

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 4

1443 هـ . 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث , وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
3. أهداف البحث و أسئلته.
4. فرضيات البحث و حدوده.
5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
7. منهج البحث و إجراءاته.
8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
9. نتائج البحث.
10. مقترحات البحث إن وجدت.
11. قائمة المصادر والمراجع.

7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:

- أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.

- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة, اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابية مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و
التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث:

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة		
30-11	إيمان الخوجة حمزة حاكمي مريم حاكمي	تعميم للحاقيات النظيفة
50-31	أ.د. عبد الهادي صوفان أ.د. عماد بدوي هدى الدروبي	العلاقة بين قدرة الفصل الزمنية FWHM وتابع غاوص الرياضي المستخدم في الفناء البوزيتروني
92-47	رشا يوسف د. عبلة الزعبي أ.د. ناصر سعد الدين	دراسة تأثير الإشابة بالكوبالت على الخصائص البنيوية للمركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$
130-93	علي عبدالله رياض عبدالله أيمن كسبيبي	تحضير أفلام رقيقة من الجرمانيوم بسماكات مختلفة وتعيين بعض خصائصها البنيوية والضوئية

تعميم الحلقة النظيفة

إيمان الخوجة¹

حمزة حاكمي²

مريم حاكمي³

الملخص

يعد W. K. Nicholson أول من درس مسألة انتقال العناصر الجامدة ومن خلال هذه الدراسة أدخل مفهوم العنصر النظيف وهو العنصر الذي يمكن كتابته على شكل مجموع لعنصرين أحدهما قابل للقلب والآخر جامد. وبعد ذلك أدخل W. Chen مفهوم الحلقة النظيفة وهي الحلقة التي جميع عناصرها نظيفة.

في هذه الورقة البحثية درسنا مفهوم الحلقة شبه النظيفة وهي الحلقة التي كل عنصر فيها هو مجموع لعنصرين أحدهما قابل للقلب جزئياً والآخر جامد كتعميم للحلقة النظيفة والمحلية بأن واحد. حيث أثبتنا أن الحلقة تكون محلية عندما فقط عندما تكون شبه نظيفة وعناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط. فضلاً عن ذلك، أثبتنا أن الحلقة شبه النظيفة تكون نظيفة (f -نظيفة، r -نظيفة) عندما فقط عندما عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط. وقد أثبتنا أيضاً أنه في أي حلقة فإن عناصر جاكسون لهذه الحلقة هي عناصر شبه نظيفة. وقد أثبتنا أيضاً أنه في أي حلقة R فإن الشرط اللازم والكافي كي يكون العنصر $x \in R$ شبه نظيف هو أن يكون العنصر $1-x$ شبه نظيف. فضلاً عن ذلك أثبتنا أنه إذا كانت $R \neq 0$ حلقة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط فإن الشرط اللازم والكافي كي تكون الحلقة R شبه نظيفة هو أن يتحقق الشرط، أيًا كان $x \in R$ فإنه إما x أو $1-x$ قابل للقلب جزئياً في R .

الكلمات المفتاحية. الحلقة النظيفة، الحلقة شبه النظيفة، الحلقة r -نظيفة، الحلقة f -نظيفة، الحلقة المحلية، الحلقة المنتظمة، الحلقة المحلية جزئياً.

رقم التصنيف العالمي للعام 2020: 16U99, 16E50, 16D80, 16D40.

¹ أستاذ مساعد قسم الرياضيات كلية العلوم جامعة البعث.

² أستاذ قسم الرياضيات كلية العلوم جامعة دمشق.

³ طالب دراسات عليا قسم الرياضيات كلية العلوم جامعة البعث.

A Generalization of Clean Rings

Eaman Al-Khouja¹

Hamza Hakmi²

Maryam Hakmi³

Abstract

In the first who studies the problem of lifting idempotent elements through this study, the concept of the clean element entered, that is the element which can be written as a sum of two elements one of them is a unite and the other is idempotent.

After that Chen enters the concept of the clean ring which is its all elements are cleans. In this paper we study the concept of quasi-clean ring which is the ring every element of in it is a sum of two elements one of them is invertible and the other is idempotent. This concept is considered a generalization of local and clean rings in the same time. We proved that the ring is local if and only if quasi-clean and its idempotent elements only 0, 1.

In addition to that, we proved the quasi-clean is clean if and only if its idempotent elements are 0, 1 only. Also, we proved that in any ring the elements of radical Jacobson of this ring are quasi-clean.

Furthermore, we proved that in every ring R the necessary and sufficient condition in order to be the element $x \in R$ is quasi-clean that the element $1 - x$ is quasi-clean. Finally, we proved that if $R \neq 0$ is a ring which is idempotent elements are 0, 1 only, then the necessary and sufficient condition in order to be the R is quasi-clean that satisfies the condition for every element $x \in R$ either x or $1 - x$ is invertible in R .

Key Words: Clean ring, quasi-clean ring, r -clean ring, f -clean ring, local ring, partially local ring.

2020 Mathematical Subject Classification: 16U99,16E50,16D80,16D40.

¹ Professor, Department of Mathematics Al-Baath University.

² Professor, Department of Mathematics Damascus University.

³ Department of Mathematics Al-Baath University.

المقدمة.

لتكن R حلقة و A مثالياً في R ولنأخذ حلقة الخارج R/A ولنفرض أن $\pi : R \rightarrow R/A$ التشاكل القانوني الغامر. إذا كان $\bar{a} \in R/A$ عنصراً جامداً فإنه ليس بالضرورة أن يكون العنصر $a \in R$ جامداً. إن مسألة متى يكون العنصر a جامداً سميت مسألة انتقال العناصر الجامدة.

يعد W. K. Nicholson أول من درس مسألة انتقال العناصر الجامدة وذلك عام 1977 في [10] وفي هذه الدراسة أدخل مفهوم العنصر النظيف وهو العنصر الذي يمكن كتابته على شكل مجموع لعنصرين أحدهما قابل للقلب والآخر جامد.

بعد ذلك أدخل W. Chen مفهوم الحلقة النظيفة وهي الحلقة التي جميع عناصرها نظيفة وذلك عام 2008 في [3], وأثبت حينها أن الحلقة النظيفة تكون محلية عندما وفقط عندما عناصرها الجامدة هي 0, 1 فقط. وفي عام 2010 درس B. Li مفهوم العناصر f -النظيفة في [9], وأدخل مفهوم الحلقة f -النظيفة وهي الحلقة التي كل عنصر فيها يكتب على شكل مجموع لعنصرين أحدهما كامل والآخر جامد, وقد أثبت أن الحلقة f -النظيفة تكون محلية عندما وفقط عندما عناصرها الجامدة هي 0, 1 فقط.

وفي عام 2013 أدخل N. Ashrafi مفهوم الحلقة r -النظيفة في [2], وهي الحلقة التي كل عنصر فيها يكتب على شكل مجموع لعنصرين أحدهما منتظم والآخر جامد, وقد أثبت حينها أن الحلقة r -النظيفة تكون محلية عندما وفقط عندما عناصرها الجامدة هي 0, 1 فقط.

في هذه الورقة البحثية درسنا مفهوم الحلقة شبه النظيفة وهي الحلقة التي كل عنصر فيها هو مجموع لعنصرين أحدهما قابل للقلب جزئياً والآخر جامد. وقد تبين لنا أن الحلقة شبه النظيفة تكون محلية عندما وفقط عندما عناصرها الجامدة هي 0, 1 فقط. فضلاً عن ذلك, أثبتنا أن الحلقة شبه النظيفة تكون نظيفة (f -نظيفة, r -نظيفة) عندما وفقط عندما عناصرها الجامدة هي 0, 1 فقط. وقد أثبتنا أيضاً أنه في أي حلقة فإن عناصر أساس جاكبسون لهذه الحلقة هي عناصر شبه نظيفة.

الهدف من البحث.

نظراً لوجود العديد من الحلقات القريبة من الحلقات النظيفة والمحلية مثل الحلقات النظيفة الضعيفة والنظيفة القوية و n -النظيفة و I -نظيفة وغيرها الكثير فقد انصب اهتمامنا في البحث على إيجاد صف من الحلقات يعد تعميماً لجميع تلك الأنواع ويتطابق معها في بعض الحالات الخاصة، وقد استطعنا إيجاد ذلك النوع من الحلقات والذي دعواناه الحلقات شبه النظيفة.

1 - الدراسة المرجعية.

جميع الحلقات R التي سندرسها هي حلقات واحدة فيها $1 \neq 0$.

1-1. نسمي تقاطع جميع المثاليات اليسارية (اليمينية) الأعظمية في الحلقة R بأساس جاكبسون للحلقة R ونرمز له $J(R)$, [1].

1-2. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر المغاير للصفر $a \in R$ إنه قابل للقلب جزئياً أو قلوب جزئياً في R إذا وجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ بحيث إن $b = bab$, [6].

1-3. نقول عن الحلقة R إنها شبه جامدة إذا كان كل عنصر $a \in R$, $a \notin J(R)$ هو عنصر قابل للقلب جزئياً, [5].

1-4. نقول عن الحلقة R إنها حلقة محلية جزئياً إذا كان لأجل كل عنصر $a \in R$ إما a أو $1 - a$ هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R .

1-5. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر المغاير للصفر $e \in R$ إنه جامد إذا كان $e^2 = e$, [7].

1-6. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر $a \in R$ إنه منتظم إذا وجد $b \in R$ يحقق $a = aba$. ونقول عن الحلقة R إنها منتظمة إذا كانت جميع عناصرها منتظمة, [4].

1-7. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر $x \in R$ إنه نظيف إذا أمكن كتابته على الشكل $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر قابل للقلب وأن $e \in R$ عنصر جامد. ونقول عن الحلقة R إنها نظيفة إذا كان كل عنصر فيها هو عنصر نظيف, [11].

1-8. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر $x \in R$ إنه r -نظيف إذا أمكن كتابته على

- الشكل $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر منتظم وأن $e \in R$ عنصر جامد. ونقول عن الحلقة R إنها r -نظيفة إذا كان كل عنصر فيها هو عنصر r -نظيف, [2].
- 9-1. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر $a \in R$ إنه كامل إذا وجد $s, t \in R$ بحيث إن $sat = 1$. ونقول عن العنصر $x \in R$ إنه f -نظيف إذا أمكن كتابته على الشكل $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر كامل و $e \in R$ عنصر جامد, [5]. ونقول عن الحلقة R إنها f -نظيفة إذا كانت جميع عناصرها f -نظيفة, [5].
- 10-1. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر $x \in R$ إنه شبه نظيف إذا أمكن كتابته على الشكل $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً وأن $e \in R$ عنصر جامد. ونقول عن الحلقة R إنها شبه نظيفة إذا كان كل عنصر فيها هو عنصر شبه نظيف.
- 11-1. لتكن R حلقة. نقول عن الحلقة R إنها حلقة محلية جزئياً إذا كان لأجل كل عنصر $a \in R$ إما a قابل للقلب جزئياً في R أو $1 - a$ قابل للقلب جزئياً في R .
- 12-1. نقول عن الحلقة R إنها محلية إذا كان لأجل أي عنصر $x \in R$ إما x أو $1 - x$ هو عنصر قابل للقلب في R , [8].
- 13-1. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر الجامد $e \in R$ إنه مركزي إذا كان $ex = xe$, [7].

2 - الدراسة البحثية.

تمهيدية 2-1.

لأجل أي حلقة R القضايا الآتية صحيحة:

- 1 - كل من $1, -1$ هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R .
- 2 - كل عنصر قابل للقلب من اليمين (اليسار) في R هو قابل للقلب جزئياً في R .
- 3 - كل عنصر قابل للقلب في R هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R .
- 4 - كل عنصر جامد مغاير للصفر في R هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R .
- 5 - كل عنصر منتظم مغاير للصفر في R هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R .
- 6 - إذا كان $a \in R$ قابلاً للقلب جزئياً في R فإن $a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R .
- 7 - إذا كان $e \in R$ عنصراً جامداً فإن $2e - 1 \in R$ قابل للقلب جزئياً في R .

8 - كل عنصر كامل في R هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R .
البرهان.

1 - واضح, لأن $1 = 1 \cdot 1 \cdot 1$ وأن $-1 = (-1)(-1)(-1)$.

2 - لنفرض أن $a \in R$ قابل للقلب من اليمين في R , عندئذ $a \neq 0$ وأنه يوجد $b \in R$ بحيث إن $ab = 1$ وأن $b \neq 0$ ومنه $bab = b$, أي إن $a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R .
إذا كان $a \in R$ قابل للقلب من اليسار في R , عندئذ $a \neq 0$ وأنه يوجد $d \in R$ بحيث إن $da = 1$ وأن $d \neq 0$ ومنه فإن $dad = d$, أي إن $a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R .

3 - إذا كان $a \in R$ عنصر قابل للقلب في R فإن العنصر a قابل للقلب من اليمين في R وحسب (2) فإن a قابل للقلب جزئياً في R .

4 - ليكن $e \in R$ عنصراً جامداً مغايراً للصفر في R . لما كان $e \cdot e \cdot e = e$ نجد أن العنصر e قابل للقلب جزئياً في R .

5 - ليكن $a \in R$ عنصراً منتظماً مغايراً للصفر, عندئذ يوجد $b \in R$ بحيث $a = aba$ وأن $b \neq 0$. لنفرض أن $x = bab$ فنجد أن $x \in R$ وأن $x \neq 0$, لأنه إذا كان $x = 0$ نجد أن $ax = abab = ab = 0$ ومنه فإن $ax = abab = ab = 0$ وهذا غير ممكن.
فضلاً عن ذلك, إن:

$$\begin{aligned} xax &= (bab)a(bab) = b(aba)bab = \\ &= b(aba)b = bab = x \end{aligned}$$

ومنه نجد أن العنصر a قابل للقلب جزئياً في R .

6 - لنفرض أن $a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R , عندئذ $a \neq 0$ وأنه يوجد $b \in R$ بحيث إن $b \neq 0$ وأن $bab = b$, ولما كان $(-b)(-a)(-b) = -b$ وأن $-b \neq 0$ نجد أن $-a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R .

7 - ليكن $e \in R$ عنصراً جامداً في R . عندئذ فإن $2e - 1 \in R$ وأن:

$$(2e - 1)(2e - 1) = 4e^2 - 2e - 2e + 1 = 4e - 4e + 1 = 1$$

ومنه فإن $2e - 1$ قابل للقلب في R وبحسب (3) يكون $2e - 1$ قابل للقلب جزئياً في R .

8 - لنفرض أن $a \in R$ هو عنصر كامل, عندئذ يوجد $s, t \in R$ بحيث $sat = 1$ ومنه

نجد أن $a \neq 0$. فضلاً عن ذلك، إن $(ts)a(ts) = ts$ وأن $ts \in R$ و $ts \neq 0$ ، لأنه إذا كان $ts = 0$ نجد أن $tsat = t = 0$ ومنه فإن $1 = sat = 0$ وهذا غير ممكن. ومنه فإن العنصر $a \in R$ هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R .

تمهيدية 2-2.

لأجل أي حلقة R القضايا الآتية صحيحة:

- 1 - كل من العناصر $0, 1, -1$ هو عنصر شبه نظيف في R .
- 2 - كل عنصر قابل للقلب من اليمين (اليسار) في R هو عنصر شبه نظيف في R .
- 3 - كل عنصر قابل للقلب في R هو عنصر شبه نظيف في R .
- 4 - كل عنصر نظيف في R هو عنصر شبه نظيف في R .
- 5 - كل عنصر قابل للقلب جزئياً في R هو عنصر شبه نظيف في R .
- 6 - كل عنصر منتظم مغاير للصفر في R هو عنصر شبه نظيف في R .
- 7 - كل عنصر r -نظيف في R هو عنصر شبه نظيف في R .
- 8 - كل عنصر كامل في R هو عنصر شبه نظيف في R .
- 9 - كل عنصر f -نظيف في R هو عنصر شبه نظيف في R .
- 10 - كل عنصر جامد في R هو عنصر شبه نظيف في R .
- 11 - إذا كان $e \in R$ عنصر جامد، عندئذ فإن العنصر $2e - 1 \in R$ هو عنصر شبه نظيف في R .

- 12 - كل عنصر عديم القوى في R هو عنصر شبه نظيف في R .

البرهان.

- 1 - لما كان كل من $1, -1$ هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R ، لأن:

$$1 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \text{ و } -1 = (-1) \cdot (-1) \cdot (-1)$$

فإن كلاً من $1, -1$ هو عنصر شبه نظيف في R ، لأن $-1 = -1 + 0$ ، $1 = 1 + 0$. فضلاً عن ذلك، لما كان $0 = -1 + 1$ وأن -1 قابل للقلب جزئياً في R فإن 0 هو شبه نظيف في R .

2 - لنفرض أن العنصر $a \in R$ قابل للقلب من اليمين في R ، عندئذ $a \neq 0$ وأنه يوجد $b \in R$ بحيث $ab = 1$ وأن $b \neq 0$ ومنه فإن $b = bab$ ، أي إن العنصر a قابل للقلب جزئياً في R ولما كان $a = a + 0$ نجد أن العنصر a شبه نظيف في R . بشكل مشابه يمكننا إثبات أنه إذا كان a قابلاً للقلب من اليسار في R فإن a شبه نظيف في R .

3 - ليكن $a \in R$ قابلاً للقلب في R ، عندئذ فإن العنصر a قابل للقلب من اليمين في R وبحسب (2) يكون العنصر a شبه نظيف في R .

4 - ليكن $x \in R$ عنصر نظيف في R ، عندئذ $x = a + e$ حيث $a \in R$ قابل للقلب في R وأن $e \in R$ عنصر جامد ولما كان العنصر a قابلاً للقلب جزئياً في R وذلك بحسب التمهيدية (1-2) نجد أن العنصر x شبه نظيف في R .

5 - ليكن $a \in R$ عنصراً قابلاً للقلب جزئياً في R ، لما كان $a = a + 0$ نجد أن a شبه نظيف في R .

6 - ليكن $a \in R$ عنصراً منتظماً مغايراً للصفر في R ، عندئذ يوجد $b \in R$ بحيث إن $b \neq 0$ وأن $a = aba$. لنضع $x = bab$ فنجد أن $x \in R$ وأن $x \neq 0$ ، لأنه إذا كان $x = 0$ نجد أن $ax = abab = ab = 0$ ومنه $a = aba = 0a = 0$ وهذا غير ممكن. فضلاً عن ذلك، إن:

$$xax = (bab)a(bab) = b(aba)(bab) = b(aba)b = bab = x$$

وهذا يبين أن a قابل للقلب جزئياً في R وبحسب (5) يكون a شبه نظيف في R .

7 - ليكن $x \in R$ عنصراً $-r$ -نظيفاً في R ، عندئذ فإن $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر منتظم في R وأن $e \in R$ عنصر جامد ولما كان العنصر a منتظماً في R فإنه حسب (6) يكون العنصر a قابلاً للقلب جزئياً في R ومنه فإن x شبه نظيف في R .

8 - ليكن $a \in R$ عنصراً كاملاً في R ، عندئذ يوجد $s, t \in R$ بحيث $sat = 1$ وهذا يبين أن $a \neq 0$. فضلاً عن ذلك، إن $(ts)a(ts) = ts$ حيث $ts \in R$ وأن $ts \neq 0$ ، لأنه إذا كان $ts = 0$ نجد أن $(ts)at = t = 0$ وهذا يبين أن $1 = sat = 0$ وهذا غير ممكن. ومنه فإن $ts \neq 0$ وهكذا نجد أن العنصر a قابل للقلب جزئياً في R وبحسب (5) يكون a شبه نظيف في R .

9 - ليكن $x \in R$ عنصراً f -نظيفاً في R , عندئذ $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر كامل في R وأن $e \in R$ عنصر جامد ولما كان العنصر a كاملاً في R فإنه حسب (8) يكون العنصر a قابلاً للقلب جزئياً في R ومنه فإن العنصر x شبه نظيف في R .

10 - لدينا حسب التمهيدية (2-1) أن كل عنصر جامد هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R وحسب (5) يكون كل عنصر جامد في R هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R .

11 - ليكن $e \in R$ عنصراً جامداً، عندئذ فإن $2e - 1 \in R$ قابل للقلب في R , لأن:

$$(2e - 1)(2e - 1) = 4e^2 - 4e + 1 = 4e - 4e + 1 = 1$$

وبحسب (3) يكون العنصر $2e - 1 \in R$ شبه نظيف في R .

12 - ليكن $a \in R$ عنصراً عديم القوى في R , عندئذ فإن $a \neq 0$ وأنه يوجد عدد صحيح موجب n بحيث $a^n = 0$ وأن:

$$(a - 1)(-1 - a - a^2 - \dots - a^{n-1}) = -a^n + 1 = 1$$

لنضع $b = -1 - a - a^2 - \dots - a^{n-1} \in R$ فنجد $b = -1 - a - a^2 - \dots - a^{n-1}$ وأن $b(a - 1)b = b$

كما أن $b \neq 0$ وهذا يبين أن العنصر $a - 1 \in R$ قابل للقلب جزئياً في R ولما كان $a = (a - 1) + 1$ نجد أن العنصر a شبه نظيف في R .

اعتماداً على التمهيدية (2-2) يمكننا صياغة المبرهنة الآتية:

مبرهنة 2-3.

القضايا الآتية صحيحة:

- 1 - كل حقل هو حلقة شبه نظيفة.
- 2 - كل حلقة نظيفة هي حلقة شبه نظيفة.
- 3 - كل حلقة منتظمة هي حلقة شبه نظيفة.
- 4 - كل حلقة r -نظيفة هي حلقة شبه نظيفة.
- 5 - كل حلقة f -نظيفة هي حلقة شبه نظيفة.
- 6 - كل حلقة شبه جامدة R لأجلها $J(R) = 0$ هي حلقة شبه نظيفة.

أمثلة.

1 - لأجل أي عدد أولي p فإن الحلقة Z_p بالنسبة لعمليتي الجمع والضرب بالمقاس p هي حلقة شبه نظيفة.

2 - الحلقة $Z_4 = \{ 0, 1, 2, 3 \}$ بالنسبة لعمليتي الجمع والضرب بالمقاس 4 هي حلقة شبه نظيفة، لأن:

- العناصر القابلة للقلب في Z_4 هي 1, 3 وهي عناصر شبه نظيفة.

- العناصر الجامدة في الحلقة Z_4 هي 0, 1 وهي عناصر شبه نظيفة.

وأن $2 = 1+1$ عنصر شبه نظيف ومنه نجد أن الحلقة Z_4 شبه نظيفة.

3 - الحلقة $Z_6 = \{ 0, 1, 2, 3, 4, 5 \}$ بالنسبة لعمليتي الجمع والضرب بالمقاس 6 هي حلقة شبه نظيفة، لأن:

- العناصر القابلة للقلب في Z_6 هي 1, 5 وهي عناصر شبه نظيفة في Z_6 .

- العناصر الجامدة في Z_6 هي 0, 1, 3, 4 وهي عناصر شبه نظيفة في Z_6 .

فضلاً عن ذلك، نلاحظ أن $2 = 1+1$ وهو عنصر شبه نظيف. وهذا يبين أن الحلقة Z_6 هي حلقة شبه نظيفة.

4 - الحلقة $Z_9 = \{ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 \}$ بالنسبة لعمليتي الجمع والضرب بالمقاس 9 هي حلقة شبه نظيفة، لأن:

- العناصر القابلة للقلب في الحلقة Z_9 هي 1, 2, 4, 5, 7, 8 وهي عناصر شبه نظيفة في الحلقة Z_9 .

- العناصر الجامدة في Z_9 هي 0, 1 وهي عناصر شبه نظيفة في Z_9 . فضلاً عن ذلك، إن $6 = 5+1$, $3 = 2+1$ وهي عناصر شبه نظيفة في Z_9 . وهذا يبين أن الحلقة Z_9 هي حلقة شبه نظيفة.

5 - الحلقة $Z_8 = \{ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \}$ بالنسبة لعمليتي الجمع والضرب بالمقاس 8 هي حلقة شبه نظيفة، لأن:

- العناصر القابلة للقلب في Z_8 هي 1, 3, 5, 7 وهي عناصر شبه نظيفة في Z_8 .

