



الفزياء العملية (7)





منشورات جامعة دمشق

كلية العلوم

الفيزياء العملية (7)

فيزياء الجسم الصلب

د. عبد العزيز الزغبي

مدرس
في قسم الفيزياء

أ.د. محمد عبد الحفيظ

أستاذ مساعد
في قسم الفيزياء

أ.د. فوزي عوض

أستاذ
في قسم الفيزياء

م.ا. مجد حماد
مشرفه على الأعمال
في قسم الفيزياء

م.ا. فاتن الفيل
مشرفه على الأعمال
في قسم الفيزياء

١٤٣٥ - ١٤٣٦ هـ

٢٠١٤ - ٢٠١٥ م

جامعة دمشق



فهرس المحتويات

الصفحة	الموضوع	
7	مقدمة وشرح عن برنامج Cassy Lab .	
27	التجربة 1 النماذج البلورية .	
37	التجربة 2 دراسة انعراج الأشعة السينية على بلورة وحيدة بطريقة برااغ .	
51	التجربة 3 دراسة انعراج الأمواج السنتمترية على نموذج بلورة مكعبية بسيطة .	
63	التجربة 4 دراسة انعراج الأشعة السينية على بلورة وحيدة بطريقة لاو .	
79	التجربة 5 دراسة انعراج الإلكترونات على عينة متعددة البلورات .	
89	التجربة 6 أثر هول في المعادن .	
97	التجربة 7 أثر هول في أنصاف النوافل .	
109	التجربة 8 الناقلة الكهربائية للمعادن وأنصاف النوافل باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة	
121	التجربة 9 الإصدار الإلكتروني الحراري .	
133	التجربة 10 الإصدار الإلكتروني الضوئي (الكهربضوئي) .	
141	التجربة 11 تجارب في الخلية الشمسية .	
153	التجربة 12 المنحنيات المميزة لمقاومة ضوئية من مادة CdS .	
163	التجربة 13 قياس وسعية منطقة النفاد للوصلة p-n .	
173	التجربة 14 قياس العمر الوسطي لحملات الشحنة في الوصلة p-n .	
183	التجربة 15 المنحنيات المميزة للوصلة p-n عند درجات حرارة مختلفة .	
195	التجربة 16 قياس الطواعنة المغناطيسية .	
209	التجربة 17 التجاوب المغناطيسي النووي .	
221	التجربة 18 الناقلة الفائقة .	
233	ملحق بالثوابت والمقادير الفيزيائية والخصائص الفيزيائية للعناصر .	
241	المراجع .	



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

المقدمة :

يُعد مقرر الفيزياء العملية (7) والتخصصي في مجال فيزياء الجسم الصلب ، أحد ركائز الفيزياء التجريبية في الخطة الجديدة لبرامج قسم الفيزياء . ويهدف هذا المقرر إلى إكساب الطلاب مهارات عملية وخبرة علمية في مجالات فيزياء الجسم الصلب ، فهو يواكب أو يتلو المقررات النظرية الثلاثة : المدخل إلى فيزياء الجسم الصلب ، الجسم الصلب (1) ، الجسم الصلب (2) ، التي يدرسها طلاب السنتين الثالثة والرابعة في قسم الفيزياء . تتضمن مفردات المقرر ثمانية عشرة تجربة علمية وفق المفردات المعتمدة للمقرر .

في مجال أنصاف النوافل :

1. أثر هول في أنصاف النوافل .
2. قياس وسعيّة منطقة النفاد للوصلة $p-n$.
3. قياس العمر الوسطي لحملات الشحنة في الوصلة $p-n$.
4. الناقليّة الكهربائيّة لأنصاف النوافل باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة .
5. المنحنيات المميزة للوصلة $p-n$ عند درجات حرارة مختلفة .
6. الخلايا الشمسية .

في مجال المعادن :

1. أثر هول في المعادن .
2. الناقليّة الكهربائيّة للمعادن باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة .
3. قياس تابع العمل للمعدن .

في مجال المغناطيسية :

1. التجاوب المغناطيسي النووي .
2. قياس الطواقيّة المغناطيسية .

في مجال الخصائص الضوئية للأجسام الصلبة :

1. المنحنيات المميزة لمقاومة الضوئية لمادة CdS .

2. الإصدار الإلكتروني الضوئي .

في مجال البنية البلورية :

1. انعراج الإلكترونات على عينة متعددة البلورات .

2. انعراج الأمواج السنتمترية على نموذج بلورة مكعبه بسيطة .

3. انعراج الأشعة السينية على بلورة وحيدة بطريقة برااغ .

4. انعراج الأشعة السينية على بلورة وحيدة بطريقة لاو .

5. النماذج البلورية .

بالإضافة إلى تجربة تتعلق بالناقلية الفانقة .

إن نصف تجارب مقرر الفيزياء العملية (7) المتوقرة في المخبر يجري العمل عليها يدوياً ، إذ يقوم الطالب بإعداد التجارب ، وتسجيل النتائج ، ورسم المنحنيات المطلوبة يدوياً . ويتميز نصف التجارب الآخر بالأوتمنة ، فيستطيع الطالب أن يدخل شروط التجربة عن طريق الحاسوب ، ويسجل النتائج بوساطته من خلال جهاز الوصلة البينية (Interface) ، ويعالجها بالبرمجيات المناسبة والمثبتة في الحواسيب .

لذلك رُوّد الكتاب بفصلٍ منفردٍ حول استخدام برنامج Cassy Lab المثبت في معظم حواسيب مخبر الجسم الصلب واستثماره ، بالإضافة إلى برنامج X-Ray الذي يعالج معطيات تجربة انعراج الأشعة السينية بطريقة برااغ .

ولقد رُوّدت كل تجربة في الكتاب عند نهايتها بعدد من الأسئلة النموذجية التي تلخص الهدف من التجربة والطرائق التقنية المتبعة ، ليتحقق الطالب من القوانين التي درسها في المقررات النظرية للجسم الصلب ، ضمن ارتيابات الأجهزة المتاحة

وليتمكن من نقد عمله ومحاكمته ذاتياً . وكذلك رُوّدت كل تجربة بقائمةٍ من المراجع المناسبة ولائحة بالكلمات المفتاحية ، والمصطلحات العلمية الخاصة بها .
نأمل بهذا الكتاب أن نضيف قيمة علمية جديدة للمكتبة العربية العلمية ، تُمكّن طلابنا من القيام بالتجارب العلمية مستندين إلى مرجع واضح .

ولا يفوتنا في هذا المجال أن نشكر المشرفين على الجوانب التطبيقية الذين ساعدوا في إعداد هذا الكتاب ، وبخاصة بالذكر طالب الماجستير إبراد عبد الرحمن على الجهد المشكور الذي بذله ، بالإضافة إلى تنفيذه لكتاب وإخراجه بالصورة المناسبة .
وفي الختام جَهْدُنَا لنتفادي الأخطاء ما وسعنا ، فإن وُفقنا بفضل الله ، وما لم ندركه فمن طبيعتنا ، والله ولي التوفيق .

المؤلفون



توجيهات عامة

لابد لنا في البدء وقبل شروع الطالب في العمل المخبري من إسداء بعض النصائح والإرشادات التي توجه الطالب في هذا العمل ، حتى يحصل على أحسن الثمرات .

1 - على الطالب أن يدرس بامتعان التجربة المطلوبة منه قبل حضوره إلى المخبر وذلك لكي يفهم فكرتها النظرية وطريقة إجرائها ، ويحسن به لهذه الغاية أن يستعين بالمراجع العلمية ، ولذلك زُودت كل تجربة بقائمة بالمراجع المناسبة .

2 - قبل المباشرة بالعمل التجريبي ، على الطالب أن يتعرف على الأجهزة المستخدمة في التجربة ويتأكد من سلامتها توصيلها ، وإذا وجد فيها نقصاً أو خلاً يطلب المساعدة من الأستاذ المشرف .

3 - تم تقسيم العمل التجريبي إلى أربعة أقسام :

1- الأجهزة والأدوات التجريبية : وفيها تعداد للأدوات والمقاييس التي سيتعامل معها الطالب ووظيفة كل منها .

2- الإعداد التجريبي : وهو يوضح كيفية إعداد وتجهيز وتوصيل التجربة لكي تكون جاهزة للعمل وإجراء القياسات ، وهنا ليس على الطالب أن يعيد التوصيل أو نحوه ، بل مهمته هي التأكيد من أن التجربة جاهزة للعمل ، وإنما عليه استدعاء الأستاذ المشرف .

3- ملاحظات مهمة : من الضروري قراءة التحذيرات والملاحظات قبل البدء بإجراء التجربة ، وأي خطأ ناتج عن الإهمال سيتحمل مسؤوليته الطالب .

4- الإجراء التجاري : وفيه تعليمات إجراء التجربة والقياسات المطلوبة والمقادير المطلوب حسابها .

4 - يبدأ الطالب أولاً بتجربة اختبارية سريعة يتأكد فيها عملياً من سلامية الأجهزة وتوصيلها ، بحيث تتحقق مما يتتبأ به التمهيد النظري من نتائج .

5 - بعد هذه الأعمال التمهيدية ، يشرع الطالب بتجربته ، ويدون النتائج في جداولها على دفتر المسودة ، مفرونة بالارتباطات التي تшوب عملية القياس ، ثم يرسم جميع الخطوط البيانية المطلوبة ، ويعرض نتائجه على الأستاذ المشرف ، وبعد التأكيد من صحة عمله ووفائه بالغرض ، ينقل نتائجه إلى تقرير التجربة المعدّ سلفاً .

6 - على الطالب أن يتحرى الدقة والأمانة فيما يحصل عليه من نتائج القياس ، فالقياسات الدقيقة الموثوقة هي الأساس للوصول إلى نتائج صحيحة ، ولدى تسجيل النتائج في الجداول ، يحاول الطالب تعليم أي شذوذ تجاريبي ، وعليه أن يعيد قياس المقدار الواحد عدة مرات إن أمكن للتأكد من صحة وتكرارية القياس ، ثم تؤخذ القيمة الوسطية .

7 - بما أنه لا وجود لتجربة فيزيائية معتمدة على القياس خالية من الارتباطات ، لا تقبل أية نتائج عدديّة غير مفرونة بتقدير الارتباط الذي يشوبها سواء أكان في القياس المباشر أو غير المباشر ، وعلى الطالب أن يتبع أنساب الطرق لتقدير الارتباط في كل مقدار يقيسه أو يحسبه .

8 - إن الرسم البياني هو أحد معايير الحكم على نجاح التجربة أو فشلها ، فيجب تحري الدقة عند الرسم ، وتمثيل مستطيل الارتباط على الورقة البيانية إن أمكن ذلك ، وفي حال كون التجارب مؤتمتة ، يفضل إظهار النقاط التجريبية دون الخطوط الواقلة بينها كما هو موضح في فقرة " شرح عن برنامج Cassy Lab " .

9 - أخيراً على الطالب الإجابة عن الأسئلة الواردة في فقرة تقييم العمل التجاريبي .

في النهاية تجدر الإشارة إلى أن هذا المخبر يحتوي على تجارب يجب التعامل معها بانتباٌٌ كبير ، فهناك تجارب تتعامل فيها مع الجهد العالي (انعراج الإلكترونيات) ، وهناك تجارب تتعامل فيها مع تيارات عالية (أثر هول في المعادن) ، وهناك أدوات شديدة الحساسية وسهلة العطب (محس حقل التحرير المغناطيسي) .

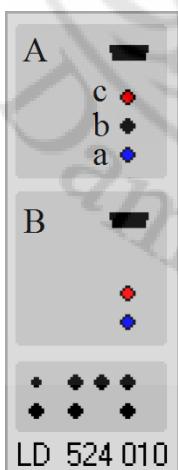
شرح عن برنامج Cassy Lab

مقدمة :

نعرض في هذا الفصل إلى شرح موجز لتجهيزات (Cassy Lab) لكي يكون الطالب قادرًا على التعامل مع التجارب ومعالجة نتائجها باستخدام الحاسوب .



أولاً : معدات القياس : Hardware



1- اللوحة الأساسية : Interface

وهي المكون الأساسي لتجهيزات Cassy Lab ، وتحدّد صلة الوصل بين المقياس والحاسب ، بالإضافة لاحتوائها على مقاييس تيار وكمون ، وتتصل بالحاسوب عبر المنفذ (com) وتحتوي على مدخلين أساسيين :

Input (A) : وهو المدخل الأول ، ويوجد به ثلاثة مأخذ من الأسفل للأعلى :

a- المأخذ المشترك أو الأرضي .

b- مأخذ قياس الكمون ، و يلي الأرضي مباشرة .

c- مأخذ لقياس التيار ، وهو المأخذ العلوي .

إذا أردنا قياس التيار مثلا ، فعلينا وصل الطرف السالب بالمأخذ (a) والطرف الموجب بالمأخذ (c) .

Input (B) : ويوجد به مأخذان ، وهما لقياس الكمون فقط .

ويوجد في كل مدخل متقد تسلسلي ، يمكن أن تثبت عليه القطع المساعدة (Box) .

2- القطع المساعدة : Boxes

وهي عبارة عن قطع تثبت على اللوحة الأساسية فوق أحد المدخلين (A أو B) ، نستخدمها لقياس مقادير فизيائية أخرى غير التيار والكمون ، أو لقياس التيار والكمون لكن عند مجالات قياس مختلفة ، وأهم تلك القطع :

-1 (μ V-BOX) : لقياس فروق الكمون من مرتبة الميكروفولت .

-2 (30 A-Box) : لقياس التيارات العالية تصل إلى 30 أمبير.

-3 (Current Source-Box) : لقياس المقاومة الكهربائية .

-4 (B-Box) : و يوصل بها محس حقل التحريرض المغنتيسي.

-5 (Temperature-Box) : و يوصل بها محس قياس درجة الحرارة .



ثانياً : البرنامج (Cassy Lab Software)

وهو الجزء البرمجي من التجهيز ، ويمكن من خلاله تعريف المقاييس المقاومة ومحالاتها ، والتحكم بشروط التجربة ، وأخذ القياسات بشكل تلقائي (أو يدوي) ومن ثم معالجة هذه البيانات ، ورسم الخطوط البيانية واستخلاص النتائج منها من خلال رسم أفضل منحني يمر من النقاط التجريبية المسجلة ، وسنطرق هنا إلى الأجزاء المهمة من البرنامج .

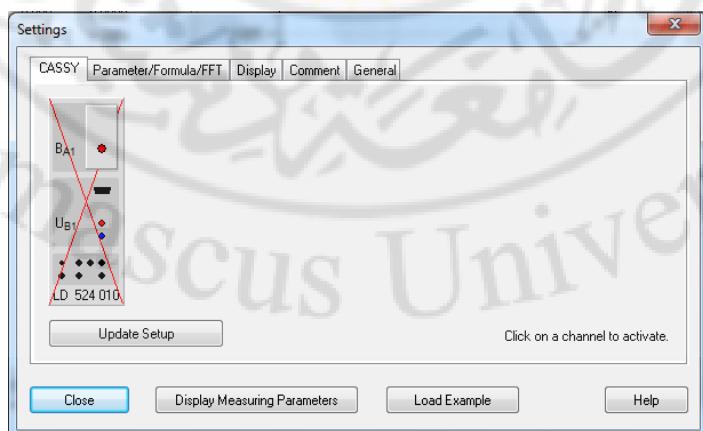
: Windows النوافذ

(1) نافذة الإعدادات (Settings) :

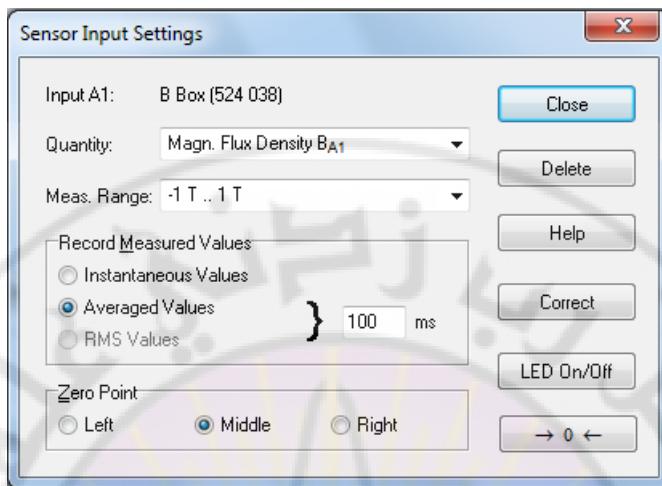
وهي النافذة التي يتم فيها تعريف المقاييس ، وتحديد مجال عملها المناسب ، وتحتوي على خمس علامات تبويب فرعية في السطر العلوي هي :

: CASSY .1

وفيها يظهر رسم للوحة الأساسية ومدخلاتها Input(A) و Input(B) . ومن خلال علامة التبويب هذه نستطيع تفعيل المدخل ، وذلك بالنقر عليه بالزر الأيسر للماوس ، عندها تظهر نافذتان فرعيتان :



(a) نافذة إعدادات المقياس : Sensor Input Settings



ومن هذه النافذة نحدد في أول سطرين المقدار الذي سنقيسه ومجال القياس على المدخل المحدد ، ويلي ذلك ثلاثة خيارات يمكن تفعيلها :

- إظهار القيم الآنية للمقدار المقاس . Instantaneous Values
- إظهار القيم الوسطية للمقدار الفيزيائي كل فترة معينة من الزمن يمكن ضبطها ، وهذا يعطي ثبات أكبر للقيم التي لا تستقر على قيمة محددة ، ويفضل انتقاء هذا الخيار في معظم التجارب . Averaged Values
- إظهار قيمة جذر القيمة الوسطى التربيعية للمقدار الفيزيائي كل فترة معينة من الزمن يمكن ضبطها . RMS Values

(b) نافذة ضبط متغيرات عملية القياس : Measuring Parameters



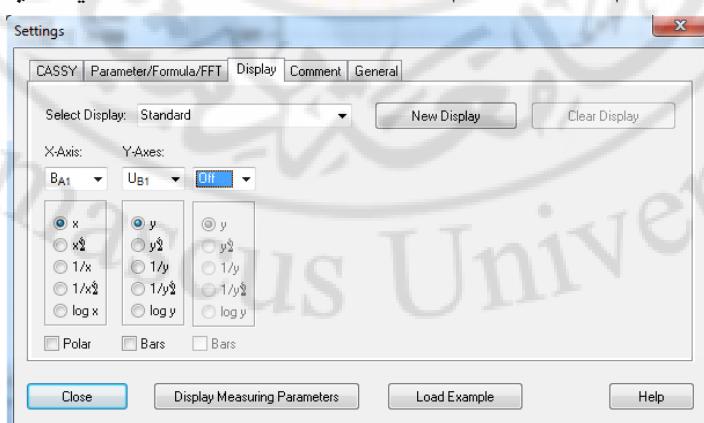
وتحتوي على ثلاث خيارات أساسية للتفعيل :

- تسجيل القياسات بشكل تلقائي كل فترة : Automatic Recording
- معينة من الزمن يمكن ضبطها ووضع شروط معينة علىأخذ القيم.
- تسجيل القياسات بشكل يدوي . Manual Recording
- إلأحاق سلسلة قياسات جديدة Append New Meas. Series
- بالسلسلة الحالية .

: Parameter/Formula/FFT .2
وتنستخدم لإدخال مقادير فизيائية للبرنامج بشكل يدوي .



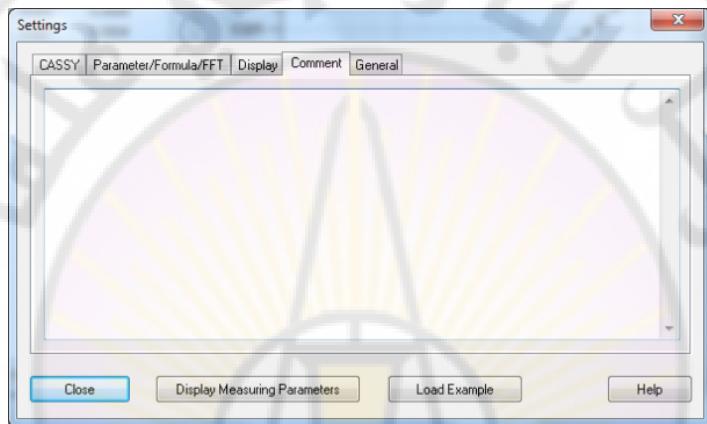
: Display .3
وفيها نتحكم بمنطقة الرسم من حيث تحديد المقدار الفيزيائي الذي يمثل



المتحول والأخر الذي يمثل التابع ، كما يمكن تمثيل المغارتم العشري له على الورقة البيانية ، مما يعني عمليا تحويل الورقة البيانية إلى ورقة لغارتمية أو نصف لغارتمية .

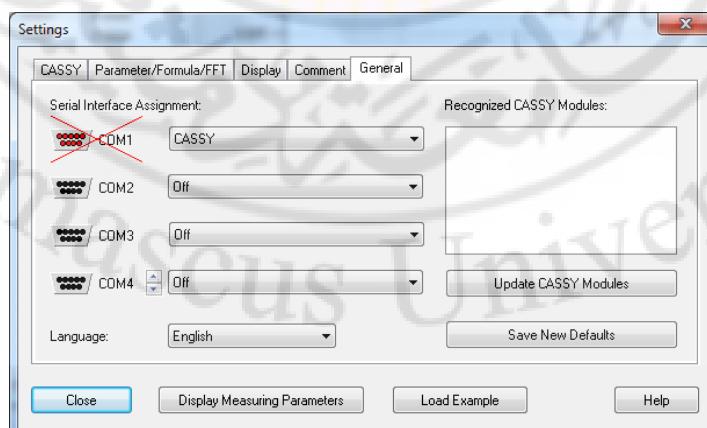
: Comment .4

وهي نافذة يمكن للمستخدم كتابة الملاحظات فيها وحفظها .



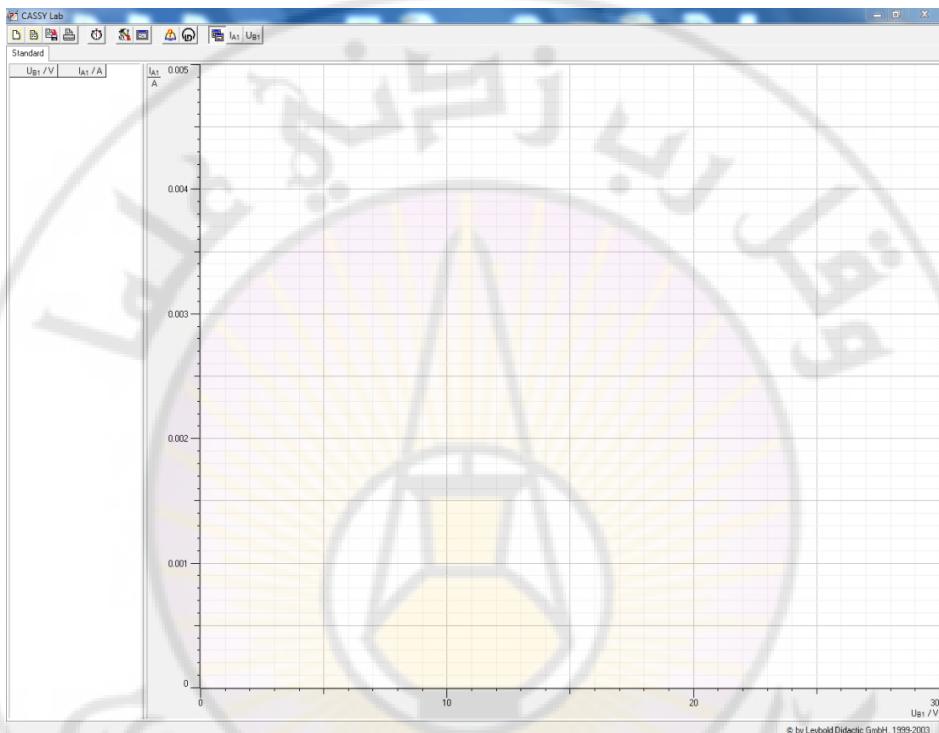
: General .5

وهي نافذة لتعريف اللوحة الأساسية على جهاز الحاسب ، وضبط الإعدادات العامة مثل اختيار اللغة وغيرها .



نافذة (2) : (Cassy Lab)

بعد إغلاق نافذة (Settings) تظهر نافذة البرنامج الأساسية ، وتتكون من ثلاثة مناطق أساسية : شريط الخيارات الأساسية ، وورقة العمل ، وجدول النتائج .



1- شريط الخيارات الأساسية :

ويتضمن الأوامر الأساسية التالية بالترتيب من اليسار لليمين :

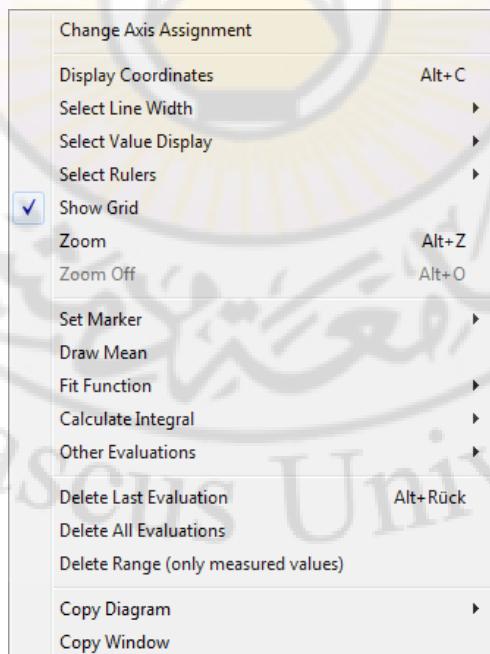


- حذف سلسلة القياسات الأخيرة ، والبدء بسلسلة جديدة
- فتح ملف يحوي سلسلة قياسات محفوظة
- حفظ سلسلة القياسات الأخيرة
- طباعة سلسلة القياسات الأخيرة

- زر بدء عملية القياس
- زر لفتح نافذة الإعدادات
- زر لفتح نافذة الملاحظات
- ثلاثة رموز لفتح نافذة المساعدة .
- رموز لفتح نافذة قراءة المقاييس .

2- خيارات ورقة العمل :

ورقة العمل هي ورقة بيانية يتم عليها تمثيل النقاط التجريبية بشكل تلقائي عند أخذ القياسات ، ومن ثم معالجة هذه القياسات ، واستخلاص النتائج منها ، ومن الممكن تغيير الورقة إلى ورقة نصف لغارتيمية أو لغارتيمية ، وإيجاد أفضل منحنى يمر من هذه النقاط التجريبية ، والتحكم في طريقة عرض النتائج من خلال القائمة التي نحصل عليها عند الضغط بالزر الأيمن للماوس على الورقة البيانية ، وأهم هذه الخيارات :



- Select Value Display : وتحتوي على القائمة الفرعية :
- Show Values : أظهر النقاط التجريبية على شكل رموز .
- Show Connecting lines : أظهر الخطوط الواصلة بين النقاط التجريبية ، ويفضل عدم إظهار هذه الخطوط بإلغاء تفعيل هذا الخيار .
- Show Axes : أظهر المحاور .
- Show Bars : أظهر النقاط التجريبية على شكل أعمدة .
- Set Marker : لإدخال نص ، أو كتابة معايرة على ورقة العمل .
- Fit Function : مواعنة تابع ، وفيها قائمة فرعية لاختيار التابع وأهمها:
- Free Fit : مواعنة تابع : أي إيجاد أفضل تابع يمر من النقاط التجريبية ويمكن تحديد شكل هذا التابع من قائمة منسلقة (خطى أو درجة ثانية أو جبى أو أسي أو ...) ، ويعطي قيمة جودة المواعنة (r) لكل منها .
- Delete Last Evaluation : يمسح آخر عملية قمت بها .
- Delete all Evaluation : يمسح كل العمليات التي قمت بها .
- Copy Diagram : ينسخ ورقة العمل إلى الذاكرة المؤقتة .

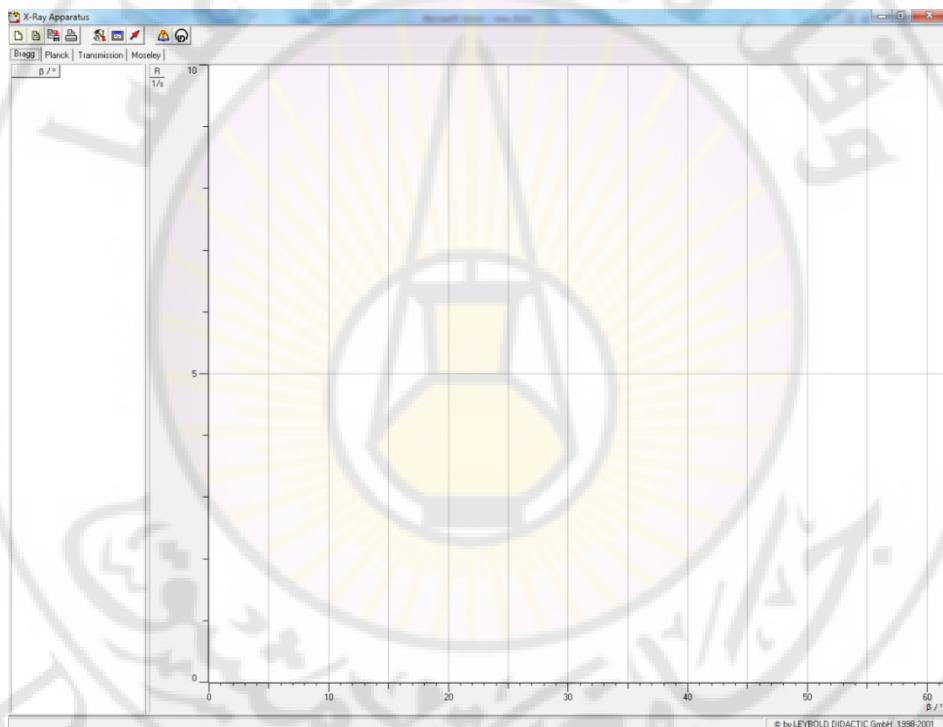
3- جدول النتائج :

ويقع على يسار النافذة ، ويتم فيه تسجيل المقايير المقاسة ، ويمكن نسخ الجدول أو حذف قيمة منه من خلال القائمة التي نحصل عليها عند الضغط بالزر الأيمن للماوس على الورقة البيانية ، وأهم هذه الخيارات :

- Delete Last Table Row : لمسح آخر قيمة مقيسة (آخر سطر) .
- Delete Last Measurement Series : لمسح سلسلة القياسات الأخيرة .
- Copy Table : لنسخ جدول النتائج .

X-Ray Apparatus

وهو برنامج متخصص بمعالجة البيانات الواردة من أجهزة Leybold التي تتعامل مع الأشعة السينية ، كالجهاز (554 81) . يبين الشكل التالي النافذة الأساسية للبرنامج ، وتتكون من ثلاثة مناطق أساسية : شريط الخيارات الأساسية و ورقة العمل وجدول النتائج .



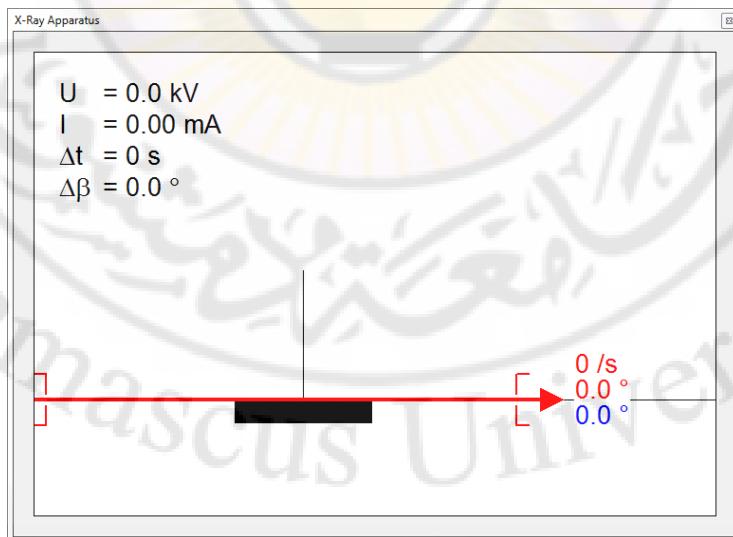
الشكل (1) : الواجهة الأساسية لبرنامج X-Ray Apparatus .

1 - شريط الخيارات الأساسية :

وتحتوي على الأوامر الأساسية التالية بالترتيب من اليسار لليمين :



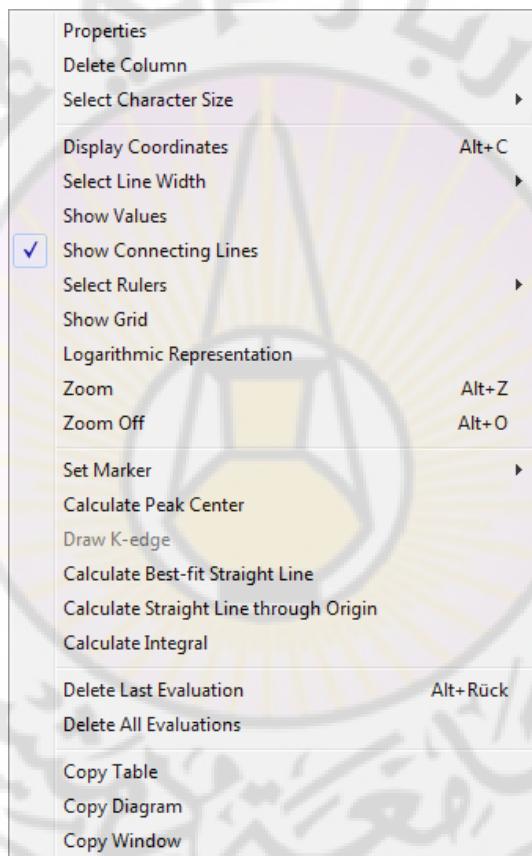
- حذف سلسلة القياسات الأخيرة والبدء بسلسلة جديدة .
 - فتح ملف يحوي سلسلة قياسات محفوظة .
 - حفظ سلسلة القياسات الأخيرة .
 - طباعة سلسلة القياسات الأخيرة .
 - زر لفتح نافذة الإعدادات
 - زر لفتح نافذة الملاحظات
 - زر لتبيين الزوايا والإعدادات .
 - رموز لفتح المساعدة .
- إن الضغط على زر تبيين الزوايا والإعدادات يفتح نافذة (الشكل 2) يبين فيها الزاوية بين المنبع والعينة ، وبين المنبع والكافش ، بالإضافة إلى إعدادات جهاز الأشعة السينية وإعدادات القياس :



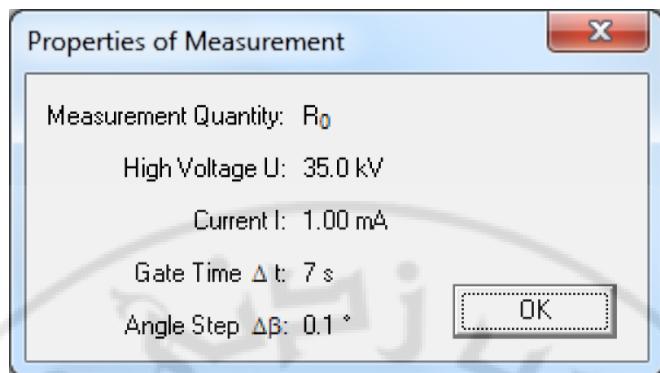
الشكل (2) : نافذة تبيين الزوايا والإعدادات .

2 - خيارات ورقة العمل :

ورقة العمل هي ورقة بيانية يتم عليها تمثيل النقاط التجريبية بشكل تلقائي عند أخذ القياسات ، ومن ثم معالجة هذه القياسات واستخلاص النتائج منها ، ومن الممكن التحكم في طريقة عرض النتائج من خلال القائمة التي نحصل عليها عند الضغط بالزر الأيمن للماوس على الورقة البيانية ، وأهم هذه الخيارات :



- Properties : يفتح نافذة تبين إعدادات الجهاز عند إجراء سلسلة القياسات المبينة في ورقة العمل (الشكل 3) .



. (الشكل (3) : نافذة (properties) .

- Show Values : أظهر النقاط التجريبية على شكل رموز .
- Show Connecting Lines : أظهر الخطوط الواقلة بين النقاط التجريبية .
- Logarithmic Representation : التمثيل اللوغاريتمي لمعدل العد ، وهذا الخيار يساعد في تحديد قمم الانعراج بشكل أكثر وضوحا .
- Set Marker : لإدخال نص على ورقة العمل .

وبالإمكان معرفة إحداثيات أي نقطة في ورقة العمل ، وذلك بالضغط بالزر الأيسر للماوس على النقطة المطلوبة ، فيتم تحديد إحداثيات هذه النقطة على الجدول في اليسار .



التجربة 1 :

النماذج البلورية

1- الغاية من التجربة :

- 1- التعرف على خلايا الوحدة البسيطة والمركبة وفق نماذجها ، وعلى أنظمة الشبكات البلورية .
- 2- حساب فرائين ميلر للمستويات البلورية ، وللإتجاهات البلورية المختلفة .
- 3- تحديد عمليات التناظر لكل نظام ، والتعبير عنها ، والقيام بعمليات الإسقاط .

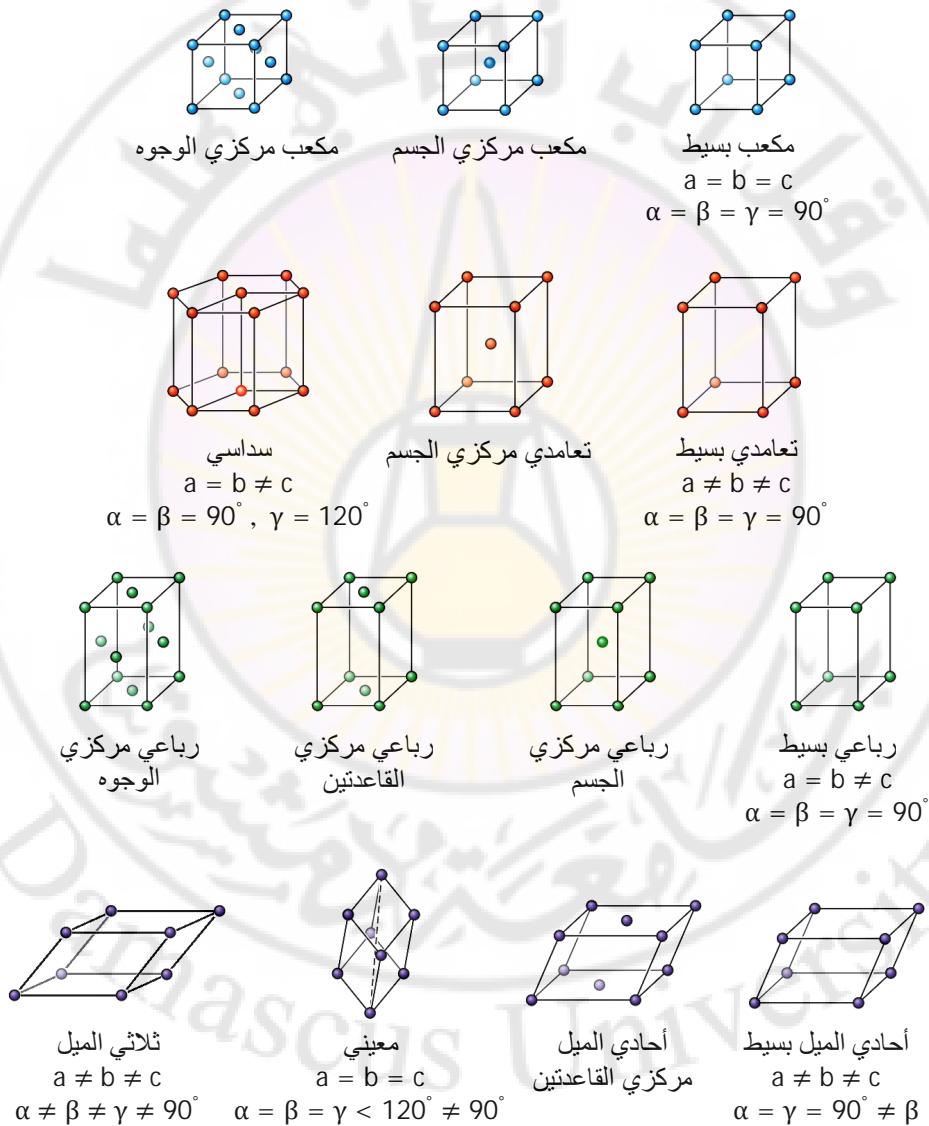
2- المبدأ النظري :

بدأت دراسة الخواص الفيزيائية للحالة الصلبة في ضوء مفاهيم الفيزياء الذرية في السنوات الأولى من القرن العشرين ، ففي عام 1910 اكتشف انعراج الأشعة السينية على البلورات ، وبيّنت النتائج النظرية والتجريبية آنذاك بصورة واضحة أن البلورة تتشكل من ترتيب دوري للذرات ، وهذا ما جعل الفيزيائيين يهتمون بالنماذج البلورية ، وبتصنيف البلورات حسب خلية الوحدة (Unit Cell) .

يقصد بخلية الوحدة أبسط تركيبة ، التي إذا ما كُررت في الإتجاهات الثلاثة وفق متجهات الوحدة لكل منها تكونت البلورة ، ويجرّي البعض التعرف على خلية الوحدة إلى جزأين : الشبكة الهندسية الممثلة بتقطيعات المستويات والخطوط الهندسية ، مضافاً لها قاعدة أو أساس قد تكون مكونة من ذرة أو أيون أو جزيئة تتوضع في تلك التقطيعات فتشكتب العلاقة المنطقية التالية : خلية شبكة هندسية + قاعدة = خلية وحدة بلورية ، لذلك يتم التركيز عادة ، عند التعرف على النظام البلوري الذي يحتوي عدة أنواع من الذرات ، على نوع واحد فقط .

ويعرف البعض الخلية البدائية (Primitive Cell) التي تحتوي على ذرة واحدة فقط ، والتي يمكن الحصول عليها بعدة طرق أهمها طريقة فيغنر - سايتز .

برهن عالم البلورات الفرنسي برافيه في عام 1848 أنه لا توجد سوى أربعة عشر نوعاً من الشبكات البلورية ، كما في الشكل (1) ، تدرج تحت سبعة أصناف أو نظم بلورية وهي المكعب (Cubic) ، والرباعي (Tetragonal) ، والتعامدي



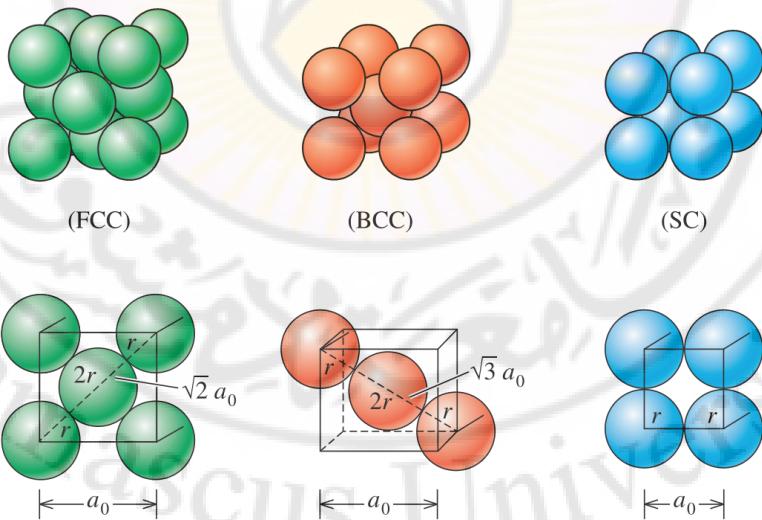
الشكل (1) : الأنواع الأربع عشر للشبكات البلورية وفق برافيه .

أو متوازي المستويات (Monoclinic) ، وأحادي الميل (Orthorhombic) والمعيني (Trigonal) وثلاثي الميل (Hexagonal) . يمكن أن يضم كل نظام من النظم السابقة واحداً أو أكثر من أنواع خلية الوحدة وهذه الأنواع منها البسيطة ومركبة الجسم وغيرها .

يمكننا أن نعرّف عدد العقد في الخلية الواحدة ، وذلك تبعاً لنصيب الخلية الواحدة من العقد (أو الذرات) التي تتشارك بها مع الخلايا المجاورة ، فمثلاً عندما تتشارك

ثمانية خلايا متجاورة بنفس الذرة ، فيكون نصيب الخلية الواحدة هو $\frac{1}{8}$.

إن أحد أهم المعاملات التي تؤثر في الخواص الفيزيائية للجسم الصلب ، وخاصة الخواص الميكانيكية منها ، هو نسبة الارتصاص Packing Fraction ، والذي يمكن تعريفه على أنه نسبة حجم الذرات الواقع ضمن خلية الوحدة إلى حجم هذه الخلية ، ويتم حسابه عندما تكون هذه الكرات على تماس مباشر فيما بينها ، كما في الشكل (2) الذي يبين الارتصاص في النماذج المكعبة الثلاث .



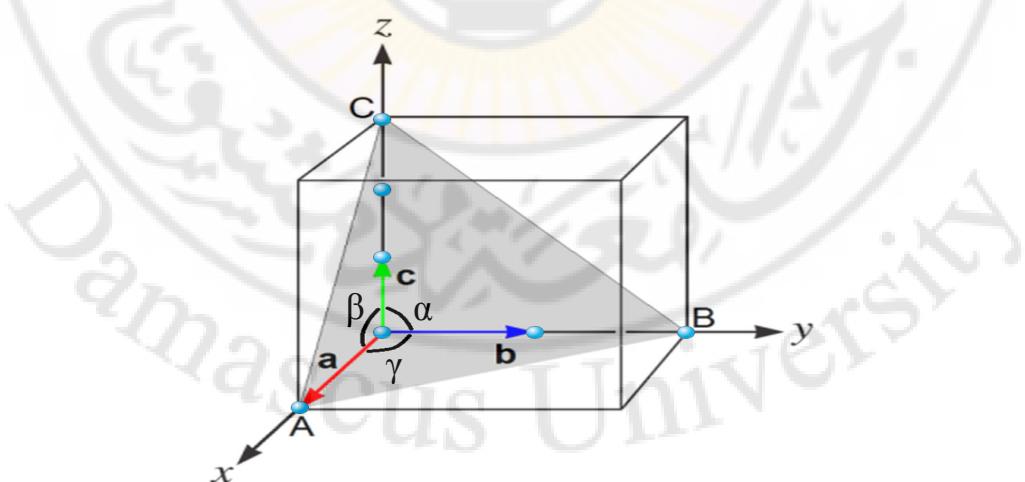
الشكل (2) : الارتصاص في النماذج المكعبة .

- قرائن ميلر :

لابد من التمييز عند الحديث عن قرائن ميلر بين المحاور الإحداثية والمحاور البلورية ، فالمحاور الإحداثية هي المحاور المتعامدة والمبشرة المعروفة ($oxyz$) والتي أشعة الواحدة لها هي ($\vec{k}, \vec{j}, \vec{i}$) ، في حين أن المحاور البلورية هي تلك المحاور المنطبقة على الأشعة الأولية للشبكة البلورية ($\vec{c}, \vec{b}, \vec{a}$) ، وتكون في نفس الوقت أشعة أولية لهذه المحاور ، والزوايا بين هذه المحاور هي (α, β, γ) وهذه الزوايا ليست قائمة بالضرورة ، لذلك من الطبيعي ألا تتطبق جميع المحاور البلورية على المحاور الإحداثية في الحالة العامة .

إن أي مستوى في الشبكة البلورية الفراغية يمكن أن يحدد بثلاث نقاط ، هي نقاط تقاطع هذا المستوى مع المحاور البلورية . لأخذ المثال في الشكل (3) والذي يمثل شبكة بلورية تعامدية . إن نقاط تقاطع المستوى المظلل مع المحاور البلورية مقدرة بأطوال الأشعة الأولية هي ($1, 2, 3$) أي أن :

$$\frac{OA}{a} = 1 , \quad \frac{OB}{b} = 2 , \quad \frac{OC}{c} = 3 \quad (1)$$



الشكل (3) : نقاط تقاطع مستوى بلوري مع المحاور البلورية لشبكة بلورية تعامدية .

إن مقلوب الأعداد السابقة هو $(\frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3})$ ، وعند توحيد المقامات نحصل على التنااسب :

$$\frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3} : \frac{6}{6}, \frac{3}{6}, \frac{2}{6}$$

وبالتالي فإن $(h=6, k=3, l=2)$ هي قرائن ميلر لهذا المستوى ، والتي من المعتمد أن تكتب بالشكل $(h k l)$ أي $(6 3 2)$.

إذا كان المستوى البلوري موازيا لأحد المحاور البلورية ، تكون قرينة ميلر الموافقة متساوية للصفر ، أما إذا قطع المستوى أحد المحاور في الجزء السالب منه ، توضع إشارة السالب فوق القرينة $(\bar{h} \bar{k} \bar{l})$ كما في المستوى $(1 \bar{2} 4)$.

- العمليات التناظرية :

تقسم عمليات التناظر التي يمكن تطبيقها على الشبكات البلورية إلى قسمين بسيطة ومركبة ، وأهم هذه العمليات هي الانسحاب والدوران حول محور مار من عقدة ما من الشبكة البلورية و الارتكاس (وهو التناظر بالنسبة إلى نقطة أو عقدة في البلورة تدعى بمركز الارتكاس) وأخيرا الانعكاس .

يُعرف الانسحاب بالشعاع (\overrightarrow{T}) المرتبط بالأشعة الأولية للشبكة البلورية كالتالي :

$$\overrightarrow{T} = n_1 \overrightarrow{a} + n_2 \overrightarrow{b} + n_3 \overrightarrow{c} \quad (2)$$

بينما تصنف محاور الدوران بحسب مرتبتها p والتي تقابل دورانا بالمقدار $(\frac{2\pi}{p})$ فالمحور من المرتبة الرابعة مثلا يوافق دورانا حوله بالمقدار $(\frac{2\pi}{4})$ أي $(\frac{\pi}{2})$ ، وبإمكاننا بسهولة البرهان أنه هناك خمسة دورانات فقط تتوافق مع الخواص الانسحابية للشبكات البلورية ، وهي التي توافق القيم $(p=1, 2, 3, 4, 6)$.

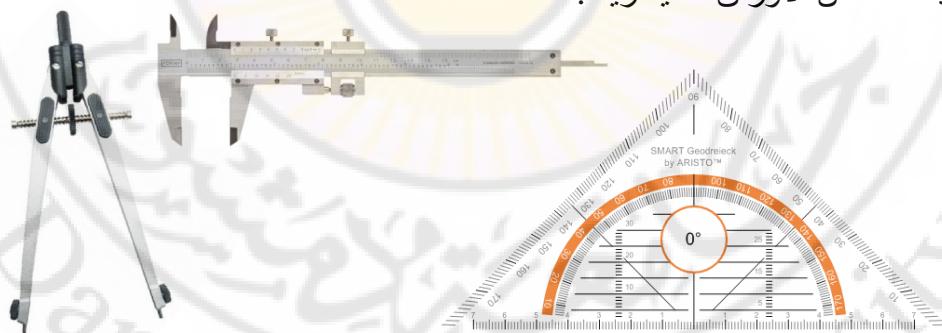
يرمز لعملية الارتكاس بمرکزها \vec{r} ، ويعني وجود هذا المركز في بلورة ما أن لكل موقع شبكي معين بالشاعع (\vec{r}) مبدؤه المركز نفسه ، موقعاً مناظراً يعين بالشاعع النظير (\vec{r}') ، فعملية الارتكاس إذن تنقلنا من (\vec{r}) إلى (\vec{r}') .

يرمز لعملية الانعكاس بالرمز m ، ويمكن أن نجد في الشبكات البلورية عمليات تناظر من الشكل $(1m \text{ و } 2mm \text{ و } 3m \text{ و } 4mm \text{ و } 6mm)$ ، حيث يعني الرمز mm وجود تناظر بالنسبة إلى مستوى عمودي على مستوى التناظر الأول m ، أما الرموز pm و pmm حيث $(p = 1, 2, 3, 4, 6)$ ، فتعني أن هنالك محور دوران من المرتبة p ، وأن هناك p مستويات للانعكاس .

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- 1 - نماذج بلورية مختلفة ، والتي سيتم إجراء الدراسة والقياسات عليها .
- 2 - أدوات هندسية (قدم قوية ومسطرة مليمترية و مثلث قائم و منقلة و ...) .
- 3 - عدد من الأوراق المليمترية .

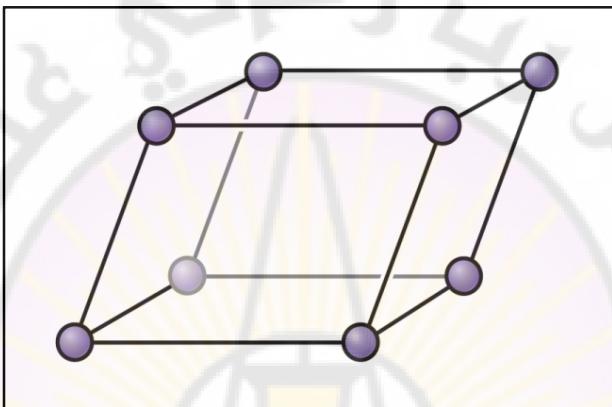


☆ - ملاحظات مهمة :

- تعامل برفق مع النماذج البلورية وتجنب الإهمال فهي سهلة الكسر .

★ - الإجراء التجريبي :

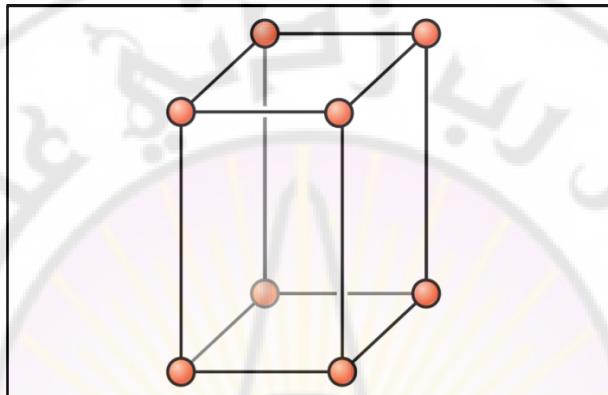
- 1 - ابدأ بالنموذج رقم (1) ، ما النظام البلوري الذي يتبع له ؟ وما الشروط المطبقة على الأشعة الأولية (a , b , c) والزوايا (α , β , γ) في هذا النظام ؟ وما نوع خلية الوحدة ؟



النموذج (1)

- 2 - عين نقطة المبدأ ، وقس أبعاد الخلية (a , b , c) بواحدة السنتيمتر ، ثم قس زواياها (α , β , γ) .
- 3 - ارسم على ورقة مليمترية جملة إحداثيات متعامدة كما في الشكل (3) ، ثم مثل النموذج في هذه الجملة المتعامدة بأبسط تمثيل مع اتخاذ مقياس رسم مناسب .
- 4 - قس أقطار الكرات (المقابلة للذرات) بالقدم الفنوية ، ثم أضف الكرات إلى الرسم على شكل دوائر مع الحفاظ على مقياس الرسم .
- 5 - اختر المستوى (XY) ، وظلل كرات هذا المستوى بدوائر غامقة ، ومثل مساقط الكرات على هذا المستوى بدوائر منقطة .
- 6 - عين على الرسم الإحداثيات البلورية لذرات النموذج الثمانية ، وعين الإحداثيات الديكارتية لها .

- 7 - عين عدد العمليات التنازليه التي يتمتع بها هذا النموذج وارسمها .
- 8 - عين قرائن ميلر لأوجه النموذج الثلاثة المقابلة للمحاور البلوريه ، ولمستويات التنازل لهذا النموذج .
- 9 - أعد الطلبات السابقة على النموذج رقم (2) .

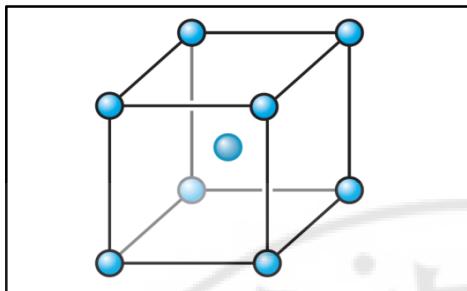


النموذج (2)

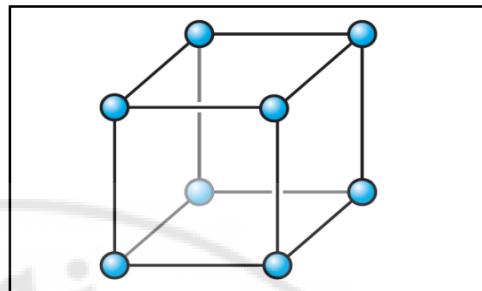
- 10 - عين أنواع خلية الوحدة ، والنظام البلوري الذي تتبع له ، ونسبة الارتصاص للنمذاج البلوريه (6 , 4 , 5 , 3) ، وضعها في الجدول التالي :

نسبة الارتصاص $\eta = \frac{V}{V}$	حجم خلية الوحدة V	حجم الذرات الواقع في خلية الوحدة $V = n V_1$	حجم الذررة الواحدة $V_1 = \frac{4}{3} \pi r^3$	عدد الذرات الواقعة في خلية الوحدة (n)	النظام البلوري	نوع الخلية الوحدة	نوع النماذج البلوري
							3
							4
							5
							6

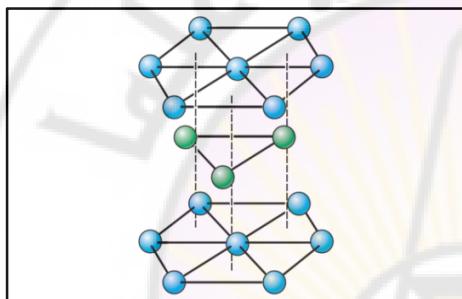
الجدول (1)



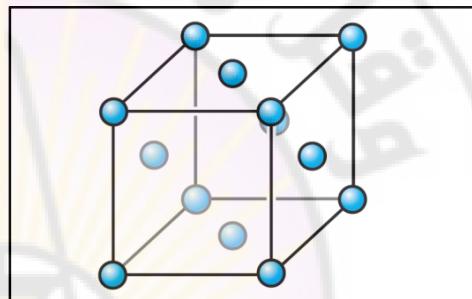
النموذج (4)



النموذج (3)



النموذج (6)



النموذج (5)

4- تقييم العمل التجريبي:

- احسب نسبة الارتصاص (Packing Fraction) في حال تماس الكرات في البنية (SC) والبنية (BCC) والبنية (FCC) كما هو موضح في الشكل (2) ثم قارنها بالقيمة التي حسبتها في الجدول (1) وانسربها إلى بعضها .
- ما الفروق الأساسية بين خلية الوحدة (Unit cell) والخلية البدائية (Primitive cell) ؟ وهل كل منهما وحيدة التعين ؟ ارسم خلية وحدة للشبكة المكعبية (FCC) وارسم خلية بدائية لها .
- ما الفروق بين نسبة الارتصاص الحجمي ونسبة الارتصاص السطحي ؟

5 - الكلمات المرجعية :

- Co-ordinate Axes	محاور إحداثية	-
- Crystallographic Axes	محاور بلوريّة	-
- Crystallographic System	نظام بلوري	-
- Geometric Lattice	شبكة هندسية	-
- Hexagonal	سداسي	-
- Miller Indices	قرائن ميلر	-
- Monoclinic	أحادي الميل	-
- Orthorhombic	تعامدي	-
- Packing Fraction	نسبة الارتصاص	-
- Primitive cell	الخلية البدائية	-
- Tetragonal	رباعي	-
- Triclinic	ثلاثي الميل	-
- Trigonal	معيني	-
- Unit cell	خلية الوحدة	-

6 - المراجع :

- 1 - المرجع 1 - الفصل الأول .
- 2 - المرجع 2 - الفصل الأول .
- 3 - المرجع 3 - الفصل الثالث .
- 4 - المرجع 4 - الفصلان الأول والثاني .
- 5 - المرجع 6 - الفصلان الثاني والثالث .

