الجم-هورية الجزائري-ة الديمقراطية الش-عبية
وزارة الت-عليم العالي والب-حث العلم-ي
جـــامعة الـــــــوادي
كـــلية العــلوم والتكنولوجــيا

رقم الترتيب :
رقم التسلسل :

مذكرة تخرج لنيل شهادة

لـيســـــانس أكـــاديمي

مجال : علوم المادة

فرع : فيزياء

تخصص : فيزياء الإشعاع

من إعداد: لجدل محمد العيد وخماس عمر

المـــوضـــوع :

الخصائـص العـزلـية للـجسم الصلـب

نوقشت يوم : 2014/06/04

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

الرئيس	رحال عاشور	أستاذ مساعد (ب) جامعة الوادي
المناقش	ميموني مراد	أستاذ مساعد (ب) جامعة الوادي
المؤطر	غوقالي مبروك	أستاذ مساعد (أ) جامـعة الوادي

الموسم الجامعي 2014/2013

فهرس الموضوعات

مقدمة عامة

I. الفصل الأول:مفـاه ـيم ع ــام ـة

1- مقدمة..... 3
2-العازل..... 3
3-المعاملات الفيزيائية للعازل..... 3
3-1-السماحية الكهربائية و الإزاحة العزلية..... 3
3-2-ثابت العزل والقابلية الكهربائية..... 4
3-3-ثنائي القطب الكهربائي..... 5
4-تعريف الاســــــــــتقطاب..... 5
4-1-النظرة الجهرية للاستقطاب..... 6
4-2-النظرة المجهرية للاستقطاب..... 6
4-3-آليات الاستقطاب..... 8
4-3-1-الاستقطاب الإلكتروني..... 8
4-3-2-الإستقطاب الأيوني..... 8
4-3-3-الاستقطاب التوجيهي..... 9

II. الفصل الثاني:ثابت العزل والخصائص العزلية

1- المقدمة..... 11
2- ثابت العزل و الاستقطابية..... 11
3- ثابت العزل المركب..... 12
4- ثابت العزل المركب والفقد العزلي..... 12
5- ثابت العزل وزاوية الفقد..... 14
6- الاستقطابية وثابت العزل المركب :(نظرة مجهرية)..... 15
6-1- الاستقطابية الالكترونية وثابت العزل..... 15
6-2- الاستقطابية الإيونية وثابت العزل..... 15
6-3- الاستقطابية التوجيهية وثابت العزل..... 16
7- قرينة الانكسار وثابت العزل..... 18

الخلاصة العامة

المراجع

فهرس الأشكال

I -الفصل الأول:مفاهـــيم عـــامـــة

الشكل (I-1): عصابات الطاقة للعازل..... 3
الشكل (I-2): مكثفة تحوي فراغا بين لبوسيها..... 4
الشكل (I-3): مكثفة تحوي عازلا بين لبوسيها..... 4
الشكل(I-4): ثنائي القطب الكهربائي..... 5
الشكل (I-5): مجسم ناقصي (اسطوانة)لعازل تحت تأثير حقل كهربائي..... 6
الشكل (I-6):النظرة المجهرية للاستقطاب..... 7
الشكل (I-7):يوضح الاستقطاب الايوني و إنزياح الغمامة الإلكترونية..... 8
الشكل (I-8): الاستقطاب الايوني..... 9
الشكل (I-9): الاستقطاب الأيوني..... 9

II -الفصل الثاني: ثابت العزل والخصائص العزلية

الشكل (II-1): (أ)مخطط ارجاند لثابت العزل المركب ε^* (ب) التمثيل المعتاد للمقدار $\varepsilon_1 = \mathrm{Re}\,\varepsilon^*$ (الجزء الحقيقي من ε^*)و $\varepsilon_2 = \mathrm{Im}\,\varepsilon^*$ (الجزء التخيلي من ε^*)..... 13
الشكل(II-2): دالة تغير ε_2 بدلالة$(w\tau)$..... 14
الشكل(II-3) **:** رسم توضيحي للاستقطاب التوجيهي..... 16

مقدمة عامة :

في أواخر القرن الثامن عشر ومع ظهور النهضة ودخول الكهرباء في الحياة اليومية تطورت استخدامات البشرية للأجسام الصلبة, وتبعا لذلك التصور فقد طور العلماء بعض النظريات لتفسير عدة الظواهر مثل النقل الكهربائي والتى صنفت على إثرها الأجسام الصلبة إلى ناقلة وعازلة ونصف ناقلة, ولقد كان (فراداي) من أوائل العلماء الذين تعاملوا مع المواد العازلة.

وقد نبع الاهتمام ولا يزال بالعوازل من كونها تستخدم في خطوط الطاقة الكهربائية بين محطات التوليد المختلفة, وكأغلفة عازلة للكابلات والأسلاك الكهربائية داخل وخارج جميع الأجهزة الإلكترونية والكهربائية, وكمكونات أساسية في المكثفات والمحولات والمحورات وغيرها. والصفات العزلية لهذه المواد من السماحية الكهربائية أو ما يسمي بثابت العزل الكهربائي وهو يعتمد على التركيب البلوري والكيميائي للعازل التي يأتي تفصيلها خلال البحث المنج ز. قد جعلت بعضها مؤهلا لأداء وظائف لا تقل أهمية عن الأجسام الصلبة الأخرى.

ونظرا لنقص المراجع في هذا المجال ارتأينا تقديم بحث متواضع نحاول من خلاله لم بعض المفاهيم المحيطة بالموضوع لإثراء المكتبة الجامعية.

وقد تمحورت دراستنا هذه في فصلين أساسيين :

أما الفصل الأول فقد درسنا فيه مفاهيم عامة عن العوازل حيث عرفنا العازل وبعض المعاملات الكهربائية التابعة له من سماحية وقابلية وإزاحة عزلية وعزم ثنائي القطب والإستقطاب بأنواعه.

أما الفصل الثاني فركزنا دراستنا فيه على ثابت العزل و الاستقطابية وعلى علاقة ثابت العزل المركب بالفقد العزلي, ودرسنا أيضا ثابت العزل المركب على المستوى المجهري بذكر علاقته بأنواع الاستقطابية, من إلكترونية وأيونية وتوجيهية وفي الأخير حاولنا ربط الخصائص العزلية بالبصرية من خلال علاقة ثابت العزل المركب وقرينة الانكسار.

الفصل الأول
مفـــاهيم عـــــامة

I. الفصل الأول:مفاهيم عامة

1. مقدمة :

تختلف المواد العازلة عن الموصلية في كونها لا تمتلك إلكترونات حرة وحركتها لا تنساب داخل المادة تحت تأثير المجالات الكهربائية الخارجية ومن أمثلة تلك المواد الزجاج, السيريميك, البوليمرات, الورق والشمع....الخ. ونهتم في هذا الفصل بالعوازل التي تتميز بندرة الشحنات داخلها والصفة الكهربائية المميزة لها هي السماحية الكهربائية أو ما يسمي بثابت العزل الكهربائي , وهو يعتمد على التركيب البلوري والكيميائي للعازل. من أهم الظواهر التي تظهر في الأجسام الصلبة العازلة هو ظاهرة الاستقطاب عند تسليط حقل كهربائي, ونهتم أيضا بوصف ظاهرة الاستقطاب في العازل والمعاملات الفيزيائية التابعة له. عندما يؤثر المجال الكهربائي على أيونات و ذرات المواد العازلة ف إن الشحنات المختلفة الإشارة سوف تتزحزح عن بعضها, حيث تنزاح الشحنات الموجبة باتجاه الحقل بينما تنزاح الشحنات السالبة بالإتجاه المعاكس مكونة بذلك ثنائيات قطب كهربائية , وعادة ما تكون هذه الإزاحات صغيرة قياسا إلى الأبعاد الذرية

2. العازل :

هو جسم صلب له ناقليه كهربائية ضعيفة, ويتميز بفاصل طاقي كبير بين عصابتي التكافؤ والنقل يفوق (3ev)[3] الموضحة في الشكل (I-1), وقد يحوي العازل بعض الشحنات الحرة لكن بتركيز ضعيف جدا ومعظم الشحنات الموجودة في العازل مقيدة ومشدودة بقوة ببقية مكونات الوسط المادي أي مربوطة بأيوناتها بشكل قوي, وتنحصر استجابة الجسيمات المشحونة (إلالكترونات والأيونات) للحقل الكهربائي في قدرتها على الإنزياح قليلا عن مواضعها الأصلية.