- العناصر الجامدة في Z_8 هي 0, 1 وهي عناصر شبه نظيفة في Z_8 .
فضلاً عن ذلك، نلاحظ أن $2=1+1$, $4=3+1$, $6=5+1$ وهي عناصر شبه نظيفة. وهذا يبين أن الحلقة Z_8 هي حلقة شبه نظيفة.

تمهيدية 2-4.

لتكن R حلقة شبه نظيفة. عندئذ القضيتان الآتيتان صحيحتان:

1 - لأجل أي مثالي $I \subseteq J(R)$ للحلقة R فإن حلقة الخارج R/I شبه نظيفة.

2 - لأجل أي عنصر جامد مركزي $e \in R$ فإن الحلقة eRe شبه نظيفة.

البرهان.

1 - ليكن I مثالياً في الحلقة R وأن $I \subseteq J(R)$ وليكن $\bar{x} \in R/I$ عندئذ $\bar{x} = x + I$ حيث $x \in R$. سوف نميز حالتين:

- إذا كان $x \in I$ عندئذ $\bar{x} = x + I = I = (-1 + I) + (1 + I)$ وأن $1 + I \in R/I$ عنصر جامد في الحلقة R/I وأن $-1 + I \in R/I$ قابل للقلب جزئياً في R/I , لأن:

$$-1 + I = (-1 + I)(-1 + I)(-1 + I)$$

وهذا يبين أن العنصر \bar{x} شبه نظيف في الحلقة R/I .

- لنفرض أن $x \notin I$, لما كانت الحلقة R شبه نظيفة فإن $x = a + e$ حيث $e \in R$ عنصر جامد و $a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R ومنه يوجد $b \in R$ بحيث $b = bab$ وأن $b \neq 0$, ومنه فإن $b + I = (b + I)(a + I)(b + I)$ وأن $b + I \neq I$, لأنه إذا كان $b + I = I$ نجد أن $b \in I \subseteq J(R)$ وبالتالي يكون $ab \in J(R)$ عنصر جامد مغاير للصفر وهذا غير ممكن. ومنه العنصر $a + I \in R/I$ قابل للقلب جزئياً في R/I وأن:

$$\bar{x} = x + I = (a + e) + I = (a + I) + (e + I)$$

مما سبق نجد أن الحلقة R/I شبه نظيفة.

2 - ليكن $e \in R$ عنصراً جامداً مركزياً وليكن $x_0 \in eRe$ عندئذ فإن $x_0 = exe$ حيث $x \in R$. لما كانت الحلقة R شبه نظيفة فإن $x = a + f$ حيث $f \in R$ عنصر جامد وأن $a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R ومنه فإن:

$$x_0 = exe = e(a + f)e = eae + efe$$

ولما كان $a \in R$ عنصراً قابلاً للقلب جزئياً في R فإنه يوجد $b \in R$ بحيث $b = bab$ وأن $b \neq 0$ ومنه نجد أن $ebe \in eRe$ وأن $ebe \neq 0$ ويحقق:

$$ebe = (ebe)(eae)(ebe)$$

وهذا يبين أن العنصر $eae \in eRe$ قابل للقلب جزئياً في eRe . فضلاً عن ذلك، لما كان $f \in R$ عنصراً جامداً فإن $efe \in eRe$ هو أيضاً عنصر جامد، لأن:

$$(efe)^2 = efefe = ef^2e = efe$$

مما سبق نجد أن $x_0 = eae + efe$ عنصر شبه نظيف وبالتالي eRe حلقة شبه نظيفة.

مبرهنة 2-5.

لتكن R حلقة. عندئذ الشرطان الآتيان متكافئان:

1 - الحلقة R شبه نظيفة.

2 - أيًا كان $x \in R$ فإن العنصر x يمكن كتابته على الشكل $x = a - e$ حيث $e \in R$ عنصر جامد وأن $a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R .

البرهان.

(1) \Leftarrow (2). لنفرض أن الحلقة R شبه نظيفة وليكن $x \in R$ ، عندئذ فإن $-x \in R$ ولما كانت الحلقة R شبه نظيفة فإن $-x = a + e$ حيث $e \in R$ عنصر جامد وأن $a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R .

لما كان العنصر $a \in R$ عنصراً قابلاً للقلب جزئياً في R فإنه يوجد $b \in R$ بحيث $b = bab$ وأن $b \neq 0$ ومنه فإن $-b = (-b)(-a)(-b)$ وأن $-b \in R$ و $-b \neq 0$ وهذا يبين أن العنصر $-a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R وأن $x = -a - e$ حيث $e \in R$ عنصر جامد.

(2) \Leftarrow (1). ليكن $x \in R$ ، عندئذ فإن $-x \in R$ وحسب الفرض فإن $-x = a - e$ حيث $e \in R$ عنصر جامد و $a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R . ومنه فإن $x = -a + e$ ولما كان العنصر $a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R فإنه يوجد $b \in R$ بحيث $b \neq 0$ وأن $b = bab$ ومنه فإن $-b = (-b)(-a)(-b)$ وأن $-b \in R$ و $-b \neq 0$ وهذا يبين أن العنصر $-a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R وأن $e \in R$ عنصر جامد وبالتالي يكون العنصر x شبه نظيف. وهكذا نجد أن الحلقة R شبه نظيفة.

تمهيدية 2-6.

لتكن R حلقة و $x \in R$. عندئذ الشرطان الآتيان متكافئان:

1 - العنصر x شبه نظيف.

2 - العنصر $1-x$ شبه نظيف.

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن العنصر x شبه نظيف. عندئذ فإن $x = a + e$ حيث $e \in R$ عنصر جامد وإن $a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R . ومنه فإن $1-x = -a + (1-e)$ وأن $1-e \in R$ عنصر جامد وإن $-a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R ومنه نجد أن العنصر $1-x$ شبه نظيف.

(2) \Leftrightarrow (1). لنفرض أن العنصر $1-x$ شبه نظيف. عندئذ فإن $1-x = a + e$ حيث إن $e \in R$ عنصر جامد وإن $a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R . ومنه فإن $x = -a + (1-e)$ وأن $1-e \in R$ عنصر جامد وأن $-a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R ومنه نجد أن العنصر x شبه نظيف.

مبرهنة 2-7.

لتكن $R \neq 0$ حلقة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط. عندئذ الشرطان الآتيان متكافئان:

1 - الحلقة R شبه نظيفة.

2 - أيًا كان $x \in R$ فإنه إما x أو $1-x$ قابل للقلب جزئياً في R .

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن الحلقة R شبه نظيفة وليكن $x \in R$, عندئذ فإن $x = a + e$

حيث $e \in R$ عنصر جامد وأن $a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R . سوف نميز حالتين:

- إذا كان $e = 0$, عندئذ $x = a$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان $e = 1$, عندئذ $x = a + 1$ ومنه فإن $1-x = -a$ ولما كان a قابلاً للقلب

جزئياً في R فإنه يوجد $b \in R$ بحيث $b \neq 0$ وأن $b = bab$ ومنه فإن:

$$-b = (-b)(-a)(-b)$$

وأن $b \in R$ و $b \neq 0$ وهذا يبين أن العنصر $a \in R$ قابل للقلب جزئياً في R وبالتالي فإن العنصر $1-x$ قابل للقلب جزئياً في R .

(2) \Leftrightarrow (1). ليكن $x \in R$, عندئذ حسب الفرض إما x أو $1-x$ قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان العنصر x قابلاً للقلب جزئياً في R فإنه بحسب التمهيدية (2-2) يكون العنصر x شبه نظيف.

- لنفرض أن العنصر $1-x$ قابل للقلب جزئياً في R , عندئذ يوجد $b \in R$ بحيث $b = b(1-x)b$ وأن $b \neq 0$ ومنه $b = (-b)(x-1)(-b)$ وأن $-b \in R$ و $-b \neq 0$ وهذا يبين أن العنصر $x-1$ قابل للقلب جزئياً ولما كان $x = (x-1)+1$ نجد أن العنصر x شبه نظيف. مما سبق نجد أن الحلقة R شبه نظيفة.

مبرهنة 2-8.

لتكن $R \neq 0$ حلقة عناصرها الجامدة هي 0, 1 فقط. عندئذ الشرطان الآتيان متكافئان:

1 - الحلقة R نظيفة.

2 - الحلقة R شبه نظيفة.

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن الحلقة R نظيفة, عندئذ حسب المبرهنة (2-3) تكون الحلقة R شبه نظيفة.

(2) \Leftrightarrow (1). لنفرض أن الحلقة R شبه نظيفة وليكن $x \in R$, عندئذ $x = a + e$ حيث

$a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R وأن $e \in R$ عنصر جامد. سوف نميز حالتين:

- إذا كان $a = 0$, عندئذ فإن $x = e = (2e-1) + (1-e)$ وأن $2e-1 \in R$ عنصر قابل للقلب في R و $1-e \in R$ عنصر جامد, وهذا يبين أن العنصر x نظيف.

- إذا كان $a \neq 0$, عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ بحيث $b = bab$ ومنه فإن $ab \in R$ عنصر جامد وبحسب الفرض إما $ab = 0$ أو $ab = 1$. إذا كان $ab = 0$ نجد أن $b = bab = b0 = 0$ وهذا غير ممكن ومنه فإن $ab = 1$. بطريقة مشابهة نجد أن

$ba = 1$ وهذا يبين أن a عنصر قابل للقلب في R ومنه فإن العنصر x نظيف وبالتالي فإن الحلقة R نظيفة.

تمهيدية 2-9.

لتكن R حلقة و $x \in R$. عندئذ القضايا الآتية صحيحة:

- 1 - إذا كان $x \in J(R)$, عندئذ يكون العنصر x شبه نظيف.
 - 2 - إذا كان $1-x \in J(R)$, عندئذ يكون العنصر x شبه نظيف.
 - 3 - إذا كان العنصر x عديم القوى, عندئذ يكون العنصر x شبه نظيف.
- البرهان.

1 - لنفرض أن $x \in J(R)$, عندئذ فإن العنصر $1-x \in R$ قابل للقلب في R وبالتالي يوجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ بحيث $b(1-x) = 1$ وهذا يبين أن $b(1-x)b = b$, أي إن العنصر $1-x \in R$ قابل للقلب جزئياً في R ولما كان $x = (x-1) + 1$ نجد أن العنصر x شبه نظيف.

2 - لنفرض أن $1-x \in J(R)$, عندئذ فإن العنصر $x = 1 - (1-x)$ قابل للقلب في R وبحسب التمهيدية (2-2) نجد أن العنصر x شبه نظيف.

3 - لنفرض أن العنصر x عديم القوى, عندئذ فإن $x \in J(R)$ وبحسب (1) يكون العنصر x شبه نظيف.

تمهيدية 2-10.

كل حلقة محلية هي حلقة شبه نظيفة.

البرهان.

لنفرض أن R حلقة محلية وليكن $x \in R$, عندئذ إما العنصر x أو العنصر $1-x$ قابل للقلب في R .

- إذا كان العنصر x قابلاً للقلب في R , عندئذ حسب التمهيدية (2-2) يكون العنصر x شبه نظيف.

- إذا كان العنصر $1-x$ قابلاً للقلب في R , عندئذ يكون العنصر $x-1$ قابلاً للقلب في R ولما كان $x=(x-1)+1$ نجد أن العنصر x شبه نظيف. مما سبق نجد أن الحلقة R شبه نظيفة.

مبرهنة 2-11.

لأجل أي حلقة R الشرطان الآتيان متكافئان:

1 - الحلقة R شبه نظيفة عناصرها الجامدة هي 0,1 فقط.

2 - الحلقة R محلية.

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن الحلقة R شبه نظيفة عناصرها الجامدة هي 0,1 فقط.

ليكن $x \in R$, عندئذ $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R وأن $e \in R$ عنصر جامد. سوف نميز حالتين:

- إذا كان $a = 0$, عندئذ إما $x = 0$ أو $x = 1$ ومنه إما $x-1$ قابل للقلب أو x عنصر قابل للقلب في R .

- لنفرض أن $a \neq 0$, عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ بحيث $b = bab$ ولما كان كل من $ab \in R$ و $ba \in R$ عنصر جامد مغاير للصفر نجد أن $ab = ba = 1$ وهذا يبين أن العنصر a قابل للقلب في R .

- إذا كان $e = 0$, عندئذ فإن $x = a$ عنصر قابل للقلب في R .

- إذا كان $e = 1$, عندئذ فإن $x = a + 1$ ومنه فإن $x - 1 = -a$ وأن $-a \in R$ عنصر قابل للقلب في R . مما سبق نجد أن الحلقة R محلية.

(2) \Leftrightarrow (1). لنفرض أن الحلقة R محلية, عندئذ حسب التمهيدية (2-10) تكون الحلقة

R شبه نظيفة. لنبرهن على أن العناصر الجامدة في R هي 0,1 فقط.

ليكن $e \in R$ عنصراً جامداً, لما كانت الحلقة R محلية, عندئذ إما e أو $1-e$ قابل للقلب في R .

- إذا كان e قابلاً للقلب في R , عندئذ يوجد $b \in R$ بحيث $eb = 1$ ومنه نجد أن:

$$e = e(eb) = eb = 1$$

- إذا كان $1-e$ قابلاً للقلب في R ، عندئذ يوجد $c \in R$ بحيث $c(1-e) = 1$ ومنه فإن $e = c(1-e)e = c(e-e) = 0$ وبالتالي فإن العناصر الجامدة في R هي $0, 1$ فقط.

مبرهنة 2-12.

لتكن $R \neq 0$ حلقة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط. عندئذ الشرطان الآتيان متكافئان:

1 - الحلقة R شبه نظيفة.

2 - الحلقة R هي f -نظيفة.

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن الحلقة R شبه نظيفة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط. ليكن $x \in R$ ، عندئذ $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R وأن $e \in R$ عنصر جامد. سوف نميز حالتين:

- إذا كان $a = 0$ ، عندئذ فإن $x = e$ ولما كانت العناصر الجامدة هي $0, 1$ فقط نجد أنه إما $x = 0$ أو $x = 1$.

- إذا كان $x = 0$ ، عندئذ فإن $x = -1 + 1$ هو عنصر f -نظيف.

- إذا كان $x = 1$ ، عندئذ فإن $x = 1 + 0$ هو عنصر f -نظيف.

- لنفرض أن $a \neq 0$ ، عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ بحيث $b = bab$ ومنه فإن كل من $ab \in R$ و $ba \in R$ هو عنصر جامد ولما كان $b \neq 0$ فإن $ab \neq 0$ وأن $ba \neq 0$ وبحسب الفرض فإن $ab = ba = 1$. وهذا يبين أن العنصر a كامل في R .

- إذا كان $e = 0$ ، عندئذ $x = a + 0$ هو عنصر f -نظيف.

- إذا كان $e = 1$ ، عندئذ $x = a + 1$ هو عنصر f -نظيف.

مما سبق نجد أن الحلقة R هي f -نظيفة. (2) \Leftrightarrow (1). ينتج من المبرهنة (2-3).

مبرهنة 2-13.

لتكن $R \neq 0$ حلقة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط. عندئذ الشرطان الآتيان متكافئان:

1 - الحلقة R شبه نظيفة.

2 - الحلقة R هي r -نظيفة.

البرهان.

(1) \Leftarrow (2). لنفرض أن الحلقة R شبه نظيفة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط. ليكن $x \in R$, عندئذ $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R وأن $e \in R$ عنصر جامد. سوف نميز حالتين:

- إذا كان $a = 0$, عندئذ فإن $x = e$ وحسب الفرض يكون $x = 1 + 0$ هو عنصر $-r$ نظيف.

- لنفرض أن $a \neq 0$, عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ بحيث $b = bab$ ومنه فإن كل من $ab \in R$ و $ba \in R$ هو عنصر جامد ولما كان $b \neq 0$ فإن $ab \neq 0$ و $ba \neq 0$ وبحسب الفرض فإن $ab = ba = 1$ ومنه فإن $aba = a$ وهذا يبين أن العنصر a منتظم.

- إذا كان $e = 0$, عندئذ $x = a + 0$ هو عنصر $-r$ نظيف.

- إذا كان $e = 1$, عندئذ $x = a + 1$ هو عنصر $-r$ نظيف.

مما سبق نجد أن الحلقة R هي $-r$ نظيفة. (2) \Leftarrow (1). ينتج مباشرة من المبرهنة (2) - (3).

اعتماداً على المبرهنات (2-8) و (2-11) و (2-12) و (2-13) يمكننا صياغة النتيجة الآتية:

نتيجة.

لأجل أي حلقة R القضايا الآتية متكافئة:

1 - الحلقة R محلية.

2 - الحلقة R نظيفة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط.

3 - الحلقة R هي $-r$ نظيفة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط.

4 - الحلقة R هي f نظيفة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط.

5 - الحلقة R هي شبه جامدة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط.

4 - الحلقة R هي شبه نظيفة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط.

المراجع العلمية.

- [1] – Anderson, F. W. and Fuller, K. R. " Rings and Categories of Modules ", New York. Springer (1973).
- [2] – Ashrafi N. and Nasibi E., " Rings in Which Elements are Sum of an Idempotent and Regular Element ", Bulletin of the Iranian Mathematical Society. Vol. 39, No. 3, (2013), pp. 579 – 588.
- [3] – Chen, W. and Cui, S." On Clean Rings and Clean Elements ", South. Asian Bull. Math. 32, (2008), no. 5, pp. 855 – 861.
- [4] – Goodearl, K. R. " Von Neumann Regular Rings ", Pitman 1979 .
- [5] – Hamza, H. " I_0 – Rings and I_0 – Modules ", Math. J. Okayama Univ. 40.[2000].91–97, p. (1998)
- [6] – Hamza H., " P – Regular and P – Local Rings ", Journal of Algebra and Related Topic. Vol. 9, No. 2, (2021), pp. 1 – 19.
- [7] – Kasch, F. " Modules and Rings ", London Math. Soc. Mono. 1982.
- [8] – Lambek, J. " Lectures on Rings and Modules ", Blaisdell, Mass. 1966.
- [9] – Li. B. and Feng. L. " f – Clean rings and rings having many full elements ", J. Korean Math. Soc. Vol. 47, No. (2), (2010), pp. 247–261.
- [10] – Nicholson, W. K. " Lifting idempotent and exchange rings ", Trans. Amer. Math. Soc. Vol. 229, (1977), 269 – 278.
- [11] – Zhang H. and Victor C. "On Clean Rings", Communications in Algebra, 44., (2016), pp. 2475 – 2481.

العلاقة بين قدرة الفصل الزمنية $FWHM$ وتابع غاوص الرياضي المستخدم في الفناء البوزيتروني

أ.د. عبد الهادي صوفان⁽¹⁾ أ.د. عماد بدوي⁽²⁾ هدى الدروبي^{(3)*}

قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة البعث - حمص - سوريا

الملخص

تم في هذا البحث تحليل الطيف المركب (المدمج) (convoluted spectrum) لعمر البوزيترون إلى عدة طيوف تمثل المركبات والمعلومات الأساسية المتعلقة بحسابات عمر البوزيترون مثل قدرة الفصل الزمنية وتوابع غاوص الرياضية الأساسية والخلفية الطبيعية وأعمار البوزيترون والبوزيترونيوم وبارامترات أخرى، والمقارنة فيما بينها باستخدام تقانة PALS وبرامجها (Mathematica12 و Scilab و PALSfit).

تم تحليل الطيف المركب البوزيتروني في الموليبدنيوم إلى عدة توابع ومركبات أوجدنا منها برمجياً وتحليلياً قدرات الفصل الزمنية لتابعي غاوص، وتم دراسة العلاقة بين (Exponential) ESG و (Gaussian Function) $FWHM$ و (Full Width at Half Maximum) $FWHM$ برمجياً بهدف معرفة قيم $FWHM$ وذلك بهدف الحصول على معلومات عن النظير المشع المستخدم ^{22}Na وعمر البوزيترون والبوزيترونيوم ووجدنا أن قيمها هي (301.5 ps , 439.9 ps)، بالإضافة إلى احتمال كل منها في الطيف ووجدنا أن قيمها (74.87% , 25.1%).

استخدمنا النتائج السابقة في حساب قيم مركبات أعمار البوزيترون ووجدناها تساوي ($\tau_1 = 103 ps$, $\tau_2 = 234.8 ps$, $\tau_3 = 674.5 ps$)، وأوجدنا احتمال كل مركبة ($I_1 = 100\%$, $I_2 = 97.45\%$, $I_3 = 2.54\%$)، كما حسبنا قيمة عمر البوزيترون للمنبع فوجدنا قيمته $333.3 ps$ ، وتمت مقارنة هذه النتائج مع القيم المرجعية النظرية [1] فوجدنا توافقاً إلى حد كبير حيث كان متوسط العمر يساوي $330 ps$ في المراجع [1,2].

الكلمات المفتاحية: البوزيترون - الموليبدنيوم - طيف البوزيترون - عمر البوزيترون - تابع غاوص الأساسي - قدرة الفصل الزمنية.

(1) أستاذ في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة البعث.

(2) أستاذ في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة المنيا - المنيا مصر

(3) طالبة دكتوراه فيزياء إشعاعية - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة البعث.

The Relationship Between the Time Resolution $FWHM$ and the Gaussian Function Used in the Positron Annihilation

Dr. Abd al hadi Soufan Dr. Emad Badawi Huda Al Droubi

Physics Department - Science College - AL Baath University - Homs - Syria

Abstract

In this paper, the convoluted positron lifetime spectrum has analyzed into several spectra representing the components and basic information related to the positron lifetime calculations such as $FWHM$, Gaussian exponential functions, background, the positron and positronium lifetimes, and other parameters, and compared with each other using PALS technology and its programs(PALSfit , Scilab and Mathematica12).

The convoluted positron spectrum of Molybdenum has analyzed into several functions and components. We have found programmatically and analytically from them the $FWHM$ of Gaussian functions, The relationship between ESG and $FWHM$ was studied programmatically in order to know the values of $FWHM$, in order to obtain information about the radioactive isotope used ^{22}Na and the lifetime of the positron and positronium, we found that their values are (301.5 ps, 439.9 ps), in addition to the probability of each of them in the spectrum and we found that Its values are (74.87%, 25.1%).

We have used the previous results to calculate the values of the components of the positron lifetimes, we have found their values ($\tau_1 = 103 ps$, $\tau_2 = 234.8 ps$, $\tau_3 = 674.5 ps$), and we have found the probability of each component ($I_1 = 100\%$, $I_2 = 97.45\%$, $I_3 = 2.54\%$) and we have calculated the source positron life time 333.3 ps then we have compared these results with the theoretical reference values[1] and we have found agreement to a large extent where the average lifetime was equal to 330 ps in the references [1,2].

Keywords: positron – Molybdenum – positron spectrum – positron lifetime– exponential Gaussian function – time resolution.

1- مقدمة:

الفناء البوزيتروني فرع جديد وهام جداً من فروع علم الفيزياء النوويّة، يدرس بنية المادّة وعيوبها ، ويهدف إلى تحسين بنية المادة أو مميّزاتها وإلى كشف العيوب التي تعاني منها المادة من خلال معرفة عمر البوزيترون في المادة، وهي أداة لا تخريبية لدراسة المادّة ولها تطبيقات في الحياة العمليّة وفي العديد من مجالات العلوم والتكنولوجيا وفي المجال الطبي.

تُستخدَم تقانة مطيافية الفناء البوزيتروني (PALS Positron Annihilation) Lifetime Spectroscopy) لدراسة خصائص المواد، حيث تعكس بارامترات الفناء خصائص الوسط المُضيف. بدأ البحث في فيزياء البوزيترونات في وقت مبكر من الخمسينيّات، عندما تم التعرف على المعلومات التي حصل عليها Dumond، Roichings ، Bendetti ، حول خصائص بعض المواد عن طريق دراسة عمر البوزيترون. وعلى وجه الخصوص ، ما قام به Mckenize أثناء اكتشافه للتأثيرات المتبادلة بين البوزيترونات والشوائب في الأجسام الكريستالية [3,4].