التجربة 2 :

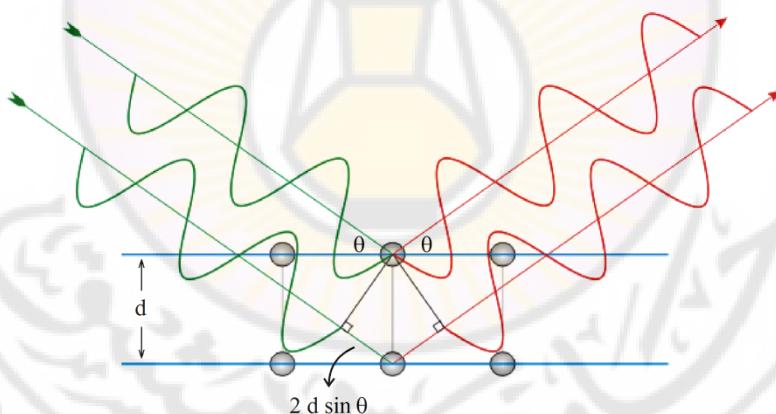
دراسة انعراج الأشعة السينية على بلورة وحيدة بطريقة برااغ

1- الغاية من التجربة :

- 1- التحقق من قانون انعراج برااغ على بلورتي NaCl و LiF .
- 2- تحديد ثابت الشبكة a_0 لبلورتي NaCl و LiF .

2- المبدأ النظري :

يصف قانون برااغ انعراج الأمواج المستوية على بلورة وحيدة بأنه انعكاس انتقائي للأمواج عن مجموعة من مستويات الشبكة البلورية ، وبسبب دورية الشبكة البلورية فإن كل مجموعة من المستويات البلورية المتوازية تتباعد فيما بينها بمسافة ثابتة d .



الشكل (1) : انعكاس الأشعة السينية عن المستويات البلورية .

لقد صاغ برااغ Bragg شرطه بشكل هندسي دون الأخذ في الحسبان قوانين الضوء الفيزيائي ومع ذلك فإن فرضيته البسيطة ، التي استخدمها للوصول إلى قانونه ، تقود إلى نفس النتيجة التي توصل إليها ثون لاو لاحقاً عندما استخدم مفهوم الشبكة العكسية .

افرض براوغ أن حزمة الأشعة السينية الواردة إلى البلورة ستعكس عنها كانعكاسها عن مرآة مستوية (حيث زاوية الورود تساوي زاوية الانعكاس) وذلك بالنسبة لمختلف المستويات الذرية في البلورة . وعندئذ ستزداد شدة الأشعة المنعكسة عندما يكون فرق المسير بين شعاعين منعكسيين عن مستويين بلوريين متوازيين متاليين يساوي عدداً صحيحاً من طول موجة الأشعة المستعملة (الشكل 1) ، ومنه يأخذ شرط براوغ الشكل التالي :

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (1)$$

حيث:

n : رتبة الانعراج λ : طول موجة الشعاع الوارد d : التباعد بين مستويات الشبكة θ : الزاوية بين شعاع الموجة الواردة و المستويات البلورية للشبكة .

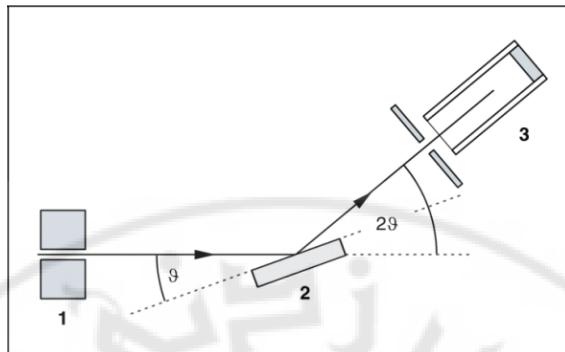
إن الطريقة المتبعة لدراسة البلورة هي طريقة الزاوية المضاعفة (2θ) شكل (2) حيث يدور كل من البلورة والكافش بالنسبة للمنبع وفي كل لحظة تصنع فيها البلورة مع المنبع زاوية (θ) تكون الزاوية بين الكافش والمنبع (2θ) . ومن الطبيعي عندئذ أن هذه الطريقة تستخدم لدراسة مجموعة واحدة فقط من المستويات البلورية وهي تلك الموازية لسطح البلورة .

تستعمل في هذه التجربة عينات من مواد ذات بلورة وحيدة مكعبة ، لها بنية بلورة ملح الطعام (NaCl) ، ويكون سطح خلية الوحدة فيها موازيًا لسطح البلورة وعندئذ تكون المستويات البلورية المدروسة (فقط في حال تقارب نصف قطرى الأيونين) هي المستويات الموضحة في الشكل (3) المحددة بالقرائن (200) ، والتي يكون التباعد بين مستوياتها البلورية مساوياً لنصف ثابت الشبكة البلورية :

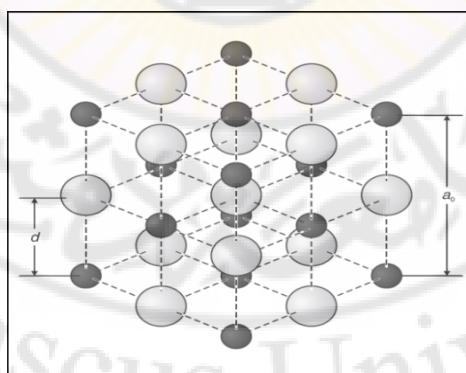
$$d = \frac{a_0}{2} \quad (2)$$

ومنه ، يمكن استخدام المعادلة (1) لحساب ثابت الشبكة البلورية a_0 :

$$n \lambda = a_0 \sin \theta \quad (3)$$



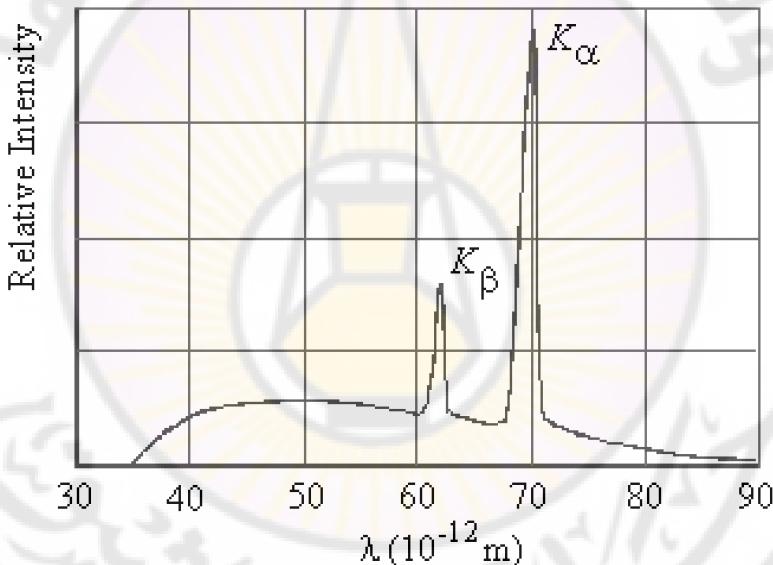
الشكل (2) : مخطط تمثيلي لانعراج أشعة - X على بلورة وحيدة .
 1: منبع الأشعة السينية ، 2: البلورة الوحيدة ، 3: أنبوب عداد غا이غر - مولر .
 لحساب a_0 نحتاج لقياس الزاوية θ التي تكون عندها شدة الانعكاس (معدل العد) عظمى ، وذلك من أجل طول موجي معروف λ ورتبة الانعراج n .
 تستخدم في هذه التجربة الأشعة السينية للانعراج على بلورة وحيدة من مادة NaCl و LiF ، ويستخدم للكشف عن الأشعة المنعرجة أنبوب عداد غايغر - مولر وهو عداد حساس بشكل أساسى لفوتونات الأشعة السينية وأشعة غاما .
 إن كلاً من الأشعة المنعرجة (العداد) والبلورة والأشعة الواردة تقع في مستوى شاقولي واحد كما في الشكل (2).



الشكل (3) : تمثيل ثلاثي الأبعاد لبنية بلورة NaCl
 d: المسافة بين المستويات البلورية ، a_0 : ثابت الشبكة البلورية .

تميز نقطة الصفر ($\theta = 0$) بأن مستويات الشبكة ومحور العداد متوازيان فيما بينهما ، وموازيان لحزمة الأشعة السينية الواردة ، وبما أن مستويات الشبكة نادراً ما تكون موازية بشكل دقيق لسطح البلورة ، فيجب أن تتم معايرة نقطة الصفر لكل بلورة على حدة .

يوضح الشكل (4) أشعة - X المستخدمة التي تصدر من مصعد الموليدن (Mo) وهي تميز بخطين طيفيين أساسيين ($K_{\alpha} = 71.08$ ، $K_{\beta} = 63.09$) لذلك ستشاهد عند كل رتبة تداخل قمتين إدراهما أكبر من الأخرى ، تعودان للخطين الطيفيين المذكورين .

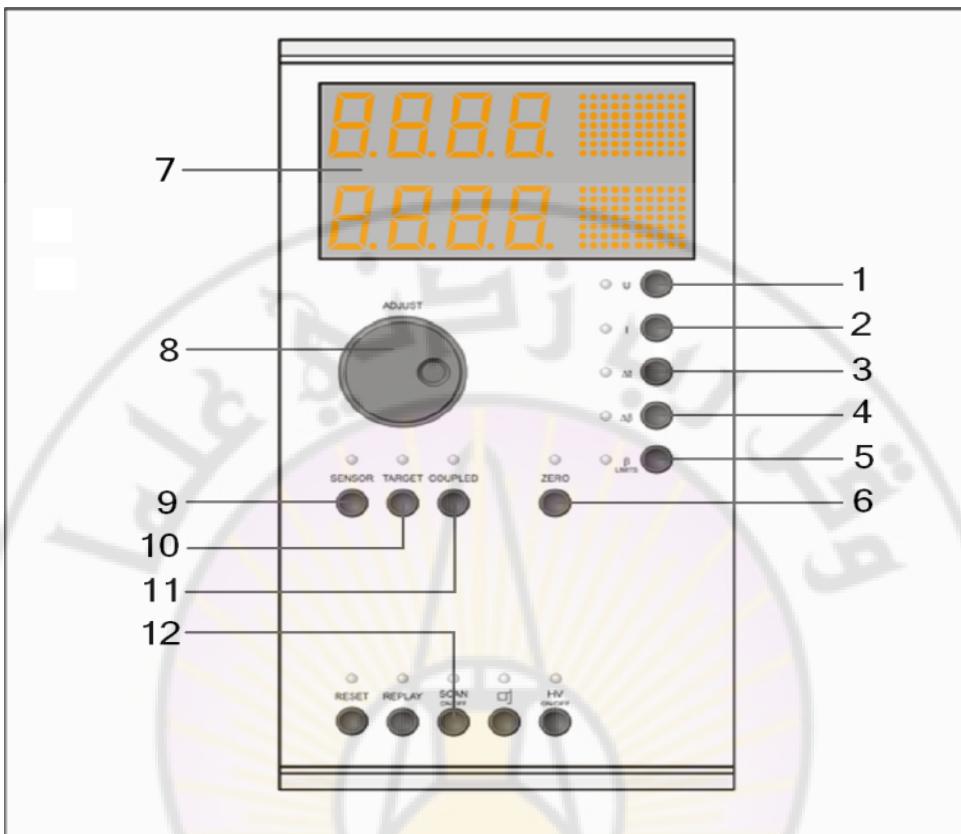


الشكل (4) : طيف مصعد الموليدن .

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

★ - الأجهزة و الأدوات التجريبية :

- بلورة وحيدة من مادة NaCl .
- بلورة وحيدة من مادة LiF .
- منبع للأشعة السينية 554 81 .
- حاسب مجهز ببرنامج X-Ray .

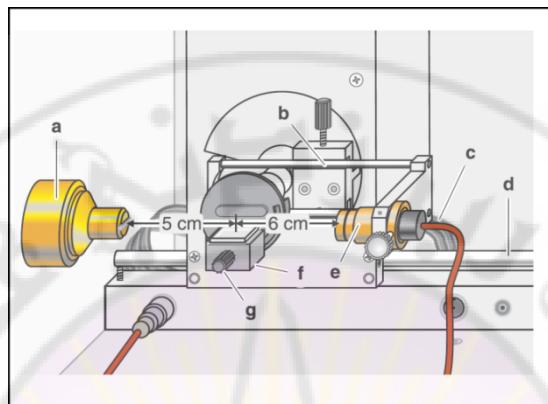


. الشكل (5) : واجهة التحكم في منبع الأشعة السينية (X-Ray apparatus) .

- 1: ضبط الجهد العالي المطبق على صمام توليد الأشعة.
- 2: ضبط التيار المار بضمام توليد الأشعة (تيار الإصدار).
- 3: ضبط الفاصل الزمني بين قياسين متتالين .
- 4: ضبط الفاصل الزاوي بين قياسين متتالين .
- 5: ضبط الزاويتين الكبرى والصغرى لبدء وتوقف القياس .
- 6: زر التصفير .
- 7: شاشة العرض .
- 8: مفتاح تغيير المتحولات .
- 9: تفعيل حركة العداد .
- 10: تفعيل حركة العينة .
- 11: تفعيل حركة العينة مع الكاشف بطريقة 20 .
- 12: زر بدء القياس .

★ - الإعداد التجريبي:

- يتم إعداد جهاز أشعة-X في تشکیلة براگ كما هو موضح في الشکل (6) .



الشكل (6) الإعداد التجريبي لجهاز أشعة-X لاستخدامه بطريقة براگ .

- 1- ضع مسدّد الأشعة على المنصة الخاصة به (a) .
- 2- ثبت مقياس الزوايا إلى قضبان الدليل (d) بحيث تكون المسافة S_1 بين شق الحطار ومسدد الأشعة ، وذراع حامل العينة بحدود 5cm . صل الكبل المطاطي (c) للتحكم بمقاييس الزوايا .
- 3- ارفع غطاء الحماية لนาشفة العداد ، ضع نهاية العداد في مكان المقياس (e) وأوصل كبل أنبوب العداد إلى المأخذ المكتوب عليه GM TUBE .
- 4- بتحريك حامل الحساس (b) اضبط المسافة S_2 بين ذراع حامل العينة وشق حطار حامل العينة و العداد بحوالي 6cm .
- 5- ركب حامل منصة العينة (f) مع منصة العينة .
- 6- قم بضغط زر التصفيير 6 (الشکل 5) وتأكد من أن كلاً من منبع الأشعة السينية والعينة والعداد على استقامة واحدة .
- 7- صل خرج RS-232 والمدخل التسلسلي في الحاسب (COM 1) .

☆ - ملاحظات مهمة :

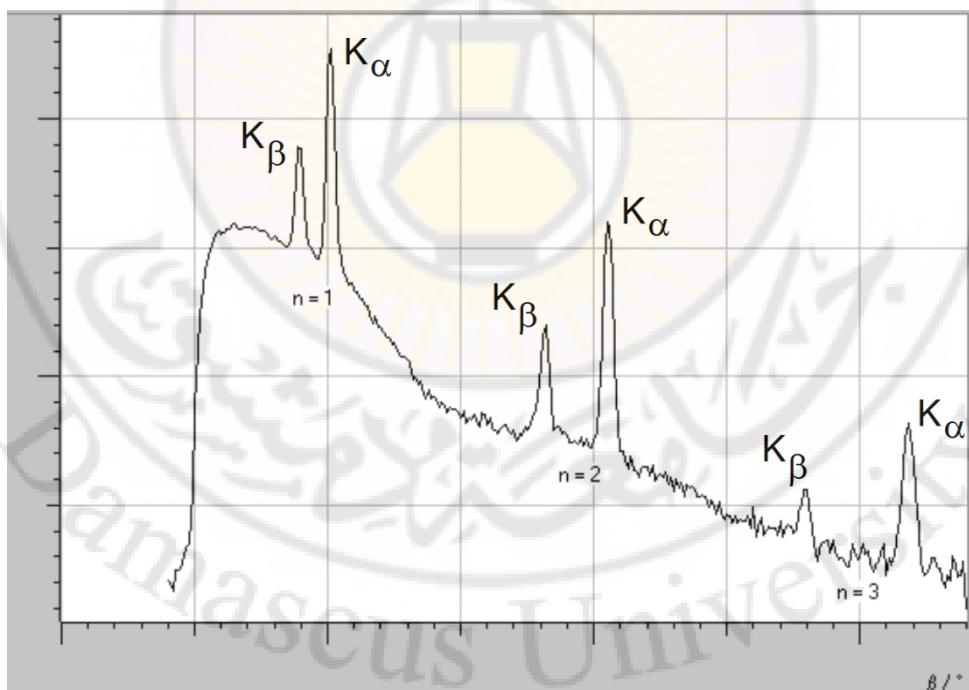
- 1- يكون الجهاز موصولاً ومعداً مسبقاً ، فيطلب منك التأكد من الوصل والأوضاع وعدم تغييرها إلا بعد الرجوع إلى أحد المشرفين في المخبر .
- 2- بلورات NaCl و LiF هي بلورات تمتص الرطوبة وبغاية الهشاشة ، احتفظ بهذه البلورات في مكان جاف ، كما جنب البلورات الضغط الميكانيكي ويجب عدم لمس البلورات إلا من الجوانب فقط .
- 3- إذا كان معدل العد منخفضاً ، عندها يمكنك تصغير المسافة S_2 بين العينة والعداد ، على أي حال ، فالمسافة يجب ألا تكون صغيرة بشكل كبير ، وإلا لن تكون دقة قياس الزوايا كافية لتمييز خصائص الخطوط الطيفية K_α و K_β .

☆ - الإجراء التجريبي :

أولاً: انعكاس برااغ على بلورة وحيدة LiF :

- 1- تأكد من أن كلاً من منبع الأشعة السينية والعينة والعداد على استقامة واحدة بالضغط على الزر Zero ، الزر رقم 6 (الشكل 5) .
- 2- شغل برنامج X-ray على الحاسب ، وفعل المقياس المغارتمي للشدة R .
- 3- ضع الجهد العالي لأنبوب الأشعة السينية على القيمة KV 35 ، بالضغط على الزر 1 ثم تدوير المفتاح 8 حتى يظهر على الشاشة السوداء (35.0 KV) .
- 4- ضع تيار الإصدار على $I = 1 \text{ mA}$ ، وذلك بالضغط على الزر 2 ثم تدوير المفتاح 8 حتى يظهر على الشاشة السوداء 1.00 mA .
- 5- أجعل الفاصل الزمني بين كل قياسين متتاليين $s = \Delta t = 6$ وذلك بالضغط على الزر 3 ثم تدوير المفتاح 8 حتى يظهر على الشاشة السوداء 6 s .
- 6- أجعل التغير في الزاوية $\beta = 0.1^\circ$ Δ وذلك بالضغط على الزر 4 ثم تدوير المفتاح 8 حتى يظهر على الشاشة السوداء 0.1 .

- 7- اضغط زر COUPLED (الزر رقم 11) فتكون الزاوية التي يتحرك بها العداد هي ضعف الزاوية التي تتحرك بها البلورة المدروسة أي 2θ .
- 8- اجعل الحد الأدنى لزاوية بدء القياس $\beta = 4^\circ \downarrow$ ، وذلك بالضغط على الزر 5 ، ثم تدوير المفتاح 8 حتى يظهر على الشاشة السوداء ($\beta = 4^\circ \downarrow$) ، ثم اجعل الحد الأعلى لزاوية انتهاء القياس $\beta = 34^\circ \uparrow$ وذلك بالضغط على الزر 5 مرة أخرى ، ثم تدوير المفتاح 8 حتى يظهر على الشاشة السوداء $\beta = 34^\circ \uparrow$.
- 9- ابدأ عملية القياس بالضغط على زر SCAN ، الزر رقم 12 .
- 10- عند انتهاء الحاسب من أخذ القياسات ، حدد من الشكل الناتج القمم العظمى لمعدل العد لكل طول موجة (K_α , K_β) على حدة (الشكل 7) ، بالنقر عليها بالزر الأيمن للماوس ، وسجل قيمة الزاوية المقابلة لها في جدول كالتالى :



الشكل (7) : نموذج لقياسات

	θ	$\sin \theta$	n	$n\lambda$ (pm)
K_α			1	71.08
			2	142.16
			3	213.24
K_β			1	63.06
			2	126.12
			3	189.18

11- ارسم على نفس الورقة المليمترية المنحني البياني لتغيرات $n\lambda$ بدلالة θ من أجل K_α و K_β ، واحسب ثابت الشبكة البلورية a_0 للبورة LiF وفق العلاقة (3) ، وقدر الارتكاب فيه ، ثم قارنه بالقيمة المعروفة لهذا الثابت .

12- عند انتهاء الحاسب من القياسات ، احفظ المخطط البياني في ملف صوري باستخدام الأمر (copy diagram) .

ثانياً: انعكاس براغ على بلورة وحيدة : NaCl

1 - افتح النافذة الزجاجية للجهاز بطف ، واستبدل بلورة NaCl ببلورة LiF ، وذلك بالتقاط كل بلورة من الجوانب فقط ، ثمأغلق النافذة .

2 - كرر الخطوات السابقة على بلورة كلوريد الصوديوم NaCl ، وانتبه إلى اختلاف بسيط في زاوية انتهاء القياس حيث يتم ضبطها على القيم التالية :

$$\uparrow \beta = 26^\circ \text{ و } \downarrow \beta = 4^\circ$$

4 - تقييم العمل التجريبي :

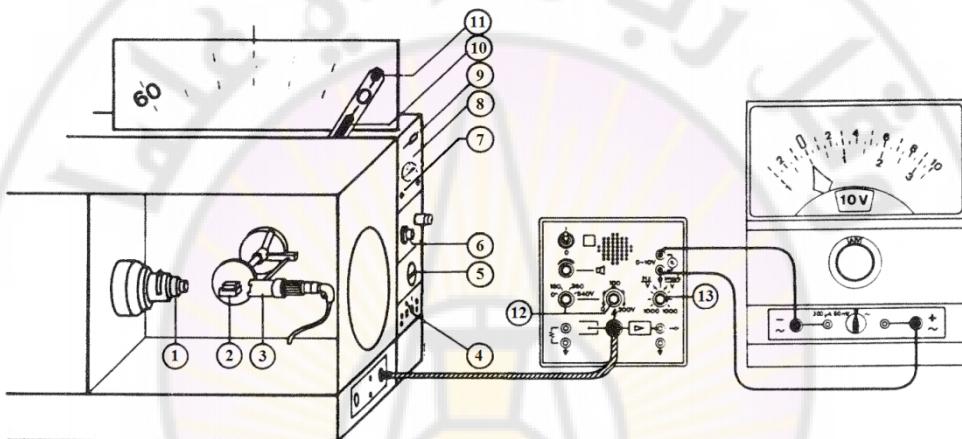
1 - ما مدى تطابق المنحنين اللذين حصلت عليهما من سلسلة K_α و K_β من أجل كل بلورة ؟ تحقق من مدى الدقة التي حصلت عليها ، بمقارنة نتائجك بالقيمة الحقيقية لثابت الشبكة البلورية للبورتي (LiF) و (NaCl) .

2 - هل يمكنك الحصول على عدد أكبر من القمم ولماذا ؟ نقاش ذلك .

★ - إجراء التجربة يدوياً :

★ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- مطياف للأشعة السينية 90 554 . - بلورة وحيدة من مادة NaCl و LiF .
- منبع للعداد مزود بمضخم إلكتروني . - مقياس فولط .



الشكل (8) : مطياف الأشعة السينية 90 554 وملحقاته

- 1: منبع الأشعة السينية ، 2: حامل البلورة ، 3: الكاشف (عداد غايغر - مولر)
- 4: مفتاح التشغيل الرئيسي ، 5: قاطعة زمنية لتحديد قترة التشغيل المطلوبة
- 6: مفتاح لتدوير البلورة والكاشف يدوياً ، 7: مفتاح وصل التوتر العالي ، وهو لا يعمل إلا عندما يكون المفتاح (8) في البداية اليسرى عند KV 21
- 8: مفتاح لتعديل التوتر العالي المطبق من 21 KV وحتى 42 KV بخطوة 3KV
- 9: زالقة للتحكم بتيار الإصدار الذي يمكن تغييره من 0.5 mA وحتى 1mA
- 10: مؤشر زاوية البلورة مع المنبع ، 11: مؤشر زاوية الكاشف مع المنبع
- 12: ناخبة متدرجة ومفتاح تغيير مستمر لتزويد العداد بال питания اللازمة (التي يجب ألا تتجاوز V 475) . 13: ناخب لأنقاء ثابت النسب بين معدل العد وفرق الكمون المقصود على مقياس الفولط .

☆ - الإعداد التجريبي:

يبين الشكل (8) مخططًا للمطياف المستخدم الذي يحتوي على أنبوب أشعة سينية مصنوع من المولبدن . تخرج الأشعة من شق فيه حامل يوضع فيه مرشح من الزركونيوم (Zr) ، وذلك للحصول على أشعة سينية وحيدة اللون ، طولها الموجي ($\lambda = 71 \pm 0.5 \text{ pm}$) . توضع العينة المراد دراستها على الحامل (2) القابل للدوران بواسطة المفتاح (6) .

☆ - الإجراء التجريبي :

- 1 - ضع بلورة كلور الصوديوم على حامل العينة وثبتها ثمأغلق الباب الزجاجي .
- 2 - ضع ناخب تغيير التوتر العالي (8) عند أخفض تدريجة ، ثم ضع القاطعة الزمنية (5) على الفترة التي يراد تشغيل الجهاز خلالها (20 أو 30 دقيقة) .
- 3 - اضغط على زر وصل التوتر العالي (7) فيضاء المؤشر الضوئي للجهاز دليلاً على بدء صدور الأشعة السينية .
- 4 - قم بعد ذلك بزيادة قيمة فرق التوتر العالي من خلال الناخب (8) تدريجياً حتى حوالي (36 KV) .
- 5 - قم بزيادة شدة تيار الإصدار بواسطة الزالقة (9) حتى القيمة (0.8 mA) .
- 6 - اضبط قيمة فرق الكمون المغذي لعداد غايغر - مولر على القيمة (420 V) ، ثم اضبط قيمة الحساسية المناسبة من الناخب (13) للحصول على انحرافات ملائمة على مقياس الفولط .
- 7 - غير الزاوية (θ) من خلال تدوير المفتاح (6) ، فتتحرك العينة والكافش في آن واحد ، حيث تدور العينة بزاوية (θ) ، والكافش بزاوية (2θ) بعد رص الصامولة البيضاء فوق المفتاح (6) .

8 - ابتداء من الزاوية (4°) وحتى (30°) ، قم بزيادة الزاوية بمقدار درجة واحدة ، وسجل عند كل زاوية قيمة فرق الكمون المقابلة (U) المقروءة ، ثم رتب نتائجك في جدول كالتالي :

θ (deg)	4	5	6	7	27	28	29	30
U (V)								

9 - ارسم على ورقة مليمترية تغيرات فرق الكمون بدلالة الزاوية ، فتحصل على شكل مشابه للشكل (7) ، لكن بقمم مفردة عند كل رتبة تداخل .

10 - تعالج النتائج كما ورد في القسم السابق المؤتمن من التجربة ، ويتم حساب ثابت الشبكة البلورية لبلوره (NaCl) .

11 - كرر الخطوات السابقة على بلوره (LiF) .

5 - الكلمات المرجعية :

- Bragg diffraction انعراج برااغ
- Bragg reflection انعکاس برااغ
- Counting rate معدل العد
- Diffraction order رتبة الانعراج
- Lattice constant ثابت الشبكة
- Lattice planes المستويات البلورية
- Monocrystal بلوره وحيدة
- Peak قمة عظمى
- Periodicity of the Crystal دورية الشبكة البلورية
- Plane waves الأمواج المستوية
- Selective reflection الانعکاس الانتقائي
- Spacing of lattice planes التباعد بين المستويات البلورية
- Wavelength طول الموجة
- X-Ray Apparatus جهاز الأشعة السينية .

★ - المراجع :

- 1 - المرجع 1 - الفصل الثاني .
- 2 - المرجع 2 - الفصلان الثاني و الثالث .
- 3 - المرجع 4 - الفصل الثالث .
- 4 - النشرتان التجربيتان : (P7.1.2.1 & 800 554) من شركة ليبولد " LEYBOLD DIDACTIC "



التجربة 3 :

دراسة انعراج الأمواج السنتمترية على نموذج بلورة مكعبية بسيطة

1- الغاية من التجربة :

- دراسة انعراج الأمواج الكهروطيسية السنتمترية على نموذج بلورة مكعبة بسيطة ثابت شبكتها من رتبة عدة سنتمرات .
- إيجاد ثابت الشبكة البلورية a للنموذج بالاعتماد على قانون انعراج براغ .

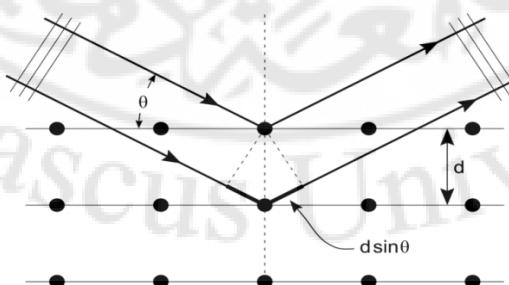
2- المبدأ النظري :

إن انعراج الأمواج الكهروطيسية السنتمترية عن الكرات المعدنية مماثل لانعراج الأشعة السينية عن الذرات ، فهناك انتشار في جميع الاتجاهات وتتدخل هذه الأمواج المنتشرة تداخلاً بناءً عند تحقق علاقة براغ وهو شرط الحصول على النهايات العظمى للأشعة المنعرجة :

$$2d_{hkl} \sin\theta_{hkl} = n\lambda \quad (1)$$

حيث:

- d_{hkl} : التباعد بين المستويات البلورية المعينة بقرائن ميلر $h k l$.
- θ_{hkl} : الزاوية بين الأشعة الواردة وهذه المستويات
- λ : طول موجة الإشعاع ، n : رتبة التداخل .



الشكل (1) : انعراج براغ .

جرت العادة أن يتم الاستعاضة عن استخدام رتبة التداخل (n) باستخدام قرائين ميلر المضاعفة ، أي أنه إذا اصطلحنا وجود مستويات لها القرائن [222] مثلا بالإضافة إلى المستويات [111] كان ذلك مكافئا لاعتبارنا القرائن [111] والرتبة ($n = 2$) . وهناك علاقة بسيطة تربط بين ثابت الشبكة البلورية a للبني المكعبية والبعد d_{hkl} :

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (2)$$

فإذا وضعنا هذه القيمة في علاقة برااغ (1) واعتبرنا قرائين ميلر المضاعفة بالإضافة إلى البسيطة لوجدنا :

$$\sin\theta_{hkl} = \left(\frac{\lambda}{2a} \right) \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (3)$$

حيث ترمز θ_{hkl} إلى الزاوية المقابلة للنهاية العظمى لشدة الإشعاع المنعرج على جملة المستويات الذرية المعينة بالقرائن (h, k, l) التي يمكن أن تكون مضاعفة . يمكن إذن من خلال قياس الزوايا θ_{hkl} المقابلة للنهايات العظمى التوصل إلى استنتاج قيمة ثابت الشبكة البلورية a إذا عرف طول موجة الإشعاع الوحديد اللون المستخدم λ ويتم ذلك بمحاجحة أن :

$$\sin^2\theta_{hkl} = \left(\frac{\lambda^2}{4a^2} \right) (h^2 + k^2 + l^2) \quad (4)$$

$$\sin^2\theta_{hkl} = A (h^2 + k^2 + l^2)$$

حيث : $A = \frac{\lambda^2}{4a^2}$ عامل مشترك من أجل كل النهايات العظمى ، وهو الذي ينبغي تعبيئه للتوصول إلى الثابت a . إذا لا حظنا بعد ذلك أن المقدار ($h^2 + k^2 + l^2$) لا يأخذ سوى القيم التالية :

$$(1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, \dots)$$

حيث تنقص الأعداد (7) ، وهذا عائد بالطبع لكون (h, k, l) تأخذ

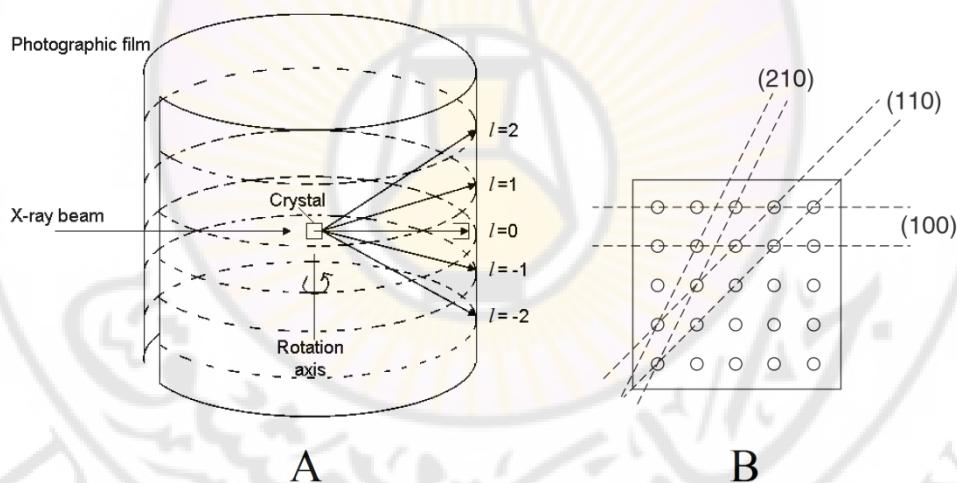
كل القيم الصحيحة الممكنة ، أمكن عندها من مقارنة قيم $\sin^2\theta_{hkl}$ فيما بينها استنتاج قيمة $(h^2 + k^2 + l^2)$ الموافقة لكل نهاية عظمى ، وبالتالي تعين العامل المشترك A ومنه ثابت الشبكة a بعد معرفة λ .

يمكن كذلك الحكم على نوع بنية البلورة المكعبية من تسلسل قيم $(h^2 + k^2 + l^2)$ الموافقة للنهايات العظمى المتتالية ، فنقول أن البنية مكعبية بسيطة (SC) عندما تظهر كل النهايات العظمى المقابلة لقيم المذكورة أعلاه ، بينما تكون مكعبية مركزية (BCC) لدى ظهور النهايات العظمى المقابلة لقيم التي يكون من أجلها المجموع $(h + k + l)$ زوجيا فقط ، وتكون البنية مركزية الوجوه (FCC) لدى ظهور النهايات العظمى المقابلة لقيم التي تكون فيها قرائنا ميلر كلها زوجية أو كلها فردية ويبين الجدول (1) القمم السبعة الأولى من أجل أنظمة التبلور المكعبة الثلاثة .

ترتيب القمة	SC			BCC			FCC		
	[$h k l$]	$h^2 + k^2 + l^2$	$\frac{\sin^2\theta_i}{\sin^2\theta_1}$	[$h k l$]	$h^2 + k^2 + l^2$	$\frac{\sin^2\theta_i}{\sin^2\theta_1}$	[$h k l$]	$h^2 + k^2 + l^2$	$\frac{\sin^2\theta_i}{\sin^2\theta_1}$
1	[100]	1	1	[110]	2	1	[111]	3	1
2	[110]	2	2	[200]	4	2	[200]	4	$\frac{4}{3}$
3	[111]	3	3	[211]	6	3	[220]	8	$\frac{8}{3}$
4	[200]	4	4	[220]	8	4	[311]	11	$\frac{11}{3}$
5	[210]	5	5	[310]	10	5	[222]	12	4
6	[211]	6	6	[222]	12	6	[400]	16	$\frac{16}{3}$
7	[220]	8	8	[321]	16	7	[331]	25	$\frac{5}{3}$

الجدول (1)

يمكن دراسة بنية البلورة الوحيدة بعدة طرائق منها طريقة الزاوية المضاعفة* والبلورة الدوارة . ففي طريقة البلورة الدوارة (الشكل A - 2) ، تُعرض كل المستويات البلورية للأشعة السينية بواسطة تدوير البلورة المراد دراستها حول محور عمودي على منحى الأشعة وحيدة اللون الساقطة عليها ، وتكون البلورة محاطة بفilm حساس للأشعة السينية على شكل أسطوانة ينطبق مولدها على محور الدوران . بهذا الشكل تتعرض مختلف مجموعات المستويات البلورية المتوازية للأشعة وتحدث انعكاسات عظمى في الاتجاهات التي تتحقق من أجلها علاقة براغ . تكون الانعكاسات العظمى على المستويات الموازية لمحور الدوران (الشاقولي) واقعة في المستوى الأفقي . أما تلك التي تحدث على المستويات الأخرى (المائلة بالنسبة إلى محور الدوران) فستكون فوق هذا المستوى الأفقي أو تحته .



الشكل (2) A: طريقة البلورة الدوارة ، B: بعض المستويات البلورية المدرولة .

يُستعراض في تجربتنا هذه عن الفيلم الحساس ، لكشف مواضع النهايات العظمى للأشعة السينية ، بكاشف الأمواج السنتمترية الذي يعطينا شدة هذه الأمواج في النقاط

* : تم شرح هذه الطريقة في تجربة " دراسة انعراج الأشعة السينية على بلورة وحيدة بطريقة براغ " .

التي نضعه فيها . لذلك لإيجاد مواضع النهايات العظمى لانعكاس في أثناء دوران النموذج المكعب حول محور شاقولي ، ينبغي أن ننقل الكاشف من نقطة لأخرى في الفراغ المحيط بالنموذج ونسجل في كل موضع نضعه فيه الشدة العظمى التي يشير إليها أثناء تدوير النموذج ، مما يجعلنا نحصل في النهاية (بعد نقل الكاشف إلى مختلف نقاط الفراغ المحيطة بالنموذج) على توزع مواضع النهايات العظمى (وهذا يماثل النقاط المضيئة على الفيلم الحساس في طريقة البلورة الدوّارة) .

لكن هذا لا يتطلب جهداً كبيراً وقتاً طويلاً فحسب ، بل كذلك قياس الزوايا المحسنة في مختلف الاتجاهات بالنسبة إلى منحى الأشعة الواردة ، وذلك لتحديد موضع الكاشف في كل نقطة . لذلك يكتفى ، في هذه التجربة ، بدراسة توزع النهايات العظمى الناجمة عن المستويات الموازية لمحور الدوران ، أي نكتفي بالبحث عن النهايات العظمى في المستوى الأفقي فقط ، وذلك بنقل الكاشف في هذا المستوى حول النموذج ، وقياس الزاوية a بين منحى الأشعة الواردة ومنحى الأشعة التي يتلقاها الكاشف ، وهذا يعني أننا لا نبحث سوى عن الانعكاسات التي تحدث على مجموعات المستويات الشاقولية ، ولذلك ستكون إحدى قرائن ميلر لأية مجموعة متوازية من هذه المستويات صفرًا ، وبالتالي ستكون قيم $(h^2 + k^2 + 0)$ لهذه المستويات في حالة البنية المكعبة البسيطة هي إحدى القيم : (1 , 2 , 4 , 5 , ...) وهي المقابلة للمستويات التالية على الترتيب (الشكل B - 2) :

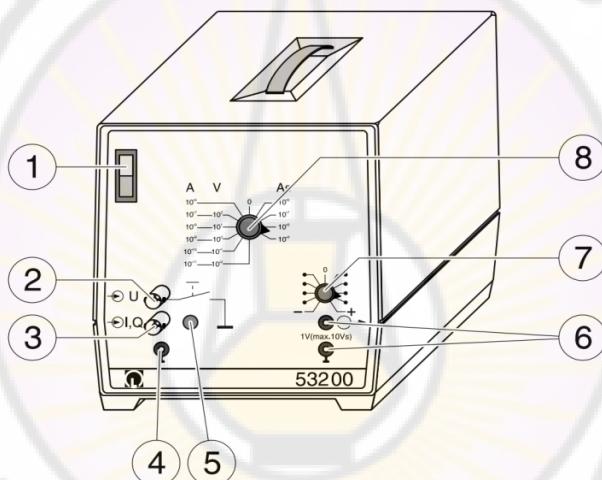
$$(\dots , 100 , 110 , 200 , 120 , 220)$$

لمعرفة قيم $(h^2 + k^2)$ المقابلة لكل النهايات العظمى المعينة تجريبياً نلجم إلى مقارنة قيم $\sin^2 \theta_{hkl}$ ببعضها ، وذلك بأخذ نسب مربعات جيوب الزوايا المقابلة للنهايات العظمى إلى مربع جيب الزاوية المقابلة للنهاية العظمى الأولى ، ثم مقارنة هذه النسب بالأعداد (1 , 2 , 4 , 5 , ...) (العلاقة 3) . فإذا كان التقابل جيداً تأكدنا أن النهاية العظمى الأولى تقابل القيمة 1 ، وتقابل الثانية القيمة 2 ، والثالثة القيمة 4 ... ، أي تكون قد حددنا قرائن ميلر للمستويات التي يحدث الانعكاس عنها .

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- مرسل للأمواج الكهرومغناطيسية السنتيمترية بطول موجة $\lambda = 3.20 \pm 0.01 \text{ cm}$.
- منبع V لتيار مرسل الأمواج .
- نموذج بلورة مكعبية بسيطة .
- كاشف أمواج كهرومغناطيسية سنتيمترية .
- مضخم الإشارة 532 00 .
- قرص مدرج لقياس الزوايا .
- تجهيزات Cassy lab .



الشكل (3) : مضخم الإشارة 532 00 : 1: زر التشغيل ، 2: مدخل الكمون
3: مدخل التيار ، 4: أرضي المدخل ، 5: زر وصل الكمون بالأرضي
6: مخرج الكمون ، 7: مفتاح تصفيير الكمون ، 8: ناخب مجال إشارة الدخل .

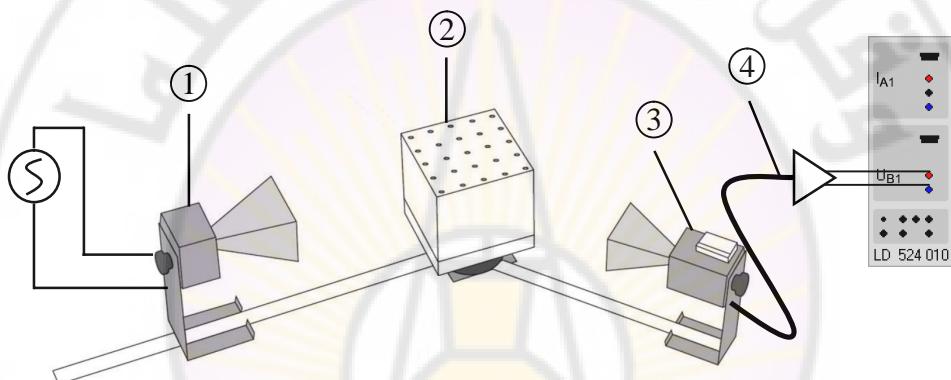
☆ - الإعداد التجريبي:

يوضح الشكل (4) الإعداد العام للتجربة .

- 1 - ركب كلاً من المرسل والكاشف على ذراعي القرص المدرج بحيث يكون بعد المرسل والكاشف عن مركز القرص مساوياً لـ (100 cm) تقريباً ، ثم حرك

الكافش بحيث يكون على استقامة واحدة مع المرسل .

- 2 - ضع النموذج فوق القرص بحيث يكون أحد وجوهه موازياً لمستوى المرسل .
- 3 - صل طرفي مرسل الأمواج بمنبع تيار المرسل بفرق كمون متقارب $V = 12$ V.
- 4 - صل الكافش بمدخل التيار (3) في المضخم ، واضبطه على قيمة تضخيم مناسبة (10^{-7} مثلاً) ، ثم صل مخرج الكمون (6) بالمدخل (Input B) على وحدة الكاسي .



الشكل (4) : الإعداد العام للتجربة .

- 1: منبع الأشعة السينمترية ، 2: النموذج المدروس
- 3: كافش الأشعة السينمترية ، 4: مضخم الإشارة .

☆ - ملاحظات مهمة :

- 1 - انتبه إلى النموذج البلوري ، فهو مصنوع من مادة سهلة التلف .
- 2 - لا تقم بوضع أي كتب أو حاجيات شخصية على الطاولة ، وتجنب الحركة الزائدة لأن كل ذلك يؤثر في مسار الأمواج السينمترية ، وبالتالي في دقة التجربة ومن الأفضل الانتظار عدة ثوان قبل أخذ كل قراءة لفرق الكمون .

☆ - الإجراء التجريبي :

أولاً : دراسة الخلفية :

هدف هذه الخطوة هو تأثير محاولة التخلص من ضجيج الخلفية على دقة القياس .

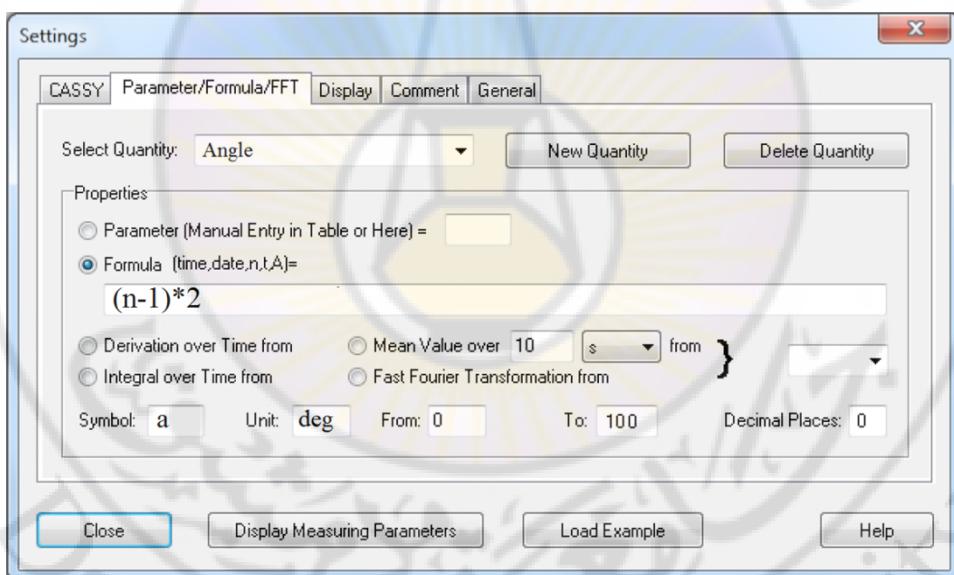
1 - شغل برنامج الكاسي من أيقونته على سطح المكتب ، واضبط الإعدادات التالية :

2 - انقر بالزر الأيسر الماوس على (B) Input واختر الخيارات التاليين :

Quantity: voltage U_{B1} , Meas. Range: -30 V .. +30 V

Record Measured Values : Averaged Values : 200 ms

3 - لتعريف الزاوية a انتقل إلى علامة التبويب Parameter/FFT ثم اضغط على (New Quantity) ، وأدخل المعطيات كما في الشكل التالي :



4 - انتقل إلى علامة التبويب Display واختر على المحور X تمثيل الزاوية a ثم اختر على المحور Y تمثيل الكمون U_{B1} .

5 - انتقل إلى النافذة الفرعية Measuring Parameters واختر تسجيل القيم يدوياً وذلك بتفعيل الخيار Manual Recording ، ثم عد إلى النافذة الأساسية .

6 - أزل النموذج البلوري برفق ، واضبط وضع القرص المدرج بحيث يكون صفره مثلاً للوضع الذي يكون فيه المرسل والكافش على استقامة واحدة . يمكن تدقيق ذلك بتشغيل الأجهزة و اختيار الوضع الذي تكون فيه إشارة الكمون عظمى .

7 - سجل قيمة فرق الكمون المقابلة للوضع الابتدائي (الصفرى) بالضغط على زر تسجيل القيم () أو بالضغط على F9 .

8 - حرك الكافش تدريجياً حتى الزاوية (90°) وبخطوة (2°) ، وسجل في كل خطوة قيمة فرق الكمون .

9 - انسخ جدول النتائج وذلك بالضغط بالزر الأيمن للماوس على الجدول ، و اختيار (Copy table) ، ثم انقله إلى ملف (Excel) واحفظ الملف .

ثانياً : دراسة الانتعاج بطريقة الزاوية المضاعفة (2θ) :

1 - أعد النموذج إلى مكانه على القرص المدرج ، ثم اضغط على الزر F4 .

2 - اضبط وضع الكافش والنماذج بحيث يصبحان على استقامة واحدة مع المنبع ، ثم سجل قيمة فرق الكمون المقابلة للوضع الابتدائي (الصفرى) .

3 - حرك الكافش بزاوية (2°) بالنسبة إلى المنبع ، وحرك النموذج بنفس الاتجاه لكن بزاوية (1°) بالنسبة إلى المنبع ، وابحث عن أعلى شدة للكمون بتحريك النموذج يميناً ويساراً ضمن مجال درجتين على الأكثر ، ثم سجل قيمة الكمون .

4 - حرك الكافش تدريجياً حتى الزاوية (90°) وبخطوة (2°) ، مع تحريك النموذج بخطوة (1°) بحيث تكون ، وفي كل خطوة ، الزاوية التي يصنعها الكافش مع المنبع تساوي ضعف الزاوية التي يصنعها النموذج مع المنبع ، وسجل في كل مرحلة قيمة فرق الكمون .

5 - انسخ جدول النتائج إلى ملف (Excel) الذي أنشأته في الخطوة السابقة ، ثم قم بطرح الخلفية باستخدام أوامر (Excel) ، واحفظ التغييرات .

6 - ارسم المنحني البياني لتغيرات فرق الكمون المسجل بدالة الزاوية $(\theta = \frac{a}{2})$ وحدد النهايات العظمى الواضحة ، ثم سجل نتائجك في جدول كالتالي :

القمة	θ	$\sin \theta$	$n.\lambda$
1			
2			
3			
4			
5			

7 - ارسم على ورق مليمترى تغيرات $\sin \theta$ بدالة λn ، واستنتج من الرسم قيمة ثابت الشبكة البلورية a حسب العلاقة $(2a \sin \theta = n \lambda)$ ، وقدر الارتباط فيها ، ثم قارنها بالقيمة التي يمكن قياسها بالمسطرة مباشرة على النموذج .

ثالثاً : دراسة الانعراج بطريقة البلورة الدوارة (θ) :

- 1 - اضبط وضع الكاشف والبلورة بحيث يكونان على استقامة واحدة مع المنبع ، ثم اضغط على الزر F4 ، ثم سجل قيمة فرق الكمون المقابلة للوضع الابتدائي .
- 2 - اضبط الزاوية بين المنبع والكاشف على القيمة $(a = 2^\circ)$ ، ثم دور النموذج يميناً ويساراً حتى تحصل على أعلى شدة ممكنة لفرق الكمون ثم سجلها . (يكفي البحث في مجال ربع دورة بسبب تناقض البنية المكعبية) .
- 3 - قم بتحريك الكاشف تدريجياً حتى $(a = 90^\circ)$ وبخطوة (2°) ، وسجل قيمة فرق الكمون المقابل لكل زاوية .
- 4 - انسخ جدول النتائج إلى ملف (Excel) الذي أنشأته في خطوة سابقة ، ثم قم بطرح الخلفية باستخدام أوامر (Excel) ، واحفظ التغييرات .

5 - ارسم المنحني البياني لتغيرات فرق الكمون المسجل بدلالة الزاوية ($\theta = a/2$)
وحدد النهايات العظمى الواضحة ، ثم سجل نتائجك في جدول كالتالى :

القمة	a	θ	$\sin \theta$	$\sin^2 \theta$	$(h^2 + k^2)$	$\frac{\sin^2 \theta_i}{\sin^2 \theta_1}$
1						
2						
3						
4						
5						

6 - تأكّد من أن النموذج هو نموذج مكعب بسيط من خلال تتالي قيم ($h^2 + k^2$)
المقابلة للنهايات العظمى ، ومقارنتها مع الأعداد (1 , 2 , 4 , 5 , ...) .

7 - ارسم على ورق مليمترى المنحني البياني لـ ($\sin^2 \theta$) بدلالة ($h^2 + k^2$) ،
واستفد من الميل في حساب ثابت الشبكة البلورية (a) حسب العلاقة (4) ، وقدّر
الارتياح فيها ، ثم قارنها بالقيمة التي يمكن قياسها بالمسطرة مباشرة على النموذج .

4- تقييم العمل التجريبى:

- 1 - هل يشترط في الأمواج المستخدمة في هذه التجربة أن تكون أمواجاً وحيدة؟
- 2 - هل يشترط أن تكون حزمة الأمواج مستوية؟ وهل هي كذلك في التجربة؟
ناقش دقة نتائجك في ضوء ما سبق .

5 - الكلمات المرجعية :

- Background effect	- تأثير الخلفية
- Centimeter waves	- أمواج سنتيمترية
- Constructive interference	- تداخل بناء .
- Crystal sample	- نموذج بلوري
- Destructive interference	- تداخل هدام .
- Diffracted waves	- الأمواج المنعرجة
- Electromagnetic waves	- أمواج كهرومغناطيسية
- Emitter	- المرسل
- Incoming waves	- الأمواج الواردة
- Microwaves	- أمواج ميكروية
- Receiver	- المستقبل
- Reflected waves	- الأمواج المنعكسة
- Rotating crystal	- البلورة الدوران
- Scattering	- انتشار

6 - المراجع :

- 1 - المراجع 1 - الفصل الثاني .
- 2 - المراجع 2 - الفصل الثاني .
- 3 - المراجع 4 - الفصل الثالث .

التجربة 4 :

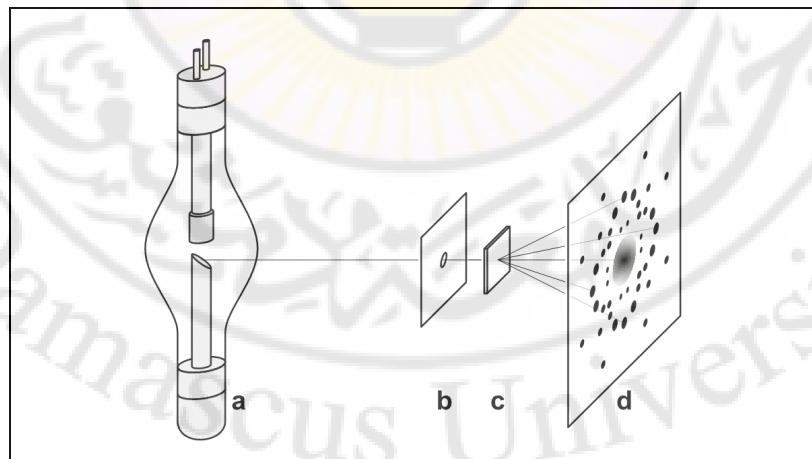
دراسة انعراج الأشعة السينية على بلورة وحيدة بطريقة لاو

1- الغاية من التجربة :

- 1- دراسة مخطوطات لاو لبلورة وحيدة لمركب NaCl .
- 2- دراسة بنية الشبكة البلورية للمركب السابق .

2- المبدأ النظري :

اقترح ماكس ثون لاو *Max von Laue* عام 1912 التحقق من شكل الموجة المفترض لأنشعـة-X عن طريق دراسة انعراجها على البلورات ، وقد عمل العالمان فريديريك و نيبينج باقتراحه ، وقاموا بتعريف بلورة لشعاع مرگز صادر عن منبع أشعـة-X ، وشاهد العالمان على صفيحة تصوير موضوعة خلف البلورة ما كان متوقعاً من بقع وانعكاسات متمايزة ، وبذلك استطاع هذان العالمان التأكيد وللمرة الأولى حقيقة البنية الفراغية للشبكة البلورية في المواد المتبلورة .



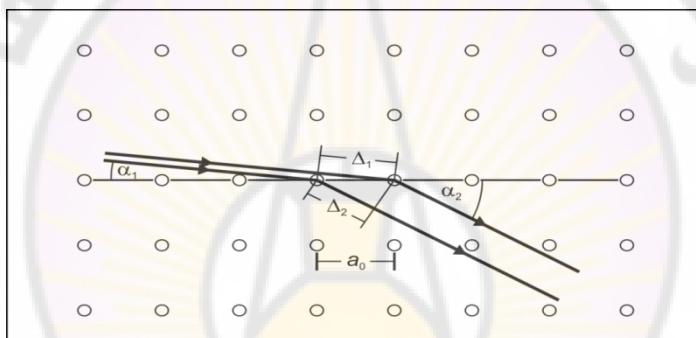
الشكل (1) : مخطط يوضح الترتيب المستخدم للحصول على مخطوطات لاو .
a: أنبوب أشعة-X ، b: مسدّد الأشعة ، c: البلورة d: فيلم لتصوير أشعـة-X .

- شروط لاو:

اعتبر لاو في تفسيره لهذه النتائج أن البلورة تتكون من شبكة مؤلفة من ثلاث مجموعات من المستويات المحددة المتقطعة ، وكل مجموعة تتبع فيما بينها بمسافة ثابتة ، وعندما تتعرج أشعة-X عند أحد المستويات تتحقق العلاقة :

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = a_0 \cdot \cos \alpha_1 - a_0 \cdot \cos \alpha_2 \quad (1)$$

حيث a_0 : المسافة بين النقاط ، α_1 : الزاوية بين شعاع-X الوارد والمستوى البلوري ، α_2 : الزاوية بين شعاع-X المنعرج والمستوى البلوري ، Δ : هو فرق المسير بين شعاعين متقاربين على نقطتين متجاورتين (عناصر الشبكة الشكل 2).



