الجامعة المستنصرية
كلية العلوم
قسم الفيزياء

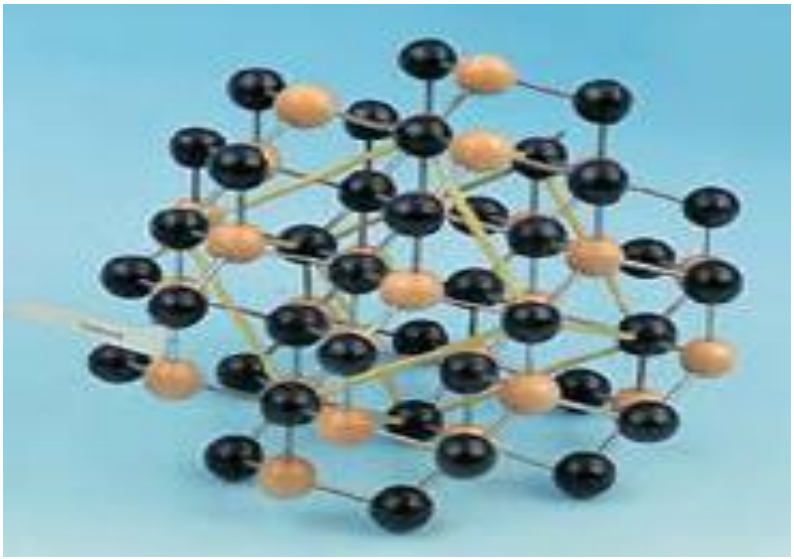
Al-Mustansiriyah University
College of Science
Department of Physics

مختبرفيزياء الحالة الصلبة

المرحلة الرابعة

العام الدراسي ٢٠١٧-٢٠١٨

الكورس الاول



مقدمة :-

التجريب هو لب العلوم وجوهرها ونظرا لأهمية المختبرات والحرص على تفعيل دور المختبر بما يتوافق مع النهضة العلمية الحديثة من خلال اشراك الطلاب في اجراء التجارب العملية بأنفسهم واستخدام الأجهزة والأدوات المختبرية لأن التجربة والملاحظة لها اهمية كبيرة في تنمية مدارك الطلاب وقدارتهم الابداعية ودرجة استيعابهم للمعلومات وامكانية الفهم العميق للقوانين النظرية .

يعد مختبر فيزياء الحالة الصلبة واحدا من المختبرات المهمة في اعداد طالب الدراسة الاولية لنيل درجة البكلوريوس في الفيزياء ، فمن خلال هذا المختبر يتعرف الطالب على طبيعة التركيب البلوري للمواد الصلبة وانواع التراكيب البلورية وطرق دراستها باستخدام الاشعة السينية . كما يتعرف الطالب على احد اهم انواع المواد الصلبة وهي المواد شبه الموصلة وخواصها وتطبيقاتها العملية حيث يتم الربط بين الدروس النظرية والتجارب العملية بما يحقق فهما واسعا للطالب يمكنه مستقبلا من العمل في المجالات التطبيقية المختلفة .

الرؤية :-

العمل على تحقيق رؤية الجامعة بأن تكون في مقدمة الجامعات المرموقة في المجالات البحثية والتعليمية .

الاهداف :-

١. تنمية روح الفريق في الطلاب وذلك من خلال العمل كمجموعات واداء التجارب والتقارير الجماعية .
٢. تأهيل الدارسين وتطوير الكفاءات للدراسات العليا والبحوث العملية المفيدة نظريا وتطبيقيا وذلك بأجراء التجارب المتقدمة .

<u>تجربة رقم (١)</u>:- دراسة الشبائك البلوريه وتحديد معلماتها الاساسية

<u>الاجهزة المستخدمة</u>:- نماذج لشبائك بلورية مختلفة

<u>الاساس النظري</u>:- تتكون البلورة من عدد كبير جدا من وحدات او خلايا متشابهة على شكل متوازي السطوح تكرر نفسها بصورة دورية منتظمة . ان دراسة التركيب البلوري يعني معرفة شكل ومواصفات خلية الوحدة للبلورة وما تحويه هذه الخلية من ذرات من حيث النوع والعدد والموقع وطريقة ارتباط بعضها مع بعض .

يدرس التركيب البلوري بدلالة بنية او شبيكة فضائية (Space Lattice) دورية واحدة مع مجموعة من الذرات ترافق كل نقطة من نقاط الشبيكة الفضائية بصورة تماثلية وتدعى هذه المجموعة من الذرات بالاساس (Basis) وهذا الاساس يعيد نفسه في الفضاء ليكون البلورة ويمكن التعبير عن ذلك بعلاقة رياضية بسيطة هي:

شبيكة فضائية + أساس = تركيب بلوري

أن فكرة الشبيكة الفضائية هي فكرة رياضية مجردة ويقصد بها مجموعة من النقاط المرتبة بنظام ما وتعيد نفسها بصورة دورية في الفضاء. هذا يعني ان اي تجمع للنقاط حول نقطة ما من نقاط الشبيكة يكون مماثلا للتجمع حول اي نقطة آخرى من نقاط الشبيكة تسمى الشبيكة الفضائية عادة بالشبيكة البرافيسية نسبة الى العالم برافيس (Bravais Lattice).

تختلف شبائك برافس الاربع عشر عن بعضها البعض من حيث شكل وحدة الخلية وانواع التماثل التي تمتلكها وهي مقسمة الى سبعة أنظمة وابسط انواع هذه الشبائك هي الشبيكة الاولية او المكعب البسيط. يعد النظام المكعب من ابسط انواع الانظمة البلورية ويمتلك ثلاثة انواع من الشبائك البرافزية وهذا الانظمة الثلاثة هي كما يلي :

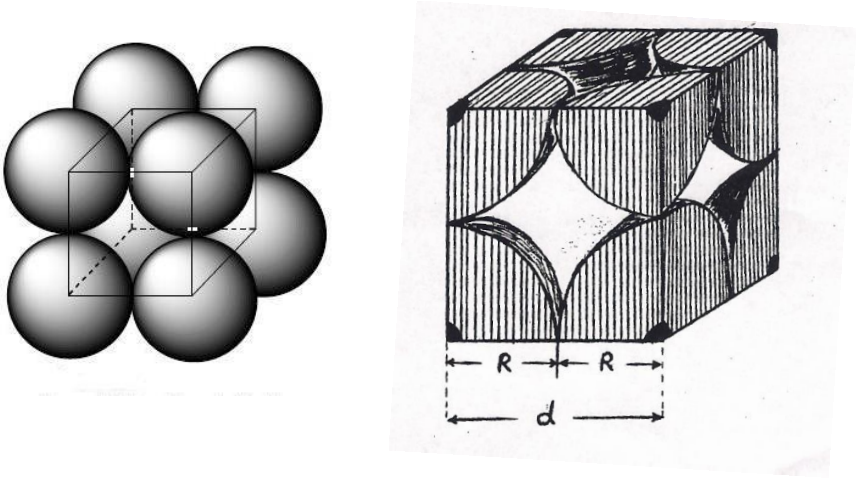
١- النظام المكعب البسيط Simple Cubic (SC)

٢- النظام المكعب متمركز الجسم Body Centered Cubic (BCC)

٣- النظام المكعب متمركز الاوجه Face Centered Cubic (FCC)

اولا:- النظام المكعب البسيط

في هذا النوع تكون الشبيكة الفضائية على شكل مكعب ويكون في كل ركن من اركان اي خلية نقطة شبيكة واحدة . أن النقطة الواحدة الموجودة عند كل ركن تكون مشتركة مع ثمانية خلايا متلاصقة وعليه تكون حصة الخلية الواحدة من هذه النقطة هي (١/٨) نقطة فقط. لذلك تحتوي كل خلية وحدة اساسية اولية نقطة شبيكة واحدة فقط. يبين الشكل (١) خلية المكعب البسيط



الشكل (١) خلية المكعب البسيط.حيث a: طول ضلع الخلية، R: نصف قطر الذرة.

المطلوب:-

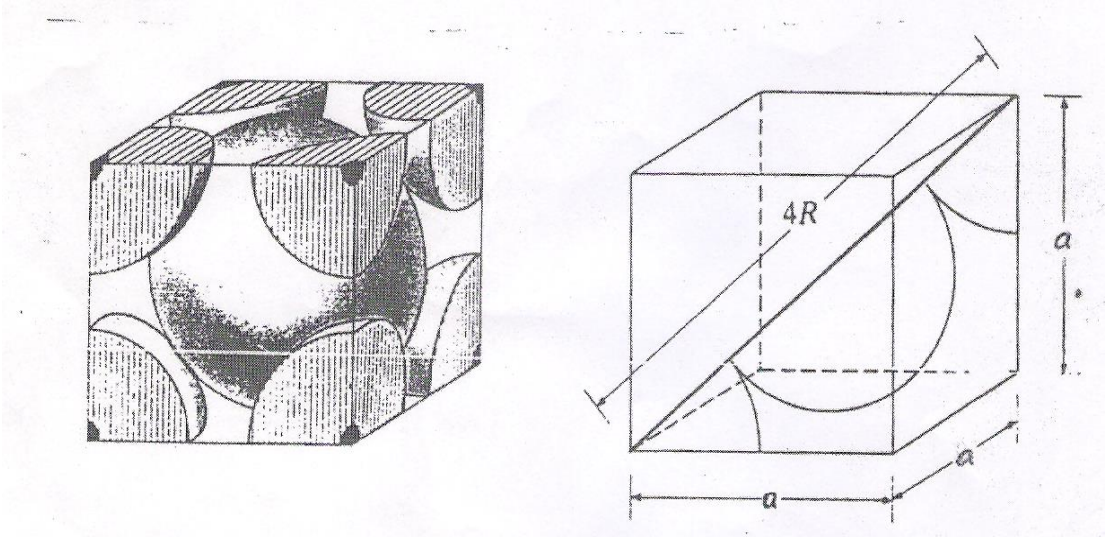
١. عدد النقاط لوحدة الخلية
٢. عدد اقرب جوار
٣. مسافة أقرب جوار
٤. عامل الملئ Full factor (F.F)

يعرف عامل الملئ (F.F) او الرص بانه اكبر نسبة من الحجم الذي يمكن ان تشغله الذرات الموجودة في خلية الوحدة ويمكن حسابه من العلاقة التالية:

معامل الملئ = (حجم الذرة الواحدة * عدد الذرات في وحدة الخلية)/ حجم الخلية

ثانيا:- المكعب متمركز الجسم

في هذا النوع تكون الشبيكة الفضائية على شكل مكعب ويكون في كل ركن من اركان اي خلية نقطة شبيكة واحدة بالاضافة الى نقطة في المركز . وكما في حالة المكعب البسيط فالنقطة الواحدة الموجودة عند كل ركن تكون مشتركة مع ثمانية خلايا متلاصقة وعليه تكون حصة الخلية الواحدة من هذه النقطة هي (٨/١) نقطة فقط. لذلك تحتوي كل خلية وحدة اساسية اولية على نقطتي شبيكة و يبين الشكل (٢) خلية المكعب المتمركز الجسم.