تستخدم تقانة PALS لإجراء أبحاث على (دراسة) خصائص الالكترن والشوائب الموجودة في المواد، عند درجات حرارة منخفضة أو مرتفعة والتحويلات التي تحصل في السبائك وأنصاف النواقل والبوليمرات،.. الخ . وقد امتدت تطبيقاتها من دراسة المشاكل المتقدمة في فيزياء علم المواد. كما استُخدمت على نطاق واسع أيضاً في مجالات عدة كالكيمياء، البيولوجيا، الطب. تُعتبر تقانة PALS من الطرق النووية المُثلى لدراسة عيوب الشبكة البلورية، فعملية القياس لا تتأثر في معظم الأحيان بخصائص العينة المدروسة ، كما أن PALS غير تخريبية عند الاختبار مما يسمح بدراسة العينة نفسها مرة أخرى بطرق أخرى [5].

أجرى ZHIYONG,Z وزملاؤه بحثه للتحقق من العيوب المتشكلة في الموليبيدينوم فدرس بارامترات الفناء ووجد أن الفراغات تتشكل ضمن مجال درجة الحرارة محدد [6]، ودرس NAMBISSAN,P et al الموليبيدينوم باستخدام تقانة PALS فوجد أن عمر

البوزيترون $\tau_1 = 158 \pm 2$ ps من أجل $I_1 = 60\%$ ولاحظ ازدياد قيمة τ_2 ضمن مجال درجة الحرارة (300 – 800)K وانخفاضها عند 1300K [7] , أما MUKHERJEE,S وزملاؤه فقد أجرى دراسته على سبائك اليورانيوم موليبدينوم عند درجة حرارة 1173K ووجد انخفاضاً في قيمة τ_2 [8] , ووجد TROEV,T وزملاؤه عند دراسته لعمر البوزيترون لعينة من الموليبدينوم المشعّ بنبترونات طاقتها 14 MeV أنه عند درجة حرارة أكبر من 650 K تزداد قيمة τ_2 لتصبح 287 ps [9] , كما لاحظ كل من MOGENSEN,O و THRANE,N وزملاؤهما عند دراستهم للعيوب المتشكلة في بلورات الموليبدينوم ازدياداً في قيمة τ_2 [10,11] , أما THRANE,N et al. فقد درس العلاقة بين حجم الفراغ وعمر البوزيترون في الموليبدينوم المشع بالنترونات فوجد أن قيمة τ_2 تبقى ثابتة عندما يتراوح حجم الفراغ في المجال $(9 - 45)A^\circ$ [12] , وعندما درس ELDRUP,M et al. عينات الموليبدينوم المشعّة بالكترونات طاقتها 10 MeV باستخدام تقنية مطيافية البوزيترون وجد أن الفراغات تزداد بكثافة عند درجات حرارة مرتفعة 1173 K [13] , وعند دراسة عينات الموليبدينوم المشعّة بنبترونات سريعة عند درجة حرارة 333 K من قبل PETERSEN,K et al. وجد أن الفراغات تتشكل عند درجة حرارة مرتفعة أعلى من 853 K [14] , وعند دراسة PUGH,B et al. للموليبدينوم المشع بنبوترونات سريعة فوجد انخفاضاً في قيمة τ_2 بازدياد درجة الحرارة [15] , إن نشوء فراغات ناتجة عن النيوترونات السريعة في المعادن أمر مثير للقلق بسبب ما تفرضه هذه الحالة من قيود على تصميم مفاعلات الطاقة السريعة وهذا ما لاحظته COTTERILL,R et al. عند دراسته عينات الموليبدينوم فلاحظ تشكل الفراغات وازدياد حجمها عند التشعيع بنبوترونات سريعة [16].

يوجد عدة برامج حاسوبية مُستخدمة لتحليل طيف عمر البوزيترون نذكر منها PALSTFIT و POSITRONFIT و PATFIT , وهي برامج مصممة بشكل خاص لدراسة طيف البوزيترون وموجودة في العديد من الجامعات حول العالم.

البوزيترونات جسيمات مشحونة وبالتالي فهي حساسة للشحنة التي توجد في الفراغ المحيط بها, وعندما يتواجد البوزيترون في منطقة ذات كثافة الكترونية عالية سيكون عمره صغيراً مقارنةً مع المنطقة التي تكون فيها الكثافة الالكترونية أقل. وعندما يتصادم الالكتران والبوزيترون فإنهما يتفانيان وتتحول كامل كتليتهما إلى طاقة ويتوقف عدد فوتونات غاما الناتجة عن الفناء على الكيفية الدقيقة لحدوث الفناء, يمكن ان يحدث الفناء بين البوزيترونات والالكترونات الحرة وهو ما يُسمى الفناء الحر أو عن طريق يشكل البوزيترون حالة شبه مستقرة مع الالكتران وهو ما يُسمى البوزيترونيوم.

يتشكل البوزيترونيوم Ps عندما تتناقص طاقة الالكتران في الوسط إلى أقل من 10 eV , البوزيترونيوم حالة شبه مستقرة ناتجة عن ارتباط البوزيترون مع الالكتران برابطة ضعيفة $e^- \dots e^+$ بحيث يدور كل منهما حول الآخر, فيصبح لدينا ذرة مشابهة لذرة الهيدروجين مع استبدال البروتون بالبوزيترون, وهناك نلاحظ الحالتين التاليتين:

- 1- البارابوزيترونيوم $p - Ps$: يكون للبوزيترون والالكتران سبينين متعاكسين.
- 2- الأورثوبوزيترونيوم $o - Ps$: يكون سبين كل من البوزيترون والالكتران بالجهة نفسها.

يمكن قياس عمر البوزيترون من خلال قياس الفارق الزمني بين أشعة غاما المُتولدة عن المنبع المشع وبين إحدى إشعاعي غاما الناتجة عن عملية الفناء ذات الطاقة 0.511 MeV .

يتم اصطياد البوزيترونات في عيوب الحجم المفتوح للحبيبات كما في الفجوات (الفراغات) بسبب انخفاض الكثافة الالكترونية في العيب فتتغير قيمة عمر البوزيترون عن القيمة القياسية. وترتبط شدة مركبات عمر البوزيترون مباشرةً بتركيز العيوب.

تعطي دراسة سلوك البوزيترونات في المادة الكثير من معلومات تتعلق بالخصائص الالكترونية والكهربائية ... وخصائص أخرى للمادة وتكشف عن العيوب والشوائب

العلاقة بين قدرة الفصل الزمنية $FWHM$ وتابع غاوص الرياضي المستخدم في الفناء البوزيتروني

المختلفة الموجودة في المادة. إن سلوك البوزيترون الذي يسبق الفناء له انعكاس قوي على شكل طيف العمر. فمثلا في المعادن الحرة يكون لعمر البوزيترون مركبة وحيدة تتراوح بين $(80 - 300)$ ps وفي أنصاف النواقل $(100 - 500)$ ps [1].

ومن خلال خصائص طيف عمر البوزيترون يمكننا استنتاج آلية التأثير المتبادل بين البوزيترونات والكترونات المادة.

الطريقة الرياضية لتابع غاوص المستخدم:

يتكون الطيف النظري من مجموع عدة طيوف يمثل كل طيف مركبة أو أكثر وهذه المركبات ممكن أن تكون منفصلة عن بعضها أو ملتقة (مدمجة convoluted).

يُعبّر عن المركبة المنفصلة للطيف C_{dis} بالعلاقة:

$$C_{dis} = \frac{I}{\tau} \exp(-t/\tau) \quad (1)$$

تعتمد هذه المركبة على بارامترين هما I احتمال المركبة و τ عمر البوزيترون.

تُعطى المركبة الملتقة للطيف C_{con} بالعلاقة:

$$C_{con} = \int_0^{\infty} L_n(\lambda) d\lambda I \lambda \exp(-\lambda t) \quad (2)$$

تتكون هذه المركبة من تكامل المنحنيات مع التوزيع اللوغاريتمي العادي الموضح بالعلاقة التالية:

$$L_n(\lambda) d\lambda = (2\pi)^{-1/2} \sigma^{-1} \exp\{-[\ln(\lambda) - \ln(1/\tau_0)]^2 / (2\sigma^2)\} \lambda^{-1} d\lambda \quad (3)$$

تعتمد المركبة المستمرة للطيف على ثلاث بارامترات نموذجية هي: I احتمال intensity (مساهمة) المركبة و τ متوسط العمر الزمني للبوزيترون و σ الانحراف المعياري عن متوسط العمر و λ معدل فناء البوزيترون والمعروفة بالعلاقات التالية:

$$\tau = \int_0^{\infty} L_n(\lambda) d\lambda \lambda^{-1} = \tau_0 \exp(\sigma^2/2) \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} L_n(\lambda) d\lambda (\lambda^{-1} - \tau)^2 = \tau_0 [\exp(\sigma^2) - 1] \quad (5)$$

يمكن استخدام نموذجين لتابع قدرة الفصل الزمنية لتقريب الشكل الحقيقي لهذا التابع؛ النموذج الأول هو مجموع توابع غاوص، في هذه الحالة يتم التعبير عن الحل R بمجموع ثلاثة حدود:

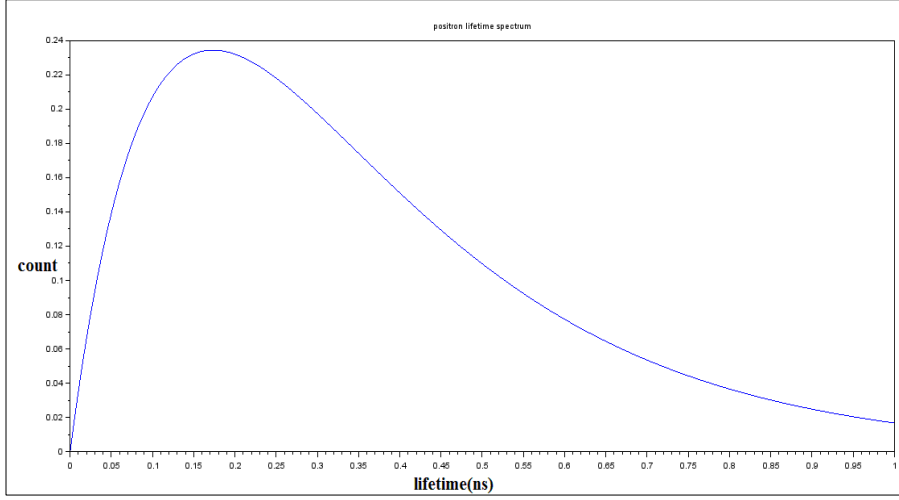
$$R = f_0 G(t; FWHM_0, 0) + f_1 G(t; FWHM_1, \Delta_1) + f_2 G(t; FWHM_2, \Delta_2) \quad (6)$$

حيث $G(t; FWHM, \Delta)$ هو تابع غاوص الزمني يتمركز في Δ , $FWHM$ (Full Width at Half Maximum) العرض الكامل عند منتصف القيمة العظمى (ويدل على قدرة الفصل الزمنية)، f_i العامل النسبي للحد رقم i .

النموذج الثاني لتابع الحل هو تابع غاوص الأسي (ESG Exponential Sided) $Gaussian$ function) وهو تابع رياضي يمثل اندماج (التفاف) تابع غاوص مع تابعين أسيين التي يمكننا من خلاله تقريب تابع قدرة الفصل الزمني:

$$R = G(FWHM) \otimes \exp(-t/\tau_l) \otimes \exp(-t/\tau_r) \quad (7)$$

حيث τ_r, τ_l تشير إلى بعض ثوابت تسمى τ - يسار و τ - يمين على الترتيب كما هو موضح في الشكل (1)، والرمز \otimes يشير إلى الجداء المباشر للتوابع الأسية الملتقة:



الشكل(1): مركبتي العمر الزمني للطيف τ_f, τ_r المندمجتين

من أجل تابع غاوص الأول تأخذ العلاقة (1) في المادة التي تحوي مركبة واحدة الشكل التالي:

$$C(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau_b}\right)$$

حيث τ_b عمر البوزيترون عندما يحوي الطيف تابع غاوص وحيد [17].

من أجل تابع غاوص وحيد $G(t)$ مركزي عند t_0 (الزمن عند ذروة التابع الغاوصي):

$$G(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\sigma}\right)^2\right] \quad (8)$$

ويمكن أن نعبر عن العرض الكامل عند ذروة التابع الغاوصي $FWHM$ بالعلاقة:

$$FWHM = 2 \sigma \sqrt{\ln 2} \quad (9)$$

حيث: σ الانحراف المعياري كما ذكرنا سابقاً.

2- هدف البحث:

دراسة العلاقة بين قدرة الفصل الزمنية وتابع غاوص الرياضي المستخدم في الفناء البوزيتروني بحساب قدرات الفصل الزمنية $FWHM$ لتتابع غاوص الملتفة (المندمجة) ESG لايجاد أكبر عدد ممكن من مركبات عمر البوزيترون والبوزيترونيوم واحتمالاتها باستخدام البرامج التالية: PALSfit و Mathematica12 و Scilab.

3- مواد وطرق البحث:

3-1- برنامج PALSfit:

هو برنامج حاسوبي يستخدم لتحليل أطياف عمر البوزيترون والتتابع المتعلقة بها. وهو من البرامج العالمية التي تُستخدَم على نطاق واسع من قبل الباحثين في هذا المجال. يتكون البرنامج من وحدتين وهما وحدة خاصة بقدرة الفصل الزمنية والثانية خاصة بعمر البوزيترون ResolutionFit و PositronFit.

والبرنامج موجود في قسم الفيزياء في كلية العلوم بجامعة البعث.

3-2- برنامج Mathematica12 :

هو أحد لغات البرمجة يتميز بأنه يمكننا وبسهولة من تحديد عملية حسابية معقدة للغاية بحيث لا يستطيع أي كمبيوتر القيام به في أمر واحد فقط، ونحصل من خلاله على عدد كبير جداً من النتائج.

يستخدم Mathematica خوارزميات فعّالة للغاية ومحسّنة. ولكن هناك بعض المهام التي تتطلب خوارزمياتها الأكثر شهرة دائماً وقتاً كبيراً.

وهذا البرنامج يستخدمه عدد كبير من طلاب جامعة البعث في أبحاثهم.

3-3- برنامج Scilab :

برنامج SCILAB للحساب الرقمي مهمته المحاكاة والنمذجة، ويمتاز بأنه يتعامل مع كل العمليات الحسابية على أنها مصفوفات، ويمتاز بقدرة كبيرة على رسم الخطوط البيانية وتحليلها وتركيبها ودمجها وهو نسخة مطورة تجمع بين برامج عديدة. كما يحتوي SCILAB على مئات الدوال الرياضية، مما يجعلنا نحصل من خلاله على نتائج أكثر دقة من البرامج الأخرى.

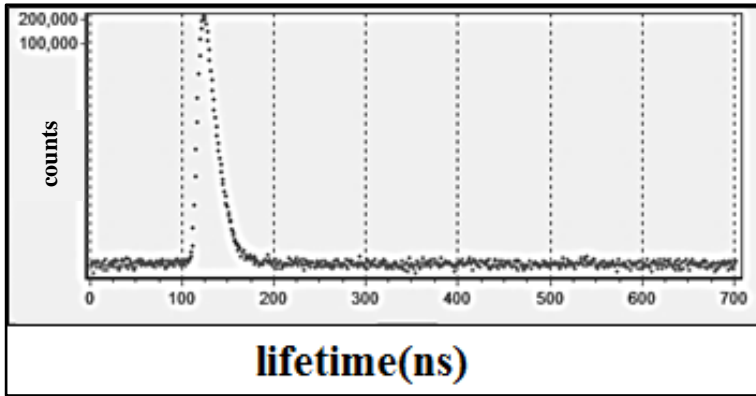
4- النتائج والمناقشة:

1-4- تحليل ومحاكاة طيف عمر البوزيترونيوم [18] باستخدام برنامج $PALSTfit$:

لقد كان هذا العمل شاقاً واستمر لفترة طويلة خاصة أننا استخدمنا لإنجازه ثلاثة برامج حاسوبية مما تطلب وقتاً طويلاً.

اعتمدنا في هذا البحث البرامج الحاسوبية المبنية أعلاه بالإضافة إلى برنامجي $scilab$ و $Mathematica$ وباستخدام المطابقة (المقايسة) الزمنية الغاوصية اللاخطية لتحليل الطيف المرجعي [18].

تم إجراء دراسة تحليلية ومحاكاة برمجية لطيف العمر المرجعي المختار (طيف عمر البوزيترون في الموليبيدينوم والذي تم قياسه من خلال مطيافية ذات منبع ^{22}Na بين رقيقتين من الألمنيوم Al) الشكل (2) الذي يتصف بتجميع مقداره 2096269 counts/s وقدرة فصل زمنية كلية ثابتة قيمتها (0.280 ns) ، اعتبرنا ذروة الطيف عند القناة 123.127 counts/s التي اعتبرناها مبدأ للقياسات، يتألف الطيف المرجعي من مجموعة من الطيوف (غير الواضحة) الملتفة مع بعضها والتي يحمل كل منها معلومات هامة المبينة أدناه.

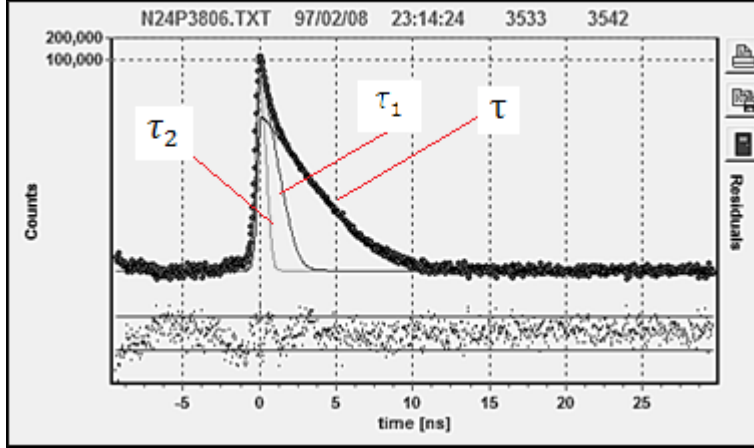


الشكل(2): الطيف المرجعي للموليبيدينوم

يلخص الشكل (3) قيم مركبات تابع غاوص الأسي ESG وقيم قدرة الفصل الزمني $FWHM$ الموافقة ومركبات عمر البوزيترون التي حصلنا عليها باستخدام البرنامج, فقد وجدنا أن كل قيمة لتابع غاوص الأسي تقابلها قيمة لقدرة الفصل الزمنية.

أيضاً أجرينا محاكاة من أجل إيجاد مساهمة النظير المشع بإيجاد أعمار البوزيترون له واحتمالاتها وذلك لفصلها عن المركبات الأساسية التي تمثل سلوك البوزيترون وعمره واحتمالاتها, فأوجدنا مقدار مساهمة النظير المشع ^{22}Na في الطيف الأساسي وكانت قيمه تساوي ($\tau_1 = 333$ ps , $\tau_2 = 149.9$ ps) , تشير τ_1 إلى عمر البوزيترون لنظير الصوديوم المشع ^{22}Na وتشير τ_2 إلى عمر البوزيترون في ركيزة الألمنيوم Al وقيمة كل منهما تتفق مع قيمة عمر البوزيترون المرجعية حيث أن عمر البوزيترون يساوي 338 ps في الصوديوم وفي الألمنيوم يساوي [2,1] 148 ps , ووجدنا أن احتمالاتها ($I_1 = 13.1$ % , $I_2 = 86.9$ %) , ثم قمنا بمتابعة عملية تحليل البيانات, وثبتنا البارامترات السابقة التي حصلنا عليها وهي $\tau_1 = 103$ ps و $I_1 = 100$ % , وأوجدنا المركبات الأخرى لعمر البوزيترون ($\tau_2 = 234.8$ ps , $\tau_3 = 674.5$ ps), وأوجدنا احتمال كل مركبة ($I_2 = 97.45$ % , $I_3 = 2.55$ %), كما في الشكل (3).

يبين الشكل (4) الطيوف التي حصلنا عليها سابقاً والذي يمثل جميع الطيوف التي تم تحليلها سابقاً وبذلك نكون قد نجحنا في فصل الطيف الخاص بمركبات عمر البوزيترون عن الطيوف الأخرى:



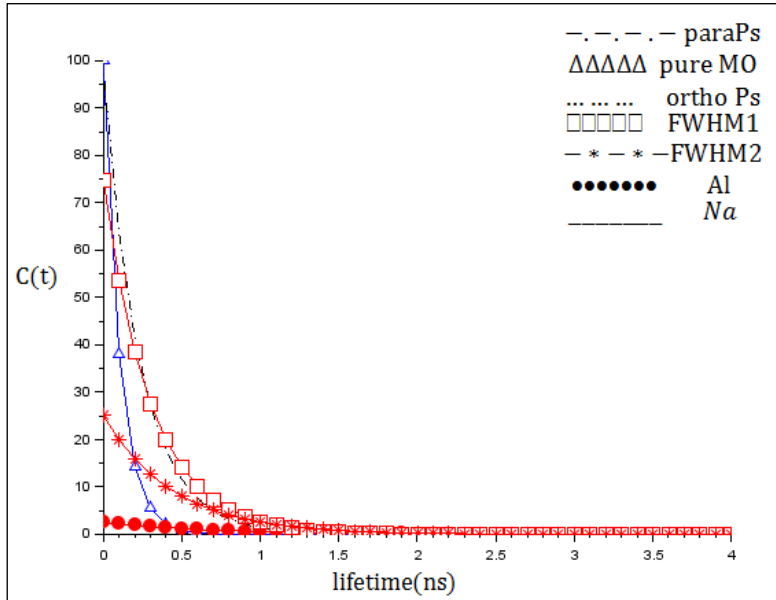
الشكل (4) طيوف توابع غاوص ومركبات العمر للمنبع والعينة وقدرات الفصل الزمنية

يلخص الجدول (1) نتائج التحليل الطيفي التي حصلنا عليها والتي تمثل قاعدة بيانات لنا يمكننا استخدامها مستقبلاً لدراسات أخرى جديدة. ويبين الجدول (1) نتائج هذا التحليل:

الجدول (1): قيم عمر البوزيترون والاحتمالات الموافقة		
Element	τ (ps)	I %
Na	333.3	13.1
Al	149.9	86.9
pure Mo	103	100
Mo(para Ps)	234.8	97.45
Mo(ortho Ps)	674.5	2.55
FWHM1	301.5	74.87
FWHM2	439.9	25.1

2-4- معالجة الطيوف المتعلقة ب عمر البوزيترونيوم في الموليبيدينوم باستخدام برنامج *Scilab* بيانياً:

بعد استنتاج وإيجاد البارامترات والمركبات والتوابع المتعلقة بطيف عمر البوزيترون الالتفافية التي قمنا بفصلها باستخدام برنامج *PALSfit* والتي يحمل كل منها معلومات مختلفة عن الأخرى تم استخدام برنامج *Scilab* لرسم هذه الطيوف ومقارنتها مع النتائج التجريبية المماثلة المرجعية الشكل (5):



الشكل(5): طيف عمر البوزيترون للموليبيدينوم باستخدام برنامج *Scilab*

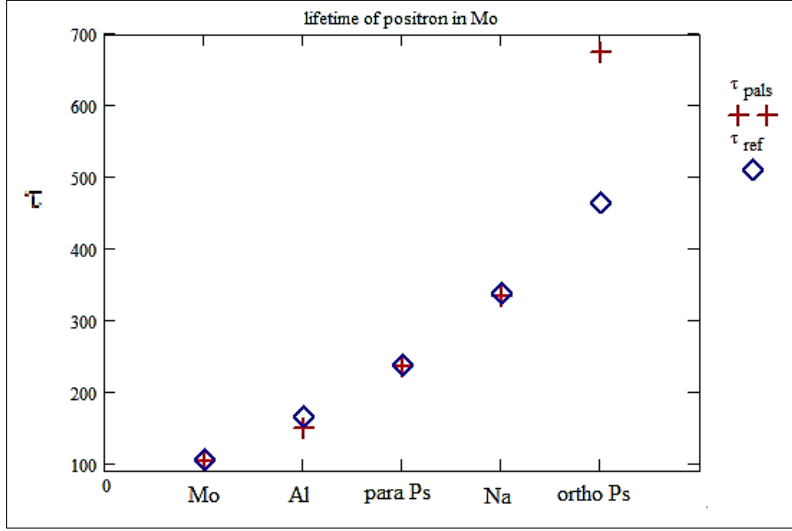
يمثل الشكل (5) توابع غاوصيان - مركبات النظير - مركبات العينة , 333.3 (439.9 , 301.5 , 674.5 , 234.8 , 103 , 149.9 , واحتمالاتها , 86.9% (25.1% , 74.87% , 2.55% , 97.45% , 100% , 13.1% والتي تمثل العلاقات (1, 2, 4, 6, 7, 9).

