

جامعة محمد خيضر بسكرة

فيزياء

كلية العلوم الدقيقة

قسم علوم المادة



مذكرة ماستر

علوم المادة

فيزياء

فيزياء المادة المكثفة

رقم: أدخل رقم تسلسل المذكرة

إعداد الطالبة:

أمينة سعادة

يوم: 2025-06-03

تحضير ودراسة الخصائص الفيزيائية، الميكانيكية والحماية
من الإشعاع للزجاج مكون من $Sb_2O_3-B_2O_3-PbO$

لجنة المناقشة:

مناقشة	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ.مح ب	ومان سامية
مشرفة	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ.مح أ	حمزاوي ماجدة
رئيس	جامعة محمد خيضر بسكرة	أ.د	سلطاني محمد توفيق

السنة الجامعية: 2025/2024

فَالْحَمْدُ لِلَّهِ

الشكر والتقدير

الحمد لله والشكر لله الذي وفقني في انجاز هذا العمل.

من باب الاعتراف بالجميل لا يسعنا إلا أن أتقدم ببالغ عبارات الشكر والتقدير

لأستاذة المشرفة "حمزاوي ماجدة" على مجهوداتها المبذولة طوال فترة إعداد المذكرة وعلى دعمها وتوجيهاتها

القيمة طوال مشواري فجزاها الله خير جزاء ووفقها.

والشكر الموصول إلى أعضاء اللجنة المناقشة على قبولهم مناقشة هذا العمل وجهودهم المبذولة لتقييم هذا

البحث.

كما أنني أتوجه بخالص الشكر إلى أساتذتنا الأفاضل في قسم الفيزياء على تكوينهم لي طيلة المسار

الجامعي.

وكذلك أشكر من ساهم في إتمام هذا العمل من بينهم طالبة الدكتوراه "بغدادى لينا".

فلهم مني كل الشكر

الإهداء

حمد الله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله

إلى من زرعوا في قلبي حب التعلم وأيقظوا في داخلي شغف المعرفة، وكانوا سند وقت الضعف والأمل وقت اليأس....

إلى من أحمل أسمه بكل فخر إلى مثلي الأعلى في الحياة، سندي وقوتي، فهو من علمني كيف أعيش بكرامة وشموخ "أبي العزيز".

إلى من كانت دعواتها لي زادا في دربي، ونبضا يسكنني ودعاء يرافقني، إلى أروع امرأة في الوجود "أمي الحبيبة".

إلى مصدر قوتي وأمان أيامي إخوتي حفظهم الله.

إلى كبيرة المقام ذات السيرة العطرة "جدتي".

إلى من كان ينتظر نجاحي لكن القدر كان أكبر "جدي رحمه الله".

إلى من كانت لي أما ثانية، ودعاؤها كان يسبقني وحنانها يرافقني، وسندها لا ينسى خالتي.

إلى من لم يكن مجرد قريب، بل كان أخا ورفيقا في كل طريقي ابن عمي نجيب.

إلى مؤنساتي اللواتي رزقني الله بهن لأعرف من خلالهن طعم الحياة الجميلة، صديقاتي "خلافة دعاء، بلقاسمي لمياء، حواس مسعودة، رزاق شيماء وساسي درصاف".

إلى من زرعوا التفاؤل في دربي وقدموا لي المساعدات، التسهيلات والمعلومات الأستاذة بن تركي نورة، الأستاذ خروب النوي، أحمد شرقي، شني شيماء وصغير جمانة.

فلكم مني كل الشكر، حفظكم الله ورعاكم.

سعادة زمينة

I	الشكر والتقدير
II	الإهداء
2	مقدمة عامة
4	مراجع
5	I. الفصل الأول عموميات حول الزجاج وملخص الدراسات السابقة
6	1.I المقدمة
6	2.I لمحة تاريخية للزجاج
6	I. 1. 2. الزجاج الطبيعي
7	I. 2. 2. الزجاج الصناعي
8	I. 3. تعريف الزجاج
9	I. 4. الطرق المختلفة لصناعة الزجاج
9	I. 4.1 طريقة النفخ
10	I. 4.2 طريقة الطفو
11	I. 4.3 طريقة السائل والهلام (Sol-Jel)
11	I. 5. الانتقال الزجاجي
13	I. 6. البنية البلورية للزجاج
13	I. 6.1 البنية البسيطة
14	I. 6.2 البنية المركبة
14	I. 6.2.1 الأكاسيد مشكلة للزجاج
15	I. 6.2.2 الأكاسيد المعدلة للزجاج
16	I. 6.2.3 الأكاسيد الوسيطة للزجاج

17.....	I.7 أنواع الزجاج
17.....	I.7.1 زجاج الهالوجينات
17.....	I.7.2 زجاج الكالكوجينات
18.....	I.7.3 زجاج البوروسيليكات
19.....	I.7.4 زجاج المعادن
20.....	I.7.5 زجاج المفلور
20.....	I.7.6 زجاج الأكاسيد
21.....	I.8 خصائص الزجاج
21.....	I.8.1 الخصائص الميكانيكية
21.....	I.8.1.1 الصلادة
22.....	I.8.1.2 المرونة
21.....	I.8.1.3 المتانة
22.....	I.8.2 الخصائص الإشعاعية
22.....	I.8.1.2 الانعكاس الخارجي
22.....	I.8.2.2 الامتصاص والتشتت
23.....	I.9 أكسيد الأنتموان Sb_2O_3
23.....	I.9.1 تعريفه
24.....	I.9.2 خصائصه
24.....	I.9.2.1 الخواص الفيزيائية
25.....	I.9.2.2 الخواص الكيميائية
25.....	I.10 أكسيد البور
25.....	I.10.1 تعريفه
26.....	I.10.2 خصائصه

27	2.2.10.I الخصائص الكيميائية
27	1.2.10.I الخصائص الفيزيائية
28	11.I أكسيد الرصاص
28	1.11.I تعريفه
29	2.11.I خصائصه
29	12.I الدراسات السابقة
37	مراجع
37	II. الفصل الثاني: العمل المخبري وتقنيات الدراسة
38	1.II المقدمة
38	2.II العمل التجريبي لتحضير العينات الزجاجية
38	1.2.II المواد الكيميائية الأولية المستخدمة
39	2.2.II تركيب العينات المدروسة
40	3.2.II الأدوات المستخدمة في تحضير العينات الزجاجية
44	4.2.II مراحل تحضير العينات الزجاجية
45	1.4.2.II مرحلة وزن المواد الكيميائية
46	2.4.2.II مرحلة الصهر والمعالجة الحرارية
48	3.4.2.II مرحلة الصقل
48	4.4.2.II العينات المتحصل عليها بعد إتباع المراحل السابقة
49	5.4.2.II شروط الحصول على عينات زجاجية جيدة
49	3.II تقنيات وأجهزة المعاينة
49	1.3.II الخصائص الفيزيائية
49	1.1.3.II الكثافة

50.....	2.1.3.II طريقة دافعة أرخميدس
50.....	3.1.3.II الحجم المولي
51.....	4.1.3.II متوسط المسافة بين الذرات
52.....	2.3.II الخصائص الميكانيكية
52.....	1.2.3.II اختبارات الموجات فوق الصوتية
55.....	3.3.II الخصائص الإشعاعية
57.....	مراجع
59	III. الفصل الثالث: النتائج و المناقشة
60.....	1.III المقدمة
60.....	2.III النظام الزجاجي الثلاثي
61.....	3.III الخصائص الفيزيائية
61.....	1.3.III الكثافة والحجم المولي
65.....	4.III الخصائص الميكانيكية
69.....	5.III الخصائص الإشعاعية
70.....	1.5.III معاملات الإشعاعية
70.....	1.1.5.III معامل التوهين الخطي (LAC)
70.....	2.1.5.III معامل التوهين الكتلي (MAC)
70.....	3.1.5.III نصف السمك (HVL)
71.....	4.1.5.III سمك العشر (TVL)
71.....	5.1.5.III متوسط المسار الحر (MFP)

71.....	6.1.5.III العدد الذري الفعال (Z_{eff})
71.....	7.1.5.III الكثافة الإلكترونية الفعالة (N_{eff})
72.....	2.5.III التفاعلات الثلاثة الرئيسية في الإشعاع
72.....	1.2.5.III تفاعل كهرو ضوئي
72.....	2.2.5.III تفاعل تشتت كومبتون
72.....	3.2.5.III تفاعل إنتاج الأزواج
73.....	3.2.5.III تحليل ومناقشة المنحنيات الإشعاعية
80.....	مراجع
84.....	الخاتمة العامة
86.....	المخلص
87.....	Abstract

قائمة الاشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
	الفصل الأول: عموميات حول الزجاج وملخص الدراسات السابقة	
7	حجر السبج	(1.I)
8	مختلف الصناعات عند المسلمين	(2.I)
8	صناعة الزجاج عند الفينيقيين	(3.I)
9	بنية المواد البلورية والغير بلورية	(4.I)
10	صناعة الزجاج بطريقة النفخ	(5.I)
12	منحنى الانتقال الزجاجي	(6.I)
15	شبكة SiO_2 في الزجاج السيليكا	(7.I)
16	شبكة SiO_2 بإضافة Na_2O	(8.I)
16	إدخال Al_2O_3 في الشبكة الزجاجي	(9.I)
18	زجاج الكالكوجينات	(10.I)
20	زجاج المعادن	(11.I)
23	هيكل أكسيد الأنتيموان	(12.I)
23	هيكل أكسيد البور	(13.I)
28	هيكل $\alpha\text{-PbO}$ و $\beta\text{-PbO}$	(14.I)
	الفصل الثاني: العمل المخبري وتقنيات الدراسة	

38	مواد الكيمائية المستخدمة	(1.II)
40	صورة فوتوغرافية لميزان الدقة	(2.II)
41	صورة فوتوغرافية للهاون	(3.II)
42	بوتقة السيليكا	(4.II)
42	صورة فوتوغرافية لموقد بنزن	(5.II)
43	صورة فوتوغرافية للمقص	(6.II)
43	صورة فوتوغرافية للصفائح النحاسية والقوالب	(7.II)
44	صورة فوتوغرافية لفرن الحراري	(8.II)
44	صورة فوتوغرافية للآلة الصقل	(9.II)
45	صورة فوتوغرافية للمخبر (مجمع بحث العلمي)	(10.II)
47	صورة فوتوغرافية لعملية الصهر	(11.II)
47	صورة فوتوغرافية لسكب المزيج	(12.II)
47	صورة فوتوغرافية للعينات داخل الفرن	(13.II)
48	صورة فوتوغرافية لعملية صقل العينة الزجاجية	(14.II)
51	صورة فوتوغرافية للعينات الزجاجية	(15.II)
51	كتلة العينة الزجاجية في الهواء	(16.II)
51	كتلة العينة في الماء	(17.II)
52	جهاز قياس الموجات فوق الصوتية	(18.II)
53	محولات الموجة الطولية والموجة العرضية	(19.II)
56	مبدأ عمل البرنامج	(20.II)

	الفصل الثالث: النتائج والمناقشة	
60	النظام الزجاجي الثلاثي ($Sb_2O_3-B_2O_3-PbO$)	(1.III)
62	منحنى تغيرات الكثافة والحجم المولي بدلالة التركيز PbO	(2.III)
64	منحنى تغيرات متوسط المسافة بين ذرات الرصاص والحجم المولي لذرات الرصاص بدلالة تركيز PbO	(3.III)
66	منحنى تغيرات سرعة الانتشار الموجات فوق الصوتية بدلالة تركيز PbO	(4.III)
68	تغيرات معاملات المرونة بدلالة تغيرات تركيز PbO	(5.III)
73	منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على معامل التوهين الخطي	(6.III)
74	منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على معامل التوهين الكتلي	(7.III)
75	منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على نصف السمك	(8.III)
75	منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على سمك العشر	(9.III)
76	منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على متوسط المسار الحر	(10.III)
77	منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على عدد الذري الفعال	(11.III)
78	منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على الكثافة الالكترونية الفعالة	(12.III)

قائمة الجداول

الجدول	العنوان	الصفحة
	الفصل الأول: عموميات حول الزجاج وملخص الدراسات السابقة	
(1.I)	تصنيف الأكاسيد وفق Zachariasen	17
(2.I)	الخصائص الفيزيائية لأكسيد الأنتموان	24
(3.I)	البور الخصائص الفيزيائية لأكسيد	26
	الفصل الثاني: العمل المخبري وتقنيات الدراسة	
(1.II)	بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد الكيميائية	39
(2.II)	النسب المئوية لتراكيب العينات المدروسة	40
	الفصل الثالث: النتائج والمناقشة	
(1.III)	قيم الكثافة والحجم المولي للعينات الزجاجية المدروسة	61
(2.III)	قيم الخصائص الفيزيائية للعينات الزجاجية المدروسة	64
(3.III)	سرعة الانتشار الطولية، السرعة الانتشار العرضية ومتوسط سرعة الصوت	66
(4.III)	قيم معاملات المرونة للعينات الزجاجية المدروسة	67

مقدمة عامة

مقدمة عامة

يعتبر الزجاج من المواد الفريدة التي سخرها الله للإنسان، نظرا لخصائصه المتعددة كالشفافية، الصلابة والمرونة، وقد أشار القرآن الكريم إلى هذه المادة لقوله تعالى: { لِّلّٰهُ نُورُ السَّمٰوٰتِ وَٱلْأَرْضِ ۚ مِثْلُ نُوْرِ كَمِشْكَاةٍ فِيْهَا مِصْبَاحٌ ۚ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ ۚ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ } . (سورة النور: 35).

عرف الإنسان الزجاج منذ العصور القديمة، حيث استخدمه في مختلف الصناعات منها الأواني الزجاجية والحلي، ومنذ ذلك الحين أصبح الزجاج مادة أساسية في العديد من الصناعات المتنوعة، وازدادت أهميته في العصر الحديث نظرا لاستخدامه في مختلف التركيبات الضوئية، الطبية، العلمية والصناعية ومن أبرز تطبيقاته المستقبلية الحماية من الإشعاع [1].

شهد العالم خلال القرن الماضي توسعا هائلا في استخدامات الإشعاع. فقد أدت التطورات في العلوم والتكنولوجيا إلى استخدام الإشعاع في مجالات متعددة مثل الطب و الأبحاث النووية والعلاج الإشعاعي، ومن بين أنواع الشائعة للإشعاع الفوتونات عالية الطاقة مثل أشعة السينية وأشعة جاما [2]. ورغم فوائده، إلا أن الإشعاع يشكل خطرا على الإنسان والبيئة مما استدعى تطوير مواد فعالة للتخفيف وحجب هذا الإشعاع بشكل فعال [3]. من بين هذه المواد الزجاج، حيث يعد كبديل واعد في مجال مواد الخاصة بالحماية الاشعاعية، وذلك لما يتمتع به من مجموعة الخصائص الجيدة التي تميزه عن المواد الأخرى كالمعادن والبوليمرات [4].

في إطار السعي لإيجاد حلول فعالة للحد من مخاطر الإشعاع يبذل العديد من العلماء والباحثين جهودا كبيرة لدراسة أنواع مختلفة من الأنظمة الزجاجية التي تحتوي على أكاسيد ثقيلة وخفيفة مثل أكسيد الرصاص

(PbO) وأكسيد الأنثيموان (Sb_2O_3) وأكسيد البور (B_2O_3)، حيث يعد أكسيد الرصاص من المواد الممتازة لامتصاص الأشعة نظرا لارتفاع كتلته الذرية وكثافته مما يجعله من المواد الأساسية في تحضير زجاج واقى للأشعة [5]، أما أكسيد الأنثيموان يتميز بشفافية عالية وقد أدخل في بعض التراكيب الزجاجية كمادة مضافة للزجاج لتحسين بعض خواصه منها الخواص الإشعاعية [6]، وبالنسبة لأكسيد البور له قدرة عالية على مقاومة الصدمات الحرارية.

الهدف من إعداد هذه المذكرة هو السعي إلى تطوير المادة الزجاجية للحماية من الشعاع، وذلك من خلال تحضير زجاج يتكون من $Sb_2O_3-B_2O_3-PbO$ ، ودراسة تأثير PbO على الخصائص الفيزيائية، الميكانيكية والإشعاعية.

تحتوي هذه المذكرة على ثلاثة فصول وهي كالتالي:

الفصل الأول: في هذا الفصل قمنا بتقديم عموميات حول الزجاج، لمحة تاريخية حول اكتشافه، الطرق المتنوعة لصناعته، بنيته، أنواعه، خصائصه، ومن ثم الانتقال إلى الأكاسيد المستعملة لتحضير الزجاج وفي الأخير ملخص الدراسات السابقة المقاربة لبحثنا.

الفصل الثاني: في هذا الفصل قمنا بتحضير العينات الزجاجية وتقنيات المستخدمة لتحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والإشعاعية.

الفصل الثالث: تقديم النتائج التي حصلنا عليها ومناقشتها وتحليلها ومقارنتها مع الدراسات السابقة.

مصدر: القرآن الكريم

مراجع اللغة العربية:

[1] عرباوي م ص. نمذجة التبادل الأيوني في الزجاج [مذكرة ماستر]. ورقة: جامعة قاصدي مرباح

.2016;

[6] يعقوب خ. دراسة الخصائص البصرية والميكانيكية للسلسلة الزجاجية $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$. [مذكرة

ماستر]. بكرة: جامعة محمد خيضر; 2023.

مراجع اللغة الأجنبية:

[2] Al-Buriahi MS, Kurtulus R, Eke C, Alomairy S, Olarinoye IO. An insight into advanced glass systems for radiation shielding applications: A review on different modifiers and heavy metal oxides-based glasses. Heliyon. 2024; 10: e 40249.

[3] Al-Buriahi MS, Alrowaili ZA, Alsulfyani SJ, Alalawi A, Olarinoye IO, Sriwunk C, et al. Radiation shielding and energy absorption parameters of $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-CaF}_2$ silicate glasses. J Radiat Res Appl Sci. 2024; 17(4):101153.

[4] Al-Buriahi MS. Radiation shielding performance of a borate-based glass system doped with bismuth oxide. Radiat Phys Chem. 2023 Jun; 207: 110875.

<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.110875>.

[5] Alrowaili ZA, Alomayrah N, Saleh HH, Sriwunkum C, Alalawi A, Al-Buriahi MS. Gamma attenuation and radiation shielding properties of lead silicate glasses containing antimony and alumina oxides. Eur Phys J Plus. 2025 ; 140 : 32.

<https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-025-05968-z>.

الفصل الأول

عموميات حول الزجاج

وملخص الدراسات السابقة

1.I المقدمة:

يعتبر الزجاج من المواد الأساسية التي شهدت تطورا كبيرا، نظرا لتعدد تطبيقاته في مختلف المجالات التكنولوجية. فالنجاح في تحويل الرمال إلى زجاج ثم استخدامه بمختلف الطرق قد يتطلب عدة ابتكارات وتقنيات. إن مسألة اكتشاف مادة الزجاج اختلفت وتعددت الآراء حولها، حيث ينسب بعض الباحثون هذا الاكتشاف إلى الفينيقيين ومنهم من ينسبها إلى بلدان شرق الأدنى القديم. من خلال الدراسات التاريخية والأثرية سنحاول التطرق إلى مختلف هذه الآراء والتعرف على الطرق المتنوعة لصناعة الزجاج، بالإضافة إلى ذلك ملخص الدراسات السابقة حول الزجاج [1].

2.I لمحة تاريخية للزجاج:

قبل أن يتعلم الإنسان أسرار صنع الزجاج وجد الزجاج متكون بطريقتين مختلفتين، وقد استغرقت هذه الصناعة عدة آلاف من السنين لتطوير طرق التصنيع هذه المادة وجعلها شفافة [2].

I 1.2. الزجاج الطبيعي:

كان الزجاج الطبيعي موجودا منذ وقت مبكر على الأرض حيث تشكل نتيجة التصلب السريع للصخور المنصهرة أثناء الانفجارات البركانية وتأثيرات النيازك، حيث حجر السج كما هو موضح في الشكل (1.I) أول صخرة تشكل الزجاج الطبيعي. واستخدمه الإنسان منذ 100.000 عام في صناعة صناعة رؤوس السهام والسكاكين [3].