الشكل (2) : تمثيل ثانٍ لفرق المسير بين شعاعين متجاورين من أشعة-X ينبع جان على مستوى يحوي صف من الزرات في بلورة مكعبية .

يكون التداخل بين الأشعة الجزئية بناءً إذا كان فرق المسير Δ يساوي عدداً صحيحاً من طول الموجة λ ويجب استيفاء هذا الشرط في الاتجاهات الفراغية الثلاثة . في البلورات المكعبة تكون صفوف النقاط المتعلقة بالاتجاهات الفراغية الثلاث متعامدة فيما بينها والمسافة a_0 تكون نفسها بين جميع النقاط، ويكون عندها شرط لاو لحصول تداخل بناء على الشكل التالي :

$$\begin{cases} a_0 \cos(\alpha_1) - a_0 \cos(\alpha_2) = h \lambda \\ a_0 \cos(\beta_1) - a_0 \cos(\beta_2) = k \lambda \\ a_0 \cos(\gamma_1) - a_0 \cos(\gamma_2) = l \lambda \end{cases} \quad (2)$$

حيث : h, k, l أعداد صحيحة .

تُعد ($\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$) الزوايا بين الشعاع الوارد وصفوف النقاط (المستوى البلوري) بينما تُعد ($\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$) الزوايا بين الشعاع المنعرج والمستوى البلوري . تدعى المقادير h, k, l قرائن لاو أو قرائن ميل الموسعة ، وبما أن هذه المقادير أعداد صحيحة صغيرة فإن شرط لاو لا يمكن تتحقق من أجل أي قيمة لطول الموجة λ ، بل فقط من أجل أطوال موجة مناسبة (خاصة) .

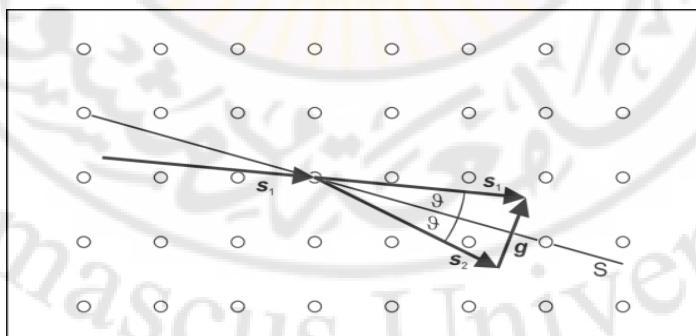
يتم غالباً استخدام شعاعي الواحدة التاليين :

$$\begin{aligned} S_1 &= (\cos \alpha_1, \cos \beta_1, \cos \gamma_1) \\ S_2 &= (\cos \alpha_2, \cos \beta_2, \cos \gamma_2) \end{aligned} \quad (3)$$

وهما شعاعان يتجهان في اتجاه كل من شعاع-X الوارد ، وشعاع-X البارز على التوالي . يصبح شرط لاو (2) على الشكل التالي :

$$S_1 - S_2 = \lambda G, \quad G = \frac{1}{a_0} (h, k, l) \quad (4)$$

يدعى G : شعاع الشبكة العكسية ويكون شرط لاو محققاً إذا كانت للأعداد h, k, l قيمًا صحيحة .



الشكل (3) : العلاقة الهندسية بين شعاعي الوحدة S_1 و S_2 ، والشعاع $\vec{G} = \lambda \cdot \vec{G}$

- شرط براغ : Bragg Condition

بما أن S_1 و S_2 شعاعاً واحداً فإن مطاليهما متساويان لذلك يكون الشعاع G عمودياً على منصف القطاع الزاوي بين الشعاع الوارد والشعاع البارز (انظر الشكل 3) ومنه نكتب:

$$\lambda |G| = |S_1 - S_2| = 2 \sin \theta \quad (5)$$

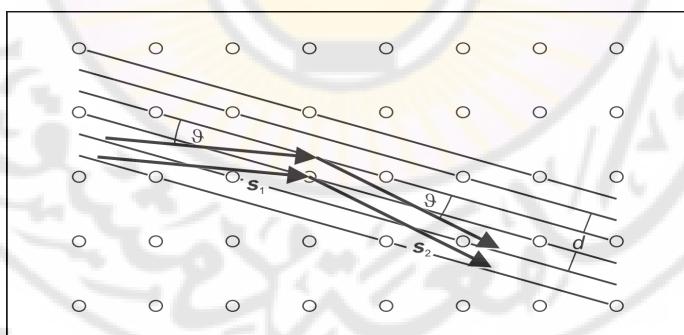
بتعميض قيمة مطال G نجد:

$$\lambda = 2 \sin \theta \cdot \frac{a_0}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (6)$$

إن المعادلة (6) هي شرط براغ نفسه فيما إذا كان التباعد بين مستويات الشبكة هو:

$$d = \frac{a_0}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (7)$$

من وجهاً نظر براغ ، تتكون شبكة البلورة من مجموعة من مستويات الشبكة التباعد بينها d (انظر الشكل 4) . وهذه المستويات موازية للمنصف S و معameda لشعاع الشبكة العكسية G .

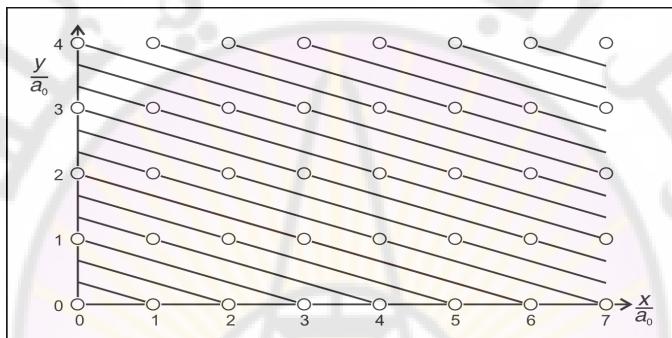


الشكل (4) : تمثيل ثانٍ للبعد وفق براغ لانعكاس أشعة- X على مجموعة من المستويات البلورية لبلورة مكعبية حيث المستويات البلورية موازية للمنصف S .

وتصبح المعادلة الشرطية في الإحداثيات المتعامدة لمجموعة مستويات الشبكة في نظام إحداثيات محاور البلورة على الشكل :

$$x.h + y.k + z.l = m.a_0 \quad (8)$$

حيث m رقم دوري صحيح في مجموعة من مستويات الشبكة .
إن (h^{-1} , k^{-1} , l^{-1}) هي أجزاء محاور مستوى الشبكة البلورية الأول ($m=1$) مقاساً بوحدة قياس هي ثابت الشبكة البلورية a_0 (انظر الشكل 5) ، وبما أن المقادير h, k, l تمثل مجموعة وحيدة من مستويات الشبكة لذا تعطى المجموعة الرمز ($h k l$) .



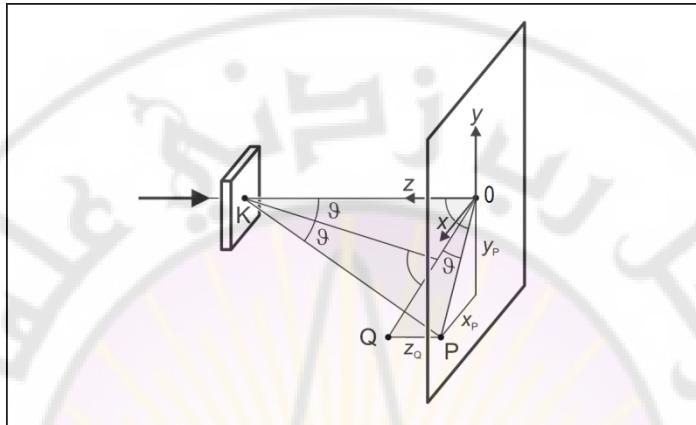
الشكل (5) : تمثيل ثنائي البعد لمجموعة المستويات البلورية (130) .

- دراسة مخطط لاو:

تتم دراسة مخطط لاو بإسناد مجموعة مستويات الشبكة التي تسبب التناشر إلى إحدى الانعكاسات المشاهدة على فيلم أشعة - X ، ولهذا يتم اختيار جملة الإحداثيات بحيث تكون نقطة المبدأ موافقة لنقطة الفراغ التي يرد فيها شعاع - X على الفيلم دون انبعاج . يكون فيلم أشعة - X معمداً للشعاع الوارد ، أي يقع في المستوى (oxy) (انظر الشكل 6) ، ويكون توجيه المحور Z بحيث يكون معاكساً لاتجاه انتشار شعاع - X الوارد الذي يخترق سطح البلورة عند نقطة K . إن الجزء غير المنعرج من الشعاع يصطدم بفيلم الأشعة عند نقطة المبدأ 0 . إن جزء الشعاع المنعرج عند النقطة K الذي يحقق شرط لاو (2) يبرز من البلورة بزاوية 2θ بالنسبة إلى اتجاه الشعاع الأولى ويصطدم بفيلم أشعة - X عند النقطة ($0, y_p, x_p$) ، وبالتالي يكون :

$$\tan 2\theta = \frac{\sqrt{x_p^2 + y_p^2}}{L} \quad (9)$$

حيث L : المسافة بين البلورة وفيلم أشعة-X .



الشكل (6) : التمثيل الهندسي لشعاع-X المنعرج عند النقطة K من البلورة والذى يخترق مستوى الفيلم في النقطة P .

في الشكل 6 ، تكون مجموعة مستويات الشبكة (h, k, l) ، التي تقود إلى الانعكاس بزاوية 2θ ، موازية لاتجاه منصف القطاع الزاوي 2θ . إن الزاوية بين المستقيم OQ العمود على المنصف ، والمستقيم OP هي θ ، وحيث إن Q هي نقطة تقاطع المستقيم OQ مع مواز للمحور Z من النقطة P ، تكون إحداثيات الشعاع OQ هي (x_Q, y_Q, z_Q) ومنه:

$$\tan \theta = \frac{z_Q}{\sqrt{x_Q^2 + y_Q^2}} \quad (10)$$

ويكون OQ موازياً لشعاع البلورة العكسية G ، وبما أن $x_Q = x_P$ و $y_Q = y_P$ إضافة إلى المعادلة (15) نجد:

$$z_Q = \sqrt{x_Q^2 + y_Q^2 + L^2} - L \quad (11)$$

إن البلورات المستخدمة في هذه التجربة قد تم قطعها موازية للمستوى (100) وبالتالي محاورها البلورية تتطابق مع نظام إحداثيات المخبر، وبما أن الشعاعين **OQ** ، **G** متوازيان ينتج لدينا :

$$h : k : l = x_Q : y_Q : z_Q \quad (12)$$

إن قيم l ، k ، h التي نبحث عنها هي أصغر ثلاثة من الأعداد الصحيحة تتحقق المعادلة (12) وهي تسمح بحساب قيم جميع الثوابت التي تؤثر في عملية الانعراج . يتم الحصول على قيمة تباعد مستويات الشبكة d من المعادلة (7) وطول الموجة من المعادلة (6) ، وتصبح زاوية براغ θ وفقاً للمعادلتين (10 ، 12) على الشكل:

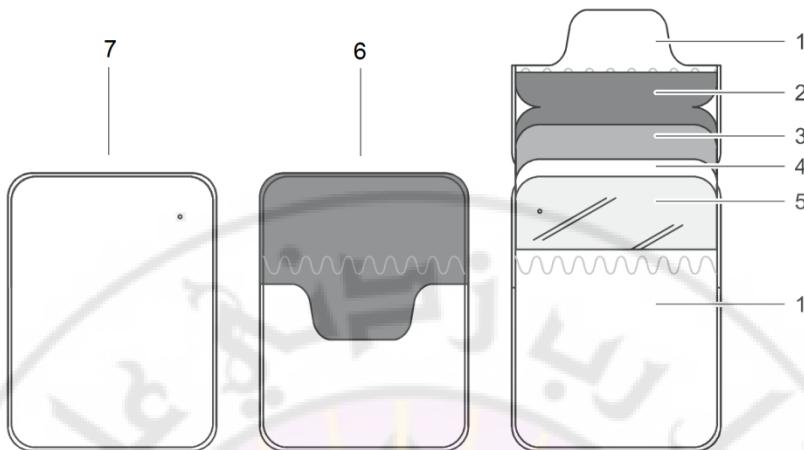
$$\theta = \arctan\left(\frac{l}{\sqrt{h^2 + k^2}}\right) \quad (13)$$

يستخدم في هذه التجربة منبع من المولبدن الذي يعطي طيفاً مستمراً من الأشعة السينية كما في الشكل (8) . وعليه فإن كل مجموعة من المستويات البلورية المتوازية تتنقى من الطيف طول الموجة المناسب الذي يحقق شرط براغ . لهذا فكل نقطة ستظهر على الفيلم هي نتيجة انعراج طول موجة معين من الطيف على مستويات بلورية معينة .

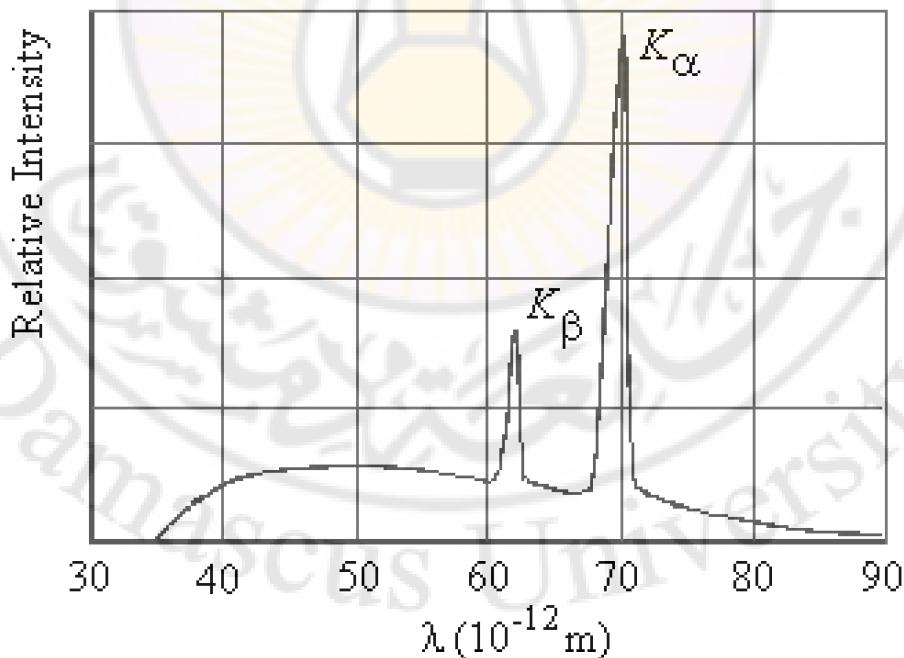
3 - أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة و الأدوات التجريبية :

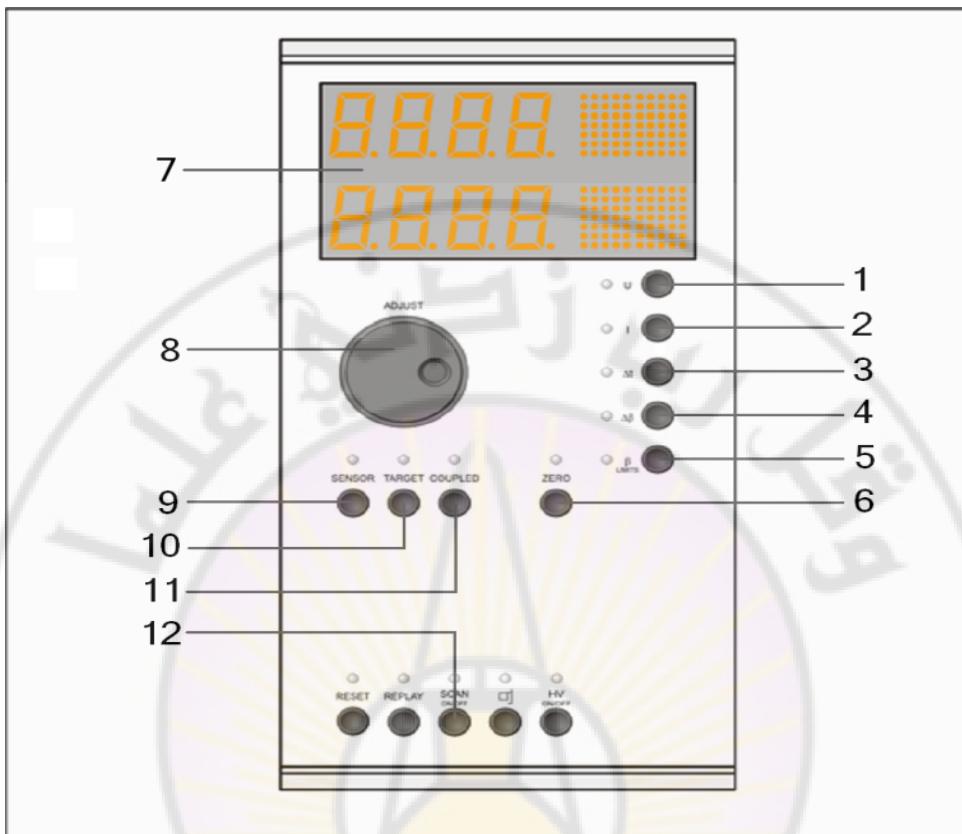
- منبع للأشعة السينية 554 81 .
- بلورة وحيدة من مادة NaCl .
- فيلم حساس للأشعة السينية (الشكل 7) .
- صندوق إظهار الفيلم .
- ورق مليمترى شاف .
- مُظهر و مُثبت .



الشكل (7) : فيلم الأشعة السينية المستخدم في التجربة . 1: الغلاف الخارجي للفيلم
 2: غلاف ورقي داخلي ، 3: الفيلم البلاستيكي ، 4: طبقة من الكرتون
 5: طبقة من الرصاص ، 6: الوجه الخلفي للفيلم ، 7: الوجه الأمامي للفيلم



الشكل (8) : طيف مصعد المولبدن .



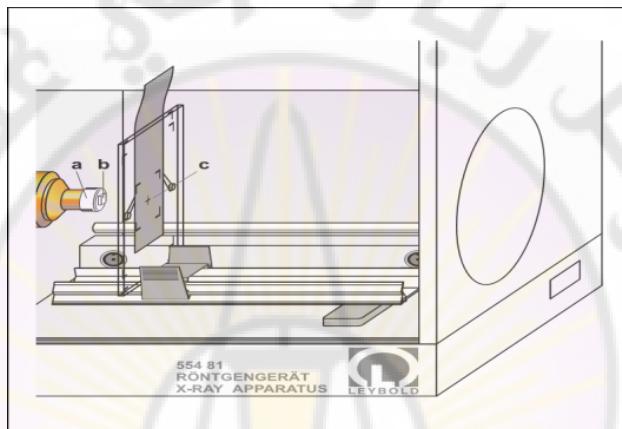
الشكل (9) : الأزرار الرئيسية في منبع الأشعة السينية (X-Ray apparatus) .

- 1: ضبط الجهد العالي المطبق على صمام توليد الأشعة.
- 2: ضبط التيار المار بضمام توليد الأشعة (تيار الإصدار).
- 3: ضبط الفاصل الزمني بين قياسين متتالين .
- 4: ضبط الفاصل الزاوي بين قياسين متتالين .
- 5: ضبط الزاويتين الكبرى والصغرى لبدء القياس وتوقفه .
- 6: زر التصفير .
- 7: شاشة العرض .
- 8: مفتاح تغيير المتحولات .
- 9: تفعيل حركة العداد .
- 10: تفعيل حركة العينة .
- 11: تفعيل حركة العينة مع الكاشف بطريقة 20 .
- 12: زر بدء القياس .

☆ - الإعداد التجريبي:

يوضح الشكل 10 كيفية إعداد التجربة :

1. ركب بلورة NaCl بعناية على ثقب الحظار (a) بواسطة لاصق شفاف.
2. علق مسدّد الحزمة ودوره بحذر بحيث تكون أطراف البلورة الخارجية مستقيمة بشكل أفقي (أو عمودي) قدر الإمكان.



الشكل (10) الإعداد التجريبي : a: الحظار ، b: البلورة المدروسة ، c: الفيلم

☆ - ملاحظات مهمة :

- 1 - يحفظ الفيلم عادة ضمن مغلف داخله أسود ، ويوضع عادة عند أحد وجهي المغلف رقاقة معدنية ويبقى الوجه الآخر مغطى بورق المغلف فقط ، لذلك يجب وضع الوجه الأبيض من المغلف (الوجه الأمامي شكل (7-7)) مقابلًا لورود الأشعة السينية .
- 2 - عند التحميص عليك تمييز الفيلم عن الطبقة الكرتونية أو الطبقة المعدنية من خلال الملمس البلاستيكي للفيلم .

★ - الإجراء التجريبي :

- 1- ثبت فيلم أشعة-X في منتصف حامل الفيلم ، وتأكد من أن سطح الفيلم مستو بشكل كامل ، وأن وجهه الأمامي (الشكل 7-7) هو المقابل للبلورة .
- 2- ثبت حامل الفيلم على سكة التجربة ، ورُكِّب سكة التجربة في حجرة التجربة لأنبوب أشعة-X.
- 3- قم بتحريك حامل الفيلم بحيث تكون المسافة بين البلورة و سطح الفيلم 15 mm أو 20 mm (تغير المساحة التي يغطيها المخطط على الفيلم بتغيير المسافة بين البلورة والفيلم).
- 4- اضبط الجهد العالي لأنبوب الأشعة السينية على القيمة KV = 35 U وذلك بالضغط على الزر 1 ، ثم تدوير المفتاح 8 حتى يظهر على شاشة العرض السوداء " 35.0KV " ، الشكل (9) .
- 5- اضبط تيار الإصدار على القيمة I = 1.00 mA وذلك بالضغط على الزر 2 ثم تدوير المفتاح 8 حتى يظهر على الشاشة السوداء " 1.00 mA " .
- 6- اجعل زمن القياس s = 2400 Δt ، وذلك بالضغط على الزر 3 ، ثم تدوير المفتاح 8 حتى يظهر على الشاشة السوداء " 2400 " ، تستغرق هذه العملية بعض الوقت * .
- 7- اجعل التغير في الزاوية $\Delta\beta = 0^\circ$ ، وذلك بالضغط على الزر 4 ، ثم تدوير المفتاح 6 ليظهر على الشاشة السوداء " 0 " .
- 8- ابدأ عملية تعريض الفيلم للأشعة المنعجة عن البلورة بالضغط على زر SCAN ، الزر رقم 12 .
- 9- عند انتهاء زمن التعريض قم بإخراج حامل الفيلم من على سكة التجربة .
- 10- قم بتطهير فيلم أشعة-X وفقاً للتعليمات المرفقة بالفيلم .

* : إذا كان زمن التعريض أطول فإن النقاط بجوار المركز ستحتفى بسبب إشعاعات X غير المنتشرة بينما تبقى النقاط الأبعد عن المركز قابلة للتمييز .

- طريقة تظير فلم أشعة - X :

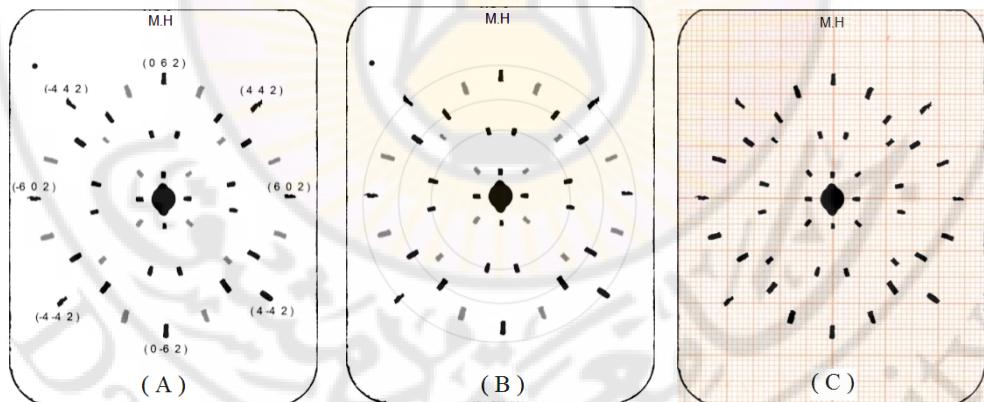
- 1- قم بتحضير محلول المُظهر والمثبت حسب التعليمات المذكورة على علبتهما ، وضعهما في الوعائين المخصصين لكل منها ، ثم أدخل الوعائين في صندوق التحميض في الموقع المخصص لكل وعاء ، واحذر من الخلط بينهما .
- 2- أخرج الفيلم من جهاز أشعة - X وأدخله في صندوق التحميض ، ثم افتحه هناك في الداخل بعد التأكد من إغلاق الصندوق بإحكام منعاً لعرض الفيلم للضوء .
- 3- ضع الفيلم في محلول المُظهر أولاً لمدة 3 دقائق (تأكّد أنك تمسّك الفيلم من طرفه بالملقط وأنك تضعه في المُظهر أولاً حتى لا تتلفه) . حرّكه بلطف داخل محلول ، واقلبه ، وتأكّد من تعرّض الوجهين مدة كافية للمُظهر .
- 4- أخرج الفيلم من المُظهر ثم جفّه داخل الصندوق بتحرّيّك دقيق بلطف بالهواء ثم ضعه في المثبت لمنطقة دقيقة .
- 5- أخرج الفيلم خارج الصندوق واغسله بالماء ، ثم اتركه ليجف مدة 10 دقائق .
- 6- ثبت قطعة من الورق الشافت المدرج مليمترياً على فيلم أشعة - X بحيث يقع المركزان الإحداثيان فوق البقعة المركزية للفيلم ، كما في الشكل (C - 11) .
- 7- عين التنازرات التي تتمتع بها البقع المختلفة التي لها نفس الشدة تقريباً .
- 8- اختر إحدى النقاط واقرأ إحداثياتها y_Q ، x_Q بوحدة المليمتر ، وقم بحساب المركبة z_Q وفقاً للمعادلة (11) .
- 9- حدد قيم المقادير l ، h ، k انطلاقاً من العلاقة (12) بالاعتماد على النسبة ، كما يمكنك تحديد القرائن بالاستفادة من الجدول (2) .
- 10- احسب زاوية براغ θ من المعادلة (10) وقدر الارتياب فيها ، واحسب تباعد مستويات الشبكة d من المعادلة (7) ، ثم احسب طول الموجة المنعرج λ من المعادلة (6) وقدر الارتياب فيه .
- 11- كرر العمل السابق من أجل 5 نقاط أخرى على الأقل .
- 12- رتب نتائجك في الجدول التالي :

For NaCl : $a_0 = 564.02 \text{ pm}$								
$x_Q(\text{mm})$	$y_Q(\text{mm})$	$z_Q(\text{mm})$	h	k	l	$d \text{ (pm)}$	θ^0	$\lambda \text{ (pm)}$

4 - تقييم العمل التجريبي :

- كيف سيكون شكل الفيلم لو استخدمنا عينة متعددة البلورات بدلاً من البلورة الأحادية؟ وهل للشكل الناتج علاقة بقرائن ميلر؟
- ما هي أوجه الشبه والاختلاف بين تجربتي براغ و لاو؟

- نموذج لقياسات :



الشكل (11) : مخطط لاو لأنعراج الأشعة السينية على بلورة NaCl .
 $(U = 35 \text{ KV} , I = 1 \text{ mA} , L = 30 \text{ mm} , \Delta t = 4500 \text{ s})$
(A) : مخطط لاو ، وتظهر عليه قرائن ميلر لبعض النقاط (لاحظ التناظر ، وعلاقة ذلك بقرائن ميلر) ، (B) : مخطط لاو وتظهر عليه رتب الانعراج .
(C) : الفيلم والورقة المليمترية الشافة .

	X_Q mm	Y_Q mm	Z_Q mm	h	k	l	X mm	Y mm
1	17.2	8.4	9.3	4	2	2	15.0	7.5
	-7.8	-15.2	7.7	-2	-4	2	-7.5	-15.0
	7.8	-15.2	7.7	2	-4	2	7.5	-15.0
	15.8	-8.0	8.2	4	-2	2	15.0	-7.5
2	12.6	-0.4	4.6	6	0	2	11.2	0.0
	0.2	14.5	5.9	0	6	2	0.0	11.2
	-13.2	-0.1	5.0	-6	0	2	-11.2	0.0
	0.0	-11.2	3.7	0	-6	2	0.0	-11.2
3	11.5	3.6	4.2	6	2	2	10.0	3.3
	4.2	12.4	4.9	2	6	2	3.3	10.0
	-4.3	13.0	5.3	-2	6	2	-3.3	10.0
	-12.2	4.0	4.7	-6	2	2	-10.0	3.3
	-11.2	-3.9	4.1	-6	-2	2	-10.0	-3.3
	-3.3	-10.2	3.4	-2	-6	2	-3.3	-10.0
	3.2	-10.0	3.3	2	-6	2	3.3	-10.0
	10.5	-3.9	3.7	6	-2	2	10.0	-3.3
	9.0	9.2	4.8	4	4	2	8.6	8.6
4	-11.0	11.0	6.6	-4	4	2	-8.6	8.6
	-9.0	-9.2	4.8	-4	-4	2	-8.6	-8.6
	9.0	-9.0	4.7	4	-4	2	8.6	-8.6
	9.0	5.8	3.4	6	4	2	7.5	5.0
5	6.3	9.2	3.7	4	6	2	5.0	7.5
	-6.5	9.8	4.1	-4	6	2	-5.0	7.5
	-9.5	6.2	3.8	-6	4	2	-7.5	5.0
	-8.2	-5.5	3.0	-6	-4	2	-7.5	-5.0
	-5.2	-8.0	2.8	-4	-6	2	-50	-7.5
	6.4	6.2	2.4	3	3	1	5.3	5.3
6	-6.8	6.8	2.8	-3	3	1	-5.3	5.3
	-5.8	-5.8	2.1	-3	-3	1	-5.3	-5.3
	5.3	-5.3	1.8	3	-3	1	5.3	-5.3
	6.8	1.3	1.5	5	1	1	6.0	1.2
7	1.8	7.8	2.0	1	5	1	1.2	6.0
	-1.2	8.0	2.0	-1	5	1	-1.2	6.0
	-7.2	1.2	1.7	-5	1	1	-6.0	1.2
	-7.0	-1.5	1.6	-5	-1	1	-6.0	-1.2

الجدول (1) : إحداثيات النقاط وقرائن ميلر المقابلة ($L = 20 \text{ mm}$) حيث تغير الإحداثيات بتغير L

5 - الكلمات المرجعية :

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| - Crystal axes | - محاور بلورية |
| - Developer | - مُظهر |
| - Extended Miller indices | - قرائن ميلر الموسعة |
| - Film developing | - إظهار الفيلم |
| - Fixer | - مثبت |
| - Laue Condition | - شرط لاو |
| - Laue diagrams | - مخططات لاو |
| - Laue diffraction | - انراجم لاو |
| - Laue indices | - قرائن لاو |
| - Reciprocal lattice | - الشبكة العكسية |
| - Reciprocal lattice vectors | - أشعة الشبكة العكسية |
| - Spatial lattice structure | - البنية الفراغية للشبكة |
| - Transmission diffraction | - انراج بالنفاذ |
| - Unit vectors | - متجهات الواحدة |

6 - المراجع :

- 1- المرجع 1 - الفصل الثاني .
- 2 - المرجع 2 - الفصلان الثاني و الثالث .
- 3 - المرجع 4 - الفصل الثالث .
- 4 - النشرتان التجريبيتان (554 & 800 P7.1.2.2) من شركة ليبلود . " LEYBOLD DIDACTIC "



التجربة 5 :

دراسة انبعاث الإلكترونات على عينة متعددة البلورات

1- الغاية من التجربة :

- إظهار الخواص الموجية للإلكترونات بدراسة انبعاثها على عينة متعددة البلورات .
- فحص التباعد بين المستويات البلورية لعينة متعددة البلورات من الغرافيت اعتماداً على انبعاث الإلكترونات .

2- المبدأ النظري :

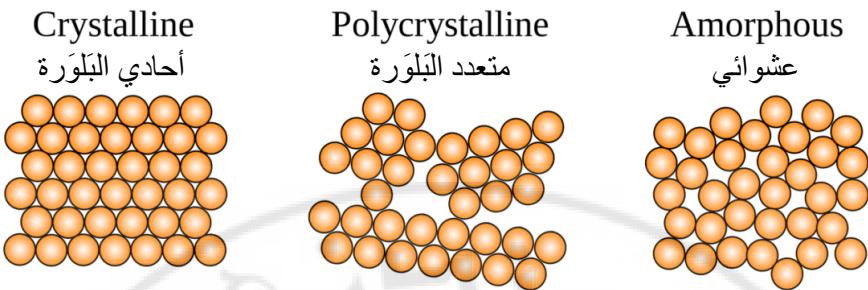
كان العالم الفرنسي لويس دو بروجي *Louis de Broglie* أول من اقترح الخواص الموجية للجسيمات في العام 1924 ، فافتراض أن طول الموجة المادي لجسم يتحرك باندفاع P يعطى بالعلاقة :

$$\lambda = \frac{h}{P} \quad (1)$$

حيث :

λ : طول موجة دوبروجي ، h : ثابتة بلانك ، P : اندفاع الجسيم .

وقدمت التجربة التي أجرتها دافيسون و جيرمن عام 1927 الدليل على الطبيعة الموجية للإلكترونات المتحركة ، عندما قاما بدراسة انبعاثها على النيكل المتببور . إذا سقطت حزمة من الإلكترونات على عينة متعددة البلورات (الشكل 1) أو مسحوق مادة بلورية ، وكان طول موجة الإلكترونات من رتبة المسافة بين الذرات (من رتبة الأنغستروم) ، فستجد هذه الحزمة دوماً عدداً كافياً من البلورات الصغيرة المتجهة بالنسبة إلى منحى الحزمة الواردة بشكل يحقق شرط براغ ، وهذا الانبعاث شبيه بانبعاث الأشعة السينية على البنى البلورية .



الشكل (١)

إن أسهل طريقة للحصول على حزمة من الإلكترونات والتحكم بطاقةها هي توليد هذه الإلكترونات حرارياً ، ومن ثم تسريعها بتطبيق فرق كمون عالٍ ، وعندما يمكن حساب طاقة الإلكترونات من العلاقة :

$$E = e U \quad (2)$$

حيث:

E : طاقة الإلكترون المُسَرّع ، e : شحنة الإلكترون ، U : فرق الكمون المطبق .
بالتعويض في العلاقة (1) نحصل على علاقة طول موجة الإلكترون بدلالة الكمون المطبق U :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 e m_e U}} \quad (3)$$

حيث : m_e : كتلة الإلكترون .

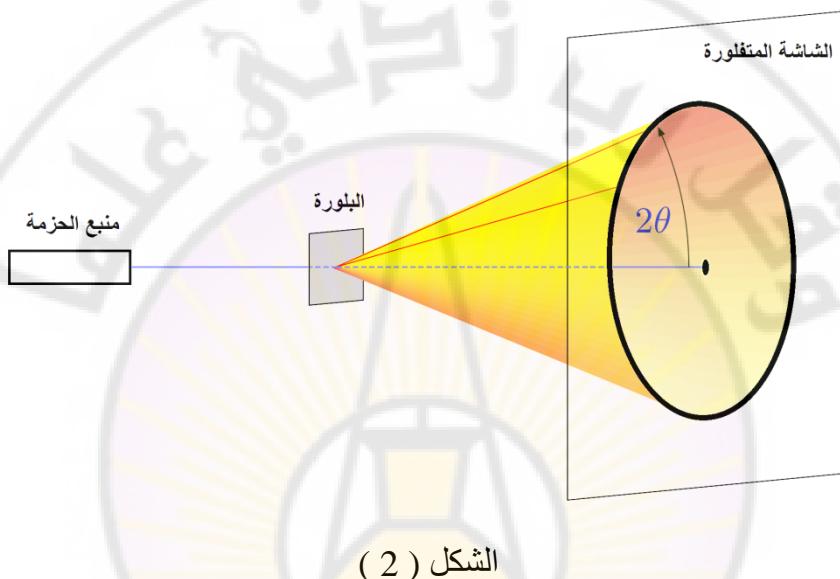
تبين هذه العلاقة أنه بإمكاننا التحكم بطول موجة الإلكترون عن طريق تغيير فرق كمون التسريع الذي يخضع له . ذكر أن شرط انزلاق براغ هو :

$$2 d \sin\theta = n \lambda \quad (4)$$

حيث :

d : التباعد بين المستويات البلورية
 θ : زاوية براغ
 λ : طول الموجة .
 n : رتبة التداخل

تبرز الحزم المنعرجة بشدة عالية (أهداب التداخل البناء) وفق مولدات مخروط دوراني رأسه البلورة وينطبق محوره على محور الحزمة الواردة ، بينما تكون الزاوية التي تشكلها مولدات هذا المخروط مع محور الحزمة الأصلية هي 2θ ، حيث θ هي زاوية برااغ (الشكل 2) .

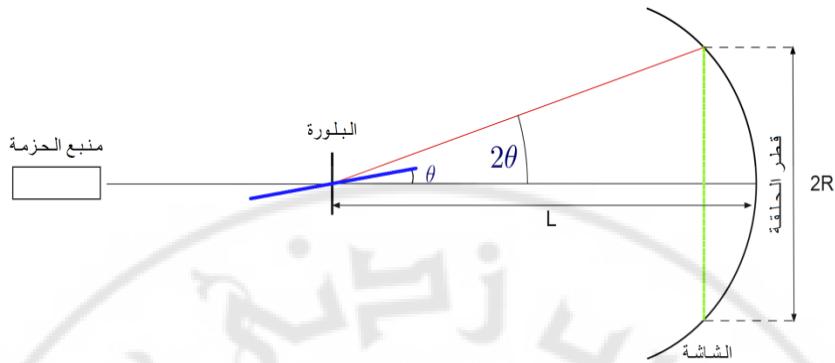


الشكل (2)

وبما أنه توجد في كل بلورة مجموعات كثيرة من المستويات البلورية المتوازية التي يتميز كل منها بقيمة معينة للمسافة d الفاصلة بين مستويين متتاليين منها ، فستشاهد عدة مخاريط متمحورة ومختلفة في قياس زاوية الرأس .

واضح أن زوايا رؤوس المخاريط تتزايد مع تناقص d (وفق العلاقة 4) ، فإذا وضع في طريق الحزم الإلكترونية المنعرجة شاشة متقلورة ، ظهرت عليها حلقات متمركة هي أثر لمخاريط الانعراج على مستوى الشاشة .

إذا كانت L المسافة بين الشاشة والبلورة وكان R نصف قطر حلقة الانعراج بسبب المستويات البلورية التي تفصل بينها المسافة d ، فإنه من الممكن استخلاص علاقة تربط بين طول موجة الإلكترونات المنعرجة والتباين بين المستويات البلورية .



الشكل (3)

فبما لحظة الشكل (3) وبسبب كون θ صغيرة ، يمكننا أن نكتب :

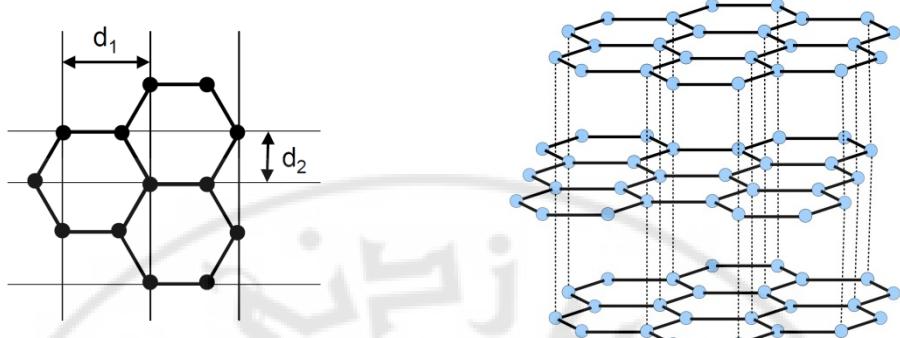
$$\tan 2\theta = \frac{R}{L} \approx \sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta \approx 2 \sin \theta \quad (5)$$

إذا عوضنا ما سبق في علاقة برااغ (4) لوجدنا :

$$R = \frac{nL}{d} \lambda \quad (6)$$

وهي العلاقة التي تسمح بإيجاد التباعد بين المستويات البلاورية d لعينة الغرافيت متعددة البلاورات ، وذلك بدراسة تغيرات أنصاف أقطار حلقات الانبعاث R بدالة الطول الموجي λ للإلكترونات المنعرجة .

تستخدم في هذه التجربة عينة متعددة البلاورات من الغرافيت الذي يتميز بنية بلاورية سداسية في طبقات متتالية (الشكل 4) ، موضوعة في حباة زجاجية مفرغة من الهواء تحوي أيضاً مدفأً إلكترونياً يولد حزمة الإلكترونات التي تسقط على البلاورة وتنعرج مولدة حزماً مخروطية . تم طلاء جزء من سطح الحباة الزجاجية الداخلي بمادة متفلورة تضيء لدى اصطدام الإلكترونات بها ، فتشكل عليها حلقات الانبعاث التي يمكن قياس أنصاف أقطارها . تظهر عادة حلقتان فقط ، هما اللتان تقابلان أصغر قيمتين لزوايا θ ، أي تقابلان أكبر قيمتين لمسافة d ، وأصغر قيمة لرتبة التداخل n . إن قيمتي d اللتين يتم تعبينهما في هذه التجربة هما d_1 ، d_2 المبينتان في الشكل (4) ، وتكون رتبة التداخل لهاتين الحلقتين تساوي الواحد .



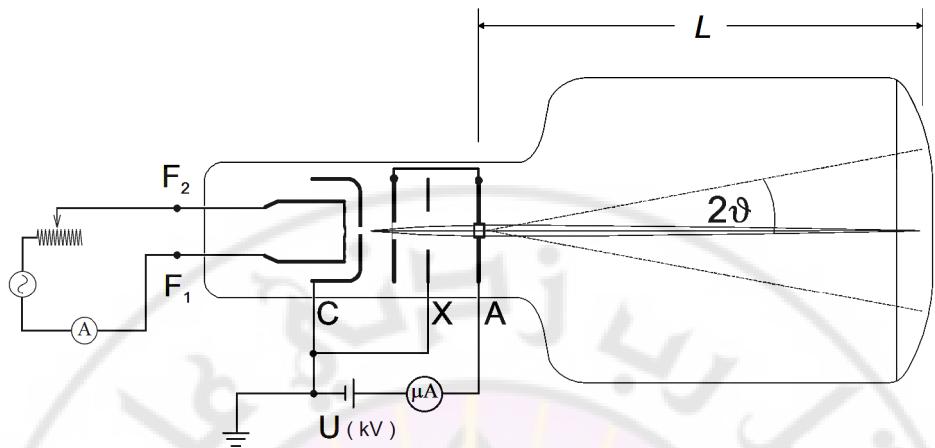
الشكل (4) بنية الغرافيت .

يتتألف المدفع الإلكتروني (الشكل 5) من دارتین أساسیتین ، هما دارة التسخین و دارة التسریع . تتألف دارة التسخین من سلک عادہ ما یکون من مادة التنگستین ، يتم تسخینه بتمریر تیار کهربائی متناوب فيه مما یؤدی إلى إصدار الإلكترونات حراریا ومن ثم یأتي دور دارة التسریع حيث یتم تطبيق فرق عال في الکمون بین قطبي کل منهما على شکل قرص متقوب المركز لتحریک الإلكترونات وتسریعها .

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- أنیوب انعراض الإلكترونات ، المسافة بین البلورة والشاشة $L = 13.5 \pm 0.1 \text{ cm}$
- منبع تغذیة فرق الکمون العالی 0 - 10 KV .
- مقیاس فرق الکمون العالی حتی 6 KV .
- مقیاس تیار متناوب .
- قدم قنویة بلاستیکیة .
- منبع تیار متناوب 6 V .
- معدله $\Omega 11$.
- میکرومیکر امپیر .



الشكل (5) : أنبوب انبعاث الإلكترونات مع توصيل الدارة .
F₂ ، F₁ : مربطا دارة التسخين ، C: المهبط ، X: عدسة مغناطيسية لتركيز الحزمة
A: المصعد ، وتثبت عليه البلورة في المركز .



الشكل (6) : منبع تغذية فرق الكمون العالي :
1: زر التشغيل ، 2: مفتاح لضبط فرق الكمون ، 3: أرضي أول .
4: القطب الصافي ، 5: القطب السالب ، 6: القطب الموجب 7 - أرضي ثان .

★ - الإعداد التجريبي:

يبين الشكل (5) التوصيل العام للتجربة :

- 1- صل المربطين (F_1 ، F_2) بمنبع تيار التسخين ومقاييس تيار التسخين والمعدلة التي سنسخدمها للتحكم بتيار التسخين ، على التسلسل واضعاً مقاومة المعدلة عند أكبر قيمة .
- 2- تأكّد من وصل المهبط (C) لأنبوب الانعراج والمربط (X) بالقطب السالب لمنبع الكمون العالي (الشكل 6) ، ثم صل المصعد (A) لأنبوب الانعراج بمقاييس التيار الميكروي ، ومنه إلى القطب الموجب لمنبع الكمون العالي .
- 3- تأكّد من وصل القطب السالب في منبع الكمون العالي بالأرضي الأول (3) شكل 6 .
- 4- تأكّد من وصل مقياس الكمون العالي على التفرع بين قطبي منبع الكمون .

★ - ملاحظات مهمة :

- 1- يجب الحذر لدى التعامل مع أجهزة الكمون العالي تجنبًا لحدوث صدمة كهربائية .
- 2- قبل تشغيل الجهاز ، تأكّد من أن مفتاح التحكم بالكمون بالكمون عند الصفر قبل زيادة قيمة الكمون إلى القيمة المرغوبة ولا تلامس المرابط العارية .
- 3- أبعد علبة التغذية بعيداً عن أنبوب الانعراج كي لا يؤثّر الحقل المغناطيسي المتولد عنها في حزمة الإلكترونات ، واستخدم أيضاً القدم الفنوية البلاستيكية .
- 4- لا تتجاوز القيم العظمى للتنيارات كي لا تتلف البلورات ($A = 50 \mu\text{A}$ لتيار حزمة الإلكترونات و $A = 1 \text{ A}$ لتيار التسخين) .

★ - الإجراء التجريبي :

- 1- شغل منبع تيار التسخين ، واصبِط التيار على القيمة (0.8 A) .
- 2- شغل منبع الكمون العالي ، واصبِط الكمون على القيمة (3 KV) ، مراقباً عدم تجاوز تيار الإلكترونات قيمة (40 μ A) . لاحظ ظهور نقطة مركزية وحلقتي انبعاج مضيئتين على الشاشة المتقلورة .
- 3- قم بقياس قطرى الحلقتين الأولى و الثانية (D_1 , D_2) بالقدم القنوية .
- 4- قم بزيادة الكمون تدريجياً من القيمة (3 KV) إلى (5 KV) وبخطوة (0.5 KV) ، وقس في كل خطوة القطرتين (D_1 , D_2) .
- 5- أعد التجربة مرتين على الأقل ، ثم رتب نتائجك في جدول كالتالي :

U (V)	λ (m)	D_1	D_1	D_1	\overline{R}_1	D_2	D_2	D_2	\overline{R}_2
		(m)	(m)	(m)		(m)	(m)	(m)	
1	2	3	1	2	3	1	2	3	
3000									
3500									
4000									
4500									
5000									

- 6- ارسم على ورق مليمترى تغيرات نصفى القطررين \overline{R}_1 و \overline{R}_2 بدلالة طول موجة الإلكترونات λ واستقد من الميل في حساب d_1 و d_2 من العلاقة (6) ، وقدر الارتكاب فيما .

4- تقييم العمل التجريبي:

- 1- ما شكل العلاقة بين فرق الكمون المطبق ونصف قطر الحلقة التي تدرسها ؟
- 2- لماذا لا يظهر لديك على الشاشة المتقلورة إلا حلقتان ؟ هل يمكن رصد أكثر من هاتين الحلقتين ؟ في حال إمكانية رصد أكثر من حلقتين بأقطار أكبر ، هل يصح

تلقيها على حاجز مستوى ؟ ناقش ذلك .

5 - الكلمات المرجعية :

- Accelerating circuit	دارة تسريع
- Cone	مخروط
- Crystalline	متبلور
- De Broglie conjecture	فرضية دوبروي
- Diffraction ring	حلقة انعراج
- Diffraction tube	أنبوب الانعراج
- Electron beam	حزمة إلكترونات
- Electron gun	مدفع إلكتروني
- Fluorescent screen	شاشة متفلورة
- Heating circuit	دارة تسخين
- Monocrystal sample	عينة أحادية البلورة
- Particle properties	خواص جسيمية
- Polycrystal sample	عينة متعددة البلورات
- Wave properties	خواص موجية

6 - المراجع :

- 1- المرجع 1 - الفصلان الأول و الثاني .
- 2- المرجع 2 - الفصلان الثاني و الثالث .
- 3- المرجع 6 - الفصل الثالث .
- 4- النشرة التجريبية (P6.1.5.1) من شركة ليبلولد " Leybold didactic " .



التجربة 6 :

أثر هول في المعادن

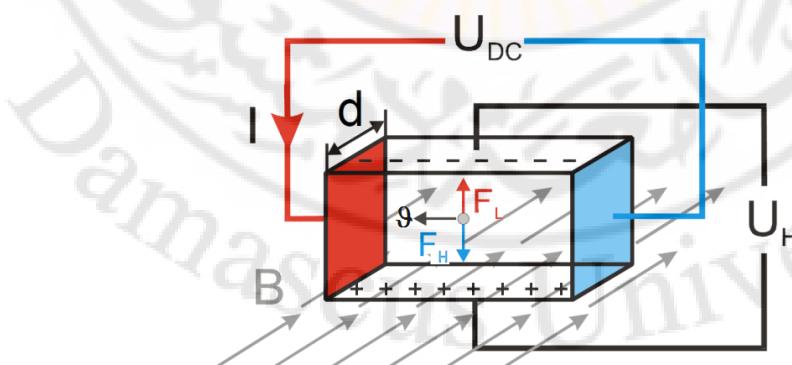
1- الغاية من التجربة :

1- دراسة كمون هول U_H باعتباره تابعاً لحقل التحرير المغناطيسي B عند تيار عينة I ثابت.

2- تحديد قطبية حاملات الشحنة المسؤولة عن تيار النقل في المعادن و حساب كثافتها .

2- المبدأ النظري :

إذا وضعت عينة من ناقل معدني على شكل شريحة متوازية الوجوه يمر فيها تيار كهربائي I في الاتجاه ox ، في حقل تحرير مغناطيسي B في الاتجاه oz ، ينشأ في العينة حقل كهربائي في الاتجاه oy يسمى حقل هول E_H ، وبالتالي يلاحظ نشوء فرق في الكمون يسمى كمون هول U_H . إن السبب في ظهور كمون هول هو انحراف حاملات الشحنة المتحركة الخاضعة للحقل المغناطيسي تحت تأثير قوة لورنتز ($\vec{F}_L = -e \vec{v} \times \vec{B}$) التي يمكن التنبؤ باتجاهها وفقاً لقاعدة اليد اليمنى.



الشكل (1): شكل توضيحي يبين أثر هول في المعادن .

يؤدي انحراف حاملات الشحنة إلى أن تتوضع ، بصورة وسطية ، الشحنات السالبة على أحد وجهي العينة ، و الشحنات الموجبة على الوجه المقابل ، فيتولد عن توزع الشحنات هذا قوة كهربائية ($\overrightarrow{F_H} = -e \overrightarrow{E_H}$) معاكسة لقوة لورنتز . في الحالة المستقرة ، تتساوى القوتان الكهربائية والمغناطيسية بالشدة وتعاكسان بالاتجاه :

$$-e \overrightarrow{E_y} = e \overrightarrow{\vartheta_x} \times \overrightarrow{B_z} \quad (1)$$

باستعمال شاعر كثافة تيار الإلكترونات :

$$\overrightarrow{J_x} = -e n \overrightarrow{\vartheta_x}, \quad J_x = \frac{I_x}{A} = \frac{I_x}{w d} \quad (2)$$

وبالإسقاط على المحاور الإحداثية والتعويض عن الحقل بالكمون ($E_H = \frac{U_H}{w}$) :

$$-e n \frac{U_H}{w} = \frac{I B}{w d} \quad (3)$$

$$U_H = -\frac{I B}{e n d} = R_H \frac{I B}{d} \quad (4)$$

$$R_H = \frac{-1}{en} \quad (5)$$

حيث :

U_H : كمون هول . n : كثافة الإلكترونات في المادة .

I : التيار المار في العينة . d : سماكة العينة .

B : حقل التحريض المغناطيسي . w : عرض العينة .

R_H : شحنة الإلكترون . e : معامل هول .

تبين المعادلة (4) أنه يمكن تحديد قطبية حاملات الشحنة المسؤولة بشكل رئيسي عن التيار المار في المعادن من إشارة كمون هول U_H ، وتظهر المعادلة (5) أن معامل هول للمعادن هو سالب دوما ، وهذا صحيح في المعادن التي يكون سطح فيرمي لها كروي الشكل كما في المعادن النبيلة ، إلا أن بعض المعادن (مثل التنغستين W) معامل هول موجب ، ويعود ذلك إلى التعقيد في سطح فيرمي لها .

يمكن حساب تركيز حاملات الشحنة ومعامل هول تجريبياً عن طريق قياس كمون هول باعتباره تابعاً لحقن التحريرض المغناطيسي من أجل تيار عينة ثابت أو من قياس كمون هول باعتباره تابعاً لتيار العينة من أجل حقل تحريرض مغناطيسي ثابت .

ويمكن من حساب تركيز الإلكترونات ، في المعادن التي يكون سطح فيرمي لها كروي الشكل ، معرفة عدد الإلكترونات النقل Z التي تسهم بها الذرة الواحدة من ذرات المعدن * ، وذلك بقسمة تركيز الإلكترونات n على تركيز ذرات المعدن N :

$$Z = \frac{n}{N} ; \quad N = \frac{m}{V} \quad (6)$$

حيث:

m : عدد الذرات في خلية الوحدة . V : حجم خلية الوحدة .

ويمكن حساب N من عدد أفوكادرو N_A ، والكتلة المولية M ، والكثافة الحجمية ρ :

$$N = \frac{\rho}{M} N_A \quad (7)$$

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

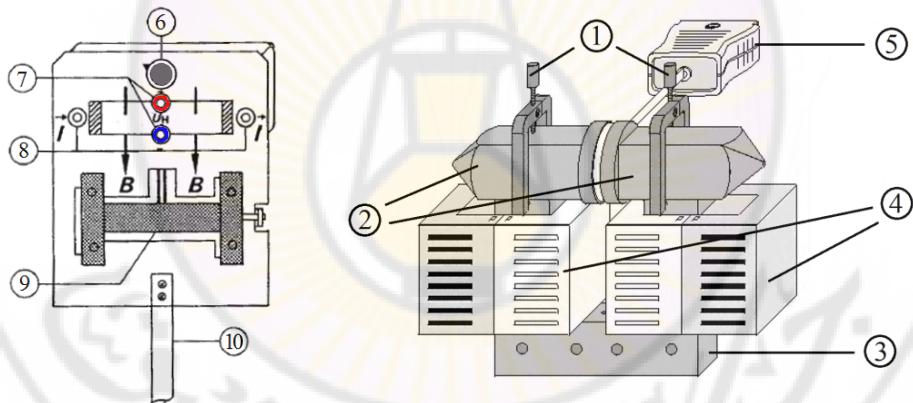
★ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- عينة من معدن الفضة بسماكه $d = 50 \pm 1 \mu\text{m}$.
- وشيعتان كل منهما ذات 250 لفة .
- علبة لمجس حقل التحريرض المغناطيسي .
- منبع لتيار العينة حتى $A = 20$.
- حاسب مجهز ببرنامج Cassy Lab .
- منبع لتيار الوشائع حتى $A = 10$.
- وحدة كاسي .
- مقاييس للتيار حتى 30 أمبير .
- علبة (30 A) لقياس التيارات العالية .
- نواة حديدية على شكل حرف U .
- أسلاك توصيل تتحمل تيارات عالية .
- مجس حقل التحريرض المغناطيسي .
- ($\mu\text{V-Box}$) لقياس الكمونات المنخفضة .

* العدد Z لا يعبر بالضرورة عن تكافؤ المعدن ، حيث أنه يوجد لأغلب المعادن أكثر من تكافؤ .

☆ - الإعداد التجريبي:

- 1 - تحقق من تركيب الوشيعتين والنواء الحديدية والقطبين كما في الشكل (2) .
- 2 - تأكد من توازي سطхи قطبي المغناطيس الكهربائي ومن تركيب العينة مع الحامل في المنتصف بين القطبين بحيث تكون المسافة بين القطبين حوالي 0.5 سم ، وبإمكانك تعديل المسافة من خلال حلّ براغي التثبيت (1) المبينة في الشكل (2) ، ودفع الأقطاب باتجاه العينة ، ثم ثبيت البراغي من جديد .
- 3 - ركب محس حقل التحرير المغناطيسي (5) على الحامل ، ثم أدخل رأس المحس بعناية بين قطبي المغناطيس بحيث يكون أقرب للعينة .
- 4 - فم بتمرير تيار متداوب قيمته A 5 في الملفات لفترة قصيرة ، ثم أنقصه تدريجياً حتى يقوم التيار بإزالة مغناطة الحديد المكون للنواة والقطبين .



الشكل (2) : إعداد تجربة أثر هول .

- 1: براغي التثبيت 2: القطبين المغناطيسيين 3: النواة الحديدية ، 4: الوشائع
- 5: محس الحقل المغناطيسي ، 6: مفتاح تصفير الكمون ، 7: مأخذان لقياس كمون هول ، 8: مأخذان لتيار العينة ، 9: العينة المعدنية ، 10: حامل العينة .

إن الغاية من مفتاح تصفير الكمون هو ضمان قياس كمون هول بين نقطتين متاظرتين من طرف العينة وذلك كي لا يؤثر تغيير تيار العينة على كمون هول .

☆ - ملاحظات مهمة :

- 1 - لا تدع منابع التيار تعمل لوقت طويل ، وذلك لتجنب سخونة العينة والأسلاك .
- 2 - لا تغير الأسلاك في التجربة ، فالأسلاك فيها مصنوعة لتحمل تيارات عالية .
- 3 - لا تتجاوز حدود التيار القصوى ($18A$ لتيار العينة و $8A$ لتيار الوشائع) .
- 4 - اجعل شاشة الحاسب بعيدة عن الوشائع كي لا تتأثر بالحقل المغناطيسي .