3-4- مقارنة النتائج التي حصلنا عليها باستخدام برنامج *PALSfit* والقيم المرجعية: يوضح الجدول (2) مقارنة قيم عمر البوزيترون والبوزيترونيوم مع القيم المرجعية: *PALSfit* والتي استخدمناها في دراستنا مع القيم المرجعية:

Element	الجدول(2): مقارنة قيم عمر البوزيترون والبوزيترونيوم مع القيم المرجعية		
	القيم التي حسبناها باستخدام <i>PALSfit</i>		exp. [1,2,18]
	I %	τ (ps)	τ (ps)
Na	13.1	333.3	338
Al	86.9	149.9	165
pure Mo	100	103	106
Mo(para Ps)	97.45	234.8	237
Mo(ortho Ps)	2.55	674.5	546

نلاحظ من الجدول (2) أن القيم المحسوبة من قبلنا قريبة إلى حد كبير من القيم المرجعية [2,1].

قمنا برسم المنحني البياني الذي يمثل قيم أعمار البوزيترون للموليبيدينوم بدلالة الاحتمالات الموافقة والتي حصلنا عليها باستخدام برنامج *PALSfit* ومقارنتها بالقيم المرجعية كما هو موضح في الشكل (6) التالي:



الشكل (6) : قيم عمر البوزيترون في الموليبيدينوم بدلالة الاحتمالات الموافقة

يبين الشكل (6) مقارنة بين قيم عمر البوزيترون لكل من الموليبيدينوم والألمنيوم والصوديوم التي قمنا بحسابها والقيم المرجعية وقمنا بمقارنة هذه النتائج التي حصلنا عليها فتبين أن القيم التي حصلنا عليها مطابقة إلى حد جيد جداً مع القيم الموجودة في المراجع العلمية [2,1]، كما وجدنا أن هناك اختلاف بين قيمة عمر الأورثو بوزيترونيوم التي حصلنا عليها والتي تساوي 674.5 ps وقيمتها المرجعية التي تساوي 465 ps .

5- الاستنتاجات والتوصيات:

5-1- الاستنتاجات:

- 1- وجدنا أن قيم قدرة الفصل الزمنية FWHM لتتابع غاوص الرياضية التي حصلنا عليها برمجياً باستخدام برنامج PALSfit تساوي (301.5 ps للمركبة الأولى, 439.9 ps للمركبة الثانية) والممثلة بالعلاقات (9,7,6).
- 2- قمنا بإيجاد المركبة التي تمثل عمر البوزيترون للنظير المشع ^{22}Na ووجدنا أنه يساوي (333 ps) وكان هناك تطابق إلى حد كبير مع القيمة التجريبية والنظرية المرجعية [2,1] والتي تساوي 338 ps .
- 3- أوجدنا مركبة لعمر البوزيترون ومركبتين لعمر البارا والأورثو بوزيترونوم τ_2 و τ_3 في الموليبدنيوم Mo باستخدام برنامج PALSfit ووجدناها تساوي ($\tau_2 = 234.8$ ps , $\tau_3 = 670$ ps) تدل هذه القيم على وجود عيوب في العينة المأخوذة من الطيف المرجعي [18] وهي توافق إلى حد كبير القيم التجريبية والنظرية المرجعية التي تساوي $\tau_2 = 237$ ps [5,4].
- 4- وجدنا أن احتمال المركبة الأولى لقدرات الفصل الزمنية الجزئية لتتابع غاوصيان ESG هي (74.8757%) واحتمال المركبة الثانية (25.1%).
- 5- وجدنا أن قيم احتمال النظير المشع في الطيف الذي تم فصله برمجياً تساوي ($I_1 = 13.1\%$, $I_2 = 86.9\%$).
- 6- وجدنا أن قيم احتمالات مركبات عمر البوزيترون ($I_2 = 34.6\%$, $I_3 = 0.91\%$) في حين أن احتمال عمر البوزيترون في الطيف للعينة النقية $I_1 = 100\%$.
- 7- تأكدنا من النتائج السابقة فقمنا برسم طيوف كل مركبة بشكل مستقل عن الأخرى باستخدام برنامج Scilab فوجدنا تطابقاً في طيف الموليبدنيوم الشكلين (5,4) .
- 8- وجدنا أن لكل قيمة لقدرة الفصل الزمنية FWHM يوجد قيمة لتابع غاوص الأسّي ESG ويزداد قيمة FWHM تنقص قيمة ESG .

5-2- التوصيات:

نوصي بما يلي:

- 1- توسيع هذه الدراسة لتشمل معادن أخرى غير الموليبيدينوم مثل الألمنيوم والحديد والنحاس ... والاستفادة منها في مجالات علمية وعملية أخرى.
- 2- دراسة عمر البوزيترون في البوليميرات لما لها من تطبيقات كثيرة في مجال العلوم.
- 3- إجراء دراسات أخرى تشمل بارامترات أخرى غير التي قمنا بدراستها مثل الطاقة والعدد وزوايا انحراف البوزيترون و درجة الحرارة والضغط وتأثير تغييرها على قيمة τ .

المراجع

- [1]- Campillo Robles , J M and etal 2007 Positron lifetime calculation for the elements of the periodic table, **J. Phys.: Condens. Matter** **19** (20pp).
- [2]- BORONSKI,E 2010 Positron lifetime calculations for some elements on the base of the GGA-PHNC approximation, **NUKLEONIKA** 55(1):9–12.
- [3]- SAYED AHMED, E 2008- **Characterization of Control Mesoporous Glasses (CPGs) Using Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy (PALS)**. Halle/Saale, 107.
- [4]- WANG, H.B. et al 2020 A new SiPM-based positron annihilation lifetime spectrometer using LYSO and LFS-3 scintillators, **Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A** 960 (2020).
- [5]- DRYZEK, 2020 J. On the Reconstruction of the Mean Positron Lifetime Obtained from the Sequential Chemical Etching Procedure, **ACTA PHYSICA POLONICA A** Vol. 137, 196-200.
- [6]- ZHIYONG,Z et al. 1991 Positron lifetime study of proton-irradiated moly, **Institute of modern Physics**, vol 61,72-76
- [7] NAMBISSAN,P et al. 1991 Helium bubbles in molybdenum investigated by positron annihilation spectroscopy, **Radiation Effects and Defects in Solids**, vol 116.
- [8] MUKHERJEE,S et al. 2015 Positron annihilation spectroscopy of Uranium Molybdenum alloys, **Journal of Physics: Conference Series**, vol 618.
- [9]- TROEV,T et al. 1991 Positron lifetime measurements of molybdenum irradiated by 14 MeV monoenergetic neutrons, **Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Science**, vol 24.
- [10]- MOGENSEN,O et al. 1972 Effect of Voids on Angular Correlation of Positron Annihilation Photons in Molybdenum, **Nature** 239, 98–99.
- [11]- THRANE,N et al. 1977 The effect of impurities on the lifetime of positrons in voids in molybdenum, **Applied physics**, vol 12, 183–185.

- [12]- THRANE,N et al. 1977 The relationship between void size and positron lifetime in neutron irradiated molybdenum, **Applied physics A** , vol 12, 187–189.
- [13]- ELDRUP,M et al. 1976 A positron annihilation study of the annealing of electron irradiated molybdenum, **Journal of Physics F: Metal Physics**, vol 6.
- [14]- PETERSEN,K et al. 1974 A positron annihilation study of the annealing of, and void formation in neutron-irradiated molybdenum, The Philosophical Magazine: **A Journal of Theoretical Experimental and Applied Physics**, vol 29, 9-23.
- [15]- PAGH,B et al. 1984 Temperature dependence of positron annihilation parameters in neutron irradiated molybdenum, **Applied Physics A** , vol 33, 255-263.
- [16]- COTTERILL,R et al. 1972 Correlation of Void Size and Positron Annihilation Characteristics in Neutron-irradiated Molybdenum, **Nature** 239, 99–101.
- [17]- PA'ZSIT,I et al. 1999 Unfolding positron lifetime spectra with neural networks, **Applied Surface Science** 149 .97–102.
- [18]- GREGORY, R 1991 Analysis of positron annihilation lifetime data by numerical Laplace inversion: Corrections for source terms and zero-time shift errors, **Nucl. Instr. and Meth.** vol 302, Issue 3 496–507.

دراسة تأثير الإشابة بالكوبالت على الخصائص البنيوية للمركب



رشا يوسف¹ د. عبلة الزعبي² أ.د. ناصر سعد الدين³

¹ طالبة دكتوراه في فيزياء المادة الكثيفة ² أستاذ مساعد في قسم الفيزياء-كلية العلوم-جامعة البعث³
أستاذ في قسم الفيزياء-كلية العلوم-جامعة البعث

ملخص :

تم تحضير المركبات المشابة بالكوبالت $YBa_2(Cu_{3-x}Co_x)O_{7-\delta}$ باستخدام طريقة الاصطناع الصلب وذلك بخلط كميات مناسبة من أكسيد الكوبالت Co_3O_4 مع كربونات الباريوم $BaCO_3$ وأكسيد الإتريوم Y_2O_3 و أكسيد النحاس CuO بنسب إشابة مختلفة لأكسيد الكوبالت ($x = 2\%, 4\%, 6\%$) بطريقة الاصطناع الصلب. درست الخصائص البنيوية للأكاسيد المحضرة باستخدام تقنية انعراج الأشعة السينية. تم تحديد درجة حرارة الاصطناع عند الدرجة 930 . بينت دراسات أطياف انعراج الأشعة السينية XRD ومقارنتها مع طيف انعراج الأشعة السينية للمركب النقي $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ حصول تحوّل طوري للمركب النقي عند إشابته بالكوبالت وتلدينه عند الدرجة 930°C من البنية البنية الرباعية إلى المعينية القائمة. ينتمي المركب النقي $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ذو البنية المعينية القائمة إلى مجموعة التناظر الفراغية $Pmmm$. بينما تنتمي المركبات المشابة بالكوبالت ذات البنية الرباعية إلى مجموعة التناظر $P4/mmm$. تم حساب ثوابت الشبكة البلورية للمركبات المشابة بالكوبالت ومقارنتها مع ثوابت الشبكة البلورية للمركب النقي. لوحظ أنه في المركبات المشابة بالكوبالت يكون $b = a$ بقيم تقع بين $a = 3.816\text{Å}$, $b = 3.875\text{Å}$ للبنية المعينية القائمة من أجل جميع الإشابات.

كلمات مفتاحية : الاصطناع الصلب - درجة حرارة التحوّل- المركبات الكوبراتية- نواقل فائقة عالية درجة الحرارة
- $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

STUDY THE EFFECT OF Co-DOPING ON THE STRUCTURAL PROPERTIES OF $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ SYSTEM

Rasha Yousef¹ Abla Al-Zoubi² Nasser Saad Al-Din³

¹Doctoral student in dense matter at Al-Baath university, Syria.

²Dr. in Optoelectronics-faculty of science at Al-Baath university.

³Pro.Dr. in Solid state electronics-faculty of science at Al-Baath university.

Abstract:

The $YBa_2(Cu_{3-x}Co_x)O_{7-\delta}$ compounds were prepared started of Y_2O_3 , $BaCO_3$, CuO and Co_3O_4 with different doping concentration ($x = 2\%, 4\%, 6\%$) by "Solid State method". The compositional properties of synthesis compounds were studied by X-ray diffraction (XRD) technique. Optimum synthesis temperature of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ was determined at $930^\circ C$. X-ray diffraction patterns showed crystalline transformation from orthorhombic to tetragonal structure at $930^\circ C$ for the doped samples. The pure compound belongs to $Pmmm$ space group. The tetragonal compounds belong to $P4/mmm$ space group. The crystal lattice constants of the Co-doped compounds were calculated and compared with the crystal lattice constants of the pure compound. It was observed that in Co-doped compounds, $a = b$ with values between $a = 3.816\text{\AA}$ $b = 3.875\text{\AA}$, for the orthorhombic structure for all doping.

Key words: Cuprates- High Tc Superconductors - Solid state reaction- Transition temperature- $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

1 - مقدمة:

يطلق اسم الناقلية الفائقة على مجموعة الخصائص الكهربائية والمغناطيسية اللافتة للنظر والتي ظهرت في بعض المعادن عندما تم تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة جداً. تم التوصل إلى مثل هذه الخصائص عند درجات الحرارة المنخفضة لأول مرة عام 1908 باستخدام الهيليوم السائل عند الدرجة $4^{\circ}K$.

درست تغييرات المقاومة الكهربائية للمعادن بدلالة تغير درجة الحرارة وكانت أولى التحديات التي أجراها أونس في مجال فيزياء درجات الحرارة المنخفضة حيث كان معروفاً لسنين عدة هو أن مقاومة المعدن تنخفض عندما يتم تبريد المعادن لدرجات حرارة أخفض من درجة حرارة الغرفة، ولكن Onnes توصل إلى نتيجة لم تكن معروفة حينها وهي القيمة الحدية التي ستقترب منها المقاومة إذا تم تخفيض درجة حرارة المعدن إلى ما يقارب $0^{\circ}K$. كما توصل أونس أثناء تجاربه على معدن البلاتينيوم أن انخفاض المقاومة أثناء التبريد يعتمد على درجة نقاوة العينة.

كان الزئبق في ذلك الوقت هو المعدن الأكثر نقاوة وتوفرًا، وعند محاولة Onnes لاكتشاف سلوك عنصر نقي جداً -كالزئبق- وجد أن مقاومة الزئبق أصبحت صغيرة جداً بشكل يتعذر عن القياس عند درجات حرارة منخفضة جداً وهذه النتيجة لم تكن مفاجئة، ولكن النتيجة التي لم تكن متوقعة أبداً حدثت عام 1911 عندما انعدمت المقاومة تماماً (بشكل مفاجئ) عند تخفيض درجات الحرارة إلى حوالي $4^{\circ}K$ ، بدلاً من انخفاض المقاومة بالتدريج، وفي درجات حرارة أخفض من هذه لم يظهر الزئبق أي مقاومة مهما يكن، علاوة على ذلك فإن الانتقال المفاجئ لحالة انعدام المقاومة لم تكن مقتصرة على المعدن النقي بل ظهرت حتى في حال كان الزئبق غير نقي تماماً.

تأكد أونس عندها أن الزئبق في مجال درجات الحرارة الأقل من $4^{\circ}K$ مرّ في حالة جديدة مع خصائص كهربائية مختلفة عن المعروفة سابقاً وسميت هذه الحالة بالناقلية

الفائقة **Superconductivity**. وحتى وقتنا هذا وجد أن نصف العناصر المعدنية وعدد من السبائك (الخلاط) تصبح فائقة الناقلية في درجات حرارة منخفضة "أقل من $25^{\circ}K$ ".

تظهر المواد فائقة الناقلية "مغناطيسية عكسية مثالية" وتطرد الحقل المغناطيسي، بشرط أن يكون هذا الحقل أقل من شدة الحقل الحرج H_c . تم شرح هذه الخاصية الفريدة من نوعها لهذه المواد من خلال أثر مايسنر الذي اكتشفه العالمان Meissner و Ochsenfeld في عام 1933.

بقيت النواقل الفائقة منخفضة درجة الحرارة تشغل اهتمام الباحثين في تلك الأعوام وبعد مرور زمن طويل جداً "حوالي عدة عقود" في عامي 1987 – 1986 تم اكتشاف مواد جديدة ومختلفة هي الأكاسيد المعدنية المختلطة أو مايعرف بالسيراميكيات وأظهرت صفة الناقلية الفائقة عند درجات حرارة أفضل بكثير مما عرف سابقاً وكان اكتشاف المركب $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ من قبل العالمين "Bednorz" و "Alex Muller" في مختبر الأبحاث IBM والذي يملك درجة حرارة تحوّل $T_c > 77K$ أي أكبر من درجة حرارة الآزوت السائل هو البداية الجديدة لرحلة اكتشاف النواقل الفائقة. أبدت هذه المواد ناقلية فائقة عند درجات حرارة أعلى من $77K$ ووفقاً للتجارب تمكّن الباحثين من رفع درجة حرارة التحوّل في مثل هذا النوع من النواقل الفائقة إلى درجة حرارة تصل إلى $130^{\circ}K$. لذلك أطلق عليها اسم النواقل الفائقة مرتفعة درجة الحرارة (High T_c HTC Superconductors)^[1].

بيّنت النظريات أنّ جميع النواقل الفائقة كانت تتصرف وفقاً لنمطين هما النمط الأول *type I* تندرج المعادن النقية والسبائك تحت هذا النمط، والنمط الثاني *type II* تمثّله السيراميكات وهذان النمطان يمتلكان عدة خصائص مشتركة ولكن أظهرتا اختلاف في سلوكهما المغناطيسي، هذا الاختلاف كان كافٍ للتعامل مع النمطين بشكل منفصل^[2].

تطلق تسمية المركبات الكوبراتية (Cuprates) على كل مركب من عائلة أكسيد النحاس احتوى على مستويات من أكسيد النحاس (CuO_2), تتمتع هذه المواد ببنية بلورية طبقية ذات أنماط بلورية معروفة "Spinel, Perovskite," و بناقلية فائقة وسميت "النواقل الفائقة عالية درجة الحرارة" (High T_c Superconductors) [3][4][5][6].

من المعروف أنه كلما كانت درجة حرارة التحول أعلى كانت المادة أسهل منالاً وأقل تكلفة مما يجعلها ذات تطبيقات كبيرة في المجالات المختلفة وكنتيجة لذلك يمكن القول أنّ النواقل الفائقة من النوع الثاني *Type – II Superconductors* هي مركبات ذات تقانات هامة تم الاستغادة منها في الصناعة.

لجأ علماء المواد إلى عدّة طرائق لرفع درجة انتقال المواد فائقة الناقلية عالية درجة الحرارة منها تطبيق ضغوط عالية على العينات أو استبدال ذرات ذات حجوم ذرية كبيرة بذرات المادة الأصلية لتقوم بمهمة تغيير الضغط أو خلق عيوب في البنية البلورية بالابتعاد عن النسبة الكيميائية النظامية عند الاصطناع " كنقصان الأكسجين في مركبات النحاس $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ " أدى ذلك إلى الحصول على مواد درجة حرارة انتقالها أعلى.

تعددت الدراسات التجريبية حول تحضير المركبات الكوبراتية ولوحظ أنه في بعض الأحيان قد تؤدي إضافة عناصر أخرى كشوائب إلى هذه المركبات إلى رفع درجة حرارة تحولها وفي أحيان أخرى قد تؤدي إلى تخريب الناقلية الفائقة بشكل كامل [7][8][9][10].

في هذه الورقة البحثية سندرس تأثير إشابة المركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ بعنصر الكوبالت، ولأجل ذلك تم تحضير عينات المحلول الصلب لمركب الـ $YBCO$ باستبدال عنصر الكوبالت بالنحاس $YBa_2(Cu_{3-x}Co_x)O_{7-\delta}$ بنسب لاستييومترية مختلفة

تمّ تُرست الخصائص البنيوية للمركّبات المحضّرة باستخدام تقنية انعراج الأشعة السينية. ($x = 2\%, 4\%, 6\%$)

تمّ تحضير الأكاسيد المختلطة في هذا البحث بطريقة الاصطناع الصلب "Solid State Reaction". تعدّ هذه الطريقة من أوائل الطرائق المستخدمة للحصول على النواقل الفائقة القائمة على الأكاسيد المختلطة وظلّت هذه الطريقة مرغوبة بكثرة لما تتمتع به من سهولة في العمل حيث لا تتطلب مهارات خاصة. بما أن بعض المواد صعبة الانحلال في الماء فإن هذه الطريقة توفر حلاً لهذه المشكلة من ناحية تحضير المركبات المرغوبة بدون الحاجة إلى حلها في أي محل وهذا من ناحية أخرى يشكل جدوى اقتصادية عالية لطريقة الحالة الصلبة، حيث أن المادة الوحيدة المستخدمة في أغلب تفاعلاتها هي الأسيوتون الذي يستعمل للمساعدة على تمازج المركبات الصلبة أثناء عملية تحضير العينات وبكميات صغيرة نسبياً.

تتميز هذه الطريقة بإعطائها مزيجاً عالي النقاوة لما تطلبه من أكاسيد ذات نقاوة عالية بدون وجود أية شوائب من مواد مختلفة للاصطناع عند الخلط بالمقارنة مع طرائق الاصطناع الأخرى، يتم أخذ نسب استيكومترية من المواد الأولية بصورتها النقية لضمان اكتمال التفاعل والحصول على طور واحد للمادة الجديدة نقيّة بدون وجود أطوار أخرى لشوائب أو للمواد الأولية^{[11][12]}.

2 - أهداف البحث :

يهدف البحث إلى :

- 1- تحضير المركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ انطلاقاً من أكسيدي النحاس والإيتريوم Y_2O_3 و CuO وملح كربونات الباريوم $BaCO_3$ باستخدام طريقة الاصطناع الصلب ودراسة خصائصه البنيوية.
- 2- تحديد درجة حرارة الاصطناع المثلى للمركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ودراسة التحول الطوري للمركب عند الدرجة $930^\circ C$.
- 3- تحضير المحاليل الصلبة لجملة الـ $YBCO$ باستبدال الكوبالت بالنحاس $YBa_2(Cu_{3-x}Co_x)O_{7-\delta}$ بنسب لا استوكيومترية مختلفة ($x = 2\%, 4\%, 6\%$) باستخدام طريقة الاصطناع الصلب.
- 4- دراسة تأثير الإشابة بالكوبالت على الخصائص البنيوية للمركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

3 - مواد وطرائق البحث :

1-3 الأجهزة والمواد المستخدمة :

- 1- ميزان تحليلي حساس بدقة 0.0001gr .
- 2- هاون عقيق لطحن العينات وبوتقات خزفية تتحمل درجات حرارة عالية تصل إلى $1200^\circ C$.

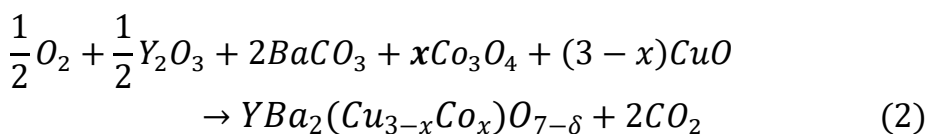
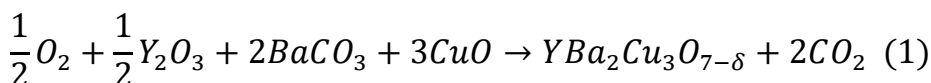
- 3- فرن حراري لتلدين العينات من شركة (Carbolite) يصل قيمة عظمى 1100°C .
- 4- أداة ضغط ميكانيكية لكبس العينات على شكل أقراص بحدود $10000\text{kg}/\text{cm}^2$.
- 5- جهاز انعراج الأشعة السينية X-Ray Powder Diffractometer (PW 1840) ذو مصعد من الكوبالت Co بطول موجة $\lambda = 1.7889\text{\AA}$ إنتاج شركة (PHILIPS).
- 6- جهاز التحليل الحراري التفاضلي (Differential Thermal Analysis) وهو من نوع Shimadzu.
- 7- مواد كيميائية نقية : أكسيد الإتريوم Y_2O_3 نقاوته 99.9%، أكسيد النحاس CuO نقاوته 99.3%، كربونات الباريوم BaCO_3 بنقاوة 99.5%، أكسيد الكوبالت Co_3O_4 بنقاوة 99.8%، وأسيتون (Extra Pure) نقاوته 99.0%.