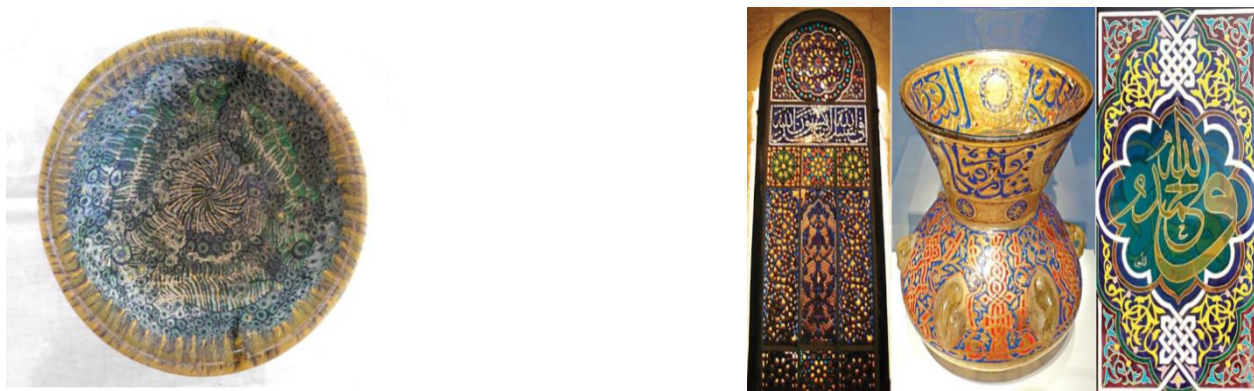
الشكل (1.I): حجر السج.

2.2. I الزجاج الصناعي:

تعددت الآراء حول اكتشاف مادة الزجاج وموطنها الأصلي، وقد تطورت صناعة الزجاج حوالي 5000 عام، حيث تروي قصة تاجر فينيقي قام بمزج الرمل مع نترات الصوديوم لبناء مدفأة وأثناء تعرض المزيج للحرارة بدأ بالانصهار فتفاجأ بالحصول على مادة شفافة بعد التصلب، ويعتبر هذا الحدث أول إنتاج صناعي للزجاج كما هو موضح في الشكل (3.I) [4].

انتشرت صناعة الزجاج على مدى قرون عبر مختلف البلدان، حيث يعتبر بعض الباحثون أن الصناع الآسيويون أول من قاموا بصناعة الزجاج ومنهم انتقلت الصناعة إلى مصر حوالي 1200 عام قبل الميلاد، ثم توقفت هذه الصناعات لعدة قرون من الزمن [4].

كما اهتم المسلمون في العصور الوسطى بصناعة الزجاج وعملوا على تطويرها بعد أن تعلموا طرق صناعتها من البلدان التي فتحوها مثل مصر والشام، وذلك لتلبية احتياجاتهم للأواني الزجاجية المستخدمة في إضاءة المساجد والمنازل وغيرها كما هو موضح في الشكل (2.I) [4].



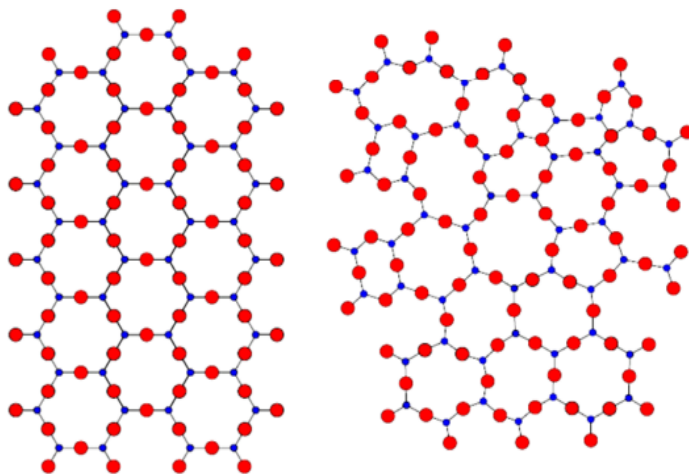
الشكل (2.I): مختلف الصناعات عند المسلمين. الشكل (3.I): صناعة الزجاج عند الفينيقيين.

3.I تعريف الزجاج:

يمكن أن يأخذ مصطلح الزجاج تعاريف متعددة، إذا كان في اللغة العامة يشير إلى مادة هشة وشفافة أما في مجال العلمي يكون للمصطلح مجال واسع جدا مما يجعل من الصعب جدا تحديده. يمكن تعريف الزجاج بثلاث طرق من بينها:

- تعريف التقليدي قدمه R. Haas: "يعرف الزجاج بأنه مادة صلبة تشبه السائل الجامد." بناء على هذا التعريف يتم الوصول إلى مفهوم الزجاج كمواد لم تصل أبدا إلى حالة التبلور بداء من حالته السائلة [3].
- تعريف ASTM (L'Association Américaine pour l'Essai des Matériaux): الزجاج هو مركب غير عضوي وغير معدني يتم تبريده إلى الحالة صلبة دون التبلور [3].
- كتعريف آخر للزجاج هو مادة شفافة، هشة وسهلة الانكسار، ينصهر عند درجات الحرارة العالية جدا ويتحول إلى الحالة الصلبة عند تبريده. ينتمي الزجاج إلى المواد الصلبة التي لا تمتلك نمطا هندسيا الموضح في الشكل (4.I)، تميزها ظاهرة الانتقال الزجاجي وتسمى الحالة الفيزيائية لها بالحالة الزجاجية والتي نحصل عليها بواسطة التبريد السريع للسائل الزجاجي المنصهر [5].

من الواضح أنه لا يمكننا الحصول على تعريف عام للزجاج بناء على طرق تصنيعه فقط.



الشكل (4.I): بنية المواد البلورية وغير البلورية [6].

4.I الطرق المختلفة لصناعة الزجاج:

1.4. I طريقة النفخ:

يتم صناعة الزجاج من خلال صهر مزيج من الرمل (السيليكا) والصودا، حتى يتحول إلى سائل متجانس، وعند تبريده إلى درجة حرارة معينة يصبح مرنا وسهل التشكيل، يتم تشكيل الزجاج بواسطة أنبوبة حديدية طويلة ذات مبسم خشبي لحماية العامل من حرارة الأنبوب حيث يغمس في سائل ويرفع على طرفها قطعة من مصهور الزجاج، ويقوم بنفخها فتتحول الكتلة الزجاجية إلى فقاعة صغيرة أولاً وتكبر تدريجياً مع استمرار النفخ كما هو موضح في الشكل (5.I) ثم تشكل قطعة الزجاج حسب رغبة الصانع، بعد ذلك تأتي مرحلة الزخرفة وكانت تنجز بطرق مختلفة منها طريقة الضغط على الأواني وهي لينة وغير ذلك من الطرق المختلفة [7].



الشكل (5.I): صناعة الزجاج بطريقة النفخ.

2.4. I طريقة الطفو:

يصنع الزجاج بطريقة الطفو من خلال مزج المواد الخام مثل السيليكا وصودا والجير، حيث يتم مزج هذه المواد معا مع إضافة نسبة من كسر الزجاج المصنع مسبقا، يتم تسخين هذا المزيج في فرن عند درجات الحرارة العالية تصل إلى 1600°C للحصول على سائل زجاج مصهور، ثم يتم وضعه فوق سطح وعاء يحتوي على سائل مصهور من القصدير درجة حرارته 1200°C ، حيث ينتشر بانتظام فوقه نظرا لخاصية التوتر السطحي، لا يتجانس الخليط مع بعضه لأن كثافة القصدير أكبر من كثافة الزجاج المنصهر، يسحب الزجاج من وعاء ووضعه داخل الفرن لتقليل الإجهادات الداخلية عند درجة حرارة أقل من 600°C ثم تستمر عملية التبريد حتى تصل القطع الزجاجية درجة حرارة 50°C ، أخيرا يتم الحصول على قطع الزجاج مسطح يتم قطعه حسب السمك المطلوب، لا يحتاج لعملية الصقل، تستخدم هذه الطريقة في صناعة النوافذ والمباني المعمارية [8].

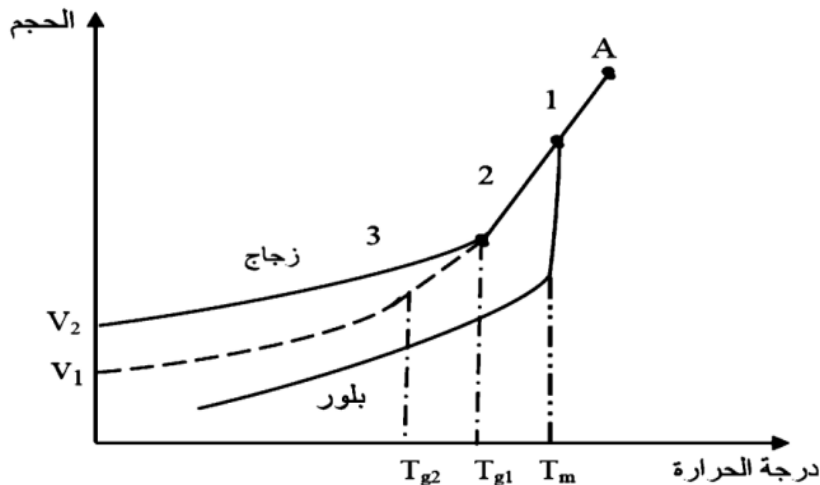
I. 3.4 طريقة السائل والهلام (Sol-Jel):

تعد تقنية السائل والهلام (Sol-Jel) من الطرق الكيميائية في تحضير المواد، وقد تطورت بشكل ملحوظ منذ اكتشافها، تعتمد هذه التقنية على تحويل السائل إلى شبكة صلبة (الهلام)، وقد استخدمت في العديد من الصناعات منها صناعة الزجاج السيليكا.

يتم تحضير الزجاج بإتباع خطوات معينة، أولاً يتم تحضير المحلول الأولي عن طريق إذابة العناصر الكيميائية التي تكون على شكل مسحوق بلوري ناعم في محلول سائل يحتوي على بعض الأحماض لتكوين محلول متجانس، بعد فترة زمنية تتكون جسيمات نانوية معلقة داخل المحلول، ومع استمرار التفاعل يتم ترسيب الهلام في المحلول، بعد ذلك يتم إزالة السائل عن طريق تجفيف الهلام عبر تبخره في الهواء للحصول على الزيروجيل، وأخيراً يتم وضع الهلام للمعالجة الحرارية عند درجات حرارة تتراوح بين 600°C إلى 1000°C ثم نتحصل على الزجاج [9].

I. 5 الانتقال الزجاجي:

الزجاج مادة غير بلورية تتميز بقدرتها على الانتقال التدريجي من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة الزجاجية عند انخفاض درجة الحرارة. تعرف هذه الظاهرة بالانتقال الزجاجي، وتحدث عند درجة حرارة محددة تسمى درجة حرارة الانتقال الزجاجي كما هو موضح في الشكل (6.I). تختلف درجة حرارة الانتقال الزجاجي حسب معدل التبريد أثناء تصلب أي إذا كان تبريد أسرع تكون قيمة T_g أعلى قليلاً مقارنة بالتبريد البطيء [10,6].



الشكل (6.I): منحنى الانتقال الزجاجي [11].

عند بدء عملية تبريد الزجاج المنصهر والذي يتميز بالتركيب البلوري العشوائي، يحدث تقلص في حجمه مع انخفاض درجة الحرارة. إذا كانت النقطة (A) تمثل الزجاج في الطور السائل عند درجة حرارة أعلى من درجة الانصهار، تبدأ الذرات بفقدان طاقاتها عند درجة حرارة أقل من تلك في النقطة (A)، حيث يظهر خليط من الطورين الصلب والسائل (المنطقة 1). وعند انخفاض درجة الحرارة أكثر من ذلك، يصبح الزجاج في الطور الصلب لكنه لا يزال يحتفظ بصفات السائل (المنطقة 2). في النهاية عند الوصول إلى درجة حرارة معينة تسمى درجة حرارة الانتقال الزجاجي (T_g)، يتوقف تغير الحجم ويثبت عند حجم ثابت [11].

تظهر هذه العملية أن معدل التبريد له تأثير كبير على خصائص الزجاج. في حالة التبريد البطيء يكون الزجاج في حالة تمدد لفترة أطول، مما يؤدي إلى تبريد أبطأ، وبالتالي تكون درجة حرارة الانتقال الزجاجي الثانية (T_{g2}) أقل من درجة الانتقال الزجاجي الأولى (T_{g1})، يشمل التحول الآخر للزجاج المادة المنصهرة التي تتحول إلى

بلورة، حيث يتم الوصول إلى نقطة حرجة (Tm) يتحول فيها الزجاج مباشرة من الحالة السائلة إلى الصلبة [11].

6.I البنية البلورية للزجاج:

تم اقتراح عدة نظريات لدراسة بنية الزجاج منذ بداية القرن العشرين، من بينها النظرية البلورية التي طورت من طرف مجموعة من العلماء (Poraik-Oshitz)، (Valuenko) و (Lebedev). وتتص هذه النظرية على أن الزجاج يتشكل من العديد من المجالات الذرية الصغيرة والمرتبطة تسمى البلورات. أما النظرية الثانية التي وضعت من طرف العالم Zachariaze سنة 1950 (نموذج الشبكة العشوائية) تتص على عدم وجود مجالات ذرية مرتبة، حيث تعتمد بنيته على طبيعة ونسبة الأكاسيد المكونة له، وتنقسم بنية الزجاج إلى قسمين [12]:

1.6.I البنية البسيطة:

يتكون الزجاج البسيط من نوع واحد فقط من الأكاسيد، ويتميز ببنية غير متبلورة التي تأخذ عدة أشكال متعددة الأوجه منها:

- زجاج السليكات يتكون من جزيئات SiO_2 : يتميز هذا الزجاج بدرجات الحرارة العالية جدا مما يصعب صهرها لذلك تضاف إليها بعض من الأكاسيد الفلزية التي تساعد على خفض درجة حرارة انصهاره، حيث تضاف إليه 25% من أكسيد الصوديوم NaO_2 لتسهيل عملية الصهر، ويتميز أيضا بخصائص بصرية جيدة مما يجعله مثاليا في تطبيقات مختلفة مثل صناعة النوافذ [13].
- زجاج الفوسفات يتكون من جزيئات P_2O_5 : يتميز بخصائص جيدة ولكن قد يتأثر بشكل سريع نتيجة امتصاصه للماء (الرطوبة) [14].

➤ زجاج البورات يتكون من جزيئات B_2O_3 : يتميز بمقاومته لدرجات الحرارة العالية ويتأثر بشكل سريع نتيجة امتصاصه للماء [14].

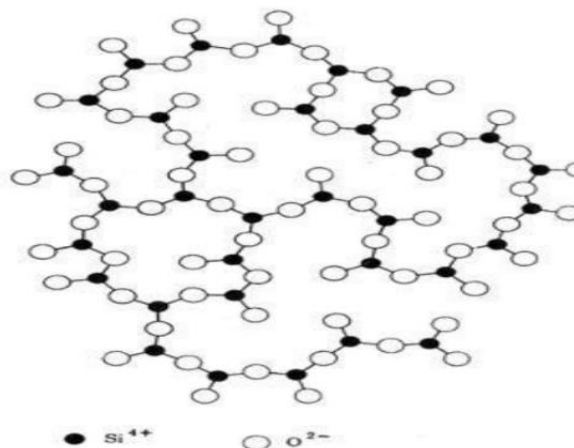
2.6.I البنية المركبة:

يتكون الزجاج المركب عادة من عدة أنواع من الأكاسيد، ويعتمد تصنيف الأكاسيد على عدد ذرات الأكسجين التي تتفاعل مع الأكسيد مثل (AO ، A_2O_3 ، A_2O ، AO_2 ، A_2O_5) بنسب مختلفة، ولقد صنف Zachariasen الأكاسيد من حيث وظائفها في الشبكة الزجاجية إلى ثلاث أصناف هي [15]:

I. 1.2.6. الأكاسيد مشكلة للزجاج:

تعد الأكاسيد المشكلة من المواد التي تشكل الزجاج بسهولة دون الحاجة إلى إضافة مواد أخرى، وتصنف هذه الأكاسيد حسب تركيبها البنوي إلى صنفين رئيسيين:

- أكاسيد ذات هندسة بنيوية مستوية مثل: (B_2O_3 ، P_2O_5 ، As_2O_3) تتميز هذه الأكاسيد بروابط تساهمية قوية وعند ذوبانها في الماء تنتج أحماض مختلفة حسب طبيعة الأكاسيد، أما As_2O_3 يعتبر سام جدا.
- أكاسيد ذات هندسة ثلاثية الأبعاد مثل: (SiO_2 الموضحة في الشكل (7.I)، GeO_2) تتميز هذه الأكاسيد بنقل الأشعة تحت الحمراء تصل إلى ($4-5\mu m$)، طاقتها كبيرة جدا ودرجة حرارة انصهارها عالية [16].

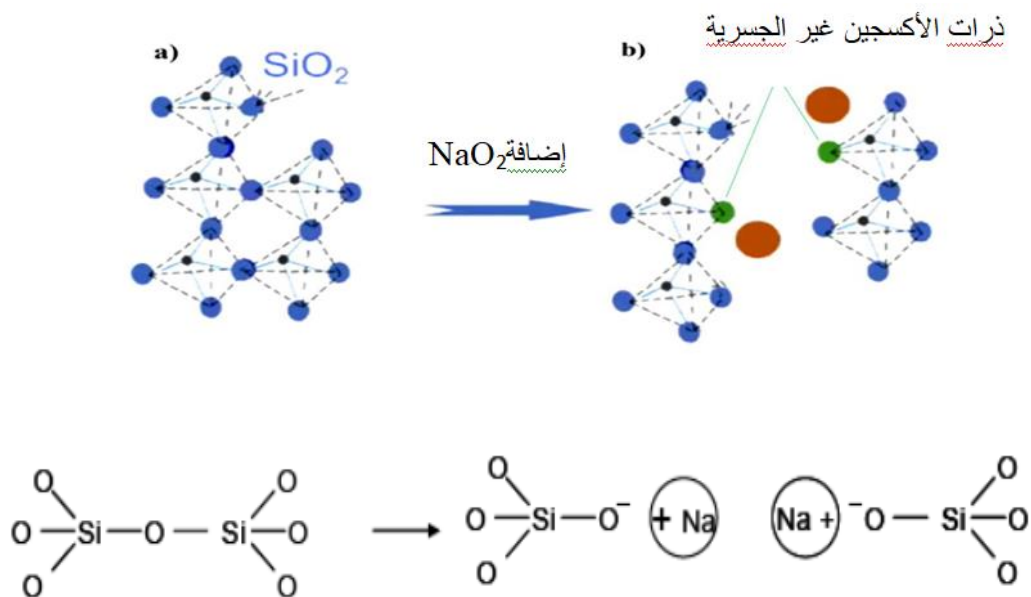


الشكل (7.I): شبكة SiO_2 في الزجاج السيليكا [17].

2.2.6.I الأكاسيد المعدلة للزجاج:

هي الأكاسيد التي لا تشكل الزجاج مهما كانت سرعة التبريد، ولكن تضاف إلى التركيبة الأولية للزجاج بهدف تحسين بعض الخصائص الفيزيوكيميائية ومن بينها:

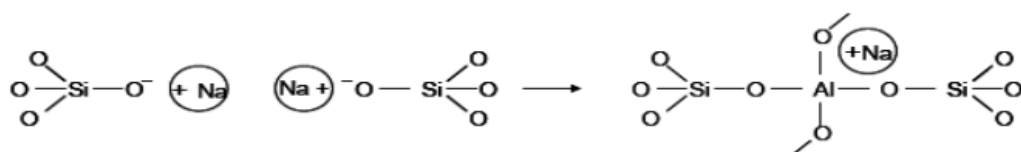
- ❖ الأكاسيد القلوية والتي تكون صيغتها الكيميائية من الشكل Li_2O ، K_2O .
- ❖ الأكاسيد القلوية الترابية والتي تكون صيغتها الكيميائية من الشكل MgO ، CaO ، SrO وتتراوح نسبة دخولها في زجاج ما بين (1.5%–22%)، كما هو موضح في الشكل (8.I) [16].



الشكل (8.I): شبكة SiO_2 بإضافة Na_2O [18].

3.2.6.I الأكاسيد الوسيطة للزجاج:

هي الأكاسيد التي تقوم بالوظيفتين السابقتين، أما كأكاسيد مشكلة أو كأكاسيد معدلة، حيث تساهم هذه الأكاسيد على استقرار الشبكة الزجاجية من خلال منحها خاصية التغير في البنية، حيث إذا كانت نسبة الأكاسيد أكبر من 40% تسمى أكاسيد مشكلة وإذا كانت أقل من 30% تسمى أكاسيد معدلة كما هو موضح في الشكل (9.I) [16].



الشكل (9.I): إدخال Al_2O_3 في الشبكة الزجاجية [19].