☆ - الإجراء التجريبي :

أولاً: معايرة الحقل المغناطيسي :

- 1 - ثبتت علبة قياس التيارات العالية على المدخل (A) في جهاز الكاسي ثم صل منبع تيار الوشائع مع الوشيعتين والمدخل (A) Input على التسلسل .
- 2 - قم بتثبيت العلبة الموصلة بمجس حقل التحرير المغناطيسي على المدخل (B) Input في جهاز الكاسي .
- 3 - شغل برنامج الكاسي من أيقونته على سطح المكتب ، واضبط الإعدادات التالية :
- 4 - انقر بالزر الأيسر للماوس على (A) Input واختر :

Quantity: current I_{A1} , Meas. Range: -10 .. +10 A

5 - انقر بالزر الأيسر للماوس على (B) Input واختر :

Quantity: Magn. Flux Density B_{B1} , Meas. Range: -1 T .. +1 T

6 - انتقل إلى علامة التبويب Display واختر على المحور X تمثيل التيار I_{A1} ، ثم اختر على المحور Y تمثيل حقل التحرير المغناطيسي B_{B1} .

7 - انتقل إلى النافذة الفرعية Measuring Parameters واختر تسجيل القيم يدوياً وذلك بتفعيل الخيار Manual Recording ، ثم عد إلى النافذة الأساسية .

8 - مرر في الوشائع تيارا قيمته $I = 1A$ ، وسجل قيمة حقل التحرير المغناطيسي المقابل بالضغط على زر تسجيل القيم () أو بالضغط على F9 .

9 - قم بزيادة تيار الوشائع تدريجياً بخطوة 0.5A حتى القيمة 7A وسجل في كل

خطوة قيمة الحقل المقابلة ، ثم أطفئ المنبع فور انتهاءك من القياس .

- 10 - احفظ الورقة البيانية لسلسلة نتائجك في ملف صوري ، وذلك بالضغط على الخيار (Copy Diagram : Bitmap) ، ثم لصقها في برنامج الرسام .

ثانيًا: دراسة كمون هول باعتباره تابعًا للحقل المغناطيسي عند تيار عينة ثابت :

- 1 - استبدل بعلبة قياس التيارات العالية على المدخل (A) Input علبة قياس الكمونات الصغيرة (μ V-box) ، وصل منبع تيار الوشائع إلى الوشيعتين مباشرة.
- 2 - قم بوصل طرفى العينة الشاقوليين (7) في الشكل (2) بالعلبة (μ V-box) .
- 3 - صل منبع تيار العينة مع طرفى العينة الأفقيين (8) وقياس التيار على التسلسل.
- 4 - شغل برنامج الكاسي من أيقونته على سطح المكتب ، واضبط الإعدادات التالية :
- 5 - انقر بيسار الماوس على (A) Input واختر :

Quantity: voltage U_{A1} , Meas. Range: -1 mV .. +1 mV

. وانتبه إلى تفعيل خيار القيم الوسطية (Averaged Values) .

- 6 - انقر بيسار الماوس على (B) Input واختر :

Quantity: Magn. Flux Density B_{B1} , Meas. Range: -1 T .. +1 T

- 7 - انتقل إلى علامة التبويب Display واختر على المحور X تمثيل حقل التحرير المغناطيسي B_{B1} ، وعلى المحور Y تمثيل الكمون U_{A1} .

- 8 - انتقل إلى النافذة الفرعية Measuring Parameters ، واختر تسجيل القيم يدوياً وذلك بتفعيل الخيار Manual Recording ، ثم عد إلى النافذة الأساسية .

- 9 - مرر في العينة تيارا قيمته ($I = 10A$) ، ثم حرك مفتاح التصغير (6) في الشكل (2) حتى ينعدم فرق كمون هول تماما .

- 10 - سجل قيمة كمون هول بالضغط على زر تسجيل القيم () أو بالضغط على F9 .

- 11 - شغل منبع تيار الوشائع ، وابداً بزيادة شدة حقل التحرير تدريجياً من الصفر

- وحتى القيمة (0.5 T) بخطوة (0.1 T) ، وسجل في كل خطوة قيمة فرق الكمون.
- 12 - قم بإيجاد أفضل خط مستقيم يمر من نقاطك التجريبية بالنقر بالزر الأيمن للماوس على الورقة البيانية واختيار (Fit Function: Free Fit , $A*x+B$) ثم تحديد جميع النقاط التجريبية .
- 13 - استقد من ميل المستقيم السابق في حساب معامل هول R_H و تركيز الإلكترونات n وفق العلاقة (4) و (5) ، وقدر الارتباط فيما .
- 14 - سجل على المنحني قيمة الميل وتيار العينة الذي تم عنده القياس و معامل جودة الموااءمة (r) ، وذلك من الخيار (Set Marker : Text) .
- 15 - أعد التجربة مرة ثانية من أجل الحالة نفسها والشروط نفسها ، وذلك بالضغط على الزر () والذهاب للنافذة (Measuring Parameters) وتفعيل الخيار (Append new meas. Series) ، ثم كرر سلسلة القياسات واختبر مدى التكرارية ، ثم قارن بين معامل جودة الموااءمة (r) في الحالتين .
- 16 - ابدأ سلسلة بيانات جديدة من أجل تيار عينة ($I = 15 A$) ، وقم بإجراء سلسلة القياسات والحسابات مرتين أيضا .
- 17 - احفظ الورقة البيانية لسلسلة نتائجك في ملف صوري وذلك بالضغط على الخيار (Copy Diagram : Bitmap) ، ثم لصقها في برنامج الرسام .

4- تقييم العمل التجاريبي:

- 1 - احسب تركيز ذرات المعدن N مرة باستخدام كتلته المولية وكثافته ، ومرة بمعرفة نمط تبلوره وثابت شبكته البلورية * وقارنهما بتركيز الإلكترونات n الذي حصلت عليه ، ثم استنتاج قيمة (Z) ، وقارنه بالتكافؤ المعروف لهذا المعدن .
- 2 - أي التقديرتين أفضل لمعامل هول ، وبالتالي لحساب تركيز الإلكترونات ، في حال التيار (10 A) أم التيار (15 A) ، ولماذا ؟

* يمكنك الاستعانة بملحق الكتاب .

5 - الكلمات المرجعية :

- Calibration Curve	منحنى معايرة
- Concentration of electrons	تركيز الإلكترونات
- Current	تيار
- Deflection of electrons	انحراف الإلكترونات
- Demagnetize	إزاله المغناطة
- Electro-magnet	مغناطيسي كهربائي
- Hall Effect	أثر هول
- Hall Field	حقل هول
- Hall Voltage	فرق كمون هول
- Lorentz Force	قوة لورنتز
- Magnetic Flux Density	حقل التحرير المغناطيسي
- Polarity	قطبية
- Thickness	سماكه
- Voltage	فرق الكمون

6 - المراجع :

- 1- المرجع 1- الفصل الخامس .
- 2- المرجع 2 - الفصل السادس .
- 3- النشرتان التجريبيتان (P7.2.1.1) و (P7.2.1.2) من شركة ليبلود . " Leybold Didactic "

التجربة 7 :

أثر هول في أنصاف النواقل

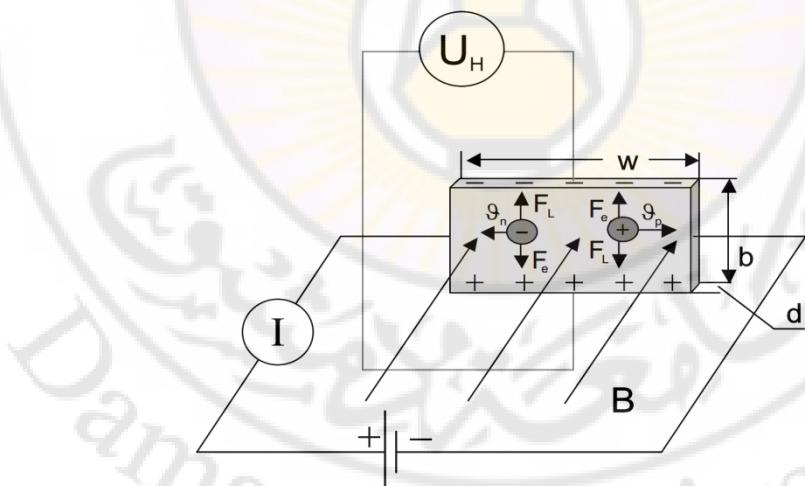
1- الغاية من التجربة :

1- دراسة كمون هول U_H باعتباره تابعاً لحقل التحرير المغناطيسي B عند تيار عينة I ثابت.

2- دراسة كمون هول باعتباره تابعاً للتيار الكهربائي المار في عينة نصف ناقلة عند حقل تحرير مغناطيسي ثابت.

2- المبدأ النظري :

يُعدّ أثر هول أحد أهم طرق البحث التجريبية لتحديد المعاملات المجهرية لانتقال الشحنة في المعادن ، وفي أنصاف النواقل المشوبة .



الشكل (1) : أثر هول في عينة مستطيلة .

في شروط التوازن ، تتساوى قوة لورنتز F_L المؤثرة في حاملات الشحنة المتحركة مع القوة الكهربائية F_e الناتجة عن الحقل الكهربائي لهول .

لدراسة أثر هول في هذه التجربة يتم وضع عينة نصف ناقلة متوازية الوجه من مادة الجermanium نوع -n (أي المشوب بشائبة مانحة) ضمن حقل مغناطيسي منتظم وفقاً للشكل (1) ، فإذا مر تيار خلال العينة نصف الناقلة باتجاه لا يوازي اتجاه الحقل المغناطيسي ، ستتحرف حاملات الشحنة نتيجة خضوعها لقوة لورنتز ، مسببة نشوء فرق في الكمون (كمون هول) بشكل عمودي على اتجاه كل من الحقل المغناطيسي B والتيار I . يعطى أثر هول (بشكل مشابه لحالة المعادن) بالعلاقة :

$$U_H = R_H \frac{I \cdot B}{d} \quad (1)$$

حيث :

U_H : كمون هول . I : شدة التيار المار في نصف الناقل .

d : سمك العينة . B : الحقل المغناطيسي .

R_H : ثابت هول ويتعلق بالمادة ودرجة الحرارة .

إن التيار المار في عينة نصف ناقلة طولها b هو مجموع تياري الإلكترونات والثقوب ، ويكتب عادة بدالة حركية وتركيز كل منها ، بالعلاقة :

$$I = b d (p \mu_p + n \mu_n) \quad (2)$$

حيث :

p : كثافة الثقوب و μ_p : حركيتها . n : كثافة الإلكترونات و μ_n : حركيتها .

تعرّف حركية الثقوب بالعلاقة :

$$\mu_p = \frac{\vartheta_p}{E_A} \quad (3)$$

حيث :

ϑ_p : سرعة انجراف الثقوب الوسطية ، E_A : الحقل الناتج عن تطبيق الكمون A . وكذلك فإن حركية الإلكترونات معرفة بالعلاقة :

$$\mu_n = - \frac{\vartheta_n}{E_A} \quad (4)$$

يُعد هذا التيار أو كثافته هو التيار المعرف لمعامل هول في الاتجاه $0x$ ، ويجب حساب التيار الناتج عن تطبيق الحقل المغناطيسي للإلكترونات للثقوب كل على حدة في الاتجاه المعادم $0y$ ، أي المسبب لكمون هول ، ثم جعله مساوياً للصفر . عند تحقق شرط التوازن ، في الحقول المغناطيسية الضعيفة ، يمكن التعبير عن معامل هول باعتباره تابعاً لكثافة الشحنة (تركيز الحاملات) وحركة الثقوب والإلكترونات وفقاً للعلاقة :

$$R_H = \frac{1}{e} \frac{p \cdot \mu_p^2 - n \cdot \mu_n^2}{(p \cdot \mu_p + n \cdot \mu_n)^2} \quad (5)$$

حيث:

$$\begin{aligned} n &: \text{كثافة الكلية للإلكترونات.} & e &: \text{شحنة الإلكترون.} \\ \mu_p &: \text{حركة الثقوب.} & p &: \text{كثافة الكلية للثقوب.} \\ \mu_n &: \text{حركة الإلكترونات.} \end{aligned}$$

من المعادلة (5) نجد أنه يمكن تحديد طبيعة حاملات الشحنة المسيطرة من إشارة معامل هول R_H ، وذلك إذا كانت اتجاهات التيار I والحقل المغناطيسي B معروفة ، ففي حال كانت العينة نصف الناقلة مشوبة بشائبة مانحة (نصف ناقل من النوع - n) تكون تركيز الإلكترونات والثقوب الكلية كالتالي :

$$n = n_i + n_s \quad (6)$$

$$p = p_i$$

حيث :

n_i : تركيز الإلكترونات الأصلية . p_i : تركيز الثقوب الأصلية .
 n_s : تركيز الإلكترونات الشائبة .
 في درجة الحرارة العادية يكون $(n_i \gg n_s)$ و $(n_i \approx p_i)$ ، وباستخدام هذين التقريبين ، تصبح العلاقة (1) على الشكل :

$$U_H = - \frac{IB}{e n_s d} \quad (7)$$

وهي علاقة مشابهة للعلاقة التي حصلنا عليها في حال المعادن ، غير أن الإلكترونات هنا عائدة بمعظمها للمادة الشائبة ، ومنه يمكن حساب حرکية الإلكترونات من العلاقة :

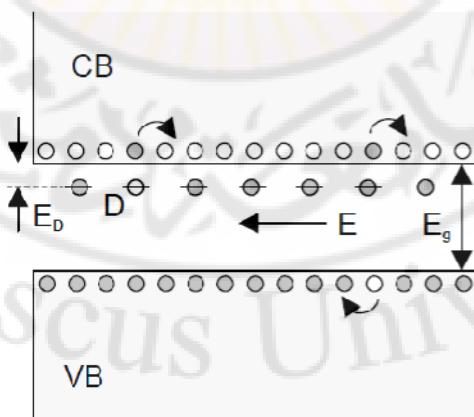
$$\mu_n = \frac{w}{b U_A} \frac{U_H}{B} \quad (8)$$

حيث w : عرض العينة .

وبالمثل في حال مادة نصف ناقلة مشوبة بشائبة آخذه ، تصبح العلاقة على الشكل :

$$U_H = + \frac{I \cdot B}{e p_s d} \quad (9)$$

يتم إشابة شبكة بلورة герمانيوم بأحد عناصر المجموعة الخامسة مثل As, P, Sb وهذا يضيف الإلكترونات جديدة إلى عصابة النقل (انظر الشكل 2) . إن الطاقة E_D اللازمة ل الإلكترونات الذرة المانحة للانتقال إلى عصابة النقل هي بحدود 0.01ev وهي أصغر بكثير من فاصل طاقة نصف الناقل E_g ، مما يجعل انتقال الإلكترونات الذرات المانحة لعصابة النقل تاركة وراءها الثقوب أمراً سهلاً .

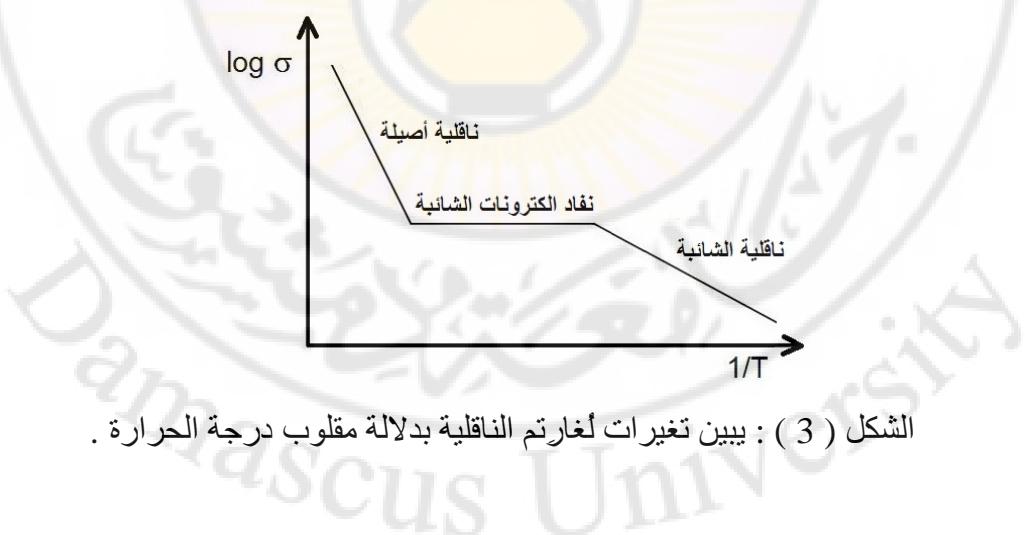


الشكل (2) : مخطط مبسط لسويات الطاقة وانتقال حامليات الشحنة .

يمكن تمييز ثلاثة مجالات لدرجات الحرارة ، كما هو موضح بالشكل (3) :
 عند درجات حرارة منخفضة : يكون إثارة الإلكترونات من مستويات المادة المانحة إلى عصابة النقل هو المصدر الوحيد لحملات الشحنة ، وتزداد كثافة الإلكترونات في المادة المانحة مع ارتفاع درجة الحرارة .

عند درجة حرارة حدية بالقرب من درجة الحرارة الغرفة : تكون الإلكترونات المانحة الحرية قد نفدت ، وبالتالي جميع مستويات المادة المانحة تكون غير مشغولة (الناقلة الظاهرة) ، في هذه الحالة يكون التيار الناتج عن حملات الشحنة الأصلية مهملاً القيمة .

مع ارتفاع درجة الحرارة أكثر من ذلك : يؤدي إلى إثارة حرارية مباشرة للإلكترونات من عصابة التكافؤ إلى عصابة النقل ، وتزداد الناقلة الناتجة عن الأصلية وتصبح هي المسسيطرة . هذه الانتقالات من ناقلة أصلية مهملاً إلى ناقلة أصلية مسيطرة يمكن ملاحظتها بقياس كمون هول U_H باعتباره تابعاً للدرجة الحرارة .



الشكل (3) : يبيّن تغيرات لغارات الناقلة بدلاً مقلوب درجة الحرارة .

3 - أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة و الأدوات التجريبية :

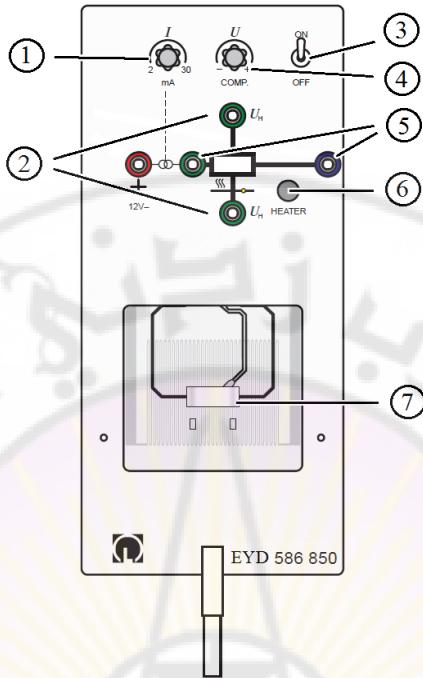
- عينة من الجرمانيوم نوع - n أبعادها :

$$d = 1.00 \pm 0.05 \text{ mm} , b = 20 \pm 0.1 \text{ mm} , w = 10 \pm 0.1 \text{ mm}$$

- وشيعتان كل منها ذات 250 لفة .
- مجس حقل التحرير المغناطيسي .
- علبة لمجس حقل التحرير المغناطيسي .
- منبع لتيار الوشائع .
- نواة حديدية على شكل حرف U .
- وحدة كاسي .
- منبع لتيار العينة مجهز بمقاييس .
- . Cassy Lab .
- حاسب مجهز ببرنامج

☆ - الإعداد التجريبي:

- 1 - ركب الوشيعتين والنواة الحديدية والقطبين كما هو موضح بالشكل (5) .
- 2 - ركب العينة مع الحامل في المنتصف بين قطبي المغناطيس الكهربائي ، ثم اضبط المسافة بينهما بحيث تكون حوالي 1 سم ، ولعمل هذا ، قم بحل براغي التثبيت (1) المبينة في الشكل (5) ، وقم بدفع الأقطاب باتجاه العينة ، مع التأكيد من توازي سطхи القطبين ، ثم قم بتثبيت البراغي من جديد .
- 3 - ركب مجس حقل التحرير المغناطيسي على الحامل ، ثم أدخل رأس المجس بعناية بين قطبي المغناطيس بحيث يكون أقرب للعينة .
- 4 - قم بتمرير تيار متراوّب قيمته A 5 في الملفات لفترة قصيرة ثم خفضه تدريجيًّا إلى الصفر من أجل إزالة منطقة الحديد المكوّن للنواة والقطبين .

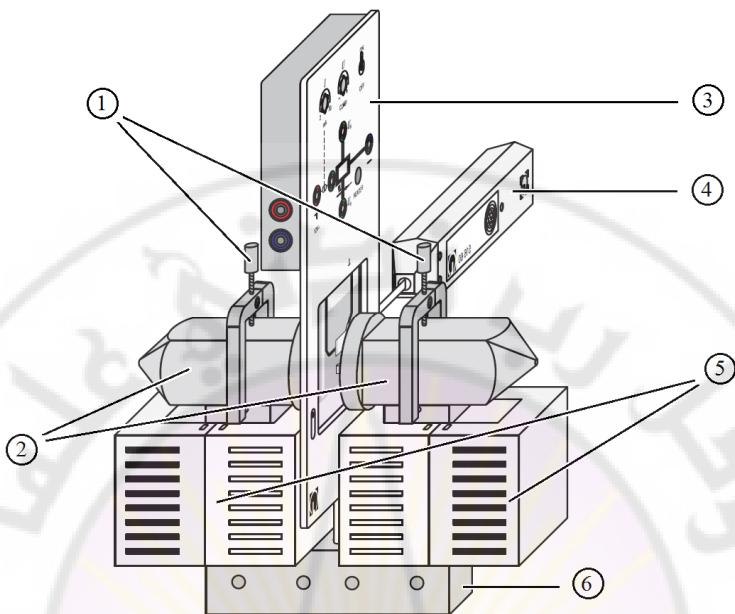


الشكل (4) : أجزاء حامل عينة نصف الناقل . 1: مفتاح تغيير تيار العينة
 2: مأخذان لقياس كمون هول ، 3: تفعيل مفتاح التصفيير ، 4: مفتاح تصفير الكمون
 5: مأخذان لتيار العينة ، 6: زر تشغيل التسخين 7: عينة الجermanium المشوب .

إن الغاية من مفتاح تصفير الكمون هو ضمان قياس كمون هول بين نقطتين متاظرتين من طرفي العينة وذلك كي لا يؤثر تغيير تيار العينة على كمون هول .

☆ - ملاحظات مهمة :

- 1 - إن العينة المدروسة تسخن عند مرور تيار كبير فيها مما يؤدي إلى تغير تركيز حاملات الشحنة فيها ، وبالتالي تغير كمون هول ، لذلك يجب ألا تتجاوز حدود التيار القصوى (100 mA لتيار العينة و 5A بالنسبة لتيار الوشائع) .
- 2 - كن حذرا في التعامل مع محس حقل التحرير المغناطيسي فهو سهل العطب .



- الشكل (5) : إعداد تجربة أثير هول في أنصاف النواقل
- 1: براغي التثبيت ، 2: القطبان المغناطيسيان ، 3: حامل عينة نصف الناقل
 4: محس الحقل المغناطيسي ، 5: الوشائع ، 6: النواة الحديدية .

★ - الإجراء التجريبي :

- أولاً: دراسة كمون هول باعتباره تابعاً لحقل التحرير المغناطيسي عند تيار عينة ثابت:
- 1 - صل منبع تيار العينة مباشرة مع طرفي العينة الأفقيين (5) الشكل (4) .
 - 2 - قم بتثبيت العلبة الموصلة بمحس حقل التحرير المغناطيسي على المدخل (A) في جهاز الكاسي .
 - 3 - قم بوصل طرفي العينة الشاقوليين (2) بالمدخل (B) Input في جهاز الكاسي .
 - 4 - شغل برنامج الكاسي من أيقونته على سطح المكتب ، واضبط الإعدادات التالية :
 - 5 - انقر بالزر الأيسر للماوس على Input (A) واختر :

Quantity: Magn. Flux Density B_{A1} , Meas. Range: -1 T .. +1 T

- 6 - انقر بالزر الأيسر للماوس على (B) INPUT واختر :
Quantity: voltage U_{B1} , Meas. Range: -0.3 V .. +0.3 V
- 7 - انتقل إلى علامة التبويب Display ، واختر على المحور X تمثيل حقل التحرير المغناطيسي B_{A1} ، ثم اختر على المحور Y تمثيل الكمون U_{B1} .
- 8 - انتقل إلى النافذة الفرعية Measuring Parameters واختر تسجيل القيم يدوياً وذلك بتفعيل الخيار Manual Recording ، ثم عد إلى النافذة الأساسية .
- 9 - مرر في العينة تيارا قيمته $A = 0.03$ ، وسجل قيمة الكمون المطبق على العينة من المتبع (U_A) ، ثم حرك المفتاح 4 حتى ينعدم فرق كمون هول تماما .
- 10 - سجل قيمة كمون هول بالضغط على زر تسجيل القيم () أو بالضغط على F9 .
- 11 - شغل منبع تيار الوشائع ، وابداً بزيادة شدة الحقل تدريجياً من الصفر وحتى القيمة (T 0.15 T) بخطوة (0.01 T) وسجل في كل خطوة قيمة فرق كمون هول .
- 12 - قم بإيجاد أفضل خط مستقيم يمر من نقاطك التجريبية بالنقر بالزر الأيمن للماوس على الورقة البيانية واختيار (Fit Function: Free Fit , $A*x+B$) ، ثم تحديد جميع النقاط التجريبية .
- 13 - استقد من ميل المستقيم السابق في حساب معامل هول R_H وتركيز الإلكترونات n_e وفق العلاقة (4) ، وحركية الإلكترونات μ_n من العلاقة (8) ، وقدّر الارتباطات فيها .
- 14 - سجل على المنحني قيمة الميل وتيار العينة الذي تم عنده القياس و معامل جودة الموااءمة (r) ، وذلك من الخيار (Set Marker : Text).
- 15 - كرر سلسلة القياسات من أجل تيار عينة $A = 0.05$ I بالذهاب للنافذة الفرعية (Append new meas. Series) وتفعيل الخيار (Measuring Parameters).
- 16 - احفظ الورقة البيانية لسلسة نتائجك في ملف صوري ، وذلك بالضغط على الخيار (Copy Diagram : Bitmap) ، ثم لصقها في برنامج الرسام .

ثانياً: دراسة كمون هول باعتباره تابعاً لتيار العينة عند حقل مغناطيسي ثابت :

- 1 - ثبت شدة حقل التحرير المغناطيسي عند قيمة معينة (ولتكن $T = 0.075$ مثلاً) بالمحافظة على تيار الوشائع ، ثابتنا ثم أغلق برنامج (Cassy Lab) .
 - 2 - افصل العلبة الموصولة بمجس حقل التحرير المغناطيسي من على المدخل (A) في جهاز الكاسي .
 - 3 - صل منبع تيار العينة مع طرفي العينة الأفقيين والمدخل (A) في جهاز الكاسي على التسلسل .
 - 4 - شغل برنامج الكاسي من أيقونته على سطح المكتب ، واضبط الإعدادات التالية :
 - 5 - انقر بالزر الأيسر للماوس على (A) Input واختر :
- Quantity: current I_{A1} , Meas. Range: -0.1 .. +0.1 mA
- 6 - انقر بالزر الأيسر للماوس على (B) Input واختر :
- Quantity: voltage U_{B1} , Meas. Range: -0.3 V .. +0.3 V
- 7 - انتقل إلى علامة التبويب Display ، ثم اختر على المحور X تمثيل التيار المار في العينة I_{A1} ، ثم اختر على المحور Y تمثيل الكمون U_{B1} .
 - 8 - انتقل إلى النافذة الفرعية Measuring Parameters واختر تسجيل القيم يدوياً وذلك بتفعيل الخيار Manual Recording ، ثم عد إلى النافذة الأساسية .
 - 9 - حرك المفتاح 4 شكل (4) حتى ينعدم فرق الكمون تماماً ، ثم سجل قيمة كمون هول بالضغط على زر تسجيل القيم () أو بالضغط على F9 .
 - 10 - شغل منبع تيار العينة وابداً بزيادة شدة التيار تدريجياً بخطوة (5 mA) من الصفر وحتى القيمة (50 mA) وسجل في كل خطوة قيمة الكمون .
 - 11 - قم بإيجاد أفضل خط مستقيم يمر من نقاطك التجريبية بالنقر بالزر الأيمن للماوس على الورقة البيانية واختيار (Fit Function: Free Fit , $A*x+B$) ثم تحديد جميع النقاط التجريبية .

- 12 - استقد من ميل المستقيم السابق في حساب معامل هول R_H و تركيز الإلكترونات n_e وفق العلاقة (4) ، وقدر الارتباطات فيما .
- 13 - سجل على المنحني قيمة الميل وشدة حقل التحرير المغناطيسي الذي تم عنده القياس و معامل جودة المواجهة (r) ، وذلك من الخيار (Set Marker : Text).
- 14 - كرر سلسلة القياسات من أجل شدة أخرى لحقل التحرير المغناطيسي* وذلك بالذهاب للنافذة الفرعية (Measuring Parameters) ، ثم تفعيل الخيار (Append new meas. Series) .
- 15 - احفظ الورقة البيانية لسلسلة نتائجك في ملف صوري وذلك بالضغط على الخيار (Copy Diagram : Bitmap) ، ثم لصقها في برنامج الرسم .

4- تقييم العمل التجاري:

- 1 - ينبغي على الطالب أن يلاحظ الفرق بالدقة بين الحصول على معامل هول من أي من التجربتين (ثبات الحقل وبثبات التيار) ، وكيف يمكن أن يفسر أي من التجربتين أدق ، وما هي الآليات والخطوات التي ينبغي اتباعها لتسجيل أو تعين الفرق بين الدقتين في كلتا التجربتين (استقد من تقدير الارتباطات ومن حساب r) .
- 2 - كيف يمكن تحديد نوع الحاملات الأكثرية للشحنة في نصف الناقل اعتمادا على كمون هول ؟

* يمكنك زيادة تيار الوشائع بمقدار بسيط وبعد الانتهاء من سلسلة القياسات ، إعادة علبة مجس حقل التحرير المغناطيسي إلى المدخل (A) وقياس شدته .

5 - الكلمات المرجعية :

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| - Acceptor Atoms | - ذرات آخذة |
| - Donor Atoms | - ذرات مانحة |
| - Dopant | - شائبة |
| - Doped | - مثبوب |
| - Drift Velocity | - سرعة الانجراف |
| - Electron Mobility | - حركة الإلكترون |
| - Energy Gap | - فاصل الطاقة |
| - Hall Coefficient | - ثابت هول |
| - Hall Effect | - أثر هول |
| - Hall Voltage | - كمون هول |
| - Intrinsic Conductivity | - ناقلة أصيلة |
| - Intrinsic Semiconductor | - نصف ناقل أصيل |
| - Semiconductor | - نصف ناقل |
| - Semiconductor Doping | - إشابة نصف الناقل |

6 - المراجع :

- 1 - المرجع 1 - الفصل الثامن .
- 2 - المرجع 2 - الفصل السادس .
- 3 - النشرة التجريبية (P7.2.1.3) من شركة ليبلود " Leybold Didactic " .

التجربة 8 :

الناقلية الكهربائية للمعادن ولأنصاف النواقل باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة

1- الغاية من التجربة :

1- دراسة المقاومة الكهربائية لمعدن باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة ، وتحديد المعامل الحراري له .

2- دراسة المقاومة الكهربائية لنصف ناقل باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة ، وتعيين فاصل الطاقة له .

2- المبدأ النظري :

★ - المعادن :

تدرس عادة المقاومة الكهربائية للمادة R بدراسة ناقلتها الكهربائية σ التي هي في الحالة العامة تنسور يربط بين كثافة التيار J والحقول الكهربائي E بالعلاقة :

$$\vec{E} = \sigma \vec{J} \quad (1)$$

يُمثل هذا التنسور (أو الممتد) بمقدار عددي في المواد متماثلة المناخي أو في العينة التي تحتوي على العديد من البلورات الصغيرة (بلورات متعددة) . ويمكن دراسة مقلوب الناقلية ، وهو ما يدعى بالمقاومة الكهربائية النوعية أو المقاومية (ρ) والتي تقدر بوحدة ($\Omega \cdot m$) .

تترك الإلكترونات تحت تأثير حقل كهربائي في بلورة معدنية متماثلة دون مقاومة تذكر ، وذلك نظراً لما تتمتع به الإلكترونات من طبيعة موجية ، حيث تتدخل الأمواج الإلكترونية المتبعثرة على الكمون الدوري للشبكة البلورية تداخلاً بناءً في اتجاه الحقول .

تنشأ المقاومية الكهربائية عند اختلال هذه الحركة ، وذلك عند ابتعد البلورة عن الشروط المثالية وأهم تلك الأسباب :

- 1- اهتزازات الشبكة البلورية (الفونونات) بأنواعها المختلفة .
- 2- العيوب في الانظام البلوري للذرات مثل العيوب النقطية و الخطية والخلوع وكذلك تعدد حدود البلورة نوعاً من أنواع العيوب .
- 3- وجود شوائب من ذرات البلورة الأصلية .

يتعلق الإسهام الأول بدرجة الحرارة ، بينما لا يتغير الإسهامان الآخرين بشكل كبير مع تغير درجة الحرارة ، كما يمكن خفض إسهامهما بأخذ بلورة وحيدة ذات نقاوة عالية ، ولذلك يمكن كتابة المقاومة النوعية (المقاومية) للمادة (T) ρ على شكل مجموع حدين ، الأول مستقل عن درجة الحرارة ρ_i وهو يميز الإسهامين الآخرين والثاني (T) ρ_0 الذي يميز تابعية مقاومية المعدن النقي لدرجة الحرارة ، أي نكتب :

$$\rho(T) = \rho_i + \rho_0(T) \quad (2)$$

يسمى هذا التقسيم بقاعدة ماتيسن ، وهي تتحقق بصورة جيدة في المعادن النبيلة نظراً لإمكانية الحصول عليها بنقاء عالي جداً ، أما في المعادن الأخرى والسبائك فقد لا يتحقق بسبب وجود تفاعل كبير نسبياً بين الإلكترونات مع العيوب والشوائب من جهة ومع الفونونات من جهة أخرى .

تكون المقاومية ρ_i ، في حالة المعادن النبيلة ، صغيرة إذا ما قورنت بمقاومة المعدن النقي (T) ρ_0 في درجة حرارة الغرفة ، أما في درجات الحرارة المنخفضة فتتلاطم قيمة (T) ρ_0 كثيراً لتصبح ρ_i هي المهيمنة .

إن زيادة اهتزاز الذرات يجعل احتمال تصدام الإلكترون معها أكبر ، وبالتالي فإن المقاومية متناسبة مع المقطع العرضي للتصدام الذي يصادفه الإلكترون أي متناسبة مع $< X^2 >$. إن الطاقة الاهتزازية الوسطية لمهرز كمومي متناسبة مع $< X^2 >$ أيضاً ، ويمكن حسابها استناداً إلى نموذج ديباي باستخدام توافر ديباي ω_D :

$$\frac{1}{2} M \omega^2 \langle X^2 \rangle = \frac{\hbar \omega_D}{e^{\frac{\hbar \omega_D}{kT}} - 1} \quad (3)$$

حيث:

\hbar	: ثابتة بلانك المشطوبة	ω	: تواتر الاهتزاز	M
T	: ثابت بولتزمان	k	: درجة الحرارة المطلقة .	ω_D

وباستخدام درجة حرارة ديباي θ_D المعرفة بالعلاقة ($\hbar \omega_D = k \theta_D$) نجد :

$$\langle X^2 \rangle = \frac{2\theta_D}{e^{\frac{\theta_D}{T}} - 1} \quad (4)$$

وبما أن المقاومية متناسبة مع $\langle X^2 \rangle$ ، يمكن كتابة :

$$\rho(T) \propto \frac{1}{e^{\frac{\theta_D}{T}} - 1} \quad (5)$$

عند درجات حرارة أصغر بكثير من درجة حرارة ديباي $\theta_D \gg T$ فإن :

$$\rho(T) \propto e^{-\frac{\theta_D}{T}} \quad (6)$$

أما في حالة كون $T \ll \theta_D$ فإن :

$$\rho(T) \propto \frac{1}{\left(1 + \frac{\theta_D}{T}\right) - 1} = \frac{T}{\theta_D} \quad (7)$$

أي تكون $\rho(T)$ متناسبة خطياً مع T في هذا المجال من درجات الحرارة . يتطلب التقرير الخطي إهمال ρ_0 بالمقارنة مع $\rho(T)$ ، وييتطلب كذلك أن تكون درجة الحرارة $T \ll \theta_D$ ، ويتتحقق هذان الشرطان بالنسبة للعديد من المعادن بالقرب من درجة حرارة الغرفة ، وهذا ما يتفق مع العلاقة التجريبية البسيطة التي تحدد ما يسمى بالمعامل الحراري a للمقاومية المعرف بالعلاقة :

$$\frac{R_t - R_0}{R_0} = at \quad (8)$$

حيث:

R_t : المقاومة في الدرجة t المئوية ، R_0 : المقاومة في درجة الصفر المئوية

يختلف الثابت a من معدن آخر ، فهو بالنسبة لبعض المعادن قريب من الثابت المعروف $(a = \frac{1}{273} \text{ } {}^0\text{C}^{-1})$ ، لكنه يختلف عن هذه القيمة كثيراً بالنسبة لبعض المعادن الأخرى ، وعلى هذا نجد أنه بالنسبة للمعادن التي يكون من أجلها a قريبة من القيمة السابقة ، تعطى المقاومة بالعلاقة :

$$R_t = aR_0 T + R_0 \quad (9)$$

بينما بالنسبة للمعادن الأخرى تكون العلاقات التجريبية أكثر تعقيداً، مثل :

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2 + \dots) \quad (10)$$

★ - أنصاف النواقل :

تبدي أنصاف النواقل مقاومة عالية جداً قرب درجة حرارة الصفر المطلق بسبب عدم توفر الإلكترونات أو حاملات شحنة حرة قادرة على الحركة في البلورة عند تطبيق حقل كهربائي ، أما عندما ترتفع درجة الحرارة وبسبب كون فاصل الطاقة صغيراً نسبياً ، يمكن لبعض الإلكترونات أن تنتقل من عصابة التكافؤ إلى عصابة النقل مما يجعلها قادرة على الحركة فتسهم هي والثقوب التي تركتها في عصابة التكافؤ في التيار الكهربائي عند تطبيق حقل كهربائي عليها عندها تعطى الناقلة الذاتية بالعلاقة:

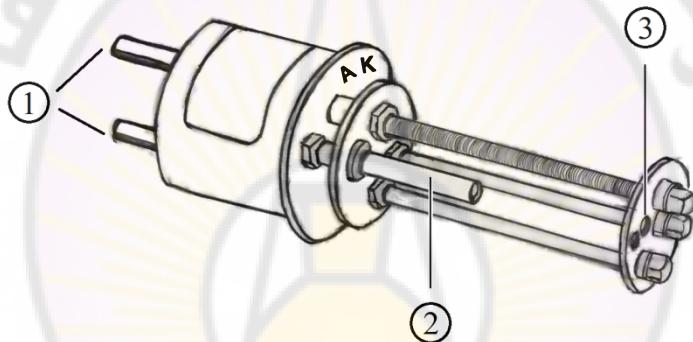
$$\sigma = f(T) e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad (11)$$

حيث $(f(T))$ تابع يعتمد قليلاً على درجة الحرارة ، وهو يتضمن تغير حركة الإلكترونات وحركة الثقوب ومستوى فيرمي مع تغير درجة الحرارة . ويمكن أن تستعمل هذه العلاقة لحساب فاصل الطاقة عند إهمال تغيرات $(f(T))$ مع درجة الحرارة . تدرس آثار الشوائب في أنصاف النواقل بدراسة مستويات الطاقة الإضافية التي تقع في الفاصل المحظور بالقرب من نهاية عصابتي النقل و التكافؤ مما يؤدي إلى انتقالات جديدة للإلكترونات و الثقوب وبالتالي إسهامات إضافية في الناقلة .

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة و الأدوات التجريبية :

- علبة مقياس درجة حرارة .
- فرن التسخين عدد (2) .
- علبة قياس المقاومة .
- المقاومة المعدنية مع حاملها .
- جهاز الكاسي .
- المقاومة نصف الناقلة مع حاملها .
- . حاسوب مع برنامج Cassy .
- حساس درجة الحرارة .



الشكل (1) : العينة المدروسة . 1: مربطا العينة ، 2: أسطوانة تحوي العينة 3: فجوة لإدخال حساس درجة الحرارة .

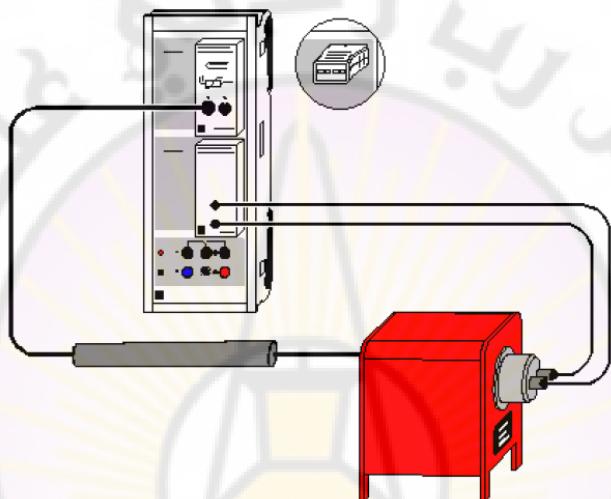
☆ - الإعداد التجريبي:

يبين الشكل (2) التوصيل العام للتجربة :

- 1- صل مجس قياس درجة الحرارة بالمدخل الأيسر (T_1) لعلبة قياس درجة الحرارة ، ثم ثبت العلبة على المدخل (A) Input (A) .
- 2- صل طرفي المقاومة المعدنية بعلبة قياس المقاومة مباشرة ، ثم ثبت العلبة على المدخل (B) Input (B) .

☆ - ملاحظات مهمة :

- 1 - انتبه إلى اختيار درجة الحرارة المئوية في حالة المعدن ، والدرجة المطلقة في حالة نصف الناقل .
- 2 - لا تتجاوز حدود درجة الحرارة القصوى للعينات (للمعدن 120°C ولنصف الناقل 400 K) .



الشكل (2) : الإعداد التجريبي للتجربة .

☆ - الإجراء التجريبي :

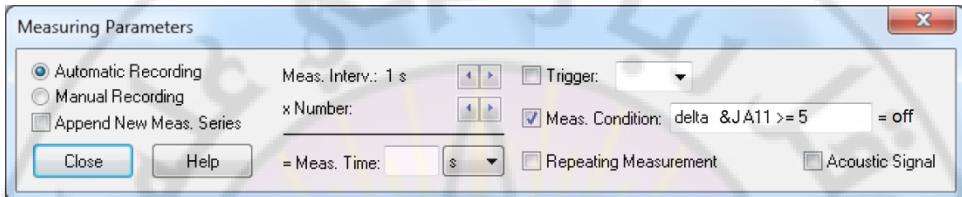
- أولاً: دراسة المقاومة الكهربائية لمعدن باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة المئوية t :
- 1 - أدخل العينة المعدنية في الفتحة المخصصة في الفرن ، ثم أدخل حساس درجة الحرارة في الفتحة المقابلة كما هو موضح في الشكل (2) .
 - 2 - شغل برنامج الكاسي من أيقونته على سطح المكتب ، واضبط الإعدادات التالية
 - 3 - انقر بالزر الأيسر للماوس على (A) Input واختر :

Quantity: Temperature ϑ_{Al} , Meas. Range: $0^{\circ}\text{C} .. 120^{\circ}\text{C}$

 - 4 - انقر بالزر الأيسر للماوس على (B) Input واختر :

Quantity: Resistance R_{B1} , Meas. Range: $0 \Omega .. 300 \Omega$

- 5 - انتقل إلى علامة التبويب Display ، واختر على المحور X تمثيل درجة الحرارة θ_{A11} (وليس θ_{A12}) ، ثم اختر على المحور Y تمثيل المقاومة R_{B1} .
- 6 - انتقل إلى النافذة الفرعية Measuring Parameters واختر تسجيل القيم بشكل تلقائي كل 5 درجات ، وذلك بتفعيل الخيار Automatic Recording ، ثم ضبط الإعدادات الموضحة في الشكل التالي ، ثم عد إلى النافذة الأساسية .



- 7 - ابدأ القياس بالضغط على زر تسجيل القيم () أو بالضغط على F9 .
- 8 - راقب درجة الحرارة ، ثم قم بإيقاف عملية القياس عندما تبلغ درجة حرارة المقاومة (120°C) ، بالضغط ثانية على زر تسجيل القيم ، وقم بإطفاء الفرن .
- 9 - قم بإخراج العينة المعدنية من الفرن وافصلها عن علبة قياس المقاومة ، ثم افصل الفرن عن قابس الكهرباء وضعه جانباً لكي يبرد .
- 10 - قم بإيجاد أفضل خط مستقيم يمر من نقاطك التجريبية بالنقر بالزر الأيمن للماوس على الورقة البيانية واختيار (Fit Function: Free Fit , $A*x+B$) ، ثم تحديد جميع النقاط التجريبية .
- 11 - استند من نقطة تقاطع المستقيم مع المحور (oy) في تقدير (R_0) ، ومن ميل المستقيم السابق في حساب المعامل الحراري (a) ، وفق العلاقة (9) ، وقدر الارتباط فيما .
- 12 - سجل على المنحني قيمة الميل ونقطة التقاطع التي تمثل المقاومة في الدرجة صفر مئوية ، و معامل المواجهة (r) وذلك من الخيار (Set Marker : Text).
- 13 - احفظ الشكل البياني الذي حصلت عليه في ملف صوري بالنقر بيمين الماوس على الورقة البيانية واختيار (Copy Diagram : Bitmap) .

ثانياً: دراسة المقاومة الكهربائية لنصف ناقل باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة T :

1- صل المقاومة نصف الناقلة مع علبة قياس المقاومة ، وأدخلها في الفرن الثاني ثم صل الفرن بالكهرباء .

2- أعد تشغيل برنامج الكاسي ، واضبط الإعدادات التالية :

3- انقر بالزر الأيسر للماوس على (A) Input واختر :

Quantity: Temperature T_{A1} , Meas. Range: 170 K .. 470 K

4- انقر بالزر الأيسر للماوس على (B) Input واختر :

Quantity: Resistance R_{B1} , Meas. Range: 0 Ω .. 300 Ω

5- انتقل إلى علامة التبويب Display واختر على المحور X تمثيل درجة الحرارة T_{A12} (وليس T_{A11}) ثم اختر على المحور Y تمثيل المقاومة R_{B1} .

6- انتقل إلى النافذة الفرعية Measuring Parameters واختر تسجيل القيم ، Automatic Recording بشكل تلقائي كل 5 درجات ، وذلك بتفعيل الخيار Automatic Recording وضبط الإعدادات الموضحة في الشكل التالي ، ثم عد إلى النافذة الأساسية .



7- ابدأ عملية القياس وراقب درجة الحرارة ، ثم قم بإيقاف عملية القياس عندما تبلغ درجة الحرارة (400 K) ، وقم بإطفاء الفرن .

8- قم بإخراج العينة من الفرن وافصلها عن علبة قياس المقاومة ، ثم افصل الفرن عن قابس الكهرباء وضعه جانباً لكي يبرد .

9- انقر بالزر الأيمن للماوس على المحور X ، وفقل الخيار (x 1/x) ، ثم على المحور Y ، وفعل الخيار (log y) .

10 - قم بإيجاد أفضل خط مستقيم يمر من نقاطك التجريبية بالنقر بالزر الأيمن (Fit Function: Best-fit Straight Line) للماوس على الورقة البيانية و اختيار (، ثم تحديد جميع النقاط التجريبية .

11 - استقد من ميل المستقيم السابق في حساب فاصل الطاقة لنصف الناقل E_g ، وفق العلاقة (11) ، وقدر الارتباط فيه ، ومع الانتباه إلى أن البرنامج يعطي اللغازتم العشري ، يجب الضرب بلغازتم العدد النميري ، وباستخدام المقاومة بدلا من الناقلة ، تصبح العلاقة (11) على الشكل التالي :

$$\log(R) = \frac{E_g}{2k} \log(e) \cdot \frac{1}{T} + \log(f(T)) \quad (12)$$

12 - سجل على المنحني السابق قيمة الميل وقيمة فاصل الطاقة المحسوب ، وذلك من الخيار (Set Marker : Text) .

13 - احفظ الشكل البياني الذي حصلت عليه في ملف صوري بالنقر بالزر الأيمن للماوس على الورقة البيانية و اختيار (Copy Diagram : Bitmap) .

☆ - طريقة بديلة :

يمكن الاستعاضة عن علبة قياس المقاومة (Current Source Box) ، باستخدام منبع التيار المستمر المتوفر في المخبر والذي يعطي تيارا (1.00 ± 0.05 mA) فتكون قيمة المقاومة عندها ، حسب قانون أوم ، مساوية لقيمة فرق الكمون بين طرفيها بعد الضرب بـ (1000) وتنصيطة الإعدادات كالتالي :

1 - صل محس قياس درجة الحرارة بالمدخل الأيسر (T_1) لعلبة قياس درجة الحرارة ، ثم ثبت العلبة على المدخل (A) Input .

2 - صل طرفي منبع التيار بالمقاومة المدروسة ، ثم صل طرفي المقاومة بمائذني قياس الكمون على المدخل (Input B) على التفرع .

3 - أدخل العينة المعدنية في الفتحة المخصصة في الفرن ، ثم أدخل حساس درجة الحرارة في الفتحة المقابلة كما هو موضح في الشكل (2) .

4 - شغل برنامج الكاسي من أيقونته على سطح المكتب ، واضبط الإعدادات التالية :

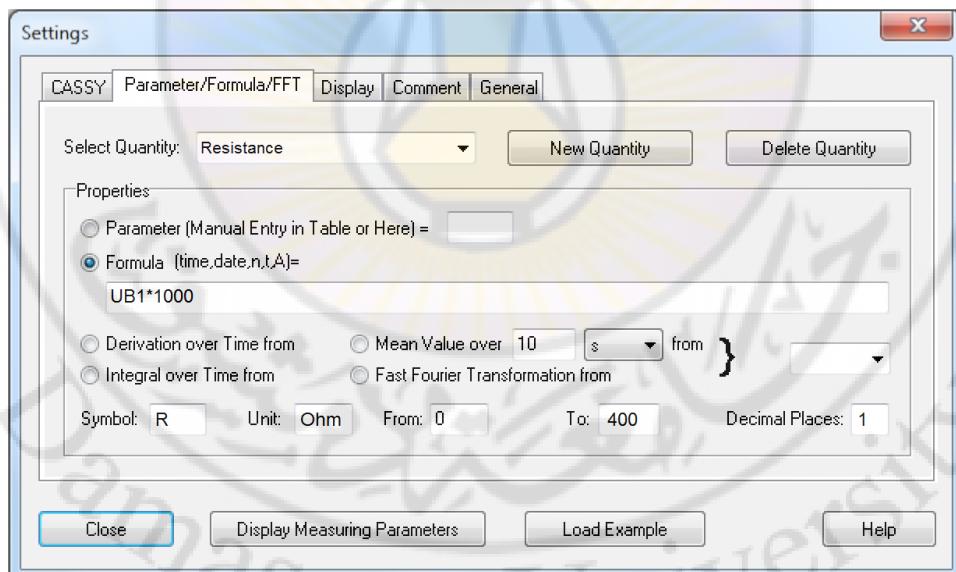
5 - انقر بالزر الأيسر للماوس على (A) Input واختر :

Quantity: Temperature θ_{A1} , Meas. Range: $0^{\circ}\text{C} \dots 120^{\circ}\text{C}$

6 - انقر بالزر الأيسر للماوس على (B) Input واختر :

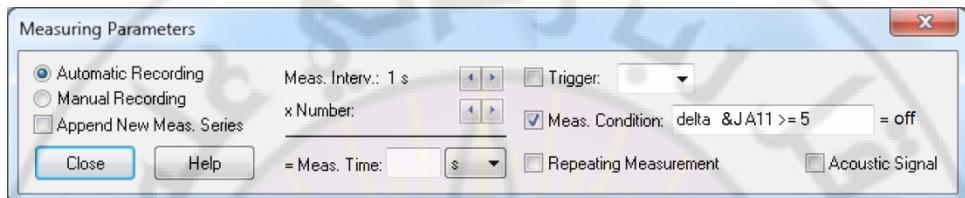
Quantity: Resistance U_{B1} , Meas. Range: $-1\text{ V} \dots +1\text{ V}$

7 - لتعريف المقاومة انتقل إلى النافذة علامة التبويب Parameter/FFT ثم اضغط على (New Quantity) ، وأدخل المعطيات كما في الشكل (3) .



. الشكل (3) : إعدادات إدخال المقاومة R .

- 8 - انتقل إلى علامة التبويب Display واختر على المحور X تمثيل درجة الحرارة θ_{A11} (وليس θ_{A12}) ثم اختر على المحور Y تمثيل المقاومة R .
- 9 - انتقل إلى النافذة الفرعية Measuring Parameters واختر تسجيل القيم بشكل تلقائي كل 5 درجات ، وذلك بتفعيل الخيار Automatic Recording ، وضبط الإعدادات الموضحة في الشكل التالي ، ثم عد إلى النافذة الأساسية .



- 10 - أجر القياسات والحسابات كما هو موضح في الفقرات السابقة (أولاً وثانياً) .

4- تقييم العمل التجريبي:

- 1 - في حالة المعادن : يلاحظ انخفاض المقاومة مع انخفاض درجة الحرارة بشكل خطى ، لكن هل سيستمر هذا الانخفاض مهما انخفضت درجة الحرارة ؟ .
- 2 - في حالة أنصاف النواقل : يلاحظ انخفاض المقاومة مع زيادة درجة الحرارة ، لكن هل سيستمر هذا الانخفاض مهما ارتفعت درجة الحرارة ؟ وكيف سيكون تغير المقاومة لو كان نصف الناقل مشوبا ؟

5 - الكلمات المرجعية :

- Alloy	. سبيكة .
- Conductivity	. الناقلية .
- Crystal Boundaries	. حدود البلورة .
- Dislocations	. الخلوع .
- High Purity	. نقاوة عالية .
- Homogeneous	. متجانس .
- Isotropic	. متماثل المناخي .
- Line Defects	. العيوب الخطية .
- Phonons	. الفونونات .
- Point Defects	. العيوب النقطية .
- Resistance	. المقاومة .
- Resistivity	. المقاومية (المقاومة النوعية) .
- Temperature Coefficient	. المعامل الحراري .
- Tensor	. التنسور (الممتد - المؤثر) .

6 - المراجع :

- 1- المرجع 1- الفصلان الخامس والثامن .
- 2- المرجع 2 - الفصل السادس .
- 3- النشرة التجريبية (P7.2.1.1) و (P7.2.1.2) من شركة ليبولد " Didactic ".

التجربة 9 :

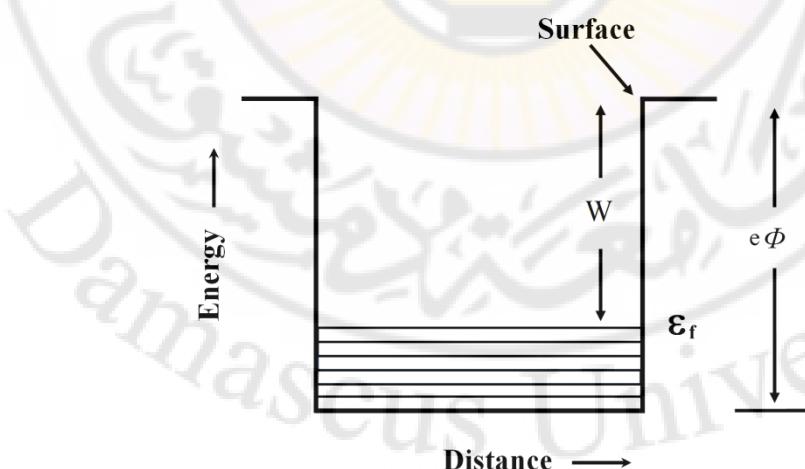
الإصدار الإلكتروني الحراري

1- الغاية من التجربة :

- دراسة تغيرات تيار الإصدار الحراري باعتباره تابعاً الحقل الكهربائي الخارجي المطبق (إصدار شوتكي) .
- تعيين تابع العمل لمادة مهبط صمام ثانوي المساري .

2- المبدأ النظري :

توجد الإلكترونات في المعدن حسب نموذج الإلكترونات الحرة في بئر كمون يجبرها على البقاء داخل المعدن . ففي درجة $T = 0$ تكون كل سويات الطاقة حتى سوية ϵ_f مشغولة . بينما تكون السويات الأعلى كلها فارغة . لا يستطيع الإلكترون أن يخرج من المعدن بسبب وجود حاجز كمون عند سطح المعدن يدعى بتابع العمل .



. الشكل (1) .

يعرف تابع العمل الفعلي W لسطح معدن على أنه الفرق بين سوية فرمي ϵ_f وبين كمون مستوى في الخلاء قرب السطح Φ ، (تكون عند هذا السطح القوى الكهربائية الناتجة عن خيال الإلكترون مهملاً) ، مضروباً بشحنة الإلكترون ، وبصورة أدق علينا استخدام الكمون الكيميائي μ مكان ϵ_f ، أي أن :

$$W = \epsilon_{\infty} - \mu \approx \epsilon_{\infty} - \epsilon_f \quad (1)$$

تُعرَّف للمعدن في بعض الأحيان خاصة مستمدبة من الخواص الذرية لذرات المعدن الحرة مثل ألفة الإلكترون ، وهي تعبر عن مدى ارتباط الإلكترون بذرات المعدن فهي تقاس بدءاً من قمة عصابة النقل وحتى ϵ_{∞} ، غير أنها هي وتابع العمل يعتمدان على انتظام الذرات والأيونات عند سطح المعدن ، فهما يتغيران عند وجود أيونات غريبة عند السطح كما يتغيران عملياً بحسب الاتجاه البلوري للسطح . لذلك فإن بعض القياسات الدقيقة تحدد تابع العمل في اتجاهات بلورية مختلفة لبلورة نظيفة ، ومن ثم يؤخذ الوسطي عند استخدام تابع العمل في قطعة متعددة البلورات .