3-2 تحضير العينات :

تم تحضير عينات YBCO(123) النقية والمحاليل الصلبة لها بطريقة الاصطناع الصلب Solid State Reaction على شكل مساحيق بخلط كميات مناسبة من أكسيد الإتريوم Y_2O_3 وكربونات الباريوم BaCO_3 وأكسيد النحاس CuO وأكسيد الكوبالت Co_3O_4 بوجود كمية من الهواء. تم طحن المواد السابقة وخطها بواسطة هاون عقيق لضمان الحصول على خليط متجانس بعد إضافة كمية من الأسيتون بهدف تحسين عملية الخلط المتجانس لها و لمدة 15 دقيقة تقريباً حتى جفاف الأسيتون، أعيدت هذه العملية ثلاث مرات متتالية لكل عينة من العينات. بعد ذلك تم تجفيف الخليط الناتج بتسخينه إلى درجة الحرارة 100°C لفترة زمنية كافية لضمان التخلص من الرطوبة. تم كبس المسحوق على شكل أقراص بقطر 1cm وسماكة 2mm بهدف تقريب

الجسيمات المتفاعلة من بعضها البعض وزيادة إمكانية التفاعل و التأثير المتبادل بين الجسيمات ، و تم اصطناع من (4 - 5) أقراص مضغوطة للعينه المحضّرة.

تم حساب كتل المواد الداخلة في تشكيل المركّب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ والمركّبات $YBa_2(Cu_{3-x}Co_x)O_{7-\delta}$ بنسب الإشابة % (2-4-6) من خلال التفاعلين التاليين:



وضعت الأقراص المضغوطة في بواتق خزفية وتمّ تلدينها بالتدرّج في مجال من درجات حرارة تتراوح بين $850-930^\circ C$ ولفترات زمنية من 6 إلى 10 ساعات. ومن ثمّ تمّ تبريد العينات تدريجياً إلى درجة حرارة $500^\circ C$ بمعدّل $1^\circ C/min$. إن عملية التبريد البطيء هذه تضمن الحصول على نسبة الأكسجين الإستيكيومتريّة المطلوبة في المركب والمساوية تقريباً للعدد 7.

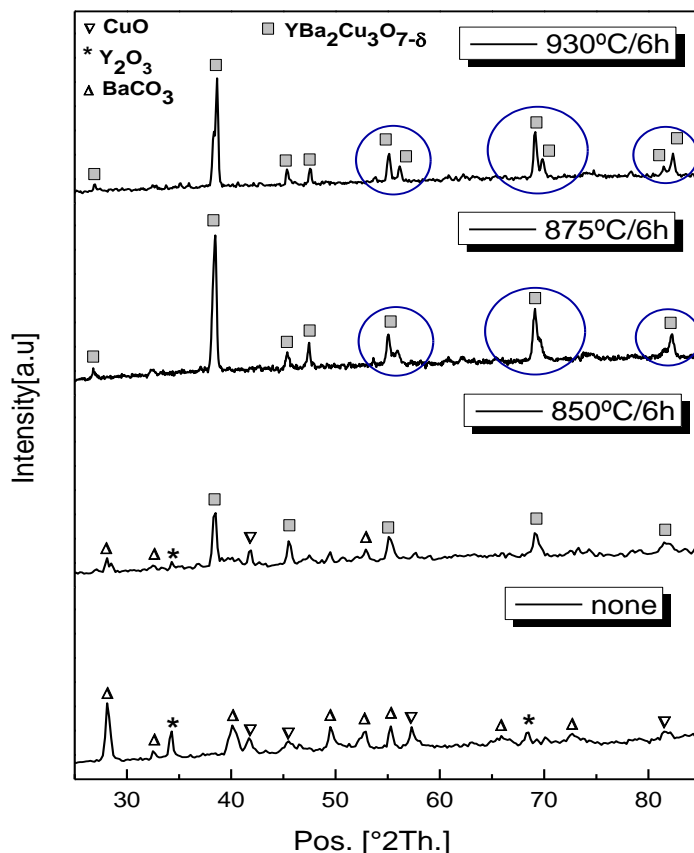
يستدل على انتهاء التفاعل و تشكّل المركّب المطلوب من خلال الحصول على طور وحيد في كل عينة. إن الاستدلال على تشكّل طور وحيد هو أن تكون قيم d للأطياف الطيفية بالأشعة السينية متطابقة جميعها أو أكثر من 95% من قرائن ميلر المقترحة و الموافقة لنمط التبلور المقترح أثناء الحسابات الرياضية لإيجاد ثوابت الشبكة البلورية. في حال عدم تطابق عدد معين من الخطوط يجب استبدال الفرض بفرض آخر من التبلور حيث دائماً نبدأ بفرض التبلور الأعلى تناظراً (المكعبة).

4 - النتائج والمناقشة

4 - 1 - تحديد درجة الاصطناع المثلى للمركبات المحضرة:

تم دراسة الخصائص البنيوية للعينات المحضرة باستخدام تقنية انعراج الأشعة السينية بغية التحقق من تشكّل المركبات المحضرة وتحديد درجة الحرارة المثلى لاصطناعها.

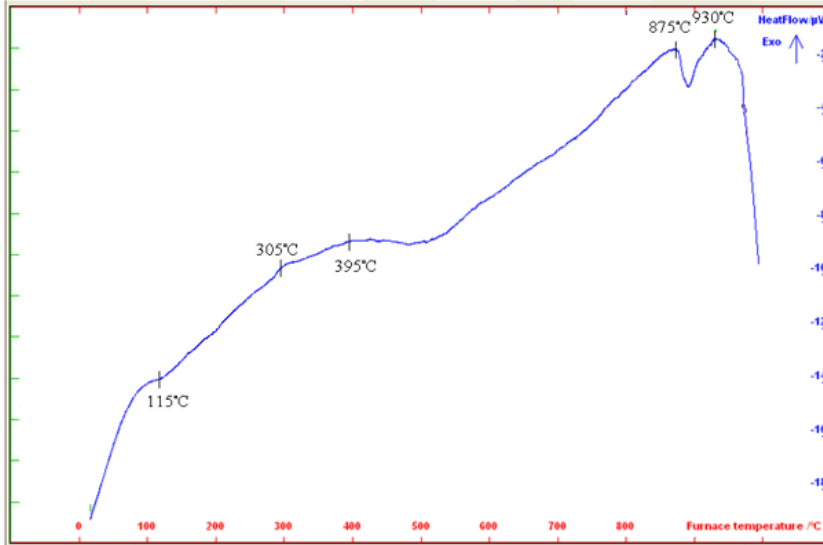
بيّنت الدراسات السابقة للمركّب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ أنّ الدرجة 875°C هي درجة مناسبة للاصطناع، وتمّ التحقق من حصول تحوّل طوري للمركّب المدروس من البنية الرباعية Tetragonal إلى البنية المعينية القائمة Orthorhombic عند تليدين المركّب إلى درجة حرارة أعلى وتحديدًا عند الدرجة 930°C [13][14]. يبيّن الشكل (1) مراحل اصطناع المركّب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ حيث يظهر الشكل أنّ المركّب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ بدأ بالتشكّل عند الدرجة 850°C واكتمل تشكّله عند الدرجة 875°C و خضع لتحوّل طوري عند الدرجة 930°C .



الشكل (1) أطيف انعراج الأشعة السينية لمركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ عند أزمنة و درجات حرارة مختلفة.

أكدت دراسة السلوك الحراري للمركب باستخدام جهاز التحليل الحراري التفاضلي درجتي التشكل والتحول المذكورتين حيث بيّن الشكل (2) منحنى التحليل الحراري التفاضلي DTA للمركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. يدل الفعل الناشر للحرارة عند الدرجة 875°C على تشكّل المركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ وتشير القمة الناشئة عند الدرجة 930°C إلى التحول البلوري الحاصل على مركب YBCO المتشكّل عند الدرجة 875°C من البنية الرباعية إلى البنية المعينية القائمة وهذا يتوافق مع النتيجة التي حصلنا عليها من أطيف

انعراج الأشعة السينية XRD. بالإضافة إلى وجود أفعال ناشرة و ماصّة أخرى تشير إلى تحولات بلورية للأوكاسيد الأولية وإلى التخلص من الرطوبة.

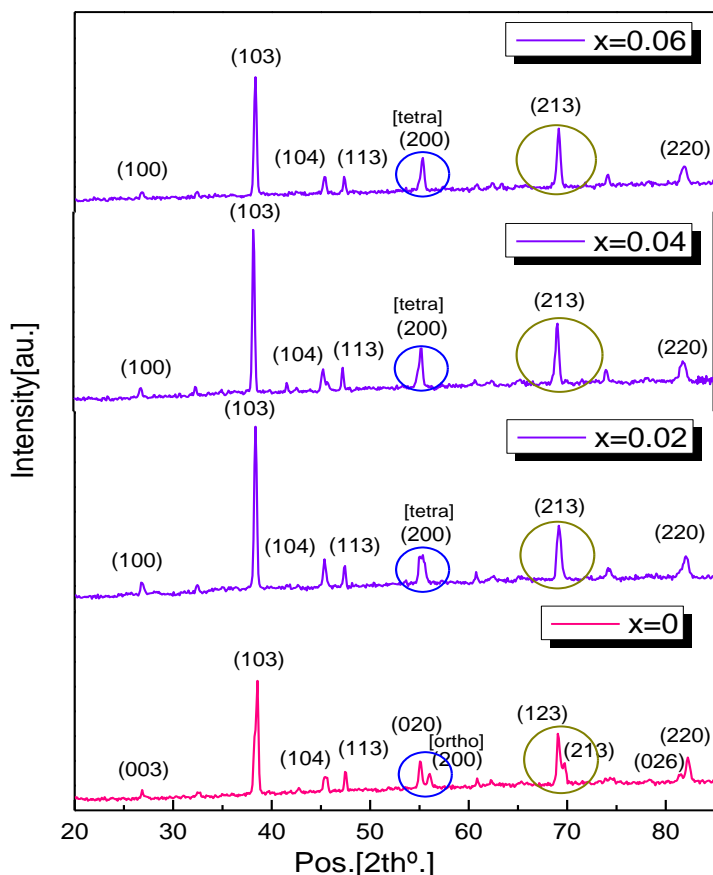


الشكل (2): منحنى التحليل التفاضلي الحراري DTA للمركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

ساعدت الدراسة السابقة في تحديد درجة حرارة اصطناع المركبات المشابهة بالكوبالت. ولذلك تمّ دراسة أطيف انعراج الأشعة السينية للعينات المحضّرة والمضغوطة على شكل أقراص وملدّنة عند الدرجة 930°C لمُدّة (5 - 6)h.

4 - 3 - دراسة الخصائص البنيوية للمركبات المشابهة بالكوبالت

يبين الشكل (3) أطيف انعراج الأشعة السينية للمحاليل الصلبة الناتجة عن استبدال الكوبالت بالنحاس $YBa_2(Cu_{3-x}Co_x)O_{7-\delta}$ والمحضّرة بطريقة الاصطناع الصلب ومقارنتها بطيف انعراج الأشعة السينية للمركّب النقي.



الشكل(3): أطياف انعراج الأشعة السينية للمركبات المشابهة بالكوبالت بنسب مختلفة والملدنة عند درجة الحرارة 930°C.

بمقارنة أطياف الانعراج في الشكل (3) التي تم الحصول عليها مع البطاقات المرجعية (96-100-1456) (96-100-1433) في قاعدة البيانات COD-Inorg 2019 تبين أن المركب النقي يتبلور وفق بنية معينة قائمة بينما تعاني المحاليل الصلبة الناتجة عن استبدال الكوبالت بالنحاس من تحوّل تدريجي إلى نمط التبلور الرباعي مبتعدةً عن التبلور المعيني القائم بزيادة نسبة الاستبدال، حيث نلاحظ اختفاء القمم التي تعود إلى

المركب النقي بشكل تدريجي واندماجها مع قمم مجاورة لها لتصبح عائدة إلى البطاقة (96-100-1433) التي تطابق بنية رباعية للمركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

تبيّن أيضاً من المقارنة أنّ المحاليل الصلبة المحضّرة تنتمي إلى مجموعة التناظر الفراغية $P4/mmm(123)$. يعرض الجدول (1) قيم كلاً من 2θ و d_{hkl} وقرائن ميلر للمحاليل الصلبة الناتجة عن استبدال الكوبالت بالنحاس للمعدنة عند الدرجة $930^\circ C$.

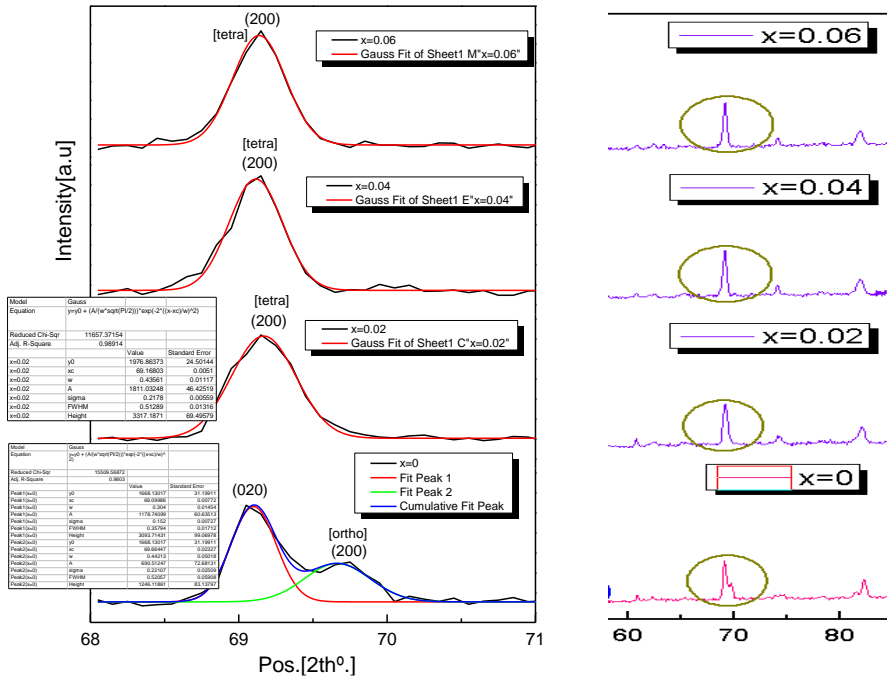
الجدول (1) قيم كل من 2θ و d_{hkl} للمحاليل الصلبة المحضّرة بنسب مختلفة (2%, 4%, 6%) والمعدنة عند الدرجة $930^\circ C$.

$x = 0\%wt$		$x = 2\%wt$		$x = 4\%wt$		$x = 6\%wt$	
hkl	$2\theta^\circ$	hkl	$2\theta^\circ$	hkl	$2\theta^\circ$	hkl	$2\theta^\circ$
003	26.95	100	26.74	100	26.77	100	26.8
103	38.33	103	38.3	103	38.23	103	38.29
104	45.21	104	45.31	104	45.29	104	45.34
113	47.35	113	47.36	113	47.29	113	47.32
020	54.89	200	54.98	200	55.25	200	55.28
200	55.9	ortho200	55.28				
123	68.93	213	69.11	213	69.07	213	69.1
213	69.76						
026	81.45	220	81.99	220	81.81	220	81.84
220	82.35						

تم إجراء عملية محاكاة Fitting لبيانات الأشعة السينية لتوضيح تغير مواقع القمم وانزياحها تدريجياً عند حصول التحوّل البلوري للمركبات المشابهة بالكوبالت.

يبين الشكل (4) عملية المحاكاة لأحد القمم التي أبدت تغيراً واضحاً عند التحوّل الطوري حيث نلاحظ اندماج القمّتين 69.66° , $69.09^\circ = 2\theta$ للمركب النقي بشكل تدريجي مع

زيادة نسبة الكوبالت في المركب لتصبحان قمة واحدة عند الزاوية $2\theta = 69.16^\circ$. وتتابع القمة بالاندماج مع انزياح صغير لتأخذ مواقع عند الزوايا $2\theta = 69.11^\circ$ ثم $2\theta = 69.13^\circ$. يشير وجود القمتين المنفصلتين إلى أن المركب يتطابق مع نمط التبلور المعيني القائم ويدل اندماج القمتين (200) و (020) أن ثابت الشبكة *a* و *b* يقتربان من نفس الطول مما يقترح تغيير في التناظر البلوري وبشكل أدق يمكن القول أن البنية البلورية للمركب قد تكون انتقلت من الطور المعيني القائم إلى الطور الرباعي نتيجة الإشابة بالكوبالت رغم أن درجة حرارة التلدين 930°C هي درجة حرارة تحوّل مركب الـ YBCO النقي إلى بنيته المعينية القائمة [15][16][17].



الشكل (4): التحوّل الطوري للمركب $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ من البنية المعينية القائمة إلى البنية الرباعية، نلاحظ اندماج القمم وإزاحتها مع زيادة نسبة الإشابة.

يوضح الجدول (2) مواقع القمم $2\theta^\circ$ والتعريض FWHM والشدة النسبية Int% للقمم التي تم ضبطها من خلال عملية Fitting لأطياف انعراج الأشعة السينية ضمن مجال زاوي ($2\theta = 68^\circ, 71^\circ$).

الجدول(2): مواقع القمم $2\theta^\circ$ والتعريض FWHM والشدة النسبية Int% ، نتائج الـ Fitting باستخدام برنامج المحاكاة .

Fitting sample	$2\theta^\circ$	FWHM	High%	R-square
$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	69.09	0.357	30.9	0.980
	69.66	0.52	12.4	
$YBa_2(Cu_{2.98}Co_{0.02})O_{7-\delta}$	69.16	0.51	33.17	0.989
$YBa_2(Cu_{2.96}Co_{0.04})O_{7-\delta}$	69.12	0.426	36.09	0.982
$YBa_2(Cu_{2.94}Co_{0.06})O_{7-\delta}$	69.13	0.422	34.81	0.991

تم حساب البعد بين المستويات البلورية d من زوايا الانعراج عند كل خط طيفي باستخدام قانون براغ $n\lambda = 2d \sin \theta$ ، حيث λ طول موجة الأشعة السينية (1.7889\AA) و θ زاوية الانعراج. ومن ثم تم تعيين قيم ثابت الشبكة البلورية a و b و c بالاستفادة من قيم d حيث يعطى البعد بين المستويات البلورية d_{hkl} في حالة البنية البلورية الرباعية والبنية المعينية القائمة بالعلاقات الآتية [18]:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (3)$$

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (4)$$

تم حساب حجم وحدة الخلية أيضاً الذي يعطى بالعلاقة:

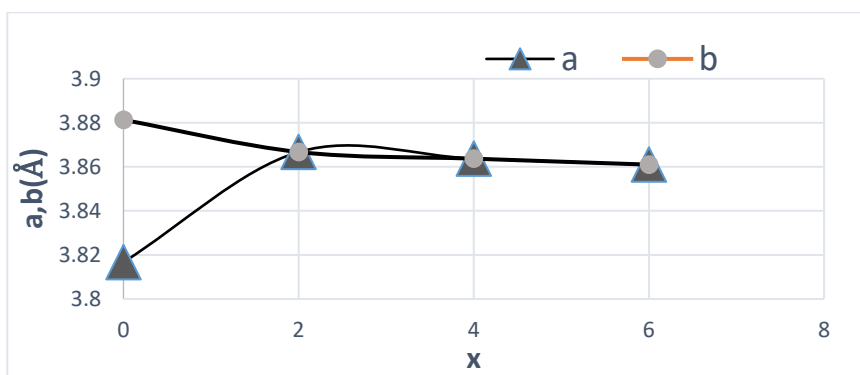
$$V = a . b . c \quad (5)$$

يبين الجدول (3) قيم ثوابت الشبكة البلورية وحجم التبلور للمركبات المشابهة ومقارنتها مع النتائج الحسابية للمركب النقي $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

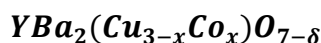
الجدول(3): قيم ثوابت الشبكة وحجم خلية الوحدة لمركب YBCO النقي وللمحاليل الصلبة $YBa_2(Cu_{3-x}Co_x)O_{7-\delta}$

Sample	a (Å)	b (Å)	c (Å)	V (Å) ³
$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	3.8167	3.8813	11.6318	172.31
$YBa_2(Cu_{2.98}Co_{0.02})O_{7-\delta}$	3.8667	3.8667	11.5498	172.68
$YBa_2(Cu_{2.96}Co_{0.04})O_{7-\delta}$	3.8636	3.8636	11.6019	173.19
$YBa_2(Cu_{2.94}Co_{0.06})O_{7-\delta}$	3.8609	3.8609	11.5940	172.83

يبين الشكل (5) العلاقة بين ثوابت الشبكة a, b والنسبة الستوكيومترية للكوبالت x . نلاحظ حدوث تغير مفاجئ في ثابتي الشبكة البلورية a و b عند أول نسبة استبدال استوكيومترية $x = 0.02$ نتيجة التحول الطوري $O \rightarrow T$. عند هذه النسبة يتساوى ثابتي الشبكة نتيجة استقرار البنية الرباعية للمحول الصلب.



الشكل(5): العلاقة بين ثوابت الشبكة البلورية ونسبة الإثابة بالكوبالت في المركبات



تم حساب حجم التبلور للحبيبات البلورية في المركبات المحضرة من علاقة ديبيي - شرر Scherrer's formula [19][20][21]

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (6)$$

حيث: β عرض قمم الانعراج عند منتصف شدتها العظمى (FWHM) (راديان)، λ طول موجة الأشعة السينية المستخدمة في الدراسة 1.7889\AA ، θ زاوية انعراج براغ (°) Bragg's angle

يبين الجدول (4) القيم التجريبية المحسوبة لحجم الحبيبات من أجل نسب الإشابة المختلفة.

الجدول(4): تابعة حجم الحبيبات لتركيز الكوبالت في المركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ والمعدن عند الدرجة 930°C

Co concentration	L (nm)
0	35.96
0.02	30.29
0.04	29.32
0.06	28.26

الاستنتاجات:

- 1- تم اصطناع المركبات النقية والمشابة بالكوبالت للمركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ انطلاقاً من الأملاح والأكاسيد الأولية بطريقة الاصطناع الصلب.
- 2- تم تأكيد درجة حرارة الاصطناع المثلى باستخدام جهاز التحليل الحراري التفاضلي.

- 3- وجد أن درجة الحرارة المثلى لتشكيل الطور الجديد من المركبات المشابة بالكوبالت هي $930C^0$
- 4- وجد أن المركبات المشابة بالكوبالت تتمتع ببنية رباعية من خلال إجراء محاكاة لبعض القمم.
- 5- حسبت ثوابت الشبكة البلورية وحجم الحبيبات للمركبات المحضرة.

References:

- [1] Innes AR, Rhoderick EH. Introduction to superconductivity. Pergamon Press; 1980.
- [2] West AR. Solid state chemistry and its applications. John Wiley & Sons; 2014 Mar 17.
- [3] Mourachkine A. Room-temperature superconductivity. Cambridge Int Science Publishing; 2004.
- [4] Sahoo, M., & Behera, D. (2012). Study of YBa₂Cu₃O_{7-δ}/Al₂O₃ Composite for Structural and Electrical Transport Property. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(9), 1-6.
- [5] Bednorz, J. G., & Müller, K. A. (1988). Perovskite-type oxides—The new approach to high-T_c superconductivity. *Reviews of Modern Physics*, 60(3), 585.
- [6] Alecu, G. (2004). Crystal structures of some high-temperature superconductors. *Romanian Reports in Physics*, 56(3), 404-412.
- [7] Dadras S, Falahati S, Dehghani S. Effects of graphene oxide doping on the structural and superconducting properties of YBa₂Cu₃O_{7-δ}. *Physica C: Superconductivity and its Applications*. 2018 May 15;548:65-7.
- [8] Yanmaz EK, Balci SÜ, Küçükömeroğlu T. Magnetic properties of melt textured YBa₂Cu₃O_{7-δ} with TiO₂ dopant. *Materials Letters*. 2002 May 1;54(2-3):191-9.
- [9] Dihom MM, Shaari AH, Baqiah H, Al-Hada NM, Talib ZA, Kien CS, Azis RS, Kechik MM, Pah LK, Abd-Shukor R. Structural

and superconducting properties of Y (Ba_{1-x}K_x)₂Cu₃O_{7-δ} ceramics. *Ceramics International*. 2017 Oct 1;43(14):11339-44.