وتعرف العوازل أيضا بأنها المواد التي تكون فيها إلكترونات تكافؤها مرتبطة إرتباطا وثيقا بذراتها لذا تحتاج إلى حقل كهربائي شديد للتخلص من جذب النواة لها, فالعوازل لا تحتوي شحنات حرة تحت الظروف الاعتيادية وتتميز أيضا بعصابات طاقة لها عدة خصائص[5] :

- لها عصابة تكافؤ مملوءة بالإلكترونات كليا عند الصفر المطلق($0\,K^0$).
- لها عصابة نقل خالية من الإلكترونات الحرة عند الصفر المطلق($0\,K^0$).
- لها فاصل طاقي كبير نسبيا مما يجعل عدد الالكترونات المنتقلة إلى عصابة النقل ضئيل في درجات الحرارة الاعتيادية وبالتالي موصلية واطئة جدا .

الشكل (I-1): عصابات الطاقة للعازل[3].

3. المعاملات الفيزيائية للعازل :

3 1. السماحية الكهربائية و الإزاحة العزلية :

السماحية الكهربائية ε هي مقدار فيزيائي يصف استجابة الوسط العازل للحقل الكهربائي, أي أن الحقل الكهربائي يكون قويا في البداية أو على السطح ومن ثمة ينخفض هذا الحقل داخل المادة فالسماحية تتعلق بقابلية المادة للسماح للحقل الكهربائي بالنفاذ فيها (داخلها) وهذه السماحية تتضح جليا في الإزاحة العزلية أو

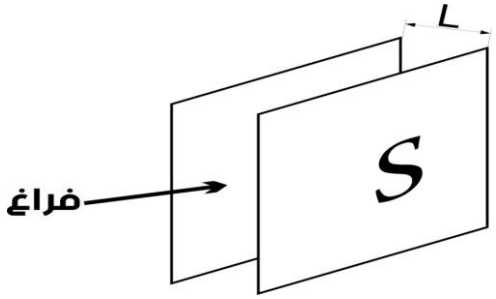
متوسط البعد الظاهر بين الشحنات بعد تطبيق الحقل الكهربائي حيث إن الإزاحة أو البعد بين الشحنات تتغير بتغير الحقل وكذلك نوعية المادة العازلة وتعطى العلاقة بين السماحية ε و الإزاحة المتوسطة $\vec{D}$ [1] تعطى كالتالي:

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \qquad \textbf{(1-I)}$$

3 2.ثابت العزل والقابلية الكهربائية :

يمكن إيجاد ثابت العزل لمادة بقياسات كهربائية سكونية مختلفة ومن أكثر الطرق استخداما قياس سعة المكثفة C المستوية في حالتين [1] : الحالة الأولى التي يملأ فيها الهواء (الفراغ) بين اللبوسين الموضحة في الشكل **(2-I),** وتعطى علاقة سعة المكثفة C_1 كالتالي :

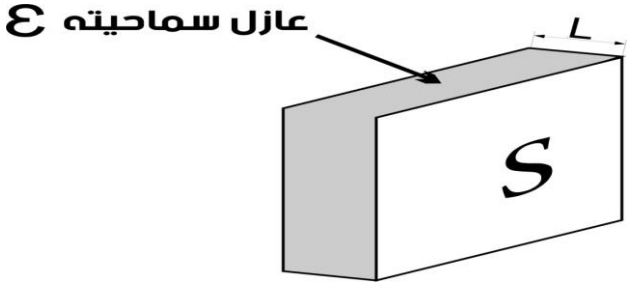
$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{s}{l} \qquad \textbf{(2-I)}$$



الشكل (2-I): مكثفة تحوي فراغا بين لبوسيها.

والحالة الثانية عندما يملأ الفراغ بين اللبوسين بالمادة المعتبرة صلبة كانت أو سائلة الموضحة في الشكل (3-I), وتعطى سعة المكثفة C_2 كالتالي :

$$C_2 = \varepsilon \frac{s}{l} \qquad \textbf{(3-I)}$$



الشكل (3-I): مكثفة تحوي عازلا بين لبوسيها.

ونحصل على ثابت العزل ε_r و السماحية النسبية للمادة بقسمة سعة المكثفة الثانية على سعة المكثفة الأولى:

$$\varepsilon_r = \frac{C_2}{C_1}$$

ومنه نجد:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad \textbf{(4-I)}$$

وتعطى علاقة ثابت العزل الكهربائي بالقابلية الكهربائية:

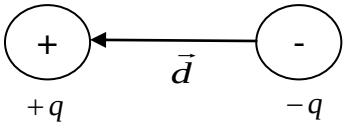
$$\varepsilon = 1 + \chi \quad \textbf{(5-I)}$$

3 3.ثنائي القطب الكهربائي:

عند تطبيق حقل كهربائي على عازل تتزحزح الشحنات المتعاكسة في الاشارة عن بعضها البعض ونلاحظ أنها لا تستطيع الحركة بحرية فتشكل ثنائيات اقطاب كل منها يتميز بعزل يسمى عزل ثنائي القطب $\vec{u}$ الموضح في الشكل (I-4). وهو عبارة عن حاصل ضرب الشحنة (q) في مقدار الازاحة (d) [6]ونكتب:

$$\vec{u} = q.\vec{d} \quad \textbf{(6-I)}$$

وحدة هي : $[\vec{u}] = c.m$



الشكل(I-4): ثنائي القطب الكهربائي.

4.تعريف الاســــــــــتقطاب :

تسمى العوازل التي لا تمتلك شحنات طليقة أو حرة بالعوازل المثالية ولكن جميع الأوساط المادية تتكون من جزيئات وهذه الأخيرة بدورها تتألف من جسيمات مشحونة (نـوى أو ذرات أو إلكترونات) تتأثر بالمجال الكهربائي لأنه يسلط عليها قوة تؤدي إلى إزاحة كل الشحنات الموجبة والسالبة عن مواضعها الإتزانية, من وجهة النظر العينية الماكروسكوبية يقال عن العازل أنه مستقطب . إن هذا الفصل بين الشحنات يولد ما يسمى بثنائي القطب وبالتالي يتولد عزم ثنائي القطب الذي يمثل حاصل ضرب الشحنة الكلية المتولدة على سطح العازل فـي المسافة بين سطحي العازل.