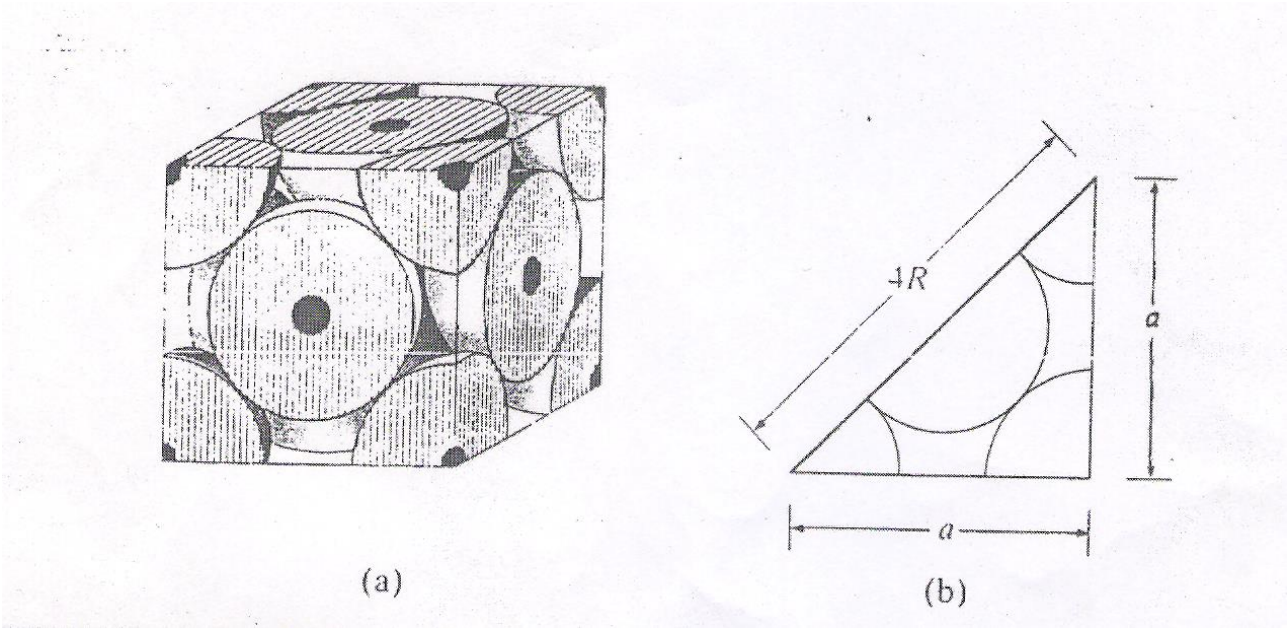
الشكل (٢) خلية المكعب متمركز الجسم

المطلوب :- ايجاد كل من

١. عدد الذرات لوحدة الخلية
٢. عدد اقرب جوار
٣. مسافة اقرب جوار
٤. عامل الملئ

ثالثا:- المكعب متمركز الاوجه

في هذا النوع تكون الشبيكة الفضائية على شكل مكعب ويكون في كل ركن من اركان اي خلية نقطة شبيكة واحدة بالاضافة الى نقطة في مركز كل وجه . وكما في حالة المكعب البسيط فالنقطة الواحدة الموجودة عند كل ركن تكون مشتركة مع ثمانية خلايا متلاصقة وعليه تكون حصة الخلية الواحدة من هذه النقطة هي (٨/١) نقطة فقط،امابالنسبة للنقطة الموجودة على كل وجه فتكون مشتركة مع خليتين متلاصقتين فتكون حصة كل خليه منها (٢/١)وعليه تحتوي كل خلية وحدة اساسية اولية على اربع نقاط شبيكة و يبين الشكل (٣) خلية المكعب المتمركزالاوجه.



الشكل (٣) خلية المكعب متمركز الاوجه

المطلوب :- ايجاد كل من

١. عدد الذرات لوحدة الخلية
٢. عدد اقرب جوار
٣. مسافة اقرب جوار
٤. عامل الملئ

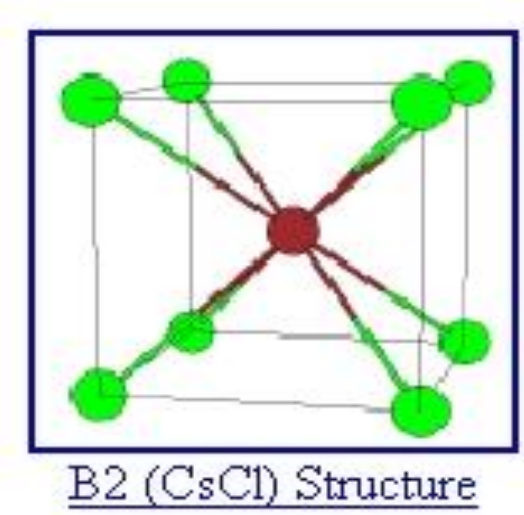
<u>تجربة رقم (٢)</u>:- دراسة النظام البلوري لكلوريد السيزيوم وكلوريد الصوديوم

<u>الاجهزة المستخدمة</u>:- نموذج لكل من بلورة كلوريد السيزيوم وكلوريد الصوديوم

<u>الاساس النظري</u>:- ذكرنا سابقا ان دراسة التركيب البلوري تتطلب معرفة مواصفات الشبيكة والاساس المرافق لكل نقطة من نقاطها. والان نحاول تطبيق ذلك على بعض التراكيب البلوريه البسيطه

اولا:- تركيب كلوريد السيزيوم CsCl .

ان شبيكة برافس لكلوريد السيزيوم هي مكعب متمركز الجسم (BCC) طول ضلعها(a=4.11 Å) بينما الاساس مكون من ايونين هما ايون السيزيوم (Cs^+) وايون الكلور (Cl^-) المسافة بينهما بقدر نصف قطر خلية الوحدة المكعبة. يحتل ايون الكلور مركز المكعب ويحاط بثمانية ايونات موجبة من السيزيوم ووحدة الخلية تحوي جزيئة واحدة من كلوريد السيزيوم كما مبين في الشكل (١).



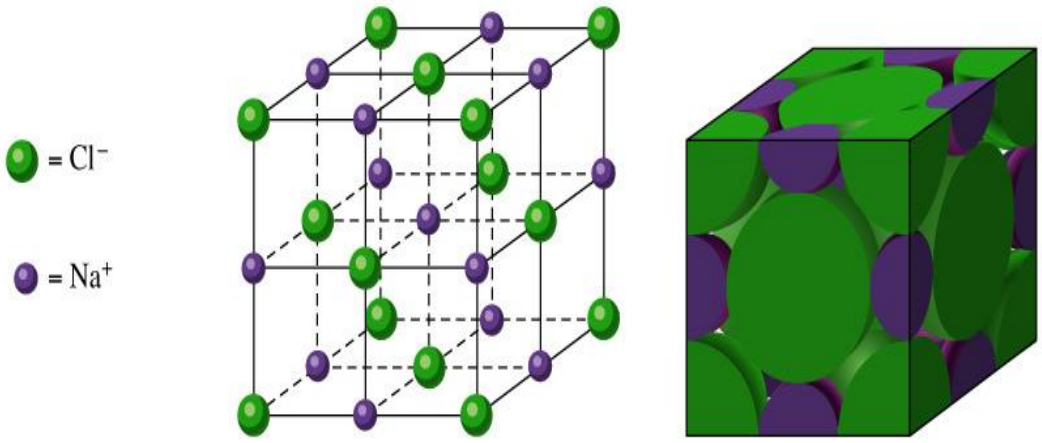
الشكل (١) : التركيب البلوري لكلوريد السيزيوم.

ثانيا:- تركيب كلوريد الصوديوم NaCl.

ان شبيكة برافس لبلورة كلوريد الصوديوم هي مكعب متمركز الوجه (FCC) طول ضلعها (a=5.63Å) . ان الخلية الواحدة تحوي على اربع نقاط شبيكة يرافق كل نقطة منها اساس مكون من ايونين هما الصوديوم(Na^+) والاخر الكلور (Cl^-) تفصلهما مسافة قدرها نصف قطر خلية الوحدة المكعبة ولذلك تضم خلية الوحدة

الاعتيادية اربعة ايونات صوديوم واربعة ايونات كلور اي اربعة جزيئات من كلوريد الصوديوم.

تحتل ايونات الصوديوم (Na^+) رؤوس المكعب ومركز وجوهه في حين تحتل ايونات الكلور (Cl^-) منتصفات الاضلاع ومركز المكعب او العكس ويمكن تصور البلورة على انها مؤلفة من شبيكتين من النوع FCC احدهما شبكة الصوديوم والاخرى شبكة الكلور وكل واحدة منهما مزاحة عن الاخرى بمقدار(a=1/2) كما مبين في الشكل(٢).