كما هو واضح من الشكل (1) ، يجب أن تكون للإلكترون طاقة حركية مساوية على الأقل $(\epsilon_f + W)$ لكي يكون مرشحاً للخروج من المعدن ، وإحدى طرائق إعطاء الإلكترون هذه الطاقة هي الطريقة الحرارية ، وتدعى العملية بالإصدار الإلكتروني الحراري .

يعطي قانون رينشاردسون - دشمان عدد الإلكترونات الصادرة من سطح ما في درجة حرارة معينة استناداً إلى نموذج الإلكترونات الحرية التي تصادف عتبة كمون $\frac{W}{e}$ (انظر الشكل (1)). بإدخال توزع الإلكترونات على مجالات الطاقة وحساب عدد الإلكترونات التي تتجاوز طاقتها تابع العمل ، بصورة كمومية ، آخذين في الحسبان اتجاه ورودها على السطح وإمكانية انعكاسها عن السطح ، وذلك بإدخال معامل الانعكاس r على الشكل $(r = 1 - \delta)$ ، فنجد أن نيار الإصدار في الدرجة T وفي حقل كهربائي معين معطى بالعلاقة :

$$j(T) = A_0 \delta T^2 e^{-\frac{W}{kT}} \quad (2)$$

حيث : $A_0 = \frac{e m k^2}{2 \pi^2 h^2} = 1.2 \times 10^6 \frac{A}{m^2 \cdot {}^\circ C^2}$ درجة الحرارة المطلقة .

وهذا ما يعرف باسم علاقة ريتشاردسون - دشمان المستنيرة اعتماداً على إحصاء ماكسويل - بولتزمان دون ظهور المعامل δ . افترض عند استنتاج العلاقة السابقة عدم تبعية W لدرجة الحرارة رغم أن الكمون الكيميائي μ يتغير بتغير درجة الحرارة ، وهو لا يساوي طاقة فرمي إلا في درجات الحرارة المنخفضة . فإذا افترضنا أن هناك تبعية من الشكل :

$$W(T) = W_0 \pm aT \quad (3)$$

حيث a ثابت من المرتبة $(10^{-4} \frac{eV}{{}^\circ C})$. تصبح علاقة ريتشاردسون على الشكل :

$$j(T, 0) = A_0 \delta T^2 e^{\mp \frac{a}{k}} e^{-\frac{W_0}{kT}} \quad (4)$$

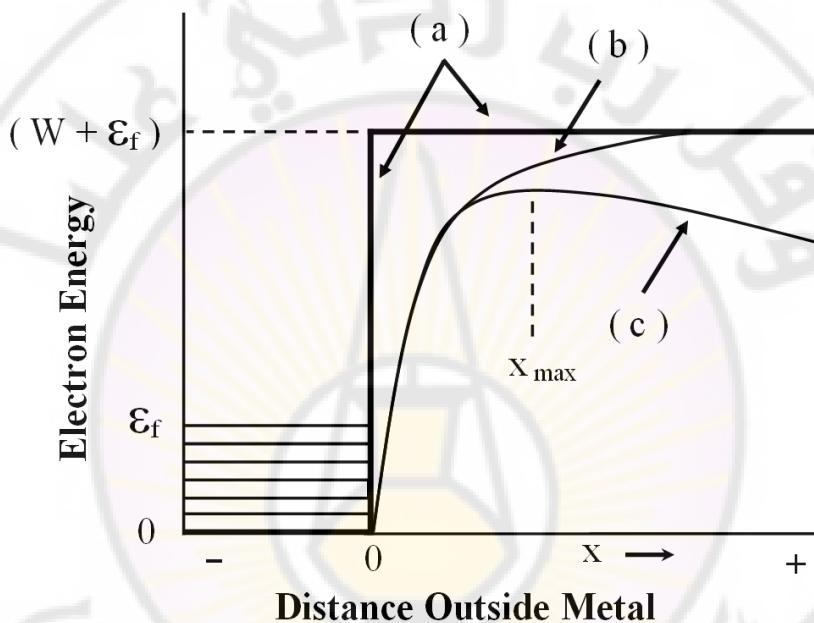
يفسر وجود المعامل الأسني ، المستقل عن درجة الحرارة ، اختلاف الأمثلث الثابتة الواردة في المعادلة (2) عن قيمها المتوقعة نظرياً والمستندة إلى حساب كمومياً . لقد بين شوتكي عام 1914 أن حاجز الكمون الذي يلاقيه الإلكترون يجب أن يكون متدرجاً ، وليس حاداً . فيمكن أن نفترض أن الطاقة الكامنة $U(x)$ ترداد خطياً في البداية مع (x) (حيث المحور $(0x)$ عمودي على سطح البلورة) ، إلا أنه بمجرد أن يصبح الإلكترون على بعد عدة أنغسترومات خلف السطح فإنه يخضع إلى القوة الجاذبة الناشئة عن خيال الشحنة بالنسبة إلى سطح ناقل مستو ، مما يؤدي إلى الطاقة الكامنة (من أجل قيم x الكبيرة) :

$$U(x) = (W + \varepsilon_f) - \frac{e^2}{16 \pi \varepsilon_0 x} \quad (5)$$

وهو ما يوضحه المنحني (b) من الشكل (2) ، ويدعى "أثر خيال الشحنة" .

لفترض الآن وجود حقل كهربائي E في الاتجاه OX في الخلاء خارج بلورة معدنية مسخنة . سيؤدي هذا إلى تغير تابع الطاقة الكامنة بحيث تصبح :

$$U(x) = (W + \epsilon_f) - \frac{e^2}{16\pi\epsilon_0 x} - e \times E_x \quad (6)$$



الشكل (2) .

إن وجود حقل كهربائي خارجي سوف ينقص من تابع العمل الفعلي ، وهذه الظاهرة تدعى "إصدار شوتكي" ، أو ظاهرة الإصدار الحراري بمساعدة الحقل الكهربائي. يمثل الجزء (c) من الشكل (2) شكل الطاقة الكامنة بوجود حقل كهربائي خارجي . باستناد العلاقة (6) بالنسبة للموضع لتعيين x عند النهاية العظمى في الجزء (c) . يمكن أن نكتب عبارة تابع العمل في حال وجود حقل كهربائي بالشكل:

$$W(E) = W - \Delta W = W - \left(\frac{e^3 E_x}{4\pi\epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$\Delta W = \left(\frac{e^3 E_x}{4 \pi \epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

بتعويض هذه القيمة في المعادلة (2) نجد أن :

$$j_x(T, E) = A_0 \delta T^2 e^{-\frac{W}{kT}} \cdot e^{\frac{1}{kT} \left(\frac{e^3 E_x}{4 \pi \epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (9)$$

ومنه :

$$I(T, U) = I(T) e^{\left(\frac{e^3}{4 k^2 T^2 \pi \epsilon_0 b} \right)^{\frac{1}{2}} U^{\frac{1}{2}}} \quad (10)$$

أو بترميز آخر :

$$I = I_0 \cdot f(U^{\frac{1}{2}}) \quad (11)$$

أي أن تيار الإصدار الإلكتروني الحراري يزداد مع ازدياد U حتى عند درجة حرارة ثابتة ، وهذا ما يفسر عدم التوصل إلى تيار الإشباع في المنحني المميز لتيار المصعد بدلالة فرق الكمون المطبق عند درجة حرارة ثابتة .

سنعين في هذه التجربة تابع العمل لمادة مهبط ثنائي المساري القابل للتسخين ، وعادة ما يصنع المهبط من مادة التنجستين (W) تابع عملها (4.55 eV) تقريبا ، إلا أنه في أغلب الثنائيات ، يتم طلاء المهبط بمواد معينة (كالمعادن القلوية أو أكاسيدتها) ، مما يخفض تابع العمل الفعلي إلى حدود (1.2 eV).

يتم تعين تابع العمل بقياس التيار المار بين المصعد والمهبط الناتج عن الإلكترونات التي يصدرها المهبط المسخن ، والمسرعة نتيجة تطبيق فرق في الكمون بين المصعد والمهبط .

يُجعل كمون المصعد موجباً بالنسبة إلى المهبط ، وترفع قيمته بالتدريج حتى يجمع كل الإلكترونات الصادرة عن المهبط مهما كانت طاقة صدورها ، وذلك لتلافي أثر

شحنة الفضاء (الموصوفة بعلاقة تشايلد - لانغموير) ، أي سنهم حسابيا بالجزء الثاني فقط من المنحني المميز (U-I) للصمام ثنائي المساري ، والذي يمكن التعبير عنه بالعلاقة (10) * .

بسبب أثر شوتكي يستمر تيار المصعد عند درجة حرارة ثابتة في التزايد مع ازدياد الكمون المطبق ، أي يتناسب طرديا $e^{\frac{1}{U^2}T}$ لذلك نقوم من أجل درجة حرارة معينة T بقياس تغيرات I مع $e^{\frac{1}{U^2}I_0}$ لتحديد I_0 من نقطة التقاطع مع محور التيار ، ثم بالاستفادة من العلاقة (2) نقوم برسم $\frac{I_0}{T^2}$ بدلاً من أجل قيم مختلفة لـ T كي نحصل على تابع العمل W .

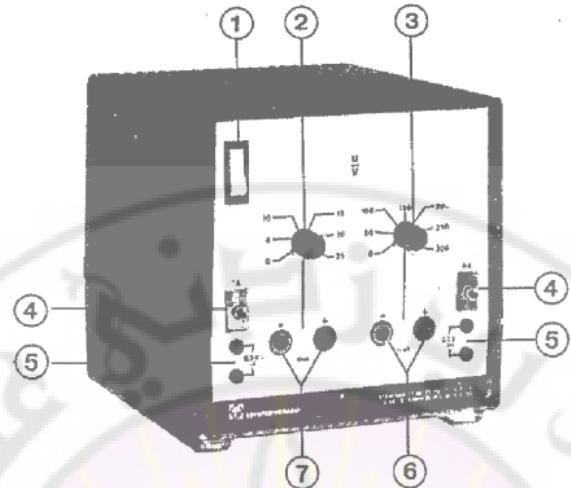
3- أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- مصباح ثنائي المساري من نوع 5Y3GT .
- منبع تيار مستمر متغير (V 325 - 0) - منبع تيار متناوب ثابت (6.3 V) .
- مقياس فولت بمقاومة داخلية كبيرة جدا ($\sim 20 M\Omega$) ** .
- مقياس ميكروأمبير مستمر .
- مقياس فولت متناوب .
- مقياس تيار متناوب .

* : راجع كتاب القياس العمليه 2 - التجربة 18 .

** : المقاومة العالية لكي لا يؤثر مقياس الكمون على التيار والكمون المقاسين .



الشكل (3) : منبع تغذية يحتوي منبعي تيار مستمر و منبعي تيار متداوب .

1: زر التشغيل . 2: مفتاح تغيير فرق الكمون للمنبع المستمر الأول .

3: مفتاح تغيير فرق الكمون للمنبع المستمر الثاني .

4: قاطعة تفتح عند تجاوز التيار المتداوب من المأخذ (5) قيمة (1A) .

5: مأخذ لتيار متداوب كمونه ثابت $V_{6.3}$ ، 6: مربطا منبع الكمون الأول

7: مربطا منبع الكمون الثاني .

☆ - الإعداد التجريبي:

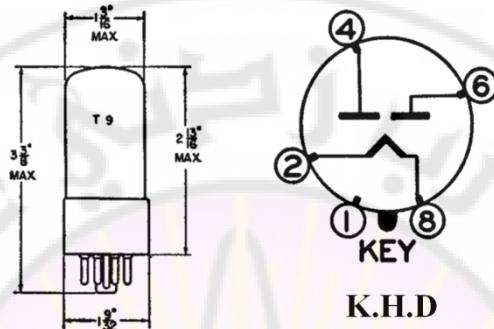
يوضح الشكل (3) مرابط ثنائي المساري ، ويبيّن الشكل (4) التوصيل العام

للتجربة :

1 - ثبت ثنائي المساري على قاعدته ، وانتبه إلى ترتيب المرابط .

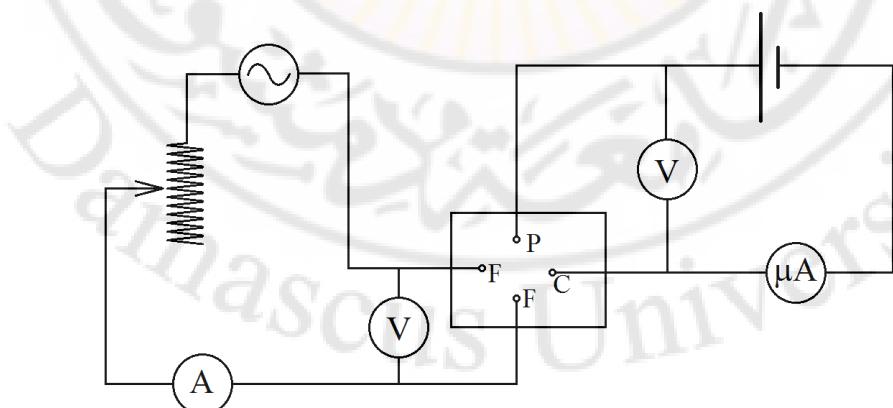
2 - صل منبع التيار المتداوب بمقاييس التيار ومربطي التسخين (F_1 , F_2) على التسلسل شكل (4) ، ثم صل مقاييس فرق الكمون على التفرع بين طرفي التسخين.

3 - صل منبع التيار المستمر ومقاييس الميكرومبير ومربطي المصعد (P) والمهبط (C) على التسلسل شكل (4) ، ثم صل مقاييس فرق الكمون المستمر على التفرع بين المهبط والمصعد .



RETMA 9-13 OR 9-42

- الشكل (3) : أجزاء الصمام الثنائي المؤلف من مصدعين (صمام مزدوج) .
- 1: غير متصل .
 - 2: طرف التسخين الأول (المهبط) .
 - 4: الصفيحة الأولى (المصعد الأول) 6: الصفيحة الثانية (المصعد الثاني)
 - 8: طرف التسخين الثاني (المهبط) .



الشكل (4) : توصيل التجربة .

☆ - ملاحظات مهمة :

- 1 - لا تترع الصمام عن قاعدته .
- 2 - انتبه إلى عدم تجاوز قيمة تيار التسخين (1.5 A) كي لا يتلف الصمام .
- 3 - انتبه إلى عدم تجاوز قيمة تيار الإصدار القيمة (50 mA) .

☆ - الإجراء التجريبي :

- 1 - شغل منبع التيار ومرر تيار تسخين متناسب في مهبط الصمام ثانوي المساري قيمته (0.8 A) من خلال التحكم بالمعدلة .
- 2 - قس فرق الكمون U بين طرفي سلك التبغستين واحسب مقاومته R_t من علاقة أوم ($U = I R_t$) .
- 3 - قم بحساب درجة حرارة المهبط ، بالاعتماد على العلاقة التجريبية التالية من أجل سلك التبغستين ، حيث ($R_0 = 0.38 \pm 0.01 \Omega$) :

$$T = \frac{R_t - R_0}{0.00524 \times R_0} + 273 \quad (12)$$

- 4 - طبق فرقا في الكمون بين المصعد والمهبط قيمته (2 V) ، وسجل قيمة تيار الإصدار المقابل (I) .
- 5 - قم بزيادة فرق الكمون المطبق تدريجياً أولاً حتى (10 V) ، وبخطوة (2 V) ثم إلى (100 V) بخطوة (20 V) ، ثم إلى (300 V) بخطوة (40 V) .
- 6 - كرر الخطوات السابقة من أجل تيارات التسخين التالية (0.9 - 1.0 - 1.1) ، ورتب نتائجك في جدول كالتالي :

T = K							
U (V)	I (μA)						
2		2		2		2	
4		4		4		4	
6		6		6		6	
8		8		8		8	
10		10		10		10	
20		20		20		20	
40		40		40		40	
60		60		60		60	
80		80		80		80	
100		100		100		100	
140		140		140		140	
180		180		180		180	
220		220		220		220	
260		260		260		260	
300		300		300		300	

7 - ارسم على ورق مليمترى المنحنيات المميزة (U - I) ، من أجل درجات حرارة مختلفة (تيارات التسخين المختلفة) .

8 - ارسم تحولات ($I^{\frac{1}{2}}$) بدلالة $\ln(I)$ ، وحدد قيم تيارات الإشباع I_0 من نقطة التقاطع مع المحور (oy) من أجل درجات الحرارة المختلفة وفق العلاقة (10) ، وقدّر الارتباط في تحديده .

9 - بعد تحديد تيارات الإشباع I_0 من أجل كل تيار تسخين (أي عند كل درجة حرارة) ، قم بحساب $(\frac{I_0}{T^2})$ و $(\frac{1}{T})$ ورتب نتائجك في جدول كالتالي :

T (K)	I_0 (μA)	$\frac{1}{T}$ (K^{-1})	$\frac{I_0}{T^2}$ ($\mu A \cdot K^{-1}$)

10 - ارسم الخط البياني لتحولات $(\frac{I_0}{T^2})$ ، بدلالة (\ln) ، مستقينا من العلاقة (2) التي يمكن كتابتها على الشكل :

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) = \ln(S A_0 \delta) - \frac{W}{k} \cdot \frac{1}{T} \quad (13)$$

ثم عيّن من الميل قيمةتابع العمل W ، وقدر الارتباط فيه .

4- تقييم العمل التجاريبي:

- 1 - عند رسم تحولات $(\ln I)^{\frac{1}{2}}$ ، يظهر في البداية عند الكمونات المنخفضة جزء غير خطى ، ما سببه ؟
- 2 - ناقش مدى الدقة في حساب تابع العمل التي يمكن التوصل إليها في هذه التجربة ، وهل تعد طريقة جيدة لتحديد تابع العمل ؟ ناقش ذلك في ضوء تقدير الارتباط .

5 - الكلمات المرجعية :

- Alloy	سبائك
- Crystal boundaries	حدود البلورة
- Electrical conductivity	الناقلة الكهربائية
- Electrical resistance	المقاومة الكهربائية
- High Purity	نقاوة عالية
- Homogeneous	متجانس
- Isotropic	متماثل المناخي
- Linear defects	عيوب الخطية
- Noble metals	معادن نبيلة
- Phonons	الفونونات
- Point defects	عيوب النقطية
- Specific resistance	المقاومة النوعية
- Temperature coefficient	المعامل الحراري
- Tensor	التنسور (الممتد) .

6 - المراجع :

1- المرجع 1

2- المرجع 2 .

3- النشرة " Thermionic emission , Marjan Grilj , 2008 .

التجربة 10 :

الإصدار الإلكتروني الضوئي

1- الغاية من التجربة :

- 1- قياس كمون الإيقاف U_0 باعتباره تابعاً لتردد الضوء الوارد على الخلية الكهروضوئية v .
- 2- تحديد ثابتة بلانك وتابع العمل لمادة مهبط الخلية الكهروضوئية.

2- المبدأ النظري :

تدعى حادثة إصدار الإلكترونات من سطح المعدن لدى تعرضه للضوء بالأثر الكهروضوئي الخارجي (External Photo-electric Effect) تميزاً لها عن الأثر الكهروضوئي الداخلي ، أو الناقلية الكهروضوئية ، التي لا تخرج فيها الإلكترونات من المادة المعرضة للضوء ، وإنما تتهيج وتسمم في زيادة الناقلية الكهربائية . أما الحادثة التي نحن بصددها فيتم فيها افلالع الإلكترونات من السطح المعرض للضوء ، فإذا شكل هذا السطح مهبطاً ووضع أمامه مصعد ، يمر تيار الإصدار الإلكتروني بينهما .

وقد لوحظ أن لكل معدن عتبة توادر دنيا للضوء الذي يستطيع افلالع الإلكترونات من سطحه بغض النظر عن شدة هذا الضوء ، ولا يمكن تفسير هذا الأمر إلا بأخذ الخواص الجسيمية للضوء في الحساب واعتباره فوتونات ، طاقة كل فوتون (hv) حيث (h) ثابتة بلانك و (v) توادر الضوء (حسب فرضية آينشتاين 1905) .

بما أن الإلكترونات في المعدن محتجزة داخله ولا تستطيع مغادرته إلا إذا اكتسبت طاقة إضافية تسمح لها بتجاوز حاجز الكمون الذي يفصل بين سطح المعدن والخلاء وهي الطاقة التي يعبر عنها بتابع العمل (W) ، فإن الطاقة الدنيا للفوتون قادر على إصدار الإلكترون هي ($hv = W$) .

فلو سقط فوتون طاقته ($h\nu$) أعلى من الطاقة الدنيا (W) لاكتسب الإلكترون الصادر من المعدن طاقة حركية إضافية (E_k) ، ويكون :

$$h\nu = W + E_k \quad (1)$$

لحساب تابع العمل يلزم معرفة (v) وتعيين (E_k) ، يمكن التحكم بتواتر الضوء الوارد على المعدن ، أما (E_k) فيمكن تعدينه بتطبيق فرق كمون معaks بين المصعد والمهبط ، بحيث يتم قياس القيمة (U_0) المسمى كمون الإيقاف والذي ينعدم من أجله تيار الإلكترونات الصادرة ويكون عندئذ ($E_k = eU_0$) أي :

$$h\nu = W + eU_0 \quad (2)$$

حيث: e : شحنة الإلكترون . ويتم بذلك حساب تابع العمل (W) من العلاقة :

$$U_0 = \frac{h}{e}v - \frac{W}{e} \quad (3)$$

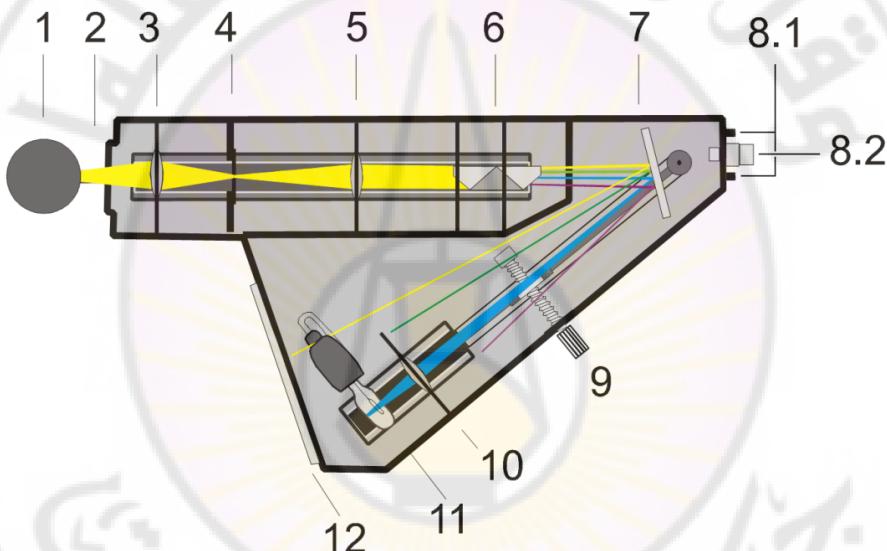
يمكن إذن باستخدام أطوال موجية (أو تواترات) مختلفة معينة وقياس كمون الإيقاف المقابل لكل منها ، تحديد تابع العمل ببساطة .

يشكل معدن البوتاسيوم مادة المهبط المراد دراسته في الخلية الكهرضوئية التي هي عبارة عن زجاجة مخالة من الهواء تحتوي على المهبط المذكور ومصعد مقابل له من البلاتين . نجعل الخلية الكهرضوئية تتلقى ضوءاً وحيد اللون من مطياف يحلل الضوء الوارد إليه من المنبع الضوئي إلى خطوطه الطيفية المركبة له بوساطة موشور (أو باستخدام مرشحات مناسبة) ويسقط أحد هذه الألوان على مهبط الخلية . يقاس تيار الإصدار الإلكتروني الضوئي بين المصعد والمهبط (من رتبة μA) ، ثم يُخفض هذا التيار حتى الصفر عن طريق رفع الكمون المعاكس المطبق بين المصعد والمهبط ويعين بذلك كمون الإيقاف (U_0) لكل لون من ألوان طيف المصباح وباستخدام العلاقة (3) يتم تعين تابع العمل لمعدن المهبط .

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

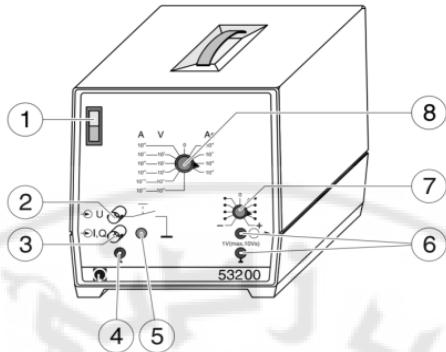
★ - الأجهزة و الأدوات التجريبية :

- المطياف والحجرة الكهربائية .
- منبع كمون مستمر (0 - 5 V) .
- معدلة (Ω 320) .
- مصباح زئبي .
- مقاييساً كمون .
- مضخم الإشارة 532 00 .



الشكل (1) : المطياف والحجرة الكهربائية .

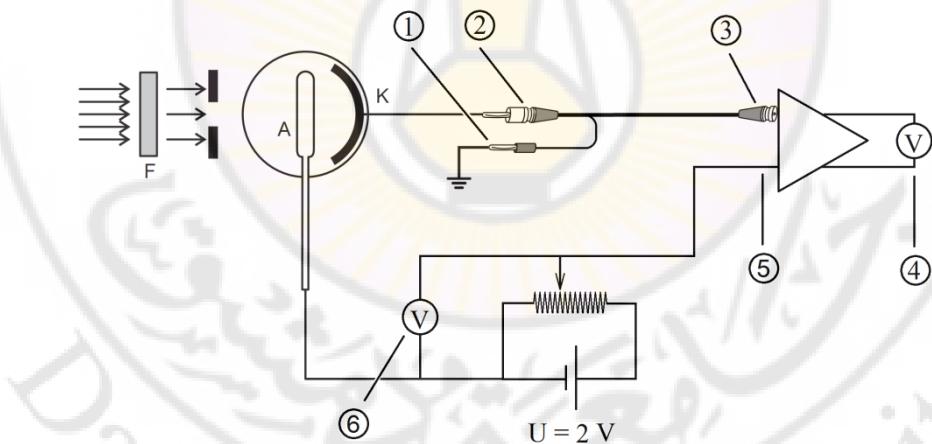
- 1: مصباح زئبي عالي الضغط ، 2: نافذة تمرير الضوء قابلة للإغلاق 3: عدسة محدبة ، 4: شق ضيق ، 5: عدسة محدبة لتحديد الضوء إلى المؤشر 6: مؤشر لتحليل الضوء ، 7: مرآة لعكس الخطوط الطيفية قابلة للدوران 8: مربط موصول بطرف حلقة البلاتين ، 8.2 مربط موصول بالمهاي 9: مفتاح يدور لتحريك الخلية وضبط سقوط الضوء عليها 10: عدسة محدبة مع غطاء وشق مؤشر ، 11: الحجيرة الكهربائية 12: نافذة لمراقبة الخط الوارد إلى الخلية قابلة للإغلاق.



الشكل (2) : مضخم الإشارة 532 00 : 1: زر التشغيل ، 2: مدخل إشارة الكمون 3: مدخل إشارة التيار ، 4: أرضي المدخل ، 5: زر وصل الكمون بالأرضي 6: مخرج الكمون ، 7: كمون يستخدم للتصفيير ، 8: ناخب مجال إشارة الدخل .

★ - الإعداد التجريبي :

يوضح الشكل (3) توصيل التجربة .



الشكل (3) : F: اللون المنتقى ، A: حلقة البلاتين ، K: مهبط البوتاسيوم .
 1: أرضي الإشارة ويوصل مع أرضي المخبر ، أو يوصل بجسم الجهاز
 2: قطب الإشارة ، ويوصل مع مهبط الحجيرة الكهروضوئية
 3: يوصل إلى مدخل الإشارة في المضخم ، 4: كمون الخرج
 5: يوصل إلى أرضي الإشارة في المضخم ، 6: الكمون المطبق .

★ - ملاحظات مهمة :

- 1 - يجب التأكد من تأريض الإشارة وإلا لن تستقر قيمة كمون الخرج .
- 2 - يجب الحذر من لمس مصباح بخار الزئبق ، فقد تصل درجة حرارته بعد التشغيل لفترة إلى أكثر من 100°C .

★ - الإجراء التجريبي :

- 1 - شغل مصباح الزئبق ، وانتظر فترة دقيقتين حتى تستقر إضاءته .
- 2 - شغل مضخم الإشارة ومقاييس الكمون ومنبع كمون الإيقاف ، واضبطه على القيمة (2 V) ، ثم حرك زالقة المعدلة (مجزئ الكمون) بحيث يكون الكمون المطبق يساوي الصفر .
- 3 - ضع ناخب المجال في المضخم (الناخب 8) على القيمة (10^{-10} A) .
- 4 - افتح النافذة (2) والنافذة (12) ، وتتأكد من وجود أربعة خطوط طيفية على الأقل ضمن مجال النافذة (12) .
- 5 - حرك الخلية الكهرضوئية باستخدام المفتاح (9) بحيث يسقط على الخلية أحد الخطوط الطيفية (الأصفر مثلاً) .
- 6 - أغلق النافذتين (2) و (12) ، ثم قم بتصفير كمون الإشارة الذي يعطيه المضخم باستخدام المفتاح (7) .
- 7 - افتح النافذة (2) ، فینحرف مؤشر مقياس كمون الإشارة دليلاً على مرور تيار من الإلكترونات من مهبط البوتاسيوم إلى حلقة البلاتين .
- 8 - طبق كموناً معاكساً ، وذلك بتحريك زالقة مجزئ الكمون حتى تتعدم قراءة كمون الإشارة ، ثم سجل قيمة كمون الإيقاف (U_0) المقابل .
- 9 - أعد كمون الإيقاف إلى القيمة (0 V) بإعادة زالقة مجزئ الكمون إلى الطرف .
- 10 - افتح النافذة (12) وحرك الخلية الكهرضوئية بحيث يسقط عليها الخط الطيفي التالي .

11 - أغلق النافذتين (2) و (12) ، ثم تأكّد ثانية من تصفيير كمون الإشارة الذي يعطيه المضخم باستخدام المفتاح (7) .

12 - أعدّ الخطوات السابقة وسجل كمون الإيقاف من أجل أربعة خطوط طيفية على الأقل .

13 - كرر سلسلة القياسات السابقة مرتين على الأقل ، واحتّبّر مدى التكرارية التي حصلت عليها . ثم رتب نتائجك في جدول كالتالي :

اللون	λ (nm)	v (THz)	U_0 (V)	U_0 (V)	U_0 (V)	$\overline{U_0}$ (V)
			1	2	3	
أحمر	630	476				
أصفر برتقالي	578	519				
أخضر	546	549				
أزرق مخضر	486	617				
أزرق نيلي	436	688				
بنفسجي	405	741				

ملاحظة : الارتياب النسبي للمؤي في الأطوال الموجية المعطاة هي (1 %) كحد أعلى .

14 - ارسم الخط البياني الذي يعبر عن تغيرات كمون الإيقاف بدلالـة تواتـر الضـوء الوارد إلى الخلـية ، واستـفـد من المـيل في العـلاقـة (3) في حـساب ثـابتـة بلـانـك h ، ومن نقطـة التـقطـاع في تعـيـين تـابـعـ العمل لمـادـةـ المـهـبـط W ، وقدـرـ الـارتـيـابـ فيـهـماـ .

4- تقييم العمل التجاريبي:

1 - هل تؤثر شدة الضوء (عدد الفوتونات الواردة إلى المهبـط) في كـمـونـ الإـيقـافـ ؟ ولـمـاـذاـ ؟ وماـ الاـخـتـلـافـ بيـنـ الحـجـيرـةـ الـكـهـرـضـوـئـيـةـ وـالـمـقاـوـمـةـ الضـوـئـيـةـ ؟

2 - ماـ الخـصـائـصـ الـواـجـبـ توـفـرـهاـ فـيـ مـادـتـيـ المصـدـعـ وـالمـهـبـطـ (كلـ عـلـىـ حـدـةـ) ؟

5 - الكلمات المرجعية :

- Amplifier	مضخم
- Counter voltage	كمون معاكس
- Electrons liberating	تحرير الإلكترونات
- Kinetic energy	طاقة حركية
- Lamp spectrum	طيف المصباح
- Light frequency	توافر الضوء
- Photo cell	حاجزة كهربائية
- Photoelectric current	تيار كهربائي
- Photoelectric effect	أثر كهربائي
- Photoelectric emission	إصدار إلكتروني ضوئي
- Prism	موشور
- Spectrometer	مطياف
- Spectrum Line	خط طيفي
- Work function	تابع العمل

6 - المراجع :

- 1 - المراجع 1 - الفصل السادس .
- 2 - المراجع 2 - الفصلان السادس والسابع .
- 3 - النشرة التجريبية (P6.1.4.5) (77 & 558) من شركة ليبلولد " LEYBOLD DIDACTIC "



التجربة 11 :

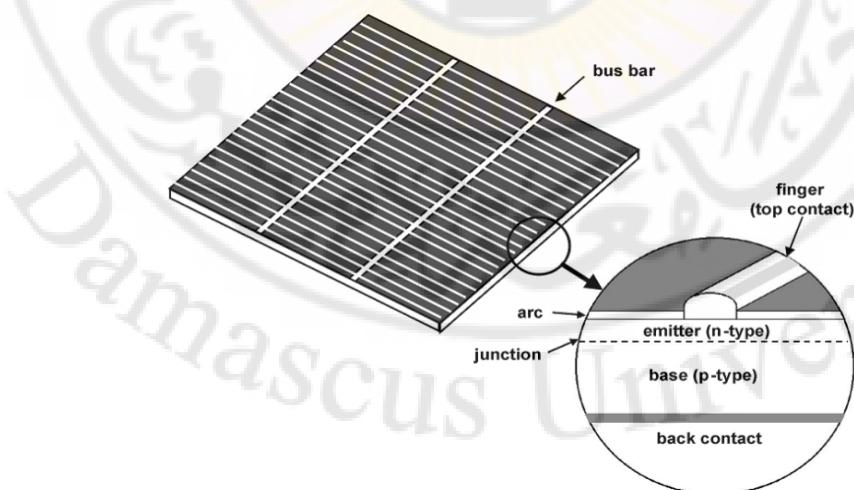
تجارب في الخلية الشمسية

1- الغاية من التجربة :

- 1- دراسة سلوك الخلية الشمسية في حالة الظلام باعتباره ثنائياً .
- 2- دراسة المنحنيات المميزة (U - I) للخلية الشمسية عند شدت إضاءة مختلفة وحساب المردود ومعامل الماء لها .
- 3- دراسة استطاعة الخلية الشمسية باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة .
- 4- دراسة سلوك الخلية الشمسية في الإظلام والإضاءة في حالي الوصل الأمامي والعكسي .

2- المبدأ النظري :

الخلية الشمسية أداة تحول الطاقة الضوئية بشكل مباشر إلى كهرباء وفق المفعول الكهرومغناطيسي . يمكن تلخيص المفاعيل الأساسية التي تحدث في الخلية كالتالي :



الشكل (1) : بنية الخلية الشمسية .

1 - امتصاص الفوتونات من قبل مادة نصف ناقلة .

2 - توليد أزواج إلكترون- ثقب .

3 - انفصال الشحنات المترافق وخروجها إلى الدارة .

تصنع الخلية الشمسية عادة من وصلة (p-n) تتمتع بالخصائص الضوئية المناسبة ويرسّب على طرفيها شبكة معدنية لجمع الشحنات الكهربائية المتولدة من الخلية ووصلتها بالدورات الخارجية شكل (1) . تجعل سماكة المنطقة (n) رقيقة لينفذ الضوء الساقط عليها إلى منطقة الوصلة (p) ، فتولد أزواج إلكترونات والثقوب ويتحرك كلٌ منها في اتجاه معاكس للأخر تحت تأثير الحقل الكهربائي الداخلي المتولد في منطقة النفاد . وعند وصل قطبى الخلية بدارة خارجية يمر تيار كهربائي فيها .

من الناحية الهندسية ، يمكن اعتبار الخلية الشمسية كثنائي نصف ناقل موصول على التفرع مع منبع للتيار يولد التيار (I₁) ضوئياً شكل (2) ، وهذه الفرضية تقودنا إلى معادلة الخلية الشمسية المثلالية لـ " شوكلي " التي تحدد التيار الذي تعطيه الخلية الشمسية :

$$I = I_0 \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \quad (1)$$

حيث :

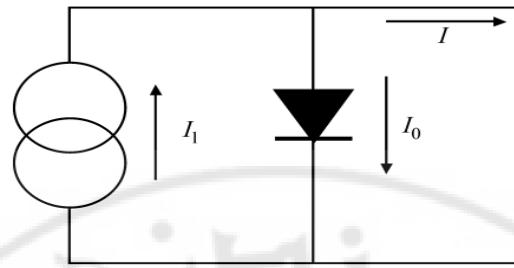
I₀ : تيار الإشباع المعتم (dark saturation current)

U : فرق الكمون بين طرفي الخلية الشمسية

k : ثابت بولتزمان ، T: درجة الحرارة المطلقة .

في هذه الدارة المثلالية ، يكون تيار الدارة القصيرة I_{SC} لهذه الخلية الشمسية يساوي التيار المولد ضوئياً (I₁) ، أما كمون الدارة المفتوحة U_{OC} فيعطي بالعلاقة :

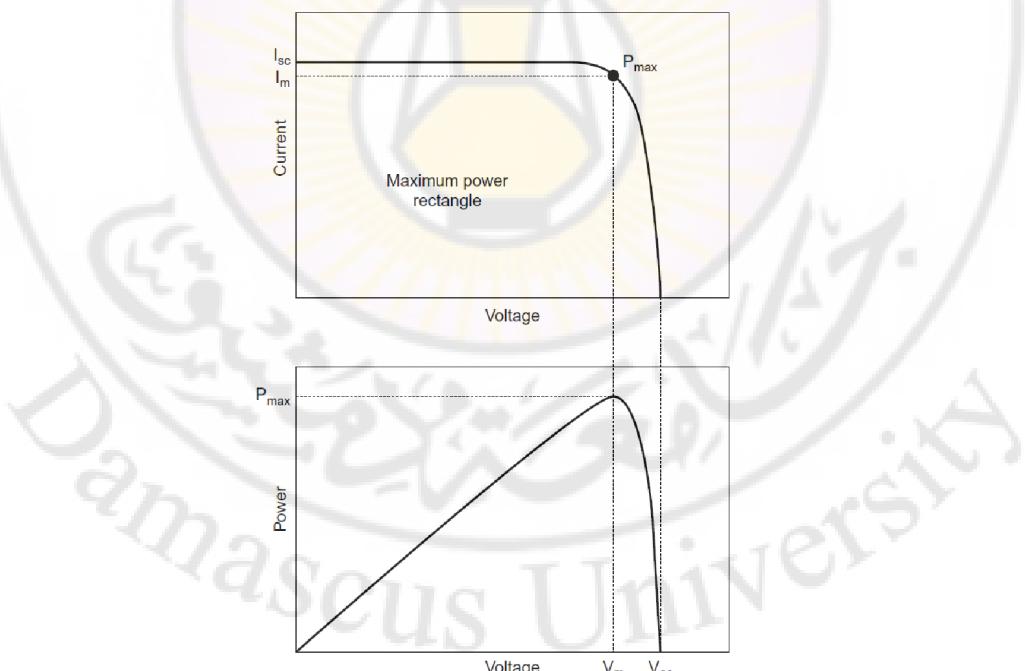
$$U_{OC} = \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{I_1}{I_0} \right) \quad (2)$$



الشكل (2) : الدارة المكافئة للخلية الشمسية المثلالية .

تحدد الاستطاعة العظمى P_{max} التي تنتجها الخلية الشمسية من أجل شدة إضاءة معينة من منحني $(U - I)$ للخلية الشكل (3) ، ومنه تتحدد كفاءة الخلية الشمسية بمعامل الماء FF والذي يعرف على الشكل التالي :

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{SC} U_{OC}} = \frac{I_{max} U_{max}}{I_{SC} U_{OC}} \quad (3)$$



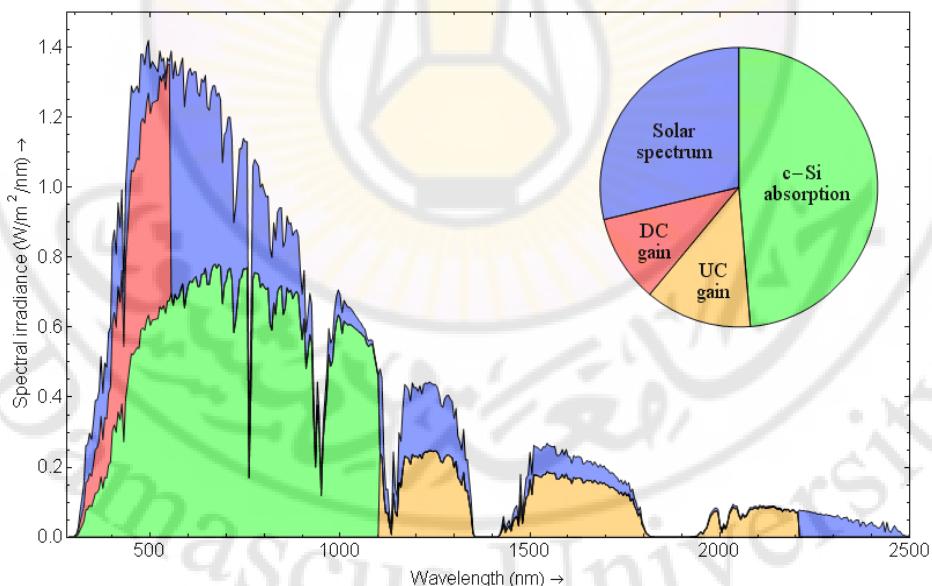
الشكل (3) : المنحني المميز للخلية الشمسية والاستطاعة العظمى التي تنتجها .

- مردود الخلية الكهروضوئية :

وهي نسبة القدرة الضوئية الواردة إلى القدرة الكهربائية التي تولدها ، وتعود محدودية كفاءة الخلايا الشمسية إلى عدة أسباب منها :

- 1 - الانعكاسات عن الشبكة المعدنية أو سطح الناقل أو الطبقة الخلفية .
- 2 - المفاعيل термодинамическая ، بسبب إعاقة حركة الشحنات حراريًا .
- 3 - عملية إعادة الاتصال بين الإلكترونات والثقوب .
- 4 - جودة الناقلة الكهربائية العائدة إلى نصف الناقل المصنوعة منه ، والطبقة المعدنية .

كما تتعلق كفاءة الخلية الشمسية بطيف الإشعاع الوارد إليها وطيف الامتصاص للمادة المصنوعة منها ، ويبيّن الشكل (4) طيف الإشعاع الشمسي وطيف امتصاص السيليكون :



الشكل (4) : طيف الإشعاع الشمسي وطيف امتصاص السيليكون

لعل أبسط القوانين التي يحسب منها عادة مردود الخلية الشمسية هي العلاقة التالية :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{\Phi A} \quad (4)$$

حيث P_{\max} : الاستطاعة العظمى للخلية الشمسية

Φ : كثافة التدفق الإشعاعي ، وهي الاستطاعة الشمسية الواردة على واحدة

السطح وتقدر بـ (W/m^2)

A : مساحة سطح الخلية الشمسية .

يشكل السيلكون بأنواعه الثلاثة (المتببور ومتعدد البلورات واللابلوري) المادة الأساسية لأكثر من 90% من الخلايا الشمسية في العالم وذلك يعود إلى :

1 - طيف الامتصاص الواسع الذي يشمل جزءاً كبيراً من طيف الإشعاع الشمسي.

2 - فاصل الطاقة المنخفض ، حيث يقدر بنحو (1.12 eV) .

3 - عمق الاختراق الكبير نسبياً .

كما أن السيلكون هو ثاني أكثر العناصر وفرة في القشرة الأرضية ، وهو ليس ساماً على عكس العناصر الأخرى مثل الكادميوم والزرنيخ ، بالإضافة إلى أن استخدامه في صناعة الخلايا الشمسية قديم ، مما جعله عالي الوثوقية ومدروساً بشكل جيد .

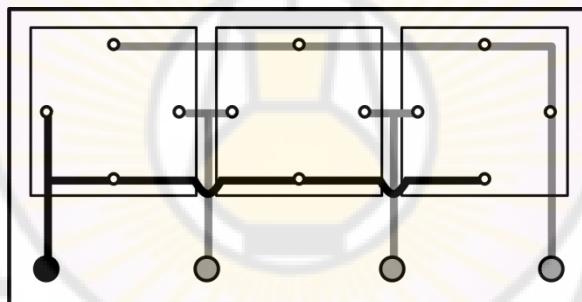
يقع مردود الخلايا الشمسية المصنوعة من السيلكون البلوري ومتعدد البلورات عادة بين $(20\% - 10\%)$ ، وينخفض المردود بارتفاع درجة الحرارة .

في هذه التجربة سندرس الخصائص الأساسية للخلية الشمسية ، حيث سنقوم بداية بالتحقق من أن الخلية مصنوعة من وصلة $(p-n)$ ، وذلك بتطبيق كمون بين طرفيها بعد تغطيتها وتسجيل منحنيات التيار المار فيها بدلالة الكمون $(U-I)$ في حالة التغذية الأمامية الخلية الشمسية ومقارنتها بمنحنيات الثنائي ، ثم سنقوم في الخطوة التالية بدراسة الاستطاعة العظمى التي تنتجهما الخلية وحساب مردودها من أجل شدات ضوئية مختلفة ، ثم سندرس أثر درجة حرارة الخلية الشمسية على استطاعتها ، وأخيراً سنقوم بدراسة أثر الوصل العكسي والأمامي في حالتى الإظام والإضاءة على مجموعة ثلاثة خلايا شمسية .

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- اللوحة الأساسية . Lexsolar
- خلية شمسية من السيليكون متعدد التبلور مساحتها $36.0 \pm 0.2 \text{ cm}^2$.
- 3 خلايا شمسية من السيليكون متعدد التبلور مساحة كل منها $18.0 \pm 0.2 \text{ cm}^2$.
- مقاومة متغيرة Ω ثابتة 33 .
- ميزان حرارة ${}^{\circ}\text{C}$ 0 - 100 .
- منبع تيار مستمر V 12 - 9 - 6 - 3 .
- مقياس فرق كمون مستمر .
- علبة مصايبخ A 12 V , 0.33 A .
- غطاء للخلية الشمسية .
- مقياس تيار مستمر .



الشكل (5) : شكل اللوحة الأساسية Lexsolar

☆ - الإعداد التجريبي:

لكل تجربة توصيلها الخاص بها ، ومن الضروري جدا الالتزام بالقيم المعلنة .

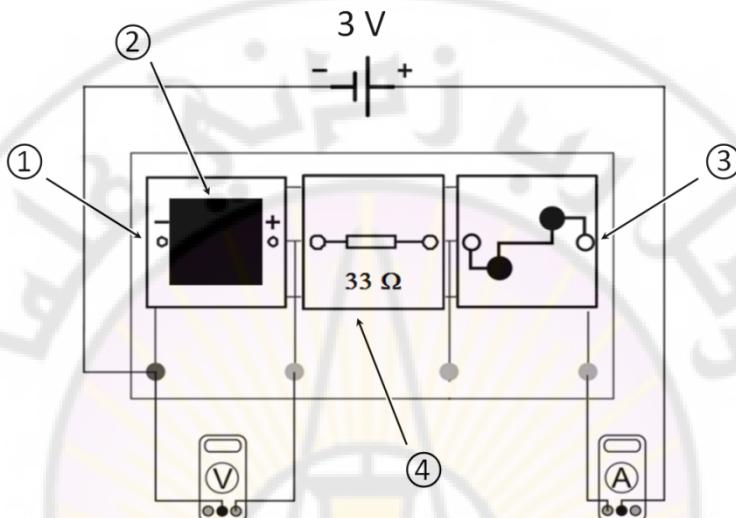
☆ - ملاحظات مهمة :

- 1 - تعامل مع الأدوات بعناية وخاصة ميزان الحرارة .

☆ - الإجراء التجريبي :

أولاً : دراسة سلوك الخلية الشمسية في حالة الظلام كثاني :

1 - ركب الدارة كما هو مبين بالشكل (6) مع الانتباه إلى تغطية الخلية .



الشكل (6) : توصيل التجربة الأولى .

1: الخلية الشمسية ، 2: غطاء ، 3: المقاومة المتغيرة ، 4: مقاومة ثابتة 33Ω .

2 - ضع المقاومة المتغيرة على أكبر قيمة لها ، ثم طبق من المنبع فرقا في الكمون قيمته (3 V) ، واحذر تجاوز هذه القيمة .

3 - مرر تيارا في الخلية قيمته (5 mA) من خلال تدوير مفتاح المقاومة المتغيرة وسجل فرق الكمون بين طرفيها .

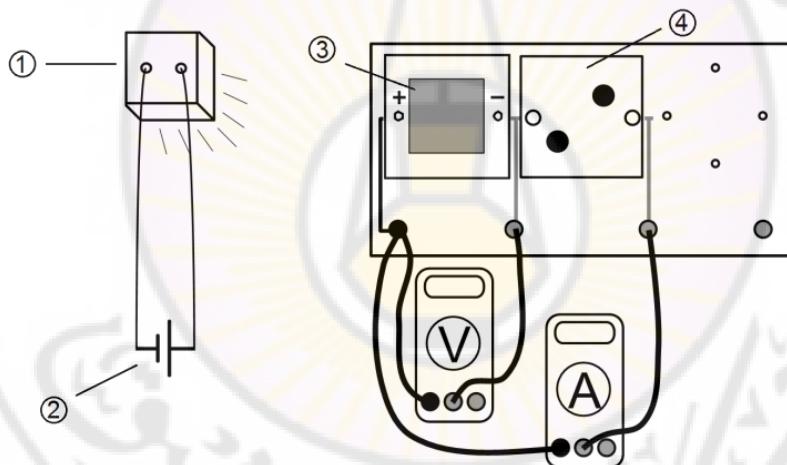
4 - قم بزيادة التيار تدريجيا حتى (40 mA) وبخطوة (5 mA) ، وسجل في كل مرة قيمة الكمون ، ورتّب نتائجك في جدول كالتالي :

U (mV)								
I (mA)	5	10	15	20	25	30	35	40

5 - ارسم المنحني المميز I بدلالة U للخلية ، وقارنه بالمنحني المميز للثاني .

ثانياً: دراسة المنحنيات المميزة (U - I) للخلية الشمسية عند شدات إضاءة مختلفة ، وحساب المردود ومعامل الماء لها :

- 1 - ضع علبة المصايبخ (1) فوق الخلية الشمسية ، وشغل منبع كمون المصايبخ واضبطه على القيمة (6 V) .
- 2 - صل الخلية الشمسية على التفرع مع مقياس الكمون فقط ، وسجل قيمة فرق كمون الدارة المفتوحة U_{oc} .
- 3 - صل الخلية الشمسية على التسلسل مع مقياس التيار فقط ، وسجل قيمة تيار الدارة القصيرة I_{sc} .
- 4 - ركب الدارة كما هو مبين بالشكل التالي :



الشكل (7) : توصيل التجربة الثانية . 1: علبة المصايبخ ، 2: منبع كمون المصايبخ 3: الخلية الشمسية ، 4: المقاومة المتغيرة والتي تمثل مقاومة الحمولة .

- 5 - ضع قيمة فرق كمون المطبق على المقاومة على القيمة (150 mV) وسجل قيمة التيار المقابل .
- 6 - قم بزيادة الكمون تدريجياً حتى (475 mV) وبخطوة (25 mV) ، وذلك من خلال تدوير مفتاح المقاومة المتغيرة ، وسجل في كل مرة قيمة التيار المار .

7 - أطفئ المنبع ثم قم بفك أحد المصايبح الأربعه من علبة المصايبح ، وضعه جانبا في مكان آمن في العلبة المخصصة للتجربة ، ثم أعد علبة المصايبح فوق الخلية وشغل المنبع .

8 - أعد قياس U_{oc} و I_{sc} وكرر سلسلة القياسات من أجل ثلاثة مصايبح ، ثم من أجل مصباحين ، فمصاحف واحد ، ورتبت نتائجك في جدول كالتالي :

4 Lamps $\Phi = 140 \pm 2 \text{ W/m}^2$			3 Lamps $\Phi = 110 \pm 2 \text{ W/m}^2$			2 Lamps $\Phi = 75 \pm 1 \text{ W/m}^2$			1 Lamp $\Phi = 40 \pm 1 \text{ W/m}^2$		
$U_{oc} =$			$U_{oc} =$			$U_{oc} =$			$U_{oc} =$		
$I_{sc} =$			$I_{sc} =$			$I_{sc} =$			$I_{sc} =$		
I_L (mA)	U_L (V)	P_L (mW)	I_L (mA)	U_L (V)	P_L (mW)	I_L (mA)	U_L (V)	P_L (mW)	I_L (mA)	U_L (V)	P_L (mW)
$P_{max} =$			$P_{max} =$			$P_{max} =$			$P_{max} =$		
$FF =$			$FF =$			$FF =$			$FF =$		
$\eta =$			$\eta =$			$\eta =$			$\eta =$		
$R_S =$			$R_S =$			$R_S =$			$R_S =$		

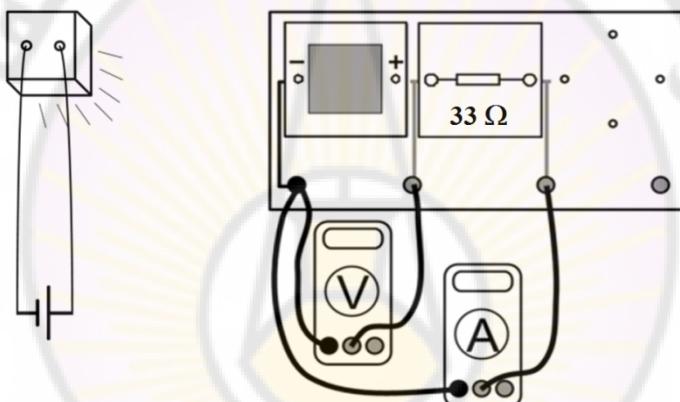
9 - ارسم على نفس الورقة الملتمترية تغيرات (I_L) بدلالة (U_L) من أجل شدات الإضاءة المختلفة .

10 - ارسم على ورقة مليمترية أخرى تغيرات (P_L) بدلالة (U_L) من أجل شدات الإضاءة المختلفة ، وحدد من الرسم قيمة (P_{max}) من أجل كل شدة ، ثم حدد قيمة المقاومة الداخلية للخلية R_S من أجل كل شدة ، وقدر الارتباط فيما .

11 - استند مما سبق في تحديد معامل الماء (FF) من العلاقة (3) ومردود الخلية الشمسية (٤) من العلاقة (4) من أجل كل شدة ، وقدر الارتباط فيما .

ثالثاً: دراسة استطاعة الخلية الشمسية باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة :

1 - ركب الدارة كما هو مبين بالشكل التالي :



الشكل (8) : توصيل التجربة الثالثة .

2 - ضع الميزان في الفجوة العلوية المخصصة في علبة المصايبح بحيث يكون على تماس مباشر مع الخلية الشمسية .

3 - طبق على المصايبح فرقاً في الكمون قيمته (12 V) ، وراقب ميزان الحرارة .

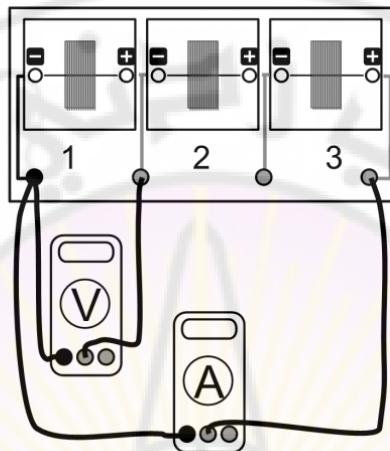
4 - سجل قيمة فرق الكمون والتيار المار في الحمولة R عند درجة قريبة من درجة حرارة الغرفة (25 أو 30) .

5 - مع ارتفاع درجة الحرارة سجل قيم الكمون والتيار كل خمس درجات حتى الدرجة (55°C) واحسب في كل مرة الاستطاعة الناتجة ورتب نتائجك في جدول .

6 - ارسم على ورقة مليمترية تحولات استطاعة الخلية بدلالة درجة حرارتها .

رابعاً: دراسة سلوك الخلية الشمسية في الإظلام و الإضاءة في حالتي الوصل الأمامي والعكسى :

1 - ركب الدارة كما هو مبين بالشكل التالي :



الشكل (9) : توصيل التجربة الرابعة .

2 - سجل قيمة فرق الكمون و التيار المار في الخلية (1) في حالة الإضاءة ، ثم في حالة الإظلام بعد أن تقوم بتغطيتها .

3 - قم بعكس قطبي الخلية (1) بحيث تكون في الوصل العكسي وأعد الخطوتين السابقتين .

4 - احسب في كل حالة من الحالات الأربع قيمة مقاومة الخلية الشمسية ، ثم رتب نتائجك في جدول كالتالي :

	without cover	with cover	
$V(V)$			
$I (mA)$			
$R=V/I$ (Ω)			

4- تقييم العمل التجاري:

- 1- هل تختلف الاستطاعة الكلية لمجموعة خلايا شمسية إذا وصلت على التسلسل أو على التفرع؟ ناقش حالة بسيطة وهي حالة ثلاثة خلايا شمسية متشابهة.
- 2- ما الفرق بين الخلية الشمسية وكل من المقاومة الضوئية والحجيرة الكهروضوئية؟

5- الكلمات المرجعية :

- Curves	- منحنيات
- Efficiency	- مردود - كفاءة
- Fill Factor	- معامل الملء
- Forward Connection	- وصل أمامي
- Irradiance	- كثافة التدفق الإشعاعي
- Load	- حمولة
- Maximum Power	- استطاعة عظمى
- Open circuit	- دارة مفتوحة
- Parallel	- تفرع - توازي
- Photo Energy	- طاقة ضوئية
- Reverse Connection	- وصل عكسي
- Series	- تسلسل
- Short circuit	- دارة قصيرة
- Solar Cell	- خلية شمسية

6- المراجع :

- 1- المرجع 1 - الفصل الثامن .
- 2- المرجع 2 - الفصلان الثامن والخامس عشر .
- 3- المرجع 7 .

التجربة 12 :

المنحنيات المميزة لمقاومة ضوئية من مادة CdS

1- الغاية من التجربة :

- دراسة التيار الكهروضوئي I_{ph}^* باعتباره تابعاً لفرق الكمون U المطبق على مقاومة ضوئية عند كثافة تدفق إشعاعي Φ ثابت وحساب مقاومتها الكهربائية .
- دراسة التيار الكهروضوئي باعتباره تابعاً لكتافة التدفق الإشعاعي عند فرق كمون مطبق ثابت .