ويمكن تصنيف جزيئات العازل إلى جزيئات قطبية وجزيئات لا قطبية ففي الجزيئات اللاقطبية ينطبق مـركز الثقل البروتونات والالكترونات عند انعدام المجال الخارجي أما في الجزيئات القطبية فإن مـركز الثقل البروتونات لا ينطبق على مركز ثقل الالكترونات حـتى بغياب المجال الخارجي, وبصفة عامة يظـــهر الاستقطاب عند إزاحة الشحنات الموجبة عن الشحنات السالبة عند تأثير مؤثر خــارجي (حقل كهربائي أو مغناطيسي) ويعرف على أنه مجموعة عزوم ثنائيات القطب في وحدة الحجم ويعطى بوحدة $(\frac{c}{m^2})$ أي أنه يعبر عن كثافة شحنات سطحية ويعطي بالعلاقة التالية [4]:

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^{N} N.\vec{u}_i \quad \textbf{(7-I)}$$

N :هو عدد ثنائيات الأقطاب.

$\vec{u}$:هو عزم ثنائي القطب.

4 1.النظرة الجهرية للاستقطاب :

عند وضع عازل في حقل كهربائي متجانس ($\vec{E}_0$) مصدره شحن خارجية بعيدة عن العينة العازلة, فان العازل سوف يظهر حقلا عيانيا (ظاهريا) ($\vec{E}$)ناتج من مجموع حقلين أولهما الحقل الخارجي ($\vec{E}_0$) والثاني يسمى حقل إزالة الاستقطاب($\vec{E}_{dep}$)ونكتب[4]:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_{dep} \qquad \textbf{(8-I)}$$

حيث إن حقل إزالة الاستقطاب ($\vec{E}_{dep}$) له اتجاه معاكس للحقل الخارجي وينشا عن ثنائيات القطب الموجودة في العازل المستقطب بشحن سطحية مقيدة على سطح العازل ويعتمد حسابه على الشكل الهندسي ويحسب عادة في المجسمات الناقصية المنتظمة حيث:

$$\vec{E}_{dep} = \vec{E}_0 - \frac{N\vec{P}}{\varepsilon_0} \qquad \textbf{(9-I)}$$

N : مقدار ثابت يدعى معامل ازالة الاستقطاب.

$\vec{P}$: إلاستقطاب الناشئ.

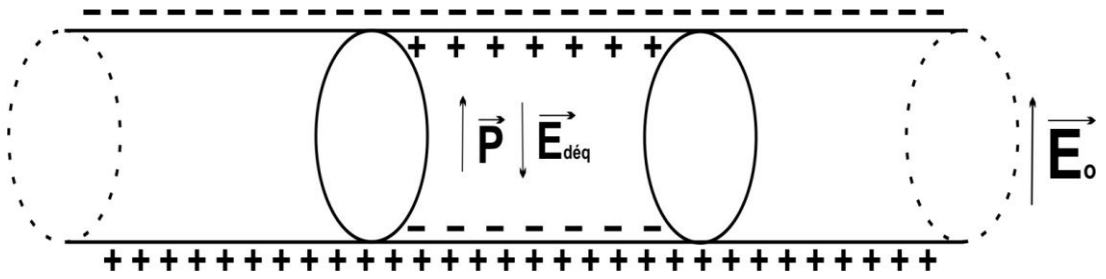
ε_0 : سماحية الفراغ.

وعند استقطاب العازل بحقل كهربائي خارجي - $\vec{E}_{ext}$ - منتظما وموازيا لمحور رئيسي في المجسم الناقصي الموضح في الشكل(5-I) نحصل على الحقل الظاهري من العلاقة (8-I) بالشكل التالي:

$$\vec{P} = \varepsilon_0 X_0 \vec{E}_{dep}$$

$$\vec{P} = \varepsilon_0 X_0 (\vec{E}_0 - \frac{N\vec{P}}{\varepsilon_0})$$

$$\vec{P} = \frac{\varepsilon_0 X_0}{1 + NX_0} \vec{E}_0 \qquad \textbf{(10-I)}$$



الشكل (I-5): مجسم ناقصي (اسطوانة)لعازل تحت تأثير حقل كهربائي[3].

4 2.النظرة المجهرية للاستقطاب :

لوصف الاستقطاب مجهريا يجب إيجاد الحقل الموضعي عند كل ذرة أو أيون ومن ثم يمكن حساب جميع عزوم ثنائيات الأقطاب التي بدورها تحسب عند كل ذرة أو أيون (j) عند الموضع بالعلاقة [4]:

$$\vec{u}_j(\vec{r}) = \alpha_j \varepsilon_0 \vec{E}_{loc}(\vec{r}) \quad \textbf{(11-I)}$$

α_j : تسمى الاستقطابية الكهربائية وهي تتعلق بالخصائص الكهربائية للأيون ويعبر عن مدى استجابتها للحقل الكهربائي وحدوث الاستقطاب على المستوى المجهري ومنه:

$$\vec{P}(\vec{r}) = \frac{1}{v}\sum_{j=1}^{z} u_j(\vec{r}) = \frac{\varepsilon_0}{v}\sum_{j=1}^{z} \alpha_j \vec{E}_{loc}(\vec{r}) \quad \textbf{(12-I)}$$

v : حجم الخلية الأولية.

z : عدد ذرات القاعدة.

$\vec{E}_{loc}(\vec{r})$ هو الحقل الموضعي الذي يختلف عن الحقل الكهربائي الخارجي (الظاهري), ولحسابه نختار عينة عازلة ذات شكل بيضوي أحد محاوره الرئيسية يوازي الحقل الخارجي المطبق. ولحساب الحقل الكهربائي عند ذرة ما نتصور ازالة كرة صغيرة جدا من مادة عازلة مستقطبة حول هذه الذرة , وتخضع باقي الذرات لنفس الظاهرة فيكون الحقل عند الذرة المدروسة $\vec{E}_{loc}(\vec{r})$ [1]:

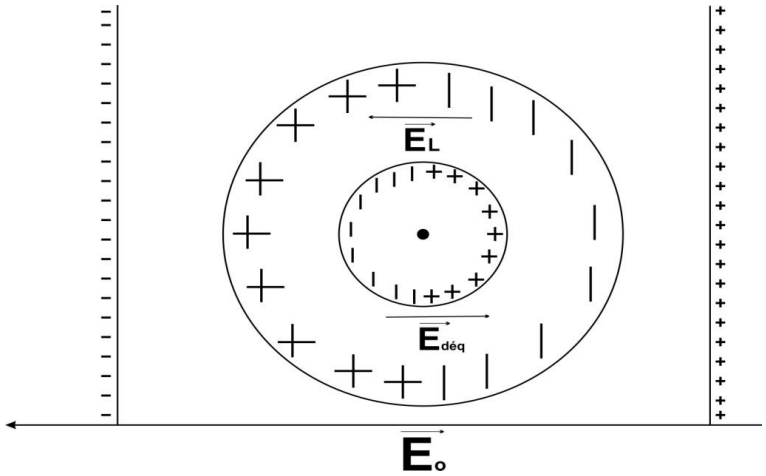
$$\vec{E}_{loc}(\vec{r}) = \vec{E}_0 + \vec{E}_{dep} + \vec{E}_l + \vec{E}_1 \quad \textbf{(13-I)}$$

$\vec{E}_0$: الحقل الخارجي المطبق.

$\vec{E}_{dep}$: حقل ازالة الاستقطاب.

$\vec{E}_l$: حقل لورانتز وينشا من الشحنات على سطح الكرة الصغيرة, قيمته $\vec{E}_l = \frac{P}{3\varepsilon_0}$.

$\vec{E}_1$: حقل ناتج عن ثنائيات القطب داخل التجويف للكرة المزالة وهو يعتمد على التركيب البلوري ويكون معدوما عموما في البلورات المكعبة هذه الذرة أو الأيون ومن هنا يمكن حساب الاستقطاب الكلي الناجم عن جميع الشحنات ونوضح ذلك في الشكل (I-6).