الجدول (1.I): تصنيف الأكاسيد وفق Zachariasen [18].

الأكاسيد	العناصر الكيميائية
الأكاسيد المشكلة للزجاج	SiO_2 ، GeO_2 ، B_2O_3 ، P_2O_5 ، As_2O_3 ، Sb_2O_3
الأكاسيد المعدلة للزجاج	Li_3O_2 ، Na_2O ، K_2O ، CaO ، BaO ، SrO ، MgO
الأكاسيد الوسيطة للزجاج	Al_2O_3 ، PbO ، ZnO ، Ti_2O_3 ، CdO ، NiO_2

7.I أنواع الزجاج:

الزجاج عالم من الشفافية تتعدد أنواعه لتناسب مختلف التطبيقات، من الزجاج العادي المستخدم في النوافذ إلى الزجاج المستخدم في الحماية من الإشعاع، كل نوع يحمل مميزات مختلفة عن بعضها نذكر منها:

1.7.I زجاج الهالوجينات:

يحتوي الزجاج الهالوجيني على العناصر التي تنتمي إلى المجموعة السابعة عشر من الجدول الدوري مثل (الفلور (F)، الكلور (Cl) والبروم (Br)) حيث تتفاعل هذه الهالوجينات مع الأكاسيد القلوية فتنتج أملاح مما يجعلها قادرة على امتصاص الماء، من بين أنواع الزجاج الهالوجيني المشهور (Cl_3Cd ، Cl_3Bi ، Cl_2Zn) بالإضافة إلى ذلك أنواع الأخرى مثل (PbI_2 ، ZnBr_2)، يتميز هذا الزجاج بالشفافية العالية في مجال الأشعة تحت الحمراء حيث يصل طول الموجة الانقطاع إلى $50\mu\text{m}$ [20].

2.7.I زجاج الكالكوجينات:

يعود اكتشاف الزجاج الكالكوجينات في أوائل الخمسينات، يحتوي زجاج الكالكوجينات على العناصر التي تنتمي المجموعة السادسة من الجدول الدوري مثل (Te، S، Se) والتي تشكل زجاجا عند مزجها مع عناصر

التي تنتمي للمجموعتين الرابعة والخامسة من الجدول الدوري مثل (Sn، Ga، Ge، As)، يتم تحضيره في وسط خالي من الأكسجين، عادة يتم صهره في أنابيب زجاجية مفرغة من الهواء عند درجات حرارة تتراوح بين 800°C إلى 1000°C داخل الفرن، يتميز هذا الزجاج بالشفافية الممتدة في مجال الأشعة تحت الحمراء، حيث يمكن لبعض التركيبات نقل الضوء حتى أطوال موجية تتجاوز $20\mu\text{m}$ ، كما هو موضح في الشكل [21,22].

(10.I)



الشكل (10.I): زجاج الكالكوجينات [21].

3.7.I زجاج البوروسيليكات:

تم اكتشاف زجاج البوروسيليكات لأول مرة بواسطة الكيميائي الألماني (Schottt Otto) في أواخر القرن التاسع عشر، تبلغ درجة حرارة انصهاره حوالي 820°C ، ويتكون بشكل رئيسي من السيليكا (SiO_2) وأكسيد البور (B_2O_3). يتميز هذا الزجاج بمعامل تمدد حراري منخفض، مما يجعله مقاوما للصدمات الحرارية مقارنة بالأنواع الأخرى من الزجاج، مما يجعله مناسباً للاستخدام في التطبيقات المخبرية. يتميز زجاج البوروسيليكات بخصائص العزل الكهربائي جيدة، مما يجعله عنصراً أساسياً في التطبيقات الكهروتقنية، بالإضافة إلى ذلك تحسين خواص الألياف الزجاجية، يستخدم في الأواني المنزلية، المخابر وصناعة البصريات [23].

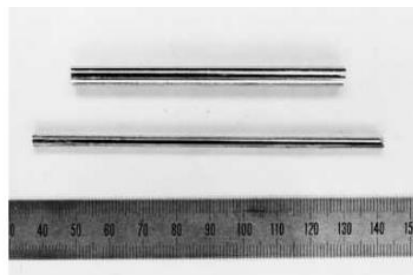
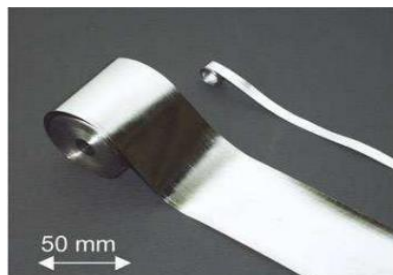
إن تركيب زجاج البوروسيليكات يكون عادة كما يلي:

- من 70% إلى 80 % من (SiO_2).
- من 15% إلى 28% من (B_2O_3) [25].
- من 4% إلى 8% من أكسيد الفلزات القلوية مثل أكسيد الصوديوم Na_2O وأكسيد البوتاسيوم K_2O .
- من 2% إلى 7% من أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3).

4.7.I زجاج المعادن:

يعد الزجاج المعدني مادة حديثة نسبيا تم اكتشافه لأول مرة في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في عام 1960، حيث يعتبر من أولى السبائك المعدنية غير متبلورة التي تم الحصول عليها على شكل طبقات رقيقة، يتم تحضيره باستخدام طريقة الدواليب لأنها تعتبر الطريقة الأسرع لصناعته. يتميز هذا الزجاج عن باقي الأنواع الأخرى بأنه غير شفاف ومقاوم للتآكل مما يجعله مناسباً للاستخدام في مختلف الصناعات منها طلاءات مضادة للتآكل. أول زجاج معدني كان مشكل من ($\text{Zr}, \text{Ti}, \text{Cu}, \text{Al}$). في سنة 1990 تم صنع الزجاج من قطع كبيرة بسبب تقليل سرعت التبريد السريع كما هو موضح في الشكل (11.I). تجرى حالياً البحوث متعددة لتحسين خصائص الزجاج المعدني وتقليل تكلفة إنتاجه وذلك من خلال إضافة عناصر أخرى إلى تركيب السبائك [25,26].

- إضافة عنصر Pd إلى سبائك تحتوي على (Cu, Ni).
- إضافة عنصر La إلى سبائك تحتوي على (Ni, Al).
- إضافة عنصر Zr إلى سبائك تحتوي على ($\text{Cu}, \text{Ni}, \text{Ti}$).
- إضافة عنصر Mg إلى سبائك تحتوي على (Ni, Cu).



الشكل (11.I): زجاج المعادن [2].

5.7.I زجاج المفلور:

قبل عام 1975 اكتشف BeF_2 وهو زجاج هالوجيني سام جدا، وفي عام 1975 اكتشف الأخوان (Poulin) زجاج مفلور جديد غير سام وهو LaF_3 . حيث كانت هذه التجربة نقطة بداية انتشار تركيبة جديدة للزجاج المفلور، اشتهرت تركيبتي رئيسيتين هما [27]:

← ZBLA $\text{LaF}_3=4\%$, $\text{ZrF}_4=57\%$, $\text{BaF}_2=36\%$, $\text{AlF}_3=3\%$

← ZBLAN $\text{NaF}=21\%$, $\text{ZrF}_4=53\%$, $\text{LaF}_3=4\%$, $\text{AlF}_3=20\%$, $\text{ZrF}_4=53\%$

6.7.I زجاج الأكاسيد:

يعد الزجاج الأكاسيد من أقدم أنواع الزجاج المعروفة، وهو الأكثر استخداما في الصناعة وذلك بفضل خصائصه الفيزيائية والكيميائية الممتازة، حيث يحتوي معظم أنواع الزجاج على الأكسجين كأيون يشكل روابط بين العناصر المكونة للزجاج. يعتبر زجاج السيليكا (SiO_2) من أبرز أنواع الزجاج الأكاسيد، نظرا لتركيبته وتطبيقاته المتعددة، ومن أهم خصائصه المميزة شفافيته العالية للأشعة المرئية في مجال يتراوح ($3-5\mu\text{m}$)،

كما يتميز بدرجة حرارة انتقال الزجاجي (Tg) 1200°C ، ويحتوي على عدة أنواع من الأكاسيد مثل SiO_2 ، B_2O_3 ، GeO_2 و P_2O_5 ، يستخدم في صناعة الألياف الزجاجية البصرية وتطبيقات الزجاج الليزر [28-30].

8.I خصائص الزجاج:

1.8.I الخصائص الميكانيكية:

الخصائص الميكانيكية للزجاج من الخصائص الأساسية التي تصف سلوكه تحت تأثير القوى والضغطات. وتشمل الخواص الميكانيكية مايلي:

1.1.8.I الصلادة:

هي خاصية فيزيائية لوصف مقاومة المادة للخدش أو التآكل. كلما زادت صلادة المادة زادت مقاومتها للخدش والتآكل. يختلف الزجاج في صلابته حسب تركيبه الكيميائي، حيث كلما زادت نسبة أكاسيد الفلزات القلوية مثل (أكسيد الصوديوم Na_2O وأكسيد البوتاسيوم K_2O) في الزجاج قلت صلابته، وكلما زادت نسبة أكاسيد المعادن مثل (أكسيد الكالسيوم CaO وأكسيد المغنيزيوم MgO) في الزجاج زادت صلابته [31].

2.1.8.I المرونة:

مرونة الزجاج هي قدرته على الانحناء دون الانكسار. وهي عودة الجسم إلى حالته الأصلية بعد زوال العامل المؤثر عليه، تقدر مرونة الجسم بالثقل الذي يتحمله وتزداد مرونة الزجاج بزيادة درجة الحرارة، عند درجات الحرارة العادية إذا تعرض الزجاج للضغط يبدو كأنه مادة مرنة صلبة [31].

3.1.8.I المتانة:

هي مقاومة الزجاج للكسر تحت تأثير القوة حيث تعتمد متانة الزجاج على عدة عوامل منها السمك، الشكل ووجود عيوب في السطح. يمكن تحسين متانة الزجاج عن طريق التقوية الحرارية أو إضافة طبقات واقية [31].

2.8.I الخصائص الإشعاعية:

أصبحت الحماية من الإشعاع ضرورة حتمية في العديد من المجالات الصناعية، حيث يعد اختيار أفضل المواد للحماية الإشعاعية ضرورة علمية لأن الشعاع له تأثيرات كبيرة على صحة الإنسان و لتحقيق هذه الحماية تستخدم مواد ذات قدرة على امتصاص الشعاع وتقليله مثل أكسيد الرصاص PbO ولكن البحث عن البدائل لازال متواصل [32].

يتعرض الإشعاع عند مروره في الزجاج لمجموعة من العمليات تحدد كيفية نفاذ الأشعة منه، تتمثل في مايلي:

1.2.8.I الانعكاس الخارجي:

عند سقوط الشعاع كهرومغناطيسي على سطح الزجاج ينعكس جزء منه بينما ينفذ الباقي إلى داخل الزجاج، فينعكس جزء منه من السطح الداخلي للزجاج، وتتعلق النسبة المنعكسة بالمعامل انكسار وزاوية السقوط، بالنسبة للزجاج العادي (معامل انكساره 1.5) ينعكس 4% من الإشعاع الساقط عموديا على سطحه الخارجي، ومثلها تقريبا من السطح الداخلي، و يتعلق ذلك بسمك الزجاج أو لونه [33].

2.2.8.I الامتصاص والتشتت:

عند نفاذ الإشعاع من سطح الزجاج، يتم امتصاص جزء منه ويتشتت جزء الآخر داخل الزجاج، تعتمد كمية الإشعاع الممتص أو متشتت على عدة عوامل من بينها سمك الزجاج، نقائه ونوع مادته المصنوع منها، بالنسبة

للزجاج العادي سمكه 3mm يمتص ما بين 6% إلى 9% من الأشعة الساقطة على سطحه، تزيد النسبة الإشعاع الممتصة بزيادة سمك الزجاج مما يزيد من حرارته، بينما يتم تشتت نسبة معينة من الأشعة. يمتاز الزجاج الملون بقدرة امتصاص الإشعاع بنسبة أكبر مقارنة بالزجاج الشفاف العادي مما يجعله مناسب لتطبيقات الحماية من الإشعاع [33].

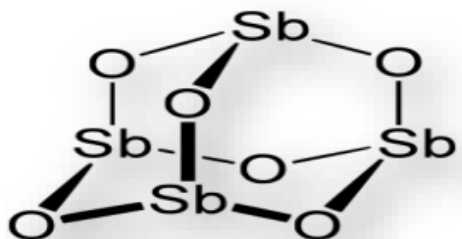
9.I أكسيد الأنتموان Sb_2O_3 :

1.9.I تعريفه:

في عام 1928 اكتشف (Zachariazen) أكسيد الأنتموان Sb_2O_3 حيث اعتبره مكون أساسي في تركيب الزجاج، يوجد بشكل طبيعي كخام يعرف باسم (stibnite Sb_2S_3) ويوجد على شكل أكاسيد مختلفة (Sb_2O_5 , Sb_2O_4 , Sb_2O_3) [34].

أكسيد الأنتموان هو عبارة عن مسحوق بلوري أبيض ناعم جدا عديم الرائحة عند تسخينه يتحول إلى اللون الأصفر وعند تبريده يتحول إلى اللون الأبيض [15].

يعرف منذ فترة طويلة أكسيد الأنتموان بأنه عامل مهم في تلوين نظارات السليكا والبوروسيليكات لتحسين شفافيتها في الأشعة تحت الحمراء ويستخدم لتحسين مختلف خواص الزجاج [5].



الشكل (12.I): هيكل أكسيد الأنتموان [27].

2.9.I خصائصه:

1.2.9.I الخواص الفيزيائية:

أكسيد ثلاثي الأنتموان (Sb_2O_3) هو مركب كيميائي يظهر على شكل مسحوق أبيض ناعم عديم الرائحة. في شكله التجاري، قد يحتوي على آثار من الزرنيخ كشوائب، وعادة ما تكون هذه الشوائب أقل من 1%، لكن يمكن تقليل هذه النسبة إلى أقل من 0.1% في بعض الأنواع عالية الجودة. هذا المركب غير قابل للذوبان في المذيبات العضوية وله ذوبانية منخفضة جدا في الماء، حيث تبلغ حوالي 0.014g/l عند درجة حرارة $30C^\circ$. ومع ذلك فإنه يذوب في المحاليل الحمضية [35].

يعتبر أكسيد الأنتموان من أهم تركيبات المشكلة للزجاج وذلك لأنه يتميز بمجموعة من الخواص الفيزيائية والكيميائية كما هو موضح في الجدول (2.I) [36].

الجدول (2.I): الخصائص الفيزيائية لأكسيد الأنتموان [36].

القيم	الخصائص الفيزيائية
291.52	الكتلة المولية (g/mol)
656	درجة انصهار في غياب الأكسجين C°
1425	درجة الغليان C°
5.2	الكثافة (g/cm^3)

133 عند درجات الحرارة 574C°	ضغط البخار (Pa)
19.8 عند درجات حرارة 1560C°	كثافة البخارية (g/cm ³)

2.2.9.I الخواص الكيميائية:

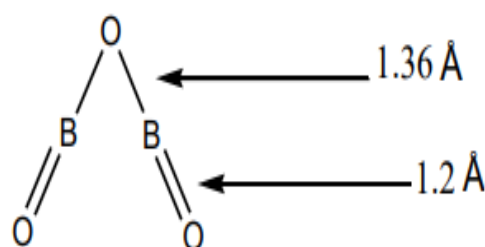
تتغير الصيغة الكيميائية لزجاج أكسيد الأنثيموان الثلاثي (Sb_2O_3) عند ملامسته للماء بشكل طفيف، حيث يعتمد هذا التغير على التركيبة الكيميائية للزجاج. تحدث هذه التفاعلات ببطء عند درجات حرارة المحيط. يعتبر ثالث أكسيد الأنثيموان مركبا أمفوتيريا، أي أنه يذوب في المحاليل الحمضية منتجا حمض بولي أنثيموان المعقد (polyantimonates)، ويذوب أيضا في المحاليل القلوية مكونا مركبات الأنثيمونات (antimoniates). كما يمكن اختزال أكسيد الأنثيموان الثلاثي بسهولة إلى الأنثيموان المعدني وثالث هيدريد الأنثيموان (SbH_3) الذي يعد غاز سام للغاية [26].

10.I أكسيد البور:

1.10.I تعريفه:

يوجد أكسيد البور (B_2O_3) في الطبيعة متحدا مع الأكسجين ولا يوجد كعنصر حر أو متحدا مع عناصر أخرى باستثناء الأكسجين كما هو موضح في الشكل (13.I)، يعتبر (B_2O_3) من المركبات صعبة التبلور ويتم تحضيره من خلال تسخين البور في الهواء أو الأكسجين. وهو عبارة عن مسحوق بلوري أبيض ناعم عديم الرائحة، يساعد على خفض درجة الحرارة الانصهار مما يحسن قابلية التشكيل الحراري، ويساهم في تحسين المقاومة الميكانيكية والكيميائية للزجاج. عادة يتم إنتاجه عن طريق نزع الماء من حمض البوريك [37].

يخفض (B_2O_3) من لزوجة السيليكا دون أن يزيد من تمددها الحراري، ويحافظ على شفافية الزجاج عند إضافة كميات من أكسيد الألمنيوم، ويجعله أكثر مقاومة للحرارة مثل الزجاج المستخدم في صناعة الأواني المنزلية، المخابر والأنابيب الصناعية لقدرتها على مقاومة التغيرات المفاجئة لدرجات الحرارة ومقاومتها للمواد الكيميائية كما هو موضح في الجدول (2.I) [37].



الشكل (13.I): هيكل أكسيد البور [37].

2.10.I خصائصه:

1.2.10.I الخصائص الفيزيائية:

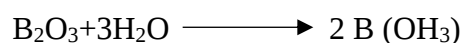
الجدول (3.I): الخصائص الفيزيائية لأكسيد البور.

القيم	الخصائص الفيزيائية
2.17	الكثافة النوعية (g/cm^3)
1.10	الكثافة الظاهرية (g/cm^3)
69.62	الكتلة الجزيئية (g/mol)

450	درجة حرارة الانصهار C°
1860	درجة الغليان C°
16.2	السعة الحرارية (J/g)
0.345	التوصيل الحراري (W/m.K)

2.2.10.I خصائص الكيميائية:

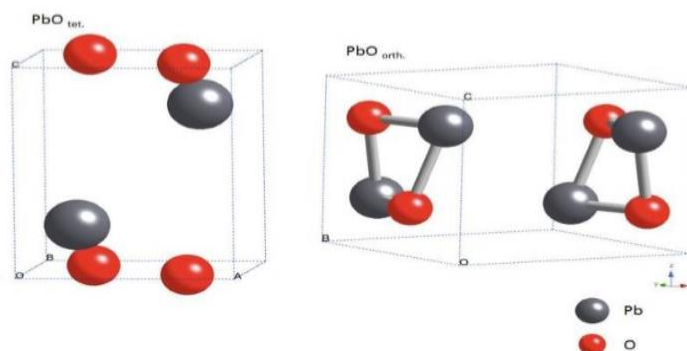
يذوب (B_2O_3) في العديد من أكاسيد الفلزات عند صهرها معه للحصول على زجاج البوارت الملون، يختزل إلى البور غير النقي بواسطة العناصر القلوية أو المغنيسيوم أو الألمنيوم ويتفاعل مع هيدريد الكالسيوم لينتج (CaB_6). يذوب أكسيد البور في الماء محررا حرارة عالية ومعطيا حمض البوريك وعند تفاعله مع بخار الماء يتكون حامض الميتا البوريك وفق المعادلة التالية [37]:



11.I أكسيد الرصاص:

1.11.I تعريفه:

يعد أكسيد الرصاص (PbO) مركب كيميائي غير عضوي، يوجد في الطبيعة بعدة أشكال بلورية، أبرزها الشكل α رباعية التماثل) والشكل β معينية قائمة) كما هو موضح في الشكل (14.I). يتم تحضيره عادة على شكل مسحوق بلوري عن طريق تسخين الرصاص في وجود الهواء. يصنف PbO كمركب ثنائي الشكل البلوري (dimorphe) يخضع لتحول طور بلوري عند درجة حرارة 488.5°C ، حيث تتحول بنيته من الشكل الرباعي α -PbO وهو مسحوق بلوري لونه أحمر إلى الشكل المعيني القائم β -PbO وهو مسحوق بلوري لونه أصفر أما التحول العكسي من β إلى α فيحدث ببطء. يستخدم في نطاق واسع في العديد من المجالات مثل البطاريات، الخلايا الشمسية، مواد حماية من الإشعاع و تطبيقات الطبية [38].