الشكل (٢) التركيب البلوري لكلوريد الصوديوم

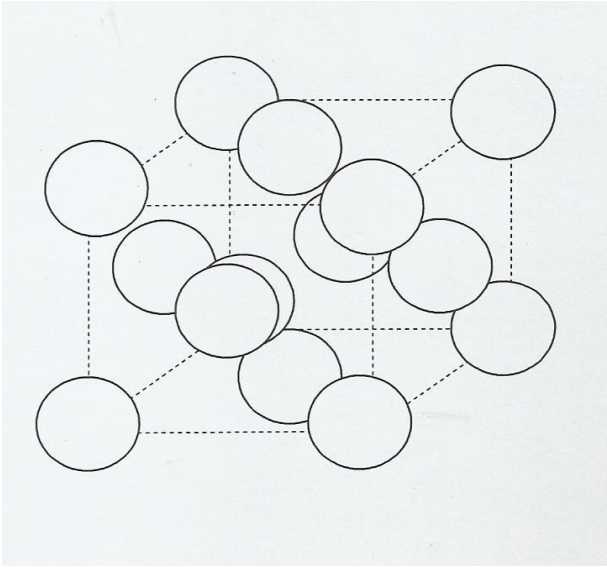
المطلوب :-

١. عدد الذرات لوحدة الخلية
٢. مسافة اقرب جوار
٣. عدد اقرب جوار
٤. عامل الملئ

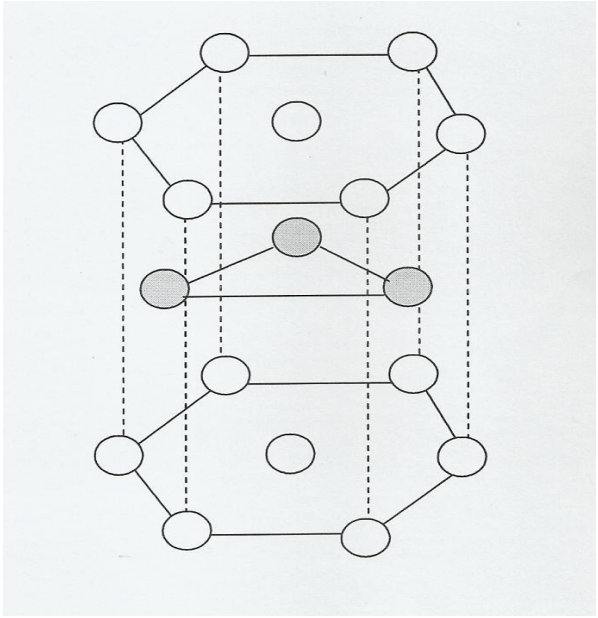
تجربة رقم (٣) :- دراسة التركيب السداسي المقفل الملئ لبلورة المغنيسيوم

الاجهزة المستخدمة :- نموذج لبلورة المغنيسيوم

الاساس النظري :- ان الطريقة التي ترص بها الجزيئات في البلورات الجزيئية يعتمد على اشكال الجزيئات ومواقع عزوم ذات القطبين الكهربائية (ان وجدت) فيها. وابسط حالة لها عندما تكون الجزيئات البلورية ذات شكل كروي او مقارب للكروي والعزوم ذات القطبين تساوي صفرا او صغيرة جدا، وعند ذلك يمكن ان يكون التركيب البلوري مكعب متماسك (cubic – closed packed) ويرمز له (ccp) وهو عبارة عن متمركز اوجه كما في الشكل (١) او سداسي متماسك (hexagonal –closed packed) ويرمز له بالرمز (hcp) كما في الشكل (٢) ومن الامثلة على تركيب مكعب متماسك بلورات (Al, CH_4,NH_4,HBr_3,HCl,Ar,Cu,Ag) في حين ان امثلة التركيب السداسي المتماسك هي بلورات (Cd,Zn,Mg,Be,SiO_2,N_2,O_2,H_2)

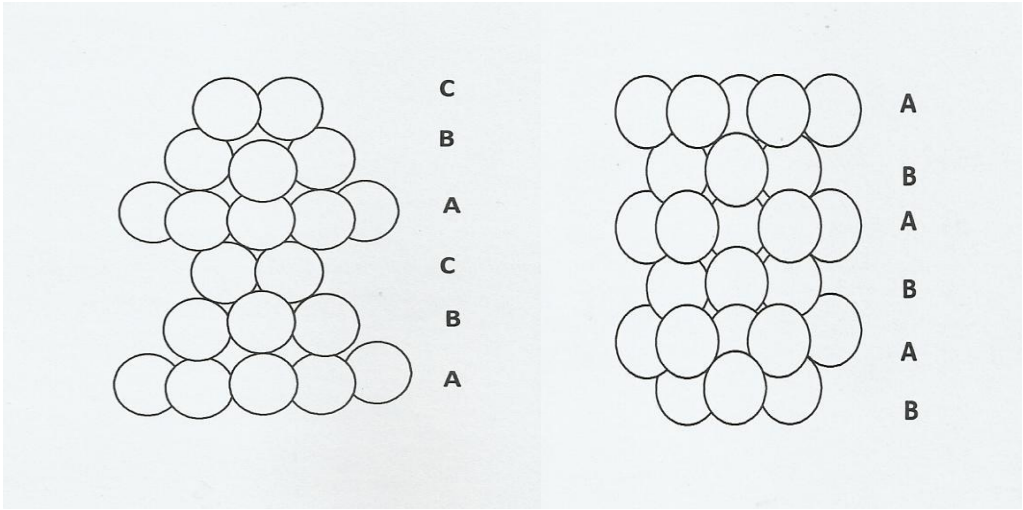


الشكل (١)



الشكل (٢)

ان عامل الملئ لكل من (ccp) و (hcp) يساوي (0.74) وهي اكبر قيمة لعامل الملئ يمكن الحصول عليها لأي تركيب بلوري. ان الطريقة الوحيدة التي يمكن ان تحشر فيها كرات متماثلة بصورة متماسكة وباقل فراغ ممكن بينها في طبقات ثنائية الابعاد موضحة بالشكل (٣)حيث ان كل كرة تتلامس مع ست كرات اخرى. فاذا كومت او كدست طبقات من هذه الكرات الواحدة فوق الاخرى فسوف نحصل على كرات متماسكة او مقفلة الملئ في فضاء ثلاثي الابعاد.



الشكل (٣)

افترض ان (A) هي اوطأ او اول طبقة من الكرات ، ان الطبقة التي تليها او الطبقة الثانية (B) لا تكون مستعدة للانطباق والثبوت فوق الطبقة (A) الا اذا كانت مراكز الطبقة (B) عمودية على الفراغات الموجودة بين كرات الطبقة (A). اما الطبقة الثالثة (C) من الكرات فتكون مستعدة للثبوت فوق الطبقة (B) باحدى طريقتين :الطريقة الاولى هي وضع مراكز كرات الطبقة (C) عمودية فوق مراكز الطبقة (A) ، اي ان الطبقة (C) هي اعادة للطبقة (A) وهكذا تستمر العملية بوضع مراكز كرات الطبقة الرابعة عمودية فوق مراكز الطبقة (B) وكأن الطبقة الرابعة هي اعادة للطبقة (B) وهكذا تكرر العملية اي بترتيب(.....ABABAB) وبذلك نحصل على تركيب (hcp). اما الطريقة الثانية لوضع الطبقة (C) فوق الطبقة (B) فهي وضع مراكز كرات الطبقة (C) عمودية فوق الفجوات المتماسة والمتجاورة في كلا الطبقتين (AوB) وهكذا نستمر بوضع مراكز كرات الطبقة الرابعة عمودية فوق مراكز كرات الطبقة الاولى ونستمر بترتيب الطبقات بشكل (.....ABCABC) وبذلك نحصل على تركيب مكعب متماسك (ccp) . ان الطبقة (A) تمثل سطح القاعدة لتركيب (hcp) بينما تمثل السطح (111) لتركيب (ccp) . في كلا التركيبين فانه يوجد العدد نفسه من الذرات القريبة جدا من ذرة ما ، وان كثير من المعادن يتغير تركيبها من احد هذين التركيبين الى الاخر بدرجات حرارة معينة . وفي النظام السداسي المقفل فان قيم المتجهات والزوايا التي بينها تكون كما يلي :

$(a=b\neq c\ ,\ \alpha=\beta=90^{o},\ \gamma=120^{o})$

المطلوب :-

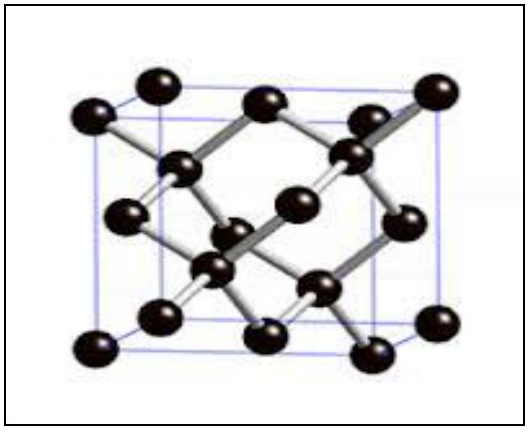
١. ايجاد عدد النقاط لوحدة الخلية
٢. ايجاد عدد اقرب جوار
٣. ايجاد مسافة اقرب جوار
٤. ايجاد عامل الملئ (F.F) والذي يساوي (عدد الذرات في وحدة الخلية * حجم الذرة الواحدة)/ حجم وحدة الخلية

تجربة رقم (٤) :- دراسة النظام البلوري للماس والكرافيت

الغرض من التجربة :- ايجاد معلمات التركيب البلوري

الاساس النظري :-

١. **تركيب الماس(Diamond structure)** : ان شبيكة برافس لبلورة الماس هي مكعب متمركز الاوجه (FCC) ، طول ضلعها ($3.56A^o$) والاساس مكون من ذرتين متشابهتين من الكاربون (C) المسافة بينهما بقدر ($\frac{1}{4}$) قطر خلية الوحدة المكعبة اي اذا كانت احدى ذرتي الاساس في الموقع (000) فأن ذرة الاساس الثانية تكون في الموقع ($\frac{1}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{4}$) ،وبموجب ذلك تحتوي الخلية المكعبة الاعتيادية الواحدة (8) ذرات كاربون موزعة على المواقع التالية: واحدة في احدى اركان الخلية (000) وثلاث في مركزاوجه الخلية ($0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$)، ($\frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}$) ، ($\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0$) و اربعة ذرات داخل الخلية اثنان قريبتان من قاعدتهما السفلى اي عند الموقعين ($\frac{1}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{4}$) و($\frac{3}{4}\ \frac{3}{4}\ \frac{1}{4}$) واثنان قريبتان من قاعدتهما العليا عند الموقعين ($\frac{3}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{3}{4}$) و($\frac{1}{4}\ \frac{3}{4}\ \frac{3}{4}$) كما موضح في الشكل(١) :

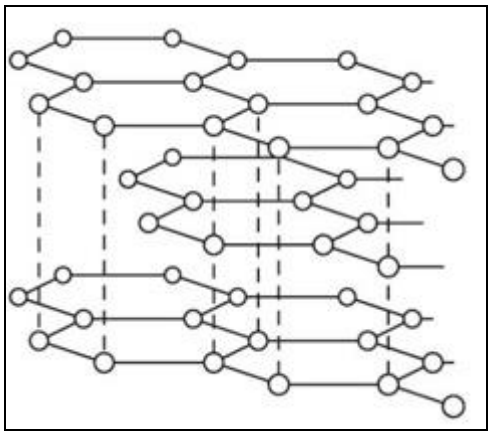


الشكل (١) التركيب البلوري للماس

ان كل ذرة كاربون مرتبطة باربع ذرات مجاورة (جوار اول) ارتباطا تساهميا (covalent) ، وتكون محاطة بأثناعشر ذرة أخرى بصفة (جوار ثان) . على الرغم من صلابة الماس ودرجة انصهاره العالية ، نجد ان نسبة الملئ له لا تتجاوز (0.34) وهو يمثل حوالي نصف نسبة عامل الملئ لشبيكة FCC.

