقطاب الايونى او المتجه أضافات صغيره تتوقف على كبر عزم القصور الذاتى للجزىء او للايون وتقتصر الزيادة فى الاستقطاب على الجزء الالكترونى ٠

الفيروكهربيه : Ferro-electricity

الماده الفيروكهربيه هى مادة لها استقطاب ذاتى وبالتالى لها عزم ثنائى قطب كهربائى حتى فى غياب المجال الكهربائى الخارجى ٠ ولاتوجد ظاهره الفيروكهربيه فى المواد التى ينطبق فيها مركزى تماثل الشحنات السالبه والموجبة على بعض كما هو الحال فى البلورات الايونيه ٠ أى أن وجود عدم تماثل فى التركيب البلورى شرط ضرورى للحصول على الحاله الفيروكهربيه فى البلوره ٠

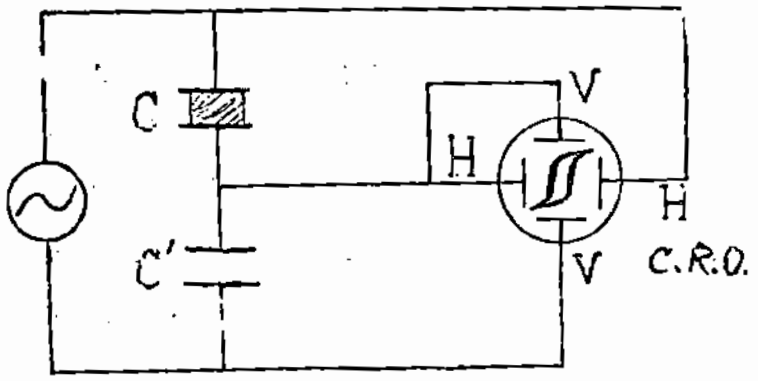


شكل ١٤ ـ ٨

وامثله على هذه المواد هى بلورات املاح روشيل وثيتانات الباريوم وامثالها مما له تركيب بلورى من نوع بيروفسكيت perovskite

عند التاثير بمجال كهربائى متردد على بلوره فيروكهربيه نجد تخلفا للاستقطاب P عن المجال المؤثر E وينشأ عن رسم العلاقة بين E & P دائرة تخلف كهربائى كما مبين بشكل (١٤ ـ ٨) ويصل الاستقطاب الى مرحلة التشبع Ps بعد التاثير بمجال معين كما انه بازالة المجال يتبقى جزء من الاستقطاب Pr يسمى بالاستقطاب المتبقى remenant polarization

ونحتاج لازالة هذا الاستقطاب المتبقى التاثير بمجال كهربائي معاكس قدرة Ec ويسمى بالمجال المزيل coercive field. Ec



شكل (١٤ ــ ٩)

يبين شكل (١٤ ــ ٩) دائرة كهربائيه بسيطه لاظهار دائرة التخلف الكهربائى على شاشة راسم ذبذبات الكترونى . توضع المادة الفيروكهربيه داخل المكثف C الذى يتصل على التوالى بمكثف آخر C' وبمصدر جهد متردد .

يسقط الجهد الكهربى على سطحى الماده الفيروكهربيه على اللوحين الافقيين لراسم الذبذبات بينما يسقط الجهد على سطحى المكثف C' على اللوحين الرأسيين . عندئذ تظهر دائرة التخلف الكهربائى على شاشة راسم الذبذبات .

الفيروكهربيه ودرجة الحراره :

تختفى ظاهرة الفيروكهربيه عند الارتفاع بدرجة الحراره الى درجه Tc تسمى بنقطة كورى للفيروكهربيه . وعند هذه الدرجة تحدث زيادة مفاجئة فى ثابت العزل للماده وتتحول الماده بعد هذه الدرجه من حالة الفيروكهربيه الى حالة الباراكهربيه (اسوة بما يحدث للمواد المغناطيسية)

ويتغير ثابت العازل مع درجة الحراره T فى هذه المنطقه وفقا لقانون كورى — فايس Curie — Weiss

$$K = (A\ (T - Tc)) + Kf$$

حيث A هو ثابت كورى ، Kf هو ثابت العازل للترددات المرتفعة ويمثل الاضافة الناشئة عن الاستقطابيه الالكترونيه وقيمته صغيره ويمكن اهمالها بالقرب من درجة حرارة كورى .

ويمكن اثبات أن ثابت كورى A هو نفسه مقلوب معامل التمدد الطولى للبلوره كما يأتى .