الشكل (14.I): هيكل α -PbO و β -PbO [38].

2.11.I خصائصه [39]:

- درجة حرارة انصهار 886°C .
- درجة حرارة الغليان 1470°C .
- الكتلة الجزيئية 223.2 g/mol .
- الكثافة 9.53 g/cm^3 .
- ضغط بخار 1 Pa عند درجة حرارة 943°C .
- ضغط البخار 5 Pa عند درجة حرارة 1039°C .
- غير قابل للذوبان في الماء.

12.I الدراسات السابقة:

سنتطرق إلى بعض الدراسات السابقة المقاربة لدرستنا، أجرى الباحثون بحوث نظرية وتجريبية للمواد الزجاجية أساسها أكسيد الرصاص لتحسين خصائص مختلفة، هذه البحوث تضمنت دراسات متنوعة منها دراسة الخصائص الميكانيكية، الفيزيائية والإشعاعية. نذكر فيما يلي بعض من هذه البحوث المدروسة سابقا.

في عام 2023 درست Dalal وآخرون الخصائص الفيزيائية، الميكانيكية، البصرية وخصائص الحماية من الإشعاع لزجاج تركيبته $\text{PbO-MgO-ZnO-B}_2\text{O}_3$ ، استخدموا أربعة عينات لدراسة هذه الخواص، بلغت نسبة تركيز PbO بين 40% و 60%، بعد تحضير هذه العينات كشفت دراسة الخصائص الفيزيائية أن زيادة في تركيز PbO يؤدي إلى زيادة في كثافته بسبب العدد الذري الكبير للرصاص. تعتمد الخصائص الميكانيكية للزجاج على تركيبه ونسبة PbO ، عند زيادة نسبة PbO لوحظ انخفاض في معامل يونغ ومعامل الحجمي والقص، وزيادة صلادة المادة مما يشير إلى تكوين بنية أكثر صلادة، ونقص نسبة معامل بواسن بسبب انخفاض

الروابط في تركيبة الزجاجية. فيما يتعلق لدراسة خصائص الإشعاع التي تم استخدام برنامج Phy-X لتحديد أظهار النتائج إن إضافة PbO حسنت من كفاءة حماية الإشعاعية، حيث زاد كل من معامل التوهين الخطي والعدد الذري الفعال. أظهرت النتائج نصف السمك إن زيادة في تركيز PbO يؤدي إلى انخفاض سمك الزجاج المطلوب للحماية، كما لوحظ سمك العشر أعلى من نصف السمك، مما يشير إلى أن الزجاج يحتاج سمك أكبر لتقليل نسبة كبيرة من الإشعاع النافذ [40].

في عام 2023 تمت دراسة تأثير B_2O_3 على خصائص الحماية من الإشعاع لنظام زجاجي تركيبه $(45-xSiO_2-xB_2O_3-24.5Na_2O-24.5CaO-6P_2O)$ حيث $x = 0, 1.5, 2.5, 3.5$ ، تم تحليل هذه التراكيب باستخدام برنامج Phy-X لتقييم فعاليتها كمادة واقية لأشعة غاما حيث أظهرت قيم الناتجة لمعامل التوهين الخطي أنها تعتمد على كل من طاقة فوتونات الساقطة عليه وتركيز (B_2O_3) في عينات الزجاجية، لوحظ أن زيادة في تركيز (B_2O_3) يؤدي إلى انخفاض نصف السمك وسمك العشر مما يشير إلى خصائص الحماية من الإشعاع عالية وممتازة بإضافة إلى ذلك زيادة تركيز (B_2O_3) يؤدي إلى انخفاض في معامل (EBF). إذن يعتبر (B_2O_3) من المواد الجيدة لاستعماله في مختلف تطبيقات الحماية من الأشعة الضارة على صحة الإنسان [41].

في عام 2024 درس باحث Kamal Bansal وآخرون خصائص الفيزيائية والميكانيكية وخواص حماية من اشعة غاما لنظام زجاجي تركيبه $NaF-B_2O_3-Bi_2O_3-Sm_2O_3$ حيث تم تحضير 4 عينات باستخدام طريقة صهر والتبريد (تبريد السريع) عند درجة حرارة تلدين $425^\circ C$ لمدة 3 ساعات ثم تبريد عينات إلى درجة حرارة المحيط، بعد تحضير هذه العينات تمت دراسة مختلف الخواص حيث تم تحليل إدخال (Bi_2O_3) يؤثر على بعض الخواص الفيزيائية حيث ازدادت الكثافة مع زيادة الحجم المولي ونقصان في كثافة تعبئة الأكسجين

وذلك نتيجة حجم الأكبر لأيونات Bi. كما أظهرت نتائج الخواص الميكانيكية نقصان في معاملات المرونة رغم زيادة في تركيز (Bi_2O_3). أظهرت نتائج الحماية من أشعة غاما إلى انخفاض في نصف السمك ومتوسط المسار الحر مما يدل على زيادة قدرة الزجاج في امتصاص الأشعة، زيادة في معامل التوهين الخطي والعدد الذري الفعال يدل على حسن قدرة التوهين مع زيادة تركيز [42].

مراجع اللغة العربية

- [1] رزيق ف. اكتشاف الزجاج وطرق وتقنيات صناعته قديما. مجلة العلوم الاجتماعية والإنسانية. 2021
10(2): 293-313.
- [4] عبد الجبار العيسى ع. تصميمات معاصرة لإثراء إنتاج المشغولات الزجاجية لتحقيق رؤية المملكة
(2030). مجلة العلوم التربوية والدراسات الإنسانية; 2024.
- [5] حبشي م، حبشي ف. دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية للزجاج المركب من $Sb_2O_3-Na_2O-ZnO$ [مذكرة
ماستر]. بسكرة: جامعة محمد خيضر; 2020.
- [7] لرفاعي ب ع. صناعة الزجاج. دمشق- حلب: الاتحاد العربي لصناعات النسيجية.
- [8] الخطيب إ محمد طه. نظم هندسة التحكم الآلي ودورها في إنتاج وتشغيل الزجاج المعماري. مجلة العمارة
والفنون الإنسانية. 2023; 8(10).
- [11] الجبوري ش أ ز. علم السيراميك والزجاج. بغداد: قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية.
- [12] يعقوب خ. دراسة الخصائص البصرية والميكانيكية للسلسلة الزجاجية. $Sb_2O_3-B_2O_3-ZnO$ [مذكرة
ماستر]. بسكرة: جامعة محمد خيضر; 2023.
- [13] أحمد ع. علم المواد الهندسية. عمان: مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع; 2014.
- [14] شرفاوي م. تعيين بعض الخصائص المرونية و الطيفية للزجاج مطعم بالهولميوم (Ho^{3+}) [مذكرة ماستر].
بسكرة: جامعة محمد خيضر; 2015.

- [15] خشعي ج، عماري م. دراسة الخصائص الفيزيائية والضوئية للنظام الزجاجي $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-}10\text{Li}_2\text{O }]\text{WO}_3$ مذكرة ماستر]. بسكرة: جامعة محمد خيضر; 2020.
- [16] بوزيان إ، بوزيان ع. الدراسة الطيفية لزجاج هالوجيني فوسفاتي ثنائي التطعيم. [مذكرة ماستر]. ورقلة: جامعة قاصدي مرباح; 2017.
- [19] عبدو خ، عزيزي ص. تحضير ودراسة زجاج الأنثيموان المطعم بالأتربة نادرة لتوليد الليزر في المجال المرئي [مذكرة ماستر]. بسكرة: جامعة محمد خيضر; 2022.
- [23] نعمي س. حول نظريات تشكل الزجاج [مذكرة ماستر]. ورقلة: جامعة قاصدي مرباح; 2021.
- [24] مرسي م أ ص. استخدام مخلفات الزجاج كبديل للسن والحجر في الخلطة الإسفلتية. مجلة العمارة والفنون والعلوم والانسانية. 2024; 9 (11).
- [27] بوزناق ر. تصنيع الليزر في زجاج $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-U}_2\text{O-WO}_3$ بطاقة الفوتون منخفضة مطعم بـ Pr^{3+} [مذكرة ماستر]. بسكرة: جامعة محمد خيضر; 2023.
- [29] نسيل ر. دراسة بعض الخصائص البصرية لزجاج فلورو- فوسفاتيم - [مذكرة ماستر]. ورقلة: جامعة قاصدي مرباح; 2019.
- [30] بن دومة ن. دراسة بعض الخصائص الفيزيائية لزجاج فلوروفوسفاتي مطعم بالهولميوم [مذكرة ماستر]. ورقلة: جامعة قاصدي مرباح; 2019.

[31] حمزة ك. دراسة الزجاج الأنتيمواني المطعم بأيونات العناصر الترابية النادرة [مذكرة ماستر]. بسكرة: جامعة محمد خيضر; 2024.

[33] عباس م، أحمد أ. الزجاج ذو النفاذية الاختيارية للإشعاع الشمسي. جامعة القاهرة; 2006.

[37] توفيق ن. الكيمياء اللاعضوية. المحاضرة التاسعة، المرحلة الثانية، قسم الكيمياء. كلية التربية للبنات.

[39] عيساني ع، قدوري ف. إمكانية إزالة أيون الرصاص Pb^{+2} في محلول مائي محضر بالطين المحلي لمنطقة تقرت [مذكرة ماستر]. ورقلة: جامعة قاصدي مرباح; 2018.

مراجع اللغة الأجنبية:

[2] Hamzaoui M. Verres d'oxydes lourds a base de Sb_2O_3 , exploration, caractérisation physico-chimiques et application a l'amplification optique [Thèse de Doctorat]. Biskra: Université Mohamed Khider; 2013.

[3] Baazouzi M. Elaboration et caractérisation des verres d'oxydes à indice de réfraction complexe pour application dans l'optique non linéaire [Thèse de Doctorat]. Biskra: Université Mohamed Khider; 2014.

[6] Makhloufi R. Synthèse et caractérisation de nouveaux verres à base d'oxysulfure d'antimoine [Thèse de doctorat]. Biskra: Université Mohamed Khider; 2017.

[9] Murthi M, Destino JF. Sol-gel technologies for additive manufacturing glass materials. Journal of Sol-Gel Science and Technology; 2025.

<https://doi.org/10.1007/s10971-025-06664-1>

[10] Agti F. Elaboration et etudes des verres antimoino-phosphate pour application dans l'amplification optique [Thèse de Doctorat]. Biskra: Université Mohamed Khider; 2022.

- [17] Dir A, Taibi Z. Synthèse et caractérisation des verres spéciaux à base d'oxyde d'antimoine [mémoire de master]. Oum EL Bouaghi: Université Larbi Ben M'hidi; 2020.
- [18] Ramdani H. Thermodynamic and Kinetic Study of the Crystallization of a Phosphate Glass Doped with Transition Metals [Thèse de doctorat]. Djelfa: Ziane Achour University of; 2025.
- [20] Guezoun H. Etude physico-chimique et spectroscopique de l'ion de cobalt dans les verres $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-Li}_2\text{O-WO}_3$ [Mémoire de Magister]. Ouargla: Université Kasdi Merbah; 2012.
- [21] Mancier M. Etude de la luminescence des verres $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ (ou Li_2O)- PbO dopés et co-dopés Er et Yb [Thèse de doctorat]. Biskra: Université Mohamed Khider; 2015.
- [22] Varshneya A. Fundamentals of Inorganic Glasses. Academic Press; 1994.
- [25] William J. Bulk glass-forming metallic alloys: Science and technology. California; 1999. p. 56-572.
- <https://doi.org/10.1557/S0883769400053252>
- [26] Telli D. Synthèse et caractérisation des verres de système $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-10\%K}_2\text{O-WO}_3\text{-PbO}$ [Mémoire de Magister]. Biskra: Université Mohamed Khider; 2018.
- [28] Slatnia R, Ouamane I. Dopage des verres à base d'oxyde par des ions terres rares pour application optique [Mémoire de Magister]. Biskra: Université Mohamed Khider; 2020.
- [32] Almisned G, et al. Assessment of the usability conditions of $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-PbO-B}_2\text{O}_3$ glasses for shielding purposes in some medical radioisotope and a wide gamma-ray energy spectrum. Article of Applied Rheology. 2022; 32: 178-18.
- <https://doi.org/10.1515/arh-2022-0133>
- [34] Guesmia N. Exploration et étude des nouvelles générations des verres des oxydes lourds à base d'antimoine pour la photonique [Thèse de doctorat]. Biskra: Université Mohamed Khider; 2022.

[35] Houhou S. Synthèse et étude de la luminescence des verres et vitrocéramiques pures et dopés aux métaux de transitions dans les systèmes $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-Li}_2\text{O}$ (ou K_2O)- MoO_3 [Thèse de doctorat]. Biskra: Université Mohamed Khider; 2021.

[36] Maache D. Effet « mixte alkali » dans les verres $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-M}_2\text{O-ZnO}$: Propriétés élastiques, mécaniques et optique [Mémoire de Magister]. Biskra: Université Mohamed Khider de Biskra; 2011.

[38] Zergui W. Électrosynthèse et caractérisation de semiconducteur pour des applications dans les cellules photoélectrochimiques [thèse de doctorat]. Sétif: Université Ferhat Abbas; 2021.

[40] Aloraini DA, Kumar A, Almuqrin AH, Abualsayed MI. An exploration of the physical, optical, mechanical, and radiation shielding properties of $\text{PbO-MgO-ZnO-B}_2\text{O}_3$ glasses. Open Chemistry; 2023 Aug 10;21(1):20230104.

<https://doi.org/10.1515/chem-2023-0104>

[41] Karpuz N. Radiation shielding properties of glass composition. Journal of Radiation Research and Applied Sciences; 2023 Dec 1;16(4):100689.

<https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100689>

[42] K.Bansal, S.Kumar, K.Singh, S.Singh ,comprehensine analysis of ,mechanical, thermal and attenuation charactersistics of $\text{Naf-B}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$ glasses for gamma radiation shilding application. articale in ceramics international; 2024 Aug,10.1016.

[10.1016/j.ceramint.2024.08.302](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.08.302)

الفصل الثاني

العمل المخبري وتقنيات الدراسة

1.II المقدمة:

في الفصل السابق ذكرنا العموميات حول الزجاج ومختلف الدراسات العلمية السابقة، في هذا الفصل سنركز على كيفية تحضير العينات الزجاجية المتكونة من (PbO ، B_2O_3 ، Sb_2O_3) بنسب مختلفة، يعد أكسيد الرصاص (PbO) دورا أساسيا في زيادة كثافة الزجاج وقدرته على مقاومة امتصاص الأشعة، من ناحية أخرى يساهم أكسيد البور (B_2O_3) في المقاومة لصدّات الحرارة، أما أكسيد الأنثيمون (Sb_2O_3) يستخدم لتحسين الخصائص المختلفة.

سننتقل إلى ذكر الأدوات المستعملة وتقنيات لدراسة الخصائص الفيزيائية، الميكانيكية والإشعاعية للعينات الزجاجية التي تساعدنا على اكتشاف تطبيقات الجديدة خاصة تطبيقات الحماية من الإشعاع.

2.II العمل التجريبي لتحضير العينات الزجاجية:

1.2.II المواد الكيميائية الأولية المستخدمة:

يعتبر الزجاج مادة شفافة صلبة يتكون من مزيج بعض العناصر الكيميائية ذات نقاوة جيدة التي تجعل خصائصه عالية وممتازة، المواد المستخدمة في تصنيع العينات الزجاجية هي عبارة عن مواد كيميائية على شكل مسحوق بلوري ناعم مختلف اللون وذلك حسب نوع كل مادة الموضح في الشكل (1.II).



أكسيد الأنثيمون



حمض البوريك



أكسيد الرصاص

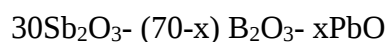
الشكل (1.II): مواد الكيميائية المستخدمة.

الجدول (1.II): بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد الكيميائية.

المواد الكيميائية	Sb ₂ O ₃	H ₃ BO ₃	PbO
الكتلة المولية (g/mol)	291.52	61.83	223.2
الكثافة (g/cm ³)	5.2	1.51	9.53
النقاوة (%)	99.99	99.5	98
درجة حرارة الانصهار (C°)	656	171	888

2.2.II تركيب العينات المدروسة:

تعطى التركيبة الكيميائية للزجاج المدروس بالصيغة الكيميائية التالية :



x: هي النسبة المئوية للتراكيب الكيميائية حيث $10 \leq x \leq 50$

نرمز للتراكيب المدروسة باختصار SN: يمثل الرمز S العينة و N يرمز إلى ترقيم العينة حيث يوضح الجدول

(2.II) أدناه تراكيب العينات المدروسة.

الجدول (2.II): النسب المئوية لتراكيب العينات المدروسة.

العينات	التركيبة
S1	30Sb ₂ O ₃ -60B ₂ O ₃ -10PbO
S2	30Sb ₂ O ₃ -50B ₂ O ₃ -20PbO
S3	30Sb ₂ O ₃ -40B ₂ O ₃ -30PbO
S4	30Sb ₂ O ₃ -30B ₂ O ₃ -40PbO
S5	30Sb ₂ O ₃ -20B ₂ O ₃ -50PbO

3.2.II الأدوات المستخدمة في تحضير العينات الزجاجية:

1. الميزان: هو عبارة عن جهاز إلكتروني دقيق من نوع KERN يستخدم لوزن المواد الكيميائية، دقة قياسه

d=0.1mg الموضح في الشكل (2.II).



الشكل (2.II): صورة فوتوغرافية لميزان الدقة.

2. الهاون: هو عبارة عن وعاء صغير مع مطرقة تستخدم في طحن المواد الكيميائية لتحويلها إلى مسحوق

ناعم يسهل عملية صهره الموضح في الشكل (3.II).



الشكل (3.II): صورة فوتوغرافية للهاون.

3. **البوتقة:** هي عبارة عن وعاء أنبوبي الشكل يتم فيه صهر المسحوق المواد الكيميائية، حيث يعد اختيار البوتقة جزءا أساسيا في صناعة العينات الزجاجية وذلك لعدة عوامل من بينها التفاعلات الكيميائية التي تحدث مع المواد الكيميائية المنصهرة والبوتقة نفسها بالإضافة إلى قدرة تحمل البوتقة على درجات الحرارة العالية لصهر المواد الكيميائية، يوجد عدة أنواع مختلفة من البوتقات مثل: بوتقة صودا والجير، بوتقة السيليكا، بوتقة الكوارتز وبوتقة الألومين، كل نوع يحمل خصائص مختلفة عن بعضها.

في العمل التجريبي هذا تم اختيار بوتقة السيليكا الموضحة في الشكل (4.II)، التي تتميز بتحمل درجة حرارة عالية أكثر من 1200°C ، وبعد تسخين المواد الكيميائية لتحضير العينات الزجاجية لا يمكن التخلص منها لأنها قابلة للاستخدام مرة أخرى وذلك بتنظيفها بحمض الهيدروفلوريك لإزالة الزجاج المتراكم في داخلها، يجب التعامل معه بحذر لأنه مادة سامة ويشكل خطورة على الإنسان.



الشكل (4.II): بوتقة السيليكا.

4.موقد بنزن: يستخدم في صهر المسحوق الموضح في الشكل (5.II).



الشكل (5.II): صورة فوتوغرافية لموقد بنزن.

5.المقص: يستخدم لمسك البوتقة عند تسخين المواد الكيميائية واستخراج الصفائح النحاسية من الفرن

الموضح في الشكل (6.II).



الشكل (6.II): صورة فوتوغرافية للمقص.

6. الصفائح النحاسية والقوالب: تستخدم لوضع السائل المنصهر عليها ووضعها في الفرن الموضحة

في الشكل (7.II).



الشكل (7.II): صورة فوتوغرافية للصفائح النحاسية والقوالب.

7. الفرن الحراري: تم استخدام فرن من نوع ISOLAB ويشتغل حتى 1100°C يستخدم في المعالجة

الحرارية الموضح في الشكل (8.II).



الشكل (8.II): صورة فوتوغرافية لفرن حراري.

8. آلة الصقل: تم استخدام آلة صقل من نوع Megabel Pressi233 تستعمل لجعل العينات الزجاجية

مستوية من الجهتين الموضحة في الشكل (9.II).



الشكل (9.II): صورة فوتوغرافية للآلة الصقل.

4.2.I مراحل تحضير العينات الزجاجية:

تم تحضير العينات الزجاجية في مجمع مخابر البحث العلمي (مخبر فيزياء الفوتونية والمواد النانومترية المتعددة الاستخدامات) المتواجد بجامعة محمد خيضر بسكرة، باستخدام تقنيات دقيقة لتحديد مختلف الخواص الفيزيوكيميائية الموضح في الشكل (10.II).