يمكن توضيح تركيب الماس بطريقة أخرى ، افترض ان لديك شبيكتين من نوع FCC متطابقتين مع بعضهما البعض وان الاساس المرافق لكل نقطة من نقاط هاتين الشبيكتين مكون من ذرة كاربون واحدة فقط. ويمكن التخيل ان احدى هاتين الشبيكتين مع الاساس المرافق لها ازيحت بأتجاه قطر الشبيكة الثابتة بمسافة تعادل ربع طول ذلك القطر ،فالمواقع الجديدة لذرات الشبيكة المزاحة مع المواقع الاصلية لذرات الشبيكة الثابتة تشكل تركيب الماس.

٢. **تركيب الكرافيت (Graphite structure)** : يعد الكرافيت احد صور الكاربون المتبلور ، وفيه تنتظم ذرات الكاربون في زوايا سداسي مستوي منتظم وعلى شكل طبقات مكونة بنية طبقية وكما مبين في الشكل (٣) .



الشكل (٣) تركيب الكرافيت

في هذه البنية نرى ان كل ذرة كاربون ترتبط مع ثلاث ذرات كاربون اخرى بأواصر تساهمية بين كل زوج من ذرات الكاربون ،مع وجود قوى ربط اضافية بسبب الالكترونات الاخرى (الالكترون الرابع الموجود حرا في ذرة الكاربون والتي تعمل على ربط الذرات بصورة متقاربة اكثر) واما الطبقات فتكون مرتبطة بأواصر فاندرفالز الموضعية الضعيفة والى هذه البنية يعزى الاختلاف في الخواص بين الماس والكرافيت .فالكرافيت له انفصام متميزوالذي يحصل موازيا لطبقات الذرات .

طريقة العمل :-

١. احسب عدد الذرات لوحدة الخلية
٢. عدد اقرب جوار
٣. مسافة اقرب جوار
٤. عامل الملئ

تجربة رقم (٥) :- دراسة التركيب البلوري بأستخدام الاشعة السينية X-Ray

الغرض من التجربة :- ايجاد المسافات البينية لبلورة كلوريد الصوديوم

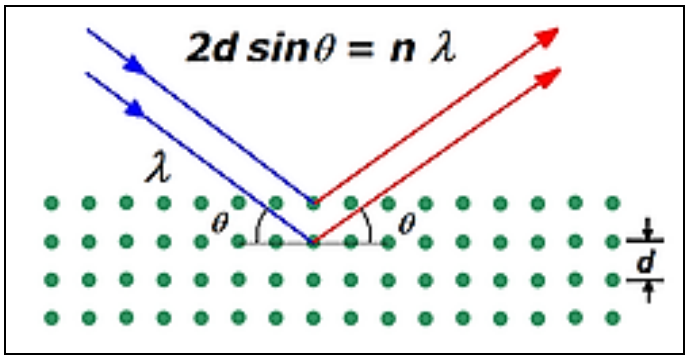
الاساس النظري :- تمكن العالم براغ من ايجاد علاقة مهمة لتعيين المسافة بين المستويات البلورية (d) بأستخدام الاشعة السينية . ان موجات الاشعة السينية التي تسقط على سطح بلورة تنعكس من المستويات المتوازية فقط عندما تتداخل الحزمة المنعكسة تداخلا بناءا .

لنفرض ان حزمة اشعة سينية احادية التردد بطول موجي (λ) اسقطت على بلورة بزاوية (θ) كما مبين في الشكل (١) واذا كانت المسافة بين المستويات المتوازية هي (d) فان فرق المسار بين حزمات الاشعة المنعكسة من السطح الاعلى والسطح المجاور هو :

$$2d\sin\theta = n\lambda \qquad \text{.....(1)}$$

حيث ان (n) رتبة الحيود وهذه العلاقة هي قانون براغ ويتضح منها ان الانعكاس عن المستويات المتوازية التي تبعد عن بعضها بمقدار (d) لا يتم الا لمقادير معينة من الزاوية (θ) اي زاوية براغ . كما يشترط ان يكون الطول الموجي مساويا او اقل من ضعف هذه المسافة اي ان:

$$\lambda \leq 2d \qquad \text{.....(2)}$$



الشكل (١) حيود الاشعة السينية عن المستويات البلورية المتوازية.

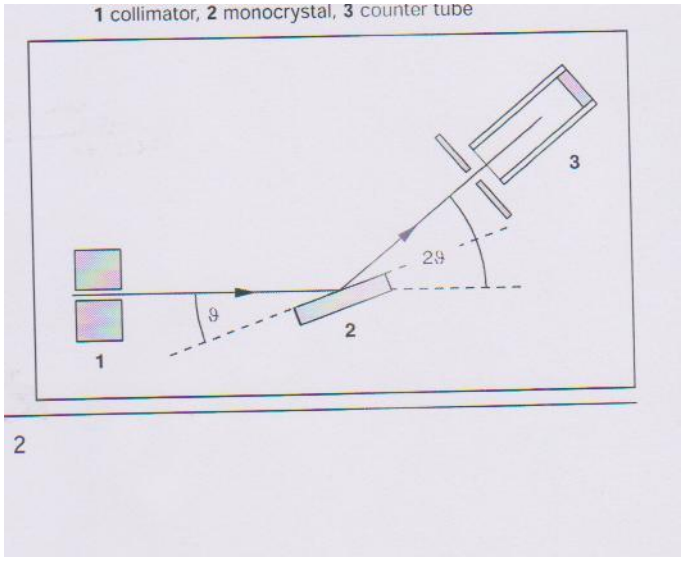
اذا كانت الرتبة (n) هي الاولى ،فان زاوية براغ ستكون مساوية ل:

$$\theta = \sin^{-1}(\lambda/2d) \qquad \text{.....(3)}$$

ومن قانون المسافات العمودية بين المستويات نجد ان :

حيث(a) هي المسافة بين الذرات

(h,k,l) هي معاملات ميل



الشكل (٢)

<u>طريقة العمل</u> :-

١. تأكد من عمل العداد المربوط الى جهاز الاشعة السينية
٢. ثبت البلورة على حامل البلورة المثبت في الجهاز
٣. ثبت فلتر الزركونيوم الذي يسمح بمرور الطول الموجي (λ=Å0.71) في موضعه في الجهاز
٤. خذ اعلى فولتية تشغيل ممكنة واعلى تيار انبعاث (Ie*m*)
٥. اضبط البرغي الخاص بجعل المؤشرين الاول والثاني يتحركان سوية (احدهما يتحرك بضعف زاوية الاخر) كما مبين بالشكل(١)
٦. ابدأ بزيادة زاوية البلورة بمقدار (0.5^o) اي ان المؤشر الثاني يتغير بمقدار(1^o) وعند قرب الوصول الى النهايات العظمى (زيادة ملموسة في العد) اجعل الزيادة (0.25^o) للحصول على قيم اكثر دقة

٧. رتب القراءات كما في الجدول ادناه واجعل زمن القراءة (60 sec)
٨. ارسم بياني بين I على المحور الصادي و 2θ على المحور السيني للحصول على طيف الاشعة السينية
٩. جد قيمة d باستخدام العلاقة (1) ولمرتبتي الحيود الاولى والثانية
١٠. اذا علمت ان معاملات ميلر للبلورة هي (h,k,l) جد المسافة بين الذرات لهذه البلورة باستخدام العلاقة (4)

I(imp /sec)	$2\theta^o$

<u>تجربة رقم (٦)</u> :- دراسة التوهين الحاصل للاشعة السينية كدالة للسمك ونوع المادة

<u>الهدف من التجربة</u> :- دراسة النفاذية للاشعة السينية كدالة للسمك والعدد الذري وايجاد معامل التوهين الخطي

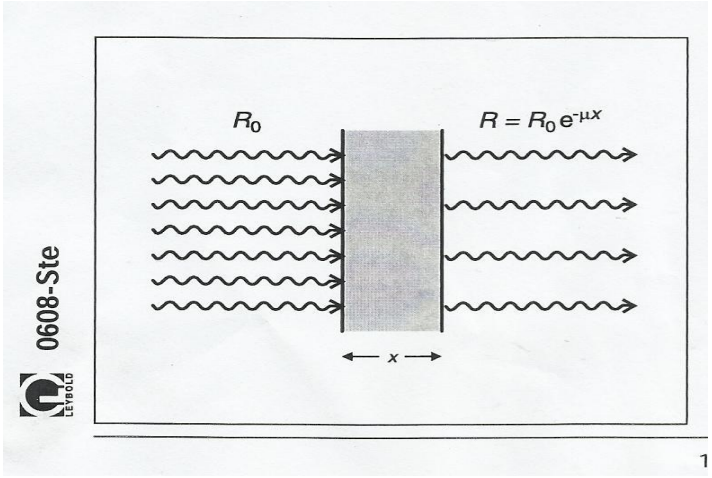
<u>الاساس النظري</u>:- عند الحديث عن توهين الاشعة السينية فاننا نعني بذلك النقصان الحاصل في شدة الاشعة عندما تمر خلال مادة ما . ان التوهين يحصل لسببين هما الاستطارة والامتصاص. تختلف ظاهرة الاستطارة عن الامتصاص من حيث المبدء الفيزيائي، ويطلق وبشكل غير دقيق على الوسط الذي تمر خلاله الاشعة السينية بالوسط الماص والاصح ان يطلق عليه بالوسط الموهن.

