



جامعة بنغازي

كلية العلوم - قسم الفيزياء

تأثير الإشعاعات المؤينة وغير المؤينة على كواشف الأثر  
النووي الصلبة

نسرين محمد الفيتوري

إشراف

د. ياسين الكيلاني عبدالله

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات الإجازة العالية ( الماجستير ) في الفيزياء

الخريف

2015-2016



جامعة بنغازي  
كلية العلوم - قسم الفيزياء

تأثير الإشعاعات المؤينة وغير المؤينة على كواشف الأثر  
النووي الصلبة

نسرين محمد الفيتوري

إشراف

د. ياسين الكيلاني عبدالله

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات الإجازة العالية (الماجستير) في الفيزياء  
بتاريخ: 13-2-2016 بقسم الفيزياء بكلية العلوم بجامعة بنغازي

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿يُرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ﴾

صدق الله العظيم

سورة المجادلة الآية 10

## الاهداء

إلى منارة العلم إلى الذي علم المتعلمين إلى سيد الخلق أجمعين إلى رسولنا الكريم سيدنا محمد صل الله عليه وسلم

إلى من كلله الله بالهبة والوقار .. إلى من علمني العطاء بدون انظار .. إلى من أمل أسمه بكل افخار ..

ارجو من الله أن يمد في عمرك لتري ثماراً قد حان قطافها بعد طول انظار وسنتي .. كلماتك نجوماً أهندي

لها اليوم وفي الغد وإلى الأبد

## والدي العزيز

إلى ملاكي في الحياة .. إلى معني الحب وإلى معني الحنان والثقاني .. إلى بسمته الحياة وسس الوجود إلى من

كان دعاؤها سنجاحي وحنانها بلسر جراحي إلى أعلي الجباب

## أمي الحبيبة

إلى من أربي الثاؤل في عينيه .. والسعادة في ضحكته

## أخي العزيز

إلى رفیق دريبي وهذه الحياة بدونك لا شيء معك أكون أنا وبدونك أكون مثل أي شيء .. إلى من كان

يضيء لي الطريق ويساندني ويتنازل عن حقوقه لإرضائي والعيش في هناء

## زوجي الغالي

## شكر وتقدير

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله وعلى آله وصحبه أجمعين اعترافاً  
بنعيمته وفضله علي لما منحه لي من صبر وقوة لتكملة هذا العمل بهذه الصورة.  
شكر الجزيل الي د. عبد الله سعد المقترح موضوع الرسالة والمشرفه عليها لما  
بذله معي من مجهوداته قيمة لإخراج الرسالة في صورة مرضية. الشكر الخاص  
إلي د. ياسين الكيلاني المشرفه علي الرسالة لما قدمه لي من عون ودعم في  
إكمال هذه الرسالة. وجميع أعضاء هيئة التدريس بقسم الفيزياء علي رأسهم د.

رافع الزروق.

وأقدم شكري وعرفاني خصوصاً إلي

د. ناجي العماري بقسم الفيزياء/كلية العلوم

كما أشكر تعاون الأستاذ محمد المشيطي ود. ساطع نجم بقسم الكيمياء/

كلية العلوم

وفني الختام الشكر والأمتنان لكل الصديقات

## ملخص

لقد اتسعت وتعددت مجالات استخدام كواشف الأثر النووي بشكل كبير لما تمتلكه من خصائص ومميزات منها سهولة الاستعمال وأنها لا تحتاج إلى مصدر قدرة وتحفظ بالآثار ودقة النتائج ومن أهم المجالات التطبيقية هي تأثير درجات الحرارة العالية على سلوك جسيمات ألفا المسجلة في كواشف الأثر النووي الصلبة وتفسير بعض الظواهر التي تحدث في كواشف الأثر النووي الصلبة عند تعرضها لأشعة فوق البنفسجية مثل حساسية وكفاءة الكاشف تنقسم هذه الدراسة العلمية إلى جزئين الأول الهدف من الدراسة هو معرفة تأثير التلدين الحراري على سلوك جسيمات ألفا المسجلة بواسطة الكاشف CR-39 في حالة التلدين المتساوي في درجة الحرارة ومع أزمنة التلدين المختلفة ( Isothermal annealing ) حيث تم تلدين مجموعة من العينات الكاشف وبعد ذلك تشيعها بالمصدر المشع  $^{241}\text{Am}$  و بالإضافة إلى مجموعة أخرى يتم تشيعها بنفس المصدر ثم حفرها في محلول من NaOH عياريته 6.25N ومن ثم قياس هذه المجموعة غير المعالجة حرارياً والمعالجة حرارياً بواسطة مطياف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (Shimadzu mini 1240) وبالطول الموجي من 190-900nm. حتى نتمكن من رؤية كثافة الآثار المسجلة على الكاشف CR-39 ومن خلال دراسة طيف الأشعة فوق البنفسجية المرئية يتم مشاهدة التغير في الطاقة فجوة الحزمة البصرية Band gap energy optical ووجد أن طاقة فجوة الحزمة غير المباشرة أقل قيمة من طاقة فجوة الحزمة المباشرة وتغير في طاقة أورباخ Urbach energy تزداد مع زيادة عدد ساعات التلدين, ثم حساب عدد ذرات الكربون بالاعتماد على كل من طاقة فجوة الحزمة البصرية المباشرة وغير المباشرة .

الجزء الثاني الهدف من الدراسة هو معرفة تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الخصائص البصرية والتسجيلية للكاشف CR-39 وذلك عن طريق تعريض الكاشف للأشعة فوق البنفسجية (UV) لفترات تشيع مختلفة تتراوح من 0h إلى 100h. تأثير هذه الأشعة على معدلات الحفر الكمي وحفر الأثر وحساسية وكفاءة الكاشف عند تعرضه المصدر  $^{252}\text{Cf}$  بعد التشيع بالأشعة فوق البنفسجية ثم حفرها في محلول من NaOH عياريته 6.25N. ثم قياس معدلات الحفر الكمي والأثر باستخدام البيانات لقياس أقطار جسيمات ألفا وشظايا الانشطار وتحديد الحساسية وكفاءة الكاشف. وباستخدام مطياف الأشعة

فوق البنفسجية المرئية. ثم حساب طاقة فجوة الحزمة البصرية Band gap energy optical المباشرة وغير المباشرة وقد تنوعت القيم من (2.70-3.50)eV و(4.64-4.88)eV ولوحظ وجود تعديلات كبيرة في طاقة فجوة الحزمة وحساسية وكفاءة الكاشف CR-39 التي تسببها الأشعة فوق البنفسجية وتغير في طاقة أورباخ Urbachenergy تزداد مع زيادة عدد ساعات التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية ثم حساب عدد ذرات الكربون بالاعتماد علي كل من طاقة فجوة الحزمة البصرية المباشرة وغير المباشرة .

## **Abstract**

### **The effect of ionizing and non-ionizing radiation on solid state nuclear track detectors**

The UV-Visible absorption spectra of virgin and alpha particle irradiated CR-39 polymeric track detectors, non-annealed and annealed, have been investigated using a UV-Visible spectrometer (Shimadzu mini 1240). Isothermal annealing experiments were carried out on PADC films based nuclear track detectors NTDs exposed to a  $^{241}\text{Am}$  source. The shifting and broadening of the UV-Visible peaks as a result of etched alpha tracks of non-annealed and annealed PADC films have been observed. UV-Visible spectra of virgin and non-annealed  $\alpha$ -irradiated PADC (poly allyl diglycol carbonate) polymer films display a decreasing trend in optical energy band gaps, both direct and indirect, whereas those measured for the annealed  $\alpha$ -irradiated ones show insignificant change. This drop in energy band gap with increasing fluence is discussed on the basis of alpha particle and thermal annealing induced modifications in the PADC polymeric detector. The results clearly reveal that the values of the indirect energy band gap are lower than the corresponding values of the direct band gap. In addition, the Urbach energy is estimated from the Urbach edge and exhibits roughly the same trend as the optical band gap. Finally, this study presents new knowledge showing that the annealed PADC films were demonstrated to be highly insensitive to alpha particles. In that part, a study on the UV-VIS spectra and etching characteristics of CR-39 polymeric track detectors exposed to ultraviolet (UV) radiation for different

duration times ranging from 0 to 100 h has been performed. Etching experiments were carried out on CR-39 polymeric track detectors exposed to a  $^{252}\text{Cf}$  source after UV-exposure. The bulk and track etch rates were measured using alpha and fission fragment track diameters, as well as the sensitivity and the detection efficiency were also determined. The optical band gap was calculated from the absorption edge of the UV spectra of pristine and various UV-exposed detectors which varied from 3.50 to 2.70 eV and 4.88 to 4.64 eV for indirect and direct transitions, respectively. A significant modification in optical band gap and detection efficiency of CR-39 detector induced by UV photon was observed. Optical band gap and etching parameters clearly indicate a gradual change of the registration properties of charged particles in a CR-39 polymeric track detector induced by UV-radiation.

1	مقدمة.....
	<b>الفصل الأول: تفاعل الإشعاعات المؤينة وغير المؤينة مع</b>
	<b>المادة 1.1 مقدمة.....</b>
	6.....
7	2.1 تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة.....
8	3.1 طبيعة تفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة.....
9	4.1 مسارات جسيمات ألفا.....
11	5.1 قدرة الإيقاف للأيونات الثقيلة داخل المادة.....
15	6.1 الفقد الكلي للطاقة.....
16	7.1 فقدان الطاقة نووياً.....
17	8.1 فقدان الطاقة إلكترونياً.....
19	9.1 تفاعل الإشعاع مع المادة.....
19	10.1 أنواع تفاعلات الفوتون مع المادة.....
20	1.10.1 استقطاب كومبتون.....
21	2.10.1 تأثير الكهروضوئي.....
21	3.10.1 إنتاج الزوج.....
22	11.1 تأثير الإشعاع الكهرومغناطيسي علي مادة الكاشف البوليمر.....
	<b>الفصل الثاني: كواشف الأثر النووي الصلبة</b>
25	1.2 التطور التاريخي لكواشف الأثر النووي الصلبة SSNTDs.....
27	2.2 كواشف الأثر النووي الصلبة.....
29	3.2 أنواع كواشف الأثر النووي الصلبة.....
31	4.2 الكاشف الأثر البوليمر CR-39.....
32	5.2 تشكيل الأثر في البوليمرات.....
35	6.2 كيفية تكون الأثر.....
37	7.2 إظهار الآثار الخفية في البوليمرات.....
38	8.2 عملية الحفر الكيميائي.....
38	9.2 هندسة الأثر المحفور.....
39	10.2 هندسة إظهار الأثر.....
41	11.2 معدل حفر الأثر $V_T$ في حالة السقوط العمودي.....
42	12.2 تأثير التلدين الحراري علي الخواص التسجيلية لمادة الكاشف.....
	<b>الفصل الثالث: دراسة الخصائص البصرية في المواد الصلبة</b>
45	1.3 مقدمة.....
46	2.3 تصنيف العمليات البصرية.....
48	3.3 مطياف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية.....

48.....	الإثارة الإلكترونية
49.....	5.3 مبدأ التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية المرئية
49.....	6.3 امتصاص الضوء
50.....	7.3 حزمة الطاقة في المواد الصلبة
51.....	8.3 تحديد طاقة فجوة الحزمة البصرية
52.....	9.3 تحديد طاقة أور باخ
53.....	10.3 تحديد عدد ذرات الكربون
53.....	11.3 انتقال داخل الحزمة Interband
	<b>الفصل الرابع : الإجراءات التجريبية</b>
57.....	1.4 مادة الكاشف
58.....	2.4 المصدر المشع وطريقة التشعيع
59.....	3.4 الفرن المستخدم في عملية التلدين
60.....	4.4 الحفر الكيميائي
60.....	1.4.4 تحضير المحلول القياسي
62.....	2.4.4 عملية الحفر الكيميائي لمادة الكاشف CR-39
63.....	5.4 عملية التلدين الحراري
64.....	6.4 عملية التعرض للأشعة فوق البنفسجية
65.....	7.4 مطياف الأشعة فوق البنفسجية المرئية
65.....	8.4 وحدة التسجيل
67.....	9.4 القياسات التجريبية باستخدام المجهر الضوئي
	<b>الفصل الخامس : النتائج والمناقشة</b>
	1.5 قياس الامتصاصية خلال أثر الفا المحفورة في كواشف الأثر النووي المعالجة حرارياً
70.....	وغير المعالجة حرارياً
72.....	2.5 حساب طاقة أروباخ
75.....	3.5 تعيين نطاق فجوة الطاقة البصرية في حالة التحويلات المباشرة وغير المباشرة
83.....	4.5 صور الآثار النووية
84.....	5.5 تعيين قيم عدد ذرات الكربون
	6.5 استخدام مقياس طيف الأشعة فوق البنفسجية المرئية في قياس أطيف الأشعة فوق البنفسجية
91.....	التي تم عرضها في كواشف الأثر النووي الصلبة CR-39
94.....	7.5 تحديد طاقة أروباخ عند تشعيع بالأشعة فوق البنفسجية
	8.5 تحديد طاقة فجوة الحزمة البصرية في حالة التحويلات المباشرة وغير المباشرة عند التشعيع
94.....	بالأشعة فوق البنفسجية
95.....	9.5 تحديد في معدد ذرات الكربون عند التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية
99.....	10.5 الخصائص الرئيسية وظهور التباين البصري في كاشف الأثر النووي ذو الحالة الصلبة
105.....	الاستنتاج

- شكل (1.1) عملية التباطؤ الجسيمات الثقيلة المشحونة ..... 8
- شكل (2.1) مسار جسيم ألفا في المادة والممتصة ..... 11
- شكل (3.1) تفاعل جسيم مشحون ساقط علي الالكترتون مداري ..... 15
- شكل (4.1) فقدان الطاقة النوعي علي امتداد مسار ألفا ..... 18
- شكل (5.1) نوع السائد من التفاعلات لمجموعات مختلفة من الفوتونات الساقط والأرقام الذرية الممتصة ..... 20
- شكل (6.1) يوضح استطارة كومبتون ..... 20
- شكل (7.1) يوضح التأثير الكهروضوئي ..... 21
- شكل (8.1) يوضح إنتاج الزوج ..... 22
- الشكل (1.2) يوضح الأثر النووي المسجل علي شكل يشبه الشعر ..... 25
- شكل (2.2) وحدة المونمر لكشف الاثر النووي CR-39 ..... 31
- شكل (3.2) الفترة الزمنية المستغرقة لتشكيل الأثر النووي نتيجة العمليات الفيزيائية والكيميائية ..... 33
- شكل (4.2) الانفجار الايوني في تكوين الأثار في المواد الصلبة غير العضوية ..... 36
- شكل (5.2) تأثير الإشعاع علي السلاسل البوليميرية ..... 37
- شكل (6.2) وصف الهندسي لبعض المتغيرات الأثر النووي المحفور ..... 39
- شكل (7.2) يمثل صورة تشكل تطوير الأثر في حالة سقوط الجسيم عموديا خلال مادة الكاشف ..... 40
- شكل (8.2) رؤية الأثر بالزاوية الحرجة ..... 43
- شكل (1.3) العمليات البصرية وهي الانعكاس والانتشار والانتقال عند سقوط الضوء علي العينة ..... 46
- شكل (2.3) الظواهر الضوئية التي تحدث في العينة مثل الانكسار والامتصاص والاستضاءة والاستطارة ..... 47
- شكل (3.3) حزم الطاقة في المواد الصلبة ..... 51
- شكل (4.3) الانتقال داخل الطاقة الحزمة في المواد الصلبة (a) طاقة فجوة الحزمة المباشرة (b) طاقة فجوة الحزمة غير المباشرة, يمثل السهم العمودي عملية امتصاص الفوتون يليه السهم الجزئي انبعاث الفونون ..... 55
- شكل (1.4) طريقة التشعيع باستخدام مصدر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  ..... 58
- شكل (2.4) الفرن المستخدم في عملية التلدين ..... 59
- شكل (3.4) الجهاز المستخدم في تجفيف الأدوات ..... 61
- شكل (4.4) الأدوات المستخدمة في تحضير المحلول هيدروكسيد الصوديوم ..... 61
- شكل (5.4) حمام المائي المستخدم في عملية الحفر الكيميائي ..... 63
- شكل (6.4) الجهاز المستخدم في عملية التعرض للأشعة فوق البنفسجية ..... 65
- شكل (7.4) مطياف الأشعة فوق البنفسجية المرئية UV/VIS spectrophotometer ..... 66
- شكل (8.4) طريقة التشعيع باستخدام مصدر الكاليفورنيوم  $^{252}\text{Cf}$  ..... 66
- شكل (9.4) المجهر الضوئي المستخدم في القياسات المعملية ..... 68
- شكل (1.5) العلاقة بين الطول الموجي وطيف الامتصاص الاشعة فوق البنفسجية المرئية لكواشف الاثر النووي المعالجة حراريا وغير المعالجة حراري عند  $120^{\circ}\text{C}$  وشدة جسيمات الفا مختلفة ..... 73
- شكل (2.5) العلاقة بين  $(\ln\alpha)$  وطاقة الفوتون  $h\nu$  لكاشف الأثر النووي CR-39 و زمن تعرض

- 74..... جسيمات ألفا مختلفة من sec (1 إلى 25) شكل (3.5) العلاقة بين  $(ahv)^{1/2}$  وطاقة الفوتون  $hv$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وزمن تعرض
- 77..... جسيمات ألفا مختلفة من sec (1 إلى 25) شكل (4.5) العلاقة بين  $(ahv)^2$  وطاقة الفوتون  $hv$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وزمن تعرض
- 78..... جسيمات ألفا مختلفة من sec (1 إلى 25) شكل (5.5) العلاقة بين طاقة فجوة الحزمة البصرية المباشرة وغير المباشرة وزمن التلدين الحراري عند درجة  $120^{\circ}\text{C}$
- 82..... شكل (6.5) العلاقة بين طاقة الفوتون وزمن تعرض جسيمات ألفا في كواشف الاثر النووي المعالجة حرارياً وغير المعالجة حرارياً عند  $120^{\circ}\text{C}$  وفترات تلدين من 0h, 2h, 4h, 6h, 8h و10h علي التوالي
- 83..... شكل (7.5) صور فوتوغرافية للأثار النووية ( جسيمات ألفا ) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 الملدنة عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشعيع عند زمن 2h وفترات تشعيع مختلفة من 1sec إلي 25sec
- 85..... شكل (8.5) صور فوتوغرافية للأثار النووية ( جسيمات ألفا ) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 الملدنة عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشعيع عند زمن 4h وفترات تشعيع مختلفة من 1sec إلي 25sec
- 86..... شكل (9.5) صور فوتوغرافية للأثار النووية ( جسيمات ألفا ) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 الملدنة عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشعيع عند زمن 4h وفترات تشعيع مختلفة من 1sec إلي 25sec
- 87..... شكل (10.5) صور فوتوغرافية للأثار النووية ( جسيمات ألفا ) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 الملدنة عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشعيع عند زمن 6h وفترات تشعيع مختلفة من 1sec إلي 25sec
- 88..... شكل (11.5) صور فوتوغرافية للأثار النووية ( جسيمات ألفا ) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 الملدنة عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشعيع عند زمن 8h وفترات تشعيع مختلفة من 1sec إلي 25sec
- 89..... شكل (12.5) صور فوتوغرافية للأثار النووية ( جسيمات ألفا ) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 الملدنة عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشعيع عند زمن 10h وفترات تشعيع مختلفة من 1sec إلي 25sec
- 90..... شكل (13.5) العلاقة بين طيف الامتصاصية الضوئية لكاشف الأثر النووي CR-39 والطول الموجي وفترات تشعيع مختلفة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية
- 92..... شكل (14.5) توسع في قمة الامتصاص مع زيادة فترات تعرض مختلفة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية
- 92..... شكل (15.5) العلاقة بين أعلى امتصاصية طيف الامتصاص لمتصلز منفردات التشعيع بالساعات لكاشف الأثر النووي CR-39 عند أطوال الموجية (280-320) nm عند زمن التشعيع باستخدام الأشعة فوق البنفسجية... 93
- شكل (16.5) العلاقة بين  $(\ln\alpha)$  وطاقة الفوتون  $hv$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات تشعيع مختلفة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية من 0h إلي 100h
- 96..... شكل (17.5) العلاقة بين  $(ahv)^{1/2}$  وطاقة الفوتون  $hv$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات تشعيع باستخدام الأشعة فوق البنفسجية من 0h إلي 100h
- 97..... شكل (18.5) العلاقة بين  $(ahv)^2$  وطاقة الفوتون  $hv$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات تشعيع

شكل ( 19.5 ) يبين بوضوح تدريجيات لون الأثر من المظلمة إلى الباهتة بالنسبة لشظايا الانشطار وترتيب 1f , 2f , 3f , 4f بينما جسيمات ألفا تشاهد بوضوح تدريجيات لون اثارها من المظلم

إلى الباهت وكانت كالآتي  $1\alpha$  ,  $2\alpha$  ,  $3\alpha$  ,  $4\alpha$ ..... 100.....

شكل (20.5) يبين التغير في معدل الحفر الكمي في الكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات تشعيع مختلفة من 0h إلى 100h ساعة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية والحفر في محلول كيميائي هيدروكسيد الصوديوم

عيارته 6.25N..... 103.....

شكل (21.5) يبين التغير في معدل الحفر الأثر في الكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات تشعيع مختلفة من 0h إلى 100h باستخدام الأشعة فوق البنفسجية والحفر في محلول كيميائي هيدروكسيد الصوديوم

عيارته 6.25N..... 103.....

شكل (22.5) يبين التغير في حساسية الكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات تشعيع مختلفة من 0h إلى 100h باستخدام الأشعة فوق البنفسجية والحفر في محلول كيميائي هيدروكسيد الصوديوم

عيارته 6.25N..... 104.....

- جدول (1.2) يبين أنواع الكواشف البوليمر مع ذكر الاسم التجاري والعلمي لكل منها ..... 26
- جدول (2.2) يبين أنواع الكواشف العضوية وغير عضوية وتركيبها ..... 30
- جدول (1.5) يبين وقت التلدين الحراري، ومعدلات الحفر الكمي والأثر والحساسية والزيادة في معدل الحفر الكمي بالنسبة المئوية (درجة الطراوة) ..... 72
- جدول (2.5) طاقة فجوة الحزمة البصرية، وطاقة الفونون، وطاقة أورباخ، وذرات الكربون (N) في كواشف الأثر النووي البوليمر غير المعالجة حرارياً ومعالجة حرارياً والمشع عن طريق جسيمات ألفا مع فترات تعرض مختلفة. تم إجراء التلدين الحرارية عند درجة حرارة  $120^{\circ}\text{C}$  لفترات من (2h , 4h , 6h , 8h و 10h)..... 79
- جدول (3.5) يبين طاقة فجوة الحزمة البصرية، وطاقة الفونون، وطاقة أورباخ، وذرات الكربون (N) في كواشف الأثر النووي عند تعريضها للأشعة فوق البنفسجية من 0h إلى 100h ..... 95
- جدول (4.5) بارامترات الحفر الكيميائي لعينات الكاشف الأثر النووي CR-39 المشعة بالأشعة فوق البنفسجية من 0h إلى 100h والحفر الكيميائي في محلول هيدروكسيد الصوديوم لمدة 4h ..... 102

## قائمة الرموز

الرمز	المعني
$E$	طاقة الفوتون
$h$	ثابت بلانك
$\nu$	تردد الفوتون
$e$	شحنة الجسيم
$v$	سرعة الجسيم
$c$	سرعة الضوء
$\beta$	سرعة النسبية
$Z$	العدد الذري للمادة
$N$	الكثافة العددية لذرات مادة الوسط
$m_0$	كتلة السكون للإلكترون
$I^*$	طاقة التأين
$R$	مدي الأثر النووي
$V_T$	معدل حفر الأثر
$V_B$	معدل حفر الكمي
$V$	نسبة معدل الحفر
$L_e$	طول الأثر المحفور
$L$	طول الأثر من سطح الكاشف
$H$	الطبقة المزالة أثناء عملية الحفر
$L'$	عمق الأثر
$L''$	المسافة الكلية التي يقطعها المحلول
$S$	سطح الكاشف الابتدائي
$S'$	سطح الكاشف بعد عملية الحفر
$t$	زمن الحفر
$D$	قطر الأثر
$I$	شدة الشعاع الساقط
$I_0$	شدة الشعاع النافذ
$\alpha$	معامل الامتصاص
$x$	سمك مادة الكاشف
$A$	الامتصاصية
$T$	النفاذية
$B$	احتمال الانتقال
$n$	تحدد الانتقال الإلكتروني
$E_g$	طاقة فجوة الحزمة
$E_u$	طاقة أورباخ
$\varepsilon'$	طاقة الفونون
$E_i$	الطاقة الابتدائية للإلكترون في حزمة التكافؤ

$E_f$	الطاقة النهائية للإلكترون في حزمة التوصيل
$\vec{k}_i$	متجه الموجة الابتدائي للإلكترون في حزمة التكافؤ
$\vec{k}_f$	متجه الموجة النهائي للإلكترون في حزمة التوصيل
$\vec{q}$	متجه الموجة للفوتون الممتص
$\vec{k}_p$	متجه موجة الفونون المنبعث أو الممتص
$x'$	نسبة بين طول محور القطر لجسيم ألفا وطول محور القطر لشظية الانشطار
$D_\alpha$	طول محور القطر في حالة السقوط العمودي لجسيم ألفا
$D_{ff}$	طول محور القطر في حالة السقوط العمودي لشظية الانشطار
S	حساسية الكاشف
$\theta^c$	الزاوية الحرجة
$\eta$	كفاءة الكاشف

## الفصل الأول

تفاعل الإشعاعات المؤينة وغير المؤينة مع المادة

**Interaction of ionizing and non-ionizing radiation with matter**

## 1.1 مقدمة

تمتاز الإشعاعات المؤينة بقدرتها علي تأين وإثارة ذرات المادة التي تتفاعل معها , وذلك عندما تكون طاقة الحركة أو طاقة فوتونات الاشعاع أكبر من الطاقة اللازمة لإثارة الالكترونات حزمة التكافؤ ذرة المادة, لذلك تسمي هذه الإشعاعات بالإشعاعات المؤينة وتبلغ أقل طاقة تأين مقاسة لإثارة الالكترون من الحزمة  $4\text{eV}$ , وهكذا فإن يمكن أن تلاحظ أن الإشعاعات الكهرومغناطيسية التي يمكن أن تسمي إشعاعات غير مؤينة يجب أن لا يزيد طولها الموجي علي  $320\text{nm}$  وهذا يعني أنها تشمل بعض درجات أو أصناف الإشعاعات فوق البنفسجية. من خلال دراستنا لموضوع تفاعل الاشعاعات مع المادة يمكن تقسيمها الي قسمين هما الإشعاعات المؤينة حيث منشأ هذه الإشعاعات من النواة وهي جسيمات الفا وجسيمات بيتا والبروتونات والنيوترونات بالإضافة إلي عدد من الجسيمات اولية هذا لا يعني أن عناصر المجموعة الواحدة متشابهة من حيث طريقة تفاعلها مع المادة. أما الإشعاعات غير المؤينة يكون منشأها من الإشعاعات الذرية وتشمل الأشعة فوق البنفسجية. يؤدي تفاعل هذه الإشعاعات مع المادة إلي إنتاج الكترونات ثانوية, وتقوم بنقل معظم الطاقة فوتونات الاشعة إلي المادة الماصة مما يسبب تأين ذراتها . وتختلف طرق تفاعل الاشعاعات الكهرومغناطيسية مع مكونات المادة تماما عن طريق تفاعل الجسيمات المشحونة, حيث أن الجسيمات المشحونة تعطي طاقتها إلي مكونات المادة المعترضة بشكل تدريجي من خلال عدد كبير من التصادمات . أما بالنسبة لأشعة فوق البنفسجية فإنها عندما تسقط علي سطح المادة فإنه يحدث عملية امتصاص الفوتونات من خلال امتصاص هذه الفوتونات كلياً, أو استطارته خارج حزمة الأشعة مما يؤدي إلي تناقص الحزمة بشكل أسي مع ازدياد سمك المادة الماصة . تتصرف الاشعة الكهرومغناطيسية أثناء التفاعلات كما لو كانت جسيمات خفيفة ( فوتونات ) وتعطي طاقة الفوتون الواحد بالعلاقة التالية :

$$E = h\nu \quad (1.1)$$

حيث أن  $\nu$  تمثل تردد الفوتون،  $h$  ثابت بلانك.

عموماً, سوف نتناول دراسة تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة و تفاعل الاشعاع مع المادة .

## 2.1 تفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة مع المادة

### Interaction of heavy charged particle with matter

إن الجسيم الثقيل المشحون المار خلال ذرات متعادلة في المادة , يتفاعل إما بإحداث ذرات متهيجة (زوج أيونات أي أيون موجب وإلكترون سالب) وإما عن طريق رفع الإلكترون إلي أغلفة أعلي في مستوي الطاقة، فمن المفيد النظر في الطريقة التي يمكن ان توقف طاقة الجسيمات في مادة ما. والجسيمات المشحونة الثقيلة (على وجه التحديد، البروتونات، دوترونات، الأيونات الثقيلة أو جسيمات ألفا ) والجسيمات المشحونة الخفيفة (الإلكترونات و البوزيترونات) و(إشعاعات جاما، والأشعة السينية) و(الجسيمات المتعادلة كالنيوترونات ) , يختلف التفاعل باختلاف طبيعة الجسيمات الساقطة وكذلك خواص المادة الموقفة للإشعاع والتي يسري خلالها الإشعاع الساقط حتى يقف تماما في مادة الوسط ( Stopping Medium )<sup>[3]</sup> و تفقد طاقتها عن طريق ثلاث عمليات الرئيسية : -

1- القوة الكهروستاتيكية بين الجسيمات المارة والإلكترونات المحيطة بأنويه الهدف يمكن أن تؤدي إلى نزع الإلكترونات من مداراتها، أو لرفع الإلكترونات إلى مستويات أقل ارتباطاً بالنواة. هاتان العمليتان هي التأين والإثارة على التوالي.