الشكل (10.II): صورة فوتوغرافية للمخبر (مجمع بحث العلمي).

1.4.2.II مرحلة وزن المواد الكيميائية:

بعد تحديد نسبة المواد الكيميائية المستخدمة لتحضير الزجاج نقوم بحساب كتلة كل مادة. مثال نختار

العينة الزجاجية: $30\text{Sb}_2\text{O}_3-20\text{B}_2\text{O}_3-50\text{PbO}$

لحساب كتل التراكيب الكيميائية لتحضير العينات الزجاجية نطبق العلاقة التالية [1]:

$$m_x = x \times \left(\frac{m_v}{M_v} \right) \times M_x \dots \dots \dots (1. II)$$

حيث:

m_x : كتلة التراكيب الكيميائية.

x : النسبة المئوية لتراكيب الكيميائية.

m_v : كتلة العينة الزجاجية.

M_v : الكتلة المولية للعينة الزجاجية.

M_x : الكتلة المولية لتراكيب الكيميائية.

لتطبيق هذه العلاقة يجب أولاً حساب الكتلة المولية للعينة الزجاجية بتطبيق العلاقة التالية:

$$M_v = (X_{Sb_2O_3} \times M_{Sb_2O_3}) + (X_{H_3BO_3} \times 2M_{H_3BO_3}) + (X_{PbO} \times M_{PbO}) \dots \dots (2. II)$$

تطبيق عددي:

$$M_v = (0.3 \times 291.42) + (0.2 \times 123.66) + (0.5 \times 223.19) = 223.753 \text{ g/mol}$$

$$m_v = 5 \text{ g}$$

$$m_{Sb_2O_3} = 0.3 \times (5/223.753) \times 291.42$$

$$m_{Sb_2O_3} = 1.9536 \text{ g}$$

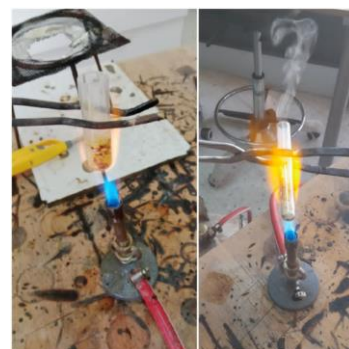
$$\text{إذن: } m_{PbO} = 2.49338 \text{ g و } m_{H_3BO_3} = 0.5527 \text{ g}$$

بعد حساب كتل المواد الكيميائية (PbO ، H_3BO_3 ، Sb_2O_3)، نقوم بوزنها بدقة باستخدام الميزان حيث يصل وزن الخليط إلى 5g، ثم نضعها في الهاون ونقوم بالطحن جيداً حتى يتجانس الخليط ونتحصل على مسحوق بلوري ناعم لتسهيل عملية الصهر ثم وضعها داخل البوتقة، ونقوم بغلقها لتفادي تفاعل المواد الكيميائية مع المحيط.

II.2.4.2 مرحلة الصهر والمعالجة الحرارية:

نمسك البوتقة بواسطة مقص ووضعها فوق موقد بنزن على ارتفاع مناسب بحيث تلامس قاعدة البوتقة مع اللهب، بدرجة حرارة مرتفعة حوالي 900°C يترك الخليط يسخن لمدة (5-10 دقائق تقريباً) مع التحريك المستمر لضمان تجانس المواد الكيميائية بعد فترة زمنية نلاحظ تشكل بخار وقطرات الماء في جدار البوتقة الموضح في الشكل (II.11) وهو ناتج عن تسخين حمض البوريك (H_3BO_3) لأنه يحتوي على كمية من الماء الممتص، مع استمرار التسخين والتحريك الخليط نحصل على السائل المنصهر وتختفي قطرات

الماء. يسكب الخليط مباشرة في القوالب الموضوعة على صفيحة نحاسية (تبريد السريع) الموضح في الشكل (12.II)، تم تسخين الصفائح من قبل في الفرن تم ضبط درجة حرارته $T_g - 20^\circ\text{C}$ يترك الخليط في الفرن لمدة (6-9 ساعات) الموضح في الشكل (13.II)، ثم نستخرج الصفائح النحاسية بحذر وإزالة العينات الزجاجية المتشكلة بعناية لكي لا تتكسر، هدف من المعالجة الحرارية للزجاج هو تحسين الخواص الميكانيكية، الفيزيائية وتقليل الإجهادات الداخلية مما يجعل الزجاج أكثر استقراراً.



الشكل (11.II): صورة فوتوغرافية لعملية الصهر الشكل (12.II): صورة فوتوغرافية لسكب المزيج.



الشكل (13.II): صورة فوتوغرافية للعينات داخل الفرن.

3.4.2.II مرحلة الصقل:

بعد الحصول على العينات الزجاجية تأتي المرحلة الأخيرة وهي مرحلة الصقل حيث نقوم بوضع العينات الزجاجية فوق آلة الصقل على قرص الدائر الموضوع عليه الأوراق الكاشطة متدرجة مختلفة الأحجام (800-1200) الموضح في الشكل (14.II)، أولاً وضع العينة على ورق كاشط أكثر خشونة ثم نسكب الماء باستمرار للإزالة الشوائب ويكون ذلك من جهتين ثم نستعمل ورق كاشط أكثر نعومة للإزالة الخدوش الصغيرة التي تركتها الأوراق الكاشطة الخشنة وعليها نتحصل على عينة ذات سطح أملس وخالي من العيوب لتسهيل دراسة الخصائص الزجاج والحصول على نتائج دقيقة.



الشكل (14.II): صورة فوتوغرافية لعملية صقل العينة الزجاجية.

4.4.2.II العينات المتحصل عليها بعد إتباع المراحل السابقة:



الشكل (15.II): صورة فوتوغرافية للعينات الزجاجية.

II.4.2.5 شروط الحصول على عينات الزجاجية جيدة:

- اختيار مواد الكيمائية ذات نقاوة عالية.
- التدقيق في وزن المواد الكيمائية.
- نظافة الهاون جيدا باستخدام الكحول.
- المزج الجيد للمواد الكيمائية.
- اختيار البوتقة لمقاومة الحرارة مع مراعاة نظفتها وجفافها قبل وضع مسحوق المواد الكيمائية.
- التحريك المستمر أثناء التسخين.
- ضبط درجة الحرارة المناسبة للمعالجة الحرارية.
- تجنب فتح الفرن أثناء وضع العينات لمدة 6-9 ساعات لتجنب التشققات والانكسار.
- تنظيف الصفائح النحاسية بواسطة أوراق كاشطة قبل وضع سائل المصهور.

II.3 تقنيات وأجهزة المعاينة:

II.3.1 الخصائص الفيزيائية:

II.1.3.1 الكثافة:

تعتبر الكثافة من أهم الخواص الفيزيائية للمادة تعبر عن نسبة كتلة المادة إلى وحدة الحجم، ويتم تحديدها بطريقة غير مباشرة من خلال قياس الكتلة الحجمية، ومن أكثر الطرق استخداما تقنية دافعة أرخميدس التي ينص مبدأها على أن الجسم المغمور في سائل يتعرض لقوة طفو تساوي وزن السائل المزاح [2].

2.1.3.II طريقة دافعة أرخميدس:

يتم وزن العينة الزجاجية في الهواء m_{air} ثم يتم وزنها وهي مغمورة في المذيب (الماء المقطر m_{eau}) كما هو موضح الشكل (16.II) والشكل (17.II) العينة المغمورة في المذيب تخضع لدفع ($m_{air} - m_{eau}$) متناسبة مع حجمها تعطى كثافة العينة بالعلاقة التالية:

$$\rho = \frac{(m_{air} \times \rho_{eau})}{(m_{air} - m_{eau})} \dots \dots \dots (3. II)$$

حيث:

m_{eau} : كتلة العينة في المذيب (الماء المقطر).

m_{air} : كتلة العينة في الهواء.

ρ : الكتلة الحجمية للمذيب (الماء المقطر).

3.1.3.II الحجم المولي:

يعرف الحجم المولي على أنه الحجم الذي يشغله واحد مول من أيونات الزجاج ويمكن إيجاداه من

خلال قياس كثافة العينات وتطبيق العلاقة التالية [2]:

$$V_m = \frac{M_v}{\rho} \dots \dots \dots (4. II)$$



الشكل (16.II): كتلة العينة الزجاجية في الهواء. الشكل (17.II): كتلة العينة في الماء.

II 4.1.3. متوسط المسافة بين ذرات:

التركيبية الزجاجية المدروسة تحتوي على مجموعة من الذرات، حيث يرمز لمتوسط المسافة بين الذرات

بالرمز $\langle d_{a-a} \rangle$ ، يعبر عن المسافة المتوسطة بين الذرات المجاورة مما يوفر مقياسا للتباعد بين ذرات [3].

يعطى متوسط المسافة بين الذرات بالعلاقة التالية:

$$\langle d_{a-a} \rangle = \left(\frac{V_m^a}{N_a} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (5. II)$$

حيث:

N_a : عدد أفوغادرو.

V_m^a : حجم مول واحد من الذرات يعطى بالعلاقة التالية:

$$V_m^a = \frac{V_m}{2(1 - X_a)} \dots \dots \dots (6. II)$$

X_a : نسبة العناصر المكونة.

2.3.II الخصائص الميكانيكية:

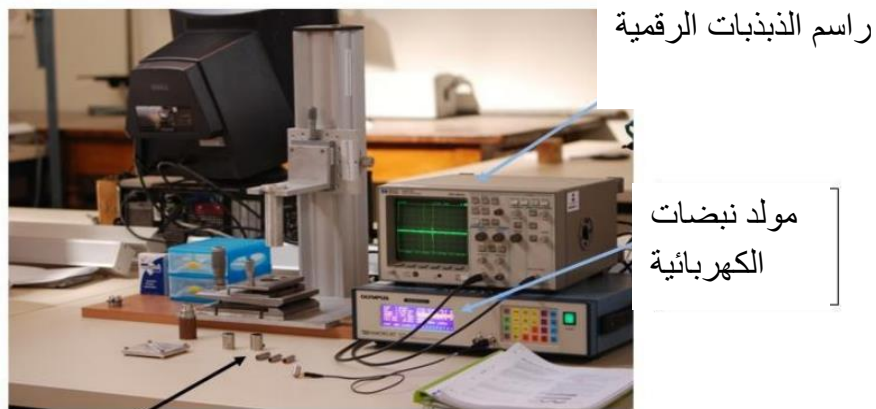
1.2.3.II اختبارات الموجات فوق الصوتية:

الموجات فوق الصوتية هي موجة صوتية تتراوح بين 20KHz و 1KHz والتي تقع خارج مجال حاسة الأذن البشرية، تعد من أهم التقنيات المطبقة لاختبار صلادة وسماكة المواد والكشف عن عيوبها العميقة [4].

1.1.2.3.II مكونات الجهاز الموجات فوق الصوتية:

يتكون جهاز قياس المعاملات المرنة لموضح في الشكل (18.II) من [5]:

- مولد نبضات الكهربائية من نوع Olympus NDT 5900PR pulser-receiver، يعمل في مجال الترددي من 1KHz إلى 35KHz.
- راسم الذبذبات الرقمية من نوع Lecroy, Wave Runner 104 MXi 1GHz, USA.
- محولات الموجة الطولية والموجة العرضية.

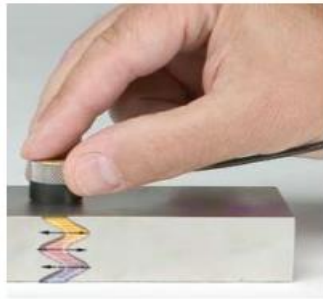


راسم الذبذبات الرقمية

مولد نبضات
الكهربائية

محولات موجة الطولية والعرضية

الشكل (18.II): جهاز قياس الموجات فوق الصوتية.



الشكل (19.II): محولات الموجة الطولية والموجة العرضية.

2.1.2.3.II مبدأ العمل وتشغيل صدى:

يقوم المولد بتزويد النبضات الكهربائية حيث ينتقل هذا النبض إلى محولات التي تحولها إلى موجة فوق صوتية طولية أو عرضية ذات تردد مختلف. يتم وضع المحولات على سطح المواد التي نرغب في دراستها. تنعكس الموجة الناتجة عن المادة ويلتقطها المحول الذي يقوم بتحويلها إلى إشارة كهربائية مسجلة بواسطة راسم الذبذبات. نلاحظ سعة الصدى تزداد في البداية لتصل إلى حد أقصى ثم تتناقص تدريجياً وهذا ما يفسره حقيقة الإثارة وإزالة الإثارة التدريجية للكهرباء الانضغاطية. يمنحنا راسم الذبذبات إمكانية قياس الوقت الذي تستغرقه الموجة للعودة ذهاباً وإياباً بين صدى متتاليين وهو يسمح لحساب سرعات انتشار الموجة الطولية والعرضية من خلال العلاقة التالية [4]:

$$V = \frac{2e}{\tau} \dots \dots \dots (7. II)$$

حيث:

e : سمك المادة.

❖ لتحديد السمك المادة تم استعمال جهاز Palmer. وهو أدق أجهزة القياس الأبعاد المادة دقته تساوي

0.01mm ويمكنه قياس الأبعاد من 0 إلى 25mm.

❖ متوسط سرعة الصوت [6]:

$$V_s = \left(\frac{1}{3} \left(\frac{2}{V_T^3} + \frac{1}{V_L^3} \right) \right)^{-\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (8. II)$$

3.1.2.3.II. معاملات المرونة:

تعرف المرونة على أنها قابلية المادة على استعادة شكلها الأصلي بعد إزالة القوة المؤثرة والمسببة للتشوه.

هناك أنواع مختلفة من المعاملات من بينها:

1. معامل يونغ E:

هو خاصية الميكانيكية للمواد الصلبة، إذا كان الضغط عبارة عن توتر بسيط أحادي المحور فيحدث

تشوه على شكل استطالة تسمى بمعامل يونغ [7]. يتم حسابه بالعلاقة التالية [8]:

$$E(\text{GPa}) = \rho V_T^2 \frac{3V_L^2 - 4V_T^2}{V_L^2 - V_T^2} \dots \dots \dots (9. II)$$

2. معامل بواسن ν:

يعبر معامل بواسن عن النسبة بين التشوه الطولي والتشوه العرضي حيث يمثل تقلص المادة عموديا

على اتجاه القوة المطبقة [7]. يتم حسابه من العلاقة التالية [8]:

$$\nu(\text{GPa}) = \frac{V_L^2 - 2V_T^2}{2(V_L^2 - V_T^2)} \dots \dots \dots (10. II)$$

3. معامل القص G:

يعبر معامل القص عن التشوه العرضي بواسطة الضغط [7]. يتم حسابه من العلاقة التالية [8]:

$$G(\text{GPa}) = \rho V_T^2 \dots \dots \dots (12. II)$$

4. معامل الطولي L:

يعبر عن استطالة العينة تحت تأثير الضغط المطبق [7]. يتم حسابه من العلاقة التالية [8]:

$$L(\text{GPa}) = \rho V_L^2 \dots \dots \dots (13. \text{II})$$

5. معامل الحجمي K:

يستخدم في حالة الإجهاد الهيدروستاتيكي (الضغط على كل الوجوه) [7]. يتم حسابه من العلاقة التالية

[9]:

$$\dots \dots \dots (14. \text{II}) K(\text{GPa}) = \frac{\rho}{3} (3V_L^2 - 4V_T^2)$$

6. معامل الصلادة H:

هي الخاصية ميكانيكية لدراسة سطح المادة التي تجعل سطح المادة يقاوم التآكل والخدش تحت تأثير

القوى الخارجية يتم حسابه من العلاقة التالية [3]:

$$H(\text{GPa}) = \frac{(1 - 2\nu)E}{6(1 + \nu)} \dots \dots \dots (15. \text{II})$$

3.3.II الخصائص الإشعاعية:

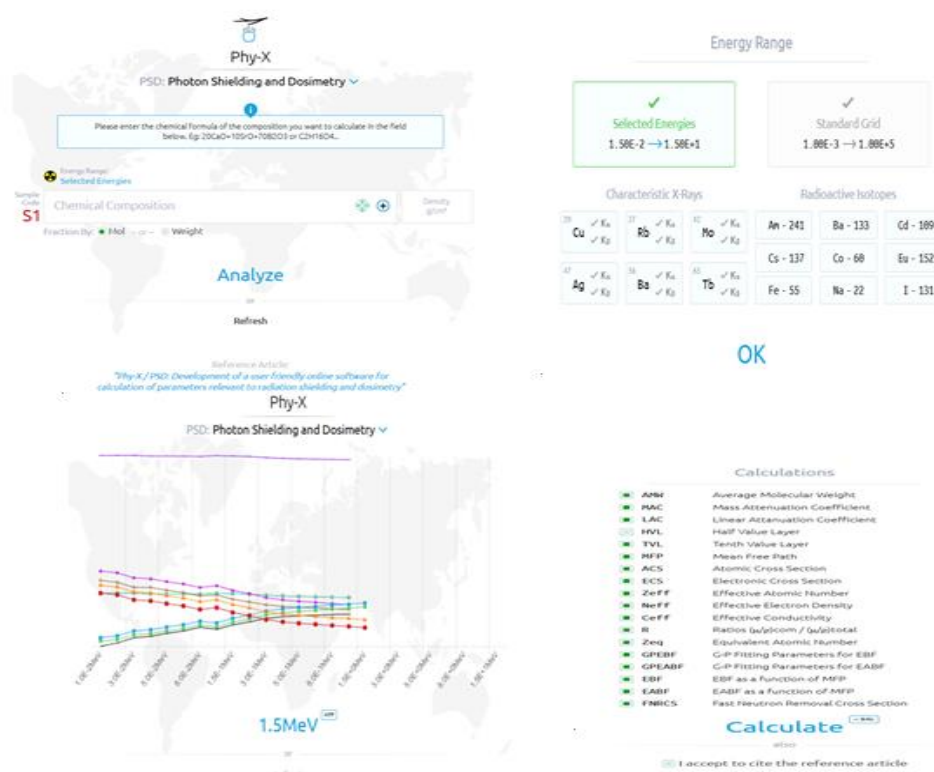
لتحديد الخواص الإشعاعية، تم استخدام طريقة المحاكاة باستعمال برنامج Phy-x.Net/PSD وهو برنامج

متوفر عبر الانترنت يسمح بحساب معاملات الخاصة بالإشعاع بدقة مثل معامل التوهين الخطي (LAC)،

نصف السمك (HVL) وعدد الذري الفعال (Zeff) وغيرها من الخصائص للمواد المختلفة وهو برنامج يسهل

الحسابات في مدة زمنية قصيرة. ولاستخدامه نتبع الخطوات التالية [9]:

- ❖ تحديد تركيبة المواد المستخدمة للدراسة بما في ذلك نسبة التركيبة لصيغة الكيميائية المدروسة ثم إدخال قيم الكثافة بوحدة (g/cm³).
- ❖ تحديد مجال الطاقة لحساب الخصائص من (0.015MeV إلى 15MeV).
- ❖ تحليل البيانات واختيار نوع المعاملات للحساب الموضح في الشكل.
- ❖ بعد ذلك يتم إنشاء ملف (Excel) يحتوي على نتائج المحسوبة لاستخدامها لاحقا ثم تنتهي عملية الحساب.



الشكل (20.II): مبدأ عمل البرنامج.

مراجع اللغة العربية

- [1] حمزة ك. دراسة الزجاج الانتقائي المطعم بأيونات العناصر الترابية النادرة [مذكرة ماستر]. بسكرة: جامعة محمد خيضر ; 2024.
- [2] بوزناق ر. تصنيع الليزر في زجاج $Sb_2O_3-U_2O-WO_3$ بطاقة فوتون منخفضة مطعم بـ Pr^{3+} [مذكرة ماستر]. بسكرة: جامعة محمد خيضر ; 2023.
- [4] خشعي ج، عماري م. دراسة الخصائص الفيزيائية والضوئية للنظام الزجاجي $Sb_2O_3-10Li_2O-WO_3$ [مذكرة ماستر]. بسكرة: جامعة محمد خيضر ; 2020.
- [7] بركات ن، خنفر و. دراسة الخصائص الميكانيكية والضوئية للسلسلة الزجاجية $Sb_2O_3-B_2O_3-20PbO$ [مذكرة ماستر]. بسكرة: جامعة محمد خيضر ; 2022.