[10] Nishio T, Itoh Y, Ogasawara F, Suganuma M, Yamada Y, Mizutani U. Superconducting and mechanical properties of YBCO-Ag composite superconductors. *Journal of materials science*. 1989 Sep;24(9):3228-34.

[11] Smart LE, Moore EA. Solid state chemistry: an introduction. CRC press; 2012 May 29.

[12] West AR. Solid state chemistry and its applications. John Wiley & Sons; 2014 Mar 17.

[13] Wang W, Chen Q, Cui Q, Ma J, Zhang H. Preparation of c-axis oriented YBa₂Cu₃O₇ polycrystalline ceramics by sol-gel method. *Physica C: Superconductivity and its Applications*. 2015 Apr 15;511:1-3.

[14] Fei JI, ZHANG H, Wenzhang WA, Xiang LI, Qingming CH. Improvement in structure and superconductivity of YBa₂Cu₃O_{6+δ} ceramics superconductors by optimizing sintering processing. *Journal of Rare Earths*. 2017 Jan 1;35(1):85-9.

[15] Kakihana M, Börjesson L, Eriksson S, Svedlindh P, Norling P. Raman spectra, superconductivity, and structure of Co-substituted YBa₂Cu₃O_{7-δ}. *Physical Review B*. 1989 Oct 1;40(10):6787.

[16] Xue R, Chen Z, Dai H, Li T, Xue Y, Hao J. Effects of Fe doping on crystal structure, superconductivity and Raman spectra in SmBa₂Cu₃O_{7-δ} systems. *Physica C: Superconductivity*. 2012 May 1;475:20-3.

[17] Aoki R, Takahashi S, Murakami H, Nakamura T, Nakamura T, Takagi Y, Liang R. Superconductivity and magnetism in Co

substituted YBCO compounds. *Physica C: Superconductivity*. 1988 Oct 1;156(3):405-12.

[18] Suryanarayana C, Norton MG. *X-ray diffraction: a practical approach*. Springer Science & Business Media; 1998 Jun 30.

[19]- Speakman SA. "Estimating crystallite size using XRD". MIT Center for Materials Science and Engineering. 2014.

[20]- Prabhu, Y. T., Rao, K. V., Kumar, V. S. S., & Kumari, B. S. (2014). X-ray analysis by Williamson-Hall and size-strain plot methods of ZnO nanoparticles with fuel variation. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 2014.

[21]- Nath, D., Singh, F., & Das, R. (2020). X-ray diffraction analysis by Williamson-Hall, Halder-Wagner and size-strain plot methods of CdSe nanoparticles-a comparative study. *Materials Chemistry and Physics*, 239, 122021.

تحضير أفلام رقيقة من الجرمانيوم بسماكات مختلفة وتعيين بعض خصائصها البنيوية والضوئية

علي عبدالله*، رياض عبدالله**، أيمن كسيبي**

ملخص البحث

تم في هذا البحث تحضير أفلام رقيقة من الجرمانيوم بالاعتماد على تقانة التبخير الحراري في الخلاء (10^{-5} mbar)، تم التأكد من بنية الأفلام المحضرة باستخدام تقنية (XRD) أظهرت النتائج أن الأفلام المحضرة كانت من النمط غير البلوري وعند معالجتها حرارياً تتحول الى النمط البلوري المكعبي متمركز الوجوه (FCC) بثابت شبكة قدره (5.649 \AA).

تم معاينة سطح الأفلام المحضرة باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) والذي يعطي صور ثنائية (2D) وثلاثية الأبعاد (3D) لسطح الأفلام الرقيقة وتبين أن نمو البلورات في الأفلام المتبلورة يتجه نحو الأعلى. أما الأفلام غير البلورية ظهرت خالية من التضاريس ويلاحظ غياب كامل للقمم فيها وكان السطح متجانساً على كامل امتداد الأفلام.

تم تعيين بعض الخصائص الضوئية للأفلام المحضرة (النفوذية، الانعكاسية) وتم حساب معامل الامتصاص وطاقة عرض المجال المحظور للأفلام المحضرة بنمطها البلوري وغير البلوري وعند السماكات المختلفة.

كلمات مفتاحية: أفلام رقيقة، جرمانيوم، التبخير الحراري، فجوة الطاقة.

(* طالب ماجستير في فيزياء المادة الكثيفة - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة البعث - حمص - سوريا.

(** أستاذ في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة البعث - حمص - سوريا.

Preparation of germanium thin films with different thicknesses and study of their structural and optical properties

Ali Abdullah*, Reiad Al-Abdallah **, Ayman Ksibe **

Abstract

In this research, thin films of germanium were prepared based on the vacuum thermal evaporation technique (10^{-5} mbar).

The structure of the prepared films was confirmed using (XRD) technique, which showed that the prepared films were of a non-crystalline type and when heat treated they turn into a face-centered cubic crystal (FCC), with a network constant of (5.649 Å).

The surface of the prepared films was previewed using atomic force microscope (AFM) which gives 2D and 3D images of the surface of the thin films and it was found that the crystal growth in the crystallized films is upwards. As for the non-crystalline films, they appeared free of topography and a complete absence of peaks was observed, and the surface was homogeneous over the entire length of the films.

The optical properties of the prepared films (transmittance, reflectance) were studied, through which the absorption coefficient was calculated and the energy gap of the prepared films with their crystalline and non-crystalline patterns at different thicknesses was found.

Keywords: thin films, germanium, thermal evaporation, energy gap.

*) Ms Student, Department of Physics-Faculty of science-Al-baath university Homs-Syria.

***) professor of Physics, Department of Physics -Faculty of science- Al-baath university Homs-Syria.

1- مقدمة:

تعتمد أغلب الأجهزة الإلكترونية الحديثة في عملها على مواد ذات خصائص فيزيائية مميزة ألا وهي المواد نصف الناقلية (Semiconductor) التي تملك خصائص المواد العازلة عند درجات الحرارة المنخفضة، كما لها القدرة على النقل الكهربائي عند ارتفاع درجة حرارتها إلى حد معين [1].

نتيجة لتلك الخصائص الهامة بدأت العديد من المؤسسات العلمية أبحاثاً موسعة للتعرف على الخصائص البنوية والضوئية وكذلك الكهربائية لهذه المواد وإمكانية الاستفادة القصوى منها عملياً، حيث أثمرت هذه الأبحاث عن تصنيع المقاومات الكهربائية بأنواعها المختلفة (الضوئية والحرارية) بدءاً من عام 1886 ومن ثم صناعة الديودات والترانزستورات عام 1964 ومن ثم الخلايا الشمسية والدارات الإلكترونية المتكاملة [2].

لا شك أن صناعة الترانزستور (أساس الدارات المتكاملة) خلقت ثورة علمية وصناعية في مجال صناعة الدارات الإلكترونية فقد أمكن تصغير حجمها مئات المرات (بل تصل إلى ملايين المرات كما في المعالجات الرقمية والحاسوبية) وزيادة كفاءتها وخفض تكلفتها، والجدير بالذكر أن أول ترانزستور تمت صناعته بالاعتماد على الخصائص نصف الناقلية لعنصر الجرمانيوم (Ge) عام (1947) من قبل العلماء (J. Bardeen, W. H. Brattain, W. B. Shockley) [3,4]، ومع العلم أن كلاً من الجرمانيوم والسيليكون ينتميان إلى العمود الرابع من الجدول الدوري وخصائصهما متقاربة إلا أن مادة السيليكون قد هيمنت على إنتاج الترانزستورات والدارات المتكاملة وذلك بسبب رخص ثمنها وتوافرها بكميات كبيرة [5].

لم تتوقف الثورة التقنية مجال صناعة الدارات الإلكترونية على استخدام أنصاف النواقل بصورتها المعروفة، بل تعدتها بكثير (وذلك بالاعتماد على نتائج الأبحاث العلمية) حتى وصلت لصناعة طبقات رقيقة من هذه المواد (أطلق عليها اسم الأفلام الرقيقة)

ذات فعالية كبيرة وخصائص متميزة تفوق خصائص مادتها الأصلية بشكلها الأولي [6].

تعرف الأفلام الرقيقة على أنها عبارة عن مواد كيميائية تحضر على هيئة طبقة أو عدة طبقات من ذرات المادة (أو جزيئاتها) لا تتعدى سماكتها $(1\mu\text{m})$ [7,8] إذ ترسب هذه الأفلام على مواد صلبة تعرف بالركائز، وتعتبر تقنية الأفلام الرقيقة واحدة من أهم التقنيات التي ساهمت وبشكل كبير في تطوير دراسة أنصاف النواقل كما تعددت إستخداماتها وتطبيقاتها، حيث سيطرت على أغلب الميادين العلمية والصناعية نذكر منها: الإلكترونيات، الضوئيات، الطلاء... [9].

حضرت الأفلام الرقيقة من مواد كيميائية مختلفة بعضها أنصاف نواقل بغرض استخداماتها الصناعية، ويعد الجرمانيوم (Ge) أهم هذه المواد بل كان أساسها ودراسته بشكل مفصل فتحت الباب على مصراعيه لدراسة أنصاف نواقل أخرى.

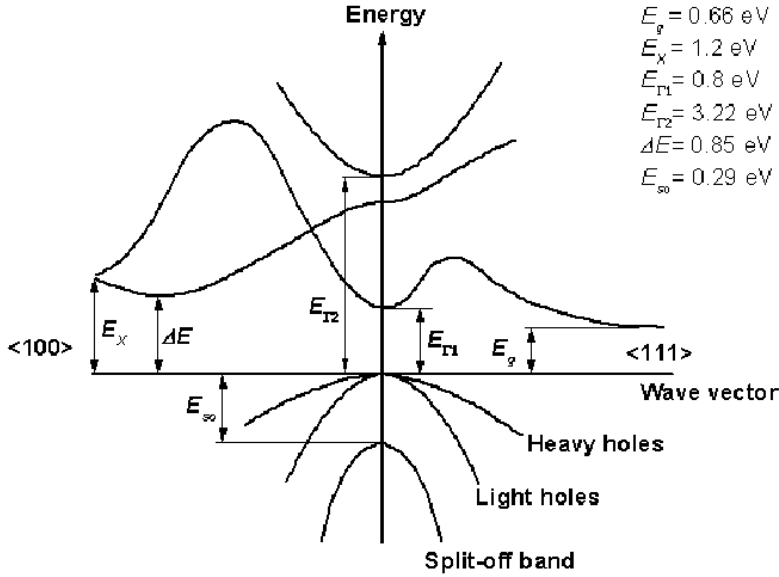
الجرمانيوم (Ge) عنصر كيميائي من المجموعة الرابعة في جدول مندلييف الدوري، ووزنه الذري $(72.61\text{ gr.mol}^{-1})$ وعدده الذري (32) وهو صلب في حالته الطبيعية وينصهر عند الدرجة $(958.5\text{ }^\circ\text{C})$.

يمتلك الجرمانيوم البلوري بنية بلورية مكعبية متمركزة الوجوه (FCC) ثابتها يأخذ القيمة $(a=5.657\text{ \AA})$ وتشغل ذرات الجرمانيوم رؤوس المكعب ومراكز الوجوه فيه.

ونظراً للخصائص الضوئية الهامة التي تبديها أفلام الجرمانيوم فقد تم استخدامها بكثرة في صناعة الكواشف الضوئية وخاصة الاشعاعية منها. حيث يمثل كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة الأساس في تقنيات التحليل بأشعة غاما ولحد الآن لازال هذا الكاشف الأفضل من نوعه والأكثر حساسية [10].

ويبين الشكل التالي بنية نموذجية للعصابات الطاقية في الجرمانيوم حيث يلاحظ وجود نهاية صغرى لعصابة الناقلية لا تقع فوق قمة عصابة التكافؤ مباشرة، مما يعبر عن الجرمانيوم بأنه نصف ناقل غير مباشر.

يوافق هذا الوضع انتقالات الكترونية لا مباشرة تحدد الامتصاص أو الاصدار الأكثر احتمالاً، وفي هذه الحالة يكون عرض الفجوة الطاقية ($0.6 \text{ eV} \leq E_{gi} \leq 0.8 \text{ eV}$) في حين أننا نلاحظ وجود قاع آخر في عصابة الناقلية يقع مباشرة فوق قمة عصابة التكافؤ مما يشير الى وجود فجوة طاقية مباشرة $0.8 \text{ eV} \leq E_{gd}$ [11].



الشكل (1) المخطط الطاقى للجرمانيوم

2- هدف البحث:

يهدف البحث لتحضير أفلام الجرمانيوم البلورية وغير البلورية بسماكات مختلفة، بالاعتماد على تقنية التبخير الحراري تحت الضغط المنخفض.

تعيين بعض الخصائص البنيوية والضوئية لأفلام الجرمانيوم المحضرة وبيان تأثير سماكة الفلم المحضر والمعالجة الحرارية على خصائص هذه الأفلام ومقارنة النتائج مع الدراسات المرجعية السابقة.

3- الإجراء التجريبي والتوصيف:

1.3. تحضير الأفلام:

تم ترسيب أفلام رقيقة من الجرمانيوم عالي النقاوة (99.99%) على ركائز زجاجية نظيفة تماماً ذات أبعاد (2cmx4cm) باستخدام منظومة التبخير الحراري في الخلاء تحت ضغط مخفف قدره (10^{-5} mbar) المتواجدة لدى هيئة الطاقة الذرية في دمشق.

توضع كمية من الجرمانيوم النقي في بوتقة خاصة من التتغستن يمر من خلالها تيار كهربائي فتبدأ حرارتها بالارتفاع ويبدأ الجرمانيوم بالتبخر ويترسب على الركيزة الزجاجية التي تبعد عن البوتقة مسافة (12 cm).

تتغير كمية الجرمانيوم وزمن التسخين وشدة التيار تبعاً لسماكة الأفلام المطلوبة.

بعد انتهاء عملية الترسيب نحصل على أفلام الجرمانيوم الرقيقة غير البلورية، ولتحويلها الى بلورية فقد تم معالجتها حرارياً بدرجات حرارة مختلفة لمدة (30) دقيقة حيث لوحظ أنها تحتفظ بطورها اللامتبلور حتى الدرجة (500°C) وكانت درجة الحرارة التي يتحول عندها الفلم اللامتبلور الى فلم متبلور هي (525°C).

2.3. توصيف الأفلام المحضرة:

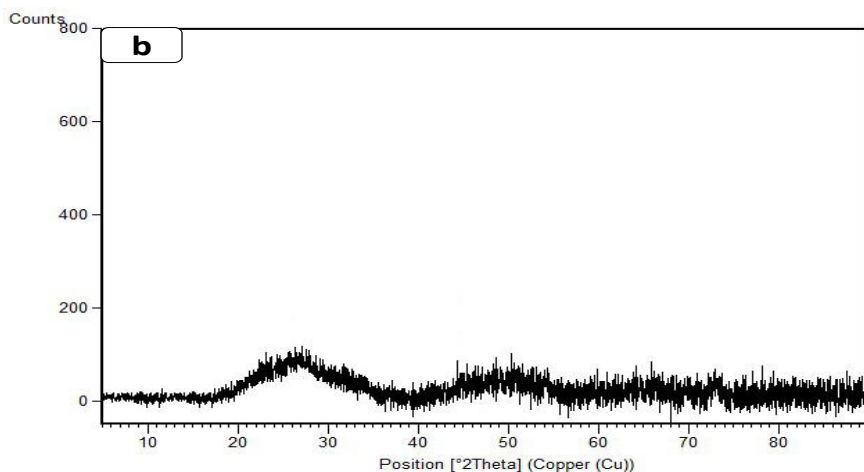
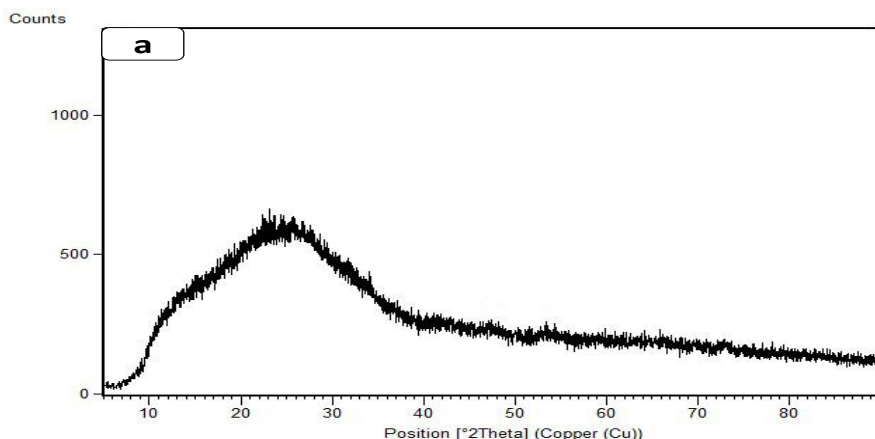
تم استخدام جهاز انعراج الأشعة السينية (XRD) من انتاج شركة (STOE) الألمانية المتواجد لدى هيئة الطاقة الذرية لدراسة الخصائص البنيوية للأفلام المحضرة ضمن مجال زوايا انعراج (2θ) (20° – 80°). أما بالنسبة لدراسة سطح الأفلام فقد استعنا بجهاز مجهر القوة الذرية (AFM) المتواجد لدى هيئة الطاقة الذرية والذي يعطي صور ثلاثية الأبعاد عالية الوضوح للطبقة السطحية من الأفلام.

استخدم جهاز المطيافية (Spectrophotometer) لقياس طيفي النفوذية والانعكاسية الضوئية من أجل تعيين بعض الخصائص الضوئية.

4- النتائج والمناقشة:

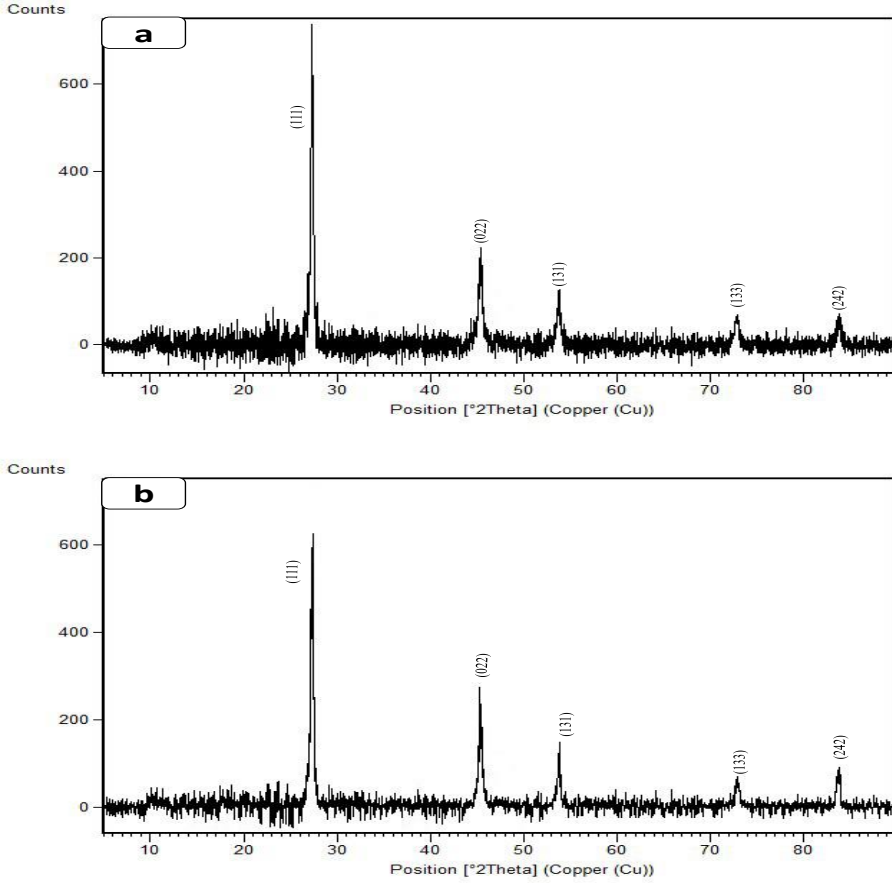
4-1- الدراسة البنوية للأفلام المحضرة باستخدام تقنية (XRD):

يبين الشكل التالي مخطط انعراج الأشعة السينية للأفلام الرقيقة قبل المعالجة الحرارية وتبدو هذه الأفلام غير متبلورة (amorphous) ويعود ظهور الهضبة في بداية الطيف للركيزة الزجاجية غير المتبلورة .



الشكل (2) أطياف (XRD) لأفلام الجرمانيوم قبل التلدين والمحضرة بسماكات مختلفة (a:400 nm, b:900 nm)

بينما يبين الشكل (3) أطياف (XRD) للأفلام المعالجة حرارياً عند الدرجة (525°C):



الشكل (3) أطياف (XRD) لأفلام الجرمانيوم بعد التلدين والمحضرة بسماكات مختلفة (a:400 nm, b:900 nm)

يلاحظ ظهور خمس قمم عائدة للجرمانيوم وفق نمط التبلور (المكعبي) وفق التوجهات البلورية [111], [022], [131], [133], [242] والتوجه البلوري السائد هو [111] وهو ما تم تأكيده بالمقارنة مع البطاقة المرجعية ذات الرقم (96-901-1051).

وبالاعتماد على نتائج مطيافية (XDR) قمنا بحساب ثوابت الشبكة البلورية بالاعتماد على قانون براغ في الانعراج وعلاقة ثوابت الشبكة البلورية بالمسافة بين المستويات البلورية [12]:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

$$a = d \sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)}$$

حيث $\lambda = 1.540589 \text{ \AA}$

رتبت النتائج وفق الجدول التالي:

الجدول (1) قيم $(2\theta, hkl, d, a)$ لأفلام الجرمانيوم المحضرة بسماكات مختلفة (400nm, 900nm)

t=400 nm				t=900 nm			
$(2\theta)^\circ$	(h,k,l)	d	a	$(2\theta)^\circ$	(h,k,l)	d	a
27.357	111	3.257	5.642	27.298	111	3.264	5.654
45.451	022	1.993	5.639	45.421	022	1.995	5.643
53.777	131	1.703	5.648	53.815	131	1.702	5.645
72.960	133	1.296	5.647	72.896	133	1.297	5.652
83.888	242	1.152	5.645	83.921	242	1.152	5.644
$\bar{a} = 5.645 \text{ \AA}$				$\bar{a} = 5.648 \text{ \AA}$			

يلاحظ من هذه النتائج التقارب الكبير بين متوسط قيم (a) بعد الشبكة البلورية للأفلام المحضرة مع القيمة الواردة في البطاقة المرجعية وهي ($a = 5.680 \text{ \AA}$).

بعد ذلك قمنا بحساب حجم الحبيبات المتشكلة بالاعتماد على علاقة شيرر [13]:

$$D = \frac{K \lambda}{\beta_{FWHM} \cdot \cos(\theta)}$$

تحضير أفلام رقيقة من الجرمانيوم بسماكات مختلفة وتعيين بعض خصائصها البنيوية والضوئية

كذلك حسب كثافة الانخلاعات (δ) والتي تعرف بأنها المسافة بين خطوط الانخلاع لكل وحدة حجم من البلورة وتحسب وفق العلاقة :

$$\delta = \frac{1}{D^2}$$

أما الاجهاد الداخلي (ε) فيعرف بأنه عيب ينشأ أثناء تشكل البلورة ويكون وجوده مقترناً بوجود العيوب البلورية بأنواعها المختلفة (النقطية والسطحية والحجمية) [13] وقد تم حسابه للأفلام المحضرة بالاعتماد على العلاقة [14]:

$$\varepsilon = \beta_{FWHM} \frac{\cos(\theta)}{4}$$

حيث (K) ثابت وقيمته (0.94)، و β_{FWHM} عرض القمة عند نصف الشدة وتقاس بالراديان، و (D) أبعاد البلورات بوحدة (nm).