2- المبدأ النظري :

تدعى الزيادة في الناقلة الكهربائية للجسم الصلب (وبالتالي النقصان في مقاومته) نتيجة امتصاصه للضوء بظاهرة الناقلة الكهروضوئية Photo-conductivity ، حيث تمتص الإلكترونات طاقة الفوتونات الواردة إليها عندما تكون طاقتها مناسبة للانتقال ، فتصبح مثارة ، وتنقل إلى عصابة النقل تاركة خلفها ثقباً في عصابة التكافؤ تسهم هي الأخرى في عملية النقل ، محدثة بذلك ما يدعى بالمفعول الكهروضوئي الداخلي Internal Photo-electric (IPE) الذي يختلف عن المفعول الكهروضوئي الخارجي (العادي) . يسبب ذلك زيادة عدد حاملات الشحنة وبالتالي تزداد الناقلة بالمقدار :

$$\Delta\sigma = \Delta p e \mu_p + \Delta n e \mu_n \quad (1)$$

حيث:

$\Delta\sigma$: تغير الناقلة الكهربائية

Δp : التغير في تركيز الثقوب

μ_p : حركية الثقوب

* : التيار الإلكتروني الناتج عن ظاهرة المفعول الكهروضوئي الداخلي .

إذا طبقنا فرقاً في الكمون U على عينة صلبة ، فإن التيار الكهربائي الناتج عن الإثارة الضوئية يساوي:

$$I_{ph} = \frac{A}{d} \Delta\sigma U \quad (2)$$

حيث :

A : المقطع العرضي لمسار التيار ، d : المسافة بين مربطي المقاومة .

تعتمد المقاومة الضوئية لأنصاف النواقل على المبدأ السابق ، وهي بذلك تمتلك مجالاً واسعاً من التطبيقات في مجالات عدة وخاصة في المجال الضوئي كالمقاييس الضوئية والقواطع الضوئية ... ونُعدّ مركبات عنصر الكادميوم وبالأخص كبريت الكادميوم CdS الأكثر شيوعاً في الاستخدام لهذا الغرض بين أنصاف النواقل .

تعرض مقاومة ضوئية من مادة CdS ، في تجربتنا ، إلى الضوء من المصباح . تغير كثافة التدفق الإشعاعي Φ الوارد إلى المقاومة الضوئية بوساطة مقطبين يتلو أحدهما الآخر (عادة ما يدعى الأول بالمقطب و الثاني بال محل) . فإذا دُورَ مستوى الاستقطاب لهذين المقطبين باتجاهين متراكبين وكانت الزاوية a بينهما فعندما تكون كثافة التدفق الإشعاعي الوارد إلى المقاومة الضوئية :

$$\Phi = \Phi_0 D \cos^2 a \quad (3)$$

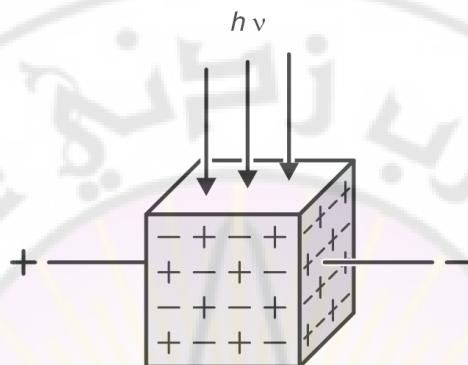
حيث :

Φ_0 : كثافة التدفق الإشعاعي الأساسي بدون وجود المقطبين .

D : معامل النفاذية (نفوذية الضوء عند توازي مستوى الاستقطاب للمقطبين) .

سندرس في تجربتنا التيار الكهربائي I_{ph} باعتباره تابعاً لفرق الكمون المطبق على المقاومة الضوئية مع تثبيت كثافة التدفق الإشعاعي Φ (المنحني المميز $U - I_{ph}$) كما سندرس التيار الكهربائي I_{ph} باعتباره تابعاً لكثافة التدفق الإشعاعي Φ المسلط على المقاومة الضوئية مع تثبيت فرق الكمون المطبق (المنحني المميز $\Phi - I_{ph}$) .

يتم توليد الأزواج (إلكترون - ثقب) في بلورة نصف الناقل بوساطة منبع ضوئي خارجي . تغادر الإلكترونات البلورة عند القطب الموجب (+) وتدخل عند القطب السالب (-) كما يبين الشكل (1) .



الشكل (1) : نموذج لمقاومة ضوئية مثالية

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

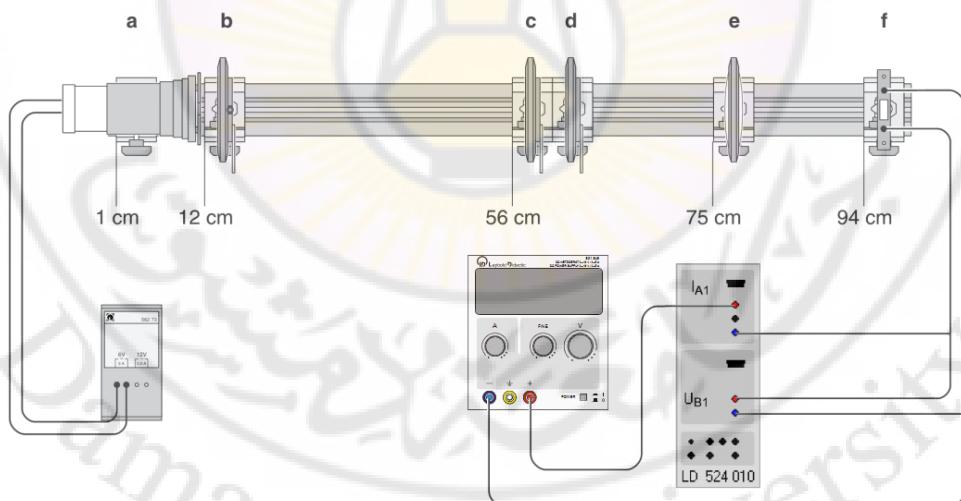
★ - الأجهزة و الأدوات التجريبية :

- مقاومة ضوئية (LDR) (Light Dependent Resistor) .
- منبع تيار متناوب (6V) للمصباح .
- مصباح 6V / 30w .
- مكثف كروي للضوء (عدسة كروية) .
- عدسة بعدها المحرقي mm 150 + .
- حاسب مجهز ببرنامج Cassy Lab .
- جسر ضوئي عياري طوله 1m .
- حواجز لثبت العناصر .
- شق متغير العرض .
- زوج من المقطبات .

★ - الإعداد التجريبي :

يوضح الشكل (2) الإعداد التجريبي للتجربة ، وقد أعطيت مواضع حوامل القطع الضوئية على الجسر الضوئي بالسنتيمتر .

- 1 - تحقق من أن المصباح (مع مكثف الضوء الكروي) على طرف الجسر الضوئي ، ومضبوط على الارتفاع المناسب ، يليهما الشق المتغير ، وكل من المقطب والمحلل ثم العدسة المحدبة بحيث تكون الجهة المحدبة للعدسة باتجاه المصباح .
- 2 - تأكد من أن المقاومة الضوئية مثبتة على الطرف المقابل من الجسر الضوئي على ارتفاع مناسب ، بحيث يكون محرك أشعة الضوء على المقاومة الضوئية .
- 3 - صل المصباح بمنبع تيار المصباح ، ثم اضبط فتحة الشق المتغير 1.2 mm .
- 4 - تأكد من وصل منبع التغذية DC والمقاومة الضوئية والمدخل (A) في جهاز الكاسي على التسلسل لقياس التيار ، ومن وصل المدخل (B) على التوازي بين طرفي المقاومة الضوئية لقياس فرق الكمون .



الشكل (2) : الإعداد التجريبي لتسجيل المنحنيات المميزة ($U - I$) للمقاومة الضوئية
المصباح ، b: الشق متغير العرض ، c , d : المقطب و المحلل .
e: عدسة مقربة $f = +150 \text{ mm}$ ، f: الحامل مع المقاومة الضوئية .

★ - ملاحظات مهمة :

1. تترتب المقاومة الضوئية عند مرور تيارات كهربائية كبيرة فيها ، لذلك احذر من تجاوز القيمة $W = P = 0.45$ للاستطاعة العظمى المبددة ، أي مثلاً عند قيمة الكمون $V = 15$ فالتيار الأقصى هو $I = 30 \text{ mA}$.
2. تتحسس المقاومة الضوئية للضوء الخافت ، لذلك ينبغي تعليم غرفة التجربة قدر الإمكان ، والتأكد من ثبات شروط الإضاءة ، غير أنه من الممكن الحصول على نتائج جيدة بالاكتفاء بتعليم المنطقة بين العدسة و المقاومة الضوئية .
3. عندما تتغير الإضاءة تكون استجابة المقاومة الضوئية بطيئة فهي تأخذ بعض الوقت (بضع ثوان) لتبلغ القيمة الجديدة للمقاومة ، لذلك انتظر فترة كافية قبل أخذ القياسات حتى تصل إلى حالة مستقرة .

★ - الإجراء التجريبي :

أولاً: قياس التيار الكهربائي I_{ph} باعتباره تابعاً للكمون U عند قيمة ثابتة لكثافة التدفق الإشعاعي Φ :

- 1 - اضبط الزاوية a بين مستوى الاستقطاب للمقطب والمحلل على القيمة 0° وتتأكد من ورود الأشعة الضوئية إلى المقاومة الضوئية بشكل صحيح .
- 2 - شغل برنامج الكاسي من أيقونته على سطح المكتب ، واضبط الإعدادات التالية :

 - 3 - انقر بالزر الأيسر الماوس على (A) Input واختر :

Quantity: current I_{A1} , Meas. Range: -0.1 .. +0.1 A

 - 4 - انقر بالزر الأيسر الماوس على (B) INPUT واختر :

Quantity: voltage U_{B1} , Meas. Range: -30 V .. +30 V

 - 5 - انتقل إلى علامة التبويب Display واختر على المحور X تمثيل الكمون U_{B1} ثم اختر على المحور Y تمثيل التيار I_{A1} .
 - 6 - انتقل إلى النافذة الفرعية Measuring Parameters واختر تسجيل القيم يدوياً

وذلك بتفعيل الخيار Manual Recording ، ثم عد إلى النافذة الأساسية .

7 - طبق على المقاومة فرقاً في الكمون قيمته $15V = U$ وسجل قيمة التيار المقابلة بالضغط على زر تسجيل القيم () أو بالضغط على F9 .

8 - اخفض قيمة فرق الكمون تدريجياً بخطوة 2V حتى الصفر ، وسجل في كل خطوة قيمة التيار المقابلة ، واحفظ نتائجك في جدول .

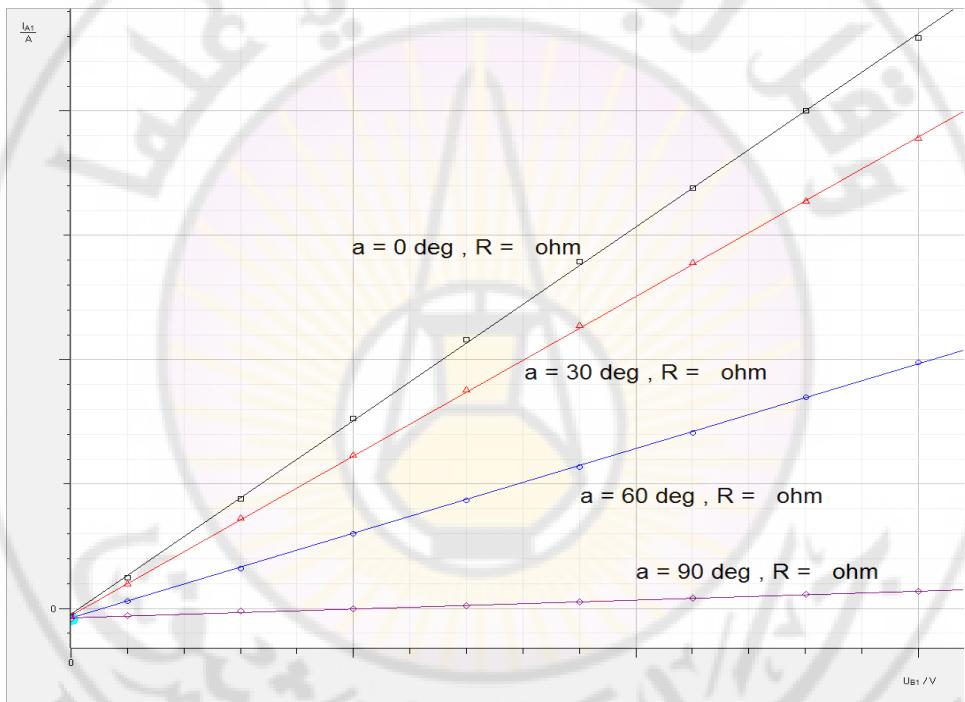
$\frac{U}{V}$	$\frac{I_{ph}}{mA} (0^\circ)$	$\frac{I_{ph}}{mA} (30^\circ)$	$\frac{I_{ph}}{mA} (60^\circ)$	$\frac{I_{ph}}{mA} (90^\circ)$
0				
1				
3				
5				
7				
9				
11				
13				
15				
R =				

9 - جد أفضل خط مستقيم يمر من نقاطك التجريبية بالنقر بالزر الأيمن للماوس على الورقة البيانية واختيار (Fit Function: Free Fit , $A*x+B$) ، ثم تحديد جميع النقاط التجريبية ، واحسب المقاومة (R) من علاقة $A*x+B$ ، وقدر الارتباط فيها .

10 - أعد التجربة مرة ثانية من أجل الحالة نفسها و نفس الشروط ، وذلك بالضغط على الزر () والذهب للنافذة (Measuring Parameters) وتفعيل الخيار (Append new meas. Series) ، ثم كرر سلسلة القياسات واختبر مدى التكرارية ، وجودة المواءمة لكل خط .

11 - ابدأ سلسلة بيانات جديدة ، من أجل القيم التالية للزاوية بين مستوى الاستقطاب للمقطب و المحلل ($a = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$) ، وقم بإجراء سلسلة القياسات مرتين من أجل كل زاوية .

12 - سجل على كل منحنى الزاوية التي تم عندها القياس ، وقيمة المقاومة الكهربائية وعامل جودة المواءمة r ، وذلك من الخيار (Set Marker : Text) (الشكل 3) (Copy Diagram : Bitmap) واحفظ الشكل البياني في ملف صوري من الخيار (



الشكل (3) : نموذج للمنحنيات ($U - I_{ph}$) من أجل قيم مختلفة لشدة الضوء الوارد.

ثانياً: قياس التيار الكهربائي I_{ph} باعتباره تابعاً لكتافة التدفق الإشعاعي Φ عند كمون ثابت U :

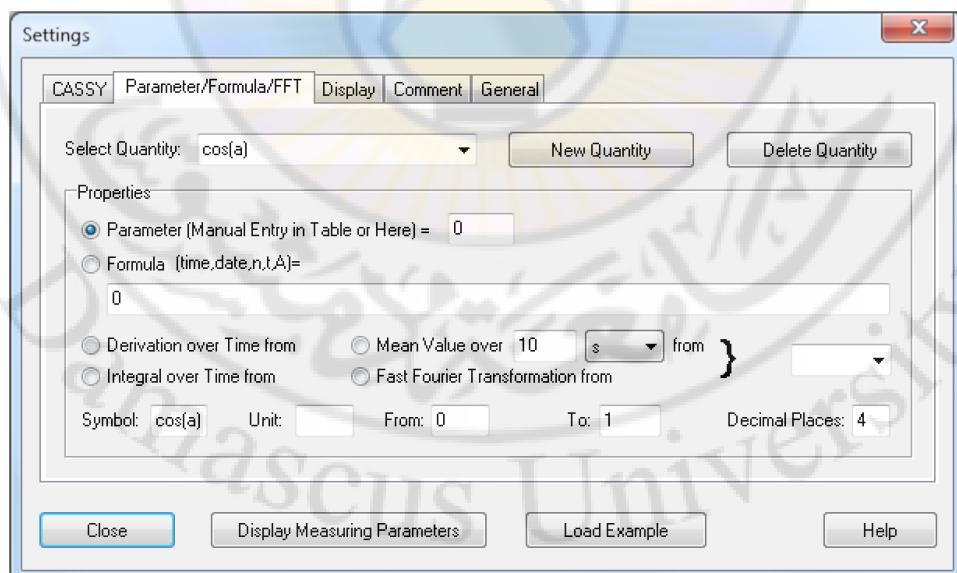
- 1 - ابدأ سلسلة قياس جديدة بالضغط على الرمز () أو بالضغط على F4
- 2 - ثبت قيمة فرق الكمون عند القيمة $U = 15V$.

3 - زد الزاوية a بين مستوى الاستقطاب للمقطب والمحلل تدريجياً من الصفر حتى 90° وبخطوة عشر درجات ، وقس التيار I_{ph} وسجله عند كل خطوة .

4 - ابدأ سلسلة بيانات جديدة بالذهب للنافذة الفرعية (Measuring Parameters) وتفعيل الخيار (Append new meas. Series) ، ثم كرر سلسلة القياسات من أجل القيم التالية لفرق الكمون المطبق : ($U = 10, 5 \text{ V}$) .

5 - أدخل قيم $\cos^2(a)$ بدلاً من قيم فرق الكمون وذلك باتباع الخطوات التالية :

- a - اضغط على الرمز () واختر علامة التبويب Parameter/FFT
- b - اضغط على (New Quantity) ، ثم أدخل المعطيات كما في الشكل (4) .
- c - انتقل إلى علامة التبويب Display واختر على المحور X تمثيل (a) ثم اختر على المحور Y تمثيل التيار I .
- d - عد إلى النافذة الأساسية وأدخل قيم (a) في الجدول بشكل يدوي لكل من السلاسل الثلاث ، وذلك بالنقر المزدوج بالزر الأيسر للماوس على الجدول ، بعد ذلك انقر بالزر الأيمن للماوس على المحور X ، وفعّل الخيار (x^2) .



. الشكل (4) : القيم من أجل إدخال قيم (a) . \cos

6 - سجل على كل منحنى قيمة فرق الكمون التي تم عندها القياس ، وذلك من الخيار (Set Marker : Text) ، ثم احفظ الشكل البياني الذي حصلت عليه في ملف صوري من الخيار (Copy Diagram : Bitmap) .

a	$\cos(a)$	$\cos^2(a)$	$\frac{I_{ph}}{mA}$ (5V)	$\frac{I_{ph}}{mA}$ (10V)	$\frac{I_{ph}}{mA}$ (15V)
0	1				
10	0.9848				
20	0.9397				
30	0.866				
40	0.766				
50	0.6428				
60	0.5				
70	0.342				
80	0.1737				
90	0				

4- تقييم العمل التجاريبي :

- في الجزء الأول : ما شكل تبعية التيار للكمون ؟ وما تفسير مرور تيار من أجل الزاوية $a = 90^\circ$ بين مستوى الاستقطاب للمقطبين مع العلم أنه من أجل هذه الزاوية لا تمرر مرشحات الاستقطاب الأشعة الضوئية نهائياً ؟
- في الجزء الثاني : ما شكل تبعية التيار الكهربائي I_{ph} للشدة الضوئية Φ ؟
أجر مواءمة خطية وتربيعية وعين التبعية الأفضل من خلال قيمة r ؟
- هل هناك حد لتزايد التيار مع تزايد كثافة التدفق الإشعاعي أم لا ؟ ناقش ذلك .

5 - الكلمات المرجعية :

- Charge Carriers	حاملات الشحنة
- Conduction Band	عصابة النقل
- Electrical Conductivity	الناقلية الكهربائية
- Holes	الثقوب
- Irradiance	كثافة التدفق الإشعاعي
- Mobility	الحركية
- Photo-conductivity	الناقلية الكهروضوئية
- Photo-current	التيار الكهروضوئي
- Photo-electric Effect	الأثر الكهروضوئي
- Photo-excitation	إثارة ضوئية
- Photo-resistor	مقاومة ضوئية
- Polarizer	المقطب
- Transparency	الشفافية
- Valence Band	عصابة التكافؤ

6 - المراجع :

- 1- المرجع 1 - الفصل الثامن .
- 2- المرجع 2 - الفصلان الثامن والخامس عشر .
- 3- النشرة التجريبية (P7.2.3.1) من شركة ليبولد " Leybold Didactic "

التجربة 13 :

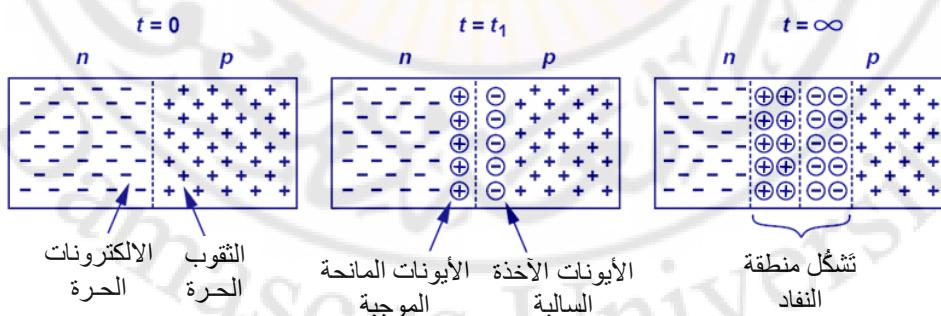
وسعية منطقة النفاد في الوصلة p - n

1- الغاية من التجربة :

- 1- دراسة تغير وسعية منطقة النفاد للوصلة (p-n) بدلالة فرق الكمون العكسي المطبق عليها .
- 2- تعين قيمة التركيز المختزل للشوائب N^* في هذه الوصلة .
- 3- تعين فرق كمون التماس U_0 بين طرفي الوصلة .

2- المبدأ النظري :

يطلق اسم الوصلة (p - n) على عينة نصف ناقلة من بلورة وحيدة جعلت فيها منطقتان متصلتان ، إداهما من النوع (p) والأخرى من النوع (n) ، وهي عبارة عن قطعة بلورية واحدة طعم جانباها بشكليين مختلفين ، فهي ليست مولفة من قطعتين مختلفتين على اتصال فيما بينهما كما قد توحى التسمية بذلك ، إذ أنه من المستحيل الحصول على استمرار في البنية البلورية ابتداء من قطعتين منفصلتين .

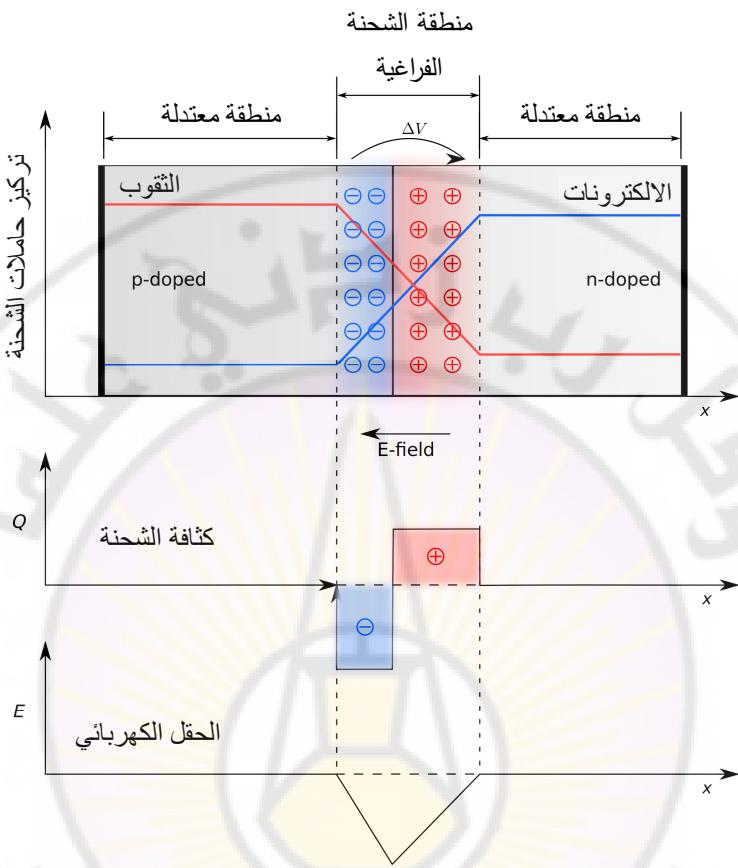


الشكل (1) : بدء تشكيل منطقة النفاد .

في اللحظات الأولى لتشكل الوصلة ، تبدأ الإلكترونات الحرة بالانتشار عبر الوصلة من المنطقة (n) إلى المنطقة (p) ، وبالمثل تنتشر الثقوب من (p) إلى (n) ، وذلك بسبب وجود تدرج كبير في التركيز عند الوصلة بالنسبة لكل من الإلكترونات و الثقوب ، شكل (1) .

يؤدي هذا التدرج إلى تياري انتشار في اتجاه تناقص التركيز إلا أن تياري الانتشار للإلكترونات و الثقوب لا يستمران بسبب أن جزء المنطقة (p) القريب من الوصلة سرعان ما يكتسب شحنة سالبة بسبب انتقال جزء من الإلكترونات المنطقة (n) إليه واتحادها مع الثقوب تاركة الأيونات الآخذة السالبة . وكذلك الأمر يمكن القول إن جزء المنطقة (n) القريب من الوصلة يكتسب شحنة موجبة ، ويكون الأثر النهائي هو تشكل طبقة مزدوجة مشحونة سلبا في الجانب (p) ، ومشحونة إيجابا في الجانب (n) ، سببها الشوائب المتأينة ، لذلك تدعى بمنطقة الشحنة الفراغية ، وبما أنها شبه خالية من حاملات الشحنة الحرة (الإلكترونات و الثقوب) ، فهي تدعى كذلك بمنطقة النفاد . ينشأ في هذه المنطقة حقل كهربائي قوي يمنع استمرار انتشار حاملات الشحنة الحرة ، ويحافظ على انتفاص النوعين عن بعضهما .

لدراسة مثل هذه الوصلة نعتمد التمثيل الأحادي بعد الذي تدرس فيه تغيرات تركيز الشوائب وحاملات الشحنة الكهربائية والحقل الكهربائي وغيرها ... باعتبارها توابع لمتحول واحد هو المسافة x التي تتغير وفقها التراكيز . فإذا اعتبرنا التقريب المسمى بالوصلة الفجائية أو الحادة abrupt junction ، حصلنا عندئذ على المخططات المبينة على الشكل (2) . يمثل المخطط العلوي تغير توزع الشحنات الموجبة والسلبية في المنطقتين n و p المجاورتين . إن وجود الأيونات المانحة الموجبة وعدد مساو لها من الإلكترونات الحرة في المنطقة n بعيدة عن منطقة الوصل يجعل المادة في المنطقة n معدلة كهربائياً ، ويمكن قول الشيء ذاته بالنسبة للمنطقة p .



الشكل (2) : تركيز حاملات الشحنة وكثافة الشحنة والحقل الكهربائي في الوصلة .

أما في منطقة الوصلة (المنطقة الحدودية بين n و p) فلا تكون المادة معندة كهربائياً بسبب هجرة إلكترونات المنطقة الحدودية من الجزء n إلى المنطقة الحدودية المجاورة p ، وهجرة الثقوب من المنطقة الحدودية p إلى المنطقة المجاورة n ، وتكون منطقة الوصلة إذن مشحونة إيجاباً في الجانب n (بسبب بقاء الأيونات الموجبة دون إلكترونات تعدلها) ومشحونة سلباً في الجانب p (بسبب بقاء الأيونات السالبة دون ثقوب تعدلها) ، وهذا ما يمثله المخطط في الشكل (2) .

تشكل إذن في المنطقة الحدوية بين الجانب n والجانب p منطقة مشحونة (بأيونات الذرات الشائبة) تدعى كما أسلفنا بمنطقة النفاد أو النضوب depletion region . وبسبب وجود طبقي الشحنات المتعاكستين بالإشارة تعمل هذه المنطقة عمل مكثفة ، ودراسة وسعيتها هو موضوع هذه التجربة .

سندرس في هذه التجربة كيفية الاستفادة من قياس وسعة المكثفة الناشئة عن وجود الشحنات المتعاكسة على جانبي الوصلة لتعيين تركيز الذرات الشائبة .

تعطى العلاقة بين الشحنة q والكمون الكهربائي U في آية نقطة x بمعادلة بواسون :

$$\frac{d^2U}{dx^2} = -\frac{q(x)}{\epsilon_0} \quad (1)$$

والتي يمكن كتابتها لدى تطبيقها على إحدى نقاط البلورة كما يلي :

$$\frac{d^2U}{dx^2} = -\frac{e}{\epsilon} (N_d - N_a + p - n) \quad (2)$$

حيث : ϵ : ثابتة العزل الكهربائي لنصف الناقل

N_d : لتركيز الذرات المانحة (التي يفترض أنها متأينة في درجة الحرارة المعتبرة)

N_a : لتركيز الذرات الآخذة (المتأينة كلها كذلك)

p : تركيز الثقوب الحرة ، n : تركيز الالكترونات الحرة .

إلا أنه يمكننا أن نفترض (بتقرير مقبول) أن ($p = n = 0$) في منطقة الشحنة الفراغية ، فإذا اعتبرنا تقرير الوصلة الفجائية الذي من أجله :

$$N_d \neq 0 , N_a = 0 : x > 0 \quad (3)$$

$$N_a \neq 0 , N_d = 0 : x < 0$$

أصبحت لدينا المعادلتان التفاضلitan التاليتان التي تصلح الأولى منها في المنطقة I

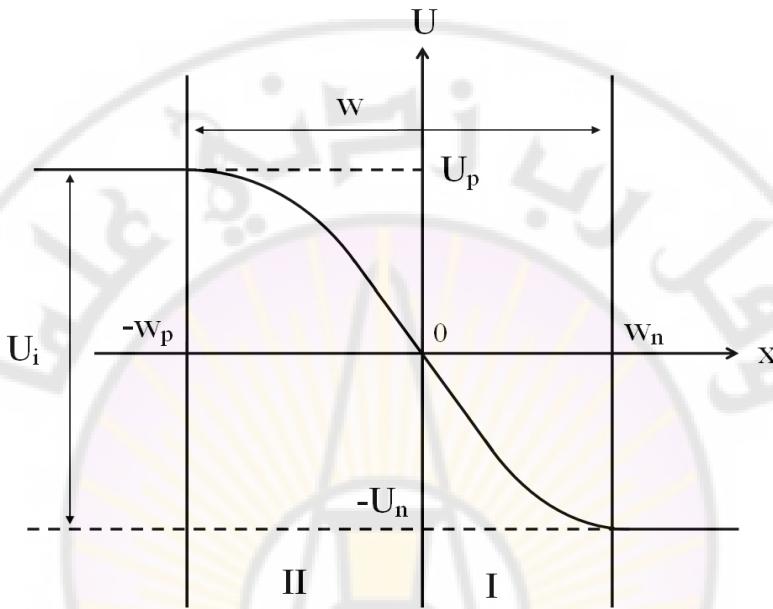
من الوصلة والثانية في المنطقة II منها الشكل (3) . في المنطقة I :

$$\frac{dU_I}{dx^2} = -\frac{e}{\epsilon} N_d \quad w_n \geq x \geq 0 \quad (4)$$

وفي المنطقة II :

$$\frac{dU_{II}}{dx^2} = + \frac{e}{\epsilon} N_a \quad 0 \geq x \geq -w_p \quad (5)$$

حيث : $x = w_n$) و $x = -w_p$) هما حدا منطقة الشحنة الفراغية .



الشكل (3) : تغير الكمون الكهربائي عبر الوصلة .

إذا اخترنا مبدأ قياس الكمون في النقطة $x = 0$ بحيث تكون $U_I(0) = U_{II}(0) = 0$ ، يمكننا عندها إجراء تكامل للمعادلتين للسابقين ، والتوصيل إلى أن عرض منطقة النفاد w يعطى بالعلاقة :

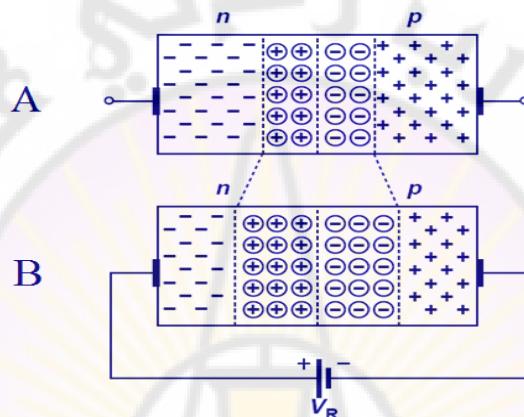
$$w = \sqrt{\frac{2 \epsilon U}{e N^*}} \quad (6)$$

حيث : $N^* = \frac{N_d N_a}{N_d + N_a}$: التركيز المختزل لحاملات الشحنة .

وإذا تذكرنا أن سعة مكثفة مستوية سطح لبوسيها (A) والمسافة بينهما (w) تعطى بالعلاقة ($C = \frac{\epsilon}{w} A$) ، يمكننا إيجاد العلاقة بين الكمون U وسعوية منطقة النفاد ، بسهولة :

$$C = \frac{\epsilon A}{\sqrt{\frac{2 \epsilon U}{e N^*}}} \quad (7)$$

أي أن C تتناسب مع مقلوب جذر U التربيعي . إذا طبق فرق كمون خارجي U_a بين طرفي البلورة فإنه يظهر بكماله تقريباً في منطقة النفاد ، أما هبوط الكمون في باقي أجزاء البلورة فيمكن إهماله لصغره .



الشكل (4) : أثر الوصل العكسي على عرض منطقة النفاد .

السبب في ذلك هو أن مقاومة منطقة النفاد عالية جداً بسبب خلوها عملياً من حاملات الشحنة الحرة. يمكن إذن اعتبار البلورة التي تحتوي على الوصلة $n-p$ وكأنها مقاومات موصولة على التسلسل إحداها كبيرة جداً (منطقة النفاد) ، ولذلك فإن هبوط الكمون سيكون بشكل أساسي عند هذه المقاومة الكبيرة ولذلك يمكننا أن نكتب:

$$U = U_i - U_a \quad (8)$$

حيث :

U : محصلة فرق الكمون بين طرفي الوصلة

U_i : فرق الكمون الداخلي أو الذائي (كمون التماس) قبل تطبيق الكمون الخارجي U_a : فرق الكمون الخارجي المطبق على الوصلة ، ويكون موجباً في حالة الوصل الأمامي (التغذية الأمامية) : وصل المرتبط الموجب بالمنطقة p) ، ويكون سالباً في حالة الوصل العكسي (التغذية العكسية) : وصل المرتبط الموجب بالمنطقة n) .

يصح هذا التقريب في حالة الوصل العكسي أكثر منه في الوصل الأمامي ، ويبيّن الشكل (4) أثر الوصل العكسي على منطقة النفاد . يمكن إذن تعميم النتائج السابقة على الحالة اللاتوازنية ، وذلك بالتعويض عن فرق الكمون U بـ $(U_a - U_i)$ في حالة الوصل الأمامي و $(| U_a + U_i |)$ في حالة الوصل العكسي . وهكذا يكون عرض منطقة النفاد في حال الوصل العكسي مثلاً (سنأخذ القيمة المطلقة لـ U_a) :

$$W = \sqrt{\frac{2 \varepsilon (U_i + U_a)}{e N^*}} \quad (9)$$

وتكون الوسعة :

$$C = \sqrt{\frac{e \varepsilon A^2 N^*}{2 (U_i + U_a)}} \quad (10)$$

ومنه :

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2 U_a}{e \varepsilon A^2 N^*} + \frac{2 U_i}{e \varepsilon A^2 N^*} \quad (11)$$

من الواضح أنه إذا كان أحد التركيزين (N_a , N_d) أقل كثيراً من الآخر ، فإن قيمة التركيز N^* تكون مساوية تقرباً التركيز الأقل ، فمثلاً إذا كان $N_a << N_d$ فإن :

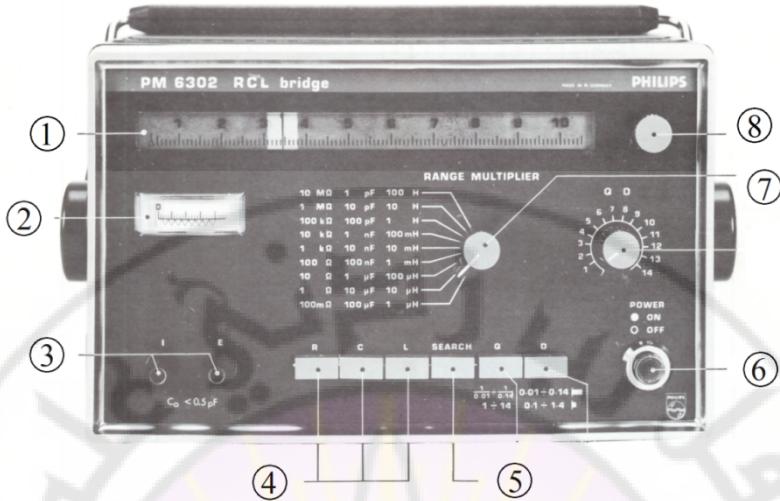
$$N^* = \frac{N_d}{1 + \frac{N_d}{N_a}} \approx N_d \left(1 + \frac{N_a}{N_d} \right) \approx N_d \quad (12)$$

وهذا ما نصادفه في حالة الوصلة (p-n) حيث التركيز $N_a << N_d$.

3 - أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- جسر قياس (RCL) نوع : Philips PM 6302 RCL Bridge
- منبع تيار مستمر متغير V 7.5 - 0 . - أسلاك توصيل .
- ثبائي من السيلكون .



الشكل (5) : جسر قياس الممانعات .

- 1: مسطرة القياس ، 2: مؤشر التوازن ، 3: مأخذ لوصل العنصر المقاس
- 4: اختيار نوع المقدار المقاس ، 5: زر البحث ، 6: زر التشغيل 7: ناخب مجال القياس ، 8: مفتاح التغيير للمركبة المقيسة ، 9: مفتاح التغيير للمركبة المتممة .

☆ - الإعداد التجريبي:

- 1 - قم بوصل طرفي المنبع بالماخذين خلف جهاز جسر قياس الممانعات .
- 2 - قم بوصل الثنائي المدروس بالماخذ (3) في جسر قياس الممانعات .

☆ - ملاحظات مهمة :

- 1 - بما أن المقياس المستخدم هو جسر قياس الممانعات التي تحتوي على مركبتين حقيقة وتخيلية ، فإن التوازن يتطلب تغيير في كلا المركبتين حتى تحصل على أقل انحراف للمؤشر ، أي تغيير كل من المفاتيح (8) و (9) * .

* : راجع تجربة " قياس الممانعات بالطريقة السمعية " - كتاب الفيزياء العملية 2 .

★ - الإجراء التجريبي :

- 1 - شغل الأجهزة وطبق على الثنائي فرقا في الكمون قيمته (2.5 V) .
- 2 - حدد مجال القياس وذلك بالضغط على زر البحث (5) وتغيير الناخب (7) إلى أن يقع مؤشر التوازن (2) على المنطقة المشار إليها بخط منكسر .
- 3 - دوّر المفتاح (8) وراقب مؤشر التوازن حتى يستقر عند الوضع الذي نحكم فيه على أنه أقل انحراف ممكن للمؤشر ، ثم جرب تغيير المفتاح (9) لإكمال موازنة الجسر حتى تحصل على أقل انحراف من كلا المفتاحين (8 و 9) .
- 4 - اقرأ القيمة على مسطرة القياس (1) ، فتكون قيمة الوسعة هي جداء تلك القيمة بمعامل ضرب المجال الذي يحدده الناخب (7) .
- 5 - قم بزيادة الكمون تدريجياً حتى (7 V) وبخطوة (0.5 V) وابحث في كل مرة عن وضع التوازن ، وسجل قيمة الوسعة ، ثم رتب نتائجك في جدول كالتالي :

U_a (V)	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
C (F)										
$\frac{1}{C}$ (F^{-1})										
$\frac{1}{C^2}$ (F^{-2})										

- 6 - ارسم منحني تغيرات (C) بدلالة (U) .
- 7 - ارسم تغيرات ($\frac{1}{C^2}$) بدلالة (U) ، واستنتج من المستقيم الناتج كمون التماس للوصلة (U_i) وقيمة التركيز الفعال لحاملات الشحنة (N^*) من العلاقة (11) ، وقدّر الارتياب فيما ، حيث ($\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$) ، وللسيلكون ($\epsilon_r = 11.7 \pm 0.1$) ، بينما تختلف مساحة سطح الوصلة (A) باختلاف الثنائي ، وقيمتها في الثنائي المدروس هي ($A = 1.00 \pm 0.05 \text{ mm}^2$) .

4 - تقييم العمل التجريبي :

- 1 - هل هناك علاقة بين سعة منطقة النفاد للوصلة (p-n) والمادة المصنوعة منها؟
- 2 - هل تزداد أم تنقص وسعة منطقة النفاد مع زيادة الكمون العكسي المطبق؟

5 - الكلمات المرجعية :

- Abrupt Junction	- الوصلة المفاجئة
- Boundary Region	- منطقة حدودية
- Capacitance	- وسعة
- Capacitor	- مكثفة
- Concentration	- تركيز
- Contact Potential	- كمون التماس
- Depletion Region	- منطقة النفاد
- Diffusion	- انتشار
- Dopants	- شوائب
- Gradient Junction	- الوصلة المتردجة
- Ions	- أيونات
- Junction	- وصلة
- Neutral	- معتدل
- Reduced Concentration	- التركيز المختزل

6 - المراجع :

- 1 - المرجع 1 - الفصل الثامن .
- 2 - المرجع 2 - الفصل الثامن .
- 3 - المرجع 5 .

التجربة 14 :

قياس عمر حاملات الشحنة في الوصلة $n - p$

1- الغاية من التجربة :

1- قياس العمر الفعال للحاملات الأقلية للشحنة (زمن اتحادها مع الحاملات الأكثرية) في نصف الناقل .

2- المبدأ النظري :

يحيي نصف الناقل من النوع n مثلاً في درجة الحرارة العادية وفي حالة التوازن ، نوعي حاملات الشحنة :

أولاً : الإلكترونات ، وهي الحاملات الأكثرية للشحنة ، ومنتشرها تأين الذرات المانحة من جهة ، والتولد المستمر للأزواج إلكترون - ثقب بسبب التهيج الحراري من عصابة التكافؤ إلى عصابة النقل .

ثانياً : الثقوب ، وهي الحاملات الأقلية للشحنة ، ومنتشرها تولد الأزواج الحراري . بوجود عملية إعادة الاتحاد التي يزول بنتيجة زوج إلكترون - ثقب ، يكون تركيز كل من نوعي حاملات الشحنة ثابتاً في درجة حرارة العينة .

نرمز للتركيزين التوازنين للإلكترونات والثقوب في نصف الناقل من النوع (n) بالرمزين (n_{n_0}) و (p_{n_0}) على الترتيب ، بينما في النوع (p) نعطيهما الرمزين (n_{p_0}) و (p_{p_0}) على الترتيب أيضاً .

يمكن زيادة تركيز الحاملات الأقلية للشحنة في الوصلة $(p - n)$ بشكل مصطنع بوساطة حقن حاملات الشحنة بعدة طرق ، منها تطبيق فرق كمون في الاتجاه الأمامي على الوصلة $(p - n)$ ، أو تسليط ضوء طول موجته مناسب عليها أو ...

إن الحاملات الأقلية المحقونة في نقطة ما ، أو في مستوى ما ، (ولنقل $x = 0$) من نصف الناقل ستنتشر فيه ، ويعبر عن تغير تركيز الثقوب في المنطقة n وفق المحور X مثلاً بالعلاقة :

$$\Delta p_n(x) = p_n - p_{n_0} = \Delta p_n(x = 0) e^{-\frac{x}{L_p}} \quad (1)$$

$$; L_p = \sqrt{D_p \tau} , \quad D_p = \mu_p \frac{kT}{e} \quad (2)$$

حيث:

$\Delta p_n(x)$: التغير في تركيز الثقوب في النقطة (x) .

p_n : تركيز الثقوب في المنطقة n بعد الحقن .

p_{n_0} : التركيز التوازي للثقوب في المنطقة (n) .

L_p : طول الانتشار للثقوب ، D_p : معامل الانتشار للثقوب

μ_p : حركية الثقوب ، k : ثابت بولتزمان

T : درجة الحرارة المطلقة ، e : شحنة الإلكترونون

τ : الزمن الوسطي لاتحاد الإلكترونات مع الثقوب (زمن إعادة الاتحاد) .

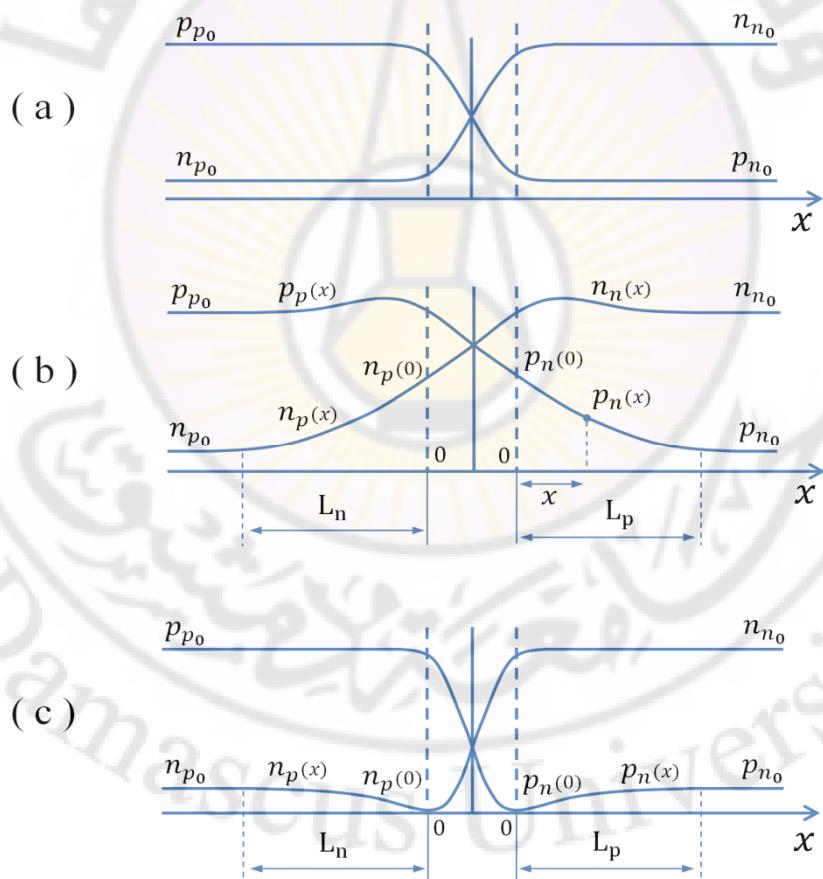
يؤدي تطبيق فرق كمون في الاتجاه الأمامي على الوصلة (p - n) إلى انخفاض حاجز الكمون مما يؤدي بدوره إلى حقن الحاملات الأقلية للشحنة (تنتقل بعض الثقوب إلى المنطقة n وبعض الإلكترونات إلى المنطقة p) ، ويصبح تركيز الثقوب عند حدود منطقة الشحنة الفراغية في المنطقة n هو :

$$p_n(x = 0) = p_{n_0} e^{\frac{eU}{kT}} \quad (3)$$

إن هذه الثقوب الأقلية المحقونة في المنطقة n ستجذب الإلكترونات الأكثرية مما يؤدي إلى زيادة في تركيز الإلكترونات بجوار منطقة النفاد في المنطقة n ، ويكون

أثر ذلك أن تحجب شحنة الإلكترونات السالبة شحنة التقوب الموجبة الزائدة المحقونة ولذلك لا تؤدي التقوب الزائدة المحقونة (أو الإلكترونات الزائدة المحقونة) إلى نشوء حقل كهربائي إضافي ، يمكن أن يؤثر في انتشار الحاملات الأقلية داخل البلورة أي أن حركة هذه الحاملات تتم بفضل عملية الانتشار فقط ، ويتبع عمق انتشار هذه الحاملات بعملية إعادة الاتصال فقط .

الشكل (1) ثلاثة مخططات تبين تغير تركيز كل من نوعي حاملات الشحنة بدالة المسافة في منطقة الوصلة (p-n) من أجل الحالة التوازنية ($U = 0$) ومن أجل التغذية الأمامية (b) ثم التغذية العكسية (c) .



الشكل (1)

لقياس العمر الفعال لحاملات الشحنة في الوصلة ($n - p$) يمكن اللجوء لحقن الحاملات الأقلية للشحنة بوساطة تطبيق نبضات كمون في الاتجاه الأمامي . فخلال زمن النبضة يزداد تركيز الحاملات الأقلية للشحنة على جانبي منطقة الشحنة الفراغية (الشكل b - 1) ، وحين تنتهي النبضة (توقف الكمون المطبق) لا تعود الوصلة إلى حالتها التوازنية التي كانت عليها قبل تطبيق الكمون مباشرة ، إنما تدريجياً خلال زمن يتعلق بعملية اتحاد الثقوب والإلكترونات ، الشكل (1) . يعطى تناقص الثقوب الإضافية مع الزمن بسبب عملية الاتحاد بالعلاقة :

$$\frac{\partial p}{\partial t} = - \frac{p_n - p_{n_0}}{\tau} \quad (4)$$

أي أن التركيز يتناقص أسيًا مع الزمن :

$$\Delta p_n = \Delta p_{n_0} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5)$$

$$\Delta p_n = p_n(t) - p_{n_0}, \quad \Delta p_{n_0} = p_n(t=0) - p_{n_0} \quad (6)$$

حيث :

Δp_n : التركيز الإضافي في اللحظة (t) ، Δp_{n_0} : التركيز الإضافي الابتدائي .

يمكن اعتبار الزمن المميز لزوال الشحنات في منطقة الشحنة الفراغية τ مساوياً عمر الحاملات الأقلية للشحنة ضمن شروط معينة ، أهمها أن يكون تركيز حاملات الشحنة المحقونة صغيراً أي :

$$n_p \ll p_p, \quad n_p \ll p_p \quad (7)$$

و ضمن هذه الشروط يمكن اعتماد النظرية المبسطة التالية : في التوازن الحراري يكون تركيز الحاملات الأقلية للشحنة ، (ولتكن الثقوب في المنطقة n) على حدود منطقة الشحنة الفراغية يتاسب طردياً مع $\left(e^{\frac{eU}{kT}} \right)$ أي :

$$p_n(t) = p_{n_0} e^{\frac{eU}{kT}}, \quad p_n(t=0) = p_{n_0} e^{\frac{eU_0}{kT}} \quad (8)$$

بالتعويض في العلاقة (6) ثم في العلاقة (5) والاختصار نجد :

$$e^{\frac{eU}{kT}} - 1 = \left(e^{\frac{eU_0}{kT}} - 1 \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9)$$

إن قيمة الكمون الحراري $\left(\frac{kT}{e}\right)$ في درجة حرارة المخبر هي تقريبا 25 mV

بينما تكون كل من U و U_0 من رتبة عدة فولطات ، مما يسمح لنا بإهمال (-1)

أمام التابعين الأسبيين ونستطيع أن نكتب :

$$e^{\frac{eU}{kT}} = e^{\frac{eU_0}{kT}} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (10)$$

وبالتالي :

$$U = U_0 - \frac{kT}{e} \frac{t}{\tau} \quad (11)$$

مما يدل على أن U تتغير بشكل خطى مع الزمن عندما يصح التقريب المذكور ويكون :

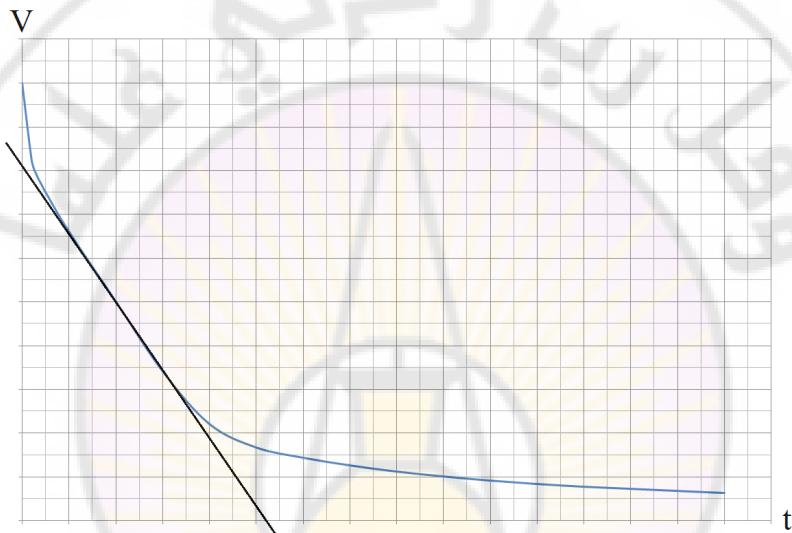
$$\frac{dU}{dt} = -\frac{kT}{e\tau}, \quad \tau = -\frac{kT}{e} \frac{dt}{dU} \quad (12)$$

ومنه :

$$\tau = \frac{kT}{e} \left| \frac{\Delta t}{\Delta U} \right| \quad (13)$$

وعلى هذا يمكن تعريف τ (عمر حاملات الشحنة) من منحني تغير U مع الزمن .
تسمح لنا العلاقة (13) بتعيين τ تجريبيا ، وذلك بقياس ميل الجزء المستقيم من الخط البياني لتحول U بدلالة الزمن بعد انتهاء النبضة (أي بعد اللحظة $t = 0$)

الشكل (2) . وبما أن تناقص U سريع جداً لصغر الثابتة τ فلابد من تكرار العملية عدداً كبيراً من المرات ومراقبتها على راسم الاهتزاز المهبطي . لذلك تطبق نبضات كمون مستطيلة دورية (ذات توافر مناسب) ويُفحص المنحى الحاصل لتغير U مع الزمن على شاشة راسم الاهتزاز . وتحسب من ميل الجزء المستقيم منه كما هو واضح بالشكل (2) قيمة الثابتة τ .

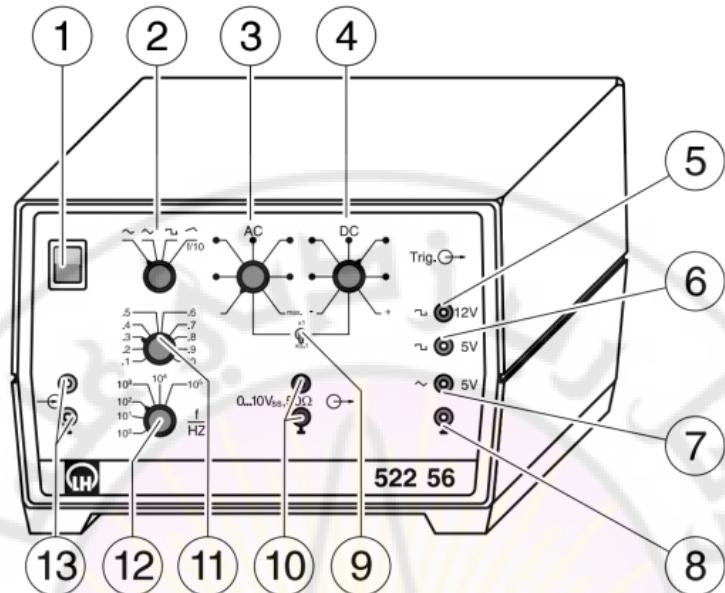


الشكل (2)

3 - أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- جهاز مولد النبضات أو الاهتزازات .
- مجموعة من الثنائيات .
- لوحة يثبت عليها عدد من الثنائيات .
- راسم اهتزاز مهبطي .



الشكل (3) : مولد النبضات (الاهتزازات) الكهربائية

- 1- زر التشغيل ، 2- ناخب انتقاء شكل النبضة ، 3- مفتاح التحكم بسعة النبضة
- 4- مفتاح التحكم بالسوية الثابتة للنبضة ، 5- خرج لنبضة مربعة بسعة V 12
- 6- خرج لنبضة مربعة بسعة V 5 ، 7- خرج لنبضة مثلثية بسعة V 5
- 8- أرضي ، 9- زر مضاعف خرج النبضة ، 10- طرفا الخرج المتغير
- 11- مفتاح تغيير قيمة توادر النبضة ، 12- ناخب لتغيير مرتبة توادر النبضة .

تستخدم في هذه التجربة النبضات المستطيلة التي يتم اختيارها بمفتاح انتقاء شكل النبضة (2) . نحصل على نبضة مربعة ذات سعة ثابتة (5 V) أو (12 V) بين المربيطين (6-8) أو (5-8) على الترتيب . أما إذا أريد التحكم بسعة النبضة فتؤخذ بين المربيطين (10) ، ويتم عنده تغيير سعتها بالمفتاح (3) ، ويتم التحكم بتواترها بناخب المجال (12) والمفتاح المستمر (11) . أما المفتاح (4) فيمكننا من التحكم بالسوية الثابتة DC للنبضة .

☆ - الإعداد التجريبي:

1 - قم بوصول مولد الاهتزازات مع الثنائي المدروس وراسم الاهتزاز المهبطي .

☆ - ملاحظات مهمة :

1 - انتبه إلى المأخذ المناسب للإشارة ، وتجنب تطبيق تواترات عالية على الثنائي .

☆ - الإجراء التجريبي :

1 - شغل منبع الإشارة وراسم الاهتزاز المهبطي وطبق النبضات المستطيلة على الثنائي نصف الناقل في الاتجاه الأمامي .

2 - افحص الإشارة على راسم الاهتزاز واختر تواترات مناسبة (500 Hz مثلا) وسعات مناسبة للنبضة حتى حصولك على شكل مشابه للشكل (2) .

3 - انقل بدقة على ورقة مليمترية الشكل الذي حصلت عليه على راسم الاهتزاز المهبطي لتغيرات (U) بدلالة (t) .

4 - عين ميل الجزء المستقيم من المنحني الممثل لتناقص U مع الزمن في نهاية النبضة وذلك بقياس ΔU ، Δt على شاشة الراسم . يلاحظ مع بدء زوال النبضة قطعة مستقيمة شاقولية تأخذ نهايتها بدء المستقيم الممثل للتغير ($U/\Delta t$) والمماس له يعين الميل ، ثم قدر الارتباط في قياساته .

5 - احسب العمر الفعال τ لحملات الشحنة من العلاقة (12) ، ثم قدر الارتباط فيه بشكل مناسب .

6 - كرر القياس من أجل تواتر مختلف آخر ، واحسب τ وقارنها بالقيمة السابقة .

7 - ادرس بقية الثنائيات بنفس الطريقة ، وقارن قيم τ الناتجة .