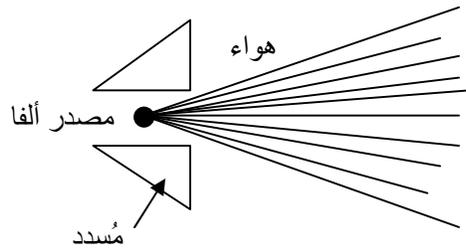
2- تباطؤ الناتج عن الجسيمات المشحونة المارة بالقرب من انويه مادة الكاشف والتي تؤدي إلى انبعث إشعاع كهرومغناطيسي هذا الجسيم الساقط يؤدي إلي استقطاب ذرات الوسط قرب مسار الجسيم المار.

3- قوة الكهروستاتيكية للجسيمات المارة ذات الطاقة العالية المتكونة مع أنويه ذرات مادة الكاشف والتي يمكن أن تنتج إزاحات لذرات الهدف من مواضعها الأصلية أو إزالتها من السلاسل الجزيئية المكونة للتركيب الداخلي لمادة الكاشف.

### 3.1 طبيعة تفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة

#### Interaction of heavy charged particle

تتفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة ( مثل جسيم ألفا ) مع المادة من خلال القوي الكولومية بين شحناتها الموجبة والشحنات السالبة للإلكترون المدارية في ذرات الممتص وعلي الرغم من إمكانية حدوث تفاعلات للجسم مع النوي ( كما هو الحال في استطرارة رذرفورد و التفاعلات المستحثة عن طريق جسيم ألفا ) إلا أن هذه الاحتمالية تبقى عادة غير ذات أهمية في استجابة كاشفات الإشعاع ، وبدلاً من ذلك فإن كاشفات الجسيمات المشحونة يجب أن تعتمد في استجابتها علي نواتج التفاعلات مع الإلكترونات. يتفاعل الجسيم المشحون عند دخوله مادة أي ممتص أنيا مع عدة إلكترونات. وفي أي من هذه التفاعلات يتم دفع الإلكترون بفعل قوة الجذب الكولومية التي يحدثها مرور الجسيم ، ويمكن أن يكون هذا الدفع كافيا لرفع الإلكترون إلي غلاف أعلي في ذرة الممتص ( إثارة excitation ) أو لتخليته تماما عن الذرة ( تأيين ionization ) ، ويكون مقدار الطاقة المنقلة إلي الإلكترون علي حساب الجسم المشحون مما يقلل سرعته. ويبلغ أقصى طاقة يمكن انتقالها من جسيم مشحون له كتلة  $m$  وطاقة حركة  $E$  إلي الإلكترون بكتلة  $m_0$  في التصادم الواحد  $4E \frac{m}{m_0}$  أو حوالي  $\frac{1}{500}$  من طاقة الجسيم لكل نيكليون ( nucleon ) وحيث أن هذا يمثل جزءا صغيرا من الطاقة الكلية فإن الجسم الأصلي سيفقد طاقته من خلال تفاعلات عديدة خلال مروره بالممتص مما يعمل علي تناقص سرعته باستمرار حتي يتوقف . ويبين الشكل التخطيطي الشكل (1.1) التالي المسارات التي تأخذها الجسيمات الثقيلة المشحونة خلال عملية التباطؤ.



الشكل (1.1) عملية التباطؤ الجسيمات الثقيلة المشحون

وتبدو هذه المسارات مستقيمة فيما عدا النهايات, وذلك لأن الجسم لا ينحرف كثيراً خلال التفاعل الواحد, والتفاعلات تكون أنية في جميع الاتجاهات . لذا تتميز الجسيمات المشحونة بمدى محدد في المادة الممتصة, ونواتج هذه التفاعلات في المادة الممتصة إما ذرات مثارة أو أزواج أيونية, حيث يتكون كل زوج أيوني من إلكترون حر وأيون موجب من ذرة الممتص التي تم تنحية الإلكترون عنها . وتميل الأزواج الأيونية إلي إعادة الالتحام لتكون ذرات متعادلة ولكن في بعض أنواع الكاشفات يتم كبت عملية إعادة الالتحام هذه كي تعمل الأزواج الأيونية كأساس لاستجابة الكاشف. أما الإلكترون فيمتلك طاقة حركة كافية لتمكينه من إحداث تأينات أخرى بنفس الطريقة وتدعي هذه الإلكترونات الثانوية أحيانا بأشعة دلتا (delta rays)<sup>[4]</sup> وهي تمثل طريقة غير مباشرة لانتقال الطاقة من الجسم المشحون إلي مادة الممتص , ويحدث فقد للطاقة الجسيم المشحون من خلال أشعة دلتا. ويعد مدى أشعة دلتا صغيراً مقارنة بمدى الجسيم الطاقة الساقط, وعليه فإن التأين المحدث سيكون قريباً من المسار الأصلي. وبمقياس مجهري فإن الأزواج الأيونية لا تظهر في المادة كتأينات فردية عشوائية إنما تميل إلي تشكيل تجمعات من أزواج أيونية متعددة موزعة علي طول مسار الجسيم.

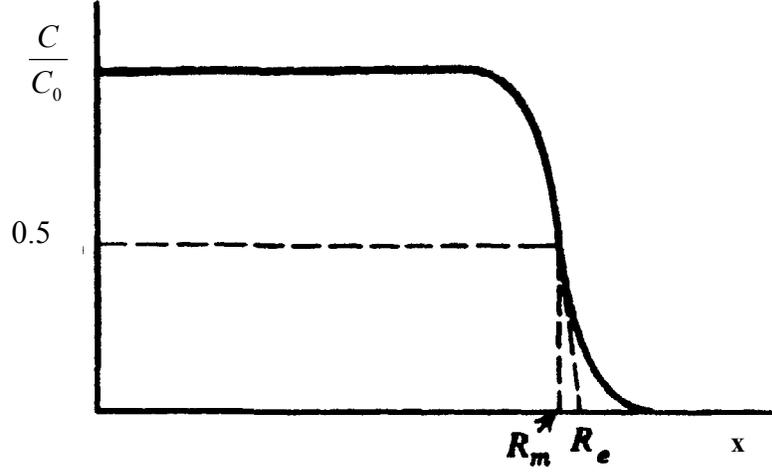
#### 4.1 مسارات جسيمات ألفا Alpha particles track

تنطلق جسيمات ألفا بطاقات محددة ( أقل من 10MeV ) وذلك علي شكل خطوط مستقيمة وعند تحرك هذه الجسيمات في المادة فإن مساراتها تتخذ خطوطاً مستقيمة وذلك لأن كتلة جسيم ألفا الكبيرة نسبياً تحدد طبيعة هذه المسارات. ولا تفقد جسيمات ألفا الكثير من طاقتها عند تصادمها مع الإلكترونات الذرية ( تفقد هذه الجسيمات حوالي 100eV لكل تصادم ينتج عنه تأين أو إثارة للذرة ). ونتيجة لكتلة جسيم ألفا الكبيرة بالنسبة لكتلة الإلكترون فإن تصادمه مع هذا الإلكترون لا ينتج عنه انحراف في مساره<sup>[60]</sup>. أما إذا تصادم جسيم ألفا مع النواة ( الثقيلة ) فإن ذلك ينتج عنه انحراف Deflection أو تغير في مسار جسيم ألفا. تحدد كتلة جسيم ألفا شكل وطول مسارها, إذ تلعب في ذلك دوراً مماثلاً لما تلعب طاقة جسيم ألفا . وبينما نجد أنه في حالة التصادم المباشر مع الإلكترون Head on Collision الذي يحدث عنده أقصى فقدان للطاقة أقل من الطاقة الكلية لأشعة ألفا ,ذلك يوضح لنا أن جسيمات ألفا تفقد طاقتها بمعدل قليل نسبياً. وقد وجد أن احتمال حدوث التصادم المباشر السابق هو قليل جداً مما يمكن معه اعتبار ذلك التفاعل نادر الحدوث. وكذلك وجد أنه في حالة التصادم غير المرن Inelastic

Collision مع الإلكترونات فإن معدل فقدان الطاقة يأخذ قيماً أقل من الحالة السابقة . هذا بينما نجد أن فرصة حدوث هذا التفاعل تفوق مثلثتها الناتجة عن التصادم المباشرة. من هنا نستخلص بأن معدل فقدان جسيمات ألفا لطاقتها يكون صغير جداً وهناك احتمال أن تمتص جسيمات ألفا قبل فقدانها لطاقتها وهذا يحدث عندما تخترق هذه الجسيمات نواة المادة الممتصة ولكن هذا التفاعل أيضاً نادر الحدوث وذلك لوجود قوة التنافر الكهروستاتيكية بين جسيمات ألفا والنواة<sup>[61]</sup>. من هنا يمكن تلخيص خواص مسار جسيمات ألفا في المادة كمايلي :

- 1- مسارات جسيمات ألفا عبارة عن خطوط مستقيمة. إلا إذا اصطدمت تلك الجسيمات بالنواة فإنها تنحرف بزوايا معينة عن مسارها الأصلي قد تكون أكبر من  $90^\circ$  .
- 2- يتعرج مسار الجسيمات فقط بالقرب من نهايته.
- 3- جسيمات ألفا المتماثلة الطاقة لها مسارات ذات أطوال متساوية تقريباً.
- 4- تتفاوت أطوال مسارات جسيمات ألفا.
- 5- لا يمكن أن تمتص جسيمات ألفا خلال مساراتها .

عندما تقترب جسيما ألفا من نهاية مسارها تكون قد فقدت الكثير من طاقتها وتبدأ في التباطؤ وهنا قد تستطيع الإلكترونات أن تتجنب التصادم مع جسيمات ألفا. ويرجع ذلك لسرعة هذه الإلكترونات في مداراتها التي تفوق كثيراً سرعة جسيمات ألفا، وعندما تهبط طاقة جسيمات ألفا إلي حوالي 1MeV تصبح سرعتها صغيرة وهنا من الممكن لها أن تأسر الإلكترونات الذرية التي تصادفها. ومن ثم تتحول جسيمات ألفا إلي أيونات أو ذرات ( متعادلة ) للهليوم. وهنا تبدأ في التصادم المباشر مع ذرات المادة الممتصة حتي تصل إلي حالة الاستقرار الحراري مع المادة. وحيث إن التصادمات الذرية ذات طبيعة إحصائية أي عشوائية فإن جسيمات ألفا تبدأ في التفرّق Scattering مما ينتج عنه انحناءات في نهاية مساراتها وذلك ما يطلق عليه بالانتشار أو Straggling كما في الشكل (2.1)



الشكل (2.1) مسار جسيم ألفا في المادة الممتصة

وحيث أن  $R_m$  متوسط المدي و  $R_e$  تشير الي استقرار المدي و  $C$  عدد جسيمات ألفا الساقطة في المادة الممتصة و  $C_0$  عدد جسيمات ألفا النافذة من المادة

### 5.1 قدرة الإيقاف للأيونات الثقيلة داخل المادة

#### stopping power of heavy ions in the matter

تعرف قدرة الإيقاف الخطي  $S$  للجسيمات المشحونة في ممتص بأنها فقدان الطاقة التفاضلي للجسيم بالنسبة للطول التفاضلي للمسار داخل المادة

$$S = - \frac{dE}{dx} \quad (2.1)$$

وتدعي القيمة  $-\frac{dE}{dx}$  أيضا بفقدان الطاقة النوعي ( specific energy loss )، ويطلق عليه أحيانا

تعبير معدل فقدان الطاقة ( rate of energy loss )، وتعرف العلاقة التقليدية التي تصف فقدان الطاقة

النوعي بصيغة بيت (Bethe formula)<sup>[4]</sup>

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 z^2}{m_0 v^2} NB \quad (3.1)$$

حيث أن

$$B \equiv Z \left[ \ln \frac{2m_0 v^2}{I^*} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]$$

حيث:  $\beta = \frac{v}{c}$

ze: شحنة الجسيم الثقيل

v: سرعة الجسيم الثقيل

N: الكثافة العددية لذرات مادة الوسط

Z: العدد الذري للمادة الممتصة

$m_0$ : كتلة السكون للإلكترون

$I^*$ : متوسط جهد التأين والإثارة في المادة المار بها الجسيم

بالنسبة للجسيمات المشحونة اللانسيبية (nonrelativistic) حيث  $v \gg c$  فإن الحد الأول في B هو المهم فقط. وبصفة عامة يمكن اعتبار المعادلة (3.1) صحيحة بالنسبة لجميع أنواع الجسيمات علي أن تبقى سرعتها كبيرة مقارنة بسرعات الإلكترونات المدارية في ذرات الممتص. ويتغير التعبير للعامل B في المعادلة (3.1) ببطء مع طاقة الجسيم وبالتالي يمكن أن يستدل علي الشكل العام لـ  $\frac{dE}{dx}$  من

سلوك عامل التضاعف, ونري أن  $\frac{dE}{dx}$  لجسيم لا نسبي تتغير مع  $1/v^2$  أو عكسيا مع طاقة الجسيم وهذا

السلوك يمكن تفسيره علي أن الزمن الطويل الذي يقضيه الجسيم المشحون منخفض السرعة

بجوار أي إلكترون مؤدياً ذلك إلي دفع أكثر للإلكترون وبالتالي انتقال طاقة أكبر وبمقارنة جسيمات مشحونة لها نفس السرعة فإن العامل الوحيد الذي ربما يتغير خارج الحد اللوغاريتمي في المعادلة (3.1) هو  $Z_1^2$  الموجود في البسط , ولذا فإن فقدان الطاقة النوعي سيكون الأكبر بالنسبة للجسيمات بشحنات أكبر، فعلي سبيل المثال ستفقد جسيمات ألفا طاقتها بمعدل أكبر من بروتونات بنفس السرعة ولكن أقل من الأيونات عالية الشحنة . وفي حالة مقارنة مواد مختلفة كمتصات نجد أن  $\frac{dE}{dx}$  تعتمد أولاً علي  $NZ_1$  خارج الحد اللوغاريتمي , ويمثل الجزء  $NZ_1$  الكثافة الإلكترونية في المادة الممتصة . فقد أمكن حساب قوة الإيقاف بطريقة ميكانيكا عند تصادم جسيمات ألفا مع الإلكترونات كما في الشكل (3.1) فإذا ما تحرك الجسيم مسافة قدرها  $dx$  في مادة ما عددها الذري  $Z_2$  وتحتوي  $N$  ذرة في وحدة الحجم فإنه يتفاعل مع عدد من الإلكترونات تقدر بـ  $NZ_2 \cdot 2\pi b db \cdot dx$  وإذا كان المعامل التصادم  $b$  (أقرب مسافة بين جسيم ألفا و النواة ) يقع بين  $b$  و  $b + db$  وتكون الطاقة المفقودة بالعلاقة :

$$-\frac{dE}{dx} = \int_{b_{\min}}^{b_{\max}} \frac{2Z_1^2 e^4}{m_0 b^2 v^2} NZ_2 \cdot 2\pi b db \quad (4.1)$$

$$= \frac{4\pi Z_1^2 e^4}{m_0 v^2} NZ_2 \ln \frac{b_{\max}}{b_{\min}} \quad (5.1)$$

ويمكن تعيين  $b_{\max}$  عن طريق طاقة التأين ( $I^*$ ) بالعلاقة التالية:

$$I^* = \frac{2Z_1^2 e^4}{m_0 v^2 b_{\max}^2} \quad (6.1)$$

ومنها فإن

$$b_{\max} = \sqrt{\frac{2Z_1^2 e^4}{m_0 v^2 I^*}} \quad (7.1)$$

ولتعيين قيمة  $b_{\min}$  نفترض أن اقصى سرعة يمكن أن يكتسبها الإلكترون في حالة التصادم المباشر عندما يساوي عامل التصادم  $b_{\min}$  هي  $(2v)$ . وبالتالي فإن طاقة حركته المكتسبة تساوي  $\frac{1}{2}m_0 v^2$

وبالتالي يمكن تطبيق الميكانيكا الكلاسيكية علي الحركة نجد أن :

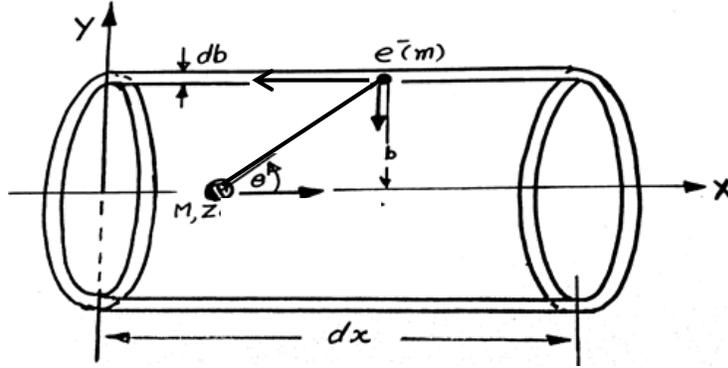
$$\frac{1}{2}m_0(2v)^2 \approx \frac{2Z_1^2 e^4}{m_0 v^2 b_{\min}^2}$$

ومنها نجد أن  $b_{\min}$  تعطي بالعلاقة

$$b_{\min} \approx \sqrt{\frac{Z_1^2 e^4}{m_0^2 v^4}} \quad (8.1)$$

بالتعويض في المعادلة (5.1) تصبح

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi Z_1^2 e^4}{m_0 v^2} NZ_2 \ln \frac{2m_0 v^2}{I^*} \quad (9.1)$$



الشكل (3.1) تفاعل جسيم مشحون ساقط علي الالكترتون مداري

## 6.1 Total energy loss الكلي للطاقة

علي وجه العموم مهم فقط للجسيمات المشحونة الخفيفة (الإلكترونات)، يعتمد أساساً تكون الأثر في الكواشف الصلبة للأثر النووي علي فقدان الطاقة نووياً وإلكترونياً خلال الوسط وأن الفقد الكلي للطاقة يعطي من خلال المعادلة :

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{total} = \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{elect} + \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{nucl} \quad (10.1)$$

حيث أن الحد  $\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{elect}$  يشير إلي فقدان الطاقة بواسطة إلكترونات ذرات الهدف والحد الثاني  $\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{nucl}$  يشير إلي فقدان الطاقة بواسطة نواة ذرة الهدف .

## 7.1 فقدان الطاقة نووياً Nuclear Energy Loss

عندما تكون طاقة الأيونات الساقطة في مدي MeV تتطير بواسطة قوة كولوم والتي تنتج من الشحنة الموجبة للأنوية المشحونة لذرات الهدف, هذه الحالة تعرف بتشتت راذرفور مع مقاطع عرضية مختلفة تعطي بالمعادلة التالية :

$$d\sigma(E, W) = \frac{\pi Z_1^2 Z_2^2 e^4}{(4\pi\epsilon)^2 E} \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \frac{dW}{W^2} \quad (11.1)$$

حيث أن

$d\sigma(E, W)$  تمثل مساحة المقطع العرضي التفاضلي للطاقة المنقولة

$Z_2, Z_1$  الأعداد الذرية للجسم الساقط وللمادة الموقفة علي الترتيب

$W$  احتمال التشتت ،  $M_1, M_2$  الكتل للجسيم الساقط ونواة الهدف علي الترتيب

$E$  طاقة الجسيم الساقط ،  $\epsilon$  نفاذية الوسط

عندما يصبح الأيون الساقط متعادلاً تماماً أي عندما تكون قوي التنافر الكولومية بينه وبين ذرات الهدف ناتجة من تداخل الإلكترونات المدارية والتي تظهر بسرعة عالية جداً عند مسافة فصل صغيرة ، هذا النوع من التشتت يعرف بالكرة الصلبة وطبقاً لذلك تأخذ مساحة المقطع العرضي التفاضلي بالعلاقة التالية :

$$d\sigma(E, W) = 4\pi R^2(E) \frac{dW}{W_{\max}} \quad (12.1)$$

حيث أن  $R$  نصف القطر المؤثر للكرة الصلبة،  $W_{\max}$  طاقة الانتقال العظمي والتي تعطي بالعلاقة التالية :

$$W_{\max} = \frac{4M_1M_2}{(M_1 + M_2)^2} E \quad (13.1)$$

حيث أن تشتت رادفورد يأخذ قيمة صغيرة من الطاقة المنتقلة كما هو مبين في المعادلة (11.1) بينما احتمالية التشتت في حالة الكرة الصلبة تساوي القيم ما بين  $W$  و  $W_{\max}$  إذا اعتبرنا أن الأيونات ذات طاقة حوالي 1MeV فإن طاقة الفقد الإلكترونية تكون هي السائد والأيونات تفقد طاقتها بواسطة التفاعل الكولومي وتنتقل الطاقة إلي الإلكترونات المدارية في ذرات الهدف.

### 8.1 فقدان الطاقة إلكترونياً Electron energy loss

طاقة الايونات الثقيلة تكون في مدي 1MeV وتفقد طاقتها خلال التفاعل الكولومي مع المدارات الإلكترونية لذرات الهدف. حيث أجري العالمان Betha-Bloch حسابات أكثر تعقيداً وقام بإدخال النظرية النسبية وذلك عندما تقترب سرعة الإلكترون  $v$  من سرعة الضوء  $c$  ووضع علاقة أكثر شمولاً من المعادلة (8.1) حيث يعطي فقدان الطاقة بالعلاقة :

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 Z_1^2 Z_2 N}{m v^2} \left[ \ln \frac{2mv^2}{I^*} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right] \quad (14.1)$$

$$\beta = \frac{v}{c} \quad \text{حيث أن}$$

تبين هذه المعادلة أنه عندما تكون سرعة الجسيم صغيرة بالنسبة لسرعة الضوء فإنه يمكن إهمال الحدود المحتوية علي  $\beta$  وينتج أن :

$$-\frac{dE}{dx} \approx \frac{4\pi e^4 Z_1^2 Z_2^2 N}{mv^2} \ln \frac{2mv^2}{I^*} \quad (15.1)$$

وهذه المعادلة هي المعادلة (9.1) الغير نسبية . يتغير الحد اللوغاريتمي  $\ln \frac{2mv^2}{I^*}$  في المعادلة (14.1)

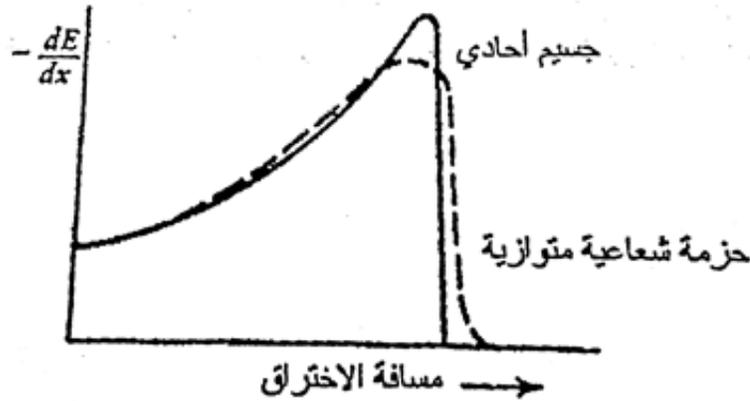
تغيراً طفيفاً بتغير  $v$  وهذا يوضح أن الحد الأكثر تأثيراً بتغير السرعة هو  $\frac{Z_1^2}{mv^2}$  . فإذا ما عبر عن

السرعة  $v$  بدلالة كتلة الجسيم الساقط  $M$  وطاقة حركته  $T$  حيث  $v^2 = \frac{2T}{M}$  وبالتعويض في المعادلة

(15.1) ينتج أن :

$$-\frac{dE}{dx} \propto \frac{MZ_1^2}{T} \quad (17.1)$$

وهذا يعني أن معدل فقدان الطاقة يتزايد كلما تباطأت حركة الجسيم وبالتالي تزداد كثافة التأين علي طول مسار الجسيم وهذه يفسر الزيادة الواضحة في التأين النوعي لجسيم ألفا بالقرب من نهاية المسار وذلك ما يوضحه شكل (4.1)



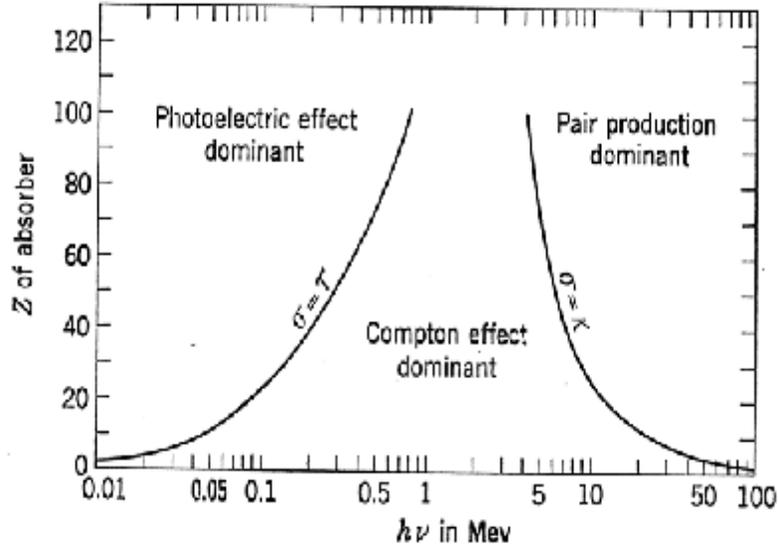
الشكل (4.1) فقدان الطاقة النوعي علي امتداد مسار ألفا

## 9.1 تفاعل الإشعاع مع المادة

الإشعاع طاقة تطلق في شكل موجات أو جسيمات صغيرة من مادة ما وله أشكال عديدة مثل أشعة الضوء و الأشعة السينية وأشعة جاما وإشعاع يطلقه الإلكترون المرتبط في ذرة. عندما يخترق الإشعاع المادة فإن كلا من طبيعة الإشعاع وتكوين هذه المادة تؤثر على ما يحدث داخل المادة. وتبدأ عملية نقل الطاقة من الإشعاع إلى الذرات والجزيئات المادة. وتبدأ عملية التعديل في هيكل النهائي لهذه المادة. كما يتضمن تفاعل الإشعاع مع المادة، وعلى وجه الخصوص غلاف الذرة بشكل منفصل، تفاعلات المادة مع كل من الفوتونات (أشعة جاما والأشعة السينية و الأشعة فوق البنفسجية) [5].

## 10.1 أنواع تفاعلات الفوتون مع المادة

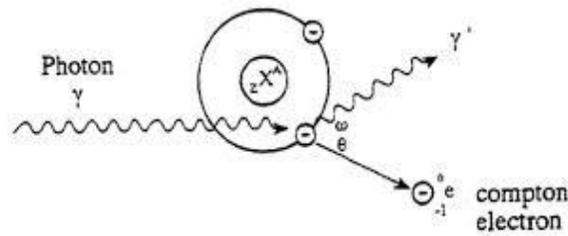
لأن الفوتونات تمر من خلال المادة، فإنها تتفاعل مع ذرات هذه المادة. يعتمد نوع التفاعل المناسب على كل من طاقة الفوتونات والعدد الذري ( $Z$ ) للعناصر التي تتألف منها المادة. تستخدم أشعة جاما الطاقات في حدود  $50\text{keV}$  و  $500\text{keV}$ ، تفاعل كومبتون هو النوع السائد من التفاعلات في المواد ذات الأعداد الذرية المنخفضة، التأثير الكهروضوئي هو النوع السائد من التفاعلات في المواد ذات الأعداد الذرية المرتفعة، مثل الرصاص ( $Z = 82$ ). وهناك نوع ثالث من التفاعل بين الفوتونات مع المادة، إنتاج الزوج، ويحدث في حالة الطاقات العالية جداً للفوتونات (أكبر من  $1020\text{keV}$ ) [5]. الشكل (5.1) يصور النوع السائد من التفاعلات لمجموعات مختلفة من الفوتونات الساقط والأرقام الذرية الممتصة.



الشكل (5.1) نوع السائد من التفاعلات لمجموعات مختلفة من الفوتونات الساقط والأرقام الذرية الممتصة.

### 1.10.1 استنطارة كومبتون Compton scattering

في استنطارة كومبتون الفوتون الساقط ينقل جزء من طاقته إلى الإلكترونات الغلاف الخارجي أو الإلكترونات "الحرّة"، وطرده خارج الذرة. الإلكترون المتحرر يسمى إلكترون كومبتون. الشكل (6.1) استنطارة الفوتون بزواوية يعتمد على كمية الطاقة منقولة من الفوتون إلى الإلكترون. وزاوية الاستنطارة يمكن أن تتراوح بين ما يقرب من  $0^\circ$  إلى  $180^\circ$ .