الجدول (2) قيم كل من أبعاد البلورات وكثافة الانخلاعات والاجهاد الداخلي لأفلام الجرمانيوم المحضرة عند سماكات مختلفة

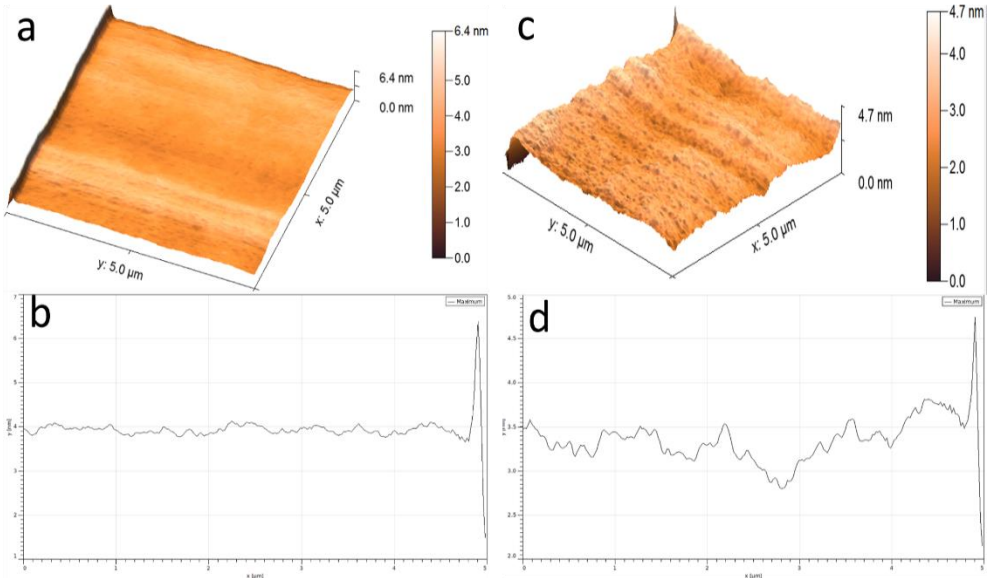
t=400nm					
83.888	72.960	53.777	45.451	27.357	2θ($^{\circ}$)
0.96	1.152	0.384	0.576	0.24	β_{FWHM} ($^{\circ}$)
11.62	8.957	24.226	15.617	35.581	D (nm)
7.406	12.462	1.703	4.099	0.7898	$\delta(x10^{+15} \text{ line/m}^2)$
3.115	4.041	1.494	2.318	1.017	$\varepsilon(x10^{-3})$
t=900nm					
83.921	72.896	53.815	45.421	27.298	2θ($^{\circ}$)
0.958	1.148	0.379	0.569	0.237	β_{FWHM} ($^{\circ}$)
11.647	8.985	24.55	15.807	36.027	D (nm)
7.371	12.386	1.659	4.001	0.7704	$\delta(x10^{+15} \text{ line/m}^2)$
3.108	4.029	1.474	2.29	1.005	$\varepsilon(x10^{-3})$

نلاحظ من النتائج السابقة أن أبعاد البلورات للفلم المحضر عند سماكة (900nm) أكبر من مثيلاتها للفلم المحضر عند السماكة (400nm) وهذا يدل على نمو البلورات بشكل أكبر وانخفاض العيوب المتشكلة فيها وهذا ما دل عليه انخفاض كثافة الانخلاعات والاجهاد الداخلي. الأمر الذي يتوافق مع كون (β_{400nm}) أكبر من (β_{900nm}) مما يعني أن (D_{400nm}) أصغر من (D_{900nm}) وهذا السلوك يتوافق مع علاقة شرر.

4-2- معاينة سطح أفلام الجرمانيوم المحضرة:

تم معاينة طبوغرافية سطح الأفلام المحضرة باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) ذو القدرة العالية على التكبير والمتواجد لدى هيئة الطاقة الذرية في دمشق، وتم اختيار مقطع سطحي من الأفلام الرقيقة بأبعاد ثابتة ($5 \times 5 \mu m$) وبسماكة سطحية تختلف تبعاً لتغير تضاريس الفلم المحضر.

الشكل التالي يبين صورة مجهر القوة الذرية لأفلام الجرمانيوم غير المتبلورة بسماكات مختلفة إضافة لمخطط المقطع الخطي الخاص بكل صورة:



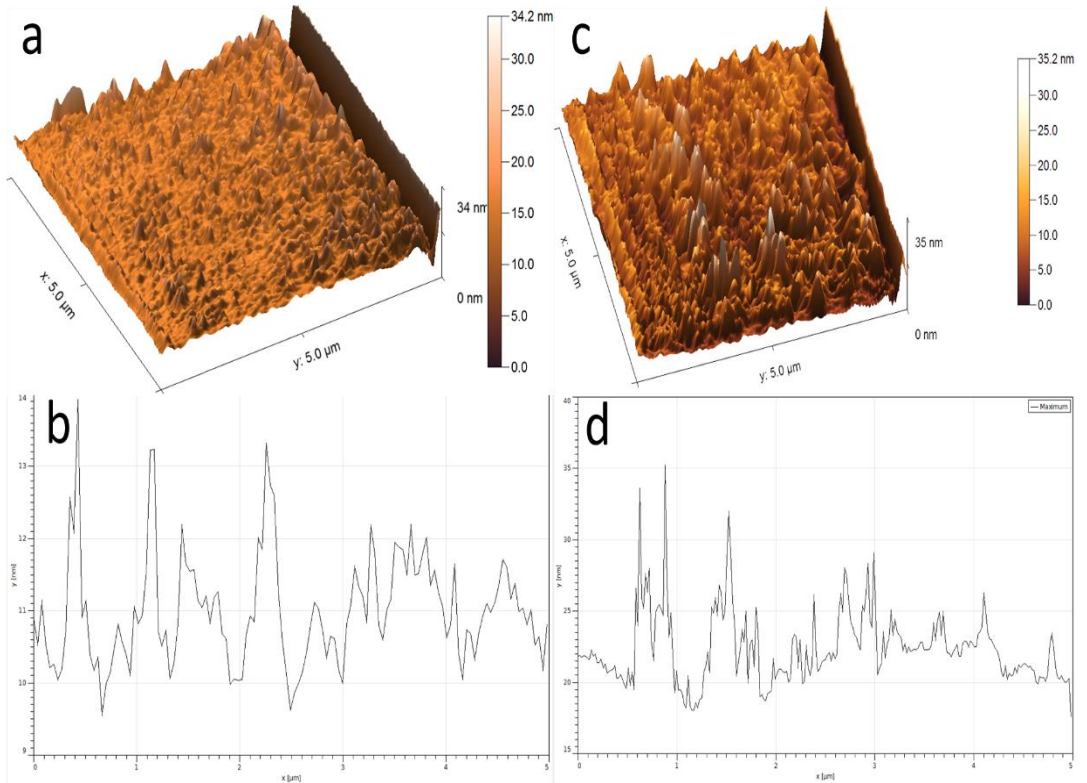
الشكل (4) صور مجهر القوة الذرية لأفلام الجرمانيوم غير البلورية المحضرة
a: سماكة 400 nm، b: البروفائل الخطي عند سماكة 400 nm، c: سماكة 900 nm،
d: البروفائل الخطي عند سماكة 900 nm

تحضير أفلام رقيقة من الجرمانيوم بسماكات مختلفة وتعيين بعض خصائصها البنيوية والضوئية

يلاحظ من الشكل السابق أن الأفلام غير المتبلورة مستوية تماماً وخالية من التضاريس ومتجانسة طبوغرافياً على كامل مساحة سطح الفلم. وهذا ما أكدته منحنيات المقطع الخطي لكلا الفلمين المحضرين حيث لم يتجاوز ارتفاع أعلى قمة فيهما (6 nm). وهذا يدل أيضاً على عدم وجود نمو بلوري وفق اتجاهات محددة، الأمر الموافق للدراسة البنيوية (XRD) للأفلام اللابلورية وهي تعتبر قريبة من الاستواء الضوئي (من رتبة $\frac{\lambda}{100}$) المثالي فمثلاً

$$\cdot \frac{\lambda}{100} = \frac{500}{100} = 5nm \text{ يكون } 500nm \text{ وسطي}$$

يبين الشكل (5) صورة مجهر القوة الذرية لأفلام الجرمانيوم المتبلورة بسماكات مختلفة إضافة لمخطط البروفایل الخطي الخاص بكل صورة:



الشكل (5) صور مجهر القوة الذرية لأفلام الجرمانيوم البلورية المحضرة
a: سماكة 400 nm، b: البروفایل الخطي عند سماكة 400 nm، c: سماكة 900 nm،
d: البروفایل الخطي عند سماكة 900 nm

نلاحظ من الشكل السابق (a,b) ظهور سطح الأفلام البلورية (400 nm) على شكل قمم وتضاريس غير متجانسة في معظمها وتمتد على كامل السطح. حيث يلاحظ أعلى ارتفاع للقمم وفق منحنى البروفائل الخطي (14 nm) إضافة أن هذه القمم تمتد بشكل غير متجانس على كامل السطح، أما بالنسبة للأفلام المحضرة عند سماكة (900 nm) الشكل (c,d) فيلاحظ ازدياد ارتفاع القمم لتصل حتى (35 nm) وهي تمتد أيضاً بشكل غير متجانس على كامل السطح.

ازدياد ارتفاع القمم في الأفلام البلورية عند سماكة (900 nm) يدل على نمو البلورات وفق اتجاهات محددة وازدياد الحجم البلوري نتيجة زيادة سماكة الأفلام. وهذه النتيجة تؤكد ما توصلنا إليه من خلال دراستنا البنيوية لأفلام الجرمانيوم.

يبين الجدول التالي قيم خشونة السطح للأفلام المحضرة إضافة لارتفاع وانخفاض القمم والقعر على السطح:

الجدول (3) قيم خشونة السطح للأفلام المحضرة إضافة لارتفاع وانخفاض القمم والقعر على السطح

Crys 400nm	Amo 400nm	Crys 900nm	Amo 900nm	
2.2644	0.3897	3.744	0.4783	الخشونة (nm)
1.4143	0.2713	2.8516	0.3563	متوسط الخشونة (nm)
14.7813	4.7406	35.2406	6.3875	أعلى ارتفاع قمة (nm)
12.5162	2.4791	14.3564	3.1110	أدنى انخفاض قعر (nm)

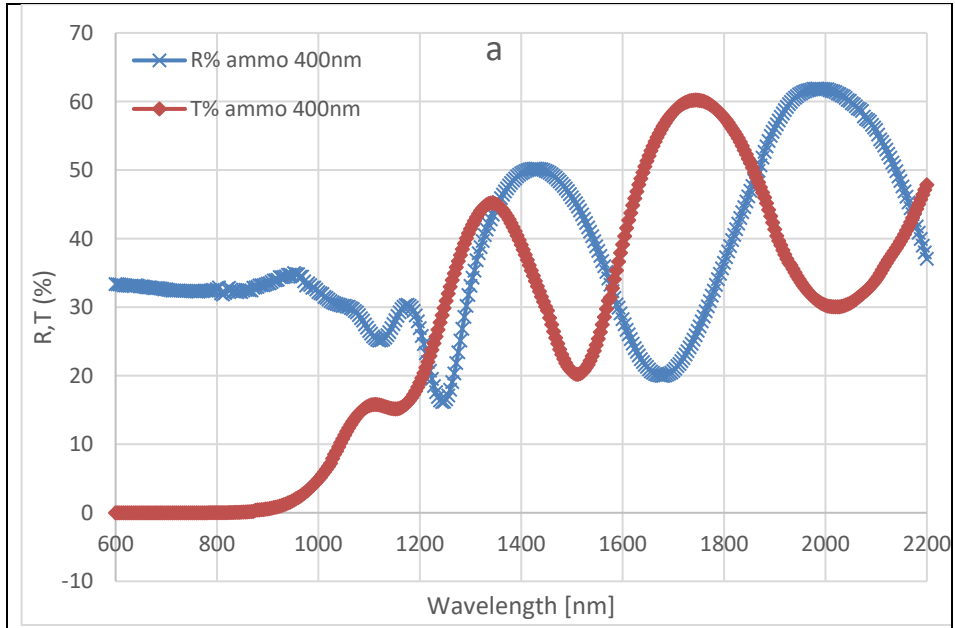
3-4- تعيين بعض الخصائص الضوئية لأفلام الجرمانيوم المحضرة بسماكات مختلفة:

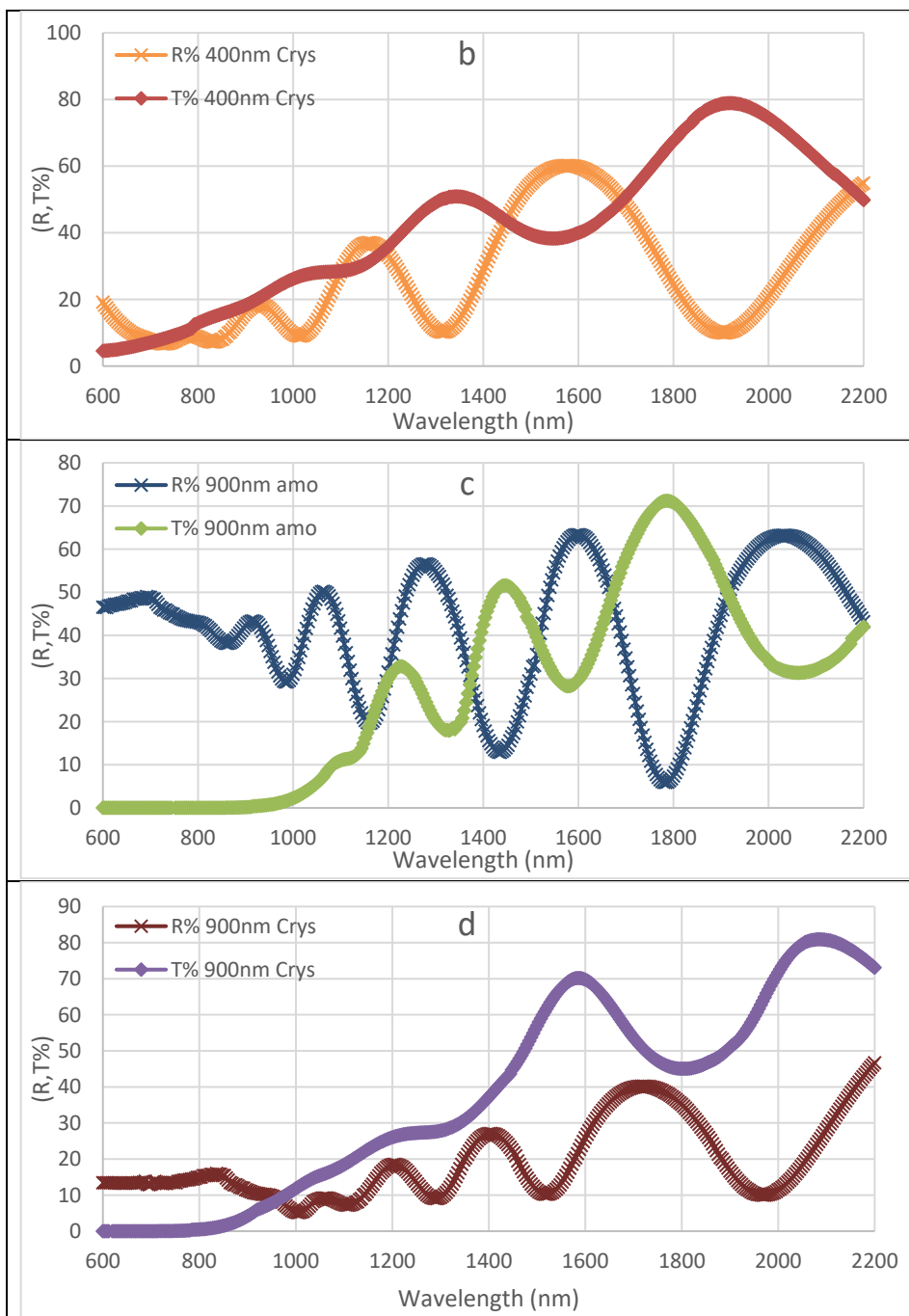
4-3-1- دراسة أطياف النفاذية والانعكاسية:

تقوم دراسة الخصائص الضوئية للأفلام المحضرة على دراسة أطياف النفاذية (T) والانعكاسية (R) الضوئية إضافة للامتصاصية (Abs) حيث أمكن حساب معامل الامتصاص (α) كما سنرى في الفقرة (4-3-2).

وهنا تجدر الإشارة الى أن عدد الأفلام المحضرة هو أربعة أفلام (اثتان عند كل سماكة، أحدهما متبلور والآخر غير متبلور).

يبين الشكل التالي منحنيات النفاذية والانعكاسية الضوئية للأفلام المحضرة.





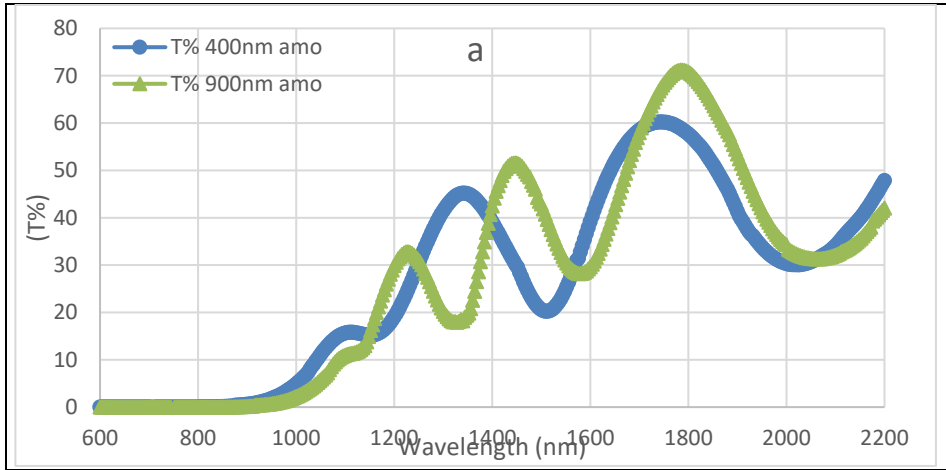
الشكل (6) أطيف النفاذية الضوئية (T) والانعكاسية (R) لأفلام الجرمانيوم المحضرة
a: فلم غير بلوري بسماكة (400nm)، b: فلم بلوري بسماكة (400nm)، c: فلم غير
بلوري بسماكة (900nm)، d: فلم بلوري بسماكة (900nm)

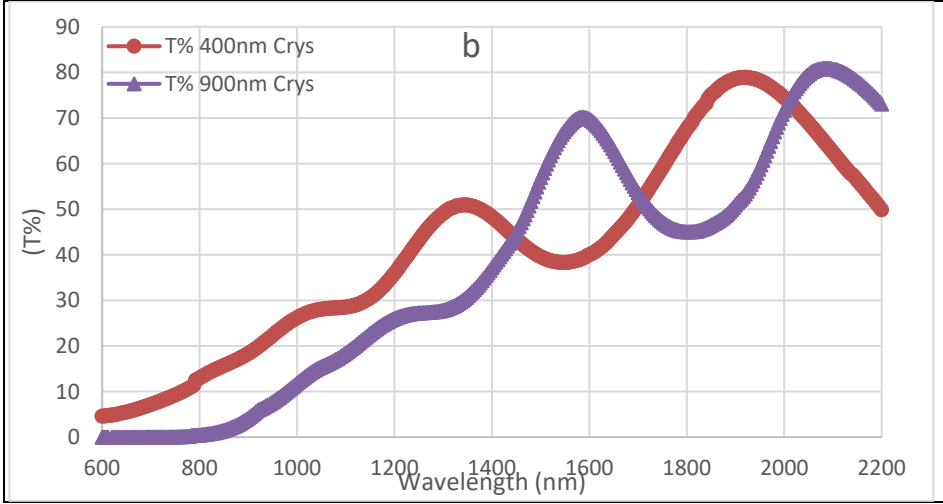
تحضير أفلام رقيقة من الجرمانيوم بسماكات مختلفة وتعيين بعض خصائصها البنيوية والضوئية

يلاحظ من جميع الأطياف السابقة وبشكل عام تعاكس بسلوك النفاذية والانعكاسية، ونلاحظ أيضاً أن هذه المنحنيات تبدأ انسيابية ثم تظهر فيها نهايات عظمى وصغرى متتالية ويزداد عددها وتزداد حدتها بزيادة السماكة، ويعود وجود هذه الأهداب إلى التداخل متعدد الانعكاسات ضمن الطبقة الرقيقة.

وبإجراء مقارنة بين الأفلام ذات السماكات المختلفة نحصل على الشكل (7)، وفيه نلاحظ أن النفاذية الضوئية في الأفلام ذات السماكة الأعلى (900nm) منزاحة نحو الأطوال الموجية الأكبر وذات شدة أقل من النفاذية للأفلام ذات السماكة المنخفضة (400nm) ويفسر ذلك بأن زيادة السماكة تؤدي لزيادة امتصاص الضوء من قبل الأفلام وبالتالي تنخفض شدة الضوء النافذ.

إن انزياح (T) للأفلام بزيادة السماكة نحو الأطوال الموجية الأطول يشير إلى انزياح حد الامتصاص نحو الطاقات الأقل الذي ينبئ بانخفاض عرض المجال المحظور بازدياد السماكة.





الشكل (7) مقارنة طيف النفاذية الضوئية لأفلام الجرمانيوم المحضرة بسماكات مختلفة
a: أفلام الجرمانيوم غير البلورية، b: أفلام الجرمانيوم البلورية

4-3-2- امتصاص الضوء :

يحدث امتصاص الضوء في الأفلام الرقيقة نتيجة الانتقالات الالكترونية من منطقة التكافؤ إلى منطقة الناقلية.

يعبر عن ارتباط ظاهري النفاذية (T) والانعكاسية (R) بالامتصاصية من خلال قانون انحفاظ الطاقة المعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$I_0 = I_R + I_T + I_A$$

حيث (I_0) شدة الضوء الساقط على العينة، (I_R) شدة الضوء المنعكس، (I_T) شدة الضوء النافذ من العينة بينما (I_A) شدة الضوء الممتص من قبل العينة. وبقسمة طرفي العلاقة السابقة على (I_0) نحصل:

$$1 = \frac{I_R}{I_0} + \frac{I_T}{I_0} + \frac{I_A}{I_0}$$

$$1 = R + T + A$$

حيث تمثل (R) الانعكاسية وتمثل (T) النفاذية بينما تمثل (A) الامتصاصية.