ان استطارة فوتونات الاشعة السينية بسبب ذرات الوسط يسبب تغيير في اتجاه بعض الاشعاعات بالمقارنة مع اتجاه الاشعة الساقطة مما يؤدي الى نقصان في شدة الاشعة المارة ويمكن ان تكون الاستطارة مرنه او غير مرنه تؤدي الى نقصان في الطاقة او ازاحة للطول الموجي.

اما في عملية الامتصاص فأن طاقة فوتونات الاشعة السينية تنتقل الى ذرات او جزيئات المادة التي تمر خلالها الاشعة السينية كطاقة تهييج او تآين .

من الشكل (١) أذا كانت (R_o) يمثل شدة الاشعة السينية (معدل العد) قبل سقوط الاشعة السينية على الوسط، وكانت(R) يمثل شدة الاشعة السينية بعد خروجها من الوسط فيمكن حساب النفاذية (T) لذلك الوسط بالعلاقة:

$$T = R / R_o \qquad \text{..... (1)}$$



الشكل (١)

كلما كان مقدار النفاذية عالي ،قل مقدار التوهين حيث تعتمد النفاذية على سمك المادة (x) . ان اي زيادة في السمك بمقدار (dx) تتسبب في نقصان النفاذية بمقدار (dT) وحسب العلاقة :

$$-dT / T = \mu . dx \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث (μ) يمثل معامل التوهين الخطي.

وبتكامل المعادلة (2) عندما (x=0, T=1) فاننا نحصل على العلاقة :

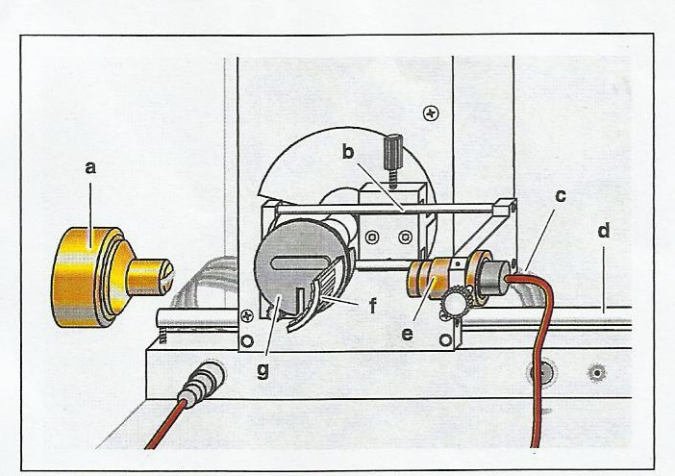
$$T = e^{-\mu x}$$

Or

$$\ln T = -\mu x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

وهذه العلاقة يطلق عليها قانون لامبرت (Lambert Law).

يبين الشكل (٢) رسم توضيحي لجهاز الاشعة السينية المستخدم في هذه التجربة



الشكل (٢)

طريقة العمل :-

اولا : دراسة تاثير السمك

١. ضع النموذج ذو الاسماك المتعددة في حامل النموذج وثبت العداد في موضعه.
٢. اضبط فولتية الجهاز وتيار الانبعاث (U=21 kV, I= 0.05 mA)
٣. اضغط على مفتاح الهدف (Target) واضبط ($\Delta\beta= 0^o$)
٤. اضبط زمن القياس ($\Delta t = 100$ s)
٥. اضغط على مفتاح (Zero) لتصفير الجهاز
٦. غير الموضع الزاوي (β) وكما يلي ($\beta= 0^o, 10^o, 20^o, 30^o, 40^o, 50^o$ and 60^o)
٧. اضغط مفتاح (Scan) وسجل القراءة(R) بعد الضغط على مفتاح (Replay) واعد الخطوة(٧) لكل زاوية
٨. سجل القراءات كما في الجدول ادناه
٩. ضع فلتر الزركونيوم في مقدمة الجامع (Collimator)
١٠. غيرتيار الانبعاث (I=0.15 mA) وزمن القياس(Δt=200 s) واعد الخطوات من (٣)الى (٨)

١١. احسب النفاذية (T) من المعادلة (١) ثم ارسم العلاقة بين السمك (d) على المحور السيني والنفاذية على المحور الصادي في كلا الحالتين

١٢. ارسم العلاقة بين السمك(d) على المحور السيني و(lnT) على المحور الصادي ثم جد معامل التوهين (μ) والذي يمثل ميل الخط المستقيم حيث

μ = - Slope

d (mm)	R(s^{-1})	T	R(s^{-1}) with Zr	T
0				
0.5				
1.0				
1.5				
2.0				
2.5				
3				

ثانيا: دراسة تاثير العدد الذري

١. ضع النموذج ذو المواد المختلفة والسمك الثابت (d=0.05cm) في حامل النماذج وبدون الفلتر
٢. اضبط فولتية التشغيل وتيار الانبعاث (U= 30 kV, I= 0.02 mA)
٣. ثبت زمن القراءة على(Δt = 30 s)
٤. غير الموضع الزاوي $\beta = 0^o, 10^o, 20^o$ وسجل القراءات(R) بعد الضغط على (Scan) ثم (*Replay*)
٥. غير تيار الانبعاث وزمن القراءة (I= 1.00 mA,Δt=300s)
٦. اكمل باقي القراءات للمواضع المتبقية ($\beta=30^o, 40^o, 50^o, 60^o$) وسجل القراءات كما في الجدول ادناه
٧. اعد الخطوات اعلاه بعد وضع فلتر الزركونيوم
٨. احسب معامل التوهين(μ) من العلاقة (٣) ثم ارسم العلاقة بين العدد الذري على المحور السيني ومعامل التوهين على المحور الصادي

٩. احسب الاشعاعات الخلفية (*Back ground*) وذلك بجعل كل من تيار الانبعاث وفولتية التشغيل صفرا ثم تسجيل العد(R_{BG}) خلال فترة زمنية ($\Delta t = 300\ s$) ، اطرح القراءة من القراءات التي تم الحصول عليها

١٠. ناقش النتائج التي حصلت عليها

Absorber d=0.05 cm	Z	R(s^{-1})	T	μ	R(s^{-1}) with Zr	T	μ
None							
C	6						
Al	13						
Fe	26						
Cu	29						
Zr	40						
Ag	47						

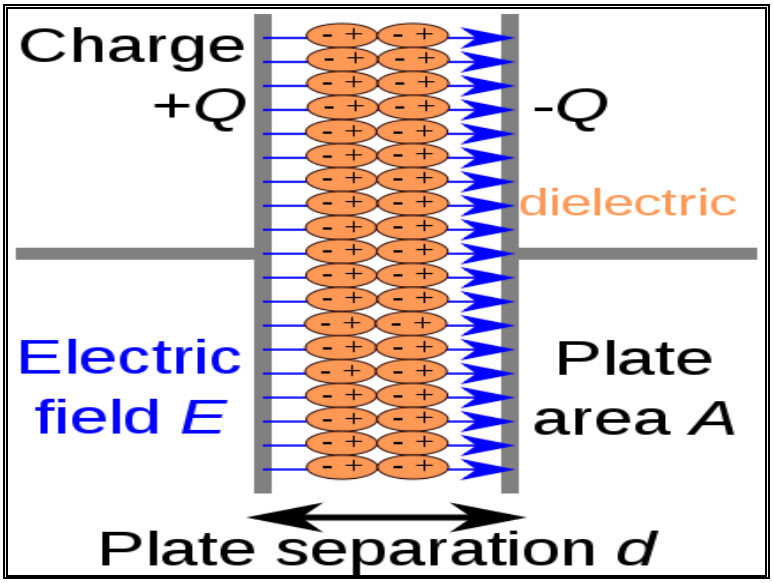
تجربة رقم (٧):- دراسة خواص المادة العازلة

الغرض من التجربة :-

١. **ايجاد ثابت العزل لمادة عازلة (k) Dilectric Coefficient**
٢. **ايجاد السماحية الكهربائية (ε) Permitivity**
٣. **ايجاد التحسسية الكهربائية (η) Susceptibility**

الاساس النظري :- يمكن ايجاد ثابت العزل لمادة ما بقياسات كهربائية سكونية مختلفة . من اكثر الطرق استخداما هي قياس سعة متسعة مستوية في حالتين : الحالة التي يملأ بها الفراغ بين لوحي المتسعة والثانية عندما تملأ المادة المراد قياس ثابت العزل لها بين لوحيها ويحصل على ثابت العزل او السماحية النسبية للمادة بقسمة السعة في الحالة الثانية على السعة في الحالة الاولى . تحسب سماحية المادة المدروسة بعد ذلك بضرب حاصل القسمة في سماحية الفراغ.

ان لكل مادة الكترونات تختلف ارتباطها بالذرات والمادة العازلة عندما نضعها بين لوحي متسعة يحدث لها استقطاب(انزياح قليل للالكترونات واقل للذرات دون ان يغادر الالكترون الذرة) ،فينشأ ثنائي قطب وبالمحصلة يصبح طرف العازل القريب من اللوح الموجب سالب الشحنة والطرف الثاني موجب الشحنة وينشأ بذلك مجال كهربائي داخل المادة العازلة عكس المجال الخارجي وتختلف قيمتة حسب نوع المادة العازلة فيقل الجهد بين لوحي المتسعة وكما مبين في الشكل (١).



الشكل (١)

اذا كانت (σ) هي كثافة الشحنة السطحية على اللوحين وكانت (σ_i) هي كثافة الشحنة السطحية المحتثة على العازل ، فان محصلة شدة المجال الكهربائي (E) داخل المادة العازلة تعطى بالعلاقة :

$$E=(\sigma /\varepsilon_o) – (\sigma_i/\varepsilon_o) \quad \text{..... (1)}$$

ان الحد الاول من المعادلة يمثل مركبة المحصلة الناتجة من الشحنات الحرة في اللوحين الموصلين اما الحد الثاني فيمثل المجال الكهربائي المعاكس الناتج من الشحنات المستحثة في المادة العازلة.