4- تقييم العمل التجريبي:

1 - هل يتغير العمر الوسطي لحملات الشحنة مع التواتر ؟

2 - ما سبب اختيار النسبة المستطيلة لدراسة الثنائيات ؟ وهل تصلح الإشارة المثلثية أو الجيبية مثلا ؟

5 - الكلمات المرجعية :

- Balance State	- حالة التوازن
- Charge Carriers Lifetime	- عمر حاملات الشحنة
- Concentration	- تركيز
- Effective Lifetime	- العمر الفعال
- Excitation	- إثارة
- Generation	- تولد
- Injection	- حقن
- Ionization	- تأين
- Majority	- الأكثرية
- Minority	- الأقلية
- Pair	- زوج
- Potential Barrier	- حاجز الكمون
- Pulse	- نبضة
- Recombination	- إعادة الاتحاد

6 - المراجع :

- 1- المرجع 1 - الفصل الثامن .
- 2- المرجع 2 - الفصل الثامن .
- 3- المرجع 5 .



التجربة 15 :

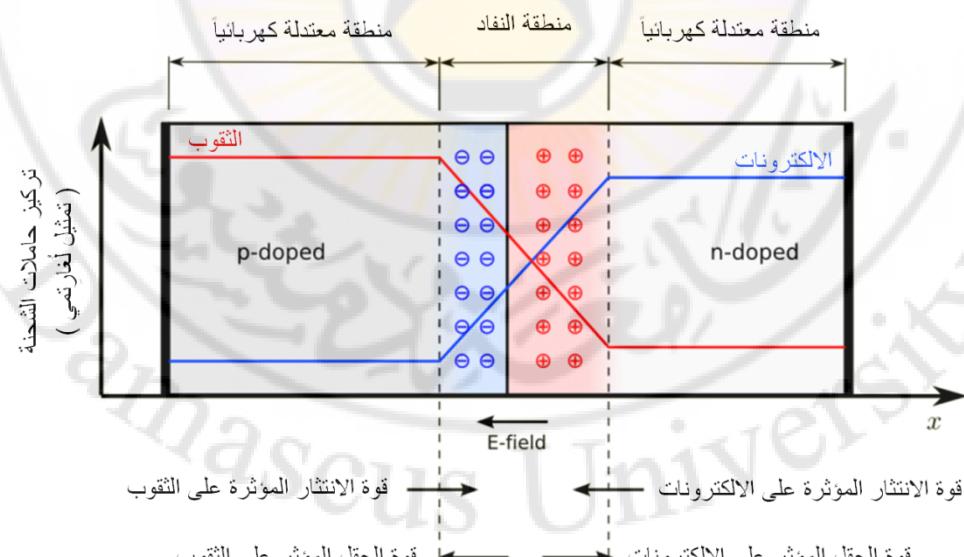
دراسة تأثير درجات الحرارة في المنحني المميز للوصلة (p - n)

1- الغاية من التجربة :

- دراسة المنحنيات المميزة للوصلة (p - n) في حالة التعدية الأمامية والعكسية عند درجات حرارة مختلفة .
- دراسة علاقة تيار الإشباع بدرجة حرارة الثنائي .
- تعين فاصل الطاقة للمادة نصف الناقلة المكونة للوصلة (p-n) .

2- المبدأ النظري :

يطلق على جزأى بلورة نصف ناقلة ، مشوبيين إشابة مختلفة بحيث إن أحد الجزأين يكون من النوع n والأخر من النوع p ، اسم الوصلة (p - n) ، وتنشأ في هذه المنطقة الحدودية بينهما تيارات وحقول كهربائية موضعية تحدد عمل الوصلة .



الشكل (1) : الوصلة p-n .

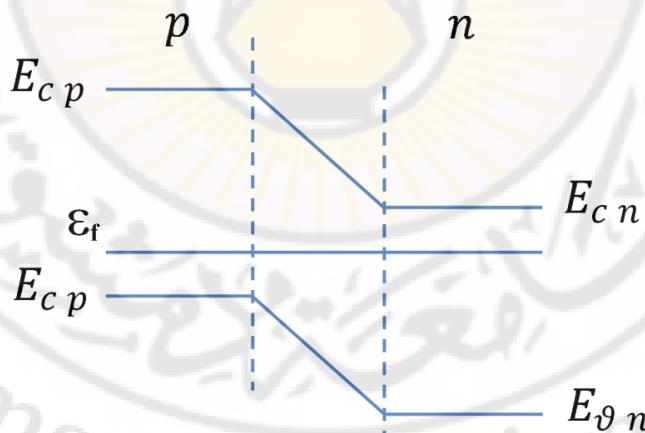
بعد تشكل الوصلة بوقت طويل ، وبالرغم من تكون منطقة الشحنة الفراغية ، فإنها تظل في حالة توازن ديناميكي حيث تستمر الإلكترونات والثقوب باجتياز الوصلة من n إلى p وبالعكس .

إذا حصرنا اهتمامنا بالإلكترونات وحدها في البداية ، وجدنا أن هنالك تيارين يمران عبر الوصلة :

1 - تيار من (n) إلى (p) بسبب تركيز الإلكترونات العالي في المنطقة (n) ويعرف هذا التيار بتيار الاتحاد ، لأن الإلكترونات التي تنتقل إلى المنطقة (p) غالباً ما تتحدد مع الثقوب هناك ، ويرمز له بالرمز (J_r) .

2 - تيار التولد (J_g) ، الذي يجري من الجانب (p) إلى الجانب (n) ، والناشئ عن تولد الإلكترونات حرارياً وإنجذابها بفضل حقل منطقة النفاد .

يتم التوازن حين يتساوى هذان التياران ($J_g = J_r$) . إن وضع التوازن هذا هو وضع ديناميكي ، حيث تسري التيارات باستمرار عبر الوصلة ، لكنها توازن بعضها بالنسبة إلى كل نوع من أنواع حاملات الشحنة على حدة .



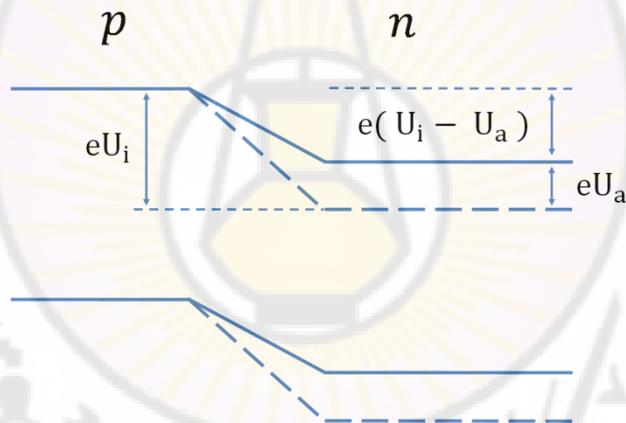
الشكل (2) : مخططات الطاقة في الوصلة (p-n) .

ينبغي أن تكون لسوية فيرمي القيمة الثابتة ذاتها في كل أجزاء البلورة ، بما في ذلك منطقة الوصلة ، ويبين الشكل (2) أثر الوصل على مخططات سويات الطاقة ،

حيث نرى كيف أن سويات الطاقة في الجانب (p) قد ارتفعت بالنسبة إلى السويات في الجانب (n) ، وذلك بسبب انتقال الشحنات ، فإذا فرضنا أن كمون التماس الناشئ (الذاتي) هو (U_i) ، فإن فرق الطاقة بين الجانبين هو (eU_i) .

يمكننا أن نرى بوضوح أن تلك الإلكترونات فقط من الإلكترونات عصابة النقل في المنطقة (n) التي طاقتها الحركية تفوق حاجز الكمون (U_i) تستطيع الانتشار من الجانب (n) إلى الجانب (p) .

لنفرض الآن أنه طبق توتر خارجي ($U_i < U_a$) على الوصلة ($p - n$) بحيث تكون المنطقة (p) موجبة كما في الشكل (3) ، تدعى طريقة الوصل هذه بالتجذية الأمامية: نلاحظ ارتفاع سويات الطاقة في الجانب (n) بالمقدار (eU_i) وبالتالي انخفاض حاجز الكمون بالمقدار نفسه . لمناقش أثر ذلك في تياري الانتشار والتوليد.



الشكل (3) : مخططات الطاقة من أجل تجذية أمامية .

إن تيار التوليد لا يتتأثر بتطبيق (U_a) لأنه لا يزال هناك حقل شديد في المنطقة يجذب الإلكترونات من الجانب (p) . أما تيار الاتحاد (J_r) فيتأثر بشكل قوي لأنه يصبح أمام الإلكترونات في الجانب (n) حاجز كمون أخفض بالمقدار (eU_a) مما كان عليه قبل تطبيق الكمون (U_a) ، فيزداد وبالتالي هذا التيار متناسبًا مع

$$\text{المضروب} \left(e^{\frac{eU_a}{kT}} \right) ، \text{وهكذا يكون لدينا} :$$

$$I_f = I_0 \left(e^{\frac{eU_a}{kT}} - 1 \right) \quad (1)$$

حيث :

I_0 : تيار الإشباع وهو مستقل عن فرق الكمون المطبق U_a
 T : درجة الحرارة المطلقة . ، U_a : الكمون المطبق

يدعى I_0 أيضاً بالتيار العكسي (لأنه يمثل تقريراً قيمة علياً للتيار في حالة التغذية العكسية قبل انهيار الثنائي) ، أو تيار التولد لأن من شأنه هو تولد الأزواج إلكترون - ثقب في منطقة الشحنة الفراغية ، فهو يتعلق إذن كثيراً بدرجة الحرارة .

إن الدراسة المفصلة لـ (I_0) تبين أنه يتاسب طردياً مع (n_i^2) حيث (n_i) : هو التركيز الذاتي ويعطى بالعلاقة :

$$n_i = 2 \left(\frac{kT}{2\pi\hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} (m_e m_h)^{\frac{3}{4}} e^{-\frac{Eg}{2kT}} \quad (2)$$

حيث : m_e : الكتلة الفعالة للإلكترونات ، m_h : الكتلة الفعالة للثقوب .

وبالتالي :

$$I_0 \propto e^{-\frac{Eg}{kT}} \quad (3)$$

إذا كان الكمون المطبق من رتبة عدة أجزاء من الفولط يكون $(\frac{kT}{e} \gg U_a)$ حيث أنه في درجة حرارة المخبر $(kT \approx 0.025 \text{ eV})$ ، عندها يمكن إهمال الواحد ، ويأخذ التيار الأمامي الشكل التالي :

$$I_f \propto e^{\frac{eU_a - Eg}{kT}} \quad (4)$$

$$\ln(I_f) = \frac{eU_a - Eg}{k} \frac{1}{T} + C_1 \quad (5)$$

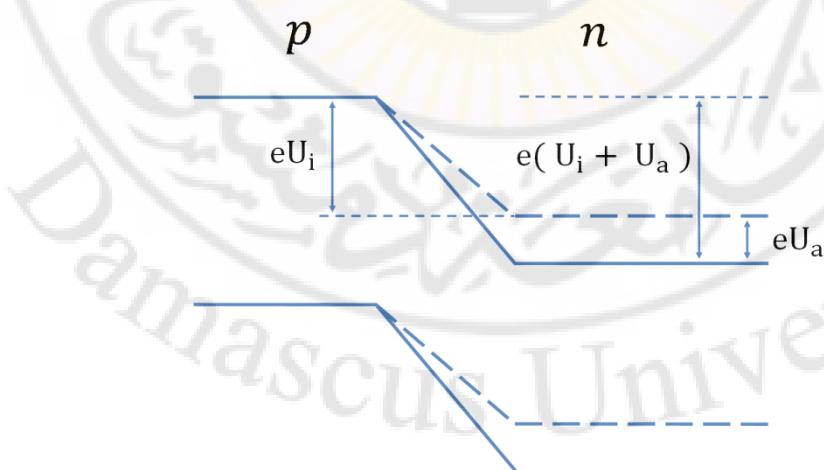
$$\ln(I_f) = \frac{e}{kT} U_a + C_2 \quad (6)$$

للننظر الآن في التغذية العكسيّة التي يكون فيها (p) موصولاً بالقطب السالب كما في الشكل (4) . يؤدي هذا الوصل إلى انخفاض سويات الطاقة في الجانب (n) بالمقدار (eU_a) وبالتالي ارتفاع حاجز الكمون بالمقدار نفسه . نجد أن تيار التوليد هنا كذلك لا يتأثر بفرق التوتر (U_a) . من ناحية أخرى ، يؤدي ازدياد ارتفاع حاجز الكمون إلى انخفاض تيار الاتحد بشكل يتناسب مع ($\frac{-eU_a}{kT}$) ، وهذا يكون لدينا :

$$I_r = I_0 \left(1 - e^{\frac{-eU_a}{kT}} \right) \quad (7)$$

وبالمثل ، ومن أجل كمون (|U_a| \gg \frac{kT}{e}) ، يمكن إهمال المضروب الأسني أمام الواحد ، ويصبح التيار العكسي على الشكل :

$$I_r \propto e^{\frac{-Eg}{kT}} \Rightarrow \ln(I_r) = \frac{-Eg}{k} \frac{1}{T} + C \quad (8)$$



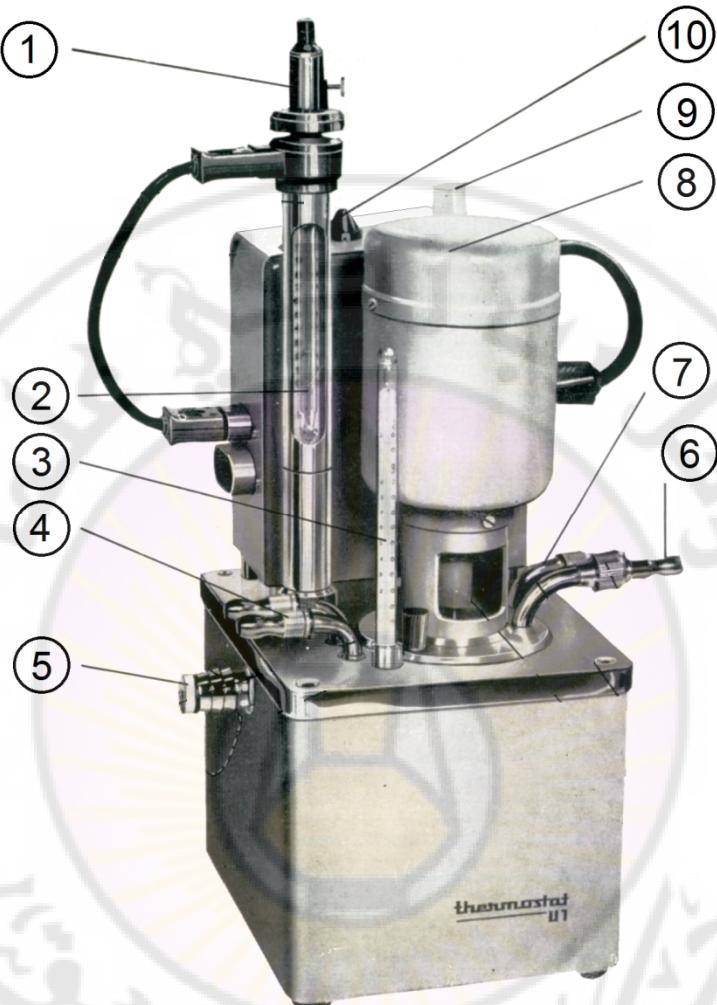
الشكل (4) : مخططات الطاقة في التغذية العكسيّة .

سندرس المنحني المميز ($U-I$) للوصلة $n-p$ في هذه التجربة ، أي سندرس تغير التيار بدلالة فرق الكمون المطبق في حالتي التغذية الأمامية والتغذية العكسية ، في درجات حرارة مختلفة (ثابتة من أجل كل منحن مميز) وذلك بغية التوصل لمعرفة تغير تيار الإشباع I_0 مع درجة الحرارة .
يستدل من العلاقات السابقة ، أن مثل هذه القياسات تسمح بتعيين فاصل الطاقة للمادة المصنوع منها الثنائي ، كما تسمح بإيجاد قيمة الثابتة k (ثابتة بولتزمان) .

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة و الأدوات التجريبية :

- منبع تغذية مستمر قابل لتغيير الكمون .
- ثبائي نصف ناقل (الوصلة $p-n$)
- موضوع في جهاز تثبيت درجة الحرارة .
- معدلة $\Omega = 320$.
- مقياس فولت مستمر .
- مقياس تيار مستمر .
- جهاز تثبيت درجة الحرارة .

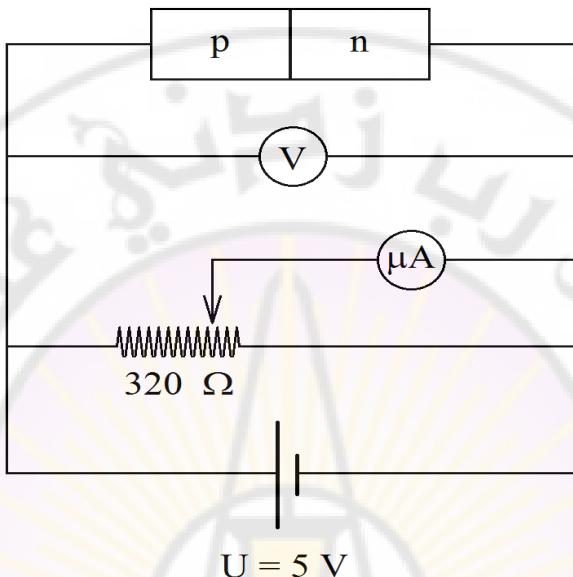


الشكل (5) : الأجزاء الرئيسية لجهاز تثبيت درجة الحرارة .

- 1 - مقبض يُدور لضبط درجة الحرارة بعد تحرير برغي التثبيت .
- 2 - ميزان حرارة (ميزان الضبط) لضبط درجة الحرارة المراد التثبيت عندها .
- 3 - ميزان حرارة يقيس درجة حرارة الماء الفعلية .
- 4 - ممر معزول ضمن الماء للتبريد . 5 - فتحة لإدخال الماء إلى خزان الماء .
- 6 - مخرج . 7 - مدخل . 8 - جسم المضخة .
- 9 - مفتاح لاختيار سرعة التسخين . 10 - مؤشر ضوئي يضيء عند التسخين .

★ - الإعداد التجريبي:

يبين الشكل (6) التوصيل العام للتجربة :



الشكل (6) : توصيل التجربة من أجل التغذية الأمامية .

- 1 - صل مربطي المنبع المستمر إلى مربطي المعدلة .
- 2 - صل أحد مربطي المعدلة إلى مقاييس الميكروأمبير ، ومن ثم إلى نقطة على اللوحة ، وصل زالقة المعدلة إلى نقطة أخرى على اللوحة .
- 3 - صل الثنائي بين النقطتين على اللوحة ، وصل مقاييس فرق الكمون المستمر على التفرع بين طرفي الثنائي .

★ - ملاحظات مهمة :

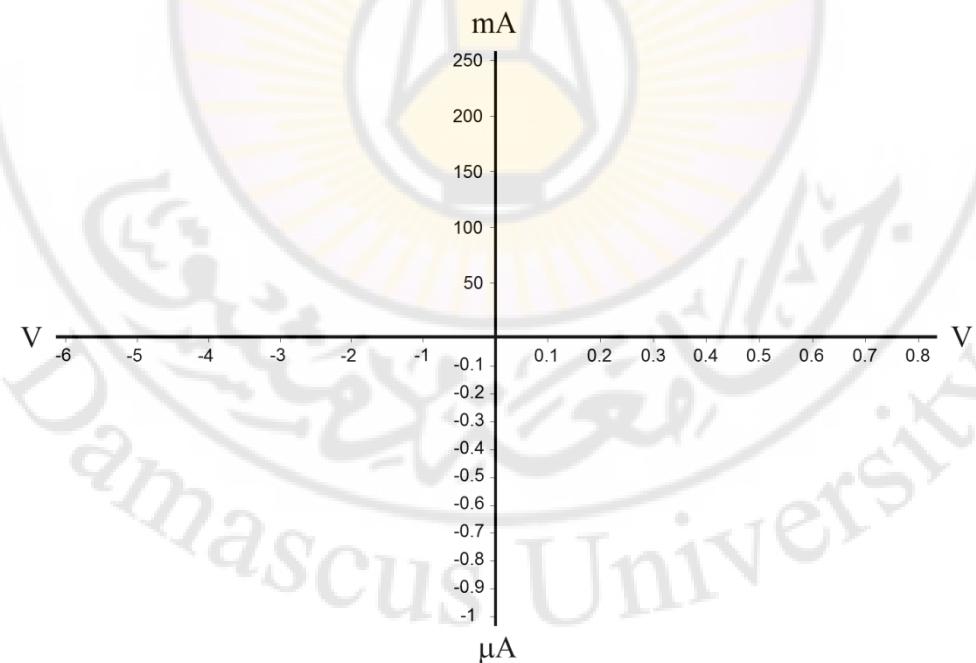
- 1 - اقرأ درجة الحرارة من الميزان وليس من ضابط درجة الحرارة .
- 2 - انتبه إلى عدم تجاوز قيمة التيار الأمامي ($I = 200 \text{ mA}$) ، لأن ذلك يؤدي إلى تسخين نصف الناقل عن طريق التيار ، ولن تكون بذلك القيم دقيقة .

☆ - الإجراء التجريبي :

- 1 - قس درجة حرارة الماء ، والتي يفترض أن تكون قريبة من درجة حرارة المخبر (من 20 إلى 30) ، وتأكد من استقرارها .
- 2 - ضع المعدلة (والتي سنستخدمها كمجزئ كمون) على أقل قيمة لها ، ثم طبق بين طرفي المعدلة فرقا في الكمون قيمته (6V) .
- 3 - حرك زالقة المعدلة بحيث تطبق على الثنائي (الوصلة p-n) فرقا في الكمون قيمته (0.1 V) ، وسجل قيمة التيار الأمامي (I_f) المقابلة .
- 4 - قم بزيادة الكمون تدريجياً حتى (0.7 V) وبخطوة (0.1 V) ، وسجل في كل مرة قيمة (I_f) .
- 5 - أعد المعدلة إلى أقل قيمة لها ، ثم قم بعكس طرفي الثنائي على اللوحة .
- 6 - طبق فرقا في الكمون قيمته (1 V) ، وسجل قيمة التيار العكسي المقابلة (I_r)
- 7 - قم بزيادة الكمون تدريجياً حتى (5V) وبخطوة (1 V) ، وسجل في كل مرة قيمة (I_r) .
- 8 - شغل جهاز التسخين بوضع المفتاح (9) على الخيار (H-3) ، واضبط درجة الحرارة بتدوير المقبض (1) بعد تحرير برغي التثبيت لتحريك المؤشر في ميزان الضبط (2) إلى الدرجة $^{\circ}\text{C} 40$ ، ثم ثبت البرغي عندئذ .
- 9 - انتظر حتى ينطفئ المصباح (10) مما يدل على وصول درجة الحرارة إلى القيمة المطلوبة ، وانتظر حتى تسقى قراءة ميزان الحرارة (3) ، ثم سجلها .
- 10 - قم بتسجيل قيم (U - I) في حالتي التغذية الأمامية والعكسية عند درجة الحرارة الجديدة ، وذلك بتكرار الخطوات (1 - 6) .
- 11 - أعد ضبط درجة حرارة الماء عند قيمتين مختلفتين آخرتين (50 و 60 مثلا) على الأقل ، وسجل عند كل درجة قيم (U-I) في حالتي التغذية الأمامية والعكسية .
- 12 - رتب قيمك في جدول كالتالي :

T = K															
V _f	I _f	V _r	I _r	V _f	I _f	V _r	I _r	V _f	I _f	V _r	I _r	V _f	I _f	V _r	I _r
0.1		1		0.1		1		0.1		1		0.1		1	
0.2		2		0.2		2		0.2		2		0.2		2	
0.3		3		0.3		3		0.3		3		0.3		3	
0.4		4		0.4		4		0.4		4		0.4		4	
0.5		5		0.5		5		0.5		5		0.5		5	
0.6				0.6				0.6				0.6			
0.7				0.7				0.7				0.7			

13 - ارسم على ورق مليمترى المنحنيات المميزة (U-I) للوصلة (p-n) من أجل درجات الحرارة المختلفة على نفس الورقة البيانية ، مختارا تقسيمات مناسبة من أجل كل محور كالشكل (7) .



الشكل (7) .

- 14 - ارسم تحولات $\ln(\frac{I_f}{T})$ من أجل قيم ثابتة لفروق الكمون ، واستنتج من الرسم قيمة (E_g) وفق العلاقة (5) ، وقدر الارتباط فيها .
- 15 - ارسم تحولات $\ln(\frac{U_0}{I_f})$ ، واستنتاج من الرسم قيمة ثابت بولتزمان (k) من العلاقة (6) وقارنها بالقيمة المعروفة لهذه الثابتة ، وقدر الارتباط فيها .
- 16 - ارسم تحولات $\ln(\frac{I_r}{T})$ من أجل قيم ثابتة لفروق الكمون ، واستنتاج من الرسم قيمة (E_g) وفق العلاقة (8) ، وقدر الارتباط فيها .

4- تقييم العمل التجريبي:

- 1 - لماذا يفضل السيلكون على الجermanيوم في الثنائيات التي تخصص لإمداد تيارات عالية فيها ؟
- 2 - ما الشكل الدقيق للعلاقة بين تيار الإشباع و درجة الحرارة ؟

5 - الكلمات المرجعية :

- Breakdown	انهيار - انقطاع
- Diode Characteristics	المنحنيات المميزة للثنائي
- Dynamic Equilibrium	توازن ديناميكي
- Energy Gap	فاصل الطاقة
- Fermi Level	سوية فيرمي
- Forward bias	انحياز أمامي
- Generation Current	تيار التولد
- Intrinsic Concentration	التركيز الذاتي
- Junction	وصلة
- Local Field	حقل موضعى
- Recombination Current	تيار إعادة الاتحاد
- Reverse bias	انحياز عكسي
- Saturation Current	تيار الإشباع
- Space Charge	الشحنة الفراغية

6 - المراجع :

- 1 - المرجع 1 - الفصل الثامن .
- 2 - المرجع 2 - الفصل الثامن .
- 3 - المرجع 5 .

التجربة 16 :

قياس الطواعية المغناطيسية بطريقة غاي

1- الغاية من التجربة:

1 - قياس الطواعية المغناطيسية البعض المواد ذات المغناطيسية الطردية (Diamagnetic) ، والأخرى ذات المغناطيسية العكسية (Paramagnetic) ومقارنتها مع ما تتنبأ به النظرية .

2- المبدأ النظري:

عادة ما يوصف الحقل المغناطيسي في الفيزياء بأحد شعاعين ، الأول يدعى الحقل المغناطيسي \vec{H} (Magnetic Field Intensity) ، والثاني حقل التحرير المغناطيسي \vec{B} (Magnetic Induction , Magnetic Flux Density) ، ويرتبطان أحدهما بالآخر في الخلاء بالعلاقة :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (1)$$

حيث μ_0 : النسبة المغناطيسية للخلاء . إذا وضعت مادة في حقل مغناطيسي \vec{H} فإنها ستتأثر بهذا الحقل ، ويأخذ شعاع التحرير المغناطيسي فيها الشكل التالي :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} \quad (2)$$

يعبر الحد الثاني عن استجابة المادة للحقل المغناطيسي المطبق عليها ، حيث \vec{M} هو محصلة عزوم ثنائيات الأقطاب المغناطيسية ($\vec{\mu}$) في واحدة الحجوم ، ويدعى بشعاع العزم المغناطيسي أو شدة التمagnetization (Magnetization) ويعطى بالعلاقة :

$$\vec{M} = N \vec{\mu} \quad (3)$$

حيث N : عدد ثنائيات الأقطاب المغناطيسية في واحدة الحجوم .

يكون شعاع التمغnet ، في حالة الحقول الضعيفة ، في المواد متماثلة المناخي موازياً للحقل الخارجي المطبق \vec{H} ، ومرتبطاً معه بعلاقة خطية أي :

$$\vec{M} = \chi_v \vec{H} \quad (4)$$

يسمي ثابت التناوب χ_v الطواعنة المغنتيسية الحجمية ، وغالباً ما تدعى اختصاراً بالطواعنة المغنتيسية وتعطى الرمز χ ، وهي ثابت نوعي لا أبعاد له ، يعبر عن مدى استجابة المادة للحقل المغنتيسي الخارجي المطبق عليها . يمكن إعادة صياغة العلاقة (2) بالشكل :

$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi)\vec{H} = \mu\vec{H} = \mu_r\mu_0\vec{H} \quad (5)$$

$$\mu = \mu_0(1 + \chi) = \mu_r\mu_0 , \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (6)$$

حيث :

μ : النفوذية المغنتيسية للوسط ، μ_r : النفوذية المغنتيسية النسبية .
من الواضح أنه إذا كانت χ موجبة يكون اتجاه \vec{M} بنفس اتجاه \vec{H} وعندما فإن حقل التحرير المغنتيسي \vec{B} داخل المادة يقوى بها ، وتدعى المادة عندئذ مادة ذات مغنتيسية طردية ، أما إذا كانت χ سالبة يكون اتجاه \vec{M} بعكس اتجاه \vec{H} وعندما فإن حقل التحرير \vec{B} يضعف بوجود المادة وتدعى عندئذ مادة ذات مغنتيسية عكسية .

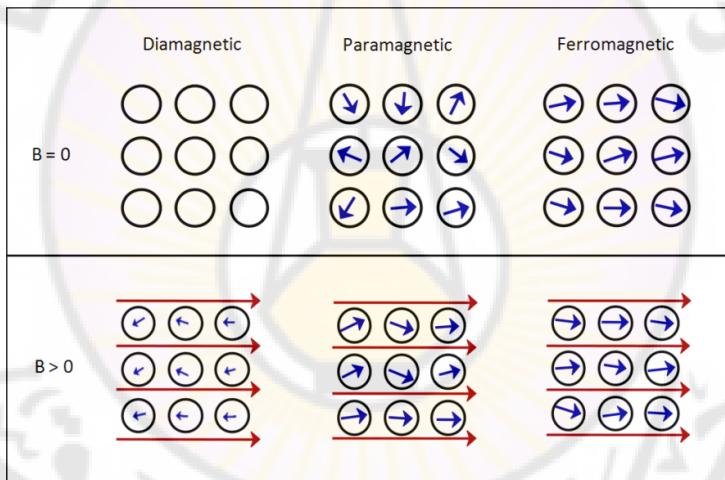
☆ - منشأ المغنتيسية الطردية والعكسية :

ترتبط الخواص المغنتيسية الجهرية بالخواص الذرية المجهرية ، وهي في الواقع حصيلة لها . يرتبط منشأ العزم المغنتيسي للذررة الحرة بثلاثة أمور :

1. وجود سبين لكل إلكترون .
2. وجود اندفاع زاوي مداري لكل إلكترون يرتبط بحركته حول النواة .
3. تغير العزم المداري عند تطبيق حقل مغنتيسي خارجي .

تعطي الحالة الثالثة إسهاماً عكسيّاً للطواعنة المغناطيسية بسبب التحريرض المعاكس للمسبب (قانون لينز) . غير أن هذه الآثار العكسية تغطى بآثار أقوى منها في حالة المواد الطردية و المواد الحديدية المغنة . فإذا كانت الذرات والأيونات ذات سبيبن كلي معدوم و عزم مغناطيسي معدوم ، كانت المادة المكونة منها عكسية المغنة ، أما الذرات أو الأيونات التي لها ثانويات عزم مغناطيسي دائمة أي لها عزم مغناطيسي فيكون تأثير الحقل عليها هو محاولة توجيهها باتجاه الحقل مما يجعل إسهام التوجيه موجباً وهو أكبر من الإسهام العكسي في حال وجوده .

تميّز الحالتان الطردية والعكسية بزوالها مع زوال الحقل المطبق خلافاً لما يحدث في المواد حديدية المغنة .



الشكل (1) : استجابة المواد المغناطيسية للحقل الخارجي المطبق .

يعطى الإسهام العكسي بالعلاقة :

$$\chi = \frac{M}{H} = \frac{\mu_0 N \mu}{B} = - \frac{\mu_0 N Z e^2}{6m} \langle r^2 \rangle \quad (7)$$

حيث: $\langle r^2 \rangle$: وسطي مربع البعد بين النواة والإلكترونات
 e : شحنة الإلكترون ، Z : عدد الإلكترونات في الذرة
 N : عدد الذرات في واحده الحجم ، m : كتلة الإلكترون .

تعبر العلاقة (6) عن نظرية لانجفان الكلاسيكية ، وهي تتوافق بشكل كبير مع النتائج التجريبية ، وحتى باستخدام ميكانيك الكم نحصل على نتائج مشابهة . في حالة المواد الطردية ، تعطى الطوعية المغناطيسية من أجل حقول ضعيفة ودرجات حرارة غير منخفضة بالعلاقة :

$$\chi = \frac{\mu_0 N \mu^2}{3kT} \quad (8)$$

حيث :

k : ثابت بولتزمان ، T : درجة الحرارة المطلقة .
تعرف العلاقة الأخيرة بالطوعية المغناطيسية الطردية لانجفان ، أما باستخدام النظرية الكمومية للمغناطيسية الطردية ، فنحصل على العلاقة التالية :

$$\chi = \frac{\mu_0 N (g\mu_B)^2}{kT} \quad (9)$$

حيث :

$$g: عامل لانده \quad \mu_B = \frac{e\hbar}{2m}: مغبطون بور .$$

تدعى النسبة $(\frac{e}{2m})$ النسبة الجيرومغناطيسية لأنها تربط العزم المغناطيسي بالاندفاع الزاوي المداري $(\vec{L} - \vec{M})$ ، وتعرف العلاقة (8) بقانون كوري .

في النظرية الكمومية التي تدخل الاندفاع الزاوي المداري الكلي \vec{L} و السبين الكلي \vec{S} ليكون الاندفاع الزاوي الكلي $(\vec{S} + \vec{L} = \vec{J})$ يصبح شكل الطوعية المغناطيسية :

$$\chi = \frac{\mu_0 N \mu_{eff}^2}{3kT} = \frac{N(p\mu_B)^2}{kT} = \frac{C}{T} \quad (10)$$

$$\mu_{eff} = p\mu_B , \quad p = g[j(j+1)]^{\frac{1}{2}}$$

حيث :

C : ثابت كوري ، p : العدد الفعال لمغبطون بور في الذرة ، ويحتوي على أثر الحقل البلوري ، وهو قريب من قيمته في حالة الأيونات الحرة شريطة استخدام قواعد هوند لتعيين قيمة j .

★ - طريقة غاي في قياس الطواعية المغناطيسية :

تعتمد طريقة غاي على قياس القوة المطبقة على عينة عند وضعها في حقل مغناطيسي غير منتظم ، إذ تسبب هذه القوة تغيرا في وزن العينة وبالتالي تغيرا ظاهريا في كتلتها . تعلق العينة بخيط مربوط بميزان حساس ويقاس وزنها قبل تطبيق الحقل ، ثم يطبق الحقل المغناطيسي ، ويقاس الوزن من جديد ويرسم الفرق بينهما ، كما هو واضح في الشكل (2) . إن هذا التغير الظاهري في الكتلة سببه القوة المغناطيسية المرتبطة بتأثير الحقل المغناطيسي على العينة . لاستنتاج علاقة تغير الكتلة بالحقل المغناطيسي نبدأ من الطاقة المغناطيسية المخزنة في واحدة الحجم من العينة والتي تعطى بالعلاقة :

$$E_M = -\frac{1}{2} \chi \mu_0 H^2 \quad (11)$$

وبالتالي ، فالطاقة المخزنة في عينة حجمها V هو :

$$U = -\frac{1}{2} \chi \mu_0 V H^2 \quad (12)$$

من المعلوم أن القوة هي تدرج الطاقة ، ومنه :

$$F_x = -\frac{\partial \left(\frac{1}{2} \chi \mu_0 H^2 \right)}{\partial x} V , \quad F_y = -\frac{\partial \left(\frac{1}{2} \chi \mu_0 H^2 \right)}{\partial y} V , \quad F_z = -\frac{\partial \left(\frac{1}{2} \chi \mu_0 H^2 \right)}{\partial z} V$$

بما أن العينة موضوعة في حقل مغناطيسي غير منتظم ويتغير من نقطة لأخرى ، إذن لابد من حساب القوة العنصرية dF المطبقة على حجم عنصري dV من العينة ثم نكامل على الحجم كله .

توضع العينة عادة في أنبوب أسطواني منتظم مساحة مقطعه A صغيرة ، وطوله L أكبر بكثير من نصف قطر مقطعه بحيث يمكن إهمال تغير الحقل على سطح المقطع ، ويبقى التغير في الاتجاه الشاقولي Z ، فيكون $(dV = A dz)$ ، وبالتالي :

$$dF_z = - \frac{\partial \left(\frac{1}{2} \chi \mu_0 V H^2 \right)}{\partial z} A dz \quad (13)$$

ف تكون القوة الكلية في هذا الاتجاه :

$$F_z = \int_{z_1}^{z_2} dF_z = \frac{1}{2} \chi \mu_0 A \left[H^2 \right]_{H_1}^{H_2} = \frac{1}{2} \chi \mu_0 A (H_2^2 - H_1^2)$$

حيث :

H_2 : شدة الحقل المغناطيسي عند الطرف السفلي للعينة .

H_1 : شدة الحقل المغناطيسي عند الطرف العلوي للعينة .

إذا كانت العينة طويلة نوعاً ما ، أصبح بالإمكان إهمال H_1 أمام H_2 وبالاستفادة من العلاقة (1) والتعويض عن القوة بما يساويها نحصل أخيراً على العلاقة :

$$\Delta m = \frac{\chi A}{2\mu_0 g} B^2 \quad (14)$$

حيث :

g : تسارع الجاذبية الأرضية ، B : شدة حقل التحرير المغناطيسي المطبق .

تبين المعادلة السابقة أن العلاقة بين Δm و B^2 هي علاقة خطية ، ويتم حساب الطواعنة المغناطيسية من ميل هذه العلاقة .

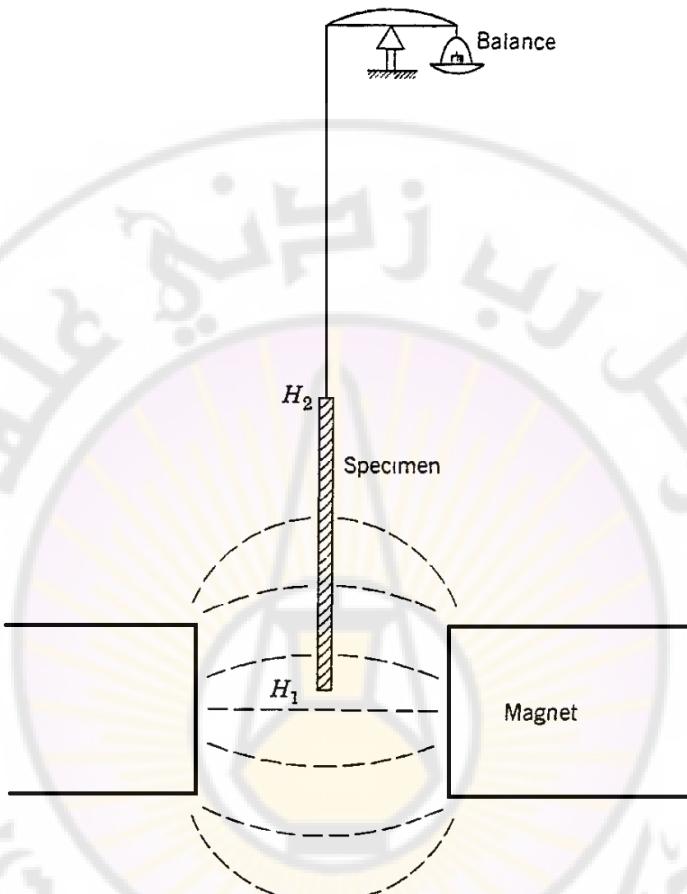
في معظم التجارب الفيزيائية تكون الطواعنة المغناطيسية الحجمية χ_v هي المقدار الأساسي المقاس ، غير أن طواعنة المادة تقدر بكميتين آخريتين هما : الطواعنة المغناطيسية الكتالية χ_m ، والطاعنة المغناطيسية المولية χ_{mol} وفق العلاقات :

$$\chi_m = \frac{\chi_v}{\rho} = \frac{V \chi_v}{m} \quad (15)$$

$$\chi_{mol} = \frac{M \chi_v}{\rho} = \frac{M V \chi_v}{m} \quad (16)$$

حيث :

ρ : كتلة واحدة الحجوم ، m : كتلة العينة ، M : الكتلة المولية للعينة ، V : حجم العينة



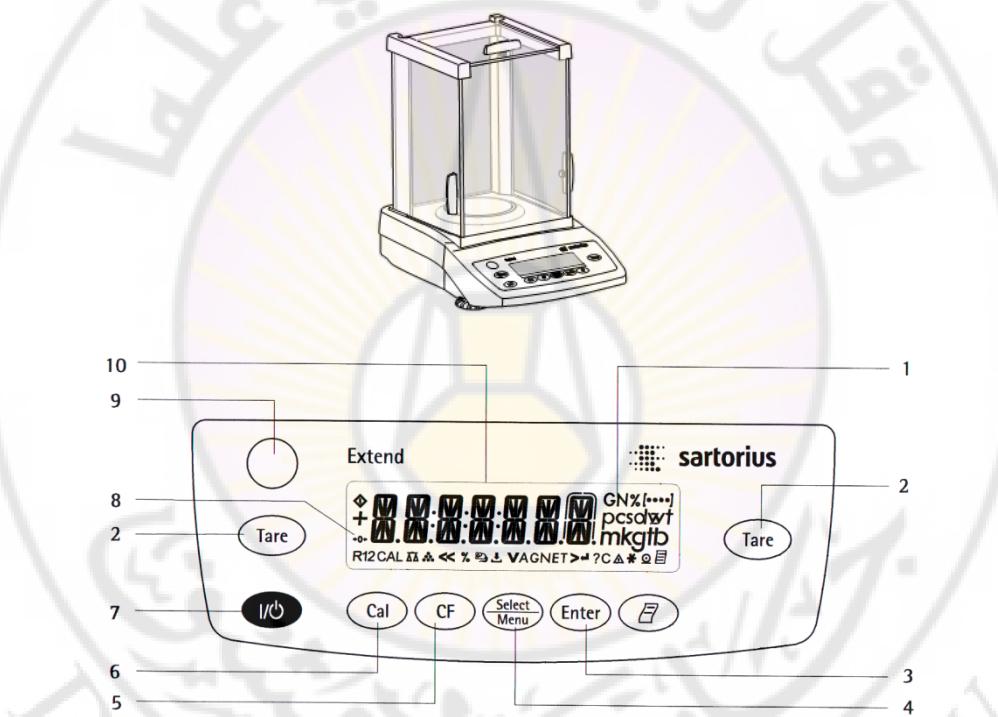
الشكل (2) : طريقة غاي في قياس الطواعية المغنتيسية .

في هذه التجربة سنستخدم طريقة غاي في حساب الطواعية المغنتيسية لعدة مواد طردية المغнетة ، وأخرى عكسية المغنة ، ونقارنها بالقيم المعروفة لهذه المواد . إن أغلب مراجع الثوابت الفيزيائية تعطي قيم الطواعية المغنتيسية المولية χ_{mol} كما تفضل جملة الوحدات السقافية (CGS) التي تختلف عن الدولية بالثابت 4π .

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- ميزان حساس من رتبة 0.1 mg .
- منبع تيار للوشائع.
- عينات مواد طردية.
- وشائع لتوليد حقل مغناطيسي.
- عينات مواد عكسية.
- مقاييس تيار مستمر.



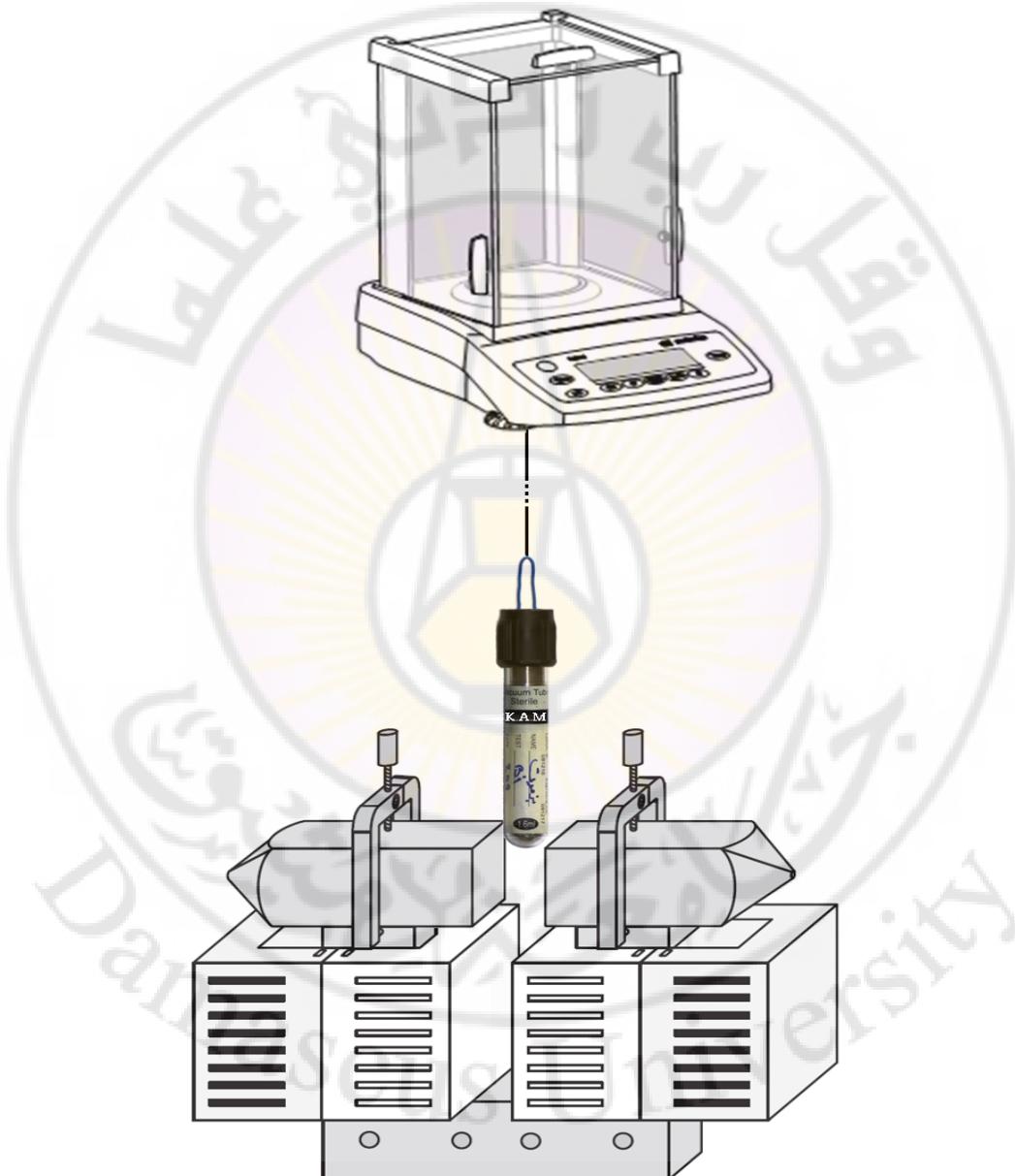
الشكل (2) : اللوحة الأساسية للميزان الحساس

- 1- واحدة قياس الكتلة المستخدمة ، 2- زر التصغير ، 3- زر الاختيار
- 4- زر القائمة ، 5- زر الإلغاء ، 6- زر المعايرة ، 7- زر التشغيل
- 8- إشارة تغيير الكتلة ، 9: ميزان سائل لضبط استواء الميزان
- 10- شاشة العرض .

☆ - الإعداد التجريبي:

يبين الشكل (3) الإعداد العام للتجربة .

- 1 - صل منبع التيار المستمر مع الوشائع ومقاييس التيار على التسلسل .



الشكل (3) : الإعداد العام للتجربة .

☆ - ملاحظات مهمة :

1 - إن الميزان المستخدم حساس جدا ، وتأثر قراءته حتى بمجرد حركة الهواء ، لذلك يجب توفير الشروط المناسبة لإجراء قياس دقيق وصحيح .

☆ - الإجراء التجريبي :

أولاً: المواد طردية المقاطة :

1 - قس كتلة الأنابيب العياري ، وهو أنبوب زجاجي فارغ مماثل لأنبوب الحاوي على المواد المغناطيسية ، ولتكن (m_2) .

2 - اختر إحدى المواد طردية المغناطة (أكسيد النحاس مثلا) وعلق الأنابيب الذي يحوي العينة على السلك المربوط بالميزان من الأسفل ، ثم انتظر حتى تستقر العينة وقم بقياس كتلتها مع الأنابيب الزجاجي الحاوي لها ولتكن (m_1) .

3 - قم بحساب كتلة المادة ($m = m_1 - m_2$) .

4 - تأكد من أن النهاية السفلية لأنبوب في منتصف المسافة بين قطبي المغناطيس ، وأن جزءاً صغيراً من نهاية الأنابيب فقط واقع بين القطبين كما في الشكل (3) ، ثم اضغط في الميزان على زر التصغير (Tare) .

5 - انتظر حتى تصبح الأرقام على الشاشة كلها أصفاراً وتستقر قراءة الميزان ، لاحظ أنه بدءاً من هذه اللحظة سيُظهر الميزان قيمة التغير في الكتلة (Δm) بشكل مباشر .

6 - شغل منبع وقياس التيار ثم مرر في الوشائع تياراً قيمته ($I = 3 A$) ، وانتظر قيمة (Δm) حتى تستقر ثم سجلها مع الانتباه إلى إشارتها (موجبة أو سالبة) .

7 - قم بزيادة التيار تدريجياً حتى القيمة ($7 A$) وبخطوة ($0.5 A$) ، وسجل في كل مرة قيمة تغير الكتلة ، ورتّب نتائجك في جدول .

8 - أعد التيار إلى ($0 A$) بعد الانتهاء من التجربة ، تقادياً للإضرار بالوشائع .

9 - أوجد قيم شدة الحقل المغناطيسي (B) الموافقة للتيار المطبق (I) ، وذلك بالاستفادة من منحني المعايرة في حالة بعد بين القطبين المغناطيسيين (16 mm) (الشكل 4) .

I (A)	Δm (Kg)	B (T)	B^2 (T^2)
3.0			
3.5			
4.0			
4.5			
5.0			
5.5			
6.0			
6.5			
7.0			

الجدول (1)

10 - قم برسم الخط البياني لتغيرات (Δm) بدلالة (B^2) واستنتج قيمة الطوعية المغناطيسية للمادة χ وذلك بحساب ميل الخط المستقيم من العلاقة (14) ، وقدر الارتباط فيها .

11 - قم بحساب كل من الطوعية المغناطيسية الكتالية χ_m ، والطوعية المغناطيسية المولية χ_{mol} من العلاقتين (15 و 16) ، وقدر الارتباط فيهما .

12 - كرر الخطوات السابقة من أجل عينة طردية أخرى (من الجدول 2) .

ثانياً: المواد عكسية المغنة :

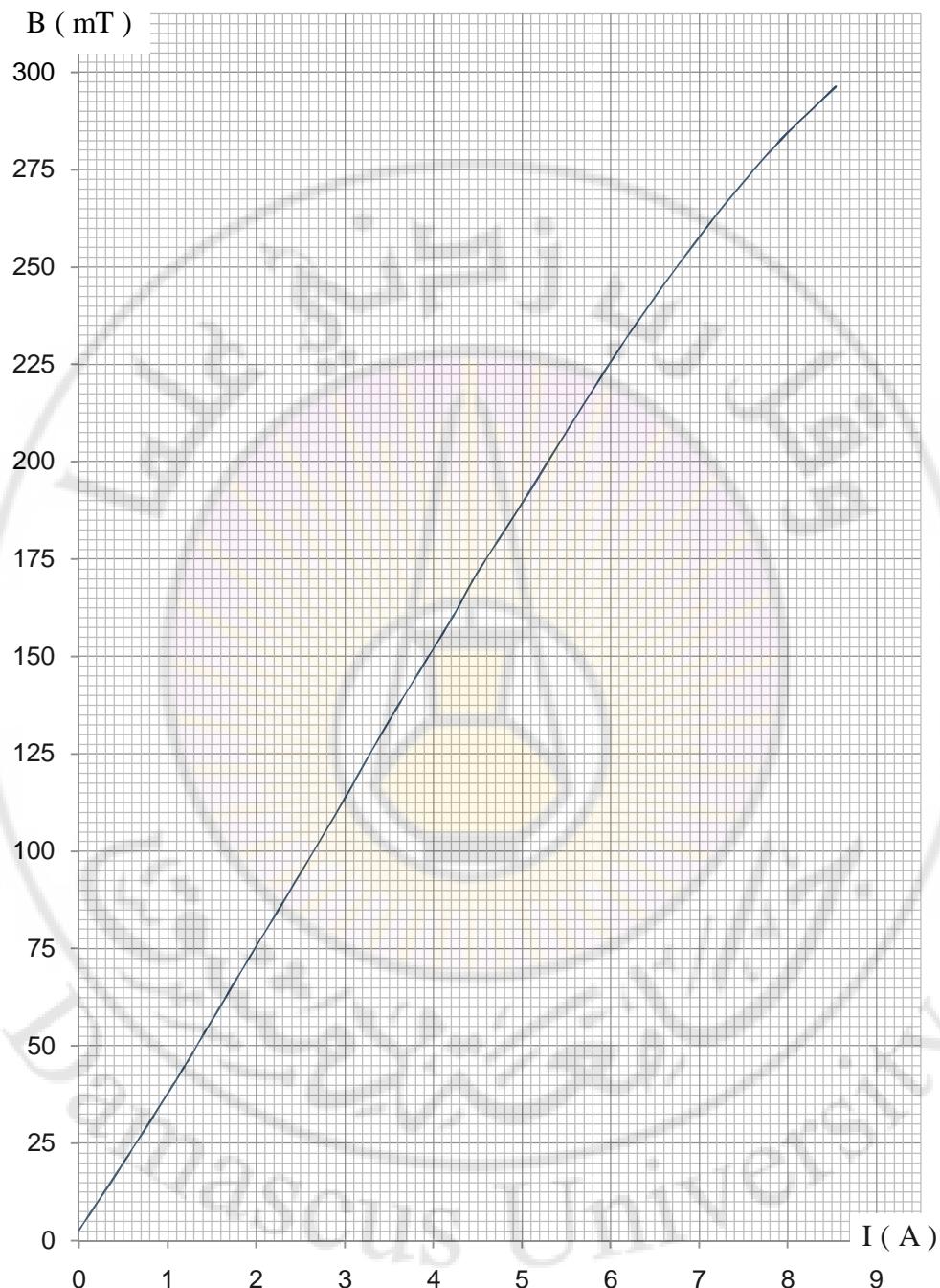
- 1 - كرر نفس الخطوات السابقة على إحدى المواد ذات المغنتيسية العكسية (البزموت مثلاً) ، مع ملاحظة إشارة تغير الكتلة ، و احسب الطواعنة المغنتيسية الحجمية والكتلية والمولية لها .
- 2 - أعد الخطوات من أجل مادة عكسية أخرى .

المواد الطردية			
اللون	الكتلة المولية $M \text{ (g.mol}^{-1})$	الصيغة الكيميائية	اسم المادة
أسود	79.5	CuO	أكسيد النحاس
أزرق فاتح	250	CuSO ₄ .5H ₂ O	كبريتات النحاس المائية
فضي إلى رمادي	52	Cr	الكروم
المواد العكسية			
اللون	الكتلة المولية $M \text{ (g.mol}^{-1})$	الصيغة الكيميائية	اسم المادة
برونزي لامع	209	Bi	البزموت
فضي لامع	122	Sb	الأنتموان
رمادي إلى بنفسجي	254	I ₂	البيود

الجدول (2) : المواد المغنتيسية المتوفرة في المخبر .

4- تقييم العمل التجاري:

- 1 - هل دقة قياس طواعنة المواد عكسية المغنة هي بنفس الدقة للمواد طردية المغنة وفق هذه الطريقة ؟ ناقش ذلك .
- 2 - هل تصلح طريقة غاي لقياس طواعنة المواد حديدية المغنة ؟ ولماذا ؟



الشكل (4) : منحني تغيرات B بدلالة I من أجل المسافة 16 mm بين القطبين المغناطيسيين

5 - الكلمات المرجعية :

- Balance	میزان	-
- Diamagnetic	مغناطیسیة عکسیة	-
- Ferromagnetic	مغناطیسیة حیدیة	-
- Gyro-Magnetic ratio	النسبة الجیر و مغناطیسیة	-
- Macroscopic properties	الخواص الجھریة	-
- Magnetic field	الحقل المغناطیسی	-
- Magnetic flux density	کثافة تدفق الحقل المغناطیسی	-
- Magnetic induction	التحریض المغناطیسی	-
- Magnetic moment	العزم المغناطیسی	-
- Magnetic susceptibility	الطواعیة المغناطیسیة	-
- Magnetization	شدة التمغنت	-
- Microscopic properties	الخواص المجھریة	-
- Paramagnetic	مغناطیسیة طردیة	-
- Permeability	النفوذیة المغناطیسیة	-

6 - المراجع :

- 1 - المرجع 1 - الفصل التاسع .
- 2 - المرجع 2 - الفصلان الحادی عشر و الثاني عشر .
- 3 - المرجع 8 .

التجربة 17 :

التجاوب المغنتيسي النووي NMR

1- الغاية من التجربة :

- 1- دراسة التجاوب النووي المغنتيسي للبروتونات والفلورين في العينات السائلة والصلبة .
- 2- تحديد النسبة الجيرومغنتيسية μ لكل من البروتون والفلورين .

2- المبدأ النظري :

اكتشف العالمان بلوخ Bloch و بورسل Purcell ظاهرة التجاوب المغنتيسي النووي (NMR: Nuclear Magnetic Resonance) عام 1945 ، واليوم تُعد مطيافية (NMR) إحدى الطرق الرئيسية المهمة لدراسة المواد والتعرف عليها في الكيمياء وعلم الحياة كما تدخل بشكل أساسي في التطبيقات الطبية كالتصوير بالتجاوب المغنتيسي (MRI: Magnetic Resonance Imaging) لاكتشاف الأورام الخبيثة . توضح هذه التجربة الظاهرة والفكرة الأساسية للتجاوب المغنتيسي النووي للعينات الصلبة و السائلة .

التجاوب المغنتيسي النووي تقنية تعتمد على الخواص المغنتيسية للنوى ، فنوى الذرات التي تمتلك سبيباً نوئياً L ، يكون لها عزم مغنتيسي μ يعطى بالعلاقة :

$$\mu = -g \mu_N L \quad (1)$$

حيث :

$$\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p}$$

μ_N : المغفطون النووي ، g : النسبة الجيرومغنتيسية .