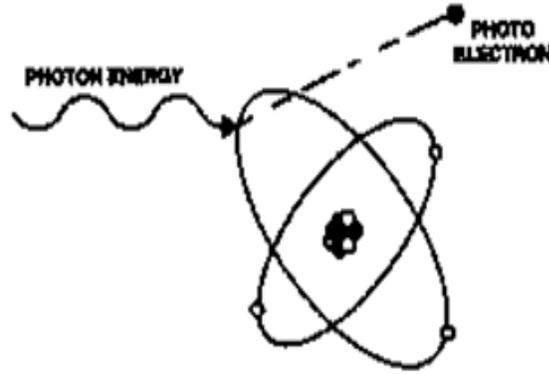
الشكل (6.1) يوضح استنطارة كومبتون

## 2.10.1 تأثير الكهروضوئي Photoelectric Absorption

أشعة جاما ذات الطاقة منخفضة، أو تلك التي تفقد معظم طاقتها من خلال تفاعلات كومبتون، قد تنقل ما تبقى من الطاقة إلى الإلكترون الذي يوجد في الغلاف الداخلي. وهذا يسمى بعملية التأثير الكهروضوئي والإلكترون المنبعث يسمى بالإلكترون الضوئي الشكل (7.1). هذا الإلكترون يترك الذرة مع طاقة تعادل طاقة أشعة جاما الساقطة مطروح منها طاقة ترابط الإلكترون. ويعبر عنها بالمعادلة التالية :

$$E_e = h\nu - \phi \quad (18.1)$$

$E_e$  طاقة الحركة للإلكترون المنبعث ,  $h\nu$  طاقة الفوتون الساقط ,  $\phi$  طاقة ترابط الإلكترون في مداره الذري.

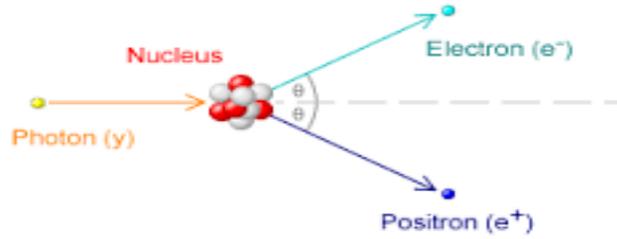


الشكل (7.1) يوضح التأثير الكهروضوئي

## 3.10.1 إنتاج الزوج Pair Production

إذا ما زادت طاقة الفوتون الساقط عن  $1.02\text{MeV}$  وهذه القيمة عبارة عن ضعف طاقة السكون للإلكترون ، فإنه من المحتمل أن يتفاعل الفوتون مع المجال الموجب لنواة الذرة الممتصة وتستغل طاقة الفوتون كلية لإنتاج زوج إلكترون ( بوزيترون وإلكترون ). وحدث هذه العملية يتطلب حدا أدنى من الطاقة وهو  $1.02\text{MeV}$  أما من الناحية العملية فإن احتمالية هذا التفاعل تبقى منخفضة جدا حتي تقارب طاقة الفوتون الساقط ضعف هذه القيمة، ولذا فإن هذا التفاعل يخص الفوتونات عالية الطاقة. وطاقة

الفوتون الساقط التي تزيد عن الحد الأدنى اللازم لحدوث التفاعل , تكون من نصيب البوزيترون والالكترون علي هيئة طاقة حركة لكل منهما . وكلاهما يفقد طاقة حركته من خلال عملية التأين والإثارة الشكل (8.1) .



الشكل (8.1) يوضح إنتاج الزوج

### 11.1 تأثير الإشعاع الكهرومغناطيسي على مادة الكاشف البوليمر

أن الكاشف البوليمر يتكون من وحدات صغيرة تكون مرتبطة مع بعضها بروابط تساهمية تغلب عليها رابطة H-C السهلة الكسر عند تعرضها للإشعاع مما ينتج عنها سلاسل بوليميرية صغيرة ذات نهايات فعالة متأينة تسمى الجذور الحرة والتي لها القابلية علي التفاعل فيما بينها أو مع الجزيئات الأخرى. إن سقوط الإشعاع علي البوليمر يؤدي إلي تهيج هذه الجزيئات وتأيينها وبالتالي قطع الروابط بينها وإحداث تلف في مادة الكاشف البوليمر لا يزول في الظروف الاعتيادية ويعرف هذا الاثر المخزون بالأثر الخفي. إن المناطق التالفة بتأثير الإشعاع المؤين تظهر قابلية أكبر علي التفاعل مع المحاليل القلوية مثل هيدروكسيد الصوديوم مقارنة بالمناطق السليمة . لذا فإن المحلول الكيميائي يخترق المناطق المشععة بسرعة محدثاً أثراً يزداد عمقه مع زيادة زمن الحفر ويمكن مشاهدة الأثر الخفي للإشعاع بعد إظهاره تحت المجهر. إن تأثير الإشعاع علي البوليمرات هو إما انحلالها ويشمل هذا النوع من التفاعلات تحطم الروابط الكيميائية بين الذرات في السلاسل الرئيسية للبوليمر مؤدياً إلي فقدان لدونتها أو مطاوعتها أو قوة تركيبها ويقل وزنها الجزيئي، ويتفكك البوليمر إلي جذور حرة أو جذور وايونات حرة ،والجذور

الحررة هي التي تدخل بنسبة اكبر في التفاعلات الكيمائية والناج النهائي لهذه التحوالات هو بوليمرات ذات أشكال خطية أو متفرعة أو متشابكة أو متصلده، فإذا تمكنت الجذور الحررة من الحركة وإعادة الالتحام مع جذور أخرى أو مع السلسلة الرئيسية فسيحصل تشابك للسلاسل الجزيئية مع بعضها البعض بروابط بينية متقاطعة لينتج عنها في النهاية تراكيب شبكية معقدة التراكيب ويؤدي هذا التشابك إلى زيادة قوة الكاشف وصلادته ووزنه الجزيئي.

## الفصل الثاني

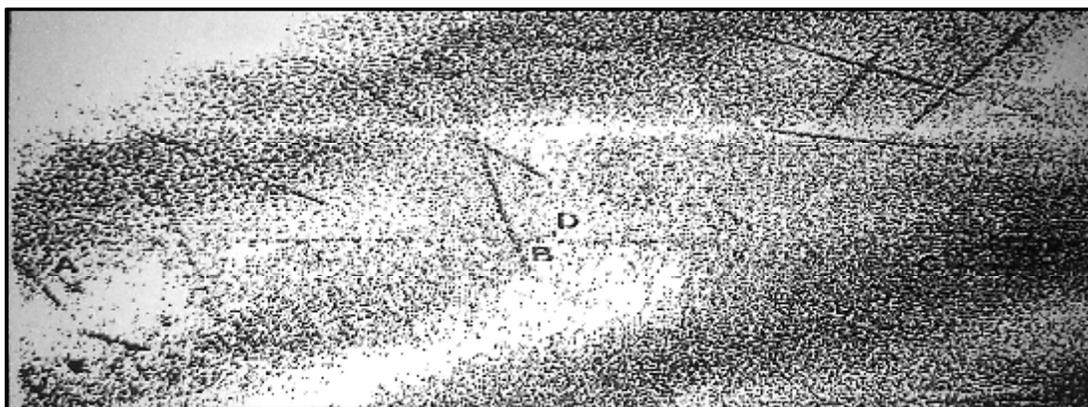
كواشف الأثر النووي الصلبة

**Solid State Nuclear Track Detectors**

## 1.2 التطور التاريخي لكواشف الأثر النووي الصلبة SSNTDs

### History of Solid State Nuclear Track Detector ( SSNTDs)

بداية تطوير كواشف الأثر النووي " SSNTDs " عن طريق اكتشاف العالم الإنجليزي D.A.Young عام 1958<sup>[6]</sup> والذي وجد أن بلورات فلوريد الليثيوم المتلاصقة مع شريحة من اليورانيوم، بعد التشعيع داخل المفاعل بالنيوترونات الحرارية وعند معالجة الكيميائية ظهرت عدد من الآثار النووية. وفي عام 1959 سجل العالمان Silk and Barnes<sup>[7]</sup> آثار الهدم الإشعاعي في الميكا بطريقة مباشرة بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني حيث سجل الأثر النووي علي شكل يشبه الشعر كما في الشكل (1.2)



الشكل (1.2) الأثر النووي المسجل علي شكل يشبه الشعر

وفي عام 1960 تمكنت مجموعة علمية رائدة (كاليفورنيا-بيركلي) Fleischer , Price<sup>[1]</sup> من تطوير تقنية الحفر الكيميائي ( Chemical Etching ) للعالم Young واستخدامها لمواد أخرى مثل الزجاج وبلورات المعادن والبوليمرات، وتابعت المجموعة السابقة عملها في ابتكار تطوير شاملاً لهذه الكواشف<sup>[8][3]</sup> ومنذ ذلك الحين أصبحت الكواشف النووية تستخدم في كثير من فروع العلم والتقنية، ولذلك أهتم الباحثون بهذه الكواشف النووية الصلبة وبالتالي تعددت أنواعها ومسمياتها كما هو معروض في الجدول (1.2).

جدول (1.2) يبين أنواع الكواشف البوليمر مع ذكر الاسم التجاري والعلمي لكل منها<sup>[9]</sup>

رقم	الاسم التجاري	الاسم العلمي	بلد المصنع
1	Bayer BN	Cellulose acetate butyrate	Bayer A.G,Germany
2	Triafol TN	Cellulose triacetate	Bayer A.G,Germany
3	Makrofol	Polycarbonate	Bayer A.G,Germany
4	Daicel	Cellulose nitrate	Kanematsu Goshu, USA, Daicel Ltd.Japan
5	CA80-15	Cellulose nitrate	Kodak Pathe,France, Eastman Kodak,USA
6	Cellit-T	Cellulose triacetate	V.E.BFilmfabriki,Germany
7	Lexan	Polycarbonate	General Electric Plastic Dept.,USA
8	Cornar	Polyethylene Terephthate	E.Idupont de Numours&Co,Germany
9	Hottaphan	Polyethylene Terephthate	KalleA,G,Germany
10	Melinex	Polyethylene Terephthate	Imperial Chemical Industries, UK
11	Larsen	Polyethylene Terephthate	Imperial Chemical Industries ,Russia
12	CN-85	Cellulose Nitrate	Kodak Pathe, France
13	LR-115	Cellulose Nitrate	Kodak Pathe, France
14	CR-39	AllylDiglycol Carbonate	PersshoreMouldings,UK,Fukuvi Chemicals , Japan
15	PM-355	New super grade CR-39 Plastic	PersshoreMouldings,UK,Fukuvi Chemicals , Japan
16	SR-90	Diethylene glycol allyl carbonate	Fukuvi Chemicals, Japan

## 2.2 كواشف الأثر النووي الصلبة Solid State Nuclear Track Detectors

تختلف أجهزة الكشف عن الأشعة باختلاف نوع الإشعاع والتأثير الذي يحدثه في هذه الكواشف. فمنها الكواشف الغازية وتشتمل على ثلاثة أنواع رئيسية وهي كشاف غرفة التأين Ionization chamber detector وكشاف التناسب Proportional detector وعداد جيجر مولر – Geiger Muller counter وإن مبدأ عمل هذه الكواشف استند على التأين الذي يحدث للغاز في الكاشف نتيجة لتعرضه للجسيمات المشحونة أو الأشعة الكهرومغناطيسية. ومن أجهزة الكشف الأخرى عن الأشعة هو العداد الوميضي Scintillation counter الذي يعمل على مبدأ تحويل الطاقة الحركية للجسيمات أو طاقة الفوتون إلى ومضات ضوئية وذلك بالاعتماد على خواص المواد العضوية أو غير العضوية لمادة الكاشف التي تقوم بإطلاق ومضات ضوئية عندما تسقط عليها الأشعة. وهناك أيضا كواشف أشباه الموصلات Semiconductor detectors التي تعمل وفق مبدأ إنتاج أزواج من الإلكترونات والفجوات نتيجة لسقوط الجسيمات المشحونة على منطقة النضوب لهذه الكواشف كما في كاشف الحاجز السطحي Surface - Barrier detector والتي تعد من الكواشف الجيدة للكشف عن جسيمات ألفا<sup>[3]</sup>. وقد ظهرت في الآونة الأخيرة كواشف الأثر النووي الصلبة والتي هي مواد صلبة عازلة كهربائيا لها القابلية على خزن تأثير الإشعاعات الجسيمية المؤينة على شكل تلف ( ضرر) في تركيبها الداخلي والاحتفاظ بها لفترات طويلة. إذ يمكن مشاهدة مناطق التلف أما باستخدام المجهر الإلكتروني مباشرة أو باستخدام المجهر الضوئي بعد معاملتها ببعض المحاليل الكيميائية الكاشفة. حيث إن هذه المواد المخصصة للحفر الكيميائي تهاجم المناطق التي تعرضت للإشعاع (المناطق التالفة) بمعدل أكبر من المناطق السليمة لأن هذه المناطق أكثر هشاشة من المناطق التي لم تتعرض للإشعاع لامتلاكها طاقة حرة أكبر من المناطق السليمة بسبب سقوط الجسيمات المشحونة عليها. إذ يزداد معدل مهاجمة المواد الكيميائية للمادة كلما قل وزنها الجزيئي مما يؤدي إلى تحللها Degrade بشكل كبير. إن هذه المواد الكاشفة للإشعاع النووي تستطيع الكشف عن الجسيمات المشحونة الثقيلة والتي كتلتها أكبر من كتلة الإلكترونات مثل البروتونات وجسيمات ألفا وشظايا الانشطار.

لقد اتسعت وتعددت مجالات استخدام كواشف الأثر النووي الصلبة بشكل كبير لما تمتلكه من خصائص ومميزات أهمها :-

- 1- سهولة استعمالها وانخفاض كلفتها، كما أن عملية كشف الآثار وإظهارها عملية سهلة
  - 2- عدم الحاجة إلى مصدر للطاقة الكهربائية مما يجعلها مناسبة تماماً لعمليات يتعذر استخدام الأجهزة الإلكترونية فيها ،كقلب المفاعل النووي والأبحاث الفضائية والكشف عن المستويات المنخفضة من الإشعاع ولفترات زمنية طويلة.
  - 3- لها القابلية على الاحتفاظ بالآثار عند خزنها لمدة طويلة من الزمن عند الدرجات الحرارية الاعتيادية أو درجة حرارة الغرفة، وبالمقابل فإن الدرجات الحرارية العالية تعمل على تلاشي عدد من الآثار المتكونة في هذه المواد مما يؤدي إلى نقصان عددها.
  - 4- لها حساسية وكفاءة عاليتين كما في المايكا والكواشف البلاستيكية لذا فهي تستخدم في قياس كثافة تيار وجرعة النيوترون وذلك بقياس الآثار التي تخلفها البروتونات المرتدة نتيجة لتصادمها مع النيوترونات أو عن طريق جسيمات ألفا .
  - 5- لا تذوب في المحاليل الكيميائية بسبب تجانسها وتناظرها العالين إذ أن المحاليل الكيميائية الكاشفة لا تستطيع إذابتها ولكنها يمكن أن تقلل من سمكها عن طريق عملية التحلل Degradation.
  - 6- لها القابلية على قياس مدى عالٍ من الجرعات.
- إن الخصائص العملية لهذه الكواشف مثل توافرها وسهولة استخدامها وانخفاض كلفتها أدت إلى استخدامها بشكل كبير في الكثير من المختبرات ومن قبل العديد من الباحثين وفي مجالات تطبيقية مختلفة منها استخدامها في مجال الفيزياء النووية، وفيزياء البلازما<sup>[10]</sup> وفيزياء الأرض<sup>[8]</sup>.
- كما استخدمت في مجال الطب وعلوم الحياة<sup>[11]</sup> ومجال فيزياء الفلك وعلم الفضاء ودراسة الأشعة الكونية القادمة من أعماق الفضاء إلى جو الأرض .

## 3.2 أنواع كواشف الأثر النووي الصلبة

تنقسم كواشف الأثر النووي إلى قسمين رئيسيين هما الكواشف غير العضوية والكواشف العضوية فالكواشف غير العضوية هي التي لا يدخل في تركيبها عنصري الكربون والهيدروجين، ومن أبرز أنواع هذه الكواشف المايكا، إذ يستخدم لتسجيل آثار النيوترونات وشظايا الانشطار ويمتاز بحساسيته العالية للجسيمات المشحونة ذات الكتلة الأكبر من 30u ويتميز باستقراره العالي عند تسجيله للجسيمات المشحونة حتى درجة الحرارة 400°C فضلاً عن أن كاشف المايكا يحتوي على ذرات اليورانيوم والثاليوم مما يسبب خلفية إشعاعية عالية بعد الحفر إذ يستخدم محلول حامض الهيدروفلوريك HF بتركيز يتراوح من (20 - 40%) عند درجة حرارة الغرفة في عملية الكشف<sup>[3]</sup>. أما كاشف الزجاج فإنه يعد من الكواشف الجيدة في الكشف عن النيوترونات وبخاصة في المفاعلات النووية وذلك لتحمله درجات الحرارة العالية وقابليته على تحسس شظايا الانشطار ويمتاز بنفس المواصفات التي يمتلكها المايكا ويتم إظهار الآثار بنفس الطريقة كما المايكا. أما الكواشف العضوية وهي عبارة عن مواد بوليمرية، والبوليمرات هي جزيئات كبيرة متكونة من وحدات صغيرة متكررة ومرتبطة مع بعضها تدعى مونومر Monomer وتتكون وحدات المونومر في معظم اللدائن من ذرات مرتبطة مع بعضها برابطة تساهمية تغلب عليها رابطة هيدروجين كربون (H-C) وتشتمل البوليمرات العضوية على مركبات تحتوي فضلاً عن ذرات الكربون والهيدروجين والأوكسجين والنتروجين على الكبريت والهالوجينات مع العلم أن أغلب الروابط التي تربط بين هذه الذرات تكون سهلة الكسر عند تعرضها للإشعاع. ومن الكواشف العضوية المهمة والتي تستخدم في العديد من المجالات، لما تمتلكه من خصائص كشفية وتسجيلية جيدة للجسيمات المشحونة، الكاشف النووي البلاستيكي الصلب المستخدم في دراستنا الحالية

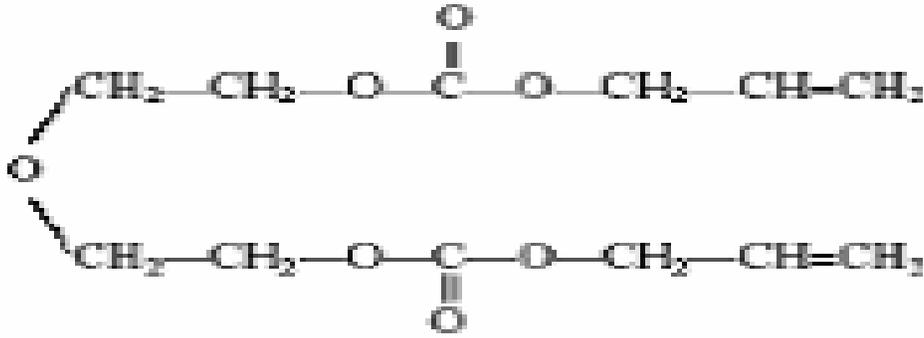
CR-39 وسنتطرق بالتفصيل إلى مواصفاته وخصائصه فيما بعد الجدول (2.2) يوضح بعض أنواع هذه الكواشف.

جدول (2.2) يبين أنواع الكواشف العضوية وغير العضوية وتركيب كل منها<sup>[12]</sup>

الكواشف العضوية		الكواشف غير العضوية	
الكواشف	تركيب	الكواشف	تركيب
Amber	$C_2H_3O_2$	Hypersthen	$Mg_{1.5} Fe_{0.5} Si_2 O_6$
Phenoplaste	$C_7H_6O$	e	$MgFeSiO_4$
Polyehtylene	$CH_2$	Olivine	$Na_2 Ca_3 Al_8 Si_{12} O_{40}$
Polystyrene	$CH$	Labradorite	$ZrSiO_3$
Polyvinylacetochloride	$C_6H_9O_2Cl$	Zircon	$Mg_{1.7} Fe_{0.3} Si_2 O_6$
Polyvinylchloride	$C_2H_3Cl+$	Bronzite	$MgSiO_3$
Polyvinyledene copolymer	$C_2H_2Cl_2$	Enstatite	$CaMg(SiO_3)_2$
Polyethelene	$C_5H_4O_2$	Diopside	$CaMg_3Fe_3Al_2Si_4O_{19}$
Terephthalate	-----	Augtite	$Na_4CaAl_6Si_{14}O_{40}$
Polyimide	$C_{11}H_4O_4N_2$	Oligoclase	$NaCa_4A_{19}Si_{11}O_{40}$
Ionomericpolythelen	$CH_2O$	Bytownite	$SiO_4$
Bisphenol A-polycarbonate	$CH_2$	Quartz	$KMg_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$
Polyxymethylene	$C_2H_3Cl$	Phlogopite	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
Polypropylene	$C_5H_8O_2$	Mica	$SiO_2$
Polvinylchloride	$C_{12}H_{18}O_7$	Muscovite	$18SiO_2:4PbO:1.5Na_2O:$
Polymehtylmethacralate	$C_3H_4O_2$	Silica Glass	$O:$
e	$C_6H_8O_9N_2$	Flint glass	$K_2O$
Cellulose Acetate	$C_{12}H_{18}O_7$	Tekite	$22SiO_2:2Al_2O_3:FeO$
Butyrate		Glass	$23SiO_2:5Na_2O:5CaO:$
Cellulose Tryacetate		Soda Lime	$Al_2O_3$
Cellulose Nitrate		Glass	$10P_2O_5:1.6BaO:Ag_2O:$
Polyallyldiglycol		Phospahte	$:$
Carbonate CR-39		Glass	$2k_2O:2Al_2O_3$

## 4.2 الكاشف الأثر البوليمر CR-39

طورت شركة Pittsburgh للزجاج هذا البوليمر في مايو 1940 ثم طورته مع الشركة التابعة لها Columbia Southern في Ohio و Barberton وأطلق علي هذا البوليمر اسم CR-39 ظهر الكاشف النووي البلاستيكي الصلب CR-39 المستخدم في دراستنا هذه عام 1978<sup>[2]</sup>. إن CR-39 عبارة عن مادة بوليمرية وهو مختصر لـ Columbia Resin. يحضر هذا الكاشف من عملية البلمرة لكاربونات الأليل دايكول المتعدد Ploy Ally diglycol Carbonate والصيغة الجزيئية له  $(C_{12}H_{18}O_7)_n$  وكثافته  $1.32\text{gm/cm}^3$ <sup>[8]</sup> وله الصيغة التركيبية الآتية كما في الشكل (2.2).



الشكل (2.2) وحدة المونمر لكشف الأثر النووي CR-39

**(Poly allyldiethyleneglycoldi carbonate)**

ومن أهم الخواص التي يتميز بها:

1. الشفافية البصرية والنقاوة العاليتين فضلاً عن تجانس مادته Homogenous وتمائل خواصه Isotropic.
2. حساسيته العالية للإشعاع ( جسيمات ألفا والبروتونات والنيوترونات) وبطاقات مختلفة فضلاً عن قابليته في تسجيل آثار البروتونات المرتدة نتيجة لتصادمها مع النيوترونات ذو الطاقات العالية التي

تتراوح ما بين (0.1- 20)MeV والتي تجعل هذا الكاشف حساساً للنيوترونات السريعة [8].

3. القدرة التحليلية العالية High Resolution.

4. لا يتأثر بالعوامل الجوية من درجة حرارة ورطوبة عند تخزينه لفترات طويلة تحت الظروف الطبيعية، ولا يذوب في المحاليل الكيميائية بل يتحلل من خلال نقصان سمكه أثناء عملية الحفر الكيميائي.

5. له استقرارية حرارية من الإحماء الحراري Thermostability , مترابط المقطع Cross-Linked ومتبلور جزئياً (Amorphous With 20% Crystalline).

ونظراً للخصائص والمميزات التي يمتلكها الكاشف CR-39 فقد استخدم في الكثير من التطبيقات والعديد من المجالات، منها استخدامه في قياس تراكيز اليورانيوم والرادون والثورون في المنازل وفي مواد البناء وفي التربة [13] والمياه والأغذية [14]. كما يستخدم في الكشف عن الجسيمات المشحونة كالبروتونات وجسيمات ألفا وأيونات الثقيلة [15] وكذلك في تسجيل الآثار الناتجة عن الأشعة الكونية وإيجاد تراكيز اليورانيوم والثوريوم في النماذج الجيولوجية. كما يستخدم الكاشف في التصوير الشعاعي الذاتي للجسم بعد حقنه بالنظائر المشعة.

## 5.2 تشكيل الأثر في البوليمرات Track Formation in polymer

يؤدي مرور الجسيمات المؤينة الثقيلة خلال المواد العازلة إلي ترك أثر ضيق من الهدم يتراوح من  $10^0$ -30 ويعرف بالأثر الخفي (latent track). في البوليمرات يؤدي الهدم الإشعاعي إلي إنتاج السلاسل جزئية مكسورة والجذور الحرة..... الخ .

يتحدد تكون الأثر الخفي بواسطة عمليتين تعرفا بتخليق العيوب واسترخاء العيوب [16].

1)تخليق العيوب The defect creation

هذه العملية يمكن أن تقسم جزئياً إلي :

(a) التفاعل الأولي للجسيمات المارة مع ذرات المواد الصلبة والتي تستغرق في زمن قصير جدا

$10^{-16}$ sec ذات طاقة 1MeV.

(b) عملية التصادم الإلكتروني التعاقبي والتي تنتشر في مسار الجسيم وتترك خلفه جسيمات مشحونة ذات شحنة موجبة تنتج جزيئات نشطة كيميائياً خارج هذا النطاق وتحدث هذه العملية في زمن  $10^{-14}$  sec.

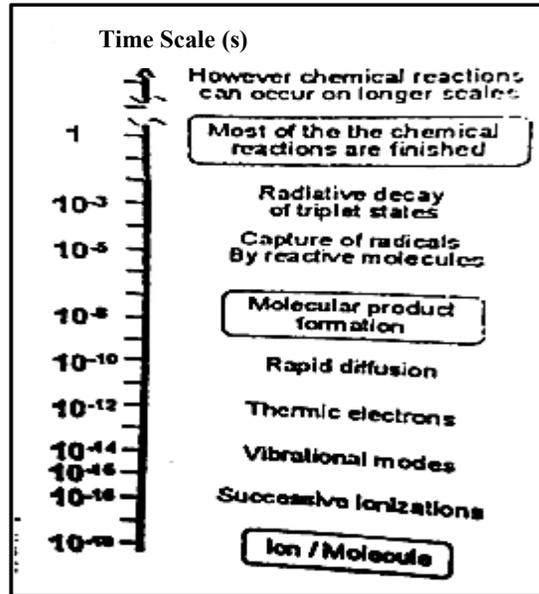
(c) التصادم الذري نتيجة للانفجار الكولومي للجسيمات المشحونة وتحدث هذه العملية في زمن  $10^{-12}$  sec.

## (2) استرخاء العيوب The defect relaxation

ويمكن تقسيمها إلي عمليتين رئيسيتين :-

(A) تجمع العيوب الذرية داخل منطقة إعادة البلمرة مركز الأثر " Track Core " في عيوب ممتدة خلال زمن  $10^{-10}$  sec.

(B) استرخاء العيوب الجزيئية من خلال تفاعل كيميائي ثانوي للجزيئات و المقطع النشطة جزئياً في مناطق إعادة البلمرة وتحدث هذه العملية في زمن 1 sec كما هو موضح في شكل (3.2).



الشكل (3.2) الفترة الزمنية المستغرقة لتشكيل الأثر النووي نتيجة العمليات الفيزيائية والكيميائية.

كذلك قام Chadderton وآخرون<sup>[17]</sup> بوضع نظرية الآثار الخفي في البوليمرات من خلال إجراء حسابات نموذجية عامة لتطوير عملية الهدم الإشعاعي. وبناءً على هذه النظرية فإن عدد الروابط المكسورة و  $n_b$  تعطي بالعلاقة التالية :

$$n_b = fA_i R_P V_b \quad (1.2)$$

حيث أن

$f$ : احتمال كسر الروابط بواسطة الطاقة المنتقلة إليها من الجسيمات المشحونة الساقطة

$A_i$  متوسط مساحة المقطع العرضي للآثار الخفية

$R_P$  متوسط طول الآثار الخفية

$V_b$  متوسط عدد الروابط المكسورة لكل وحدة حجم

الآثار الخفية يمكن رؤيتها لاحقاً بعد معالجتها كيميائياً وتكون سرعة الحفر في هذه المناطق أكبر من باقي مناطق مادة الكاشف التي لم يحدث فيها هدم .

يعتمد تشكيل الأثر الخفي latent track formation نتيجة الهدم الإشعاعي في المواد الصلبة بواسطة الجسيمات المؤينة علي :-

(1) طبيعة الجسيمات المؤينة

(2) طبيعة مادة الكاشف نفسها, وبالتالي هناك اختلافات هامة في مدي وشكل الأثر باختلاف المادة المتكون فيها الأثر النووي. حيث يقوم الجسيم المار بنقل الطاقة داخل مادة الكاشف الصلبة كوسط موقف Stopping Medium. وأن هذه العملية يمكن وصفها علي ثلاث مراحل في استجابة الوسط (الكاشف) إلي الإشعاع بواسطة الجسيمات المؤينة :

(a) المرحلة الفيزيائية : عمليات التشعيع

(b) المرحلة الفيزيوكيميائية: تتولد منتجات أولية مثل الأيونات والذرات والجزئيات المثارة (الجزئيات والذرات التي تمتلك طاقة). يتبع المرحلة الأولية تفاعلات ثانوية (تحلل بعض الجزئيات المثارة حتى يصل النظام المادي إلي الاتزان الديناميكي الحراري).