الشكل (I-6): النظرة المجهرية للاستقطاب[4].

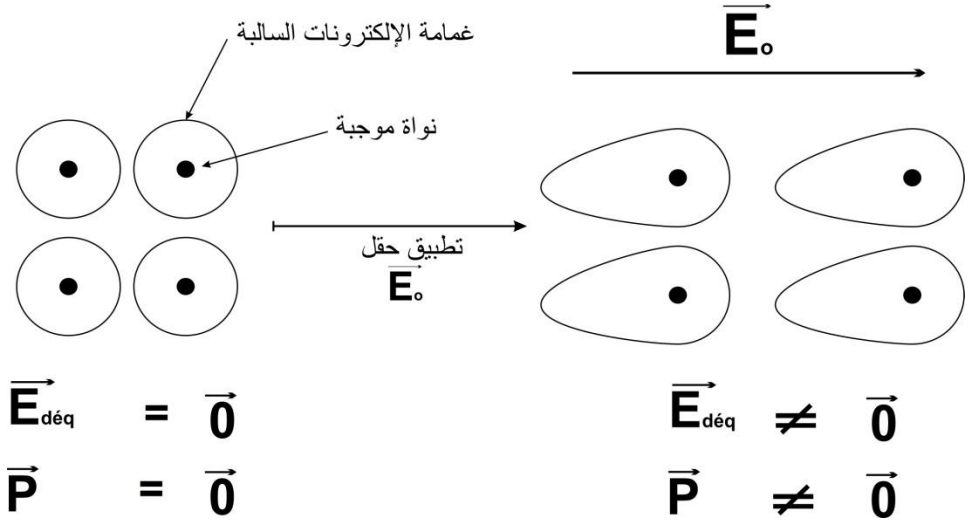
4 3.آليات الاستقطاب :

هناك ثلاث آليات للاستقطاب وهي:

4 3 1.الاستقطاب الإلكتروني :

في غياب الحقل الخارجي تتوزع الكثافة الإلكترونية في الذرة بشكل متناظر حول النواة إذ لا يمكن للذرات أو الأيونات أن تشكل ثنائيات قطب داخليا لكن في وجود حقل كهربائي خارجي (مستمر أو متناوب) فإن الإلكترونات سوف تنزاح عن النواة بحيث يتشوه شكل الغمامة الإلكترونية. إذ لا ينطبق مركز الشحنات السالبة (إلكترونات) عن مركز الشحنات الموجبة (النواة) وبذلك تظهر ثنائيات قطب الموضحة في الشكل (7-I) يعطى عزمها بالعلاقة [4]:

$$\vec{u} = \alpha\varepsilon_0\vec{E}_{loc}(\vec{r}) \qquad \textbf{(14-I)}$$



الشكل (I-7):يوضح الاستقطاب الأيوني و إنزياح الغمامة الإلكترونية.

4 3 2.الاستقطاب الأيوني :

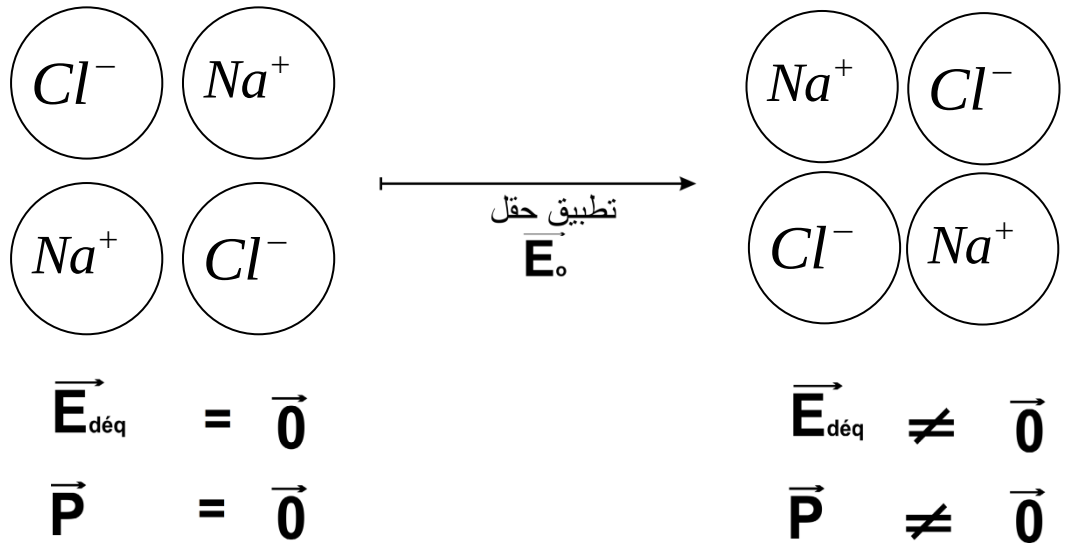
هذا نوع آخر من آليات الاستقطاب الموجودة جنبا إلى جنب مع الاستقطاب الإلكتروني و يظهر في البلورات الأيونية أو الشبه أيونية حيث تزاح الأيونات المختلفة في الإشارة عن بعضها البعض بفعل المجال الكهربائي, وكما تنشأ من تشوه الأغلفة الإلكترونية للأيونات كنتيجة للحركة النسبية للأيونات ففي بلورة كولوريد الصوديوم عندما يؤثر مجال خارجي E_0 يزاح كل أيون Na^+ في اتجاه بينما يزاح CL^- في الاتجاه المضاد مما يولد عزم ثنائي قطب الموضح في الشكل (I-8)[3] :

$$u = e\Delta d \qquad \textbf{(15-I)}$$

حيث :

Δd :مقدار الازاحة .

لا يمكن أن يكون الاستقطاب الأيوني صرف بل يكون عادة هجينا مع الاستقطاب الإلكتروني خاصة في حالة الحقول المترددة حيث تكون الحركة الإهتزازية للإيونات مختلفة الكتل والأحجام مما يؤدي الى تشوه الغمامة الإلكترونية للإيونات وبالتالي ظهور الاستقطاب الإلكتروني.



الشكل (I-8): الاستقطاب الأيوني.

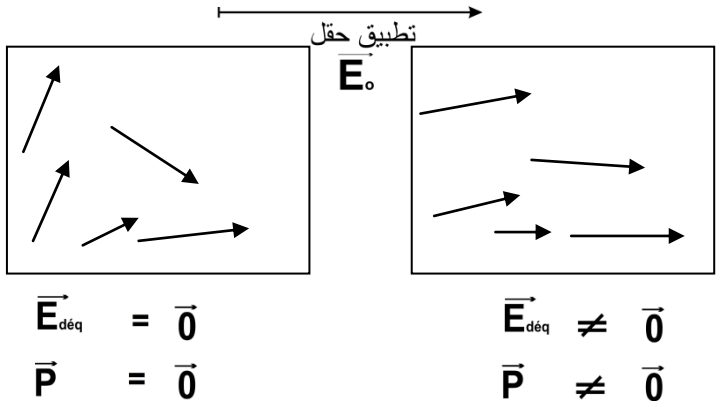
4 3 3.الاستقطاب التوجيهي :

في بعض العوازل المتكونة من جزيئات تحتوى على ذرات متباينة الخصائص يمكن لهذه الجزيئات أن تمتلك ثنائيات قطب دائمة تسمى الجزيئات القطبية في غياب الحقل الخارجي ويكون اتجاهها عشوائيا. وعند تطبيق حقل كهربائي خارجي يؤدي ذلك الى توجيه ثنائيات القطب حسب اتجاهه الموضحة في الشكل **(I-9)**. ويخص هذا الاستقطاب بعض الغازات والأبخرة العضوية و السوائل (مـــــاء و الكحول الاثيلي) وكذلك بعض المواد الصلبة كالثلج وكلور الماء (HCL) وبلورات الإيونية بعد إستبدال بعض أيوناتها بأخرى وبسبب عطالة جزيئات أو عطالة الاستقطاب الجزيئات بفعل الحقل الخارجي, فإن هذا الاستقطاب يظهر أساسا بالترددات الواطئة و المعادلة التالية توضح ذلك[4]:

$$P = \mathrm{N}\, u < \cos(\theta) > \qquad \textbf{(16-I)}$$

N : تركيز ثنائيات القطب (الجزيئات القطبية).