وترتبط شدة الضوء النافذ من العينة ذات السماكة (t) بمعامل امتصاص المادة من خلال

قانون بير-لامبرت [15]:

$$I_T = I_0 e^{-\alpha t}$$

وبالأخذ بعين الاعتبار تأثير الانعكاسات على السطح الخلفي للعينة (حيث ظاهرة

التداخل متعدد الانعكاسات يفضل استخدام العلاقة الأدق بالنسبة لأفلامنا [16]:

$$I_T = (1 - R)I_0 e^{-\alpha t}$$

$$\frac{I_T}{I_0} = (1 - R)e^{-\alpha t}$$

$$\frac{T}{1 - R} = e^{-\alpha t}$$

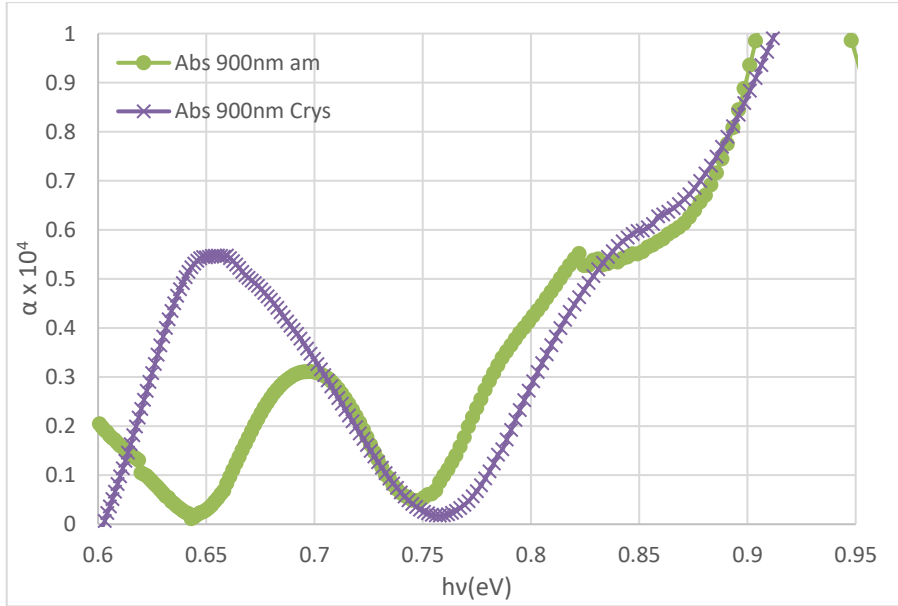
$$\ln\left(\frac{T}{1 - R}\right) = -\alpha t$$

$$\alpha = -\frac{1}{t} \ln\left(\frac{T}{1 - R}\right)$$

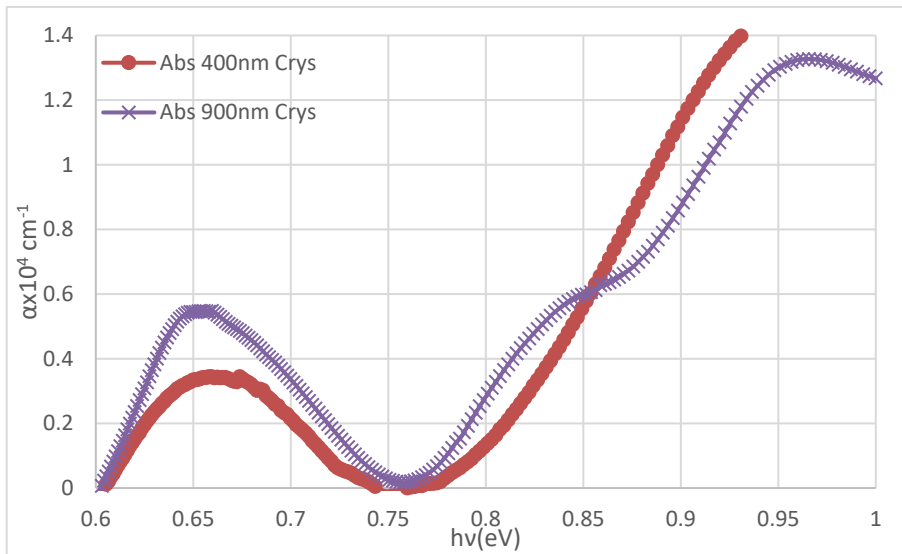
$$\alpha = \frac{1}{t} \ln\left(\frac{1 - R}{T}\right)$$

وعليه قمنا بحساب معامل الامتصاص للأفلام المحضرة وبيان تغيراته بدلالة طاقة الفوتون

كما في الشكل التالي:



الشكل (8) معامل الامتصاص لأفلام الجرمانيوم البلورية وغير البلورية عند ذات السماكة ولملاحظة تأثير السماكة على الامتصاص نعرض معامل الامتصاص للسماكتين (400nm, 900nm) المتبلورتين في الشكل (9):



الشكل (9) معامل الامتصاص لأفلام الجرمانيوم البلورية عند سماكات مختلفة

يلاحظ من الشكل (9) أن معامل الامتصاص يكون أكبر عند السماكة الأعلى مما يدل على زيادة الامتصاصية بزيادة سماكة الفلم بسبب الانخفاض في العيوب البنيوية وعيوب التراص [17] وهذا ما استنتجناه سابقاً عند دراسة طيف النفوذ الضوئية.

4-3-3- تعيين فجوة الطاقة E_g :

تعرف فجوة الطاقة بأنها أقل طاقة لازمة لانتقال الإلكترون من منطقة التكافؤ الى منطقة الناقلية وبهذا نطلق مفهوم حد الامتصاص واقترحت العديد من النماذج النظرية لحسابها ومن أهمها نموذج (Mott and Davis, 1971) المعطى بالعلاقة [18]:

$$\alpha h\nu = B (h\nu - E_g)^m$$

حيث B ثابت يتبع لنوع المادة، وإلى حد ما تعبر هذه العلاقة تجريبية وتستخدم لحساب عرض الفجوة الطاقية الضوئية (E_{opt}) بتقريب جيد فهي تتأرجح حول القيمة الحقيقية وهذا يرتبط بشروط التحضير ودرجة الحرارة ويكون الأفلام متبلورة أو لا متبلورة وغيرها من العوامل الأخرى.

تأخذ m قيمة تعتمد على طبيعة الانتقالات الضوئية:

- $m=1/2$ من أجل الانتقالات المباشرة المسموحة.
- $m=3/2$ من أجل الانتقالات المباشرة غير المسموحة.
- $m=2$ من أجل الانتقالات غير المباشرة المسموحة.
- $m=3$ من أجل الانتقالات غير المباشرة وغير المسموحة.

ومن الجدير ذكره أن البنية الإلكترونية للجرمانيوم تشير الى وجود الانتقالات المباشرة وغير المباشرة، ولحساب عرض الفجوة الطاقية الموافقة قمنا بتقسيم طيف الامتصاص للجرمانيوم

الى منطقتين موافقتين لنوعي الانتقالات الإلكترونية السابقة وحسبنا (E_{gi}) للانتقالات غير المباشرة انطلاقاً من العلاقة:

$$\alpha hv = B (hv - E_g)^2$$

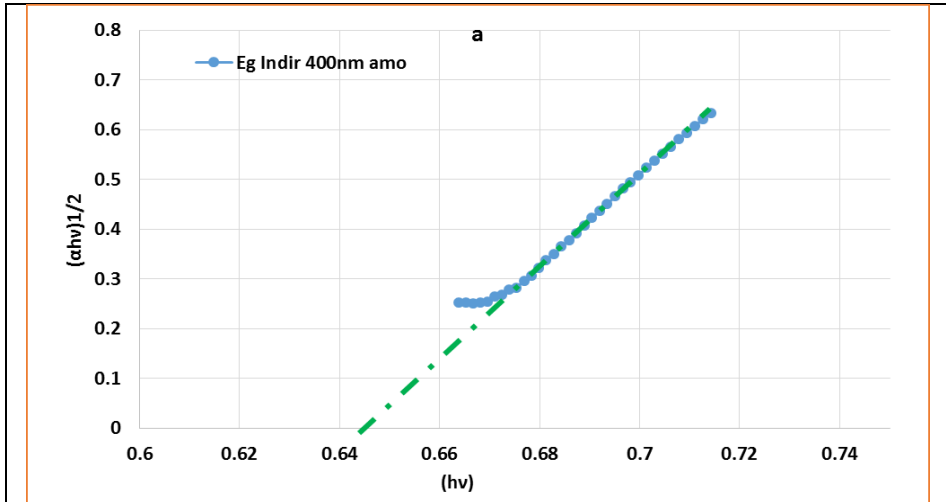
وذلك برسم تغيرات المقدار $(\alpha hv)^{1/2}$ بدلالة طاقة الفوتون (hv) وذلك من أجل الأفلام المتبلورة وغير المتبلورة وعند سماكتين مختلفتين (400nm, 900nm) وعينا (E_{gi}) من تقاطع ممدد الجزء المستقيم مع محور (hv) مقدرة بـ (eV).

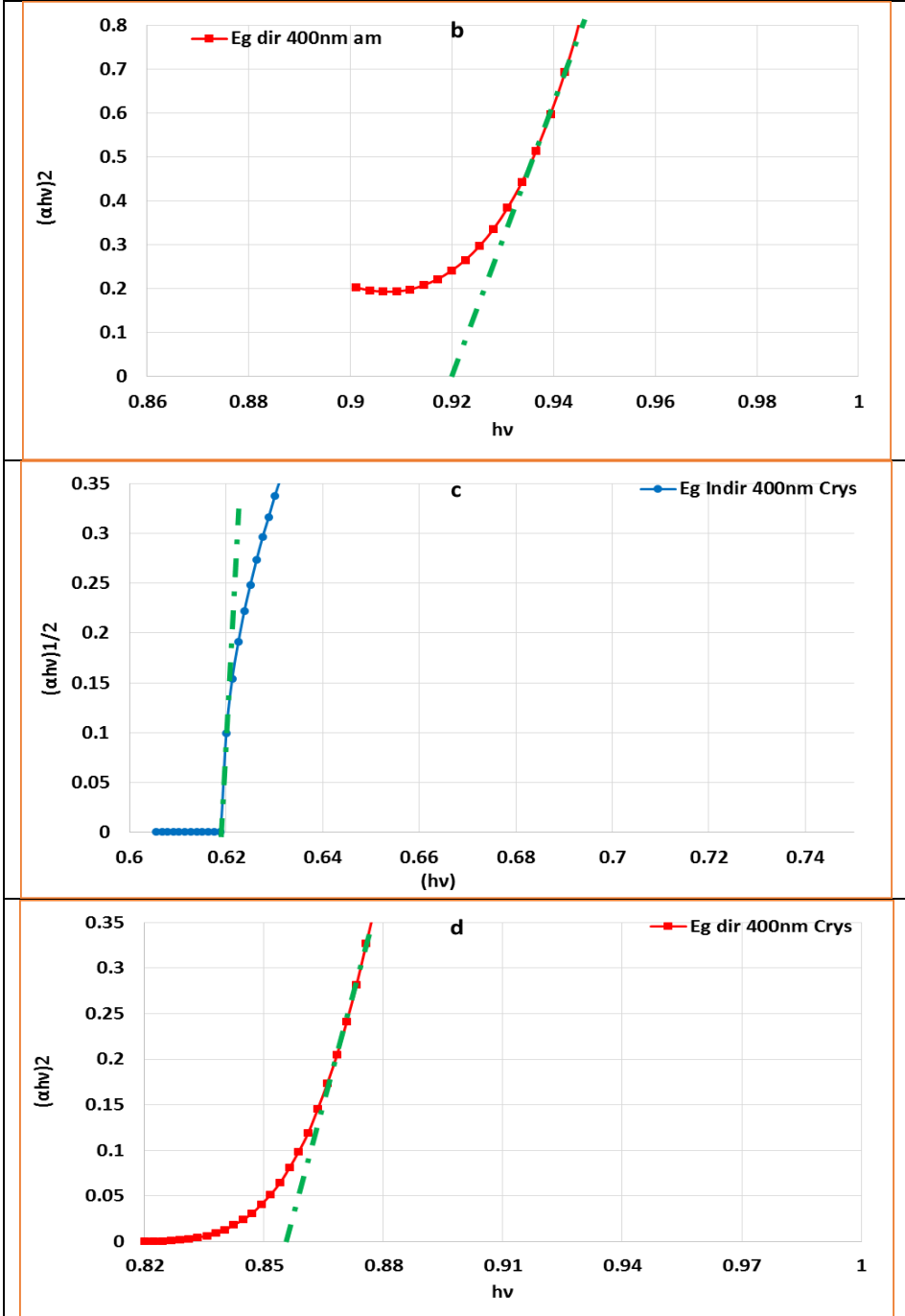
وبطريقة مشابهة قمنا بتحديد (E_{gd}) للانتقالات المباشرة انطلاقاً من العلاقة:

$$\alpha hv = B (hv - E_g)^{1/2}$$

وذلك برسم تغيرات المقدار $(\alpha hv)^2$ بدلالة طاقة الفوتون (hv) وذلك من أجل الأفلام المتبلورة وغير المتبلورة وعند سماكتين مختلفتين (400nm, 900nm) وعينا (E_{gd}) أيضاً من تقاطع ممدد الجزء المستقيم مع محور (hv) مقدرة بـ (eV).

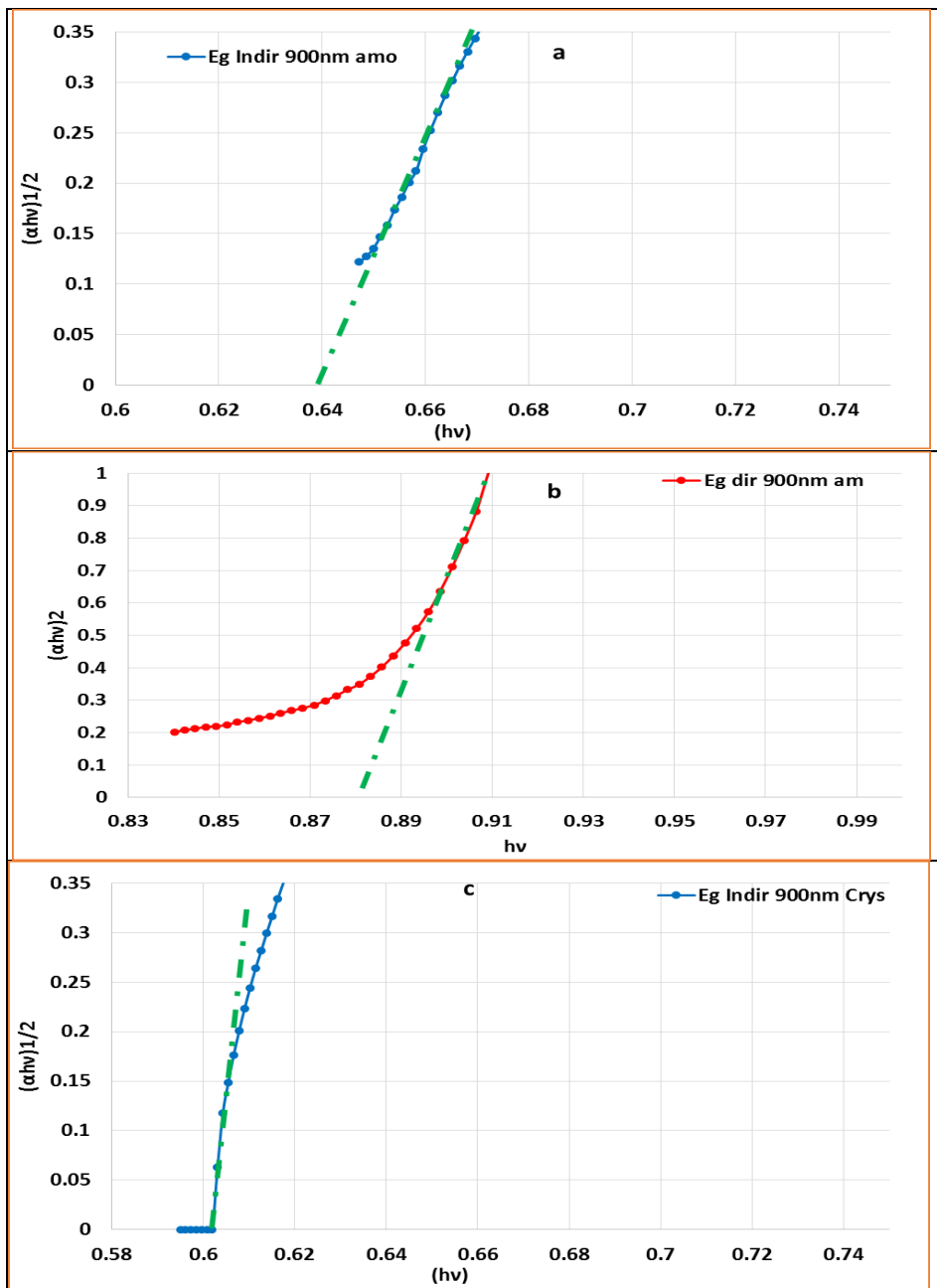
يظهر الشكل (10) قيمة الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة لأفلام الجرمانيوم البلورية وغير البلورية المحضرة عند سماكة (400 nm).

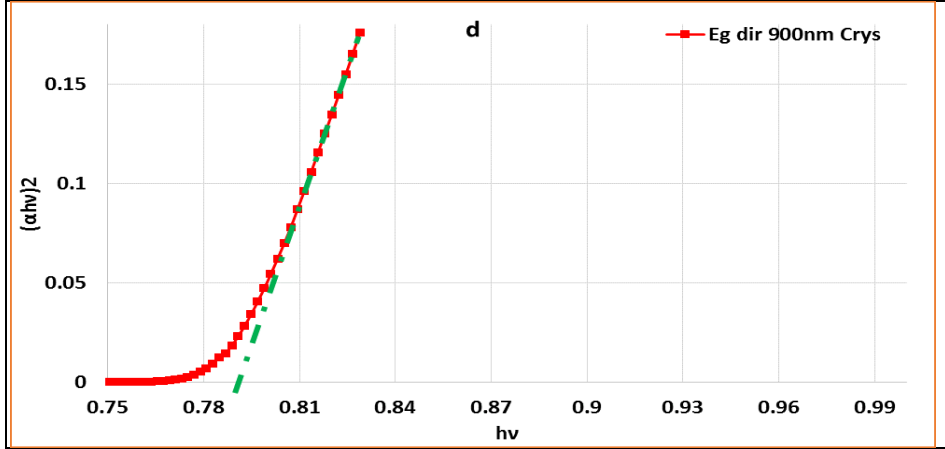




الشكل (10) قيم الفجوة الطاقية لأفلام الجرمانيوم عند سماكة (400 nm) a : غير مباشرة بلوري، b : مباشرة فلم غير بلوري، c : غير مباشرة فلم بلوري، d : مباشرة فلم بلوري

بينما يظهر الشكل (11) قيمة الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة لأفلام الجرمانيوم البلورية وغير البلورية المحضرة عند سماكة (900 nm).





الشكل (11) قيم الفجوة الطاقية لأفلام الجرمانيوم عند سماكة (900 nm) : a غير مباشرة فلم غير بلوري، b مباشرة فلم غير بلوري، c غير مباشرة فلم بلوري، d مباشرة فلم بلوري

رتبت قيم الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة المستخلصة من الأشكال السابقة في الجدول التالي لسهولة المقارنة بينها:

الجدول (4) قيم الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة لأفلام الجرمانيوم المتبلورة وغير المتبلورة بسماكات مختلفة

		الفجوة الطاقية المباشرة E_{gd}	الفجوة الطاقية غير المباشرة E_{gi}
سماكة $t= 400 \text{ nm}$	أفلام متبلورة	0.855 eV	0.620 eV
	أفلام غير متبلورة	0.920 eV	0.645 eV
سماكة $t= 900 \text{ nm}$	أفلام متبلورة	0.790 eV	0.600 eV
	أفلام غير متبلورة	0.880 eV	0.640 eV

نلاحظ أن قيمة الفجوة الطاقية للانتقالات غير المباشرة في الأفلام البلورية أقل من قيمتها في الأفلام غير البلورية وهذا يدل على أن عملية التبلور تخفض الفارق الطاقى بين قمة

عصابة التكافؤ وقرع عصابة الناقلية وهذا متوافق مع المراجع [19-21]، ونعيد السبب إلى انتظام توزع الذرات في بنية بلورية مما يخفف من عشوائية توزع الذرات. أما بالنسبة لقيمة الفجوة الطاقية للانتقالات المباشرة نلاحظ التغير في السلوك تبعاً للسماعة، فعند السماعة (400 nm) نلاحظ أن قيمة الفجوة الطاقية أكبر من مثيلاتها عند السماعة (900 nm) وذلك بسبب ميل الأفلام الرقيقة لسلوك المادة العازلة بانخفاض السماعة على اعتبار أن زيادة السماعة تؤدي إلى تراص أفضل وانخفاض العيوب البلورية وبالتالي نقصان (E_g) وزيادة الامتصاص.

5- الخلاصة والاستنتاجات:

1- تم تحضير أفلام رقيقة من الجرمانيوم (Ge) غير البلورية المرسبة على ركائز زجاجية بسماكات مختلفة وتم تحويلها بالتلدين الحراري الى أفلام بلورية من النمط البلوري المكعبي متمركز الوجوه (FCC) بثابت شبكة بلورية وسطي قدره $(a=5.646\text{Å})$.

2- يبين معامل الامتصاص بوضوح حدي الامتصاص المتعلقين بالانتقالات المباشرة وغير المباشرة في أفلام الجرمانيوم المحضرة بنمطها البلوري وغير البلوري.

3- أثبتت صور مجهر القوة الذرية (AFM) تشكل بنية بلورية في الأفلام المدنة الى الدرجة (525 °C)، حيث ظهرت البلورات المتشكلة على شكل قمم محددة الاتجاه (نحو الأعلى) تملأ سطح الفلم بشكل غير متجانس تقريباً. ولوحظ ازدياد ارتفاع هذه القمم نتيجة زيادة سماكة الفلم المحضر مما دل على نمو البلورات.

4- إن قيم (E_g) في مجال الامتصاص بالانتقالات الالكترونية غير المباشرة وكانت (0.6 eV) للأفلام المتبلورة و تقارب (0.64 eV) للأفلام غير المتبلورة.

5- حسبت قيم (E_g) في مجال الامتصاص بالانتقالات الالكترونية المباشرة وكانت القيمة تختلف تبعاً للسماكة حيث أنها أعلى عند السماكة (400 nm) مقارنة بالسماكة (900nm).

المراجع:

1. H. T. GRAHN, "Introduction to semiconductor physics", World scientific publishing, London, P.1-10, (2001).
2. Dautremont-Smith WC. Hydrogen in III-V Semiconductors. MRS Online Proceedings Library Archive. 1987;104.
3. I. BERGER, "Semiconductor Materials", CRC Press, New York, P. 15-35 (1997).
4. SINGH R, HARAME DL, OPRYSKO MM. SILICON GERMANIUM Technology, Modeling, and Design. United States of America: A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION; 2004.
5. A. TRIBBLE, "Electrical engineering material and devices", University of Iowa, Iowa , (2002).
6. A. Z. MOSHFEGH, H. V. KANEL, S. C. KASHYAP and M. WUTTIG, "Physics and technology of thin films", World scientific publishing, London, P.1-10 (2003).
7. Heavens OS. The Film physics. Methuen Young Co. Ltd. 1970.
8. R. UEDA and J. B. MILLIN, "Crystal Growth and Characterization", Mc Graw- Hill, (1975).
9. Harsha KS. Principles of vapor deposition of thin films. Elsevier; 2005 Dec 16.
10. Stenzel O. The Physics of Thin Film Optical Spectra. New York: Springer; 2015.
11. Levinstein M, Rumyantsev S, Shur M. Handbook Series on Semiconductor Parameters. World Scientific; 1996.
12. Yücel E, Güler N, Yücel Y. Optimization of deposition conditions of CdS thin films using response surface methodology. J Alloys Compd [Internet]. 2014 Mar;589:207–12. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925838813027977>
13. Reddy TS, Kumar MCS. Effect of substrate temperature on the

- physical properties of co-evaporated Sn₂S₃ thin films. *Ceram Int* [Internet]. 2016 Aug;42(10):12262–9. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272884216305818>
14. Kariper I. Optical and structural properties of CdSe thin film produced by chemical bath deposition. *J Non-Oxide Glas.* 2016;1(8):1–9.
 15. Dhanam M, Prabhu RR, Manoj PK. Investigations on chemical bath deposited Cadmium Selenide thin films. *Mater Ch Phy.* 2008;107:289–96.
 16. العيسى ح, عبدالله ر, كسيبي أ. دراسة معامل الامتصاص a انطلاقاً من طيفي الانعكاسية Rm والنفاذية Tm لفلم رقيق من المركب AISb وتحديد مجاله المحظور. *Eg. مجلة جامعة البعث.* 2020;42(12):70–143.
 17. Makori N. Optical and electrical properties of SnSe thin films for solar cell applications. *Am J Condens Matter Phys.* 2014;5(4):87–90.
 18. Tobergte, D.R. and Curtis, S. (2013) *The Physics of Thin Film Optical Spectra: An Introduction.* .
 19. Liu P, Longo P, Zaslavsky A, Pacifici D. Optical bandgap of single- and multi-layered amorphous germanium ultra-thin films. *J Appl Phys* [Internet]. 2016;119(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4939296>
 20. Liu H, Li S, Sun P, Yang X, Liu D, Ji Y, et al. Study on characterization method of optical constants of germanium thin films from absorption to transparent region. *Mater Sci Semicond Process* [Internet]. 2018;83(April):58–62. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.04.019>
 21. Goh ESM, Chen TP, Sun CQ, Liu YC. Thickness effect on the band gap and optical properties of germanium thin films. *J Appl Phys.* 2010;107(2).