(c) المرحلة الكيميائية: تتفاعل الجذور الحرة والأيونات مع بعضها البعض وبالذرات والجزئيات الأخرى لتشكيل المنتج النهائي نتيجة التشعيع (منطقة الهدم الإشعاعي المعروف بالأثر الخفي) يوجد فروق جوهرية في نوع ومحتوي الهدم المنتج (الأثر الخفي) في المواد التي تستطيع أن تشكل الأثر بداخلها وهما نوعين رئيسيين في المواد الصلبة :

i. البلورات الغير عضوية والزجاج

ii. البوليمرات العضوية المخلفة كيميائياً

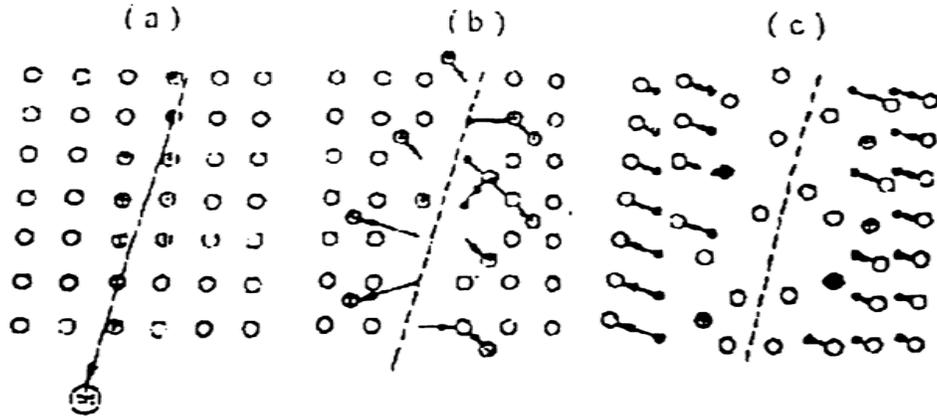
هذه الفروق تعكس مدي حساسية كلاً منهما لتكون الأثر بداخله، وتفاعل الإشعاع المؤين مع مادة الكاشف البلاستيكية والتي تنتج جزئيات مؤينة ومثارة بالإضافة إلي الإلكترونات الأولية والثانوية، بواسطة الدلائل التجريبية علي طبيعة عملية تكون الأثر.

## 6.2 كيفية تكون الأثر

لقد وجد انه في حالة المواد الصلبة العازلة ( زجاجية ، بلاستيكية) إن الجسيمات المشحونة الثقيلة تنتج آثاراً عند مرورها في تلك المواد ويمكن ملاحظة المناطق الصغيرة التالفة إما باستخدام المجهر الإلكتروني مباشرة أو باستخدام المجهر الضوئي بعد معاملتها بمادة كيميائية تعمل على حفر وإظهار مناطق التلف المتكونة. وإن نوع وشكل المنطقة التالفة ( المتضررة) لا يعتمد على متغيرات الجسيمات الساقطة ( كتلتها وطاقتها وشحنتها ) فحسب بل يعتمد على نوع المادة الكاشفة الصلبة<sup>[3]</sup>. أما حجم المناطق التالفة فيعتمد على نوع وتركيز ودرجة حرارة المحلول الحفر الكيميائي وزمن الحفر. لقد وضعت نماذج ونظريات متعددة من قبل العديد من الباحثين لتفسير تَكُون الآثار في تلك المواد وإن النظرية السائدة لتفسير تكون الأثر في المواد غير العضوية في منطقة الضرر الأساسية هي نظرية وخزة الانفجار الأيوني Ion Explosion Spike<sup>[18]</sup>. إذ يتسبب مرور الجسيمات المتأينة في المادة في تكوين منطقة تحتوي على تركيز عالٍ من الأيونات الموجبة، علماً بأن زمن إعادة اتحاد الأيونات الموجبة مع الإلكترونات يكون طويلاً نسبياً بحدود  $10^{-13}$  sec مقارنة

بزم من اهتزاز الشبكة البلورية وإن هذه الأيونات تضرب وبشدة إلكترونات الذرات المتصادمة الواقعة حول المناطق المجاورة لمسارها فتنتج منطقة إسطوانية مليئة بالأيونات الموجبة والتي تتنافر مع بعضها البعض بفعل القوة الكهروستاتيكية. فإذا كانت قوة التنافر أكبر من قوة تجاذب ذرات المادة الصلبة فإنه يحدث تشوه في الشبكة البلورية مخلفاً ورائها قلباً أسطوانياً فارغاً يمكن مشاهدته مباشرة بالمجهر الإلكتروني أو بالمجهر الضوئي بعد معالجته كيميائياً بعملية الحفر.

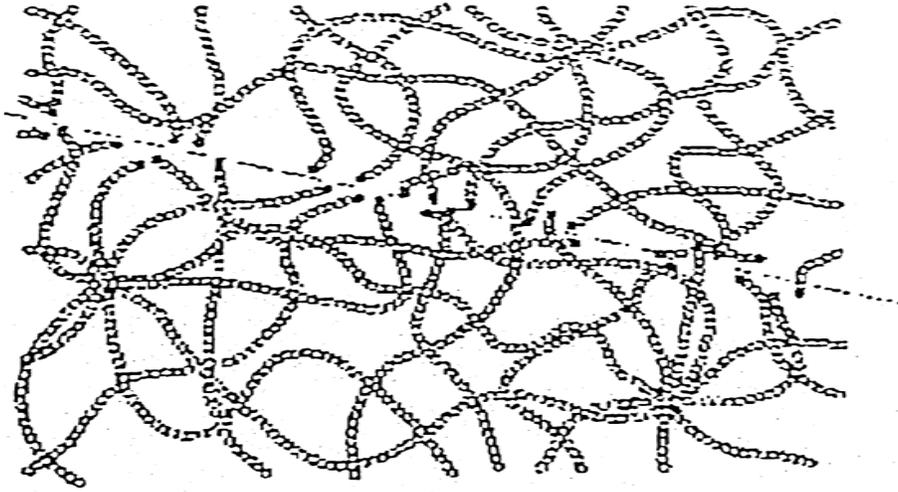
والشكل (4.2) يمثل تتابع عملية تكوين الآثار حيث يمثل (a) عملية دخول الجسيمة الثقيلة المشحونة والتي تولد تأيناً ابتدائياً للذرات على طول مسار الجسيمة ، ويلى هذه العملية مرحلة ترتيب الأيونات البينية والفجوات في مواقع الذرات نتيجة للقوة الكولومية الموجودة حول الأيونات الابتدائية التي تولدت كما في الشكل (b) و أخيراً تحدث عملية الحفر والتهديئة (c).



الشكل (4.2) يوضح الانفجار الأيوني في تكوين الآثار في المواد الصلبة غير العضوية

أما في البوليمرات والتي هي عبارة عن جزيئات كبيرة تتألف من وحدات متكررة ومرتبطة مع بعضها البعض تدعى المونومير وهذه المونوميرات تكون مرتبطة مع بعضها في معظم اللدائن رابطة تساهمية تغلب عليها رابطة هيدروجين \_كربون (H-C), وهذه الرابطة سهلة الكسر عند تعرضها للإشعاع مما ينتج عنها سلاسل بوليمرية صغيرة ذات نهايات فعالة متأينة تسمى الجذور الحرة والتي لها قابلية على التفاعل فيما بينها أو مع الذرات الأخرى. لذا فإن التأثير الرئيسي للأشعة على البوليمرات هو تحللها أو هدمها Degradation أو تشابك جزيئاتها Cross-Linking بعضها مع بعض، وهذان التأثيران يمثلان التغيرات الرئيسية في خواص البوليمر. ولهذا فإن سقوط

الإشعاع على هذه البوليمرات يؤدي إلى إثارة هذه الجزيئات وتأيينها وبالتالي قطع الروابط Bonds فيما بينها ، وإحداث تلف Damage في مادة البوليمر ولا يزول في الظروف الاعتيادية، ويعرف هذا الأثر المخزون بالأثر الخفي Latent Track. إن المناطق التالفة بالإشعاع المؤين تُظهر قابلية أكبر على التفاعل مع المحاليل القلوية مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH مقارنة بالمناطق السليمة وذلك بسبب امتلاك المناطق التالفة طاقة أكبر من المناطق السليمة، لذا فإن المحلول الكيميائي يخترق المناطق المشععة بسرعة محدثاً أثراً يزداد عمقه ويتسع قطره مع زيادة زمن الحفر ويمكن مشاهدة هذا الأثر الخفي للإشعاع المؤين بعد إظهاره تحت المجهر الضوئي والشكل (5.2) يوضح تأثير الإشعاع على السلاسل البوليمرية.



الشكل (5.2) يوضح تأثير الإشعاع على السلاسل البوليمرية

## 7.2 إظهار الآثار الخفية في البوليمرات

### Development of latent tracks in Polymers

يتم معالجة منطقة الأثر النووي الخفي (منطقة الهدم) عن طريق الحفر الكيميائي فيؤدي إلى مناطق محفورة يمكن مشاهدتها ، حيث تعتمد عملية الحفر بشكل رئيسي على معدل حفر الأثر  $V_T$  ومعدل الحفر الكمي (مادة الكاشف)  $V_B$  وهذه المتغيرات سوف تناقش بالتفصيل لاحقاً من خلال هندسة إظهار الأثر.

## 8.2 عملية الحفر الكيميائي Chemical Etching Process

تعتبر عملية الحفر الكيميائية الوسيلة الأكثر استخداماً على نطاق واسع في تحديد وتوسيع صورة الضرر الكامن أو الأثر الخفي ( latent track ) في كواشف الأثر النووي الصلبة. بشكل أساسي يتم استعمال محلول كيميائي مناسب يعمل على إزالة منطقة الأثر تدريجياً ويستخدم في كواشف الأثر النووي الصلبة محلول مائي عياري من هيدروكسيد الصوديوم وهيدروكسيد البوتاسيوم ويكون عياريته ضمن نطاق 1N إلى 12N تتم عملية الحفر الكيميائي في حمام مائي درجة حرارته عادة في حدود 40- 70 °C. المحلول القياسي عياريته 6.25N من NaOH وأحياناً يتم استخدام الإيثانول بدلاً من الماء في عملية الحفر لأنه أسرع من الماء في تآكل الأثر. من خلال المحلول الكيميائي يحدث تفاعل وتآكل منطقة الأثر المتكونة على الكاشف نتيجة سقوط الجسيمات المشحونة عليها. إن النسبة الخطية للحفر الكيميائي على طول الأثر يعين بمعدل حفر الأثر  $V_T$  والتي تكون أسرع في التفاعل مع المحلول مقارنة بباقي المادة التي لم يحدث فيها الهدم نتيجة سقوط الجسيمات المشحونة ويرمز لمعدل الحفر الكمي  $V_B$ , وهناك عوامل تؤثر على عملية الحفر هي :

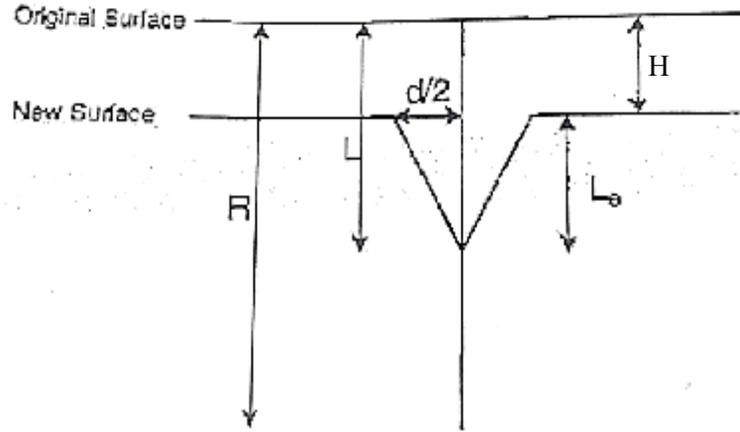
i. نوع وتركيز المحلول ( العيارية ).

ii. درجة حرارة المحلول.

iii. الزمن المستغرق في حفر الكاشف .

## 9.2 هندسة الأثر المحفور Track Etching Geometry

ويمكن وصف أثر الجسيمات الساقطة النووية على الكاشف من خلال شحنتها  $e$  وكتلتها  $M$ ، وطاقتها  $E$ . الاختلافات في هذه المعاملات الجسيمات النووية تعبر عن نفسها على أنها تغييرات في مدي الأثر النووي  $R$  ومعدل حفر الأثر  $V_T$  ( وكذلك الاختلاف في  $V_T$  مع موضعه على طول الأثر النووي) ومعدل الحفر الكمي  $V_B$ , والمعامل الأكثر قابلية للقياس هو طول الأثر المحفور المخروطي  $L_e$  و  $L$  الطول المتوقع من سطح الكاشف حيث أن  $d/2$  يمثل نصف قطر الأثر النووي على طول المحور في حالة السقوط العمودي و  $H$  الطبقة المزلة أثناء عملية حفر الكاشف, كما في الشكل (6.2).



الشكل (6.2) وصف الهندسي لبعض المتغيرات الأثر النووي المحفور

## 10.2 هندسة إظهار الأثر Geometry of track development

نتعرف علي كميات جديدة بالاهتمام في وصف إظهار الأثر, أي نمو الأثر. هناك نظريات تستطيع أن تفسر و تصف تطور الآثار, وذلك بمعرفة المعاملات تطوير الأثر [3]. إن أبسط حالات إظهار الأثر عندما تسقط الجسيمات المشحونة داخل مادة الكاشف في هذه الحالة تكون الجسيمات الساقطة بشكل عمودي علي سطح الكاشف كما هو مبين في هذا الشكل (7.2). حيث أن  $S$  سطح الكشاف الابتدائي  $S'$  سطح الكاشف بعد عملية الحفر  $V_T$  هو معدل الحفر على طول الأثر (معدل حفر الأثر)  $V_B$  هو معدل حفر في المناطق السليمة من الكاشف (معدل الحفر الكمي),  $O$  هي نقطة دخول و  $P$  هي نقطة نهاية الجسيمات في مادة الكاشف,  $OP = R$  هي مدي الجسيمات في المادة كاشف و  $D$  هو قطر الأثر. المسافة بين  $S$  و  $S'$  تساوي  $H$  أي سمك طبقة المزالة عن طريق عملية الحفر,  $L''$  هي المسافة الكلية التي يقطعها المحلول أثناء عملية الحفر على طول أثر الجسيمات,  $L'$  هو عمق الأثر. من جانب آخر إظهار الأثر هو مماثل لموجة الانتشار. وفقا لمبدأ Huyge's من حيث المبدأ, فإن كل نقطة من جهة الموجة هي مصدر موجة كروية جديدة في حالة إظهار الأثر. ونصف قطر الكرة دائرية  $H = V_B t$  (زمن الحفر) حول كل نقطة على سطح الكاشف, ماعدا اتجاه مسار الجسيمات. عندما يتزايد معدل حفر الأثر  $V_T$ . نحدد ظهور الأثر من خلال نسبة معدل



## 11.2 معدل حفر الأثر $V_T$ الثابت في حالة السقوط العمودي

### Constant track etch rate $V_T$ in the vertical fall

وهنا نشير إلى تشابه بين إظهار الأثر وانتشار الموجات وفقاً لمبدأ *Huygens* وظهور الأثر يمكن تصوره كموجة وراء مركب متحرك على سطح الماء. والفرق هو أن الموجة تشكلت وراء القارب في بعدين في حين يتم تشكيل الأثر في ثلاثة أبعاد، يمكن تبسيط عملية تشكل الأثر في بعدين حيث أن الشكل المخروطي عبارة عن دائرة يبلغ قطرها  $D$ .

فإن عمق الأثر  $L$  يعطي بالعلاقة:

$$L' = (V_T - V_B)t \quad (3.2)$$

من الشكل (7.2) نجد أن

$$\tan \delta = \frac{D/2}{L'} = \frac{V_B}{\sqrt{(V_T^2 - V_B^2)}} \quad (4.2)$$

من خلال ترتيب المعادلات السابقة، يمكن إيجاد قطر الأثر على النحو التالي :

$$D = \frac{2V_B L'}{\sqrt{(V_T^2 - V_B^2)}} \quad (5.2)$$

$$D = 2V_B \frac{(V_T - V_B)t}{\sqrt{(V_T^2 - V_B^2)}} \quad (6.2)$$

$$D = 2V_B t \sqrt{\frac{V_T - V_B}{V_T + V_B}} \quad (7.2)$$

قطر الأثر المحفور يزداد مع زيادة معدل الحفر حتى يصل إلى نهاية عظمي من  $2V_B t$  عندما تكون  $V_T \gg V_B$  وذلك حسب المعادلة (7.2) مما سبق من المعادلات يمكن تعيين معدل حفر الأثر من المعادلة (6.2) كدالة في كمية قياسية بمعنى يمكن كتابة المعادلة (7.2) كالتالي:

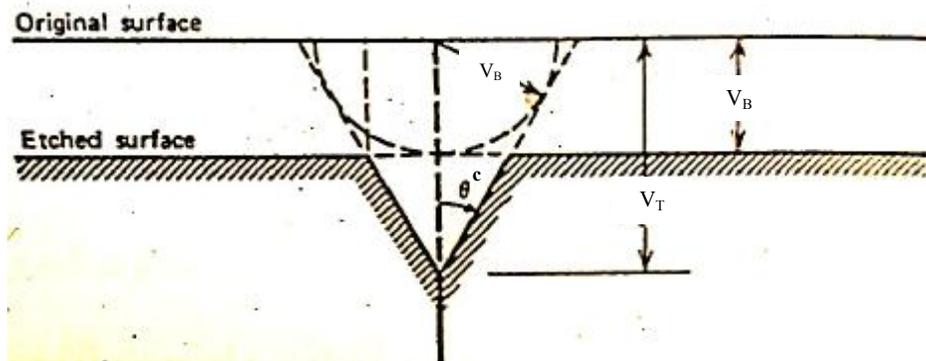
$$D = 2H \sqrt{\frac{V-1}{V+1}} \quad (8.2)$$

مما سبق يمكن تعيين  $V_T$ , بمعرفة قطر الأثر النووي و  $V_B$  التي يمكن تعيينها تجريبيا .

## 12.2 تأثير التلدين الحراري علي الخواص التسجيلية لمادة الكاشف

سوف نتناول هنا تأثيرات جدير بالملاحظة والتي تنتج عن التلدين الحراري للأثار النووية المحفورة , وبالرغم من أن السمات العامة لعملية التلدين فهمت إلي حد معقول ولكن مشكلة حساب التغيرات في تركيب الأثر كدالة في زمن التلدين ودرجة الحرارة مازالت معقدة إلي درجة كبيرة إلي يومنا هذا<sup>[18,19,20]</sup>. ووضعت بعض الافتراضات ومنها انتشار العيوب بعيداً عن لب الأثار المتكونة ونتيجة لذلك تملئ الأماكن الشاغرة بالذرات في المواقع الفارغة في الكاشف ( البلاستيك) وقد يحدث تصلح لبعض سلاسل الجزئيات المكسورة. هذا الانخفاض في تركيز العيوب سوف يخفض من سرعة الحفر الكيميائي في ذلك الجزء من الأثر المتكون يعطينا مجموعة من الشروط حول الحفر الكيميائي حتى يصل مستوي تركيز العيوب إلي عدم الحفر التفضيلي لمادة الكاشف في ذلك الوسط وكذلك احتمالية حدوث ضعف في الحفر الكيميائي للأجزاء من الأثار التي تكون أصلا أكثر ضعفاً في عملية الحفر الكيميائي. ووجد أن في حالة التشعيع تتناقص كثافة آثار الجسيمات المسجلة في الكاشف مع تزايد درجة الحرارة ووقت التلدين ويرجع السبب في ذلك إلي التغيرات في الزاوية الحرجة  $\theta^c$  حيث أن عدد الأثار المحفور كيميائيا مساوية إلي عدد الجسيمات التي تعبر سطح الكاشف بزاوية أكبر من أو تساوي الزاوية الحرجة للحفر وليس بسبب التناقص في مدي الأثر كما في الشكل (2.8). وعندما يكون التلدين شديد جدا فالالتئام التام أو الكامل لآثار هدم الإشعاع للمادة سيختفي تماما عندها يصبح الكاشف غير قادر علي تسجيل الأثار وبالتالي يقابل التأين في مادة تشكيل الأثار أكثر مقاومة للتلدين<sup>[21,22,23]</sup>. وعلي هذا النحو يتضح أن آثار الأيونات الثقيلة مقاومة أكثر للتلدين من الأيونات الأخف منها, وتأسيسا علي ذلك أصبحت دراسة التأثيرات الحرارية علي الأثار النووية مهمة جدا نظرا للتطبيقات العملية المتزايدة حيث اقترح كثير من

الباحثين علاقات نصف تجريبية لوصف سلوك التلدين علي آثار الهدم الناتج من الإشعاع في الكواشف المختلفة ولكن في الحقيقة لا توجد نظرية تنبؤية حقا للآثار المتلاشية في المعادن والزجاج وأن الحالة أكثر تعقيدا في حالة الكواشف البلاستيكية بسبب تركيبها المعقد. ومن ثم استخدمت كواشف الأثر البوليميرية CR-39 علي نحو واسع ومن إحدى التطبيقات استخدامها في قياس النيوترونات السرعة، والكاشف المثالي يجب أن يحتفظ بأكبر قدر من المعلومات حول الجرعة الممتصة وتحت الشروط البيئية المختلفة، لان عدم المعرفة بتأثيرات البيئة علي الجرعة الممتصة سيؤدي بالتالي إلي الحصول علي نتائج غير دقيقة تماما، ومن خلال استخدام كواشف الأثر النووي من الممكن تعريضها إلي درجات حرارة أعلى من مستوي درجة حرارة البيئة، ولكن بشرط أن لا تكون عملية التلدين طويلة جدا أو درجات الحرارة عالية لأنها ستعطي نتائج غير صحيحة بالنسبة إلي الكاشف CR-39 مثل تغير اللون وتكون تصدعات علي سطح الكاشف، وقد وجد أن تعريض الكاشف إلي درجات حرارة مرتفعة تسبب تغيرات جوهرية في مادته وكذلك تؤثر علي آثار الهدم المستتر<sup>[24,25]</sup>. ومن ثم يكون تأثير درجة الحرارة علي المادة وتسجيلها للآثار تعتمد علي تعريض المادة للحرارة قبل تشكيل آثار الهدم المستتر نتيجة التشعيع. في حالة تعريض العينات للحرارة ثم تشعيها سوف تؤثر الحرارة علي كل من مادة الكاشف و آثار الهدم الخفية.



الشكل (8.2) رؤية الأثر بالزاوية الحرجة

## الفصل الثالث

دراسة الخصائص البصرية في المواد الصلبة

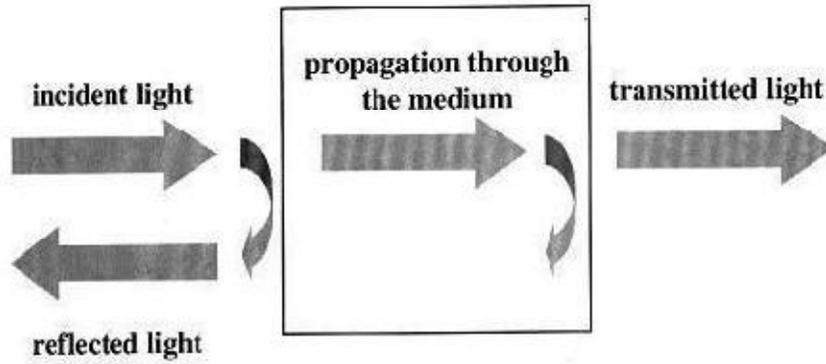
**Optical Properties of Solids**

### 1.3 مقدمة

تعد الطرق الضوئية احدى ابسط واهم الطرق التي يمكن بواسطتها تكون ذرة او جذر حر جراً تعريضه للإشعاع ذو طول موجي معين. فاذا كان للجزيئية قابلية على امتصاص طاقة الضوء فأنها سوف تثار من حالة الخمود في مستوى الطاقة الأرضي وتنتقل إلى الحالة المثارة في مستوى طاقة اعلا, وعند ذلك سوف تعاني تفككاً معيناً الى ذرات او جذور حرة. وحيث ان عدد الجذور الحرة المتكونة في زمن معين يعتمد على شدة الضوء الممتص فيكون عندئذ من السهل جداً السيطرة على الظروف اللازمة للتفاعل الضوئي. وبهذا يمكن استخدام الطرق المختلفة الملائمة في التفاعلات الضوئية لتتبع حركية تفاعل الجذور الحرة أو الذرات بالدرجات الحرارية الاعتيادية او المنخفضة, الضوء يتفاعل مع المادة في العديد من الطرق المختلفة. وتحدث هذه العمليات نتيجة تعرض التفاعل الضوئية إلى فوتونات الضوء ذات الطاقة الكهرومغناطيسية المنخفضة مثل أشعة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء. وبسبب الطاقة المنخفضة لهذا النوع من الأشعة فلا يمكن إنتاج الايونات وبالتالي تقتصر التفاعلات على الجذور الحرة والذرات فقط. يمكن الاستفادة من طيف الامتصاص الضوئي في معرفة كل التركيب العامة للبوليمر والعناصر الداخلة في تركيبه الكيميائي والتغيرات التي تحصل في تركيب البوليمرات ومراكز التلف الحاصلة فيها نتيجة التشعيع والتسخين إضافة إلى قياس الجرعة الإشعاعية لأن تأثير الأشعة في البوليمرات يؤدي إلى تأين وإثارة عدد كبير من الجزيئات ويمكن تميز نوعين من التفاعلات إذ يؤدي التفاعل الأول (التشابك) إلى ربط السلاسل مع بعضها البعض بروابط جانبية متقاطعة تنتج عنها في النهاية تراكيب شبكية معقدة التركيب يؤدي التشابك إلى زيادة قوة البوليمرات وصلابتها ووزنها الجزيئي. أما النوع الثاني (التحلل) فيؤدي إلى تحطم الروابط الكيميائية بين الذرات في السلسلة الرئيسية للبوليمر وتوليد جذور حرة وإزاحة الالكترونات والذرات. سوف نبحث في مجموعة كاملة من هذه الظواهر الضوئية .

### 2.3 تصنيف العمليات البصرية Classification of optical processes

الخصائص البصرية واسعة النطاق التي لوحظت في المواد الصلبة يمكن تصنيفها إلى عدد قليل من الظواهر العامة وأبسط المجموعات هي الانعكاس، والانتشار والانتقال<sup>[26]</sup> ويتضح في الشكل (1.3).



الشكل (1.3) العمليات البصرية وهي الانعكاس والانتشار والانتقال عند سقوط الضوء علي العينة

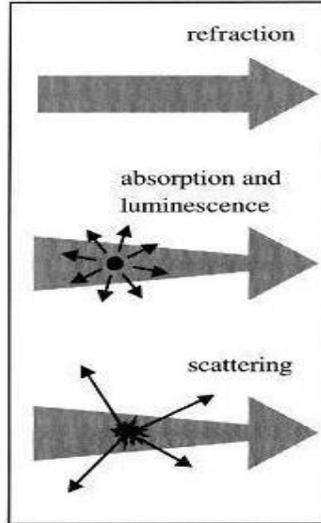
1- الانعكاس Reflection فعندما يسقط الشعاع الضوئي على وسط بصري فإن بعض من الضوء ينعكس من السطح الأمامي، فيحين أن الباقي يدخل إلي الوسط ثم ينتشر فيه. عندما يصل الضوء إلى السطح مرة أخرى، فإنه يمكن أن ينعكس مرة أخرى، أو أنه يمكن أن ينتقل من خلال الوسط إلى الجانب الآخر. كمية الضوء تعتمد علي انعكاسيته من السطوح الأمامية والخلفية وأيضا إلى الطريقة التي ينتشر الضوء منها خلال وسط.

2- الانكسار Refraction هو تغير موجات الشعاع الضوئي ونظام حركته التي تحدثها الموجات في الوسط وجزئيات هذا الوسط فتحدث حركة ذات نظام معين تنتقل عبرها الطاقة وعندما تنتقل الي وسط آخر مختلف في الكثافة الضوئية فتغير الاتجاه بسبب تغير سرعتها وتغير سرعه موجتها ويحصل الانكسار عند الاختلاف بين الوسطين وعند الانكسار يتغير الطول الموجي ولكن التردد يبقى ثابتاً.

3- الامتصاص Absorption هي عملية تمتص فيها طاقة الفوتون من قبل المادة أو اكتساب احد الكثرونات الذرة لطاقة من احد الفوتونات الساقطة علي المادة الممتصة. تعتمد خاصية الامتصاص المادة للضوء على طول موجة الضوء ، حيث توجد في ذرات المواد طبقات طاقة مشابهة لطاقة الفوتون الساقط فيمتصها أحد الإلكترونات . وهذا يؤدي إلى ظهور لون المادة التي تمتص انتقائيا بعض الأطوال الموجية وليس البعض الآخر.

4- الاستضاءة Luminescence هو الاسم العام الذي يطلق على عملية انبعاث التلقائي للضوء من الذرات المثارة في المادة الصلبة. تكون فيها الذرات في حالة إثارة قبل الانبعاث التلقائي بواسطة امتصاص الضوء. وبالتالي يمكن للاستضاءة تصاحب انتشار الضوء في وسط الامتصاص وينبعث ضوء في كل الاتجاهات ، ولها ترددات مختلفة عن الشعاع الساقط .

5- الاستطارة Scattering هي الظاهرة تحدث فيها تغير في اتجاه ضوء و تردده بعد التفاعل مع الوسط. ولكن العدد الإجمالي للفوتونات لا يتغير، ولكن يقل عدد الفوتونات في الاتجاه إلى الأمام لأنه يتم إعادة توجيهه في اتجاهات أخرى. إذا لم يحدث تغير في تردد الضوء تسمى عملية الاستطارة المرنة أما إذا حدث تغير في التردد الضوء تسمى عملية الاستطارة الغير مرنة كما في الشكل (3.2).