$\cos(\theta)$: جيب تمام الزاوية بين الحقل الكهربائي الموضعي وعزم ثنائي القطب .



الشكل (I-9): الاستقطاب التوجيهي[3].

الفصل الثاني
ثابت العزل والخصائص العـــزلـية

II. الفصل الثاني: ثابت العزل و الخصائص العزلية

1.المقدمة:

تم التطرق في الفصل الأول إلى بعض المفاهيم التي تخص الخصائص العزلية للجسم الصلب وكانت دراستنا ترتكز على تطبيق حقل خارجي (كهربائي) مستمر وما نتج عن ذلك من استقطاب على المستوى العياني. أما في هذا الفصل فإننا سندرس تأثير حقل متناوب بدل الحقل المستمر على ظاهرة الاستقطاب حيث سنحصل على ثابت عزل مركب بجزأيه حقيقي وتخيلي, وتم دراسة الاستقطاب على المستوى الذري أو المجهري أو ما يسمى بالاستقطابية سواء كانت إلكترونية أو أيونية أو توجيهية. وفي الأخير حاولنا ربط الخصائص العزلية والبصرية من خلال علاقة ثابت العزل بقرينة الانكسار.

2.ثابت العزل و الاستقطابية :

لثابت العزل قيمة مميزة ويعرف لوسط متماثل المناحي بالعلاقة [1]:

$$\varepsilon = \frac{D}{E} \Rightarrow \varepsilon = 1 + \chi \qquad \textbf{(1-II)}$$

حيث χ هي القابلية الكهربائية.

وتعرف الأستقطابية α الكهربائية بالعلاقة[1]:

$$\alpha_i = \frac{U_i}{E_{loc}} \qquad \textbf{(2-II)}$$

ويدل على i نوع الذرة و U_i عزم ثنائي القطب المناظر

وعندئذ يصبح الاستقطاب :

$$P = \sum E_{loc}^{i}.N_i.\alpha_i \qquad \textbf{(3-II)}$$

حيث N_i هو عدد الذرات نفس النوع i في وحدة الحجوم

وإذا ارتبط المجال الموضعي بالمجال المؤثر بعلاقة لورانتز ويكون لدينا[1]:

$$\frac{P}{E} = \frac{\sum N_i.\alpha_i}{1 - \frac{1}{3\varepsilon_0}\sum N_i.\alpha_i} = \varepsilon - 1 \qquad \textbf{(4-II)}$$

وحلها من الشكل :

$$\frac{M(\varepsilon - 1)}{\rho(\varepsilon - 2)} = \frac{1}{3\varepsilon_0} Nav.\alpha \qquad \textbf{(5-II)}$$

حيث:

M : الكتلة الجزيئية - ρ : الكثافة .

Nav : عدد افوقادرو - α : الاستقطابية الكلية لكل جزئ .

ويطلق على الطرف الأيسر لهذه المعادلة إسم الاستقطابية الجزيئية وتعرف هذه العلاقة بإسم علاقة "كلاوزيوس –موسوتي ".

3. ثابت العزل المركب :

في الحالات السابقة كنا نطبق دوما حقلا كهربائيا ثابتا ولكن عند تطبيق حقل كهربائي متناوب الأمر يختلف. إن تطبيق حقل كهربائي خارجي متناوب سوف يؤدي إلى إنشاء استقطاب مختلف عنه في الطور, وكما هو معلوم فإن تخلف النتيجة عن المسبب يرتبط دوما بفقد في الطاقة في أحد أشكالها ويتجلى ذلك في العوازل في صورة حرارة تؤدي مثلا ألى تسخين المكثفات والملفات المكونة للدوائر الإلكترونية.

4. ثابت العزل المركب والفقد العزلي :

سنبدأ في معالجة الفقد العزلي في المواد ذوات ثنائيات الأقطاب الدائمة , والتي يكون فيها الاستقطاب مكونا من ثلاث مركبات –الكترونية , و أيونية , وتوجيهية وقد رأينا ان تخلف الاستقطاب الالكتروني والأيوني عن المجال ذي التردد البعيد يكون ضئيلا , ولهذا فان الاستقطاب الناشئ عنها وليكن P_1 يعطى بالعلاقة التالية :

$$P_1 = \chi_1 E^* \qquad \textbf{(6-II)}$$

وهو يتبع المجال بقليل جدا من التخلف اما المركبة الثانية فإنها تتخلف وراء المجال طبقا للصورة التالية, لو فرضنا أن $\chi_2 E$ هي أقصى قيمة يصل إليها الاستقطاب في مجال مقداره E فان قيمة P_2 في أية لحظة ستميل إلى الوصول إلى هذه القيمة القصوى بمعدل يتناسب مع الفرق بين $\chi_2 E$ و P_2 وهذا ما يمكن التعبير عنه رياضيا بالمعادلة التالية [2]:

$$\frac{dP_2}{dt} = \frac{(\chi_2 \varepsilon_0 E - P_2)}{\tau} \qquad \textbf{(7-II)}$$

و إذا كان P_2 يساوي الصفر عند بدء تطبيق المجال الكهربائي في اللحظة $t = 0$ فإن إجراء التكامل على المعادلة السابقة, و إضافة P_1 الى P_2 فان الاستقطاب الكلي يكون بلصورة التالية:

$$P = P_1 + P_2 = \left(\chi_1 + \chi_2 \left\{1 - \exp\left(-t/\tau\right)\right\}\right) E \qquad \textbf{(8-II)}$$

أي أن الاستقطاب الكلي يصل الى قيمته النهائية بشكل أسي بثابت زمني قدره τ يسمى زمن الاسترخاء وهو ما يعني أن استجابة المادة للمجال الكهربائي متدرجة وليست فورية. و سنبدأ الان تطبيق مجال كهربائي متردد له الشكل:

$$E^* = E_0 e^{iwt} \qquad \textbf{(9-II)}$$

وعادة ما يتم التعامل مع الجزء الحقيقي للمجال , وبغض النظر عن مقدار التخلف بين الاستقطاب والمجال إلا أن الاستقطاب سيتغير دوريا بنفس نمط وتردد المجال الكهربائي , وعندئذ يمكن استبدال المعامل $\left(d/dt\right)$ في المعادلة(II-7) بالمقدار (iwt) ويكون الحل النهائي للاستقطاب هو :

$$P = P_1 + P_2 = \left(\chi_1 + \frac{\chi_2}{1 + iwt}\right) E \qquad \textbf{(10-II)}$$