مراجع اللغة الأجنبية:

- [3] Aloraini DA, Kumar A, Almuqrin AH, Abualsayed MI. An exploration of the physical, optical, mechanical and radiation shielding properties of $PbO-MgO-ZnO-B_2O_3$ glasses. Open Chemistry. 2023 Aug 10; 21(1):20230104.
<https://doi.org/10.1515/chem-2023-0104>
- [5] Boulegroun A. Comportement mécanique, élastique et structurale de nouveaux verres non conventionnel. [Doctoral dissertation]. Biskra: Université Mohamed Khider;2019.
- [6] Sayed MA, Basha B, Al-Harbi N, Al-Baradi AM, Shaaban KS. PbO effect on physical, mechanical, optical, structural, and radiation characteristics of $P_2O_5-BaO-PbO$ glass system. Eur Phys J Plus. 2023; 138: 45.

[8] Hamzaoui M. Verres d'oxydes lourds a base de Sb_2O_3 , exploration, caractérisation physico-chimiques et application a l'amplification optique. [Thèse de Doctorat]. Biskra: Université Mohamed Khider; 2013.

[9] Jakes E, Cepuder P, Onjun O, Sayyed MI, Kurudirek M. Phy-X / PSD: Development of a user friendly online software for calculation of parameters relevant to radiation shielding anddosimetry. Radiat Phys Chem. 2020; 166:108496.

<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108496>

الفصل الثالث

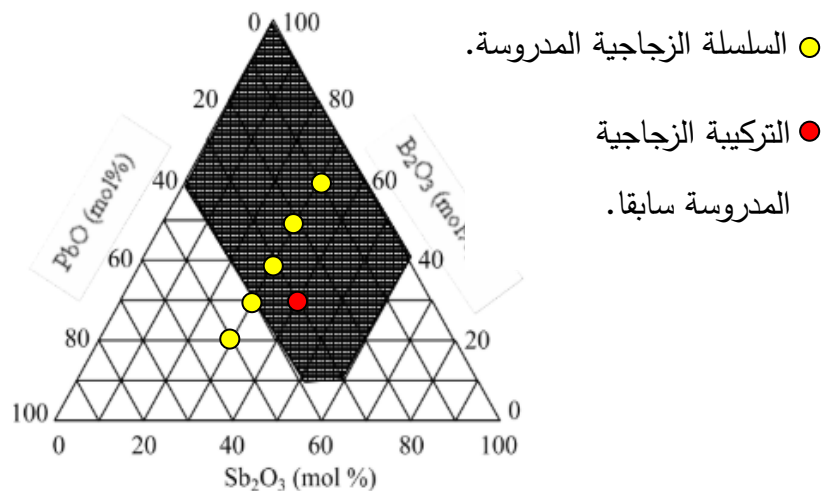
النتائج والمناقشة

1.III المقدمة:

بعد تحضير العينات لسلسلة الزجاجية مكونة من ($\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-PbO}$)، تم دراسة مختلف الخصائص باستعمال تقنيات مختلفة، يهدف هذا الفصل إلى عرض النتائج التجريبية وتحليلها ومناقشتها بالإضافة إلى ذلك مقارنتها مع الدراسات السابقة، تم تحليل الخصائص الفيزيائية باستعمال جهاز قياس الكثافة، والخصائص الميكانيكية باستعمال جهاز قياس الموجات فوق الصوتية بينما تم تحديد الخصائص الإشعاعية باستعمال برنامج Phy-X.Net/PSD، لا تزال هذه الخصائص موضوعا مهم للعديد من الدراسات العلمية وذلك بسبب تأثيرها في مختلف التطبيقات.

2.III النظام الزجاجي الثلاثي:

في إطار البحث عن المواد الزجاجية مناسبة للحماية من الإشعاع، تم استعمال النظام الزجاجي الثلاثي ($\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-PbO}$)، الذي تم دراسته في الأبحاث السابقة الموضح في الشكل (1.III)، وقد قمنا بتوسيع مجال الدراسة من خلال تحضير عينات زجاجية جديدة قابلة للدراسة.



الشكل (1.III): النظام الزجاجي الثلاثي ($\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-PbO}$) [1].

3.III الخصائص الفيزيائية:

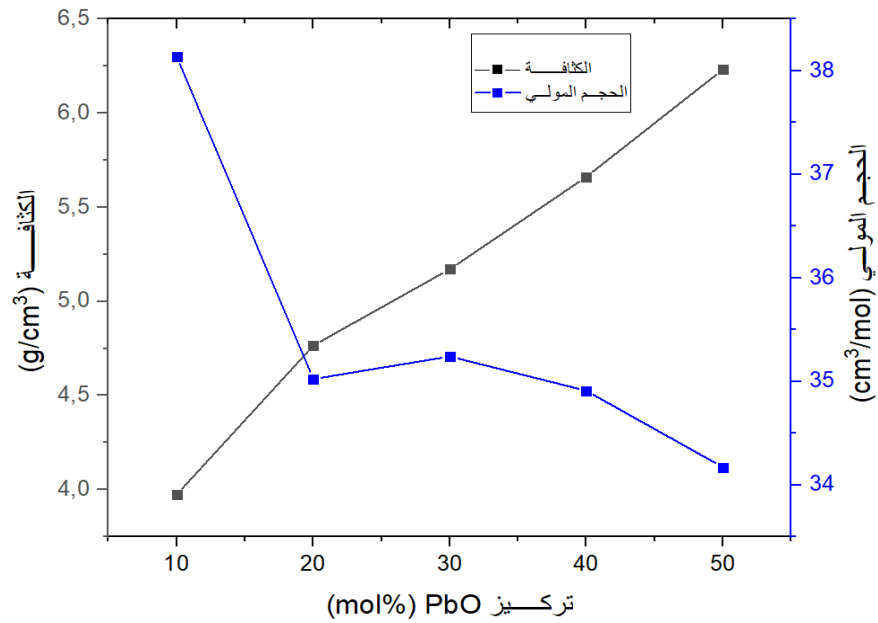
1.3.III الكثافة والحجم المولي:

تم قياس كثافة العينات الزجاجية لكل تركيبة باستخدام طريقة دافعة أرخميدس. تم وضع نتائج الكثافة

والحجم المولي المتحصل عليها في الجدول (1.III) أدناه:

الجدول (1.III): قيم الكثافة والحجم المولي للعينات الزجاجية المدروسة.

العينات	$\rho(\text{g/cm}^3)$	$V_m (\text{cm}^3/\text{mol})$
S1	3.973	38.134
S2	4.765	35.022
S3	5.171	35.24
S4	5.660	34.909
S5	6.232	34.17



الشكل (2.III): منحنى تغيرات الكثافة والحجم المولي بدلالة التركيز PbO.

❖ من الجدول (1.III) والشكل (2.III):

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن كثافة الزجاج تزداد بشكل ملحوظ مع زيادة نسبة أكسيد الرصاص (PbO) من 10mol% إلى 50mol%، ومن المعلوم أن الكثافة تتعلق بعدة عوامل أساسية تؤثر عليها من بينها [2]:

- 1- التراص الذري، أي مدى تقارب الذرات أو الأيونات داخل الشبكة الزجاجية.
- 2- الفراغات البينية داخل الشبكة الزجاجية الناتجة عن العيوب البنيوية والتي تجعلها أقل كثافة.
- 3- نسبة العناصر المكونة للزجاج.
- 4- الكتلة المولية والحجم الذي تشغله المادة، وفق العلاقة التالية: $\rho = m/v$.

من خلال هذه العوامل، نفسر زيادة الكثافة بزيادة التركيز PbO نظرا لكتلته المولية العالية التي تبلغ 223.9 g/mol، وأيضا نسبة العناصر المكونة للزجاج، حيث بلغت كثافة العينة التي تحتوي على 10mol% من PbO 3.973g/cm³ والعينة التي تحتوي على 50mol% بلغت 6.232g/cm³ وهذا ما يؤكد أن التركيب الزجاجي المدروس قد اكتسب بعض الخصائص الفيزيائية من PbO الذي تبلغ كثافته 9.53g/cm³، مما يؤدي إلى زيادة الكثافة بشكل شبه خطي مع زيادة نسبة تركيزه [3].

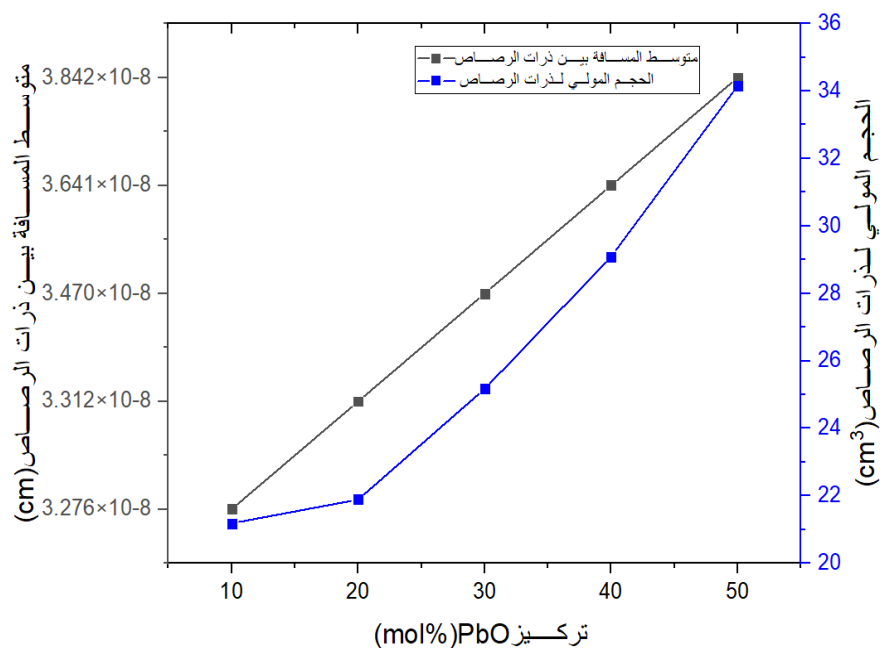
من جهة أخرى، أظهرت النتائج أن الحجم المولي ينخفض من 38.134cm³ إلى 34.17cm³ رغم لزيادة في تركيز PbO، وذلك راجع إلى نقصان طول الرابطة والمسافات بين الذرات داخل الشبكة الزجاجية مما يؤدي إلى تراص البنية، على الرغم من أن نصف القطر الأيوني للرصاص Pb²⁺ أكبر من نصف القطر الأيوني للبور B³⁺ فإن استبدالهما يؤدي إلى تغيرات في بنية الشبكة الزجاجية [4].

عند مقارنة النتائج المتحصل عليها مع دراسة سابقة للباحث Huseyin Ozan Tekin سنة 2024، وجد تطابق ملحوظ في النتائج، حيث لاحظ الباحث أيضا زيادة في الكثافة عند إدخال PbO في الشبكة الزجاجية وهو ما يفسر كتلته المولية العالية [5].

تعد النتائج المتحصل عليها ذات أهمية كبيرة في قدرة الزجاج على امتصاص وتقليل الإشعاعات.

الجدول (2.III): قيم الخصائص الفيزيائية للعينات الزجاجية المدروسة.

العينات	$(\text{cm}^3) V_m^{\text{Pb}}$	$\langle d_{\text{Pb-Pb}} \rangle (\text{cm}^3)$
S1	21.18	3.276×10^{-8}
S2	21.89	3.312×10^{-8}
S3	25.17	3.470×10^{-8}
S4	29.09	3.641×10^{-8}
S5	34.16	3.842×10^{-8}



الشكل (3.III): منحنى تغيرات متوسط المسافة بين ذرات الرصاص والحجم المولي لذرات الرصاص بدلالة

تركيز PbO.

❖ من جدول (2.III) والشكل (3.III):

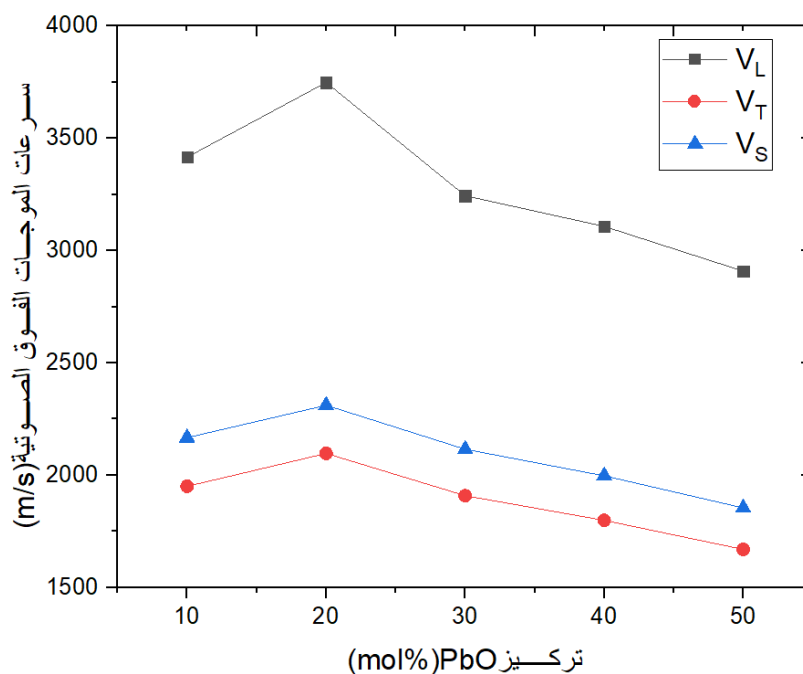
نلاحظ زيادة متوسط المسافة بين ذرات الرصاص عند زيادة تركيز PbO، حيث يؤدي زيادة تركيز PbO إلى تمدد الشبكة الزجاجية وزيادة متوسط المسافة بين ذرات الرصاص، حيث يساهم أيون الرصاص Pb^{+2} في زيادة متوسط المسافة بين الرصاص مما يعكس تغير في دور PbO داخل الشبكة الزجاجية سواء معدل أو مشكل. من جهة أخرى نلاحظ زيادة الحجم المولي لذرات الرصاص عند زيادة تركيز PbO [6].

4.III الخصائص الميكانيكية:

تم قياس معاملات المرونة (ν ، L، K، G، E) للعينات الزجاجية بواسطة جهاز الموجات فوق الصوتية باستخدام تقنية صدى النبض، استخدمت هذه التقنية لقياس سرعة الانتشار الطولي V_L وسرعة الانتشار العرضي V_T في العينات الزجاجية التي من خلالها يتم حساب معاملات المرونة بدقة وتقييم قدرة العينة الزجاجية على تحمل الإجهادات. تعتمد هذه الحسابات على قوانين الموضحة سابقا في الفصل الثاني. تم وضع النتائج المتحصل عليها في الجدول (3.III) والجدول (4.III):

الجدول (3.III): سرعة الانتشار الطولية، السرعة الانتشار العرضية ومتوسط سرعة الصوت.

العينات	V_L (m/s)	V_T (m/s)	V_s (m/s)
S1	3416.14	1950.35	2167.35
S2	3748.67	2097.02	2311.60
S3	3244.14	1909.02	2115.74
S4	3107.87	1799.29	1997.07
S5	2908.38	1669.62	1854.51



الشكل (4.III): منحنى تغيرات سرعة الانتشار الموجات فوق الصوتية بدلالة تركيز PbO.

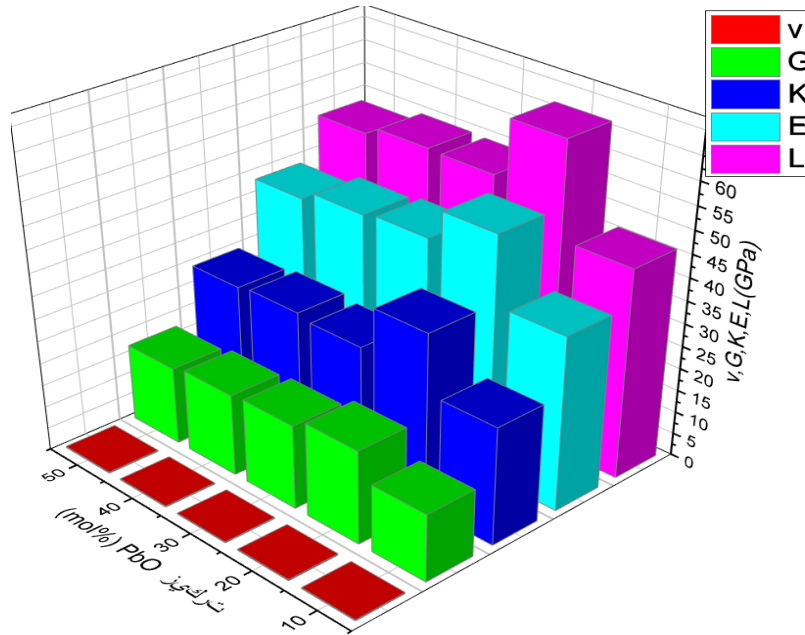
❖ من الجدول (3.III) والشكل (4.III):

تعد دراسة سرعة الموجات فوق الصوتية الطولية والعرضية مهمة لتحديد التغيرات البنيوية داخل الشبكة الزجاجية وتحديد مدى صلابتها.

نلاحظ زيادة سرعة الموجات فوق الصوتية الطولية والعرضية عند زيادة تركيز من 10mol% إلى 20mol%، مما يفسر تماسك وترابط في الشبكة الزجاجية، نلاحظ أيضا عند زيادة تركيز PbO من 20mol% إلى 50mol% تنخفض سرعتين وهو ما يدل على تغيير في بنية الشبكة الزجاجية، كما تم حساب متوسط سرعة الصوت والذي أظهر نفس نتائج سرعة الموجات ما فوق الصوتية الطولية والعرضية [7].

الجدول (4.III): قيم معاملات المرونة للعينات الزجاجية المدروسة.

العينات	$\rho(\text{kg/m}^3)$	E(GPa)	G(GPa)	K(GPa)	L(GPa)	ν (GPa)	H(GPa)
S1	3973	38.5653	15.112	26.2146	46.36	0.258	2.4729
S2	4765	53.3184	20.9540	39.0221	66.9602	0.2722	3.1827
S3	5171	46.5528	18.8449	29.2952	54.4219	0.2351	3.3287
S4	5660	45.7335	18.3239	30.2372	54.6691	0.2479	3.0799
S5	6232	43.5779	17.3725	29.5511	52.7144	0.2542	2.8471



الشكل (5.III): تغيرات معاملات المرونة بدلالة تغيرات تركيز PbO.

❖ من الجدول (4.III) والشكل (5.III):

تعد دراسة معاملات المرونة للزجاج أمراً مهماً لفهم مدى صلابته وقدرته على مقاومة التشوهات الميكانيكية الناتجة عن تأثير القوى الخارجية. أظهرت التجارب والدراسات أن التغير في تركيب الزجاج وخاصة في نظام يحتوي على (PbO) و (B_2O_3)، يؤدي إلى سلوك غير خطي في تغير معاملات المرونة، حيث لا يمكن اعتبارها نتيجة خطية لمزج مكونين، بل تتأثر بعوامل بنيوية وتنسيقية داخل الشبكة الزجاجية.

عند إضافة تركيز PbO بنسب منخفضة من 10mol% إلى 20mol% نلاحظ زيادة في معاملات المرونة خاصة معامل يونغ الذي زاد من 38.5653 GPa إلى 53.3184GPa وذلك بسبب أن أيون الرصاص Pb^{+2} يعمل كمعدل للشبكة الزجاجية، مما يؤدي إلى تحويل بعض الوحدات ثلاثية التنسيق BO_3

إلى وحدات رباعية التناسق BO_4 ، هذا التحول البنيوي يؤدي إلى تماسك وترابط الشبكة الزجاجية من خلال زيادة صلابتها ومعاملات مرونة. نلاحظ أيضا قيمة معامل بواسن محصورة بين $[0.2351 - 0.2722]$.

عند زيادة تركيز PbO من 20mol% إلى 50mol% نلاحظ انخفاض تدريجي في معاملات المرونة وهذا يفسر تحول دور PbO من معدل إلى مشكل للشبكة الزجاجية، حيث يبدأ بتكوين روابط تساهمية مع ذرات الأكسجين، مما يؤدي إلى تقليل نسبة وحدات BO_4 المسؤولة عن تقوية الشبكة، بالإضافة إلى ذلك يتغير عدد التناسق لأيونات الرصاص من 6 في التركيبات زجاجية التي تحتوي على البور إلى 3 في التركيبات ذات النسبة العالية من الرصاص، مما يؤدي إلى ضعف ترابط الشبكة البنيوية وانخفاض من صلابة الزجاج . نستنتج عند إضافة أكاسيد معدلة بنسب كبيرة للشبكة الزجاجية تحتوي على أكسيد البور نلاحظ تغيرات عكسية في خواص الميكانيكية [8].