ان النسبة بين كثافة الشحنة المستحثة ومحصلة المجال الكهربائي تسمى بالتحسسية الكهربائية(η) حيث

$$=\sigma_i / E \quad \text{..... (2)}\eta$$

$$\sigma_i= \eta E \quad \text{..... (3)}$$

وعند التعويض بالمعادلة (١) نحصل على :

$$E= (\sigma/\varepsilon_o) – (E\varepsilon_o/ \eta) \quad \text{.....(4)}$$

$$E= (\sigma/(1+ /\varepsilon_o) \varepsilon_o) \quad \text{.....(5)}$$

ان الكمية ($1+\eta/\varepsilon_o$) تمثل ثابت العزل ويرمز لها بالرمز (k) وعليه يكون :

$$k= 1+ \eta /\varepsilon_o \quad \text{.....(6)}$$

$$E= \sigma / k\varepsilon_o \quad \text{..... (7)}$$

والكمية ($k\varepsilon_o$) تمثل السماحية الكهربائية ويرمز لها بالرمز (ε) حيث:

$$\varepsilon=k\varepsilon_o \quad or \quad k=\varepsilon/\varepsilon_o \quad \text{.....(8)}$$

$$\varepsilon=\varepsilon_o+ \eta \quad \text{.....(9)}$$

ان العلاقة بين سعة المتسعة (C) ذات الصفائح المتوازية والتي تكون المساحة السطحية للوحيها (A) والمسافة الفاصلة بين اللوحين (d) هي :

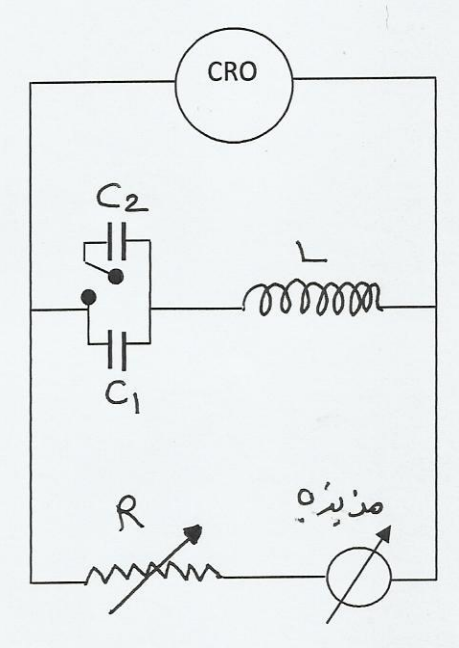
$$C=\varepsilon A/d \quad \text{.....(10)}$$

حيث (ε) هي السماحية الكهربائية للوسط العازل الموجود بين اللوحين المتوازيين ، فاذا كان الوسط العازل هو الهواء فان المعادلة (10) تصبح بالشكل التالي:

$C=\varepsilon_o A/d$ ..... (11)

وعند ثبوت كل من (A) و(d) فان :

$k=(\varepsilon/\varepsilon_o)=(C/C_o)$ ..... (12)



الشكل (٢) الدائرة الكهربائية

طريقة العمل :-

١. اربط الدائرة الموضحة بالشكل (٢) حيث ان (C1) يمكن تغيير المسافة بين صفيحتيها و(C2) متسعة متغيرة ومدرجة ، (L)ملف مناسب ، (CRO) هو الاوسلسكوب ، مصدر تيار متناوب (مذبذب)
٢. خذ قيمة معينة ل(C2) ثم غير تردد المذبذب حتى يشير مؤشر (CRO) الى اقل قراءة ممكنة

٣. سجل قيمة التردد وبعد ذلك حول المفتاح الى جهة (C1) وغير المسافة (d) الى نفس القراءة السابقة
٤. كرر الخطوات السابقة لقيم (C2) المختلفة وما يقابلها من قيم (d)و(C1) ورتب القراءات كما في الجدول ادناه
٥. ارسم العلاقة بين (1/d) على المحور السيني و(C) على المحور الصادي ثم جد الميل حيث ($Slope = \varepsilon_o A$)
٦. احسب قيمة (ε_o) اذا علمت ان نصف قطر لوح المتسعة الصفائحية يساوي (R=)
٧. كرر الخطوات السابقة عندما تكون المادة العازلة موضوعة بين لوحي المتسعة ، ويتم العمل هذه المرة بصورة معكوسة اي ان نحاول ايجاد قيم المتسعة المناظرة ل(C1) من خلال ربط عدة متسعات على التوالي او التوازي وحسب الحاجة
٨. احسب سماحية المادة العازلة (ε)
٩. احسب ثابت العزل (k) لكل مادة عازلة

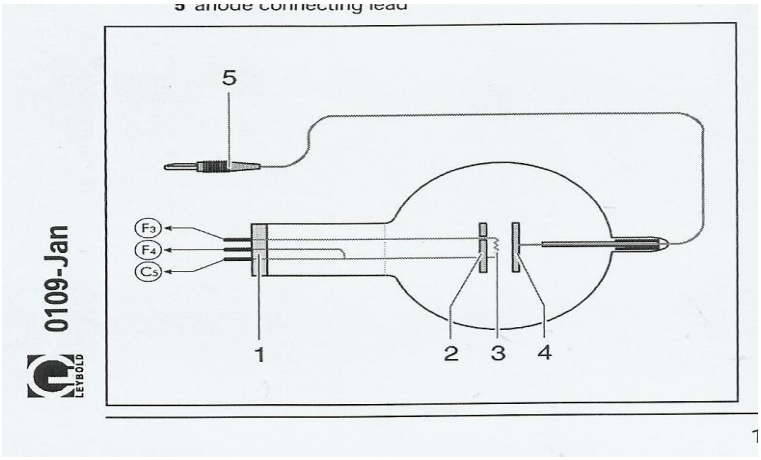
C1 (μF)	F(Hz)	d (mm)	1/d (mm^{-1})

<u>تجربة رقم (٨)</u> :- دراسة الخصائص الكهربائية للصمام الثنائي المفرغ

<u>الغرض من التجربة</u> :-

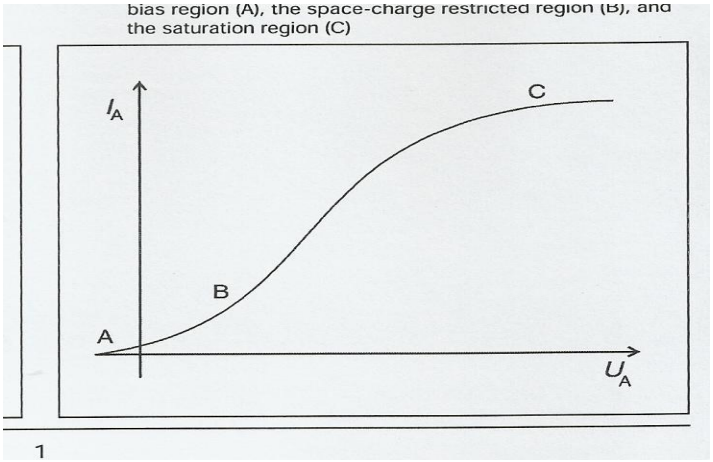
١. **دراسة تاثير فولتية تسخين الكاثود على خواص الصمام الثنائي**
٢. **تعيين منطقة شحنات الفراغ المحددة ومنطقة الاشباع**
٣. **تحقيق معادلة Child-Langmuir**

<u>الاساس النظري</u> :- يتكون الصمام الثنائي المفرغ وكما مبين في الشكل (١) من قطبين :الكاثود الذي يعمل على انبعاث الالكترونات والانود ، حيث يتم تطبيق فرق جهد مناسب بين القطبين لتعجيل الالكترونات المنبعثة من الكاثود باتجاه الانود.يكون الكاثود مصنوع من فتيل (Filament) تتوهج عند تسخينها بواسطة فرق جهد كهربائي على طرفيها ، حيث تنبعث الالكترونات من الفتيل المعدني الساخن (انبعاث ايوني-حراري) . اذا كان جهد الانود موجبا بالمقارنة مع جهد الكاثود ،فان الالكترونات تتعجل باتجاه الانود حيث يتم امتصاصها من قبل الانود وبذلك يسري تيار كهربائي يسمى تيار الانود ويعتمد على عدة عوامل اهمها فرق الجهد بين القطبين (فولتية الانود) . عندما يتم عكس فولتية الانود (قلب القطبية) فان سريان التيار الكهربائي يتوقف ، وذلك لان الالكترونات المنبعثة من الكاثود لا تستطيع الحركة باتجاه معاكس للمجال الكهربائي . لذلك يمكن استخدام الصمام الثنائي كفلترمنع (Block filter) او كمقوم للتيار المتناوب(Rectifier).



الشكل (١) الصمام الثنائي المفرغ

يمتلك الصمام الثنائي المفرغ خصائص مشابهة لخصائص ثنائي الوصلة (p-n Junction) المصنع من المواد شبه الموصلة ، ومع التطور الحاصل في تكنولوجيا المواد فقد الصمام المفرغ اهميته واستبدل بالثنائيات المصنعة من اشبه الموصلات وخصوصا في الدوائر التكاملية بسبب جودة ادائها وصغر حجم



الشكل (٢) الخصائص المثالية للصمام الثنائي

يوضح الشكل (٢) الخصائص المثالية للصمام الثنائي المفرغ حيث نلاحظ من الشكل اعتماد تيار الانود (I_A) على فولتية الانود (U_A) كما نلاحظ وجود ثلاث مناطق متميزة :

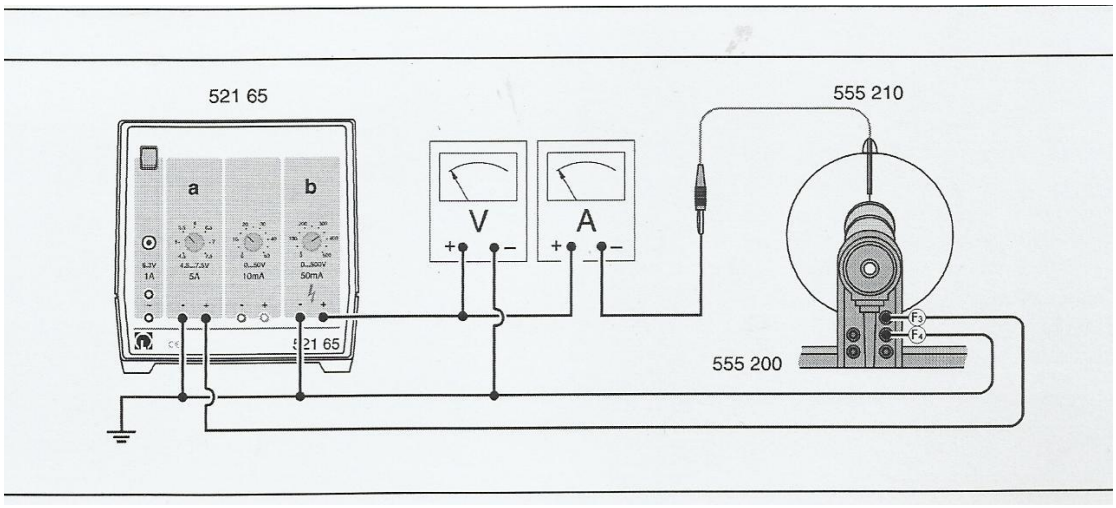
اولا: منطقة الانحياز العكسي (A) وفيها يكون جهد الانود سالبا بالمقارنه مع الكاثود، ولا يمكن للالكترونات المنبعثة من الكاثود ان تتحرك باتجاه معاكس لأتجاه المجال الكهربائي.وعلى الرغم من ان الالكترونات التي تتحرر من الكاثود تمتلك طاقة حركية اكبر من الصفر ($E_{kin} >0$) لا يمكن ان يتولد تيار الانود الا عندما تكون فولتية الانود كافية لايقاف اسرع الالكترونات المنبعثة.