والمقدار بين الاقواس هو القابلية العزلية المركبة التي تناظر ثابت العزل المركب $\left(\varepsilon_r^*\right)$

$$\chi = \chi_1 + \frac{\chi_2}{1 + iwt} \qquad \textbf{(11-II)}$$

ولدينا من المعادلة (II-1):

$$\varepsilon_r^* = 1 + \chi$$

ومنه :

$$\varepsilon_r^* = 1 + \chi_1 + \frac{\chi_2}{1+iwt} \quad \textbf{(12-II)}$$

أي أنه صار لدينا جزأين لثابت العزل, الجزء الأول حقيقي والثاني تخيلي[2]:

$$\varepsilon_r^* = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2 \quad \textbf{(13-II)}$$

حيث :

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_1 &= 1 + \chi_1 + \frac{\chi_2}{1+(w\tau)^2} \\ \varepsilon_2 &= \frac{\chi_2}{1+(w\tau)^2} \end{aligned}\right\} \quad \textbf{(14-II)}$$

ويقتضي وجود هذا الثابت المركب أن تتضمن الإزاحة العزلية الكهربائية D مركبة وهي $\varepsilon_1 E$ متفقة في الطور مع المجال E ومركبة أخرى $\varepsilon_2 E$ متخلفة عن المجال بزاوية مقدارها 90^0. وعندما يكون التردد مساو للصفر, فإن ثابت العزل يصبح كمية حقيقية ويساوي :

$$\varepsilon_0 = 1 + \chi_1 + \chi_2 \quad \textbf{(15-II)}$$

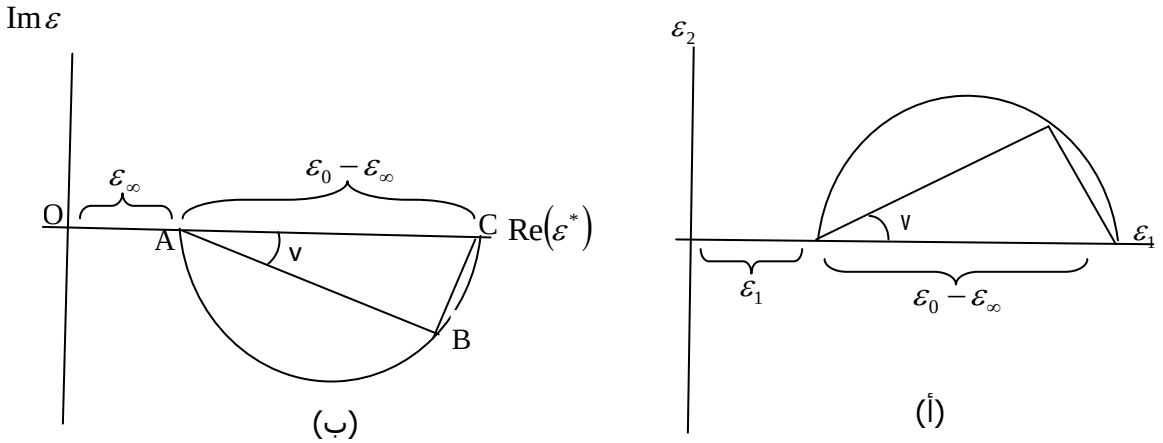
أما عند الترددات العالية حيث تقترب (w) من اللانهاية, فانه يعود ليصبح حقيقيا مرة اخرى ويساوي:

$$\varepsilon_\infty = 1 + \chi_1 \quad \textbf{(16-II)}$$

و بإستخدام هاتين الكميتين, فان المعادلة (12-II) تصبح :

$$\varepsilon_r^* = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty}{1+iw\tau} \quad \textbf{(17-II)}$$

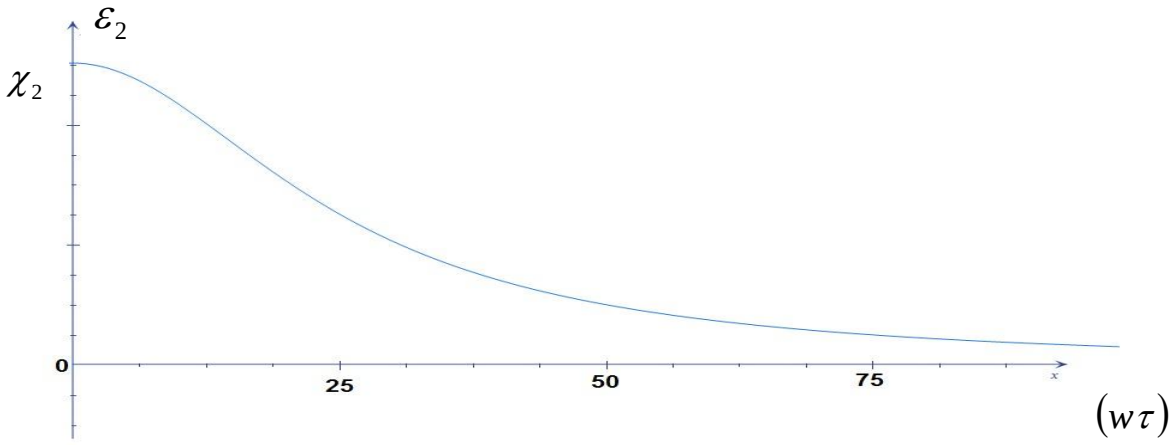
المعادلة (13-II) يمكن أن تتخذ شكلا أخر, وذلك برسم الكمية المركبة ε^* في المخطط البياني ل "ارجاند" شكل(1-II) والكمية الحقيقية ε_∞ يمثلها الخط OA بينما الكمية $(\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty)$ فيمثلها الخط AC أما الخط AB فهو نصف قطر الدائرة, و θ هي تلك الزاوية التي يرتبط ظلها $\tan\theta$ بالمقدار $w\tau$ أي أنه إذا علم تردد المجال w أمكن تعيين زمن الاسترخاء τ و إذا عكست المحاور فأننا نحصل على الشكل (II-1) الأكثر شيوعا[2]:



الشكل (1-II): (أ)مخطط ارجاند لثابت العزل المركب ε^*

(ب) التمثيل المعتاد للمقدار $\varepsilon_1 = \mathrm{Re}\,\varepsilon^*$ (الجزء الحقيقي من ε^*)و $\varepsilon_2 = \mathrm{Im}\,\varepsilon^*$ (الجزء التخيلي من ε^*)

أن تغير كل من (ε_1)و (ε_2)مع تغير التردد يعطى بالمعادلة (14-II) ويبين الشكل (2-II) بيان تغير الدالة , حيث نقوم برسم الدالة $\varepsilon_2 = \frac{\chi_2}{1+(w\tau)^2}$.[2]:



الشكل(2-II): دالة تغير ε_2 بدلالة$(w\tau)$

نلاحظ أن الفقد العزلي يكون معتبرا لما $0\langle w\tau\langle 100$, أما خارج هذا المجال فيكون الفقد العزلي صغيرا جدا.

5. ثابت العزل وزاوية الفقد:

هناك صور اخرى للفقد العزلي تسمى الامتصاص الرنيني وينجم عن الاستقطاب الإلكتروني و الأيوني حيث يبلغ الفقد العزلي أقصاه حين يقترب تردد الحقل المطبق من تردد الإلكترونات حول الذرة $(10^{15}Hz)$ أو من تردد الفونونات (الحركة الإهتزازية للأيونات) $(\approx 10^{13}Hz)$ إي من مجال الأشعة تحت الحمراء. و تعطى الطاقة المبددة في وحدة الحجم والزمن بالعلاقة التالية[3] :

$$U = \mathrm{Re}\left(J.E^*\right) \qquad \textbf{(18-II)}$$

حيث Re :تعبر عن الجزء الحقيقي

$$U = \mathrm{Re}\left(J.E^*\right)$$

$$E^* = E_0 e^{iwt} \qquad \textbf{(18-II)}$$

و J : كثافة التيار

$$J = \delta E^* + \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$J = \delta E^* + \frac{\partial}{\partial t}\left(\varepsilon_r^* \varepsilon_0 E^*\right)$$

$$J = \left(\delta + iw\varepsilon_r^* \varepsilon_0\right)E^* \qquad \textbf{(19-II)}$$

في حالة العازل المثالي يكون لدينا $\delta = 0$

$$\varepsilon_r^* = \varepsilon_r^1 - i\varepsilon_r^2$$

$$J = iw\varepsilon_0(\varepsilon_r^1 - i\varepsilon_r^2)E^*$$

$$U = \mathrm{Re}\left(J.E^*\right) \Rightarrow U = \varepsilon_0 w \varepsilon_r^2 E^*.E^*$$

$$U = \varepsilon_0 \varepsilon_r^1 w \frac{\varepsilon_r^2}{\varepsilon_r^1} E^{*2}$$

$$= \varepsilon_0 w \varepsilon_r^1 E^{*2} tg(\varphi) \qquad \textbf{(20-II)}$$

حيث: $tg(\varphi) = \frac{\varepsilon_r^2}{\varepsilon_r^1}$.

φ :تسمى زاوية الفقد .

$tg(\varphi)$: يسمى معامل الفقد .

6.الاستقطابية وثابت العزل المركب :(نظرة مجهرية)

6 1-الاستقطابية الالكترونية وثابت العزل:

عند تطبيق مجال خارجي على مادة عازلة متعادلة كهربائيا , فان الالكترونات تنزاح عن النواة مما يتيح ظهور لعزوم ثنائيات القطب ...ومن ثمة ظهور الاستقطاب الالكتروني.

وتعود الالكترونات الى مواقعها السابقة عند ازالة المجال المطبق , ويختفي الاستقطاب والزمن اللازم لظهور الاستقطاب في هذه الحالة يقع في حدود $\left(10^{-14} - 10^{-15}s\right)$. وتزداد هذه الاستقطابية بزيادة عدد الإلكترونات في الذرة, وكذلك بزيادة قطر المدارات الإلكترونية حول النواة. وتعتمد الإستقطابية الإلكترونية α_e على تردد المجال الكهربائي على النحو التالي[2]:

$$\alpha_e = e^2 \Big/ \left[m\left(w_0^2 - w^2\right)\right] \qquad \textbf{(21-II)}$$

حيث :

w_0 :هو التردد الزاوي الطبيعي للاكترون

m : هي كتلة الالكترون

w :التردد الزاوي للمجال الكهربي

والاستقطابية الالكترونية ضعيفة الاعتماد على درجة الحرارة وتغيرها.

6 2.الاستقطابية الأيونية وثابت العزل :

ترتبط الاستقطابية بإزاحة الإيونات بالنسبة لبعضها البعض, وتشيع في البلورات الأيونية أو شبه الأيونية , وهي موجودة جنبا ألى جنب مع الاستقطابية الإلكترونية وتكاد قيمتها تصل ألى قيمة الاستقطابية الإلكترونية غير أن التردد الطبيعي للاهتزاز الأيونات في الشبكة يتضمن الكتلة المختزلة للجزيء(M) وهي[2]:

$$\frac{1}{M} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \qquad \textbf{(22-II)}$$

حيث: $\frac{1}{m_1}$ و $\frac{1}{m_2}$ هما مقلوبا كتلتي كل ايون على حدى والتردد الطبيعي هو (W_0) حيث:

$$W_0 = \sqrt{\beta \Big/ M} \qquad \textbf{(23-II)}$$

حيث β هو ثابت القوة بين الايونين-السالب والموجب

والزمن اللازم لظهور الاستقطابية الأيونية يصل الى $10^{-13}s$, أو ما يقابل التردد الواقع في المنطقة دون الحمراء من الطيف, وإذا اعتبرنا إن الأيونات قابلة للحركة بفعل الحقل الموضعي $\vec{E}_{loc}$ لتستقطب بدون تأثير توزع شحنتها الإلكترونية الأيونية أي [4]:

$$\alpha_i = \alpha_{el}^{+} + \alpha_{el}^{-}$$

$$\alpha_i = \frac{e^2 \big/ \varepsilon_0 u}{w_0^2 - w^2} \qquad \textbf{(24-II)}$$

حيث α_{el}^{+} و α_{el}^{-} هما الاستقطابية الذرية لأيونان السالبة والموجب على التوالي.

وتصح هذه المعادلة للموجات الطويلة جدا وتوضح النتيجة في علاقة كلاوزيوس –موسوتي نجد الشفافية الكهربائية للبلورات الأيونية[4]:

$$\frac{\varepsilon(w)-1}{\varepsilon(w)+2} = \frac{1}{3v}\left(\alpha_{\text{el}}^{+} + \alpha_{el}^{-} + \frac{e^2 \big/ \varepsilon_0 u}{w_0^2 - w^2} \right) \qquad \textbf{(25-II)}$$

6 3الاستقطابية التوجيهية وثابت العزل:

هذه إحدى صور الاسترخاء لثنائيات الأقطاب وتنشأ عند تغيير اتجاه ثنائيات القطب الحرة أو شبه الحرة داخل العوازل القطبية. المعادلة (I-16) الاستقطاب التوجيهي يعطى بالمعادلة التالية[4]:

$$P = \mathrm{N}\, u < \cos(\theta) >$$

وإذا استعنا بتوزيع (ماكسويل – بولتزمان) فإننا نجد [2]:

$$< \cos(\theta) > = \frac{\int_{\Omega} e^{-U/kT} \cos(\theta) d\Omega}{\int_{\Omega} e^{-U/kT} d\Omega} \qquad \textbf{(26-II)}$$

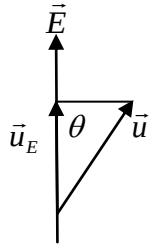
$$d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi r^2 dr$$ حيث :

حيث : $d\Omega$ عنصر من زاوية فراغية .

بالتعويض نجد :

$$< \cos(\theta) > = \frac{\int_{\Omega} e^{-U/kT} \cos(\theta) d\Omega}{\int_{\Omega} e^{-U/kT} d\Omega} \Rightarrow < \cos(\theta) > = \frac{\int_0^{\pi} \cos\theta . e^{-U/kT} \sin\theta d\theta . \int_0^{2\pi} d\Omega}{\int_0^{\pi} e^{-U/kT} . \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi} d\Omega} \qquad \textbf{(27-II)}$$

ومن الشكل(3-II) $U = uE\cos\theta$ فإننا نجد:



الشكل(3-II) : رسم توضيحي للاسقطاب التوجيهي.

$$< \cos\theta >= \frac{\int_0^{\pi} \cos\theta . e^{-uE\cos\theta/kT} \sin\theta}{\int_0^{\pi} e^{-uE\cos\theta/kT} \sin\theta d\theta} d\theta \qquad \textbf{(28-II)}$$

إذا اعتبرنا: $x = \cos\theta$

$$< \cos\theta >= \frac{\int_{-1}^{1} x e^{\ell x} dx}{\int_{-1}^{1} e^{\ell x} dx} \qquad \textbf{(29-II)}$$

وبعد المكاملة نجد :

$$< \cos\theta >= \frac{e^{\ell} + e^{-\ell}}{e^{\ell} - e^{-\ell}} - \frac{1}{\ell}$$

$$< \cos\theta >= \coth\ell - \frac{1}{\ell}$$

$$< \cos(\theta) >= \coth(\ell) - 1/\ell \equiv L(\ell) \qquad \textbf{(30-II)}$$

حيث $\ell = \frac{Nu\ E}{3kT}$, اما الدالة $L(\ell)$ فتسمى دالة (لانجيفن)

لدينا: $P = Nu < \cos(\theta) >$

ويصبح :

$$P = Nu(\coth\ell - \frac{1}{\ell}) \qquad \textbf{(31-II)}$$

و باعتبار أن $uE << kT$ وحسب نشر التالي:

$$\coth\ell = \ell^{-1} + \frac{\ell}{3} + ... \qquad \textbf{(32-II)}$$

ومنه :

$$P = \left(Nu^2/3kT\right)\varepsilon_0 E \qquad \textbf{(33-II)}$$

وتكون الاستقطابية في هذه الحالة α_{or} [2] :

$$\alpha_{or} = \left(Nu^2/3kt\right)\varepsilon_0 \qquad \textbf{(34-II)}$$

7.قرينة الانكسار وثابت العزل :

تعرف قرينة الإنكسار على أنها هي النسبة بين سرعة إنتشار الضوء في الفراغ C على سرعته في انتشاره في العازل V [6]:

$$n = \frac{C}{V} \quad \textbf{(35-II)}$$

ومن جهة أخرى :

$$C = \sqrt{1/\varepsilon_0 \mu_0} \quad \textbf{(36-II)}$$

ε_0 : السماحية الكهربائية للفراغ.

μ_0 : النفاذية المغناطسية للفراغ.

$$V = \sqrt{1/\varepsilon\mu} \quad \textbf{(37-II)}$$

ε : السماحية الكهربائية للعازل.

μ : النفاذية المغناطسية للعازل.

يمكن وضع $\mu = \mu_0$ لان العوازل عموما غير ممغنطة ومنه يمكن كتابة [6]:

$$n = \frac{C}{V} = \sqrt{\varepsilon/\varepsilon_0} = \sqrt{\varepsilon_r} \quad \textbf{(38-II)}$$

ومنه:

$$n = \sqrt{1+\chi} \quad \textbf{(39-II)}$$

و اذا كان ε_r مركبا فان قرينة الانكسار سوف تكون مركبة أيضا ونكتب [1]:

$$\varepsilon_r^* = 1 + \chi^*$$

$$\tilde{n} = n + ik \quad \textbf{(40-II)}$$

حيث :

n : المركبة الحقيقية لقرينة الإنكسار.

k : المركبة التخيلية لقرينة الإنكسار.

وفي حالة عامة إذا كانت n حقيقية صرفة فالمادة شفافة أما إذا كانت n تخيلية صرفة فالمادة عاتمة تماما و أما إذا كانت n مركبة فالمادة تحمل الصفتين معا.

خلاصة عامة :

تعتبر الأجسام العازلة مادة أساسية في الصناعات الحديثة حيث تدخل في جل الأجهزة الإلكترونية والكهربائية ويؤدي التعرف عليها أكثر إلى ترشيد استخدامها في جميع المجالات والاستفادة منها.

حيث قمنا في بحثنا هذا بدراسة الخصائص العزلية للجسم الصلب حيث تناولنا في الفصل الأول دراسة موجزة وضحنا من خلالها بعث المفاهيم كتعريف العازل والاستقطاب وتعرفنا على بعض المقادير مثل السماحية وثابت العزل والإزاحة العزلية والقابلية الكهربائية وثنائي القطب وأنواع الاستقطاب من إلكتروني وأيوني وتوجيهي وتناولنا في الفصل الثاني تفسيرا لبعض الظواهر كالاسقطابية التى درسناها المستوى المجهري بأنواعها الإلكترونية والأيونية والتوجيهية وتعرفنا أيضا على المقادير المرتبطة بهذه الظواهر كثابت العزل المركب والقابلية الكهربائية لمركبة .

وحاولنا من خلال عنوننا الأخير إيجاد علاقة تربط بين الخصائص البصرية بالخصائص العزلية من خلال ربط ثابت العزل المركب بقرينة الإنكسار المركبة

المراجع:

[1] د- عزيز عقيل داخل مقدمة في فيزياء الجسم الصلب(الجزء الثاني), ديوان المطبوعات الجامعية, جامعة قسنطينة.06-1988

[2] أ- محمد أمين سليمان,أ-أحمد فؤاد باشا,أ-شريف أحمد خيري, فيزياء الجوامد: الطبعة الاولى 2000, دار الفكر العربي

[3]مبروك غوقالي :محاظرات في مقياس خصائص الأجسام الصلبة جامعة الوادي , دروس 2014/2013

[4] الفيزياء للصف الثالثة ثانوي الفصل الدراسي 2 قسم العلوم الطبيعية, وزارة التربية السعودية, مطبعة العبيكات 2011

[5]نوية محدادي , السماحية الكهربائية بالحقول الكهرومغناطسية وترددداتها في الأوساط العازلة, مذكرة تخرج لنيل ماستر اكاديمي جامعة قاصدي مرباح –ورقلة2011

[6] د- عبد الفتاح الشاذلي- فيزياء الجوامد –جامعة عين شمس –الجزء الثاني –الدار العربية للنشر والتوزيع

الملخص:

نظرا لقلة المراجع في موضوع بحثنا المتمثل في الخصائص العزلية للأجسام الصلبة وتشتت المعلومات المرتبطة به حاولنا التطرق في هذا البحث إلى بسط المفاهيم الأساسية التالية:

حيث في البداية عرفنا العازل وذكرنا المعاملات الفيزيائية المتعلقة به :السماحية الكهربائية والإزاحة العزلية وثابت العزل والقابلية الكهربائية وتطرقنا إلى تعريف ثنائي القطب الكهربائي وتعريف الاستقطاب حيث درسناه في نظرتيه المجهرية والجهرية وكذالك درسنا أنواعه :الاستقطاب الإلكتروني و الاستقطاب الأيوني و الاستقطاب التوجيهي. ثم درسنا تأثير حقل كهربائي متناوب على ثابت العزل حيث كان ثابت العزل مركبا وأوجدنا علاقته بالفقد العزلي وبزاوية الفقد . ودرسنا علاقة ثابت العزل المركب بالاستقطابية بأنواعها الثلاثة :الالكترونية والأيونية والتوجيهية .من خلال النظرة المجهرية.

وفي الجزء الاخير تعرفنا على علاقة ثابت العزل بقرينة الإنكسار.

الكلمات المفتاحية:

ثابت العزل - الاستقطاب - ثنائي القطب الكهربائي - القابلية الكهربائية -السماحية الكهربائية - قرينة الإنكسار

Abstract:

Due to the lack of references in theme of our research that is on the insulation properties of solids and the dispersion of information associated with it, we tried in this research to simplify the following concepts :

Firstly, we defined the insulator and mentioned the physical coefficients related with it: permittivity electric, displacement of Insulation, the dielectric constant, the electrical susceptibility and we dealt with the definition of electric dipole and the definition of polarization, where we studied it in two viewpoints; microscopic and macro-scopic. Also, we studied the polarization types: electronic polarization, ionic polarization and oriented polarization. Then ; we studied the effect of an alternating electric field on the dielectric constant where it was composite and we gave its relation with insulation loss and the angle of loss. Then, we studied the relation between the composite dielectric constant and polarization with its three types: electronic and ionic and oriented, through microscopic viewpoint.

Finally, we identify the relation between of dielectric constant and refractive index.

Keywords:

Dielectric constant - polarization - electric dipole - electric susceptibility - electric permittivity - the refractive index.