نفرض أن علاقة كلوزيوس وموزوتى تظل ساريه المفعول فى المنطقة الباراكهربيه .

$$\therefore \quad \frac{K-1}{K+2} = \frac{Na}{3\varepsilon} = B\ N$$

حيث N هنا تساوى عدد وحدات الخليه فى وحدة الحجوم ، a تساوى الاستقطابيه الكليه لوحدة الخليه ونفرض هنا انها لاتتأثر بدرجة الحـــراره .

$$B\ \frac{dN}{dT} = \left[\frac{1}{K+2} - \frac{K-1}{(K+2)^2}\right] \frac{dK}{dT}$$

$$= \frac{3}{(K+2)^2} \cdot \frac{dK}{dT}$$

وبقسمة طرفى المعادلة على N B نحصـــل على

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dT} = \frac{3}{(K+2)^2}\frac{K+2}{(K-1)}\frac{dK}{dT}$$

$$= \frac{3}{(K+2)\ (K-1)} \cdot \frac{dK}{dT}$$

ولكن بما ان حجم وحدة الخليه هو مقلوب عدد الخلايا فى وحدة الحجوم

$$\therefore \quad V = \frac{1}{N}$$

$$\therefore \quad \frac{dN}{N} = -\frac{dV}{V}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{N}\left(\frac{dN}{dT}\right) = -\frac{1}{V}\left(\frac{dV}{dT}\right) = -3\alpha$$

حيث α هو معامل التمدد الطولى للماده

واذا اعتبرنا ان لثابت العازل قيما كبيره اكبر كثيرا من الوحده $K \gg 1$ يمكن تقريب المقـــدار

$$(K+2)\ (K-1) = k^2$$

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dT} = -3\alpha = \frac{3}{K^2}\frac{dK}{dT}$$

$$\therefore \quad -\frac{1}{K^2}\, dK = \alpha\, dT$$

$$\therefore \quad d \left(\frac{1}{k} \right) = \alpha \, dT$$

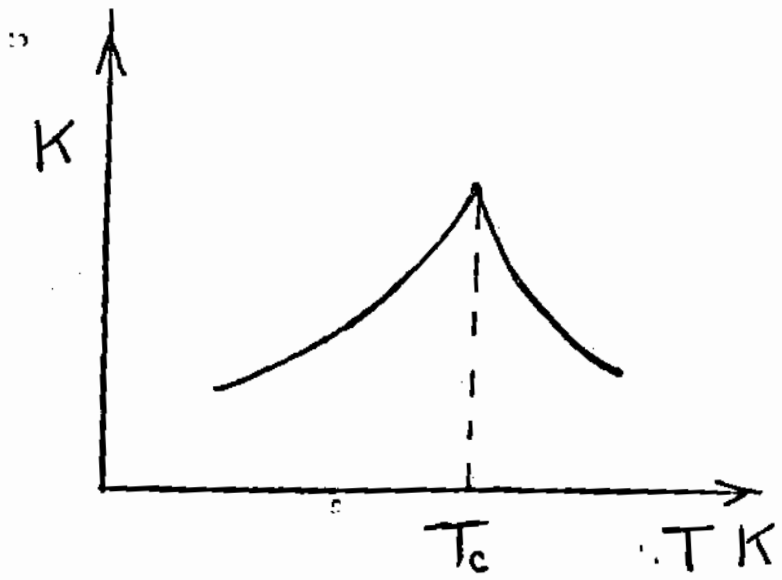
وبالتكامل نحصـــــل على

$$\frac{1}{K} = \alpha \left(T - Tc \right)$$

أى أن

$$K = A / \left(T - Tc \right)$$

حيث $$A = \frac{1}{\alpha}$$



شكل (١٤ ــ ١٠)

ثابت العازل ودرجة حرارة كورى :

يصاحب التحول من حالة الفيروكهربيه الى الباراكهربيه زيادة شاذه فى ثابت العازل للماده .

نفرض أن الماده العازله ليست لها خواص اتجاهيه من ناحية العزل .

يكون مقدار ثابت العزل K مستنتجا من معادلة كلوزيوس — موزوتى هو

$$K = \frac{1 + \frac{2}{3\varepsilon_0} \sum Ni\ ai}{1 - \frac{1}{3\varepsilon_0} \sum Ni\ ai}$$

حيث Ni هو عدد الذرات من نوع i فى وحدة الحجوم والتى لها استقطابيه ai

عندما تقترب $\sum Ni\ ai = 3\varepsilon_0$ نجد ان قيمة ثابت العازل K تؤول الى ما لا نهايه بينما يظل للاستقطاب P قيمة محدوده عند ما يكون المجال صفريا وتسمى هذه الحاله بكارثه الاستقطاب
polarization catastrophy

(انظر شكل ١٤ — ١٠)