الشكل (2.3) الظواهر الضوئية التي تحدث في العينة مثل الانكسار والامتصاص والاستضاءة والاستطارة

### 3.3 مطياف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية

#### UV-Visible spectrophotometer

يسلك الضوء المرئي سلوك الضوء فوق البنفسجي في كثير من مظاهره حيث أن كلاهما ينتج عن امتصاصه إثارة إلكترونية في الجزيئات<sup>[27,28]</sup>. كما أن أغلب الأجهزة التي تستخدم في طرق التحليل الطيفي في مجال الأشعة المرئية هي نفسها التي تستخدم في طرق التحليل الطيفي في مجال الأشعة فوق البنفسجية لذا فقد جرت العادة على دراستهما معاً. ويغطي هذان الطيفان المجال من 200-800nm. المطيافية الإلكترونية هي أحد أنواع الدراسات الطيفية والتي تعتمد على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية أو المرئية ، ولقد سميت بهذا الاسم لأن امتصاص الأشعة في هاتين المنطقتين يؤدي إلى إثارة الإلكترونات في الجزيء الذي يمتص تلك الأشعة .

#### 4.3 الإثارة الإلكترونية

تتكون الجزيئات من ذرات كل منها يتألف من نواة ومن إلكترونات تدور حولها في مستويات طاقة محددة. فإذا امتصت الجزيئات طاقة معينة انتقلت الإلكترونات من مستوى الطاقة الأدنى ( ground state ) إلى مستوى طاقة أعلى ( excited state ) وهذا ما يدعى بالإثارة الإلكترونية. ولكي يسبب شعاع ضوئي إثارة إلكترونية ينبغي أن يكون هذا الشعاع في مجال الأشعة المرئية أو فوق البنفسجية<sup>[29]</sup>. هناك ثلاث أنواع من الإلكترونات النوع الأول إلكترونات مشتركة في رابطة مشبعة كالرابطة بين الهيدروجين والكربون في المركبات المشبعة وتسمى هذه الرابطة برابطة  $\sigma$  وكمية الطاقة اللازمة لإثارة الإلكترونات الرابطة  $\sigma$  أكبر بكثير من طاقة الأشعة فوق البنفسجية لذا فإن المركبات المشبعة لا تمتص في هذا المجال لذا تستعمل عادة كمذيبات جيدة. والنوع الثاني من الإلكترونات تلك التي تشترك في رابطة غير مشبعة. وهذه المركبات تحتوي عادة على رابطة  $\sigma$  ورابطة  $\pi$  وكمثال على المركبات التي تحتوي على ثلاث روابط متناوبة ( conjugated ) والنوع الثالث من الإلكترونات هي التي لا تشترك بروابط بين الذرات وهذه تدعى بالإلكترونات حرة. والمركبات العضوية المشبعة لا تحتوي على إلكترونات حرة لأن كل الإلكترونات في المستويات الخارجية للكربون والهيدروجين تشترك في الروابط الكيميائية. أما المركبات العضوية التي تحتوي النيتروجين والأكسجين والكبريت والهالوجينات فإنها تحتوي على إلكترونات حرة ويمكنها أن

تمتص الأشعة المرئية أو فوق البنفسجية لأن هذه الأشعة يمكنها إثارة الإلكترونات الحرة .  
والخلاصة أن الأشعة فوق البنفسجية أو المرئية يمكن أن يمتصها مركب يحتوي على ذرة  
نيتروجين أو أكسجين أو هالوجين أو كبريت أو يحوي على رابطة غير مشبعة وتسمى المجموعة  
التي تحتوي ذلك بالمجموعة الماصة أو الكروموفور ( chromophore ).

### 5.3 مبدأ التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية المرئية

#### Principle of UV Visible Spectroscopy

عندما تتعرض جزيئات عينة لضوء الأشعة فوق البنفسجية المرئية فإن الطاقة المحتملة تعمل علي  
انتقال الإلكترونية ضمن جزيء، وبعض من الطاقة الضوئية تعمل علي رفع الإلكترونات إلى أعلى  
الطاقات المدارية [30]. والمطياف يعمل علي تسجيل الموجات الضوئية والموجات التي يحدث لها  
امتصاص، لأن الامتصاصية من عينة تكون متناسبة لعدد من الجزيئات التي تمتص شعاع ضوء.

### 6.3 امتصاص الضوء Absorption light

إن امتصاص الأشعة الضوئية من قبل المادة يؤدي إلي إحداث التغيرات الفيزيائي وقد وضع  
لامبرت ( Lambert ) قانون الذي يوضح العلاقة بين الأشعة الضوئية الممتصة وسمك المادة  
الممتصة وذلك عام 1760 وسمي باسمه Lambert's Law وهو ينص علي أن أجزاء متساوية  
من الأشعة الضوئية أحادية طول الموجة monochromatic الساقطة تمتص من قبل الطبقات  
المتعاقبة المتساوية السمك من المادة الممتصة للضوء [31].

عند مرور شعاع خلال مادة سمكها (x) فإن شدة الشعاع الساقط ( $I_0$ ) يكون أكبر من شدة الشعاع  
النافذ (I) بسبب الامتصاص والتشتت داخل المادة والانعكاس من سطحه إن السبب الرئيسي في  
تقليل الشدة هو عملية الامتصاص الحاصلة داخل النموذج. ولإيجاد معامل الامتصاص  
Absorption Coefficient ( $\alpha$ ) الذي يعتمد على طاقة الفوتون الساقط وعلى خصائص المادة  
ويعرف على انه قياس لنسبة الخسارة في الشعاع ما لحزمة الساقطة مباشرة خلال سمك معين  
ويمكن حسابه باستخدام العلاقة الأساسية بين طيف الانبعاث والامتصاص [32].

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (1.3)$$

الامتصاصية A هو :-

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I} = \log_{10} \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

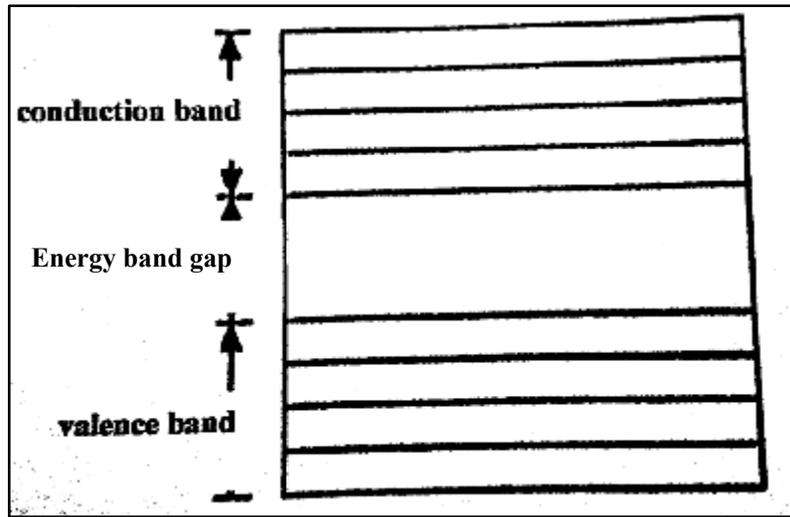
حيث أن T تمثل النفاذية

$$\alpha = 2.303 \frac{A}{x} \quad (3.3)$$

### 7.3 حزمة الطاقة في المواد الصلبة Energy Bands in Solid

إن الإلكترونات الذرة المنفردة تدور حول النواة في مدارات معينة وأن لكل مدار مستوي ثابتا محددًا من الطاقة ويتكون كل مستوي من عدة مستويات ثانوية. أما في المواد الصلبة التي تتكون من عدد كبير من الذرات المتقاربة فإنه عندما تتحد هذه الذرات لتكوين البلورة فإن إلكترون لا يتأثر بالشحنات الموجودة في ذرته فحسب بل يتأثر بالنوي والالكترونات الموجودة في الذرات الأخرى كافة التي تحويها البلورة. وعلي هذا الأساس فإن مستويات طاقة الالكترونات الخارجية للذرات تتغير نتيجة التعامل بين الذرات وبدلاً من ان تكون هناك مستويات محددة من الطاقة لكل ذرة منفردة نجد أن البلورة تمتلك حزمة من عدد ضخم من مستويات الطاقة القريبة جداً من بعضها البعض<sup>[33]</sup>. وتظهر هذه الحزمة من المستويات كأنها مستمرة تسمى حزمة التكافؤ valence band, وتكون الالكترونات ضمن هذه الحزمة مقيدة بالذرة. وعندما تحصل الالكترونات التكافؤ علي طاقة كافية بالقدر الذي يجعلها تتحرر من الارتباط بالذرة فإنها تقفز إلي الحزمة التالية وهي حزمة التوصيل conduction band ويوجد بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل منطقة محصورة لا يمكن للإلكترون أن يتواجد فيها تسمى الطاقة فجوة الحزمة Energy band gap. بحسب نظرية الحزم في المواد الصلبة وباستخدام ميكانيك الكم أمكن حساب بنية حزم الطاقة للمواد البلورية، ان للإلكترونات في الذرة المنفردة مستويات طاقة محدودة يحددها عدد الاساسي وان كل مستوي يمكن أن يستوعب إلكترونين فقط ذوا برمين متعاكسين بحسب قاعدة باولي للاستثناء. فإذا كانت

الذرات بعيدة فأن الإلكترونات في الذرات المتجاورة لا تتفاعل وسوف تشغل مستويات طاقة منفصلة، فإذا اقتربت الذرات سوية فإن الإلكترونات الأبعد سوف تتفاعل أولاً، لذلك فأن مستوى الطاقة المنفصلة تنشط إلى حزمة من الطاقات المسموحة، وإذا استمرت الذرات بالاقتراب سوية فإن الإلكترونات المتجاورة ستبدأ بالتفاعل وأيضا تنشط إلى حزمة من الطاقات المسموحة<sup>[34]</sup>. وأخيراً إذا أصبحت الذرات قريبة بشكل كاف فان الإلكترونات الأعمق سوف تتفاعل إلى حد أن مستوى الطاقة ينشط ليكون حزمة من الطاقات المسموحة، وعندما تصل الذرات إلى مسافة الاتزان الذري عندها تتكون لدينا حزم من الطاقات المسموحة، والتي فيها الإلكترونات مشغولة بشكل منفصل بوساطة حزم من الطاقات الممنوعة، هذا الانتشار لحزمة الطاقة وتكوين حزم مسموحة وممنوعة هو ما يسمى بنظرية حزم الطاقة وكما في الشكل (3.3)



الشكل (3.3) حزم الطاقة في المواد الصلبة

### 8.3 تحديد طاقة فجوة الحزمة البصرية $E_g$

#### Determination of Optical Band Gap Energy

تم استخدام البيانات الطيفية فوق البنفسجية المرئية لتحديد طاقة فجوة الحزمة البصرية (أي الاختلاف بين حزمة طاقة التوصيل وحزمة طاقة التكافؤ) في حالة البوليمرات المختلفة باستخدام

العلاقة :-

$$\alpha(\nu) = B(h\nu - E_g)^n / h\nu \quad (4.3)$$

حيث أن  $h\nu$  هي طاقة الفوتونات الساقطة  $E_g$  هي قيمة طاقة فجوة النطاق البصرية بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل و  $n$  تحدد قيمة الانتقالات المباشرة وغير المباشرة أثناء عملية الامتصاص في الفضاء  $K$  [35,36]. ففي الانتقال المباشر تكون قيمته  $1/2, 3/2, \dots$  وفي حالة الانتقال غير المباشرة  $2, 3, \dots$  المعامل  $B$  يعتمد علي احتمالية الانتقال ونفترض أن الثابت  $B$  ضمن التردد البصري. ولتحديد قيمة  $E_g$  يتضمن تحديد  $(\alpha h\nu)^{1/n}$  مقابل  $(h\nu)$ . الانتقالات غير المباشرة في العديد من المواد غير بلورية في حالة  $n=2$ . الانتقالات المباشرة نحصل عليها في حالة  $n=1/2$ . في هذه الدراسة إن النتائج التي حصلنا عليها بواسطة العلاقة البيانية بين  $(\alpha h\nu)^2$  و  $(h\nu)$  مع دالة الفوتون علي التوالي  $(h\nu)$  وأخذ في الحسبان الجزء الخطي لحافة الامتصاص الاساسية في مطياف الاشعة فوق البنفسجية المرئية .

الطاقة فونون  $\varepsilon'$  يمكن أن تحسب من الفرق في الطاقة بين انتقالات الطاقة الفجوة الحزمة البصرية باستخدام الصيغة التالية :

$$\varepsilon' = E_g^d - E_g^{ind} \quad (5.3)$$

حيث أن  $E_g^d$  طاقة فجوة الحزمة البصرية في حالة الانتقالات المباشرة ,  $E_g^{ind}$  الطاقة فجوة الحزمة البصرية في حالة الانتقالات غير المباشرة.

### 9.3 تحديد طاقة أوروباخ $E_u$ Determination of Urbach Energy $E_u$

يعتمد معامل الامتصاص  $\alpha(h\nu)$  القريب من حافة الحزمة للمواد غير بلورية اعتمادا أسيا علي طاقة الفوتون  $(h\nu)$  تكون صيغة طاقة أوروباخ:

$$\alpha(\nu) = \alpha_0 \exp(h\nu / E_u) \quad (6.3)$$

حيث أن  $\alpha_0$  ثابت،  $E_u$  يمثل طاقة أروباخ حيث تعبر عن الاهتزاز الحراري في الشبكة.  $\nu$  تردد الإشعاع،  $h$  ثابت بلانك. يتم حساب طاقة أروباخ من منحدرات الخطية في أقل منطقة في طاقة الفوتون للمنحنى<sup>[37]</sup>.

### 10.3 تحديد عدد ذرات الكربون

#### Determination of Number of Carbon Atoms

فإن عدد ذرات الكربون لكل وحدة طول مترابطة  $N'$  يعطي بالعلاقة التالية :

$$N' = 2\pi\beta / E_g \quad (7.3)$$

حيث أن  $N$  عدد ذرات الكربون لكل وحدة طول مترابط،  $2\beta$  يعطي تركيبة فرقة الطاقة من زوج في مواقع  $\Pi$  المجاورة، ونأخذ قيمة  $\beta$  وتكون  $(-2.9)$  Volt<sup>[38,39]</sup> وهو الانتقال البصري المترابط مع  $\pi-\pi^*$  في التركيبة  $-C=C$ .

### 11.3 انتقال داخل الحزمة Interband

تحدث الانتقالات البصرية داخل الحزم intrband عن طريق تحديد قواعد يسمح بها داخل الحزمة الطاقة<sup>[26]</sup>. في كواشف الأثر النووي الصلبة هناك نوعان من الانتقالات الالكترونية :-

1- الانتقالات الالكترونية المباشرة ذات الفجوة المباشرة Direct band gap فعندما ينتقل الإلكترون من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة التوصيل عند النقطة نفسها في فضاء متجه الموجة (k-Space) ضمن الشرط  $(\Delta k = 0)$  سيصاحب هذا الانتقال تفاعل بين الفوتون الساقط وإلكترون حزمة التكافؤ فقط بحيث يكون كل من قانوني حفظ الطاقة وكمية الحركة محفوظين وكما في الصيغة الآتية:

$$E_f - E_i = h\nu \quad (8.3)$$

$$\vec{k}_f - \vec{k}_i = \vec{q} \quad (9.3)$$

حيث أن طاقة الفوتون الممتص. و  $E_f, E_i$  الطاقة الابتدائية والنهائية للإلكترون في كل من حزمة التكافؤ والتوصيل على التوالي. و  $\vec{k}_f, \vec{k}_i$  متجه الموجة الابتدائي والنهائي للإلكترون في كل من حزمتي التكافؤ والتوصيل على التوالي.  $\vec{q}$  متجه الموجة للفوتون الممتص<sup>[40]</sup>. ولكون متجه الموجة للفوتون الممتص صغيراً جداً مقارنة مع متجه الإلكترون فإنه يُهمل وبذلك تصبح العلاقة أعلاه على النحو الآتي:

$$\vec{k}_f = \vec{k}_i \quad (10.3)$$

وهذا النوع من الانتقال يسمى بالانتقال المباشر المسموح (Direct Allowed Transition) وعندما يكون انتقال الإلكترون من المناطق المجاورة لمناطق الانتقال المباشر المسموح مع بقاء شرط عدم تغير قيمة متجه الموجة  $k$  عندها يسمى هذا الانتقال بالانتقال المباشر.

2- الانتقالات الإلكترونية غير المباشرة يحصل الانتقال غير المباشر للإلكترونات عند عدم تطابق طاقتي قمة حزمة التكافؤ وقعر حزمة التوصيل في فضاء متجه الموجة  $k$  بحيث يكون الانتقال بين نقطة في حزمة التكافؤ وأية نقطة في حزمة التوصيل وبصورة غير عمودية وبذلك ستكون قيمة متجه الموجة ( $\Delta k \neq 0$ ) وإن هذا الانتقال يصاحبه تغير في كمية حركة البلورة بسبب تغير كمية حركة الإلكترون المنتقل، وهذا التغير في كمية حركة البلورة يُعوض من قبل الشبكة أما عن طريق امتصاص فونون كمية حركته  $[\hbar(k_c - k_v)]$  أو عن طريق انبعاث فونون كمية حركته  $[\hbar(k_c - k_v)]$  وهذا بدوره يُعد ضرورياً لتحقيق قانون حفظ كمية حركة اي أن :

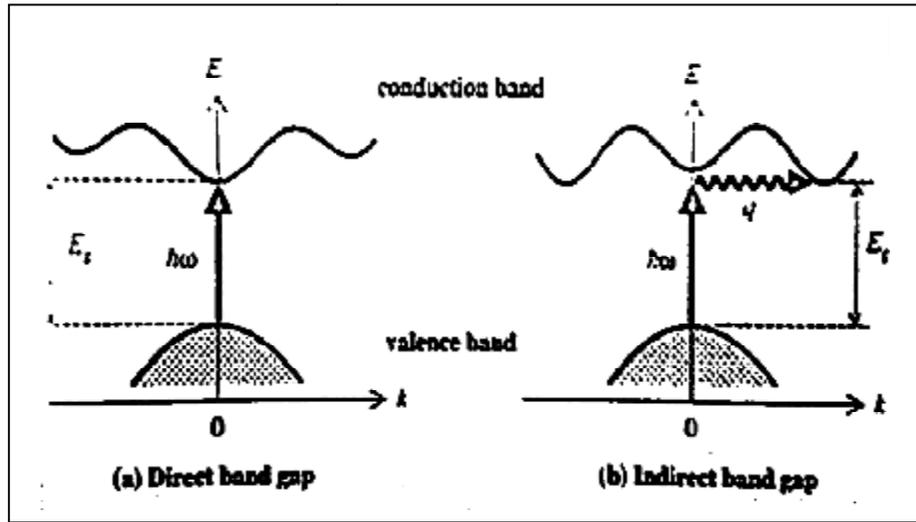
$$\vec{k}_i + \vec{q} = \vec{k}_f \pm \vec{k}_p \quad (11.3)$$

حيث أن  $\vec{k}_p$  يمثل متجه موجة الفونون المنبعث أو الممتص

وبإهمال متجه موجة الفوتون لصغره تصبح المعادلة (11.3) على النحو الآتي:

$$\vec{k}_i = \vec{k}_f \pm \vec{k}_p \quad (12.3)$$

وتكون هذه الانتقالات في كواشف الاثر النووي الصلبة ذات الفجوة غير المباشرة. عندها ينتقل الإلكترون بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ إلى أقل نقطة في حزمة التوصيل وبصورة غير عمودية ويسمى عندها بالانتقال غير المباشر المسموح (Indirect Allowed Transitions). الشكل (4.3) يُبين أنواع الانتقالات الالكترونية المباشرة وغير المباشرة.



الشكل (4.3) يمثل الانتقال داخل حزمة الطاقة في المواد الصلبة (a) طاقة فجوة الحزمة المباشرة (b) طاقة فجوة الحزمة غير المباشرة يمثل السهم العمودي عملية امتصاص الفوتون يليه السهم الجزئي انبعاث الفوتون.

## الفصل الرابع

### الإجراءات التجريبية

### **Experimental Procedures**

## 1.4 مادة الكاشف

### Material of Detector

تم في هذه الدراسة استخدام أحد أنواع الكواشف النووية الصلبة " SSNTD " Solid State

Nuclear Track Detectors ذو الاسم الكيميائي Polyallyle Diglycol Caronate وتركيبه الكيميائي  $C_{12}H_{18}O_7$  والمعروف تجارياً باسم CR-39 حيث يعتبر هذا الكاشف من أفضل وأكثر الكواشف البلاستيكية استخداماً نظراً لحساسيته العالية وقدرته التحليلية الجيدة [3] وقد أنتج الكاشف TASTRAK المستخدم في هذه الدراسة من قبل (TASL) Track Analysis Systems Ltd. Bristol, UK. حيث صمم علي شكل شريحة بسبك  $750\mu m$  وأبعاد  $(25 \times 22)cm^2$  وبكثافة قيمتها  $1.32g/cm^3$  [41,42]. وقد تم حفظ هذا الكاشف من غاز الرادون والخدوش بغطاء لاصق بلاستيكي شفاف ورقيق من مادة البولي إيثيلين بسبك حوالي  $150\mu m$ . وفي الدراسة الحالية قمنا بتحديد المساحة المطلوبة للعينة عن طريق مسطرة مدرجة طولها حوالي 15cm ومن ثم تحديد علامة علي شريحة الكاشف المراد تقطيعه إلي عينات صغيرة بتمرير القاطع علي الخط المرسوم لعدة مرات وبرفق حتى ينفصل الجزء المراد تقطيعه عن باقي شريحة الكاشف من الإجراءات التي يجب القيام بها هي (يجب ارتداء قفازات لمنع حك سطح الكاشف أو لمس السطح باليد) ومع مراعاة الدقة وعدم تقطيعها بتمرير القاطع مرة واحدة فإن ذلك سيسبب تصدعات أو كسر في العينة فتصبح غير صالحة للاستعمال، ولقد تم تقطيع العينات إلي أبعاد صغيرة تقريبا حوالي  $(2 \times 1) cm^2$  لغرض دراسة تأثير التلدين الحراري علي الخصائص البصرية للكاشف، وبأبعاد  $(2 \times 2) cm^2$  لتعيين قيمة كفاءة الكاشف بواسطة استخدام الأشعة فوق البنفسجية بعد تقطيع العينات نقوم بنزع الغلاف الحافظ لها ومن ثم غسلها بالماء الجاري وبعدها بالماء المقطر، ثم نقوم بعد ذلك بعمل ثقب صغير جداً في أحد زوايا العينة وذلك لغرض استخدامه في تعليق العينات في سلك بلاستيكي (سلك سنارة) عند إجراء عملية الحفر الكيميائي لها ولتمييز العينات بعضها عن بعض قمنا بنقش رقم رمزي للاستدلال بها علي العينة المراد إجراء القياسات لها.

## 2.4 المصدر المشع وطريقة التشعيع

### Radioactivity Source and Irradiation Method

قد تم تشعيع العينات الكاشف البلاستيكي CR-39 باستخدام مصدر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  الذي نشاطه الإشعاعي  $1.3 \times 10^5 \text{ Bq}$  وذلك بوضعه مباشرة بدون وجود مسافات بينهما (تعريض متلاصق "In contact") كما في الشكل (1.4) بحيث كانت مدة التشعيع مختلفة في هذه التجارب.



الشكل (1.4) طريقة التشعيع باستخدام مصدر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$

### 3.4 الفرن المستخدم في عملية التلدين

يتم التلدين الحراري في فرن صمم لهذا الغرض كما في الشكل (2.4). عند درجات حرارة تتراوح من  $0 - 3000$  °C وللحصول علي درجة الحرارة المطلوبة نضبط المؤشر الديجتال علي القيمة الدالة علي درجات الحرارة المطلوبة ومن ثم تشغيل الفرن لمدة 20min وللتأكد من أن درجة الحرارة أصبحت متجانسة داخل الفرن وذلك باستخدام جهاز حراري رقمي معد خصيصا لقياس درجة الحرارة في أماكن مختلفة داخل الفرن. وبعد القياس تسد الفتحة للحافظ علي درجة الحرارة الثابتة طوال مدة التلدين المطلوبة. كذلك يجب أن تكون الفترة الزمنية من لحظة فتح الفرن ووضع العينات داخلة وإغلاقه قصيرة جداً وذلك حتي لا يحدث أي تغيرات في درجة الحرارة .



الشكل (2.4) الفرن المستخدم في عملية التلدين

## 4.4 الحفر الكيميائي

### 1.4.4 تحضير المحلول القياسي

في كل تجارب الدراسة الحالية تم حفر العينات في محلول قياسي من NaOH عياريته 6.25N ولتحضير المحلول نقوم بالخطوات التالية :-

1. حيث أن 40g من المركب NaOH له عياريه 1N فإننا نحتاج إلي وزن 250g لإيجاد العيارية 6.25N من المحلول نفسه. وحيث أن نسبة تركيز ملح NaOH الموجود في المعمل 97% فيكون الوزن المطلوب وبدقة تقريبا 257.7g مع إضافة لتر من الماء المقطر. وقبل البدء في تحضير المحلول القياسي يتم غسل كل الأدوات الكيميائية المستخدمة في تحضير المحلول أولاً بالماء الجاري ثم تغسل جيداً بالماء المقطر وتوضع داخل جهاز التجفيف كما في الشكل (3.4) لتجفيفها تماما. استخدام ميزان رقمي ( 4 Digits ) الحساس لتعيين الوزن المطلوب من الملح بدقة عالية وذلك بالقياس لعدة مرات وأخذ المتوسط .
2. يذاب الوزن المطلوب من ملح هيدروكسيد الصوديوم في الكأس المدرج في بعض من الماء المقطر داخل شبك التهوية لامتناس الغاز الناتج مع التحرك ببطء ولعدة مرات وبفترات قصيرة لتجنب ارتفاع درجة حرارة المحلول ونستمر في التحريك لعدة دقائق إلي أن يتم الذوبان الملح وحيث يتحول لون المحلول من اللون الأبيض إلي لون الماء تقريباً.
3. نسكب المحلول السابق داخل الدورق ثم نسكب فوقه الماء المقطر إلي ما قبل العلامة الموجودة علي الدورق بسنتيمترات قليلة وبعد ذلك نستخدم الماصة في إضافة الماء علي هيئة قطرات داخل الدورق ويتم التحكم في نزولها بالسبابة بحذر شديد حتي يصل المحلول إلي العلامة الموجودة علي الدورق.
4. يكتب علي الدورق اسم المحلول وكذلك يوم تحضيره وعياريته وبعدها يترك لمدة ثلاثة أيام وكذلك لتكملة النقصان القليل عن العلامة الموجودة في الدورق والناتج في المحلول من تميؤ NaOH حيث يتم زيادة هذا النقصان بالماء المقطر عن طريق استخدام الماصة وذلك يكون في اليوم الأول من تحضيره ثم في اليوم الثاني وأخيراً اليوم الثالث وبعدها يقف التفاعل تماماً في المحلول وبهذا الشكل نكون قد حصلنا علي محلول NaOH عياريته 6.25N وبدقة متناهية كما في الشكل (4.4).



الشكل (3.4) الجهاز المستخدم في تجفيف الأدوات



الشكل (4.4) الأدوات المستخدمة في تحضير المحلول هيدروكسيد الصوديوم

#### 2.4.4 عملية الحفر الكيميائي لمادة الكاشف CR-39

نضع كمية معينة من محلول هيدروكسيد الصوديوم عيارته 6.25M ثم نرسم خط علي سطح الخارجي للدورق موازي لسطح المحلول الموجود بداخل الدورق حتى نتمكن من الاستدلال على كمية الماء المتبخر من المحلول بعد إجراء عملية الحفر وذلك للمحافظة على العيارية دائما 6.25N مع مراعاة أن إضافة الماء المقطر مكان الماء المتبخر تتم قبل تشغيل الحمام المائي وارتفاع درجة حرارة لأن ارتفاع درجة حرارة سيؤثر على مستوى ارتفاع المحلول الذي بداخل الدورق ويغلق الدورق بسدادة من الفلين للتقليل من مستوى تبخير المحلول ثم يوضع الدورق داخل الحمام المائي ويثبت بواسطة الحامل الموجود خارج الحمام المائي ويثبت بجانب دورق آخر مسدود بسدادة من الفلين بها ثقب يخرج من خلالها ترمومتر حراري نستخدمه في قياس درجة حرارة الحمام وبعدها نقوم بتعبئة الحمام بالماء الساخن باستخدام غلاية للماء لكي نتمكن من الحصول علي درجة حرارة 70°C بقراءتها من الترمومتر الحراري كم في الشكل (5.4) ننتظر لفترة زمنية حوالي 30min بحيث يتم التأكد من ثبات درجة حرارة الحمام المائي طول فترة التجربة عند  $70^{\circ}\text{C} \pm$  حيث تعتبر عياريه المحلول ودرجة حرارة الحمام السابقتين هما الظروف المثلي للحفر الكيميائي<sup>[43,44]</sup>.

وبعد ذلك نقوم بالخطوات التالية :

1. يتم تشيع العينة لمدة زمنية مختلفة (1sec , 5sec , 10sec , 15sec , 20sec , 25sec) للحصول علي إحصائية جيدة ولتقليل نسبة الخطأ في التجربة كما في الشكل (1.4).
2. تدخل العينات في سلك بلاستيكي سنارة لأنه لا يتفاعل مع المحلول وتوضع داخل المحلول الموجود في الحمام المائي مع مراعاة أن تكون العينة مغمورة تماماً في المحلول وغير ملامسة للدورق ثم تحفر لفترات زمنية مختلفة طبقاً للغرض من التجربة.
3. بعد انتهاء زمن الحفر يتم إخراج العينات من الدورق وإخراجها من السلك ويتم وضعها في ماء جاري لمدة تتراوح من 10min إلي 15min وذلك لغرض إيقاف التفاعل بين محلول الحفر ومادة الكاشف.
4. تغسل العينات جيداً بالماء المقطر وذلك لغرض إزالة أي شوائب عالقة بها ثم تجفف.