ثانيا: منطقة شحنات الفراغ المحددة (B) عند شدة مجال كهربائي قليلة ، لايمكن لكل الالكترونات المتحررة من الكاثود ان تنطلق بعيدا حيث تتجمع مع بعضها حول الكاثود مكونة غيمة من شحنات الفراغ السالبة ولذلك فان خطوط المجال الكهربائي سوف تمتد بين الانود وبين هذه الشحنات وليس بين الانود والكاثود اي ان المجال الكهربائي يكون مقيد بهذه الشحنات . وعندما تبدأ فولتية الانود بالزيادة ، فان خطوط المجال الكهربائي تمتد اعمق واعمق ضمن كرة الشحنات المحيطة بالكاثود ويبدا

تيار الانود بالزيادة وحسب معادلة (Child-Lngmuir) حيث :
($I_A \propto U_A^{3/2}$) او ($I_A^{2/3} \propto U_A$)

يزداد تيار الانود تدريجيا الى ان تتبدد شحنات الفراغ المحيطة بالكاثود ويصل تيار الانود الى قيمة الاشباع (Saturation) حيث ان اي زيادة في فولتية الانود لا تؤثر على التيار.

ثالثا: منطقة الاشباع (C) في هذه المنطقة لا يعتمد تيار الانود على فولتية الانود ، حيث ان الزيادة الطفيفة في التيار تكون نتيجة زيادة عدد الالكترونات المنبعثة من الكاثود ، وهذا يمكن الحصول علية عن طريق زيادة فولتية التسخين للكاثود. ان قيمة تيار الاشباع تعتمد على درجة حرارة الكاثود والخواص التي يمتلكها عند كل فولتية تسخين



الشكل (٣) الدائرة الكهربائية

طريقة العمل:-

١. اربط الدائرة الكهربائية الموضحة بالشكل (٣)
٢. ثبت الصمام الثنائي في حامل الصمام وبشكل ثابت
٣. اربط مجهز القدرة الرئيسي الى صندوق التوزيع
٤. اربط الكاثود الى فولتية التسخين (a)

٥. اربط الانود الى فولتية التعجيل (b)
٦. لقياس تيار الانود(I_A) ،اربط القطب الموجب للاميتر مع قطب الانود والقطب السالب للاميتر الى الطرف الموجب من فولتية التعجيل (b)
٧. لقياس فولتية الانود (U_A)، اربط الفولتميتر على التوازي مع فولتية التعجيل (b) بحيث يربط القطب السالب للفولتميتر مع الطرف السالب لمصدر الفولتية والقطب الموجب للفولتميتر مع الطرف الموجب لمصدر الفولتية
٨. بعد التاكد من الربط يتم تشغيل الدائرة الكهربائية حيث نلا حظ توهج الفتيل واحمراره
٩. يتم تثبيت فولتيه التسخين(U)، ومن ثم يتم تغيير فولتية الانود ويسجل تيار الانود ولعدة قيم من فولتية التسخين وكما مبين في الجدول ادناه:
١٠. ارسم العلاقة بين فولتية الانود(U_A) على المحور السيني وتيار الانود(I_A) على المحور الصادي ولقيم فولتية التسخين المختلفة(U)
١١. ارسم العلاقة بين فولتية الانود(UA) على المحور السيني وتيار الانود ($I_A^{2/3}$) لتحقيق معادلة (Child_Lngmuir)

U (V) U_A(V)	U_1= 5 I_A(mA)	U_2=5.5 I_A(mA)	U_3=6 I_A(mA)
6			
10			
16			
20			
26			
30			
36			
40			
46			
50			
60			
70			
80			
90			
100			
110			

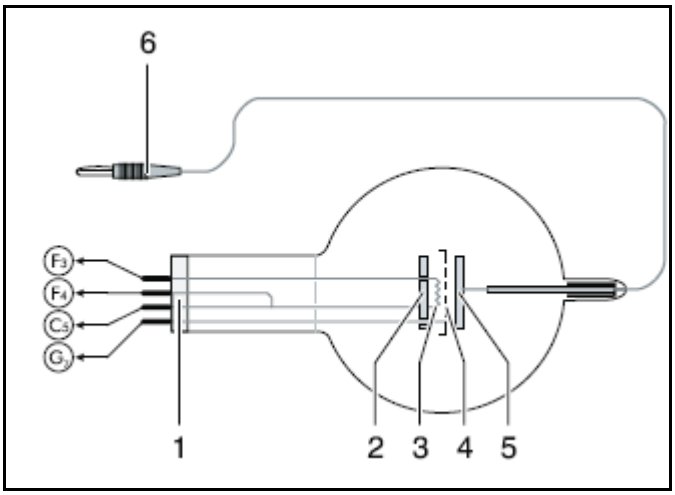
تجربة رقم (٩) :- دراسة الخصائص الكهربائية للصمام الثلاثي المفرغ

الغرض من التجربة:-

١) دراسة خصائص تيار الأنود - فولتية الأنود بثبوت فولتية الشبكة.
٢) دراسة خصائص تيار الأنود – فولتية الشبكة بثبوت فولتية الأنود.

الاساس النظري :-

يتكون الصمام الثلاثي كما في الشكل (١) من أنبوبة زجاجية مفرغة تحتوي على ثلاثة أقطاب وهي الكاثود والذي يعمل على انبعاث الالكترونات، الأنود والذي يعمل على امتصاص الالكترونات المنبعثة من الكاثود وبينهما الشبكة. يمكن تطبيق فرق الجهد بين الكاثود والأنود وكذلك بين الكاثود والشبكة عندما تكون فولتية الأنود كافية فان الالكترونات المنبعثة من الكاثود يتم تعجيلها باتجاه الأنود مروراً بالشبكة. إنَّ تيار الالكترونات هذا يمكن التحكم به بواسطة فولتية الشبكة.



الشكل (١) الصمام الثلاثي

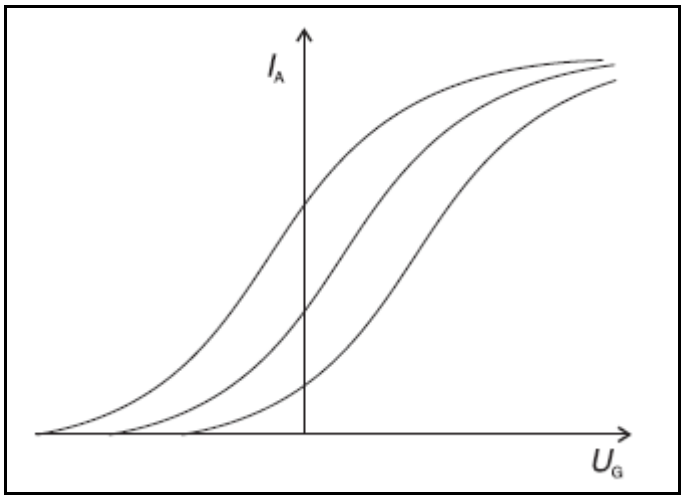
يتكون الكاثود من فتيل يتم تسخينه بواسطة فولتية التسخين حيث يعمل على انبعاث الالكترونات (انبعاث حراري- ايوني). إذا كان جهد الأنود موجباً بالنسبة للكاثود فان الالكترونات المنبعثة تتعجل باتجاه الأنود حيث يتم امتصاصها والذي يمثل تيار الأنود. أما في حالة عكس اتجاه جهد الأنود فان الالكترونات لا يمكنها الوصول إلى الأنود حيث لا يمكن للالكترونات أن تتحرك باتجاه معاكس للمجال الكهربائي وبالتالي يعمل الصمام الثلاثي على حجب التيار.

تؤثر فولتية الشبكة على قيمة تيار الأنود حيث يتم مضاعفته أوتوهينه اعتماداً على كون الفولتية أو الجهد موجباً أو سالباً. وعليه فان الشبكة تعمل على السيطرة على تيار الأنود.