عند مقارنة النتائج المتحصل عليها مع دراسة السابقة للباحث Amin Abd El-Moneim وآخرون سنة 2021 للزجاج يحتوي على PbO، وجد تطابق ملحوظ في النتائج حيث لاحظ الباحث أيضا عند زيادة تركيز PbO تزداد معاملات المرونة نتيجة تماسك الروابط داخل الشبكة الزجاجية وتحول الوحدات البنيوية من BO_3 إلى BO_4 . وعند زيادته تنخفض هذه المعاملات تدريجيا بسبب تحول دور PbO إلى مشكل للشبكة وتكوين روابط تضعف الشبكة الزجاجية [9].

5.III الخصائص الإشعاعية:

في إطار العمل التجريبي تم تحديد مختلف المعاملات للدراسة من بينها معامل التوهين الخطي (LAC)، معامل التوهين الكتلي (MAC)، نصف السمك (HVL)، سمك العشر (TVL)، متوسط مسار الحر (MFP)، العدد الذري الفعال (Z_{eff}) والعدد الإلكتروني الفعال (N_{eff}).

1.5.III معاملات الإشعاعية:

1.1.5.III معامل التوهين الخطي (LAC):

يعرف بأنه احتمال تفاعل الشعاع مثل أشعة غاما والأشعة السينية أثناء مرورها عبر سمك المادة، يعتمد هذا المعامل على تركيب المادة التي يمر بها الشعاع، إن قانون التوهين الآسي يتحكم في كيفية تقليل شدة أي كلما كان أكبر كانت المادة أكثر قدرة على امتصاص الأشعة وفق المعادلة التالية [10]:

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot x} \dots\dots\dots (1.III)$$

I: شدة الإشعاع.

I_0 : شدة الإشعاع الابتدائية.

μ : معامل التوهين الخطي (cm^{-1}).

x: سمك المادة (cm).

2.1.5.III معامل التوهين الكتلي (MAC):

يعرف معامل التوهين الكتلي بأنه احتمال تفاعل الشعاع مثل أشعة غاما والأشعة السينية أثناء مرورها عبر سمك المادة ويمثل معامل التوهين الخطي مقسوماً على كثافة المادة [2,12].

$$MAC = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (2.III)$$

3.1.5.III نصف السمك (HVL):

نصف السمك هو سمك المادة اللازم لتقليل شدة الإشعاع بمقدار نصف من قيمة الأصلية وذلك عن طريق زيادة سمك المادة يعطى بالعلاقة التالية [2, 12]:

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \dots\dots\dots (3.III)$$

4.1.5.III سمك العشر (TVL):

سمك العشر هو سمك المادة اللازم لتقليل شدة الإشعاع بمقدار عشر من القيمة الأصلية وذلك عن

طريق زيادة سمك المادة يعطى بالعلاقة التالية [13]:

$$TVL = \frac{\ln 10}{\mu} \dots\dots\dots (4.III)$$

5.1.5.III متوسط المسار الحر (MFP):

هو متوسط المسافة التي يقطعها جسيم مثل الفوتون قبل أن يصطدم في المادة ويعطى بالعلاقة التالية

[14]:

$$MFP = \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots (5.III)$$

6.1.5.III العدد الذري الفعال (Z_{eff}):

العدد الذري الفعال هو أعداد الذرية للعناصر المكونة لمادة، يختلف هذا العدد حسب تفاعل المادة مع

الأشعة، يعطى بالعلاقة التالية [15]:

$$z_{eff} = \frac{\sum N_i Z_i \sigma_{T,EL}}{\sum N_i \sigma_{T,EL}} \dots\dots\dots (6.III)$$

N_i : عدد ذرات العنصر في التركيبة الزجاجية.

Z_i : عدد الذري للعنصر.

$\sigma_{T,EL}$: مقطع تفاعل الكلي للإلكترونات (cm^2).

7.1.5.III الكثافة الإلكترونية الفعالة (N_{eff}):

الكثافة الإلكترونية الفعالة هي عدد الإلكترونات المتاحة للتفاعل مع الفوتونات في وحدة الكتلة [15].

2.5.III التفاعلات الثلاثة الرئيسية في الإشعاع:

عند سقوط حزمة من أشعة جاما أو الأشعة السينية على الزجاج، يمكن أن تتفاعل هذه الأشعة مع

ذرات الزجاج عبر ثلاث تفاعلات رئيسية وهي [11]:

1.2.5.III تفاعل كهرو ضوئي:

هو تفاعل ناتج عن تصادم الفوتون مع إلكترونات المادة فتنتقل كل طاقتها مما يؤدي إلى تحرر

الإلكترون من الذرة عند مجال الطاقات المنخفضة.

2.2.5.III تفاعل تشتت كومبتون:

هو تفاعل ناتج عن تصادم الفوتون بإلكترون حر أو ضعيف الارتباط، ويمنحه جزءاً من طاقته، مما

يؤدي إلى تشتت الفوتون عند مجال طاقات المتوسطة .

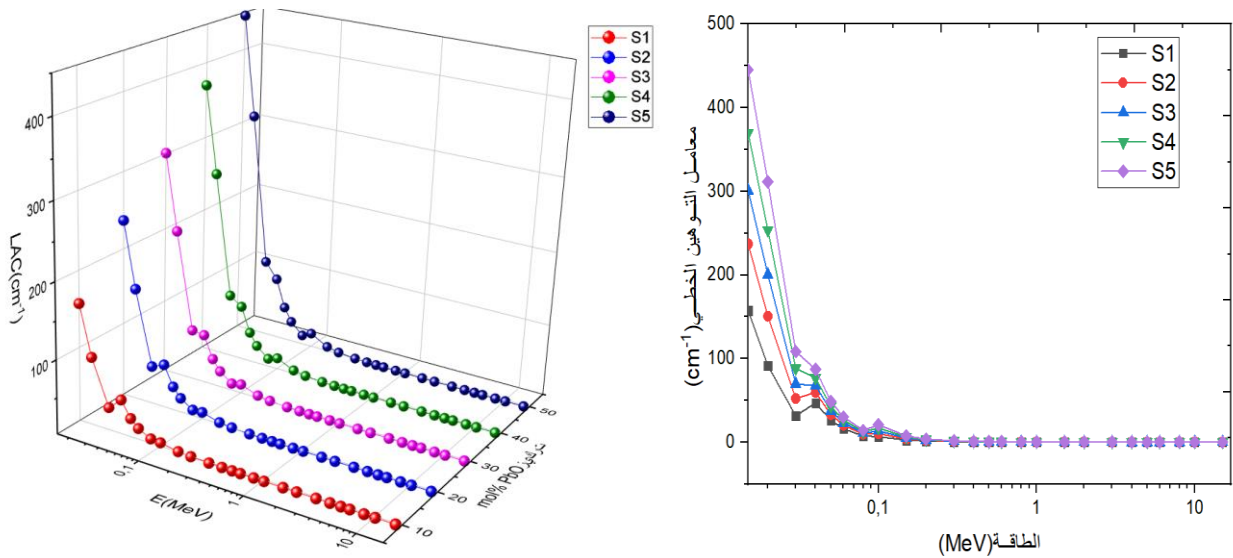
3.2.5.III تفاعل إنتاج الأزواج:

يتفاعل الفوتون مع المجال الكهرومغناطيسي القوي للنواة ينتج زوجاً من جسيمين إلكترون وبوزيترون

عند مجال الطاقات العالية.

6.III تحليل ومناقشة المنحنيات الإشعاعية:

يتأثر معامل التوهين الخطي بعاملين أساسيين هما طاقة الفوتون والتركيب الكيميائي للزجاج [16].



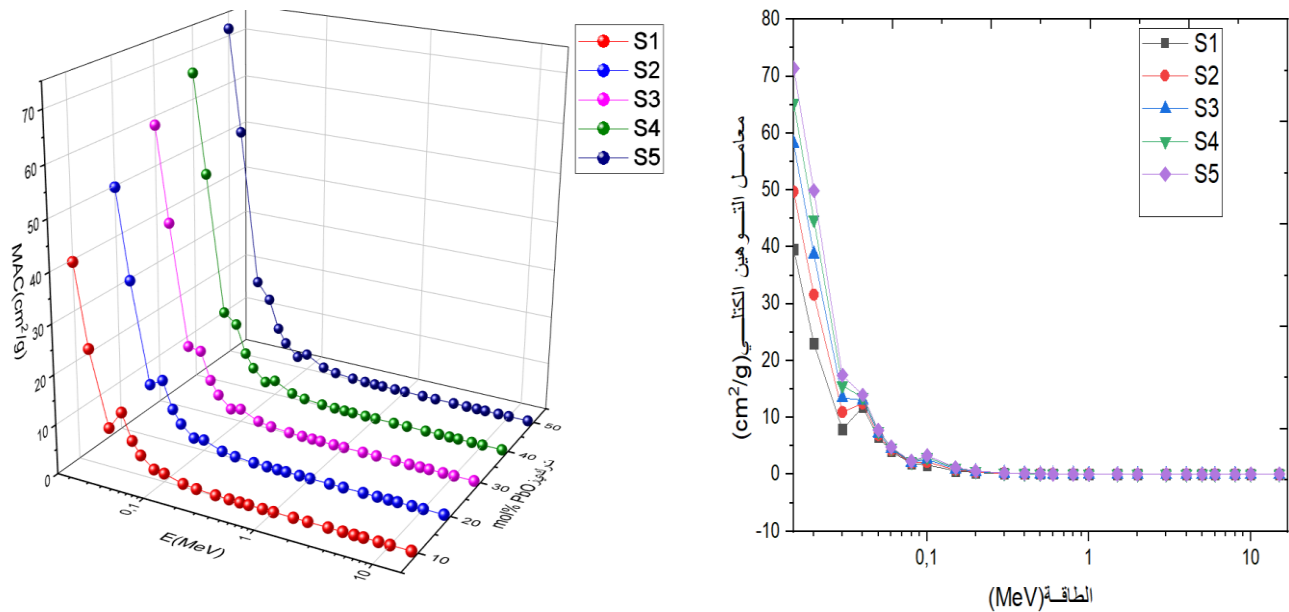
الشكل (6.III): منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على معامل التوهين الخطي.

❖ من الشكل (6.III):

نلاحظ معامل التوهين الخطي ينخفض عند طاقات المنخفضة من 0.015MeV إلى 0.03MeV نتيجة تأثير امتصاص الكهروضوئي في الزجاج نتيجة وجود عناصر ذات عدد ذري مرتفع مثل الرصاص والأنتمون، ثم نلاحظ الزيادة تدريجيا في مجال الطاقات المتوسطة من 0.03MeV إلى 0.04MeV نتيجة تفاعل تشتت الكومبتون، ثم نلاحظ استقرار نسبي في مجال الطاقات العالية من 1.02MeV إلى 15MeV وهذا نتيجة تفاعل إنتاج الأزواج.

أما من ناحية التركيب الكيميائي نلاحظ زيادة معامل التوهين الخطي من 157.22cm^{-1} إلى 445.25cm^{-1} عند زيادة التركيز PbO من $10\text{mol}\%$ إلى $50\text{mol}\%$ عند مجال الطاقات المنخفضة من 0.015MeV إلى 0.03MeV نتيجة العدد الذري للرصاص مرتفع جدا مما يعزز قدرة الزجاج على امتصاص الأشعة [17].

من خلال النتائج المتحصل عليها نستنتج أن العينة S5 التي تحتوي على $50\text{mol}\%$ من تركيز PbO أفضل للحماية من الإشعاع بفضل قدرتها على امتصاص الأشعة.

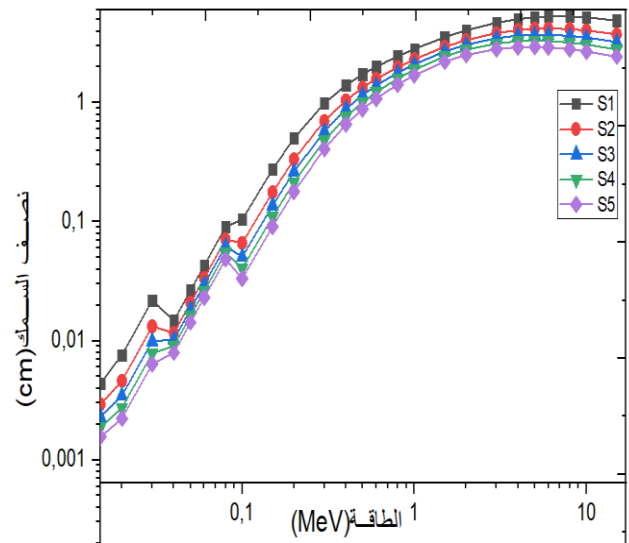
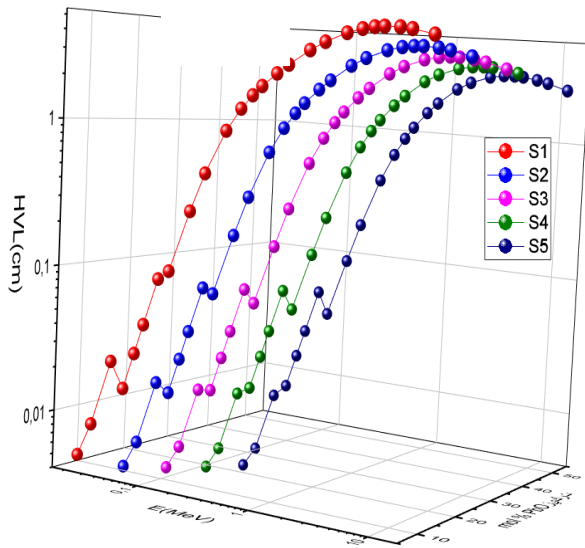


الشكل (7.III): منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على معامل التوهين الكتلي.

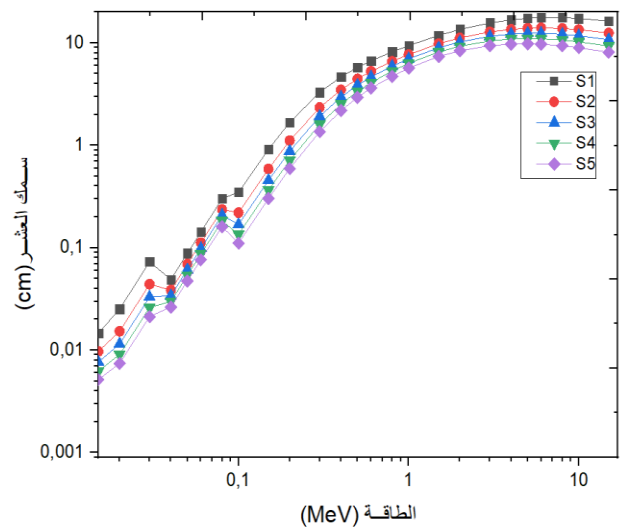
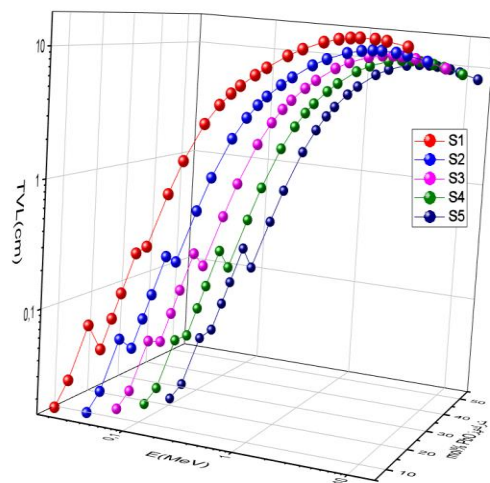
❖ من الشكل (7.III):

نلاحظ أن معامل التوهين الكتلي يزداد من $39.57\text{cm}^2/\text{g}$ إلى $71.44\text{cm}^2/\text{g}$ مع زيادة تركيز PbO مما يفسر العدد الذري المرتفع للرصاص، مع زيادة طاقة الفوتونات عند مجال الطاقات المنخفضة من 0.015MeV إلى 0.03MeV ينخفض معامل التوهين الكتلي ثم يزداد تدريجيا في مجال من 0.03MeV إلى 0.04MeV

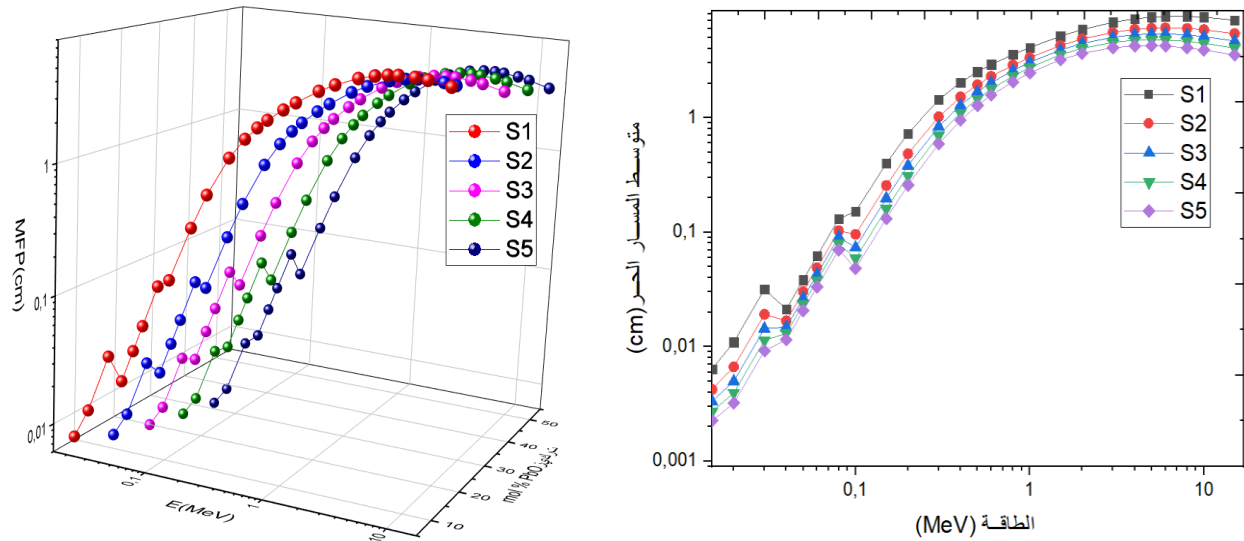
نتيجة تأثير امتصاص الكهروضوئي مع استمرار ارتفاع طاقة الفوتون ينخفض معامل التوهين الكتلي نتيجة تفاعل تشتت الكومبتون، أما في الطاقات العالية أكثر من 1.022MeV نلاحظ استقرار نسبي في قيم معامل التوهين الكتلي نتيجة تفاعل إنتاج الأزواج [18].



الشكل (8.III): منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على نصف السمك.



الشكل (9.III): منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على سمك العشر.



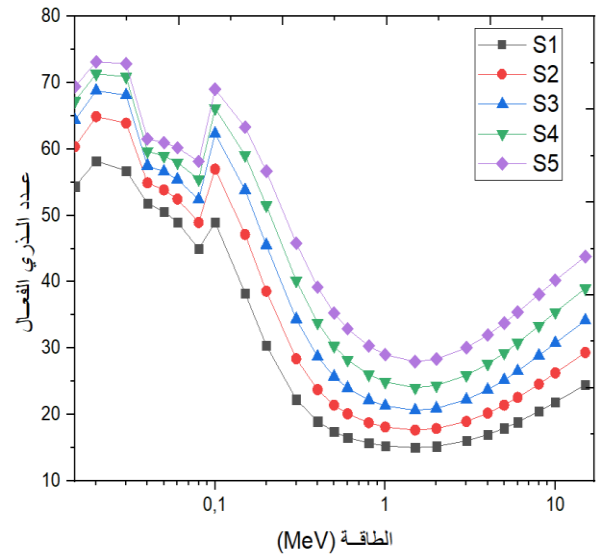
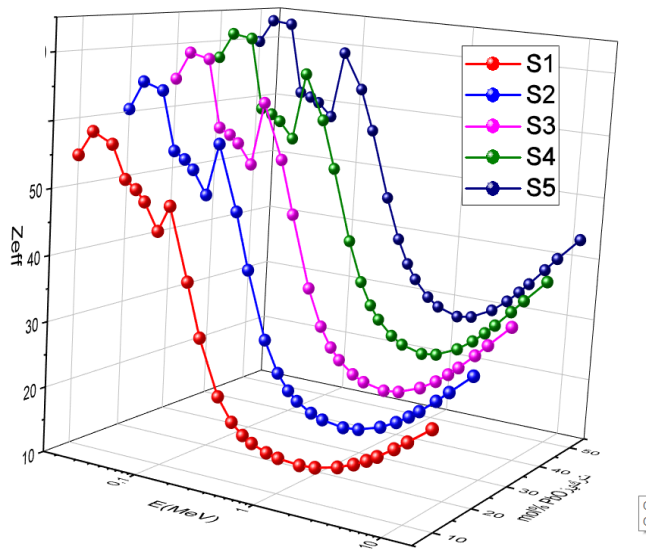
الشكل (10.III): منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على متوسط المسار الحر.