الشكل (5.4) حمام المائي المستخدم في عملية الحفر الكيميائي

## 5.4 عملية التلدين الحراري

يتم تقسيم العينات المرقمة ذات الأبعاد  $(2 \times 1) \text{ cm}^2$  إلى مجموعتين في المجموعة الأولى نقوم بإجراء عملية التلدين الحراري لها عند  $(120^\circ\text{C})$  ولمدة فترات زمنية مختلفة من 2h إلى 10h بزيادة دورية لساعتان إما المجموعة الثانية فمكونه من عينة بكر غير ملدنة وبدون تشعيع أي عند درجة حرارة الغرفة وقد أجريت التجارب طبقا للخطوات التالية :-

1. يشغل الفرن عند درجة الحرارة المطلوبة.

2. يتم وضع المجموعة الأولى بدون تشعيع داخل الفرن في نفس التوقيت ولمدي الفترة المطلوبة للتعرض لتلدين الحراري مع مراعاة أن يكون سطح الكاشف الذي نقش عليه الرقم الرمزي إلي أعلى.

3. بعد انتهاء مدة التلدين الحراري وحال خروجها من الفرن يتم تشيع العينات المجموعة الأولى

( Exposure Post-annealing ) لفترات متفاوتة من ( 1sec , 5sec , 10sec , 15sec , 20sec , 25sec ) وباستخدام عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  عملية التشيع. أما المجموعة الثانية يتم تشيعها بنفس العنصر ولكن لا يتم تلدينها حرارياً.

4. إجراء عملية الحفر الكيميائي لهما لمدة زمنية متساوية للعينات .

5. بعد انتهاء عملية الحفر تغسل العينات جيدا بالماء الجاري ثم بالماء المقطر من أجل وقف التفاعل الكيميائي وأيضا لتجنب التلوث من محلول الحفر على السطح مادة الكاشف. تم استخدام المجهر الضوئي في قراءة و كشف كثافة الأثر عند قوة تكبير مناسبة.

6. تعرضت المجموعة الأولى المدنة والثانية غير المدنة للدراسات الطيفية في المنطقة فوق البنفسجية والمرئية . باستخدام جهاز المطياف الأشعة فوق البنفسجية المرئية.

#### 6.4 عملية التعرض للأشعة فوق البنفسجية

يتم تعريض العينات المرقمة ذات الأبعاد  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  للأشعة فوق البنفسجية باستخدام مصباح الأشعة فوق البنفسجية قدرته 10W . يتم تشغيل مصباح الأشعة فوق البنفسجية تلقائيا لمدة 20min كل 5min لمنع التدفئة الداخلية للعينات<sup>[46]</sup> . وفترات التعرض للأشعة فوق البنفسجية يتراوح من 1h إلي 100h . تم دراسة الطيف الامتصاص في المنطقة فوق البنفسجية والمرئية باستخدام جهاز مطياف الأشعة فوق البنفسجية المرئية. مع الاحتفاظ بعينة بكر لم تتعرض للأشعة فوق البنفسجية قبل التعريض العينات للتشيع باستخدام المصدر المشع  $^{252}\text{Cf}$  . ويتم إجراء التجربة كالتالي:-

يتم وضع العينات داخل جهاز خاص بالأشعة فوق البنفسجية وهو عبارة عن صندوق بحيث توضع العينات بشكل منتظم علي طرفي الصندوق كما في الشكل (6.4) الطولي الموجي للمصباح الأشعة فوق البنفسجية يتراوح ما بين 100-290nm<sup>[47]</sup> .



الشكل (6.4) الجهاز المستخدم في عملية التعرض للأشعة فوق البنفسجية

#### 7.4 مطياف الأشعة فوق البنفسجية المرئية UV-Visible spectrophotometer

يمكن لهذا الجهاز قياس الأشعة الممتصة في نطاق الأشعة المرئية وفوق البنفسجية, يمتص الكشاف طاقة الفوتونات الساقطة عليه ويحولها إلى قياسات كمية, ومعظم الكشافات الحديثة تولد إشارات إلكترونية يمكن تسجيلها بمقياس أو مسجل معين, والكشافات المستخدمة في مطياف الأشعة المرئية فوق البنفسجية هي الكشافات الكهروضوئية وهي تستخدم مع جميع أجهزة Spectrophotometers التي تستخدم المنشور أو المحزوز في فصل الأشعة لأن طاقة هذه الأشعة منخفضة جداً<sup>[48]</sup> ويتميز هذا الجهاز بطول موجي من 190-900nm كما في الشكل (7.4).

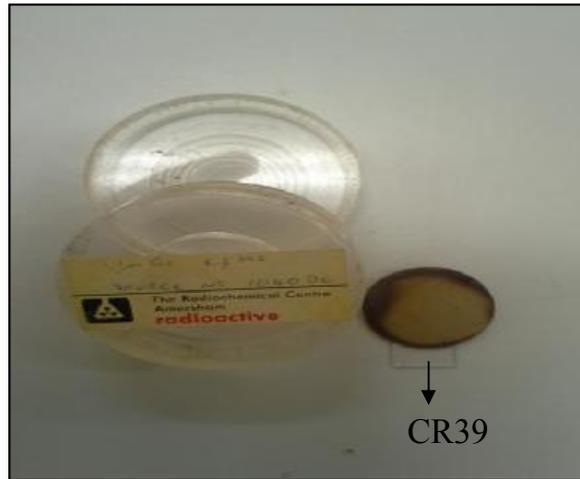
#### 8.4 وحدة التسجيل (meter) Recorder

هناك طريقتان لعرض النتائج الخاصة بالامتصاص:-

1. في حالة التقديرات الكمية والتي يستخدم فيها طول موجي واحد فان الامتصاص أو النفاذية تظهر على شاشة رقمية Digital.
2. أما في أجهزة المطياف التي يقاس فيها الامتصاص كدالة في الطول الموجي فتعرض النتائج في صورة رسم بياني spectrograph.



الشكل (7.4) مطياف الأشعة فوق البنفسجية المرئية UV/VIS spectrophotometer  
بعد التعرض للأشعة فوق البنفسجية يتم تشعيع العينات بمصدر المشع  $^{252}\text{Cf}$  لمدة ربع ساعة كما  
في الشكل (8.4)



الشكل (8.4) طريقة التشعيع باستخدام مصدر الكاليفورنيوم  $^{252}\text{Cf}$

تدخل العينات في سلك سنارة لأنه لا يتفاعل مع المحلول وتوضع داخل المحلول الموجود في الحمام المائي مع مراعاة أن تكون العينات مغمورة تماما في المحلول وكذلك غير ملامسة للدورق ثم تحفر لفترات زمنية مختلفة طبقا للغرض من التجربة. بعد انتهاء من الحفر يتم إخراج العينات من الدورق وإخراجها من السلك ويتم وضعها في ماء جاري لمدة تتراوح من 10min إلى 15min وذلك لغرض إيقاف التفاعل بين محلول الحفر ومادة الكاشف.

تغسل العينات جيدا بالماء المقطر وذلك لغرض إزالة أي شوائب عالقة بها، ثم تجفف لكي تصبح جاهزة لإجراء القياسات عليها باستخدام المجهر الضوئي .

#### 9.4 القياسات التجريبية باستخدام المجهر الضوئي

### Experimental Measurement By Using Optical Microscope

بعد إتمام عملية الحفر الكيميائي المطلوبة للعينات المعالجة والتي نتج عنها إظهار وتكبير وتثبيت للأثار المستترة المتكونة نتيجة الهدم الإشعاعي في المادة، تصبح العينات جاهزة لفحصها تحت المجهر الضوئي ( Optical Microscope ) وفي الدراسة الحالية تم استخدام المجهر الضوئي كما في الشكل (9.4) العدسة الشيئية بقوة تكبير 40X و العدسة العينية بقوة تكبير 10X و العدسة العينية المستخدمة مدرجة بالميكروميتر (Micrometer Eyepiece). يؤخذ عشر مجالات رؤية لكل عينة تحت العدسة العينية للمجهر الضوئي لحساب كثافة شظايا الانشطار وجسيمات ألفا لكل منهما مع قياس القطر الدائري الناتج عن السقوط العمودي نحسب نسبة معدل الحفر من العلاقة التالية :

$$V = \frac{1 + x'^2}{1 - x'^2}$$

$$x' = \frac{D_\alpha}{D_{ff}}$$

حيث أن  $x'$  تمثل نسبة بين طول محور القطر لجسيم ألفا وطول محور القطر لشظية الانشطار

$D_\alpha$  تعبر عن طول محور القطر في حالة السقوط العمودي لجسيم ألفا

$D_{ff}$  تعبر عن طول محور القطر في حالة السقوط العمودي لشظية الانشطار

يتم تحديد  $S$  حساسية الكاشف من العلاقة:

$$S = V - 1$$

ومن خلال حساسية الكاشف نعين الزاوية الحرجة  $\theta^c$ :

$$\theta^c = \sin\left(\frac{1}{V}\right)$$

وبعدها نعين كفاءة الكاشف  $\eta$ :

$$\eta = 1 - \sin\theta^c$$

أو

$$\eta = 1 - \frac{1}{V}$$



الشكل (9.4) المجهر الضوئي المستخدم في القياسات المعملية

## الفصل الخامس

### النتائج والمناقشة

### **Results and Discussion**

## 1.5 قياس الامتصاصية خلال أثر الفا المحفورة في كواشف الأثر النووي المعالجة حرارياً والغير معالجة حرارياً

### Measurement of absorbance through the etched alpha track in annealed and non-annealed

يتم إيداع طاقة الإشعاع من الجسيمات المؤينة علي طول امتداد الأثر لكل من كواشف الأثر المعالجة حرارياً وغير المعالجة حرارياً. يعتبر طيف فوق البنفسجية المرئي لكواشف الأثر النووي المعالجة حرارياً وغير المعالجة حرارياً ( الملدنة وغير الملدنة ) والتي تم تعريضها لجسيمات الفا كما في الشكل (1.5). هذا الشكل يبين تأثير الإحماء الحراري متساوي درجة الحرارة (Isothermal annealing) عند ( 120°C ) وعند فترات زمنية مختلفة من ( 2h , 4h , 6h , 8h و 10h ) علي الامتصاص البصري لكواشف البوليمر المشعة بجسيمات ألفا حيث تم هذا التعرض بعد الإحماء الحراري ( Post-annealing )<sup>[49]</sup>. إن الجدير بالاهتمام أن طيف البصري يبين زيادة وإزاحة الحافة الامتصاصية مع اتجاه الموجات الطولية مع زيادة زمن تعرض جسيمات ألفا في كواشف الأثر النووي غير المعالجة حرارياً كما في الشكل (1.5a). بينما يبين طيف فوق البنفسجي المرئي في حالة الكواشف المعالجة حرارياً تأثير عكسي مع زيادة فترة الإحماء الحراري كما نري أيضا في نفس الشكل من ( 1.5b ) إلي (1.5f) هذا يشير إلي هبوط في فجوة الطاقة البصرية بعد زمن تعرض جسيمات الفا والحفر الكيميائي في كواشف غير المعالجة حرارياً بينما هذا الهبوط تم مشاهدته بدرجة صغيرة فقط في الكواشف المعالجة حرارياً خاصة عند فترات زمنية طويلة من الإحماء الحراري هذا الهبوط يعزي بصفة عامة إلي تركيب أنظمة ممتدة من الروابط المترافقة مثل C=C أو C=O كذلك نتيجة جسيمات الفا أو الأيونات الثقيلة المستحثة التي تؤدي الي كسر أو شق الروابط وإعادة تكوينها والتي تكونت من بعض المجموعات الكروموفورية ( Chromophoric group )<sup>[50]</sup> . بالأحرى زيادة شدة كثافة المنحني عند 280nm مع زيادة زمن تعرض جسيمات ألفا ثم تحديدها علي أنها  $[ R-C=C-OH ]_n$  في النظام مترابط هذا يؤكد تكون مجموعات من OH ( OH group ) في تشيع كواشف الأثر النووي بأشعة جاما و البروتونات و الايونات الثقيلة وتم دراسة طيف الامتصاص الاشعة تحت الحمراء<sup>[29,32,34]</sup> . وقد شاهدنا أيضا اتساع في قمة الامتصاص مع زيادة شدة جسيمات الفا في كواشف الأثر النووي غير

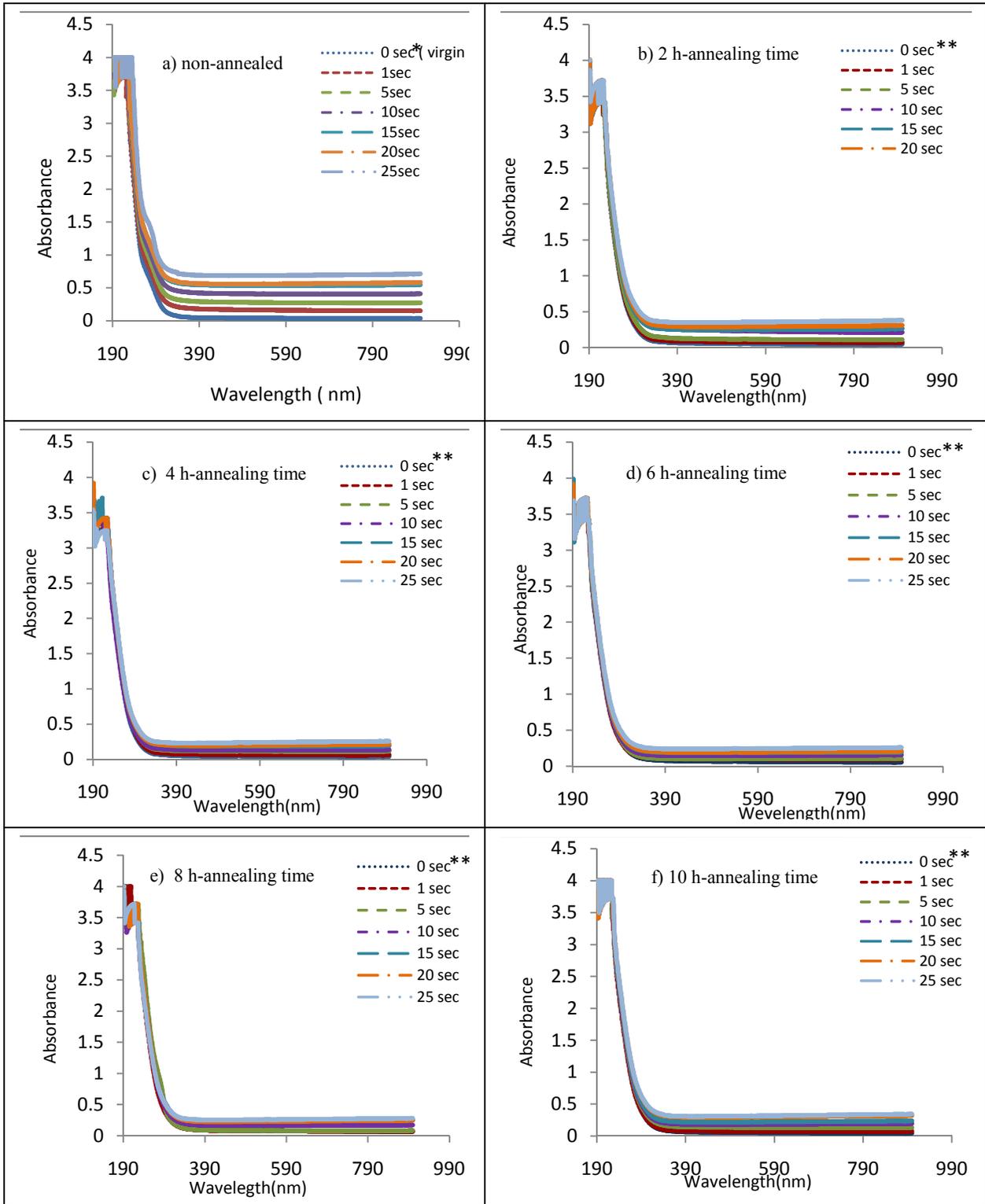
المعالجة حرارياً. وهذا الاتساع يعزي إلي انتاج عيوب مستحثة بواسطة الإشعاعات المؤينة وهذه العيوب يمكن أن تنتج من تكوين مستويات طاقة جديدة مما يتسبب في اتساع قمم الامتصاص. من الجدير بالملاحظة أن طيف فوق البنفسجي مرئي يبين زيادة منتظمة في الامتصاص من طول الموجي 250-280nm مع زيادة زمن تعرض جسيمات ألفا. مثل هذه الزيادة في زمن تعرض جسيمات ألفا يعتمد عليها طيف فوق البنفسجي المرئي بطريقة مباشرة ومترابطة مع تغيرات الكيميائية في تركيب أثار الهدم الإشعاع في هذه الكواشف البوليمر. وأيضا تأثير جسيمات ألفا علي طيف فوق البنفسجي المرئي يعزي أساسا إلي إثارة الإلكترونية الناتجة من تكوين مجاميع من الكربون وهذا يتطلب جزء صغيرة من الطاقة والتي يمكن أن يقدمها جسيمات ألفا المؤينة ولهذا يحدث هذا النوع من الانتقالات في الحزمة الطاقة. علي النقيض من ذلك في كواشف المعالجة حرارياً هذا الاتساع في قمة طيف الامتصاص يقل بجسامه مع زيادة فترة الإحماء الحراري. في هذه الحالة نشاهد بعض التشوه في قمة الامتصاص في كواشف الأثر النووي. علي العموم تميل عملية التلدين الحراري متساوي درجة الحرارة ( Isothermal annealing ) ومختلفة في الأزمنة إلي الانخفاض في تسجيل جسيمات ألفا حتي تكاد أن تختفي أو تختفي تمام عند درجة حرارة أعلي وفترات زمنية أطول والتي تعاني من هدم شديد نتيجة لهذا الإحماء في مادة الكاشف البلاستيكي. وثم يصبح سطح مادة الكاشف البوليمر شديد الطراوة بدرجة ملحوظة ينتج زيادة في معدل الحفر الكمي والذي يمثل درجة الطراوة و ينتج نقصان في حساسية الكاشف وعتبة الكاشف ( the detector threshold ) عن جسيمات ألفا كما نري في الجدول (1.5) هذا يعني أن كواشف الأثر النووي المعالجة حرارياً تصبح غير حساسة بالمرّة إلي جسيمات ألفا التي لها معدلات تأين مختلفة إذا ما تم مقارنتها مع جسيمات الثقيلة عالية التأين مثل شظايا الانشطار [51].

جدول (1.5) يبين وقت التلدين الحراري, ومعدلات الحفر الكمي والأثر والحساسية والزيادة في معدل الحفر الكمي بالنسبة المئوية ( درجة الطراوة )

زمن التلدين الحراري (h)	$V_B$ ( $\mu\text{m/h}$ )	$V_T$ ( $\mu\text{m/h}$ )	V	بنسبة المئوية $V_B$
0	1.35	3.46	2.58	-
2	1.60	3.66	2.29	18.5
4	1.68	3.54	2.11	24.4
6	1.75	3.62	2.07	29.6
8	2.25	4.25	1.89	66.7
10	2.28	4.01	1.76	68.9

## 2.5 حساب طاقة أروباخ $E_u$ Calculation of the Urbach energy $E_u$

عند إثارة الإلكترونات بين الحزم البصرية للمادة الصلبة عن طريق الانتقالات الطاقية . نستطيع حساب طاقة أروباخ من العلاقة (5.3) ويكون معامل الامتصاص صغير جداً تحت حافة طاقة البصرية في العوازل بينما في المواد الأخرى مثل أشباه الموصلات وجد أنه يتغير اسياً مع طاقة الفوتون والتي تتبع لعلاقة أروباخ<sup>[37]</sup> كما هو معروف أن طاقة أروباخ ( $E_u$ ) هي معكوس ميل لوغاريتم معامل الامتصاص لهذا تعتبر طاقة الامتصاص الناتجة من اهتزازات حرارية في البلورة الموجودة في منظومة طاقة فجوة الحزمة البصرية المباشرة<sup>[53]</sup>. اللوغاريتم معامل الامتصاص يعتبر دالة في طاقة الفوتون في كواشف المعالجة حرارياً وغير المعالجة حرارياً عند فترات زمنية مختلفة من زمن تعرض جسيمات ألفا ودرجة حرارة  $120^\circ\text{C}$ . وإن هذه الكواشف عند تشعيها مع زمن تعرض جسيمات ألفا كما هو في الشكل (2.5) يتم حساب قيم طاقة أروباخ بواسطة معكوس الميل في الجزء الخطي في المنطقة المنخفضة من طاقة الفوتون كما نرى في الجدول (2.5).



الشكل (1.5) العلاقة بين الطول الموجي وطيف الامتصاص الأشعة فوق البنفسجية المرئية لكواشف الأثر النووي المعالجة حرارياً وغير المعالجة حراري عند  $120^{\circ}\text{C}$  وزمن تعرض جسيمات الفا مختلف من 1sec إلى 25sec.

تزداد قيم طاقة أروباخ بزيادة زمن تعرض جسيمات ألفا وهذا يمكن أن يعزي إلي أثار الهدم الإشعاع في الكواشف غير المعالجة حراريا علي النقيض من ذلك في الكواشف المعالجة حرارياً لا يوجد تأثير واضح علي طاقة الإشعاع التي تم مشاهدتها في حالة الإحماء الحراري من 2h إلي 8h ولكن في حالة 10h الإحماء الحراري كان تقريباً يحدث تغير كبير وثابت علي زمن تعرض جسيمات ألفا. هذا يمكن أن يكون نتيجة تحويلات التي تحدث في المواد البوليمر والتي تحدث نتيجة أنواع مختلفة من الإشعاع أو نتيجة طبيعة مادة الكاشف نفسها. أن هذه التغيرات التي تحدث في مادة البوليمر تعتمد علي العوامل: 1- التراكيب مادة البوليمر, 2- الطاقة المنتقلة من المادة, 3- كتلة الاشعاع, 4- شدة الإشعاع . وأيضاً يتسبب الإحماء الحراري تغيرات سلبية القيمة في الخواص التسجيلية في للجسيمات المشحونة والتي لها معدل تأين مرتفعة جسيمات ألفا بمعنى أن هذه الكواشف لا تستطيع رؤية جسيمات ألفا بعد معالجتها حرارياً. من جدير بالملاحظة أن نتائج الكواشف غير المعالجة حرارياً لم تكن متفقه مع نتائج المنشورة حول التشعيع بالجاما والنيترونات لكل من البولي إيثيلين عالي الوزن الجزيئي والبولي أليل داي جليكول كربونات poly allyl diglycol carbonate وتعرف تجارياً باسم CR-39<sup>[11,34,54]</sup>. حيث أن هذه النتائج تبين أن طاقة أروباخ انخفضت مع جرعة جاما وزيادة فيض النيترونات بينما في الدراسة الحالية تبين أن طاقة أروباخ تأخذ اتجاه مغير في حالة الكواشف غير المعالجة حرارياً ومشععة بجسيمات الفا ولكن يحدث تغير معظمها غير جسيم في حالة الكواشف المعالجة حرارياً ومشععة بجسيمات الفا إذا ما قارنت مع العينة بكر ولكن باستثناء 10h تليدين.

### 3.5 تحديد طاقة فجوة الحزمة البصرية في حالة التحويلات المباشرة وغير المباشرة

#### **Determination of optical energy band gap: direct and indirect transitions**

كما تم تعريفه في الفصل الثالث أن طاقة فجوة الحزمة البصرية والتي تصف الانتقالات الالكترونية أثناء عملية الامتصاص الطيفي في الفراغ K ( K-space ) بطريقة المباشرة وغير المباشرة, في حالة الانتقالات المباشرة يكون الانتقال البصري ناتج من إثارة الالكترونات بين الحزمة المنخفضة والحزمة المرتفعة التي تحدث مباشرة بينما غير المباشرة يكون الانتقال نسبياً بين حزمة التوصيل

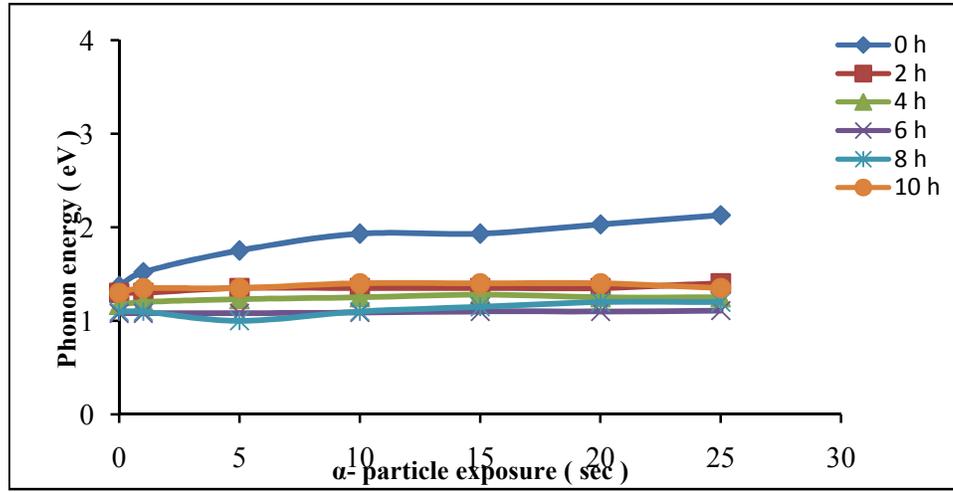
(Conduction band) وحزمة التكافؤ (Valence band) والذي لا يكون متوافق ولهذا يتضمن الانتقال طاقة فونون لكي يتم حفظ بقاء طاقة كمية الحركة [26]. من طيف الأشعة فوق البنفسجية المرئية فإن طاقة فجوة الحزمة البصرية للكواشف المعالجة حرارياً وغير المعالجة حرارياً التي يعقبها التشعيع بجسيمات ألفا ثم الحفر الكيميائي، وقد تم حساب طاقة فجوة الحزمة البصرية من الاستنباط بواسطة العلاقة البيانية  $(ahv)^{1/n}$  مقابل  $(hv)$  علي المحور x. لتعيين طاقة فجوة الحزمة البصرية المباشرة وغير المباشرة  $(ahv)^2$  و  $(ahv)^{1/2}$  علي الترتيب كدالة في طاقة الفوتون علي الأخذ في الاعتبار الجزء الخطي فقط من حافة الامتصاص في طيف فوق البنفسجي المرئي كما في الشكل (1.5) هذه الرسومات البيانية تم تمثيلها في الشكل (3.5) و (4.5) علي الترتيب. يتم تعيين طاقة فجوة الحزمة البصرية المباشرة وغير المباشرة من تقاطع الخطوط الملائمة (fitting line) مع المحور x طاقة الفوتون  $(hv)$  كما في الشكل (3.5) و (4.5). وبالتالي يتم تعيين طاقة فجوة الحزمة البصرية كل من كواشف البكر والمشعة بجسيمات ألفا مع زمن تعرض مختلفة سواء كانت معالجة حرارياً وغير معالجة حرارياً. هذه النتائج تم تقديمها في الجدول (2.5) يمكن الملاحظة أن الطاقة فجوة الحزمة البصرية للكواشف غير المعالجة حرارياً تقل من  $eV$  (3.53 إلي 2.42) و  $eV$  (4.90 إلي 4.55) للانتقالات المباشرة وغير المباشرة علي التوالي نتيجة تشعيع بجسيمات ألفا. أما الطاقة فجوة الحزمة البصرية للكواشف المعالجة حرارياً ومعرضة لجسيمات ألفا تقل من  $eV$  (3.50 إلي 3.25) و  $eV$  (3.70 إلي 3.50) و  $eV$  (3.80 إلي 3.65) و  $eV$  (3.60 إلي 3.45) و  $eV$  (3.50 إلي 3.25) و  $eV$  (4.80 إلي 4.65) و  $eV$  (4.87 إلي 4.75) و  $eV$  (4.88 إلي 4.76) و  $eV$  (4.70 إلي 4.65) و  $eV$  (4.80 إلي 4.60) تقابل مع فترات الإحماء الحراري (2h , 4h , 6h , 8h و 10h) لكل من الانتقالات غير المباشرة و المباشرة علي التوالي. يمكن تفسير التغير في الطاقة فجوة الحزمة البصرية مع تشعيع جسيمات ألفا علي أنه تغير دراماتيكي مع درجات عدم الانتظام في كواشف الأثر النووي البوليمير الناتجة من حقيقة أنه هناك عيوب تحدث علي طول المسار في منطقة الهدم الناتجة بواسطة ثلاث عمليات فيزيائية و فيزيائية كيميائية وكيميائية [3]. مثل هذه الآثار تكون حساسة أكثر إلي محلول الحفر من باقي المادة الكمية مادة الكاشف , ولهذا هذه الآثار المحفورة والتي تعرف حالياً باسم الأثر النووي تظهر زيادة في عدم الانتظام في مادة البوليمير [8]. هذا الانخفاض في طاقة فجوة الحزمة

البصرية للكواشف غير المعالجة حرارياً يعزى إلى كمية عدم الانتظام في مادة البوليمير بسبب اعتماد نفاذية الضوء والذي يعتمد على كثافة الأثر وطاقة جسيمات ألفا بالإضافة إلى شروط الحفر والتخزين لهذه الكواشف<sup>[55][29]</sup>. تأثير الإحماء الحراري على طاقة فجوة الحزمة البصرية لكل من حالتين الانتقالات المباشرة وغير المباشرة والتي تحدث داخل مادة الكاشف. والتي تم عرضها إلى جسيمات ألفا ذو التعيين المنخفض ولقد تم تعيين هذه الفجوة كدالة في زمن تعرض جسيمات ألفا كما هو مبين في الجدول (2.5) ولشرح ميكانيكية الإحماء الحراري ومميزات الانتقالات مباشر وغير المباشرة في نطاق فجوة الطاقة البصرية في حالة تشعيها بجسيمات ألفا كما تم توضيحها في الشكل (5.5) ومن هنا نستطيع أن نوجه تركيزنا على مميزات وخواص الإحماء الحراري للأثر جسيمات ألفا في مادة الكاشف على أنها تغير في وقت الإحماء من المفروض أن ينتج تغير في طاقة فجوة الحزمة البصرية في حالة وقت الإحماء تقريبا 6h فإن مادة الكاشف سوف تقترب من الوصول إلى طاقة فجوة الحزمة العظمي . بينما إن نتائج الإحماء تبين بدليل القاطع على أنه توجد منطقتين بكل وضوح بمعدلات الإحماء المختلفة في المنطقة الأولى معدل الإحماء كان عاليا بينما في المنطقة الثانية المعدل كان منخفض أو يميل إلى الثبات<sup>[23]</sup>. ولكن فترات الإحماء الحراري لم تكون طويلة بدرجة كافية التي تتراوح من 5min إلى 30min بينما في دراستنا الحالية فإن الإحماء الحراري كان شديداً لأن فترات التلدين كانت طويلة جداً تتراوح من 2h إلى 10h كما تم تسجيلها<sup>[51]</sup>. في شكل (6.5) إن طاقة الفونون تعتمد على زمن تعرض جسيمات ألفا المسلطة على كل من الكواشف المعالجة وغير المعالجة حرارياً وتتراوح من 2h إلى 10h. ومع زيادة شدة التعريض لجسيمات ألفا فإن طاقة الفونون عند 0h ساعة لا يوجد إحماء حراري تزداد خطياً بينما من 2h إلى 10h فإن قيم طاقة الفونون تظل تقريبا ثابتة هذه القيم أقل بكثير من القيم طاقة الفونون للكواشف غير المعالجة حرارياً وقد لوحظ أن طاقة الفونون تقل ثباتاً كدالة في وقت الإحماء الحراري في حالة التغير من 2h إلى 10h لكل الكواشف المتعرضة لجسيمات ألفا ولكن في وقت إحماء 10h تعود الزيادة مرة ثانية . إن التغير الكبير في قيم طاقة الفونون في كواشف المعالجة وغير المعالجة حرارياً لكل زمن تعرض جسيمات ألفا نتيجة يمكن أن تنتج من الروابط ثنائية الموجودة في النظام مترابط في حالة التعرض لجسيمات ألفا. هذه الظاهرة يمكن أن تنتج مجموعات كوموفورية ( Chromophoric group )<sup>[50]</sup> . من جانب آخر فإن طاقة الفونون الناتجة

بعد كل انتقال مستحث في الكواشف غير المعالجة حرارياً ( في حالة الانتقالات غير المباشرة ) تبين زيادة في الطاقة الفونون مع زيادة في زمن تعرض جسيمات ألفا بينما في حالة كواشف المعالجة حرارياً تبين تأثيراً معاكساً.