وعند الاقتراب من درجة حرارة كورى يمكن كتابة المعادله

$$\frac{1}{3\varepsilon_0} \sum Ni\ ai = 1 - \delta$$

حيث $\delta \ll 1$

وبالتعويض فى المعادله السابقه نحصـــل على

$$K = 3 / \delta$$

وباعتبار أن قيمة δ تعتمد على درجة الحرارة وفقا للمعادلة

$$\delta = \frac{C}{3} (T - T c)$$

فاننا نحصل مباشرة على معادلة كورى فايس لتغير ثابت العازل مع درجة الحرارة على الصـــــوره :

$$K = \frac{C}{T - T c}$$

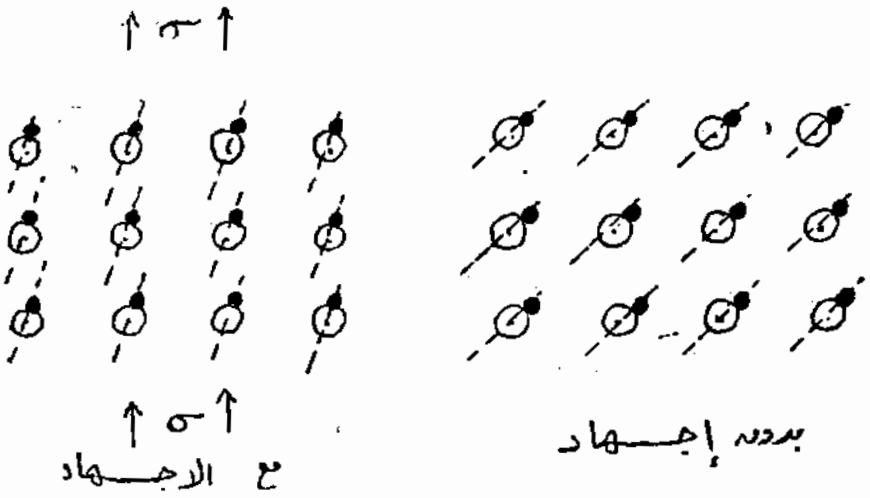
الظاهرة الكهرضغطيه : piezo-electric effect

عندما نؤثر على بلورة ما باجهاد ميكانيكى تزاح الذرات من اماكنها . فاذا كان للبلوره مركز تمثل شبيكى centro symmetric تكون الازاحـــات متماثلة حول مراكز التماثل وبالتالى فان توزيع الشحنات فى البلوره يظل دون تغيير يذكر ويظل عزم ثنائى القطب الكهربائى دون تغير .

هذا النوع من البلورات لاتظهر فيه الكهرضغطيه .

أما اذا اعتبرنا بلوره ذات تركيب غير متماثل كما فى شكل (١٤ — ١١)

تترتب الايونات على شكل ازواج تكون ثنائيات قطب .



شكل (١٤ ـ ١١)

عندما نؤثر على هذه البلوره باجهاد ميكانيكى يحدث تشويه بسبب الازاحة النسبيه للايونات بشكل غير متماثل . وبذلك تتغير القيمة الكلية لعزم ثنائى القطب الكهربائى فى البلوره .

تسمى هذه الظاهره بالكهرضغطيه نسبة الى حدوث استقطاب كهربائى ناشىء عن الاجهاد الميكانيكى . ويلاحظ أن هذه الظاهرة انعكاسيه اى أن تغيير استقطاب الماده كهربائيا يحدث ايضا بداخلها انفعال ميكانيكى . وتستخدم لذلك هذه المواد كمحولات للطاقه الكهربائيه الى ميكانيكيه والعكس بالعكس .

ثابت الكهرضغطيه η

عندما نؤثر على مادة كهرضغطيه بمجال كهربائى متردد E تحدث ازاحه كهربائيه دوريه . وعادة تتخلف الازاحه خلف المجال نتيجه لاختلاف فى الطور وتتوقف زاوية الطور على تردد المجال المؤثر .

وتحدث حالة رنين عندما تكون الازاحه والمجال متحدتان فى الطور تماما.

اعتبر مادة كهرضغطيه موضوعه بين لوحى مكثف كهربائى ويمكن احداث ضغوط طوليه على الماده باجهاد σ ينشأ عن ذلك انفعال e حيث

$$e = \frac{\sigma}{Y}$$

حيث Y هو معامل المرونه ليونج

يحدث الاجهاد المؤثر استقطابا كثافته P يتناسب مع مقدار الاجهاد اى ان :

$$\therefore \quad P = \eta \sigma$$

حيث η ثابت يسمى الثابت الكهرضغطى

اذا اثرنا على لوحى المكثف بمجال كهربائى E دون احداث ضغوط ميكانيكيه يكون الانفعال الحادث متناسبا مع شدة المجال

$$\therefore \quad E = \eta E$$

اما اذا اثرنا فى وقت واحد بالاجهاد الميكانيكى والمجال الكهربائى تكون الازاحه الكهربائيه D هى

$$D = e E + \eta \sigma$$

ويلاحظ هنا أن الازاحه الكهربائيه عن المجال الكهربائى فقط هى $D = e E$

يكون بذلك الانفعال الداخلى فى الماده هو

$$e = \eta . E + \frac{\sigma}{Y}$$

وتعطى هذه العلاقة تغير المعاملات الميكانيكيه بالمعاملات الكهربيه فى ظاهرة الكهرضغطيه electrostriction .