❖ من الشكل (8.III) والشكل (9.III) والشكل (10.III):

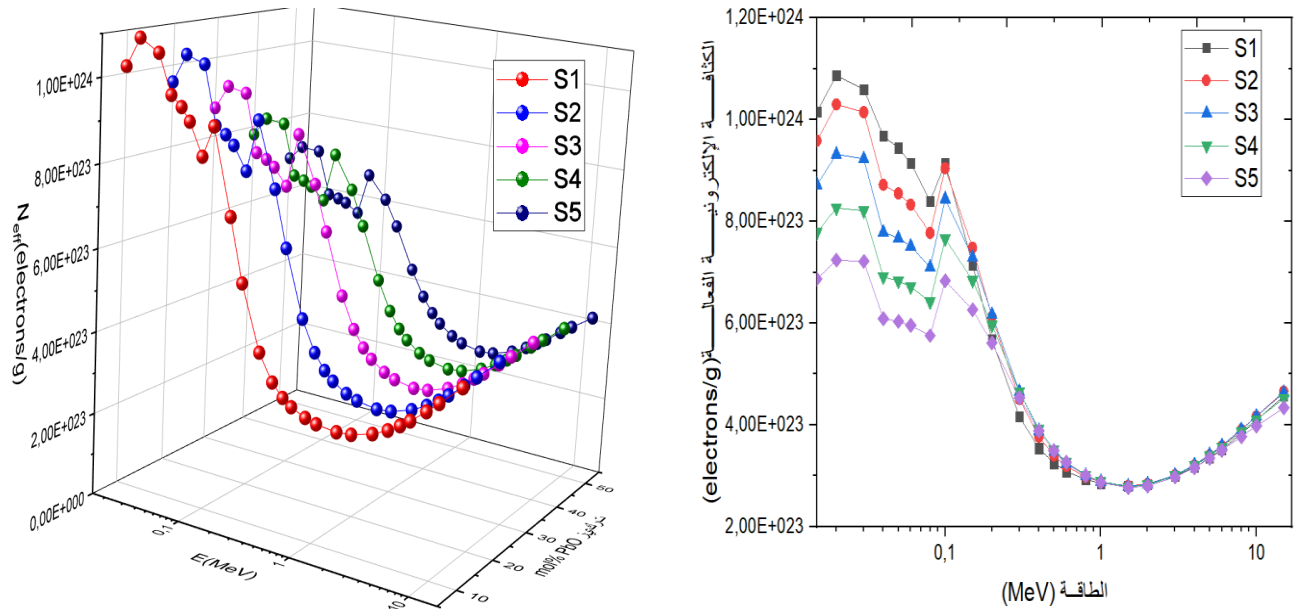
نلاحظ عند زيادة طاقة الفوتونات يزداد كل من قيم نصف السمك، سمك العشر ومتوسط المسار الحر عند مجال الطاقات المنخفضة من 0.015MeV إلى 0.03MeV نتيجة تأثير امتصاص الكهروضوئي في الزجاج وذلك بسبب وجود عناصر ذات عدد ذري مرتفع مثل الرصاص (Pb) والأنتيمون (Sb)، على سبيل المثال العينة (S1) تم تسجيل قيم منخفضة نسبياً بلغت نصف السمك 0.004cm، سمك العشر 0.01cm ومتوسط المسار الحر 0.006cm، مما يؤكد أن سمك صغير من الزجاج قادر على امتصاص الأشعة. ثم نلاحظ انخفاض تدريجي في قيم نصف السمك، سمك العشر و متوسط المسار الحر في مجال الطاقات المتوسطة من 0.03MeV إلى 0.04MeV نتيجة تفاعل تشتت كومبتون، حيث بلغت قيم سمك العشر 0.02cm ونصف السمك 0.07cm ومتوسط المسار الحر 0.03cm، أما في مجال الطاقات العالية من 0.04MeV إلى 1.022MeV نلاحظ زيادة في قيم نصف سمك، سمك العشر ومتوسط المسار الحر، بعد

ذلك نلاحظ الاستقرار النسبي من 1.02MeV إلى 15MeV وهذا نتيجة تفاعل إنتاج الأزواج، حيث بلغت قيمة سمك العشر 17.36cm ونصف السمك 5.22cm ومتوسط المسار 7.66cm [19].

أما من ناحية التركيب الكيميائي نلاحظ انخفاض نصف السمك من 0.004cm إلى 0.002cm عند زيادة التركيز PbO من 10mol% إلى 50mol%، سمك العشر من 0.01cm إلى 0.007cm ومتوسط المسار الحر من 0.006cm إلى 0.002cm عند مجال الطاقات المنخفضة من 0.015MeV إلى 0.03MeV نتيجة العدد الذري للرصاص مرتفع جدا مما يفسر كفاءة عالية للزجاج على امتصاص الأشعة [19].



الشكل (11.III): منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على عدد الذري الفعال.



الشكل (12.III): منحنيان يوضحان تأثير الطاقة وتركيز PbO على الكثافة الإلكترونية الفعالة.

❖ من الشكل (11.III) والشكل (12.III):

يتأثر عدد الذري الفعال والكثافة الإلكترونية الفعالة بعاملين أساسيين هما الطاقة الفوتون والتركيب الكيميائي للزجاج.

من خلال النتائج نلاحظ عند زيادة طاقة الفوتون ينخفض كل من العدد الذري الفعال والكثافة الإلكترونية الفعالة عند مجال طاقات المنخفضة، مثلاً عند الطاقة 0.03MeV للعينه (S1) بلغت قيمة العدد الذري الفعال 56 والكثافة الإلكترونية الفعالة $1.05 \times 10^{23}\text{electrons/g}$ ، نتيجة تفاعل كهروضوئي بسبب العدد الذري للرصاص المرتفع 82. ثم نلاحظ الزيادة عدد الذري الفعال والكثافة الإلكترونية الفعالة تدريجياً في مجال الطاقات المتوسطة نتيجة تفاعل تشتت كومبتون، أما في مجال الطاقات العالية تنخفض القيم تدريجياً حتى تصل إلى حالة الاستقرار النسبي، نتيجة تفاعل إنتاج الأزواج [20].

أما من ناحية تركيب الكيميائي نلاحظ زيادة العدد الذري الفعال من 58 إلى 73 وانخفاض الكثافة الإلكترونية فعالة من 1.08×10^{24} electrons/g إلى 7.21×10^{23} electrons/g عند زيادة التركيز من PbO 10mol% إلى 50mol% عند مجال الطاقات المنخفضة نتيجة العدد الذري للرصاص مرتفع جدا مما يفسر كفاءة عالية للزجاج على امتصاص الأشعة [20].

عند مقارنة النتائج المتحصل عليها مع دراسة السابقة للباحث Aloraini DA سنة 2023 وجد تطابق ملحوظ في النتائج حيث لاحظ الباحث عند زيادة نسبة تركيز PbO في العينات الزجاجية المدروسة، ازدادت خصائص الحماية من أشعة غاما مثل معامل التوهين الخطي، معامل التوهين الكتلي، والعدد الذري الفعال، انخفض كل من نصف السمك، سمك العشر ومتوسط المسار الحر، مما يدل على أن PbO عنصرا مميز في الحماية من الإشعاع [21].

مراجع اللغة العربية:

[11] الدنفريّة ش، شعبان هـ. حساب معامل الامتصاص لأشعة جاما لجلد (البقر، الإبل) لاستخدامه للوقاية من مخاطر الإشعاع. مجلة السائل العلمية المحكمة (10)29; 2022.

مراجع اللغة الاجنبية:

- [1] Somaiah T, Rao JV, Ramakrishnaiah MV, Gandhi V, Veerabhadramu N. Structural investigations on $\text{PbO-Sb}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{:CoO}$ glass ceramics by means of spectroscopic and dielectric studies. J Phys Condens Matter. 2009; 21(24): 245104.
<https://doi.org/10.1088/0953-8984/21/24/245104>
- [2] ansal K, Kumar S, Singh K, Singh S. Comprehensive analysis of mechanical, thermal and attenuation characteristics of $\text{NaF-B}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3$ glasses for gamma radiation shielding application. CeramInt. 2024 Aug.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.08.302>
- [3] Salama E, Maher A, Youssef GM. Gamma radiation and neutron shielding properties of transparent alkali borosilicate glass containing lead. J Phys Chem Solids. 2019; 131:139–147.
<https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2019.04.002>
- [4] Mardhiah Abdullah, Wan Mohd Hanif Wan Hussin, Azman Kassim, Norihan Yahya. The Physical Properties Of Lead Borate ($\text{PbO-B}_2\text{O}_3$) Glass. KONAKA. 201.5
- [5] L Karrani H, Almessned G, Tekin HO, Sen Baki D. High-density lead germanate glasses with enhanced gamma and neutron shielding performance: Impact of PbO concentration on attenuation properties. Int J Comput Exp Sci Eng. 2024.
<https://doi.org/10.22398/ijcesen.635>
- [6] Singh GP, Singh J, Kaur P, Singh T, Kaur R, Singh DP. the role of lead oxide in $\text{pbo-b}_2\text{o}_3$ glasses for solid state ionic devices. Materials Physics and Mechanics. 2021; 47(2): 951-961.
- [7] Mostafa AG, Sayed MA, Saddeek YB, Hassaan MY, Aly KA, El-Taher A. Studying the elastic properties of glasses based on CKD using ultrasonic technique. Dig J Nanomater Biostruct. 2015; 10(3): 935–94.

- [8] Mohajerani A, Martin V, Boyd D, Zwanziger JW. On the mechanical properties of lead borate glass. *J Non- Cryst Solids*. 2013; 381:29–34.
<https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2013.08.014>
- [9] Abd El-Moneim A, Eltohamy M, Afifi H, Gaafar MS, Atef A. An ultrasonic study on ternary $x\text{PbO}-(45-x)\text{CuO}-55\text{B}_2\text{O}_3$ glasses. *Ceramics International*. 2021; 47(21), 27351-27360.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.07.064>
- [10] Brown S, Bailey DL, Willowson K, Baldock C. Investigation of the relationship between linear attenuation coefficients and CT Hounsfield units using radionuclides for SPECT. *Applied Radiation and Isotopes*. 2008 ; 66(8), 1206-1212
- [12] Susilo T, Darsono T, Mosik, Putri SA, Setiawan R, Wijayanti Y, Taufiq UA. Determination of half value layer (HVL) lead (Pb) of used batteries for radiation protection using digital radiography at the medical physics laboratory UNNES. *AIP Conference Proceedings*. 2023; 2614(1), 050048 .
<https://doi.org/10.1063/5.0126964>
- [13] Elsafi M, Sayyed MI, Hanafy TA. Experimental study of different oxides in $\text{B}_2\text{O}_3\text{--ZnO--BaO}$ glass system for gamma-ray shielding. *Scientific Reports*. 2025; 15, 2618 .
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-85230-9>
- [14] Hosseini SA, Karlin IV. Lattice Boltzmann for non-ideal fluids: Fundamentals and Practice. *Physics Reports*. 2023; 1030, 1-137 .
- [15] KARPUZ N. Effective Atomic Numbers of Glass Samples. *Int J Comput Exp Sci Eng*. 2024; 10(2): 236-40.
<https://doi.org/10.22399/ijcesen.340>
- [16] Sayed MA, Basha B, Al-Harbi N, Al-Baradi AM, Shaaban KS. Shaaban. PbO effect on physical, mechanical, optical, structural, and radiation characteristics of $\text{P}_2\text{O}_5\text{--BaO--PbO}$ glass system. *The European Physical Journal Plus*. 2023; 138(455) .
<https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-023-04079-x>
- [17] Echeweozo EO, Alomairy S, Alsaiari NS, Al-Buriahi MS. Al-Buriahi. Effect of lead oxide addition on gamma radiation shielding properties of newly developed geopolymers: theoretical and simulation studies. *Scientific Reports*. 2024; 14, 2998 .
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-81186-4>

- [18] Alrowaili ZA, Alomayrah N, Saleh HH, Sriwunkum C, Alalawi A, Al-Buriahi MS. Gamma attenuation and radiation shielding properties of lead silicate glasses containing antimony and alumina oxides. *Eur Phys J Plus*. 2025; 140:32.
<https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-025-05968-z>
- [19] Lakshminarayana G, Kumar A, Tekin HO, Issa SAM, Al-Buriahi MS, Dong MG, et al. Illustration of distinct nuclear radiation transmission factors combined with physical and elastic characteristics of barium boro-bismuthate glasses. 2021; 105067.
<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.105067>
- [20]] Hussein KI, Alshehri AM, Yahia IS, Reben M, Yousef ES, Alqahtani MS, et al. *Evaluation of the Radiation Shielding Properties of a Tellurite Glass System Modified with Sodium Oxide, Materials*. 2022; 3172.
<https://doi.org/10.3390/ma15093172>
- [21] Aloraini DA, Kumar A, Almuqrin AH, Abualsayed MI. An exploration of the physical, optical, mechanical, and radiation shielding properties of PbO–MgO–ZnO–B₂O₃ glasses. *Open Chemistry*; 2023 Aug 10;21(1):20230104.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

سعت هذه المذكرة إلى دراسة وتحليل السلسلة الزجاجية المكونة من أكسيد الأنثيموان (Sb_2O_3)، أكسيد البور (B_2O_3)، وأكسيد الرصاص (PbO)، حيث توصلنا إلى مجموعة من النتائج المهمة التي تساهم في الفهم حول تأثير التركيب الكيميائي على خصائص الزجاج الفيزيائية، الميكانيكية، والإشعاعية، وهو ما يفتح آفاقاً واسعة لتطبيقات صناعية وطبية، خاصة في مجال الحماية من الإشعاع.

أظهرت النتائج في الخصائص الفيزيائية أن الكثافة تتزايد بزيادة تركيز أكسيد الرصاص مما يدل على أن الكتلة المولية والكثافة (PbO) عالية جداً، وأن الحجم المولي يتناقص بزيادة تركيز (PbO) وذلك راجع إلى نقصان طول الرابطة والمسافات بين الذرات داخل الشبكة الزجاجية مما يؤدي إلى تراص البنية. أظهرت النتائج أيضاً عند زيادة تركيز (PbO) تزداد متوسط المسافة بين ذرات الرصاص وذلك راجع إلى تمدد الشبكة الزجاجية.

بالنسبة للخصائص الميكانيكية فهي تتغير بشكل غير خطي، نعلم أن معاملات المرونة تعتمد على بنية الزجاج وتركيبه الكيميائي ونسبة (B_2O_3) و (PbO) في العينات الزجاجية، نلاحظ زيادة معاملات المرونة من أجل تركيز (PbO) أقل من 20mol% معامل يونغ يصل إلى 53GPa، ثم نلاحظ انخفاضه من أجل تركيز (PbO) أكثر من 20mol%، مما يدل على تغيير في البنية الداخلية للزجاج وذلك بسبب تحول دور (PbO) من معدل للشبكة إلى مكون بنيوي يضعف التماسق الداخلي.

أما في الخصائص الإشعاعية أظهرت النتائج أن زيادة نسبة تركيز (PbO) في العينات الزجاجية المدروسة أدت إلى تحسين في قدرة الزجاج على حماية من الإشعاع، حيث ازداد معامل التوهين الخطي، معامل التوهين الكتلي والعدد الذري الفعال وانخفض كل من نصف السمك، سمك العشر متوسط المسار الحر والكثافة الإلكترونية الفعالة، مما يدل على أن (PbO) يعد عنصرا مميز في الحماية من الإشعاع. يعتبر (PbO) مكونا فعالا في تحسين كفاءة الزجاج في مجالات الحماية الإشعاعية، مما يفتح آفاق لتطوير المواد الزجاجية تستخدم في التطبيقات الطبية، الصناعية والنووية.

المخلص

يتضمن هذا العمل دراسة نظرية وتجريبية للخصائص الفيزيائية والميكانيكية بالإضافة إلى خواص الحماية من الإشعاع للسلسلة الزجاجية $30\text{Sb}_2\text{O}_3 - (70-x)\text{B}_2\text{O}_3 - x\text{PbO}$ حيث $10 \leq x \leq 50$ ، بهدف تطوير مواد الزجاجية فعالة في الحماية من الإشعاع. تم تحضير خمس عينات من السلسلة الزجاجية وذلك بإتباع عدة مراحل تتمثل في: مرحلة وزن المواد الكيميائية المستخدمة، مرحلة التسخين، مرحلة المعالجة الحرارية وأخيرا مرحلة الصقل. حيث أظهرت النتائج ارتفاع الكثافة وانخفاض الحجم المولي بزيادة تركيز أكسيد الرصاص (PbO) بسبب كتلته المولية العالية والتراس البنوي. أظهر جهاز الموجات فوق الصوتية ارتفاع معامل يونغ عند نسب منخفضة ثم ينخفض مما يدل على تغيير في بنية الشبكة الزجاجية. تم تحليل العينات الزجاجية باستخدام برنامج Phy-X/PSD أظهرت النتائج زيادة في تركيز (PbO) تؤدي إلى زيادة فعالية الحماية الإشعاعية من خلال ارتفاع معامل التوهين وانخفاض نصف السمك وسمك العشر تظهر العينة (S5) ذات التركيز أعلى من (PbO) أفضل في امتصاص الأشعة، مما يجعله مناسب لتطبيقات الحماية من الإشعاع في المجالين الطبي والصناعي.

الكلمات المفتاحية: خصائص الزجاج الإشعاعية، السلسلة الزجاجية $30\text{Sb}_2\text{O}_3 - (70-x)\text{B}_2\text{O}_3 - x\text{PbO}$ ، العينات

الزجاجية، أكسيد الرصاص (PbO)، موجات فوق الصوتية، برنامج Phy-X /PSD.

Abstract

This work includes a theoretical and experimental study of the physical, mechanical and radiation shielding properties of the glass series $30\text{Sb}_2\text{O}_3-(70-x)\text{B}_2\text{O}_3-x\text{PbO}$ where $10 \leq x \leq 50$, with the aim of developing effective radiation shielding glass materials. Five samples of the glass series were prepared by following several stages, namely: Weighing stage, heating stage, heat treatment stage, and finally polishing stage. The results showed higher density and lower molar volume with increasing PbO concentration due to its high molar mass and structural stacking. The ultrasonic device showed that the Young's modulus increased at low ratios and then decreased indicating a change in the structure of the glass network. The glass samples were analyzed using Phy-X/PSD software and the results showed that an increase in PbO concentration leads to an increase in radiation shielding effectiveness by increasing the attenuation coefficient and decreasing the half-thickness and ten-thickness. The sample (S5) with higher PbO concentration shows better radiation absorption, making it suitable for radiation protection applications in the medical and industrial fields.

Key words: Glass radiation properties, $30\text{Sb}_2\text{O}_3-(70-x)\text{B}_2\text{O}_3-x\text{PbO}$ glass series, glass samples, lead oxide (PbO), ultrasound, Phy-X/PSD program.



Département des Sciences de la matière
Filière: Physique

قسم : علوم المادة
شعبة : الفيزياء

تصريح شرفي

تخص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث
(ملحق القرار 1082 المؤرخ في 2021/12/27)



أنا الممضى أسفله،

السيدة (ة) : السيدة أمينة
تخصص : فيزياء المادة المكثفة
الصفة : طالبة سنة ثانية ماسش
الحامل (ة) : لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 9.1193533.4 الصادرة بتاريخ : 2025/1/15
المسجل بكلية : العلوم الدقيقة قسم : علوم المادة
والمكلف بإنجاز أعمال بحث : مذكرة

عنوانها : دراسة الخصائص الفيزيائية و العيانية لـ
و الحماية من الإشعاع للجاذب متكون من Sb_2O_3 , BO_3 , PbO

أصرح بشرفي أنني أقوم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة
الأكاديمية المطلوبة في إنجاز البحث المذكور أعلاه وفق ما ينص عليه القرار رقم 1082 المؤرخ في
2021/12/27 المحدد للقواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها.

التاريخ : 2025/15/26

إمضاء المعني بالأمر