#### 4.5 صور الآثار النووية

يوضح الشكل (7.5) صور فوتوغرافية للآثار النووية جسيمات ألفا من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 و زمن تعرض جسيمات ألفا مختلفة من 1sec إلي 25sec. في الشكل (8.5 - 9.5 - 10.5 - 11.5 - 12.5) صور فوتوغرافية للآثار النووية جسيمات ألفا من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR39 المعالجة حرارياً عند  $120^\circ\text{C}$  قبل التشعيع عند ازمة مختلفة من 2h إلي 10h وزمن تعرض جسيمات ألفا مختلفة من 1sec إلي 25sec. وأخذت هذه الصور من خلال التقاط صور الكاميرا من جهاز المجهر الضوئي مباشرة.



الشكل (6.5) العلاقة بين طاقة الفونون وزمن تعرض جسيمات الفا في كواشف الاثر النووي المعالجة حرارياً و غير المعالجة حرارياً عند  $120^\circ\text{C}$  وفترات تليدين من 0h , 2h , 4h , 6h , 8h و 10h علي التوالي

## 5.5 تعيين قيم عدد ذرات الكربون

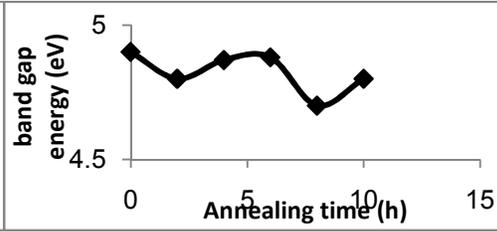
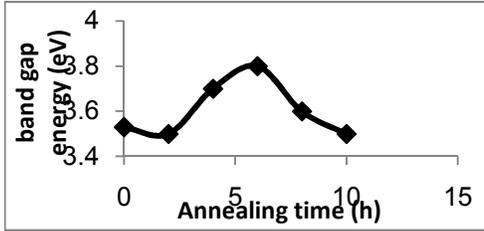
### Estimation of the number of carbon atoms

النتائج عدد ذرات الكربون لكل طول مترابط المتعارف بالعنقود تم حسابها من المعادلة (6.3) وتبويبها في الجدول (2.5) نستطيع أن نري أن عدد ذرات الكربون تزداد بزيادة زمن تعرض لجسيمات ألفا في حالة الانتقالات غير المباشرة بينما تبقي تقريبا ثابتة في حالة الانتقالات المباشرة في الكواشف غير المعالجة حرارياً بينما في حالة الكواشف المعالجة حرارياً ومشععة بجسيمات ألفا يظل عدد ذرات الكربون ثابتاً في حالة الانتقالات المباشرة وغير المباشرة مهما تغير زمن التلدين الحراري.

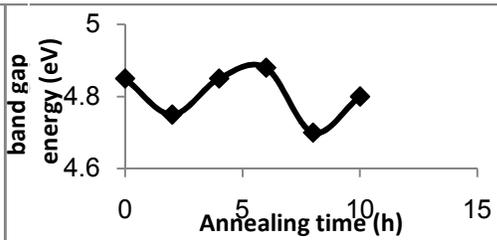
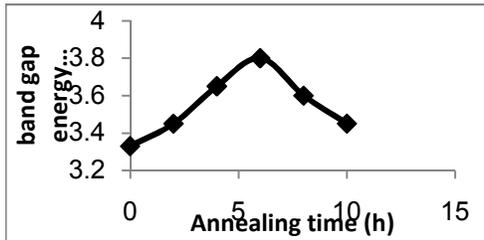
Indirect

Direct

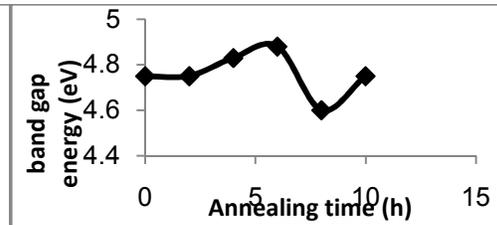
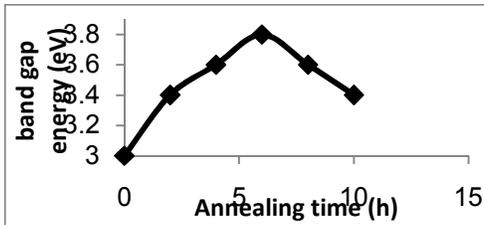
$\alpha$ - exposure  
time



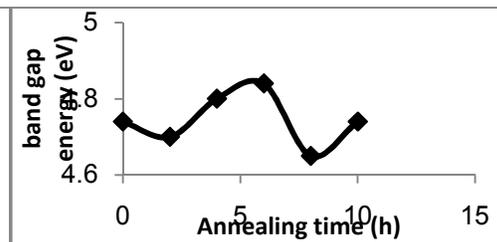
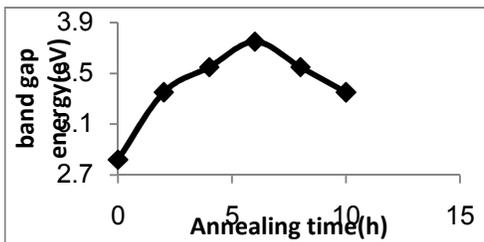
0sec



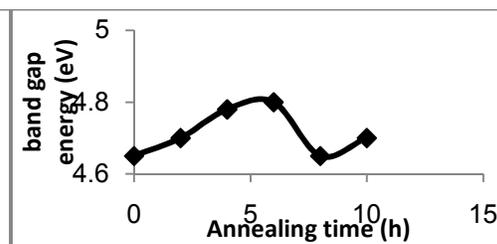
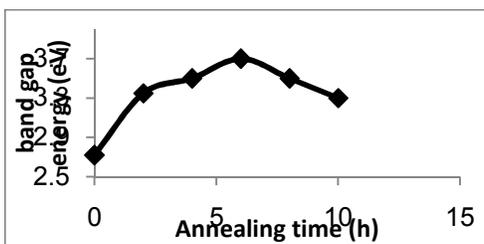
1sec



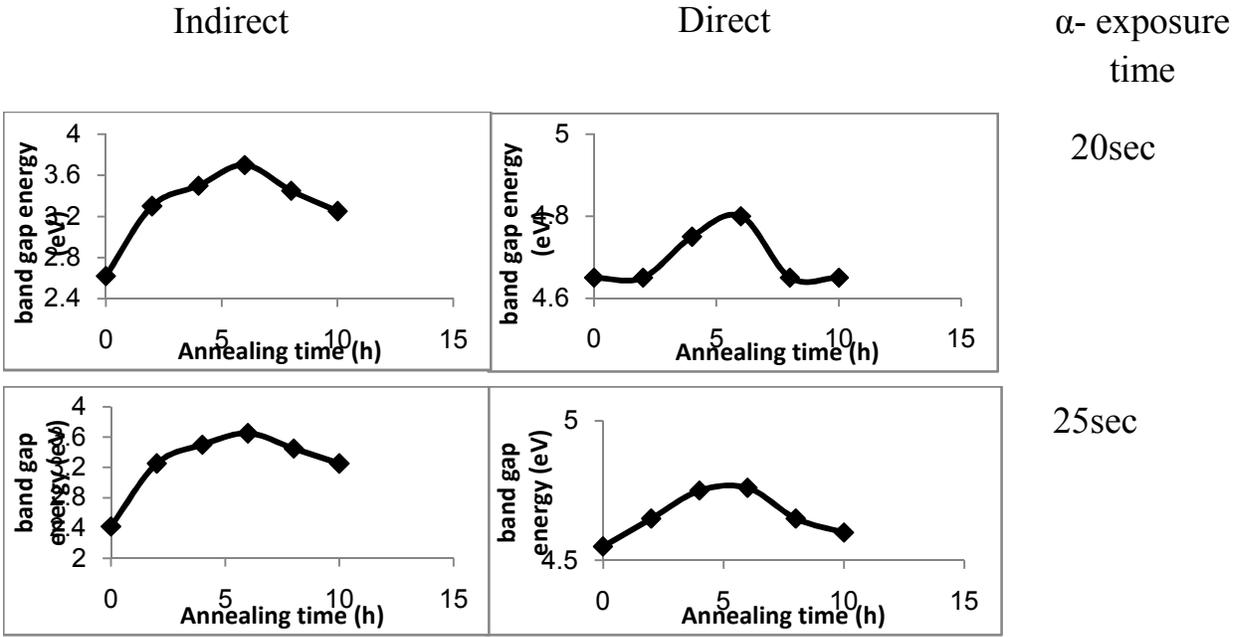
5sec



10sec



15sec



الشكل ( 5.5 ) العلاقة بين طاقة فجوة الحزمة البصرية المباشرة وغير المباشرة و زمن التلدين الحراري عند درجة  $120^{\circ}\text{C}$

## 6.5 استخدام مقياس طيف الأشعة فوق البنفسجية المرئية في قياس أطياف الأشعة فوق البنفسجية التي تم تعرضها في كواشف الأثر النووي الصلبة CR-39

### Measurement of UV-VIS spectra in UV-radiation exposed CR-39

أجريت القياسات باستخدام مطياف طيف الامتصاص للأشعة فوق البنفسجية المرئية على عينات بكر والمشعة بالأشعة فوق البنفسجية في جرعات مختلفة علي كواشف الأثر النووي CR-39 والمعروضة في الشكل (13.5). تتحرك قمة امتصاص الأشعة فوق البنفسجية نحو المنطقة المرئية، أي نحو أعلى الطول الموجي للعينات المعرضة للأشعة. هذا يشير إلى وجود انخفاض كبير في طاقة فجوة الحزمة البصرية بعد التعرض للأشعة فوق البنفسجية<sup>[56,57]</sup> بالإضافة إلى ذلك الشكل (14.5) يوضح توسع في قمة الامتصاص مع زيادة مدة التعريض. وتصبح العينات عديمة اللون وشفافة تدريجيا في الضوء المرئي وفي ظل هذه التغييرات يصبح لون مادة الكاشف من عالية الشفافية إلى مصفر مع زيادة جرعة الأشعة فوق البنفسجية. لمقارنة السلوك المنهجي الطيفي فإن امتصاصية العينات التي تعرضت لجرعة الأشعة فوق البنفسجية الممتصة والعينة البكر عند الأطوال الموجية مختارة من (280-320) nm تم رسمها كدالة في زمن التعرض كما في الشكل (15.5). في هذا الشكل الامتصاصية تزداد بزيادة حادة مع زمن التعرض حتى 40h, ومن (40h إلي 70h) هناك انخفاض ضئيل في الامتصاصية، وفي حالة 70h الامتصاصية تزداد قليلا حتى 80h, ولكن انخفاض معتدل. ونلاحظ أن جرعات الأشعة فوق البنفسجية تكون كافية للحث على تعديل كبير في طاقة فجوة الحزمة البصرية في البوليمير

CR-39 للكشف عن الأثر .

## 7.5 تحديد طاقة أروباخ عند تشعيع بالأشعة فوق البنفسجية

### Determination Urbach energy after the UV irradiation

وبعد تشعيع الكواشف الاثر النووي الصلبة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية حيث تم حساب قيم طاقة أروباخ من معكوس الميل في الجزء الخطي في منطقة المنخفضة من طاقة الفوتون. المنحنيات في الشكل (16.5) وتم توضيحها في الجدول (3.5) نلاحظ أن قيم طاقة أروباخ تزداد بزيادة جرعة التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية من 0.55 eV إلى 0.62 eV (السبب في زيادة طاقة أروباخ إلي الطبيعة البلورية في مادة البوليمير أن هذه التغيرات التي تحدث في مادة البوليمير تعتمد علي العوامل والتراكيب مادة البوليمير أو الطاقة المنتقلة من المادة أو شدة الإشعاع .

## 8.5 تحديد طاقة فجوة الحزمة البصرية في حالة التحويلات المباشرة وغير المباشرة عند التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية

### Determination of optical energy band gap: direct and indirect transitions after UV irradiation

من خلال استخدام مقياس طيف الأشعة فوق البنفسجية المرئية يمكن معرفة طاقة فجوة الحزمة البصرية للعينات البكر والعينات المشععة بالأشعة فوق البنفسجية وذلك برسم العلاقة البيانية بين  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  و  $(\alpha h\nu)^2$  علي التوالي ضد طاقة الفوتون  $h\nu$  تم تحديد نقطة التماس للجزء المستقيم مع محور x الذي يمثل طاقة فجوة الحزمة البصرية في حالة الانتقالات المباشرة الغير مباشرة<sup>[11,34,54]</sup>. يتضح من الشكل (17.5- 18.5) العلاقة بين  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  و  $(\alpha h\nu)^2$  وطاقة الفوتون  $h\nu$  وفترات تشعيع مختلفة من 0h إلي 100h باستخدام الأشعة فوق البنفسجية. وفي الجدول (3.5) قيم طاقة فجوة الحزمة البصرية للكاشف CR-39 تكون 3.50eV في حال العينة البكر وبينما في حال العينات المشععة من 1h إلي 70h تكون eV (3.40 إلي 2.80) أن قيم طاقة فجوة الحزمة بدأت بالنقصان بزيادة فترة التشعيع وأصبحت 2.70eV عند 100h وسبب في ذلك أن الأشعة فوق البنفسجية تقوم بتكسير الروابط في

المركب العضوي مما يخلق فجوات وتحرير الكترولونات والتي قد تصطاد في مصائد عند مواقع مختلفة مما يؤدي إلى تغير طبيعة المادة ولكنها تبقى ضمن المواد العازلة.

## 9.5 تحديد قيم عدد ذرات الكربون عند التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية

### Determining the values of the number of carbon atoms after UV irradiation

النتائج عدد ذرات الكربون لكل طول مترابط المتعارف بالعنقود تم تسجيلها في الجدول (3.5). نستطيع أن نري أن عدد ذرات الكربون لكل عنقود تزداد بزيادة وقت التعرض للأشعة فوق البنفسجية لكل الكواشف. بالإضافة إلي أن عدد ذرات الكربون لكل عنقود في حالة طاقة فجوة الحزمة البصرية ذو الانتقالات الغير مباشرة تكون نسبيا أعلى من حالة الانتقالات المباشرة لكل من كواشف البكر ومشععه بالأشعة فوق البنفسجية.

جدول (3.5) يبين طاقة فجوة الحزمة البصرية , وطاقة الفونون , وطاقة أوروباخ , وعدد ذرات الكربون في كواشف الأثر النووي البوليمير عند تعريضها للأشعة فوق البنفسجية من 0h إلي 100h

زمن تعرض للأشعة فوق البنفسجية (h)	طاقة فجوة الحزمة (eV)		طاقة الفونون (eV)	طاقة أوروباخ (eV)	عدد ذرات الكربون	
	المباشرة	غير المباشرة			المباشرة	غير المباشرة
0	3.50	4.88	1.38	0.55	5	4
1	3.40	4.96	1.56	0.55	5	4
2	3.30	4.96	1.66	0.55	5	4
5	3.20	4.80	1.60	0.53	6	4
10	3.10	4.56	1.46	0.53	6	4
20	3.00	4.56	1.56	0.54	6	4
40	3.00	4.40	1.40	0.54	6	4
50	2.9	4.40	1.50	0.54	6	4
60	2.9	4.40	1.50	0.54	6	4
70	2.8	4.48	1.68	0.63	7	4
80	2.7	4.40	1.62	0.62	7	4
90	2.7	4.48	1.78	0.62	7	4
100	2.7	4.64	1.94	0.62	7	4

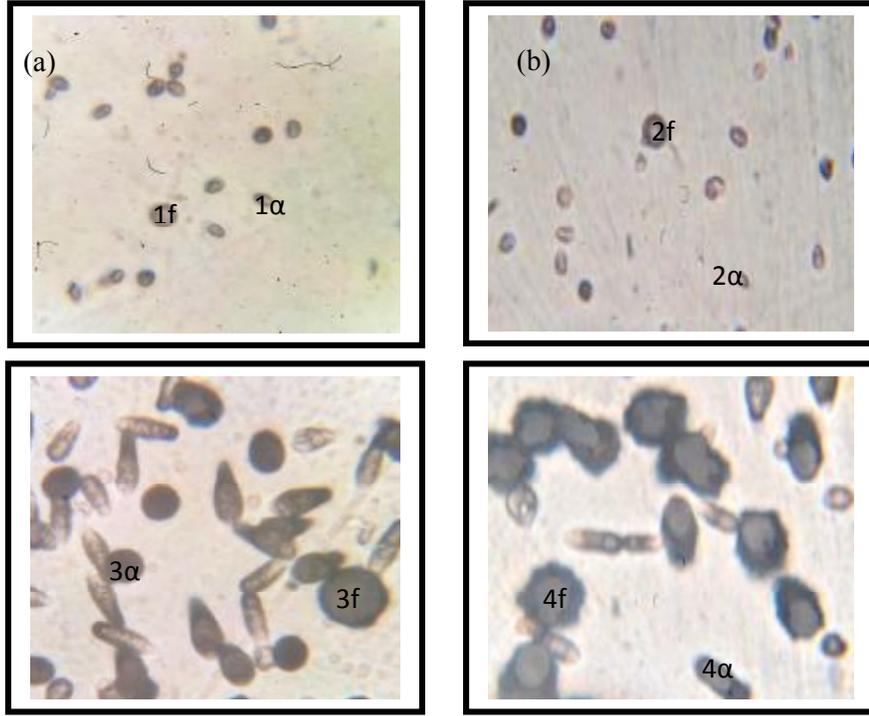
## 10.5 الخصائص الرئيسية و المظهر البصري في كاشف الأثر النووي ذو الحالة الصلبة CR-39

### Main Characteristics and Optical Appearance of Solid State Nuclear Track Detector CR-39

عندما يمر جسيم مشحون داخل مادة الكاشف CR-39, يترك وراءه أثر هدم أيوني يعرف بالأثر الخفي والذي يكون حساس في عملية الحفر الكيميائي أكثر من المادة الكمية الباقية والغير معرضة إلي الإشعاع في مادة الكاشف. يظهر هذا الأثر النووي كفجوة أو حفرة علي سطح الكاشف بعد المعالجة عن طريق حفرها في محلول كيميائي من هيدروكسيد الصوديوم عياريته 6.25N عند درجة الحرارة  $70^{\circ}\text{C}$  شكل (19.5) يبين عينة منتخبة من الأثار النووية لجسيمات عالية التأين كضحايا الانشطار النووي وجسيمات أقل تأييناً مثل جسيمات ألفا المنبعثة من مصدر الكاليفورنيوم  $^{252}\text{Cf}$  و التي تم تسجيلها في الكاشف CR-39. في هذا الشكل تم المشاهدة علي سطح الكاشف لأثار مظلمة وباهتة بدرجات متفاوتة , صغيرة وكبيرة بالإضافة إلي أثار كروية وبيضاوية الشكل. يعتمد حجم هذا الأثر المتكون في مادة الكاشف بواسطة هذا الجسيم المشحون علي حجم الجسيم وطاقته وشحنته. وبناءً علي ذلك يصبح قياس حجم الأثر ذو أهمية قصوي والذي من المفترض أن يكون الأداء الرئيسية لتحديد هذا الجسيم وتعيين طاقته. وبالتالي تظهر الضرورة القصوى في تعيين حساسية الكاشف لتسجيل مثل هذه الجسيمات المشحونة والتي تعرف أيضاً بنسبة معدل الحفر  $V$  وتعطي بالعلاقة :

$$V = \frac{V_T}{V_B}$$

وبالتالي يتطلب قياس كلا من معدلي الحفر الكمي  $V_B$  وحفر الأثر  $V_T$  ولدراسة تأثير الاشعة فوق البنفسجية علي حساسية الكاشف وكفاءته, تم تشيع عينات من CR-39 بواسطة الأشعة فوق البنفسجية ثم بعد ذلك تشيع بمصدر الكاليفورنيوم  $^{252}\text{Cf}$  عند درجة حرارة الغرفة [58,59].



الشكل (19.5) تدريجيات لون الأثر من المظلمة إلي الباهتة بالنسبة لشظايا الانشطار وترتيب 1f , 2f , 3f , 4f بينما جسيمات ألفا تتشاهد بوضوح تدريجيات لون اثارها من المظلم إلي الباهت وكانت كالاتي 1α , 2α , 3α , 4α

يعرض الجدول (4.5) نتائج بارامترات الحفر الكيميائي لعينات الكاشف CR-39 المشعة بالأشعة فوق البنفسجية  $V_T$  ,  $V_B$  ,  $V$  عند درجة حرارة الغرفة وفترات تشعيع مختلفة من 0h إلي 100h ويتضح من النتائج المعروضة في هذا الجدول أن هناك دليلا علي أن عملية التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية لها تأثير علي حساسية S وكفاءة الكاشف  $\eta$  ومعدل حفر الأثر  $V_T$ . يظهر شكل (20.5) تغير معدل الحفر الكمي  $V_B$  مقابل زمن التشعيع باستخدام الأشعة فوق البنفسجية من الواضح بصفة عامة يزداد معدل الحفر الكمي  $V_B$  بزيادة الفترة الزمنية تشعيع الأشعة فوق البنفسجية وأن معدل الزيادة يعتمد بشكل رئيسي علي جرعة التشعيع . حيث أن من 0h إلي 20h تتغير قيمة  $V_B$  ببطء شديد حتي زمن 40h ثم تزداد هذه القيمة بشدة مع زمن تشعيع حتي 60h. حيث نري سلوك مماثل لبعض الشيء حيث يزداد معدل الحفر الكمي  $V_B$  ببطء شديد حتي زمن 80h بينما يصبح معدل التغير في سرعة الحفر الكمي  $V_B$  بطيء بطريقة ملحوظة عند فترات زمنية أطول من 80h إلي 100h لمادة الكاشف

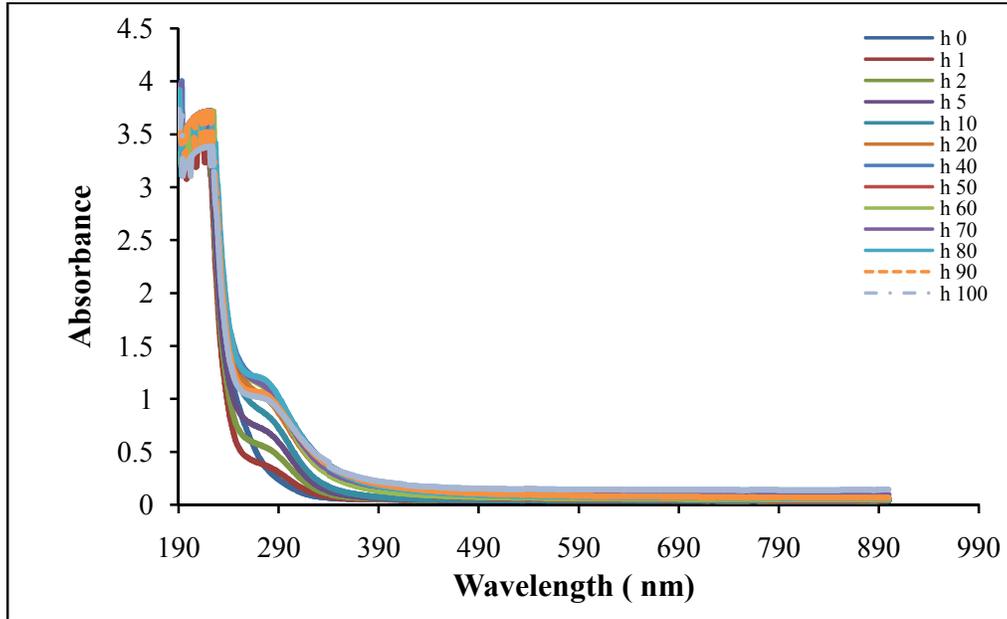
وبعد ذلك يميل معدل التغير في الحفر الكمي إلي عدم التغير أو إلي تغيير طفيف جداً مع زيادة زمن التشعيع حتي 100h.