يكون في البدء لكل النوى الطاقة الوسطية (E) نفسها ، لكن عند وضع العينة ضمن حقل مغنتيسي خارجي ثابت (B_0) يصبح من الممكن توجيه العزوم المغنتيسية

للنوى μ في اتجاهات معينة مختلفة بالنسبة للحقل المغناطيسي B_0 ، ويتجه كل سبيبن بحسب مستوى الطاقة الجزئية E_K الخاصة به :

$$E_K = -g \mu_N B_0 K \quad (2)$$

$$K = -l, -l+1, \dots, +l-1, +l$$

وتتوزع السبيبنات على مستويات الطاقة حسب معادلة بولتزمان:

$$\frac{N_K}{N_{K+1}} = e^{-\frac{E_{K+1} - E_K}{kT}} \quad (3)$$

حيث :

k : ثابت بولتزمان N_K : عدد السبيبنات في المستوى K ،
أي أن تطبيق الحقل المغناطيسي يفصّل السويات الطاقية المنطبقة ، ويلاحظ أن عدد المستويات يساوي $(K = 2l + 1)$ حيث l هو مركبة سبين النواة . في الواقع ، تشير الدراسة التحريرية لتغيير العزم المغناطيسي للنوى عند تطبيق حقل مغناطيسي خارجي عليها إلى قيام العزم بمبادرة precession حول الحقل المغناطيسي بتواتر يتتناسب مع شدة الحقل يدعى تواتر لارمور ، وهو التواتر الذاتي للجملة المغناطيسية المدروسة ، ويعطى بالعلاقة :

$$\omega = \frac{e B_0}{2 m} \quad (4)$$

ويكون لمسقط العزم باتجاه الحقل قيم منفصلة وطاقات مقابلة معينة موضحة بالعلاقة (2) ويكون متوسط المسقط في المستوى العمودي على الحقل مساويا الصفر . إذا أضفنا الآن حقلًا مغناطيسيًا B_1 عالي التردد v ، بشكل معادل للحقل المغناطيسي السكוני B_0 ، تثار السبيبنات وتنتقل بين مستويات الطاقة المجاورة E_K لذلك فان شرط حدوث انتقال (شرط التجاوب) هو أن يكون جداء ثابتة بلانك h بالتواتر v مساويا تماماً للتبعاد الطaci من أجل (1) : $\Delta K = 1$:

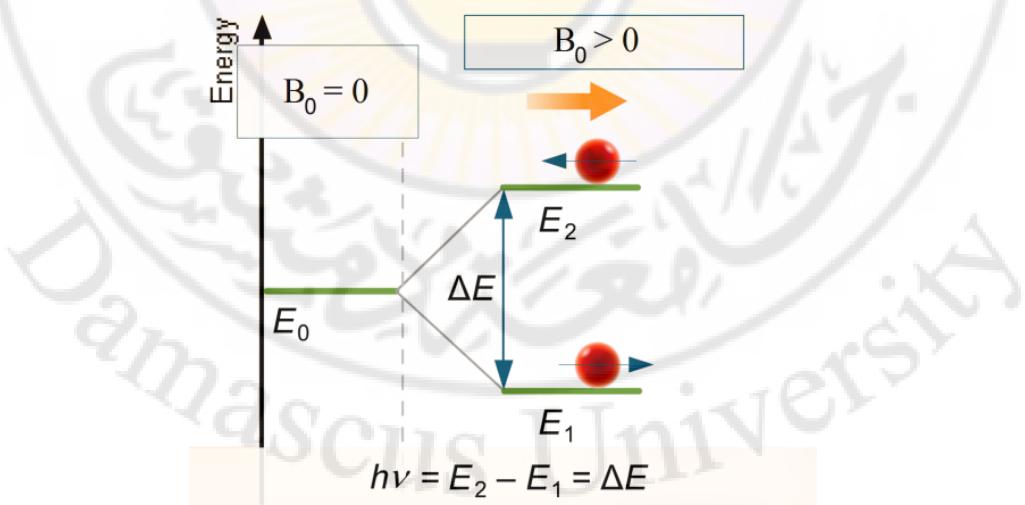
$$hv = |E_{K+1} - E_K| = g \mu_N B_0 \quad (5)$$

إذا كان السبين يساوي $\frac{1}{2}$ ، كما في حالة البروتون والذي هو نواة الهيدروجين ، أو الفلورين وهو نواة ذرة الفلور ، يكون عدد سويات الطاقة المنفصلة يساوي اثنين ، أي يكون هنالك توجهان ممكناً فقط بالنسبة للعزم المغنتيسي للنواة : باتجاه الحقل أو بعكس اتجاه الحقل (B_0) ، وتكون هنالك سويتان فقط E_1 و E_2 موضحتان في الشكل (1) . إذا طبق حقل مغنتيسي ثابت (B_0) وحقل (B_1) عمودي على الحقل الأول ، ومتغير بصورة دورية فإن هذا الحقل الجديد يغير طاقة الجملة وبالتالي ، وعندما يتتساوى التواتران الذاتي والمطبق يتحقق شرط التجاوب أي تمتض الجملة طاقة بشكل أعظمي وينعكس اتجاه المبادرة .

تشير الدراسة التحريكية إلى إمكان حدوث مثل هذه الانتقالات فيما يعرف بمعادلات بلوخ ، ففي حالة مركبتين للحقل إحداهما B_0 وفق المحور OZ مثلاً ، والأخرى B_1 وفق المحور OX مثلاً ، تمثل طاقة تفاعل العزوم مع الحقلين وبالتالي :

$$E_{\text{tot}} = - g \mu l_z B_0 - g \mu l_x B_1 \cos \omega t \quad (6)$$

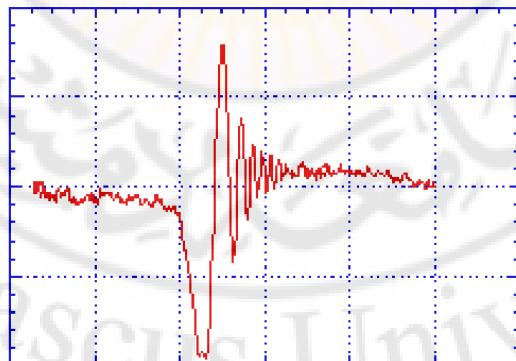
يمكن النظر إلى هذه التأثيرات من وجهاً نظر تبادل الطاقة ، على أن تطبيق الحقل



الشكل (1) : انتقال السبيّنات النوويّة بين السويّتين .

المغناطيسي B_1 لمدة زمنية نبضية يعطي جملة السبيّنات طاقة ، ولكن بسبب تفاعل هذه الجملة مع جملة اهتزازات الذرات ، أي جملة الفونونات ، تفقد هذه الطاقة بزمن استرخاء مقابل ، وهو ما يسمى بزمن استرخاء السبيّن والشبكة T_1 . بينما إذا أثيرت جملة السبيّنات ليكون لها مركبة غير معدومة في المستوى المعادم للحقل الساكن ، فإن هذه المركبة ستتعدّم عند غياب الحقل المعادم بزمن استرخاء آخر T_2 يسمى زمن استرخاء (سبيّن - سبيّن) ، وذلك لأن التأثيرات بين السبيّنات المغناطيسية والكهربائية هي المهيمنة في هذه الحالة ، وبالتالي يمكن أن تولد قوة محركة كهربائية في الاتجاه المعادم وهذا ما يكشفه المحسّس .

لكي نتمكن من دراسة انتقال السبيّن بين هذين المستويين الطاقيين ، توضع العينة في هذه التجربة ضمن وشيعة r_f موضوعة بدورها ضمن الحقل المغناطيسي الثابت B_0 والحقل المغناطيسي B_1 المتغير بتواتر ν . يتم تغيير قيمة هذا التواتر ν من أجل حقل مغناطيسي B_0 ثابت حتى نحصل على إشارة التجاوب المغناطيسي عندما يتساوى تواتر الحقل مع تواتر لارمور لجملة السبيّنات (النوى) ، وإذا أزيل الحقل المغناطيسي المتغير التواتر ، تتحامد الإشارة الناتجة عن التجاوب وفق الشكل (2) الذي يبيّن حدوث التجاوب.



الشكل (2) : شكل إشارة التجاوب على راسم الاهتزاز المهبطي .

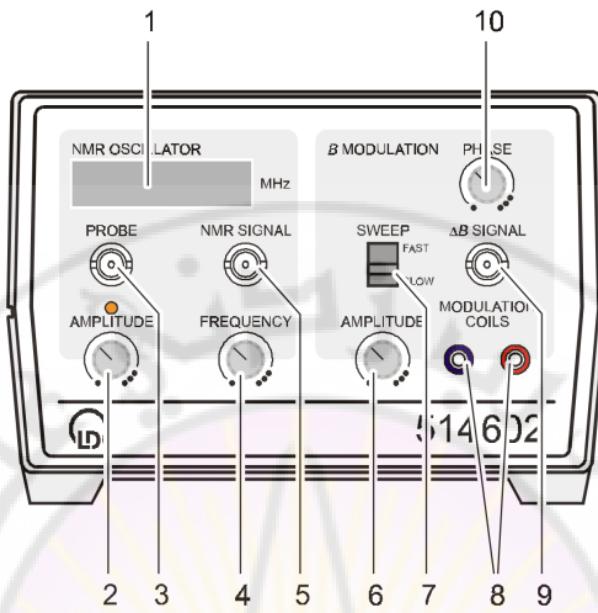
في الواقع ، يتأثر العزم المغناطيسي النووي بالحقل المحلي مكان وجوده ، أي بالحقل المغناطيسي الثابت B_0 مضافاً إليه الحقل المغناطيسي الناتج عن العزوم المجاورة ، ويظهر إضافة لذلك حد ناتج من إيجاد حلول لمعادلات بلوخ نتيجة الانتقال من الجملة الإحداثية الدوارة إلى جملة إحداثيات المختبر وبالتالي يجب كتابة حقل مغناطيسي فعال B_{eff} في المعادلة (2) مكان B_0 ، فيكون انزياح التواترات عن التواتر الأصلي مؤشراً إلى تأثير الجوار ليعطي معلومات إضافية عما يعطيه عرض خط NMR الذي يتأثر أيضاً بطبيعة العناصر المحيطة ودرجة الحرارة ، لذلك فإن تحليل ودراسة عرض الخط باعتباره تابعاً لهذه العوامل يعطي معلومات للمقارنة عن التركيب الكيميائي والفيزيائي لعناصر العينة المختلفة . يعبر العرض الكامل لنصف الشدة العظمى في بعض الأحيان وتحت بعض الشروط عن قياس زمن استرخاء (سبين-سبين) T_2 .

$$\Delta B \propto \Delta \nu \propto \frac{1}{T_2} \quad (7)$$

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

☆ - الأجهزة والأدوات التجريبية :

- منبع تيار مستمر متغير (A 0 - 5) . - نواة حديدية على شكل U .
- عينتا الغليسرين و الفلورين . - وحدة محس NMR .
- راسم اهتزاز مهبطي . - وحدة تغذية NMR .
- كابلات توصيل للراسم . - وشائع (10 A , 480 t) .



. الشكل (3) : وحدة تغذية (NMR) .

- 1: شاشة العرض .
- 2: مفتاح التحكم بسعة التوافر .
- 3: مأخذ إلى الوشيعة (rf) .
- 4: مفتاح التحكم بالتوافر .
- 5: مأخذ إشارة التجاوب المضخمة .
- 6: مفتاح التحكم بسعة الحقل المتغير .
- 7: زر اختيار سرعة المسح .
- 8: مأخذ وشائعاً للحقل المتغير .
- 9: مأخذ إشارة (ΔB) .
- 10: مفتاح التحكم بالتطور .

☆ - الإعداد التجريبي:

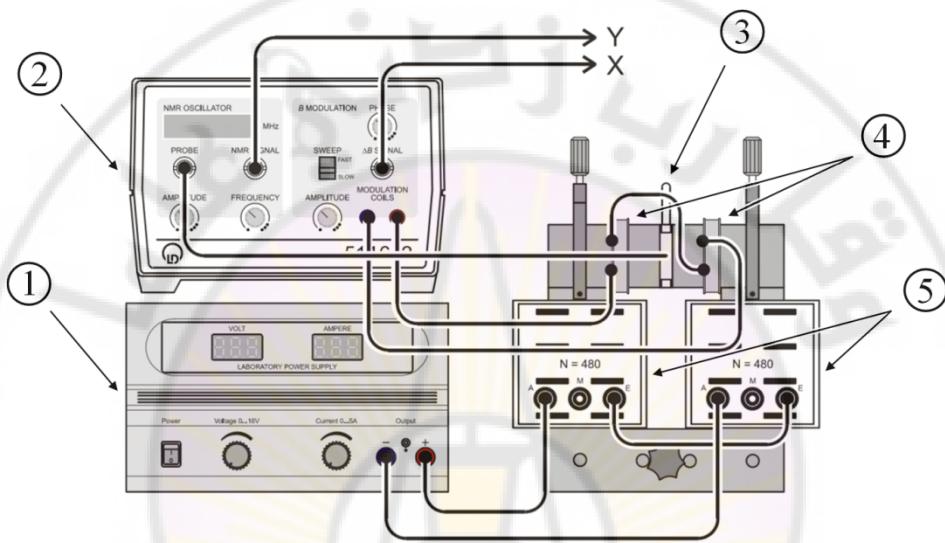
يبين الشكل (4) التوصيل العام للتجربة :

- 1 - صل منبع التيار بالوشائعاً .
- 2 - صل الوشيعتين على التسلسل مع المأخذ 8 في وحدة تغذية NMR .
- 3 - صل المجس NMR إلى المأخذ 3 .
- 4 - صل المأخذ 5 بالقناة العمودية (Y) لراسم الاهتزاز المهبطي .

5 - صل المأخذ 9 بالقناة الأفقية (X) لراسم الاهتزاز المهبطي .

6 - ضع الزر 7 على الخيار fast sweep .

7 - ضع الزر 6 على قيمة سعة كبيرة .



الشكل (4) : التوصيل العام للتجربة .

1: منبع تيار الوشائع ، 2: وحدة NMR ، 3: العينة المدروسة

4: وشيعتان لتوليد الحقل B_1 ، 5: وشيعتان لتوليد الحقل B_0 .

★ - ملاحظات مهمة :

1 - لا تترع عينة الغليسرين من مكانها إلا للضرورة .

2 - انتبه إلى عدم تجاوز التيار الذي يعطيه منبع تيار الوشائع (5 A) .

★ - الإجراء التجريبي :

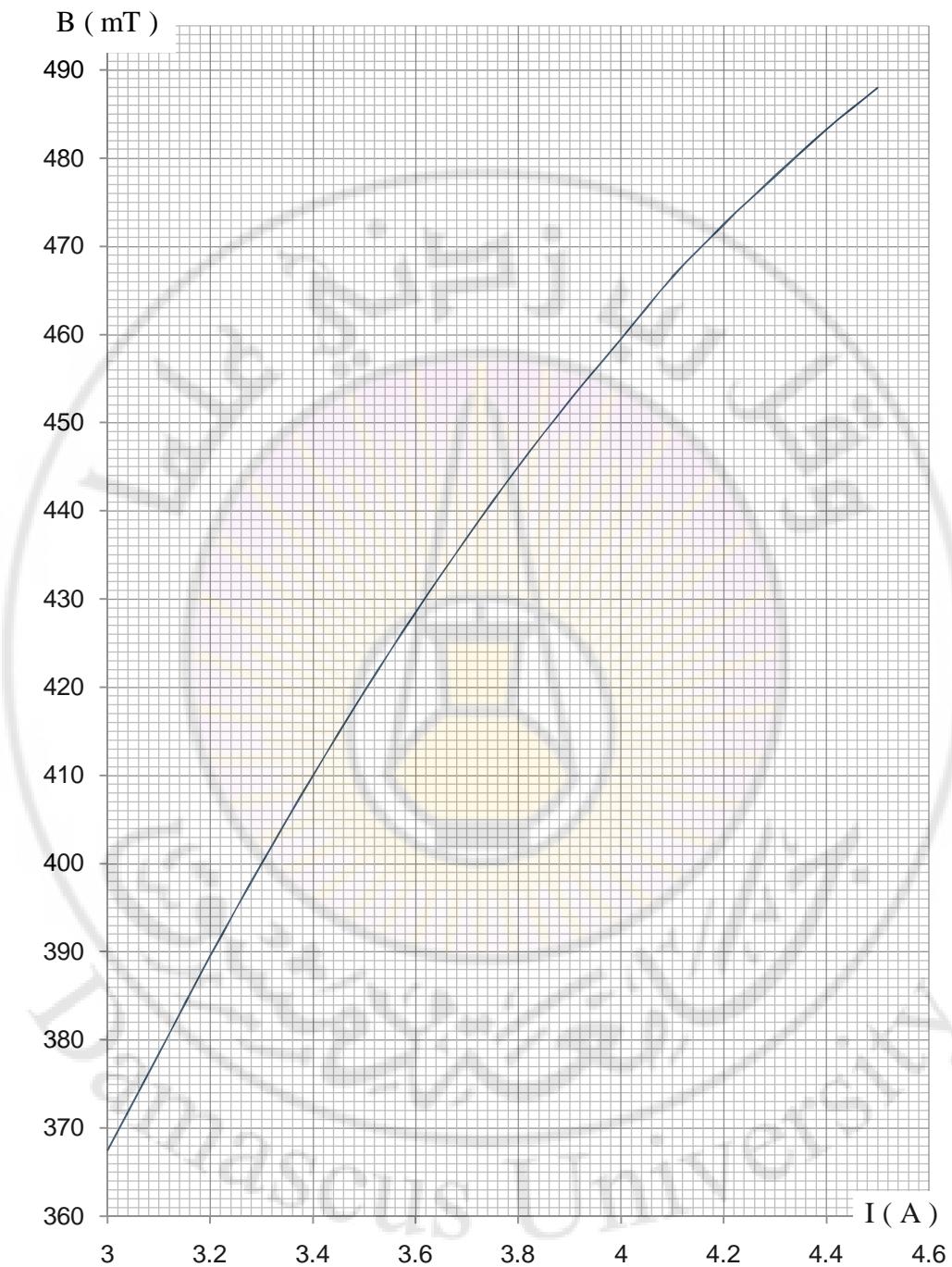
- 1 - شغل الأجهزة ، واصبِط إعدادات راسم الاهتزاز المهبطي بشكل مناسب لإظهار إشارة التجاوب .
- 2 - ثبت قيمة التواتر على قيمة قريبة من (18.4 MHz) وتأكد من إضاءة المؤشر الواقع فوق المفتاح (2) في منبع تغذية NMR ، وإن لم يكن المؤشر مضيئاً ، حرك المفتاح (2) مع عقارب الساعة حتى يضيء .
- 3 - زد تيار الوشائع ببطء وابحث عن إشارة التجاوب بجوار القيمة (3.60 A) .
- 4 - سجل قيمة تيار الوشائع وتواتر الحقل المغنتيسي عند ظهور إشارة التجاوب ، مكتفياً بالعدد المناسب من الأرقام بعد الفاصلة .
- 5 - قم بزيادة التواتر إلى القيمة (18.5 MHz) ، وابحث من جديد على إشارة التجاوب ، ثم سجل قيمة التيار والتواتر المقابلة .
- 6 - أعد البحث وتسجيل القياس من أجل 5 تواترات أخرى على الأقل .
- 7 - قم بإيجاد قيم الحقل المغنتيسي الساكن المطبق (B_0) من خلال عملية الاستقراء من منحني المعايرة الخاص بالتجربة ، والموضح بالشكل (5) .
- 8 - أعد التجربة مرتين على الأقل ، ثم رتب نتائجك في جدول كالتالي :

Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
I (A)	B (T)	v (Mhz)	I (A)	B (T)	v (Mhz)	I (A)	B (T)	v (Mhz)

9 - ارسم على ورق مليمترى تغيرات (B_0) بدلالة (ν) من أجل سلاسل قياساتك الثلاث ، واستنتج من كل منحنى بياني قيمة النسبة الجيرومغنتيسية g مستقىدا من العلاقة (4) ، وقدر الارتباط فيها من خلال مجال الحقل المغنتيسى الذى تبقى فيه إشارة التجاوب واضحة .

4- تقييم العمل التجريبى:

- 1 - ما هو تفسير ثبات إشارة التجاوب على مجال للحقل المغنتيسى (أو مجال من التواترات في حال تثبيت الحقل المغنتيسى) ، مع أن شرط التجاوب يتحقق فقط من أجل قيمة محددة ؟
- 2 - هل وجدت إعادة القياسات متطابقة أم تغيرت ؟ ناقش أسباب التغير إن وجد .
- 3 - هل يصلح إجراء تجربة التجاوب المغنتيسى النووي على أي مادة دون استثناء ؟



الشكل (5) : منحني تغيرات الحقل المغناطيسي B_0 بدلالة تيار الوشائع .

5 - الكلمات المرجعية :

- Demonstration	توضيح - إثبات
- Gyroscope	جيروسکوب
- HF : High Frequency	تردد عالٍ
- Larmor Frequency	توانتر لارمور
- Magnetic Momentum	عزم مغناطيسي
- Phenomena	ظاهرة
- Precession	مبادرة
- Relaxation Time	زمن الاسترخاء
- Resonance	تجاوب
- Resonance Frequency	توانتر التجاوب
- Resonance Sign	إشارة تجاوب
- Sensor	مجس
- Spectroscopy	مطيافية
- Spin	سبين

6 - المراجع :

- 1- المرجع 2 - الفصل الثالث عشر .
- 2- النشرة التجريبية (P6.5.3.1) من شركة ليبولد " Leybold didactic "



التجربة 18 :

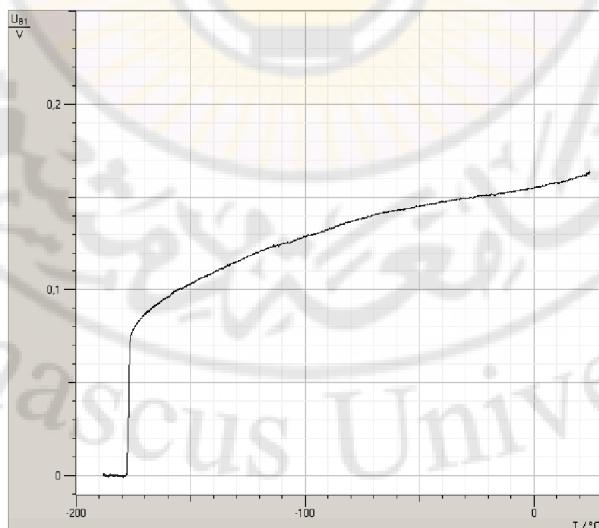
الناقلية الفائقة

1- الغاية من التجربة :

- 1- تحديد درجة الحرارة الحرجة (T_C) لناقل فائق .
- 2- التعرف على ظاهرة مايسنر .

2- المبدأ النظري :

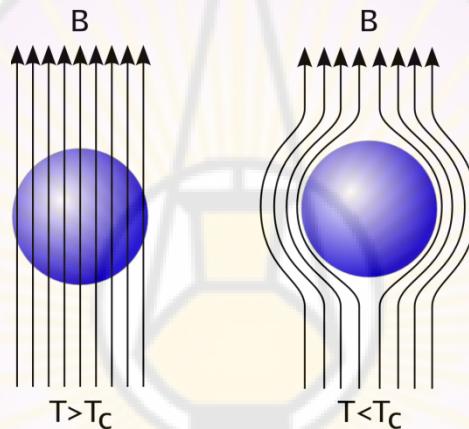
تهبط المقاومة الكهربائية لعدد من المعادن والخليط فجأة إلى الصفر حين تبرد إلى درجة حرارة منخفضة بشكل كافٍ . كان العالم الهولندي أونس ، وبعد ثلات سنوات فقط من تمكنه من إسالة الهيليوم ، أول من اكتشف هذه الظاهرة عام 1911 حين برد الزئبق إلى درجة حرارة الهيليوم السائل (4.19 K) ، فوجد أن مقاومته الكهربائية انخفضت فجأة إلى الصفر ، فاستنتج أن الزئبق قد انتقل إلى حالة جديدة دعاها بطور الناقلية الفائقة ، كما أطلق على درجة حرارة الانتقال بدرجة الحرارة الحرجة T_C .



الشكل (1) : تغير مقاومة الناقل الفائق باعتبارها تابعاً لدرجة الحرارة .

فيما بعد وُجِدَ تحول مشابه للقصدير والرصاص ، وتالت الاكتشافات لتحولات مماثلة في مواد أخرى وبدرجات حرارة مختلفة ، وبذلك بدأت فيزياء درجات الحرارة القرّية (المنخفضة) . Cryogenics

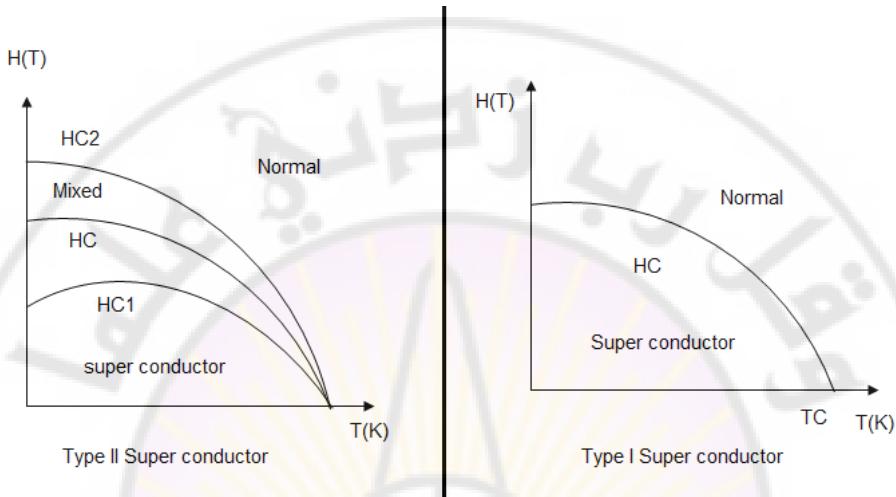
بعد ذلك وفي العام 1933 لاحظ مايسنر Meissner أنه بمجرد أن تنخفض درجة حرارة المادة التي تتمتع بالناقلية الفائقة والموضوعة في حقل مغناطيسي إلى الدرجة (T_C) فإن خطوط الحقل تُطرد كلياً وفجأة من العينة ، كما بين مايسنر أن هذا الأثر عكوس ، بمعنى أنه حين ترتفع درجة الحرارة فوق (T_C) يعود التدفق المغناطيسي فجأة ليخترق العينة ، وتعرف هذه الحادثة باسم أثر مايسنر (شكل 2) .



الشكل (2) : أثر مايسنر .

لقد وجد أيضاً أن تطبيق حقل مغناطيسي قوي يؤدي إلى عودة الناقلة إلى حالتها العادية واستعادتها لمقاومتها حتى في درجات الحرارة الأخفض من T_C ، وهذه القيمة الحرجة أو الحرجة للحقل المغناطيسي لتخريب طور الناقلة الفائقة تدعى بالحقل الحرّج ويرمز لها بـ (H_C) ، وقيمتها تعتمد على درجة الحرارة (T) ، $H_C(T)$ ، إلا أنه وجدت نوافل فائقة تحتوي مناطق بعضها ناقل فائق وآخر عادي بمعنى أن العينة تدخل ضمن الحالة المختلطة ، وذلك من أجل قيمة أولى للحقل المغناطيسي (H_{C1}) ، مع بقاء مقاومتها الكهربائية معروفة ، وإذا ازداد الحقل متزاوجاً قيمة

معينة يرمز لها بـ (H_{C2}) فإن العينة تعود إلى حالة الناقل العادي ، شكل (3) وسميت هذه النواقف الفائقة من النوع الثاني لتمييزها عن النوع الأول منها .



الشكل (3) : النواقف الفائقة من النوع الأول على اليمين والنوع الثاني على اليسار .

يفسر انعدام الحقل الداخلي بوجود تيارات سطحية على الناقل الفائق ، وإذا أزيل الحقل المغناطيسي فإن هذه التيارات السطحية تختفي ، وتدعى هذه التيارات بتيارات الإعاقة وتحسب من العلاقة :

$$J_A = n \times (H - H_i) \quad (1)$$

حيث :

H : الحقل المغناطيسي خارج الجسم ، μ_0 : ثابت النفاذية المغناطيسية في الخلاء
 H_i : الحقل المباشر داخل السطح ، n : الناظم على السطح .

إذا كان الحقل داخل السطح معديداً فإن :

$$J_A = n \times H \quad (2)$$

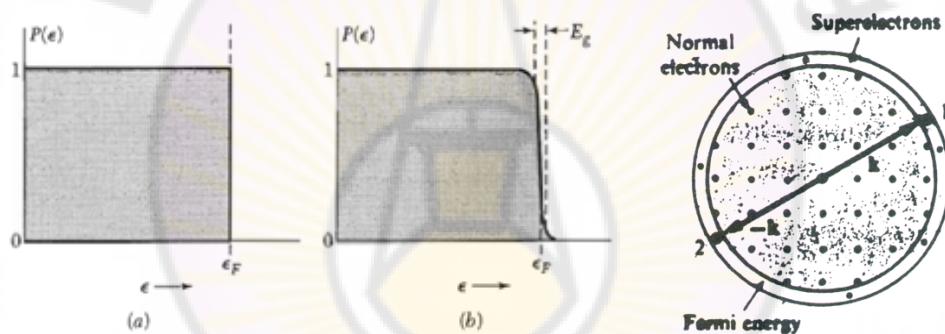
وهي علاقة صحيحة حتى في النواقف الفائقة العادية الجيدة .

كان الفيزيائيون يعتقدون أن ظهور طور الناقلة فوق الدرجة K 30 هو أمر غير ممكن ، وذلك حتى العام 1986 عندما اكتشف العالمان بيندز Bednerz و مولر Muller مركباً جديداً مكوناً من خليط لأكسيد النحاس والباريوم واللانتانيوم LaBaCuO ، والذي يتمتع بدرجة حرارة حرجة تبلغ (K 35) ، وبعدها بسنة اكتشفا مركب الإيباكو YBaCaO ، الذي بلغت درجة حرارته الحرجة (K 92) فحصلما بذلك على جائزة نobel ، ومنذ ذلك الحين وجد العديد من النواقل الفائقية ذات درجة حرارة حرجة T_c عالية التي يمكن تبريدها باستخدام الأزوت (النتروجين) السائل . بالطبع ، من المفيد جداً من الناحية العملية إيجاد مواد ناقلة ذات درجة حرارة حرجة عالية قريبة من درجة حرارة الغرفة ، إلا أن الجهد المبذولة في هذا السبيل لم تثمر حتى الآن (سوى نظرياً) .
إن أعلى درجة حرارة حرجة تم التوصل إليها حتى الآن هي (K 133) وهي تحدث في المركب ($HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$) .

تفسير الناقلة الفائقة :

فسرت النواقل الفائقة بنظرية باردين - كوبر - شريفير (BCS) التي استندت على مفاهيم مقدمة في الميكانيك الكوانطي ، ولكن يمكن إيجازها كالتالي :
كما هو معلوم تكون سوية فيرمي في درجة الصفر المطلق أعلى سوية مملوءة بالإلكترونات ، لنتعتبر معدناً إلكترونات الناقلة فيه نقع ضمن كرة فيرمي بالقرب من الصفر المطلق ، ولننظر إلى الإلكترونين من هذه الإلكترونات . إن حركة أحدهما ستؤدي إلى اضطراب في أيونات البلورة الموجبة ، أي إلى نشوء فونون ينتشر في البلورة فيتأثر الإلكترون الثاني بالأول لدى امتصاصه لهذا الفونون . بين كوبر أنه من أجل زوج من الإلكترونات فوق سطح فيرمي تماماً يمكن أن تنشأ حالة ترابط إذا أدى تبادل الفونون بين هذين الإلكترونين إلى تأثير متبادل جاذب ، وعلى هذا الأساس من الممكن حدوث تكافل للإلكترونات بشكل أزواج متراقبة ، وأمكن

عندما معاملة أزواج الإلكترونات معاملة بوزونات ، وسميت هذه الأزواج بـأزواج كوبير . إن طاقة الترابط بين هذين الإلكترونين تساوي فاصل طاقة يقع فوق سوية فيرمي مباشرة وتمثل الفرق بين طاقة زوج كوبير وطاقة الإلكترون المفرد ، ويفسر إذن اختفاء الناقلة الفائقة من أجل درجة حرارة أعلى من (T_C) بأن الحركة الحرارية للإلكترونات تزداد مما يسبب تحطم التزاوج القائم بين أزواج كوبير معيدياً إياها إلى حالة الإلكترونات عادية تتنافر فيما بينها ، وقد فسرت هذه النظرية وتطوراتها خواص النواقل الفائقة ذات درجات الحرارة الحرجة المنخفضة ، لكنها فشلت في تفسير النواقل الفائقة ذات درجات الحرارة الحرجة العالية لكبر الطاقة الحرارية المقابلة لها ، ولا يزال تفسيرها قيد الدراسة .



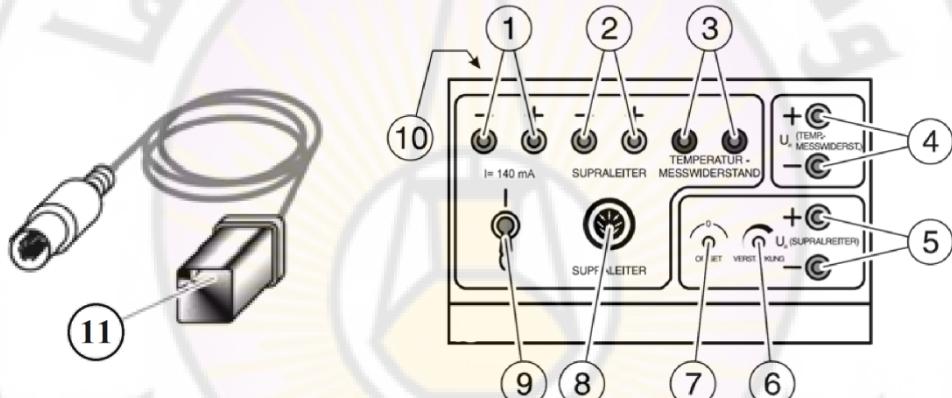
الشكل (4) : سوية فيرمي وكرة فيرمي بالقرب من الصفر المطلق .

في هذه التجربة سنحدد درجة الحرارة الحرجة لناقل فائق ذي درجة حرارة حرجة عالية ، حيث نقوم بتبريد المادة باستخدام النتروجين السائل ، ونقوم بدراسة تغير مقاومتها بدلالة درجة الحرارة ، أما في الجزء الثاني نراقب أثر مايسنر على عينة $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ بوضع قطعة مغناطيسية على العينة ، ومن ثم تبریدها إلى درجة حرارة أقل من الدرجة الحرجة لها ، فتصبح ناقلاً فائقاً فتطرد الحقل المغناطيسي للمغناطيس المستمر المستخدم .

3- أدوات القياس و طرائق العمل :

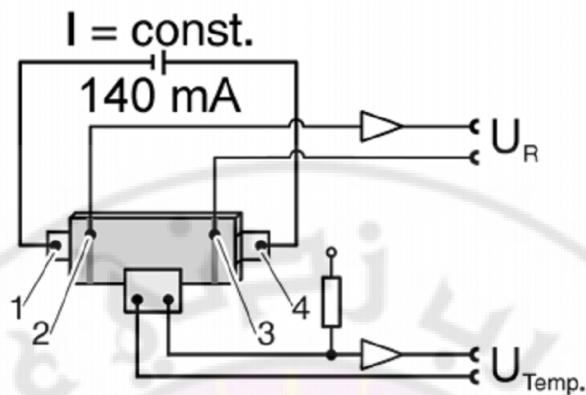
☆ - الأجهزة و الأدوات التجريبية :

- عينة الناقل الفائق في حافظة المنيوم مع سلك وقبس DIN .
- ديوار لاحتواء الآزوت السائل والعينة .
- محول البيانات (205 666) .
- حاسب مع برنامج Cassy Lab .
- قطعة مغناطيسي صغيرة مع ماسك .
- وحدة الكاسي .
- وعاء من البولي - ايتيلين .



الشكل (3) : محول البيانات (205 666) .

- 1: منبع تغذية بتيار ثابت ، 2: مدخل قياس الكمون (إذا كان الناقل الفائق خارجيًّا)
- 3: مدخل مجس درجة الحرارة (إذا كان الناقل الفائق خارجيًّا)
- 4: مخرج قياس درجة الحرارة ، 5: مخرج قياس فرق الكمون
- 6: مفتاح لضبط معامل التضخيم ، 7: ضبط التصفيير ، 8: مدخل لقبس (DIN) .
- 9: زر التشغيل ، 10: مدخل التغذية لمحول البيانات ، 11 : العينة الناقلة مع حافظة



الشكل (4) : المخطط التفصيلي لعمل محول البيانات : يتم تطبيق تيار ثابت بين نقطتين (1 و 4) وتحخذ قيمة فرق الكمون بين النقطتين (2 و 3) .

☆ - ملاحظات مهمة :

- 1 - النتروجين السائل شديد الخطورة ، وفي حال تلامسه أو تلامسه أي قطعة مبردة به مع الجلد يتسبب بحرق شديدة ، لذا كن حذرا عند التعامل معه ، ولا تقم بتحريك الأوعية الحاوية على الآزوت السائل إلا بحذر شديد .
- 2 - الآزوت السائل سريع التبخر ، لذلك يجب حفظه في الأوعية الخاصة به أو في أوعية من البوليستر أو الفلين ، ويجب ألا يغلق عليه بإحكام إلا في العبوات الخاصة المصنوعة لذلك ، وإلا سيتسبّب ذلك بانفجار العبوة وحدوث أضرار بالغة .
- 3 - إن الوعاء الداخلي للديوار يمكن أن ينفجر نحو الداخل عند ملئه بالنتروجين السائل بشكل فجائي ، لذا كن حذرا عند التعامل معه .
- 4 - لا تقم بتجارب غير مسؤولة باستخدام الآزوت السائل ، تقادياً للإضرار بأكواب ملائكة .

☆ - الإعداد التجريبي:

- 1 - صل قابس العينة (11) شكل (3) بالمدخل (8).
- 2 - صل مخرج قياس درجة الحرارة (4) بالمدخل (A) Input في وحدة الكاسي.
- 3 - صل مخرج قياس فرق الكمون (5) بالمدخل (B) Input في وحدة الكاسي.

☆ - الإجراء التجريبي:

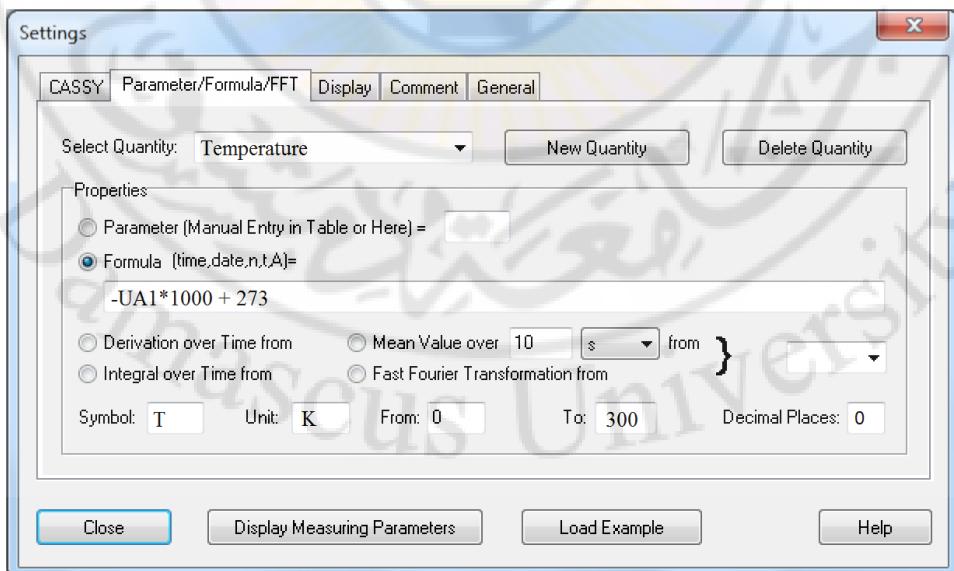
- 1 - تأكد من التوصيل ثم شغل محول البيانات.
- 2 - شغل برنامج الكاسي من أيقونته على سطح المكتب ، واضبط الإعدادات التالية :
- 3 - انقر بالزر الأيسر الماوس على (A) Input واختر :

Quantity: current U_{A1} , Meas. Range: -0.3 .. +0.3 V

- 4 - انقر بالزر الأيسر الماوس على (B) Input واختر :

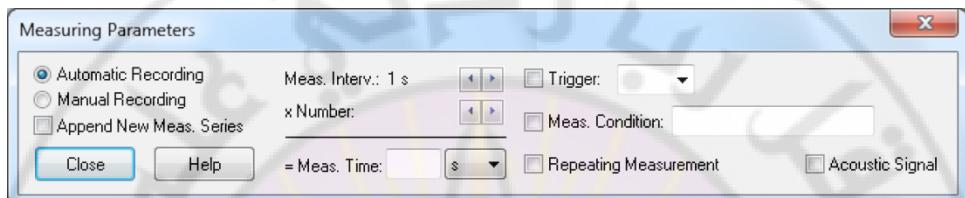
Quantity: voltage U_{B1} , Meas. Range: -0.3 V .. +0.3 V

- 5 - لتعريف درجة الحرارة المطلقة انتقل إلى علامة التبويب Parameter/FFT ثم اضغط على (New Quantity) ، وأدخل المعطيات كما في الشكل التالي :



6 - انتقل إلى علامة التبويب Display واختر على المحور X تمثيل درجة الحرارة T ثم اختر على المحور Y تمثيل الكمون U_{B1} .

7 - انتقل إلى النافذة الفرعية Measuring Parameters ، واختر تسجيل القيم بشكل تلقائي كل ثانية ، وذلك بتفعيل الخيار Automatic Recording ، وضبط الإعدادات الموضحة في الشكل التالي ، ثم عد إلى النافذة الأساسية.



8 - اسكب بعناية كبيرة وبطء شديد كمية كافية من الأزوت السائل (حوالي 250 mL) في الديوار المخصص لذلك .

9 - ضع العينة الناقلة في الأزوت السائل ببطء بحيث تكون مغمورة بالكامل ، وابداً فوراً عملية القياس بالضغط على زر تسجيل القيم (F9) أو بالضغط على

10 - تأكد من تغطية الديوار بشكل جزئي للحفظ على الأزوت قدر الإمكان .

11 - راقب منحني تغير الكمون بدلالة درجة الحرارة ، وأوقف القياس عند وصول درجة الحرارة إلى القيمة (K 85) تقريباً . ذلك سيستغرق 10 دقائق تقريباً .

12 - حدد من الرسم القيمة الأولى لدرجة الحرارة الحرجة للناقل الفائق ، وقدر الارتباط فيها .

13 - أخرج الناقل الفائق بحذر وضعه في وعاء البولي-إيتيلين حتى يعود لدرجة الحرارة العادية ، وقم بتكرار عملية القياس لكن هنا بالتسخين وليس بالتبريد .

14 - حدد من الرسم القيمة الثانية لدرجة الحرارة الحرجة للناقل الفائق ، هل حصلت على نتيجة مطابقة ؟

ثانياً : التعرف على أثر مايسنر :

- 1 - ضع عينة $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ في قاع وعاء البولي- ايتيلين .
- 2 - ضع مغناطيساً صغيراً على العينة .
- 3 - قم بتبريد العينة إلى درجة حرارة أخفض من درجة الحرارة الحرجية لها (والتي تفوق الدرجة K 133) وذلك بسكب القليل من الأزوت السائل عليها .
- 4 - لاحظ ماذا يحدث . ما هو تفسير ذلك ؟
- 5 - استمر في مراقبة العينة حتى تbxr الأزوت ، ماذا حدث ؟ وما هو تفسير ذلك ؟

4- تقييم العمل التجريبي:

- 1 - هل كل المواد الناقلة كهربائياً تتمتع بخاصة الناقلة الفائقة ؟
 - 2 - ابحث عن أهم تطبيقات الناقلة الفائقة .
-

5 - الكلمات المرجعية :

- Bosons	بوزونات	-
- Critical Field	حقل حرج	-
- Critical Temperature	درجة حرارة حرجة	-
- Coupling	تزاوج	-
- Dewar	ديوار	-
- Fermions	فرميونات	-
- Liquefying	إسالة	-
- Meisner Effect	أثر مايسنر	-
- Pairs of electrons	أزواج الإلكترونات	-
- Repulsion	تنافر	-
- Superconductivity	ناقلية فائقة	-
- Superconductor	ناقل فائق	-
- Transition Temperature	درجة حرارة الانتقال	-
- Voltage Drop	هبوط الكمون	-

6 - المراجع :

- 1 - المرجع 2 - الفصل العاشر .
- 2 - المرجع 9 .

3 - النشرة : Faten Alfeel,Fakhri katot,2003, master thesis
I_C و "Preparing of superconductor sample and measuring It's T_C
و H_C", Damascus university-physics department.



1 - الثوابت الفيزيائية في الجملة الدولية :

الوحدة الدولية	القيمة العددية	الرمز	الكمية الفيزيائية
m.s^{-1}	299 792 458	c, c_0	سرعة الضوء في الخلاء
N.A^{-2}	$4\pi \times 10^{-7}$	μ_0	النفوذية المغناطيسية
F.m^{-1}	$8.854\ 19 \times 10^{-12}$	ϵ_0	العازلية الكهربائية
$\text{m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2}$	$6.674\ 29 \times 10^{-11}$	G	ثابت التجاذب الكوني
J.s	$6.626\ 07 \times 10^{-34}$	h	ثابت بلانك
J.s	$1.054\ 57 \times 10^{-34}$	\hbar	ثابتة بلانك المشطوبة
C	$1.602\ 18 \times 10^{-19}$	e	شحنة الإلكترون
kg	$9.109\ 38 \times 10^{-31}$	m_e	كتلة الإلكترون السكونية
kg	$1.672\ 62 \times 10^{-27}$	m_p	كتلة البروتون السكونية
kg	$1.674\ 93 \times 10^{-27}$	m_n	كتلة النترون السكونية
kg	$1.660\ 54 \times 10^{-27}$	amu	وحدة الكتل الذرية
-	$7.297\ 35 \times 10^{-3}$	α	ثابت البنية الدقيقة
m^{-1}	10973731.5685	R_∞	ثابت ريدبيرغ
mol^{-1}	$6.022\ 14 \times 10^{23}$	N_A	عدد أفراكادرو
$\text{J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$	8.31447	R	ثابت الغازات العام
J.K^{-1}	$1.380\ 65 \times 10^{-23}$	k	ثابت بولتزمان
J.T^{-1}	$9.274\ 01 \times 10^{-24}$	μ_B	مغنتون بور
J.T^{-1}	$5.050\ 78 \times 10^{-27}$	μ_N	المغنتون النووي
$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$	$5.670\ 40 \times 10^{-8}$	σ	ثابت ستيفان بولتزمان
m	$0.529\ 18 \times 10^{-10}$	a_0	نصف قطر بور

2 - بعض الخصائص الفيزيائية لعناصر الجدول الدوري :

H 6.12 3.75	He 5.83 3.57
Li bcc 3.491 2.27 3.59	Be hep 4.225 3.21
Na bcc 4.225	Mg hep 5.21
K bcc 5.225 5.58	Ca fcc 2.95 3.31
Rb bcc 5.585 6.08	Sr Y* hep 3.65 3.23
Cs bcc 6.045 5.02	Ba La** hex 3.77 3.19
Fr	Ra Ac 5.31
*Ce fcc 5.16 3.67	Pr hex 3.66
**Th fcc 5.08 3.92	U tetra complex 3.24
Pm complex	Nd hex
Sm complex	Eu bcc
Gd hep	Tb hep
Dy hep	Ho hep
Er hep	Tm hep
Yb fcc	Lu hep
B rhomb	C diamond
Al fcc	N cubic
P diamond	O complex
Cl complex	F
Ar fcc	Ne fcc
Si complex	4.46
P complex	5.31
Ga complex	Ge diamond
Zn hep	Ni fcc
In complex	Cu hep
Sn diamond	Zn hep
Sb rhomb	Ge diamond
Te hex	As rhomb
I complex	Se hex
Xe hex	Br complex
Po sc	Kr hex
At	5.64
Rn	6.13
Tl hep	Se hex
Pb rhomb	Br complex
Bi fcc	Kr hex
Pt fcc	5.56
Au rhomb	Lu hep
Hg hep	5.48
Tl hep	3.54
Pb rhomb	3.50
Bi fcc	5.55
Po sc	LW
At	
Rn	

H
0.088

He
0.205

Li	Be						
0.542	1.82						
4.700	12.0						

Na	Mg						
1.013	1.74						
2.652	4.30						

K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
0.910	1.53	2.99	4.51	6.09	7.19	7.47	7.87	8.9	8.91	8.93	7.13	5.91	5.32	5.77	4.81	4.05	3.09
1.402	2.30	4.27	5.66	7.22	8.33	8.18	8.50	8.97	9.14	8.45	6.55	5.10	4.42	4.65	3.67	2.36	2.17
4.525	3.95	3.25	2.89	2.62	2.50	2.24	2.48	2.50	2.49	2.56	2.66	2.44	2.45	3.16	3.32	4.00	

Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
1.629	2.58	4.48	6.51	8.58	10.22	11.50	12.36	12.42	12.00	10.50	8.65	7.29	5.76	6.69	6.25	4.95	3.78
1.148	1.78	3.02	4.29	5.56	6.42	7.04	7.36	7.26	6.80	5.85	4.64	3.83	2.91	3.31	2.94	2.36	1.64
4.837	4.30	3.55	3.17	2.86	2.72	2.71	2.65	2.96	2.75	2.89	2.98	3.25	2.81	2.91	2.86	3.54	4.34

Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
1.997	3.59	6.17	13.20	16.66	19.25	21.03	22.58	22.55	21.47	19.28	14.26	11.87	11.34	9.80	9.31	2.67	
0.905	1.60	2.70	4.52	5.55	6.30	6.80	7.14	7.06	6.62	5.90	4.26	3.50	3.30	2.82	2.67		
5.235	4.35	3.73	3.13	2.86	2.74	2.68	2.71	2.77	2.88	3.01	3.46	3.50	3.07	3.34			

Fr	Ra	Ac**															
		10.07															
		2.66															

*Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
6.77	6.78	7.00		7.54	5.25	7.89	8.27	8.53	8.80	9.04	9.32	6.97	9.84				
2.91	2.92	2.93		3.03	2.04	3.02	3.22	3.17	3.22	3.26	3.32	3.02	3.39				
3.65	3.63	3.66		3.59	3.96	3.58	3.52	3.51	3.49	3.47	3.54	3.88	3.43				

**Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw				
11.72	15.37	19.05	20.45	19.81	11.87												
3.04	4.01	4.80	5.20	4.26	2.96												
3.60	3.21	2.75	2.62	3.1	3.61												

x 10³ kg . m⁻³ - بـ الكثافة مقدرة	x 10²⁸ m⁻³ - بـ تركيز الذرات مقدرة	المسافة مع أقرب ذرة مجذورة بالانتعاش	م
--	---	---	----------

H
-0.00223
-259.2 tp

He
-0.00105
-268.93

Li
3.37
180.50

Be
-23.28
1287

C
-14
4489 tp

N
-0.01251
1.90772

O
-210.0
-218.79

F
-0.00772
-219.7 tp

Ne
-0.00369
-248.6 tp

B
-21.4
2075

Dy
46603
48284.5

Ho
34178.8
18548.8

Tm
38.8
11.8

Yb
38.8
11.8

Lu
824
1663

1342
2471
97.794

Na
Mg
6.2

97.794
650
1090

$\times 10^{-6}$ درجة حرارة الانصهار بالسيليكون درجة حرارة الغليان بالسيلزيريوس

882.94
1090
2519

K
Ca
21.39

Sc
Ti
383.7

V
Cr
9.3.87

Mn
Fe
-

Co
Ni
-9.63

Cu
Zn
-15.8

Ga
Ge
-17.7

Sc
Ge
-22.3

63.5
842
1541

759
1484
2836

688
1382
3345

3.98
-6.58
777

39.30
1522
1854.7

-5.26
39.66
727

27
696
1050

1471.6
2808.7
3364.8

799
931
1016

Al
Si
21.1

P _w
S
-182.953

Cl
Ar
-188.12

Bk
Cf
2567

Es
Fm
2700

Lu
No
1196

Lr
3402
1627

H**He****Li****Be****B****C****N****O****F****Ne****2.9****4.98****4.45****5.0****3.02****9.47****3.7****8.53****3.02****2.75****3.66****2.75****4.33****4.05****4.88****4.48****9.47****x 10⁻⁸Ω.m (298 K)****المقاو
مبيّة عند الدرجة****المقاو
مبيّة عند الدرجة****الناتج المعمل بـ (eV)****.****B****C****N****O****F****Ne****Al****Si****P****S****Cl****Ar****2.417****2.709****K****Ca****Sc****Ti****V****Cr****Mn****Fe****Co****Ni****Cu****Zn****Ga****Ge****As****Se****Br****Kr****2.30****2.87****3.4****4.33****4.5****4.1****4.5****5.0****5.15****4.51****4.33****4.15****5.0****4.77****5.9****6.49****3.11****3.9****18.1****11.8****143****8.57****5.6****6.16****1.543****5.46****13.6****7.39****3.42****56.2****20.1****12.6****144****9.87****7.12****1.712****6.01****Rb****Sr****Y****Zr****Nb****Mo****Tc****Ru****Rh****Pd****Ag****Cd****In****Sn****Sb****Te****I****Xe****2.16****2.59****3.1****4.05****4.3****4.6****4.9****4.71****4.98****5.12****4.26****4.22****4.12****4.42****4.55****4.95****11.5****3.9****11.5****13.1****13.4****59.6****42.9****15.2****38.8****5.47****7.1****4.3****9.78****1.467****6.8****8****10.73****1.617****1.617****Cs****Ba****La*****Hf****Ta****W****Re****Os****Ir****Pt****Au****Hg****Tl****Pb****Bi****Po****At****Rn****2.14****2.7****2.96****3.9****4.25****4.55****4.87****4.83****5.27****5.65****5.1****4.49****3.84****4.25****4.22****5.0****40****18.7****30.2****30.4****20.8****34****61.5****33.7****13.4****5.39****10.7****2.255****96.1****21.1**

3- بعض المقادير الفيزيائية المشتقة مع وحداتها ، وما يعادلها بالوحدات الأساسية :

المقدار الفيزيائي	الرمز الشائع	الوحدة الدولية	نماذج الوحدات الأساسية
التوتر	f	Hz	s^{-1}
القوة	F	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
الضغط	p	$Pa , N \cdot m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
الطاقة	E	$J , N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
الاستطاعة	P	$W , J \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
الشحنة	q	C	$s \cdot A$
الكمون	U	$V , W \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
السعة الكهربائية	C	$F , C \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
المقاومة الكهربائية	R	$\Omega , V \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
النقاولة الكهربائية	σ	$S , A \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
التدفق المغناطيسي	Φ	$Wb , V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
شدة حقل التحرير المغناطيسي	B	$T , Wb \cdot m^{-2}$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
التحريرية	L	$H , Wb \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
شدة الإضاءة	P	$lm , cd \cdot sr$	cd
الإنارة	J	$lx , lm \cdot m^{-2}$	$m^{-2} \cdot cd$
النشاط الإشعاعي	A	Bq	s^{-1}
المساحة	s	m^2	m^2
الحجم	V	m^3	m^3

المقدار الفيزيائي	الرمز الشائع	الوحدة الدولية	قابل بالوحدات الأساسية
السرعة	ϑ	$m.s^{-1}$	$m.s^{-1}$
التسارع	a	$m.s^{-2}$	$m.s^{-2}$
السرعة الزاوية	ω	$rad.s^{-1}$	s^{-1}
الاندفاع	P	$N.s$	$m.kg.s^{-1}$
الاندفاع الزاوي	L	$N.m.s$	$m^2.kg.s^{-1}$
العزم	Γ	$N.m$	$m^2.kg.s^{-2}$
العدد الموجي	K	m^{-1}	m^{-1}
الكثافة	ρ	$kg.m^{-3}$	$kg.m^{-3}$
الفعل	S	$J.s$	$m^2.kg.s^{-1}$
السعنة الحرارية	Q	$J.k^{-1}$	$m^2.kg.s^{-2}.K^{-1}$
كثافة الطاقة	U	$J.m^{-3}$	$m^{-1}.kg.s^{-2}$
التوتر السطحي	γ	$N.m^{-1}$	$kg.s^{-2}$
كثافة التدفق الإشعاعي	Φ	$W.m^{-2}$	$kg.s^{-3}$
النافقية الحرارية	κ	$W.m^{-1}.k^{-1}$	$m.kg.s^{-3}.K^{-1}$
كثافة التيار الكهربائي	J	$A.m^{-2}$	$A.m^{-2}$
العزلية الكهربائية	ϵ	$F.m^{-1}$	$m^{-3}.kg^{-1}.s^4.A^2$
النفوذية المغناطيسية	μ	$H.m^{-1}$	$m.kg.s^{-2}.A^{-2}$
شدة الحقل الكهربائي	E	$V.m^{-1}$	$m.kg.s^{-3}.A^{-1}$
شدة الحقل المغناطيسى	H	$A.m^{-1}$	$A.m^{-1}$
المقاومية	ρ	$\Omega.m$	$m^3.kg.s^{-3}.A^{-2}$



كتاب - المراجع :

- 1 - كتاب : " المدخل إلى فيزياء الجسم الصلب " د. فخرى كتوت و د. بسام معصراني .
- 2 - "Introduction to solid state physics, 7th edition, Kittel . "
- 3 - "The Science and Engineering of Materials , Sixth Edition 2010 , R. Askeland & P. Fulay & J. Wright " .
- 4 - كتاب " فيزياء المواد " د. توفيق قسام و د. فوزي عوض و د. يحيى حمود .
- 5 - "Survey of Semiconductor Physics: Volume II Barriers, junctions, Surfaces, and Devices , Karl W. Böer " .
- 6 - " Fundamentals of Materials Science and Engineering, 5e , Callister " .
- 7 - " Solar Cells - Research and Application Perspectives , Morales-Acevedo " .
- 8 - " MAGNETIC MATERIALS Fundamentals and Applications Second edition , NICOLA A. SPALDIN " .
- 9 - " Introduction to superconductivity, rose-innes " .



اللجنة العلمية :

- أ.د فوزي غالب عوض

- أ.د محمد سعيد محسنة

- أ.م.د سهام الطرابيشي

المدقق اللغوي :

- الدكتور علي الكردي .

حقوق الطبع و الترجمة و النشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات