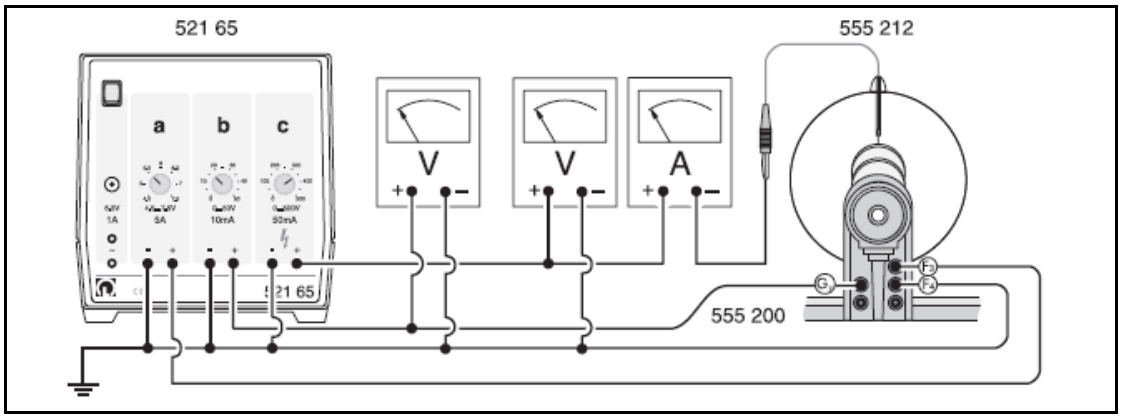
يستخدم الصمام الثلاثي في تضخيم الفولتية المتناوبة كما في (Transmitors) ولكنه لم يعد يستخدم في الدوائر الالكترونية الحديثة حيث استبدل بالثنائيات المصنعة من المواد شبه الموصلة وخصوصاً في الدوائر التكاملية والتي تتطلب صغراً في حجم مكوناتها.

في هذه التجربة سيتم دراسة خصائص الصمام الثلاثي حيث نلاحظ اعتمادية تيار الأنود (I_A) على فولتية الأنود (U_A) وفولتية الشبكة (U_G) حيث يبين الشكل (٢) الخصائص المثالية للصمام الثلاثي، حيث نلاحظ تيار الأنود كدالة لفولتية الشبكة عندفولتيات انود مختلفة وان الزيادة في فولتية الأنود تتسبب في إزاحة الخصائص نحو اليسار دون التغيير في شكلها العام.

يبين الشكل (٢) الخصائص المثالية للصمام الثلاثي. حيث نلاحظ أنَّه عند فولتية شبكة موجبة فان جزءاً من الالكترونات يتم امتصاصها بواسطة الشبكة ولا تصل إلى الأنود. إنَّ تيار الكاثود يتكون من حاصل جمع تيار الأنود وتيار الشبكة وعندما تكون فولتية الشبكة صغيرة بالمقارنة مع فولتية الأنود يمكن اهمال مساهمة تيار الشبكة بالمقارنة مع تيار الأنود.



الشكل (٢) الخصائص المثالية للصمام الثلاثي.



الشكل (٣) الدائرة الكهربائية.

طريقة العمل:-

١- أربط الدائرة الكهربائية كما موضح بالشكل (٣).
٢- ثبت الصمام الثلاثي في حامل الصمام وبشكل ثابت.
٣- أربط مصدر الفولتية الرئيسي عبر صندوق التوزيع.
٤- أربط الكاثود إلى فولتية التسخين (a).
٥- أربط الأنود إلى فولتية التعجيل (c -500 V).
٦- أربط الشبكة إلى فولتية الشبكة (b-50 V).
٧- لقياس تيار الأنود (I_A) اربط الأنود إلى القطب السالب للاميتر ثم اربط القطب لموجب للاميتر إلى القطب الموجب لفولتية التعجيل.
٨- لقياس فولتية الشبكة (U_G) وفولتية الأنود (U_A) اربط الفولتميتر على لتوازي مع فولتية الشبكة والاخر مع فولتية الأنود.
٩- ثبت فولتية التسخين للكاثود (U_H=6.0 V).
١٠- غير فولتية الأنود مع تثبيت فولتية الشبكة ولعدة قيم من فولتية الشبكة وسجل قيم تيار الأنود وحسب الجدول (١) ادناه ثم ارسم العلاقة بين فولتية الأنود على المحور السيني وتيار الأنود على المحور الصادي.
١١- غير فولتية الشبكة مع تثبيت فولتية الأنود ولعدة قيم من فولتية الأنود وسجل قيم تيار الأنود وحسب الجدول (٢) ادناه ثم ارسم العلاقة بين فولتية الشبكة على المحور السيني وتيار الأنود على المحور الصادي.

U_G (V)	0	3	6	-3	-6
U_A(V)	I_A(mA)	I_A(mA)	I_A(mA)	I_A(mA)	I_A(mA)
0					
30					
60					
90					
120					
150					
180					
210					
240					
270					
300					

الجدول (١)

U_A(V)	50	100	150	200
U_G(V)	I_A (mA)	I_A (mA)	I_A (mA)	I_A (mA)
15				
12				
9				
6				
3				
0				
-1				
-2				
-3				
-4				
-6				

الجدول (٢)

تجربة رقم (١٠) :- انبوبة تقاطع مالتس (Maltese cross tube)

الغرض من التجربة :- دراسة الانتشار الخطي للالكترونات في مجال الشحنات الحرة .

الاساس النظري :-

يستخدم أنبوب تقاطع مالتس لدراسة الانتشار الخطي للالكترونات في مجال الشحنات الحرة ،ويمكن استخدام انبوبة الصمام الثنائي او الثلاثي المفرغ لهذا الغرض حيث تستخدم الاشعة الكاثودية المنبعثة من الكاثود لهذا الغرض . تتعجّل (تتسرّع) الإلكترونات في أنبوبة تقاطع مالتس بواسطة الأنود باتجاه الشاشة الفلورنسينية وبذلك يمكن ملاحظتها أو مشاهدتها على شكل صورة ساطعة أو مضيئة.

يعمل قاذف الالكترونات (The Electron Gun) على إنشاء شعاع الكتروني منفرج يقوم بتصوير الجسم الموضوع بين الشاشة الفلورنسينية و قاذف الالكترونات ، حيث يمكن مشاهدة هذه الصورة على الشاشة. يتم وضع تقاطع مالتس Maltese (cross) بين قطب الأنود والشاشة حيث يمكننا مشاهدة ظل التقاطع على الشاشة الفلورنسينية ، ويربط تقاطع مالتس مع مجهز القدرة بواسطة وصلة (او توصيلة) كهربائية منفصلة.

في هذه التجربة يمكننا إثبات الانتشار الخطي للالكترونات في مجال شحنات الفراغ الحرة ، وللقيام بذلك نربط تقاطع مالتس إلى جهد الأنود ، حيث يمكن مقارنة ظل تقاطع مالتس من شعاع الالكترونات مع الظل الذي كونه الضوء وملاحظة حجم التماثل للظلين حيث يمكن أن نستنتج إن الالكترونات تتحرك في خط مستقيم. يمكن أن يستخدم المغناطيس لتشتيت الالكترونات بموجب قوة لونتس (Lorentz Force) حيث تظهر الصورة (أو الظل) منحرفة أو مشوهة قليلاً.

أن تقاطع مالتس يترك (أو يغادر) الجهد الحر المسلط عليه وينشحن بشحنة سالبة بواسطة الألكترونات التي عصفت به (اي اصطدمت معه)، وفي هذه الحالة فان الشحنات المنتشرة في الفراغ حول تقاطع مالتس تقوم بأنشاء جهد معاكس، لذلك فأن الصورة التي تظهر على الشاشة تكون واسعة ومشوهة.

طريقة العمل :-

١. اربط الدائرة الموضحة بالشكل (١)
٢. نقوم بتوصيل مقابس (مأخذ) الفولتية F_1, F_2 إلى الأنبوبة المحمولة والتي تحتوي تقاطع مالتس إلى الكاثود الذي يُسخن بفولتية إخراج 10 KV.
٣. نربط المقبس C على الأنبوب المحمول (غطاء الكاثود لأنبوبة مالتس) إلى القطب السالب والمقبس A (قطب الأنود) إلى القطب الموجب من مجهز الفولتية (10KV) بالاظافة إلى ربط الأرضي إلى القطب الموجب.
٤. نربط تقاطع مالتس الى المقبس A.

الشكل (١) ربط الدائرة الكهربائية

الملاحظات والمشاهدات :-

بعد تشغيل فولتية تسخين الكاثود، فان ظل (أو صورة) تقاطع مالتس تصبح مرئية على الشاشة الفلورسينية للأنبوبة حيث ينتشر الضوء خارجاً بخطوط مستقيمة ولهذا السبب فأن ظل الضوء لتقاطع مالتس يظهر على الشاشة الفلورسينية عندما يتم

تشغيل فولتية تسخين الكاثود. عند زيادة فولتية الأنود تظهر صورة ثانية لتقاطع مالتس على الشاشة الفلورسينية والتي تكون بنفس الشكل والحجم تماماً كظل خفيف.

إن فولتية الأنود تقوم بتعجيل الالكترونات باتجاه الشاشة الفلورسينية ، كما ان بعض الالكترونات لا تضرب الشاشة ولكنها تضرب تقاطع مالتس نفسه ، ولهذا السبب فأن الظل الثاني يصبح مرئياً على الشاشة الفلورسينية ولذلك فان هذا التماثل تقريباً في الشكل والحجم والموقع مع ظل الضوء يعطي أدلة على أن شعاع الالكترونات ينتشر بخطوط مستقيمة تماماً مثل الضوء. عندما يتم تحريك المغناطيس على مقربة من الشاشة الفلورسينية فان الظل يُزاح (أو ينحرف) ويتشوه قليلاً. ان اتجاه الانحراف يعتمد على المكان الذي يوضع المغناطيس عنده. وبموجب قانون قوة لورنتز، فان الالكترونات تنحرف عندما توضع في مجال مغناطيسي ، وهذا يقود إلى ملاحظة الانحراف الذي يحصل للظل .

ان عدم التجانس في المجال المغناطيسي سوف يقود الى تشوه طفيف في صورة الظل لان الالكترونات لا تحرف جميعها بنفس الدرجة. وعندما يتم إزالة الكابل (قطعة التوصيل) الذي يربط تقاطع مالتس مع القطب الموجب، فان ظل الصورة يصبح أكبر حجماً ومشوه بشكل ملحوظ ، حيث أصبح جهد تقاطع مالتس غير ثابت بسبب أن بعض الالكترونات تضرب تقاطع مالتس ويصبح التقطع مشحون بشحنة سالبة. إن شحنات الفراغ المحيطة بتقاطع مالتس سوف تعمل على صدّ (Repelled) الكترونات أخرى ومن ثم مشاهدة التوسع والتشوه في ظل الصورة.

ملاحظة : - ان ظل الضوء وظل الالكترونات لا يكونان متطابقان تماماً حتى لو لم يتم وضع مجال خارجي. وبناءاً على كيفية انشاء ووضع قاذف الالكترونات ، فان المسار البصري للضوء والالكترونات يمكن ان يكون مختلف قليلاً