يعطي معدل حفر الأثر بواسطة العلاقة  $V_T = V_B \bullet V$

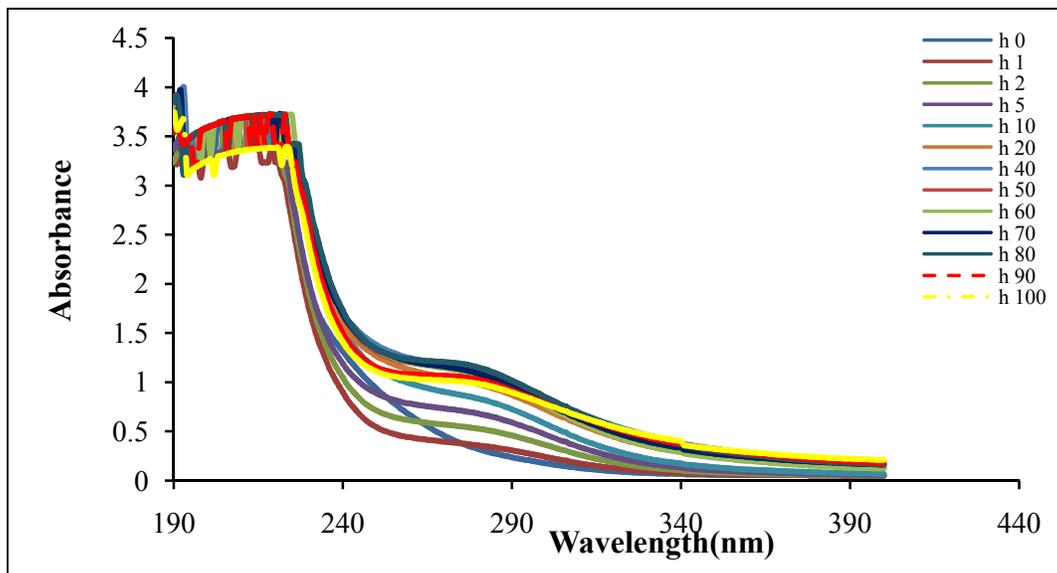
$$\text{حيث أن } V = \frac{1+x'^2}{1-x'^2} \text{ و } x' = \frac{D_\alpha}{D_{ff}}$$

$D_{ff}$  هي قطر الأثر المحفورة لشظية الانشطار,  $D_\alpha$  هي قطر الأثر المحفور لجسيم ألفا

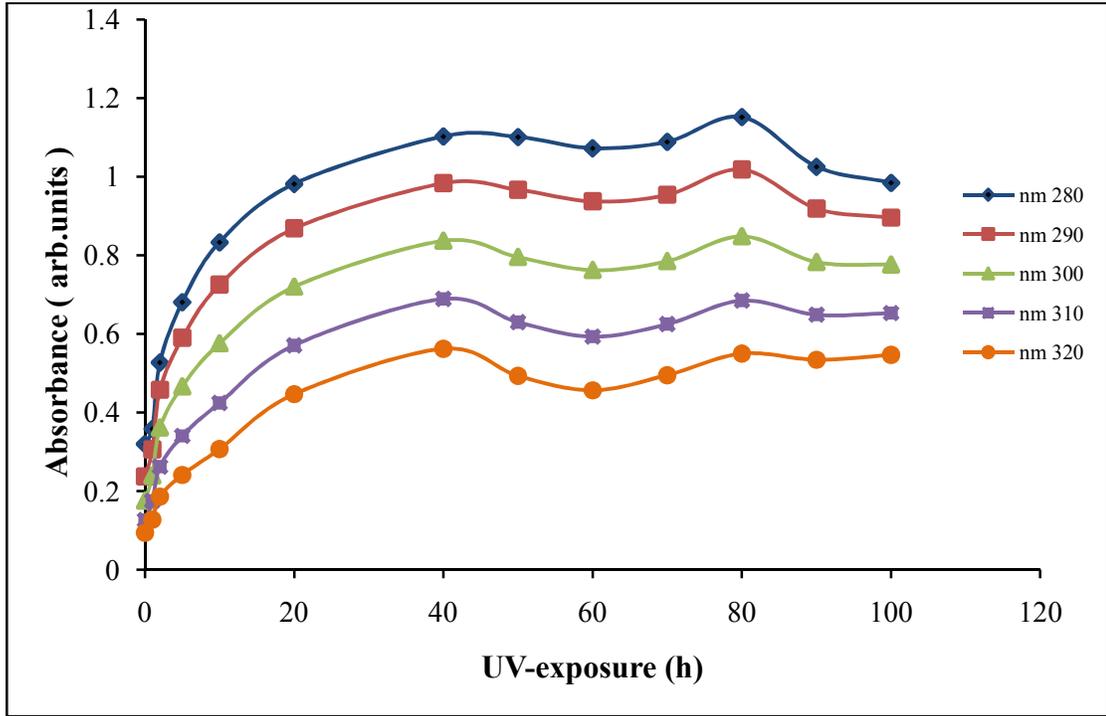
من النتائج المعطاة في الجدول (4.5) يمكن أن نستخلص أن عملية التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية تميل إلي زيادة في قيمة معدل حفر الأثر. كما نري من الرسم في الشكل (21.5) نجد أن معدل حفر الأثر  $V_T$  يزداد تدريجياً عندما يزداد زمن التشعيع من 0h إلي 40h ثم يحدث تسارع في قيمة معدل حفر الأثر من 40h إلي 90h في هذه الحالة تظهر الأثار واضحة عند زيادة فترة التشعيع ونلاحظ تعاضم كبير في قطر الأثر وأن قطر الأثار تزداد مع زيادة فترة الحفر الكيميائي وبذلك تسبب في زيادة واضحة في حساسية الكاشف. الشكل (22.5) يظهر تغير في حساسية الكاشف مقابل فترات زمنية مختلفة من التشعيع باستخدام الأشعة فوق البنفسجية , تشير النتائج العلمية إلي زيادة ملحوظة في حساسية الكاشف بعد زيادة منتظمة في عملية التشعيع ويعزي سبب الزيادة إلي الطاقة الناتجة من التشعيع ودور الجذور الحرة المتكونة وتفاعلها مع محلول الحفر الكيميائي. حيث أن من 0h إلي 20h من فترة التشعيع تزداد حساسية الكاشف زيادة خطية منتظمة ثم بعد ذلك من 20h إلي 90h يحدث تغير طفيف جداً مع زيادة الزمن التشعيع حتي 100h.



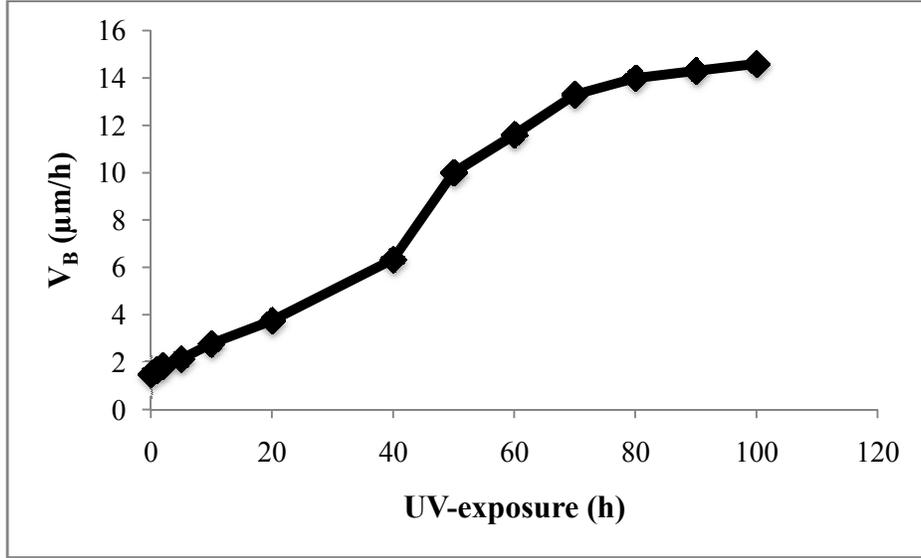
الشكل (13.5) العلاقة بين طيف الامتصاصية الضوئية لكاشف الأثر النووي CR-39 والطول الموجي ولفترات تعرض مختلفة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية .



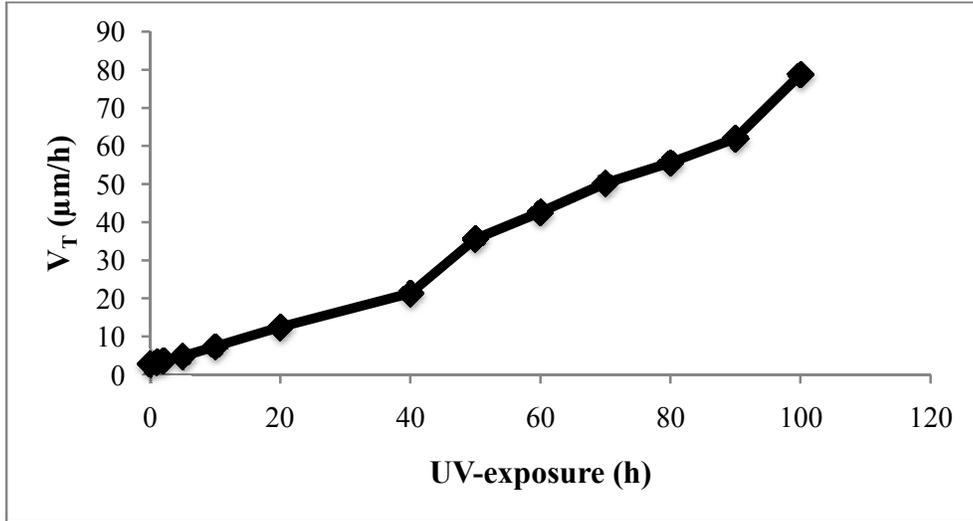
الشكل (14.5) توسع في قمة الامتصاص مع زيادة فترات تعرض مختلفة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية



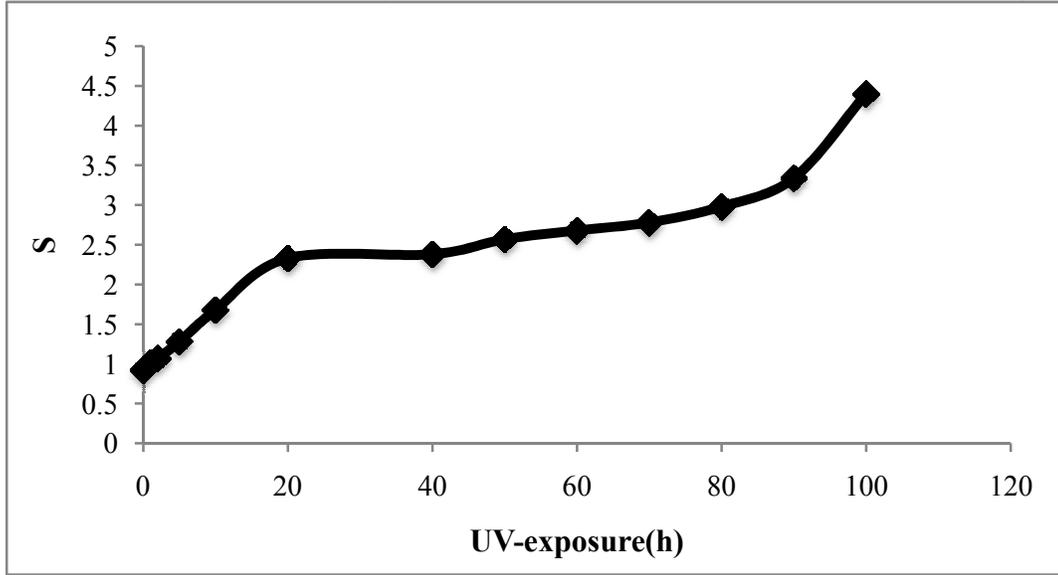
الشكل (15.5) العلاقة بين أعلى امتصاصية طيف الامتصاص لزمن فترات التشعيع بالساعات لكاشف الأثر النووي CR-39 عند الأطوال الموجية (280-320)nm عند زمن التشعيع باستخدام الأشعة فوق البنفسجية .



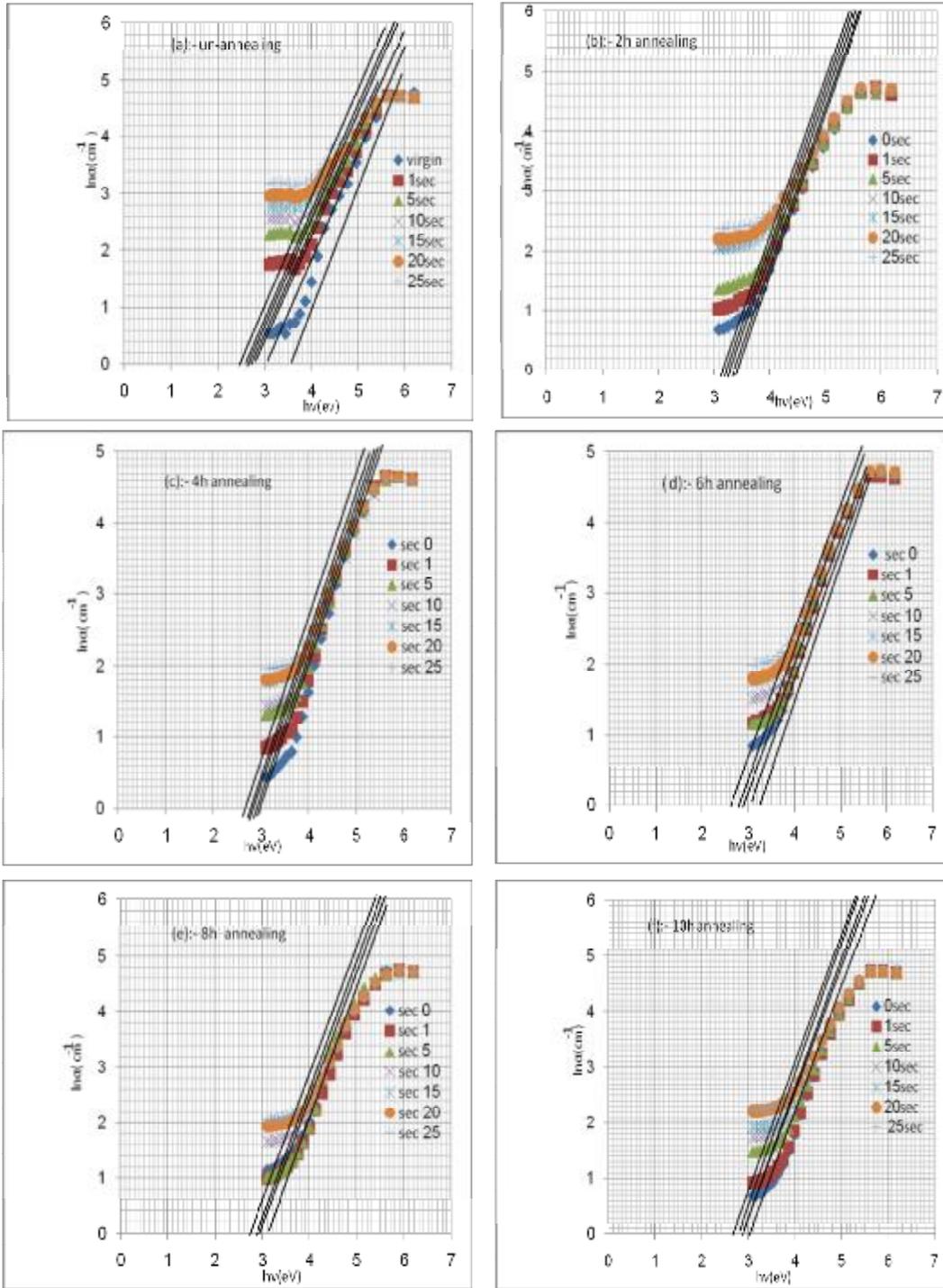
الشكل (20.5) التغير في معدل الحفر الكمي في الكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات تشعيع مختلفة من 0h إلي 100h باستخدام الأشعة فوق البنفسجية والحفر في محلول كيميائي هيدروكسيد الصوديوم عيارته 6.25N



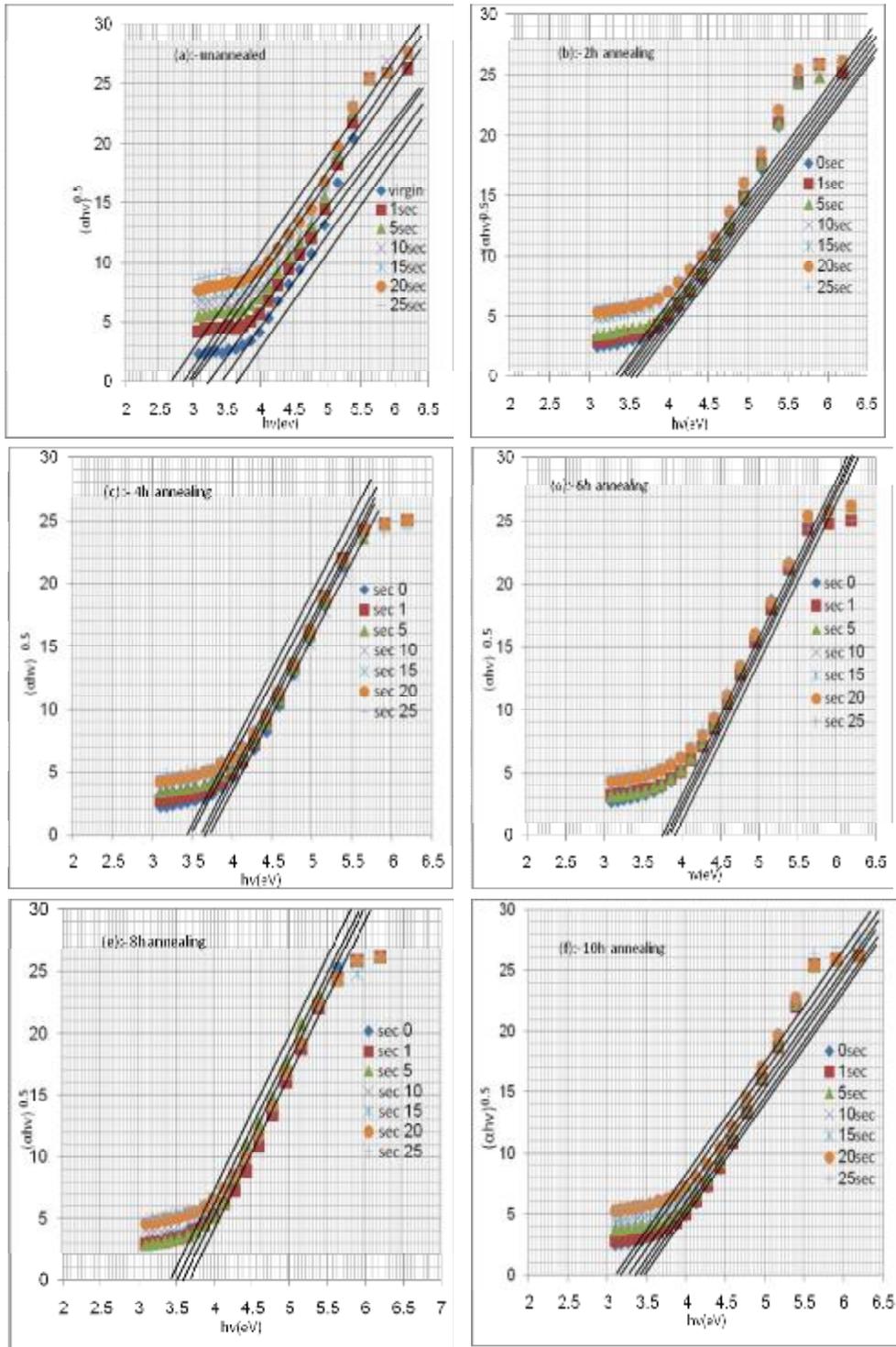
الشكل (21.5) التغير في معدل حفر الأثر في الكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات تشعيع مختلفة من 0h إلي 100h باستخدام الأشعة فوق البنفسجية والحفر في محلول كيميائي هيدروكسيد الصوديوم عيارته 6.25N



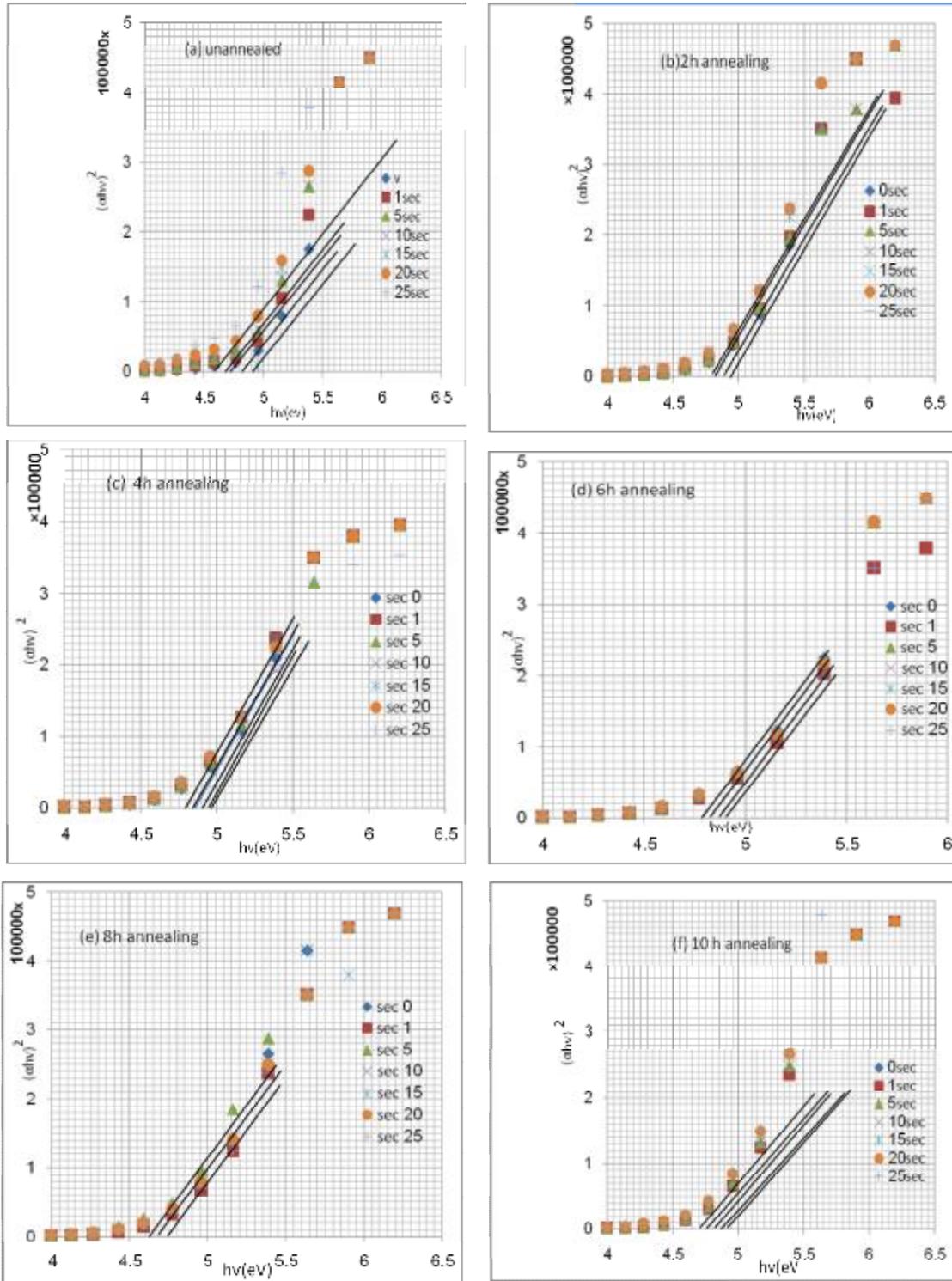
الشكل (22.5) التغير في حساسية الكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات تشعيع مختلفة من 0h إلى 100h باستخدام الأشعة فوق البنفسجية والحفر في محلول كيميائي هيدروكسيد الصوديوم عيارته 6.25N



الشكل (2.5) العلاقة بين  $(\ln\alpha)$  وطاقة الفوتون  $h\nu$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وزمن تعرض جسيمات الفا مختلفة من 1sec إلى 25sec



الشكل (3.5) العلاقة بين  $(ahv)^{1/2}$  وطاقة الفوتون  $h\nu$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وزمن تعرض جسيمات ألفا مختلفة من 1sec إلى 25sec

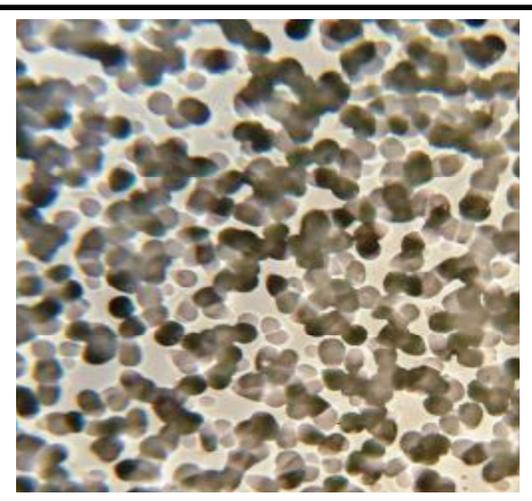
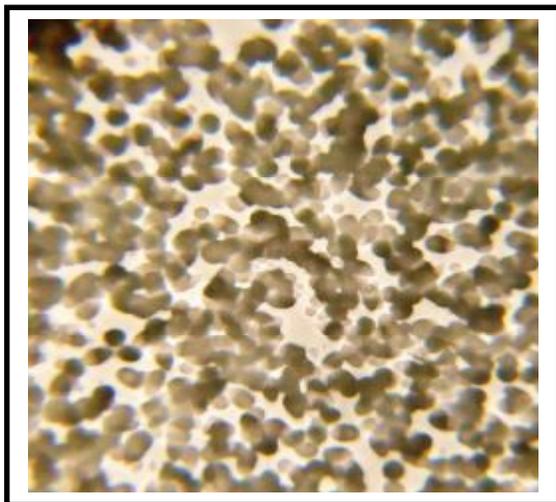
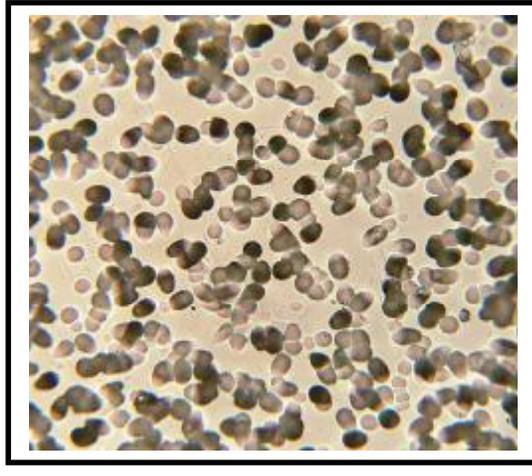
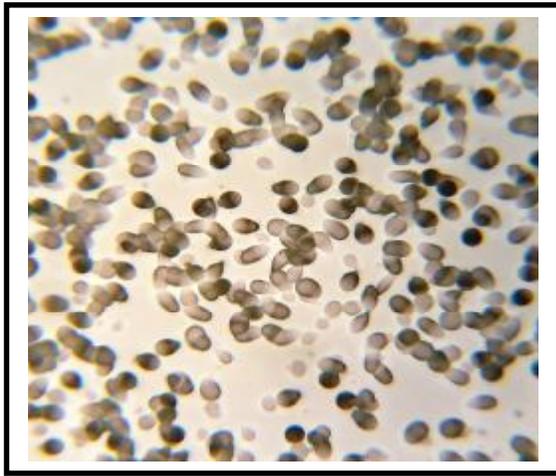
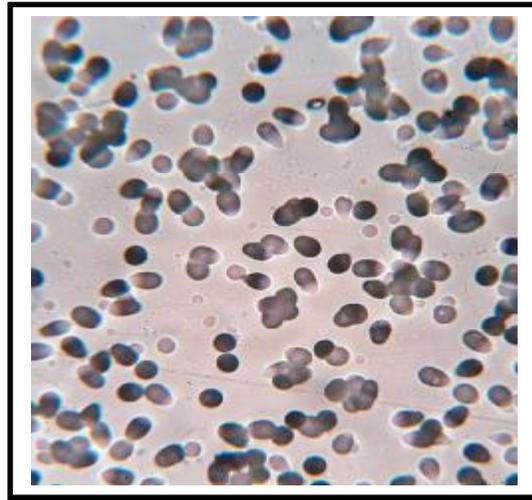
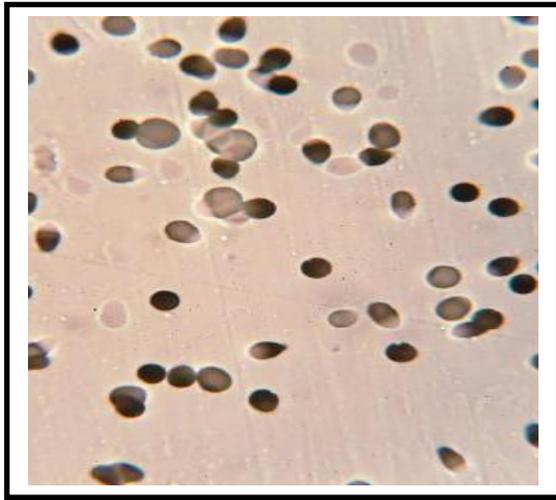


الشكل (4.5) العلاقة بين  $(\alpha hv)^2$  وطاقة الفوتون  $hv$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وزمن تعرض جسيمات ألفا مختلفة من 1sec إلى 25sec

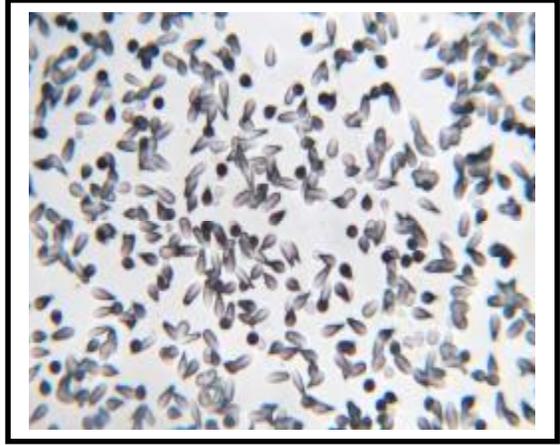
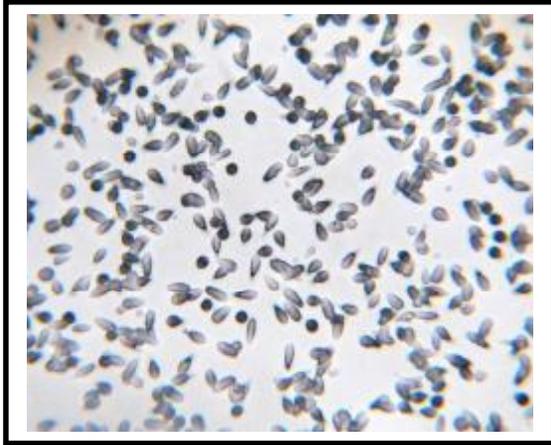
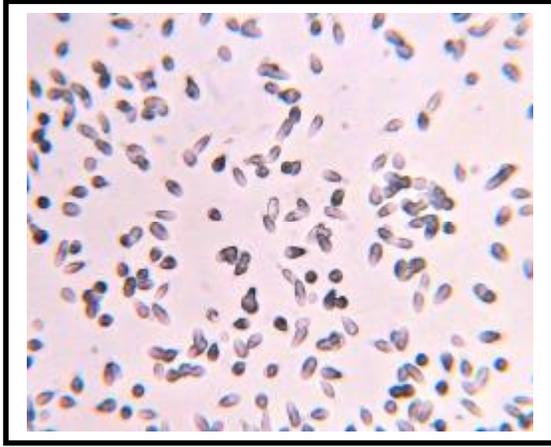
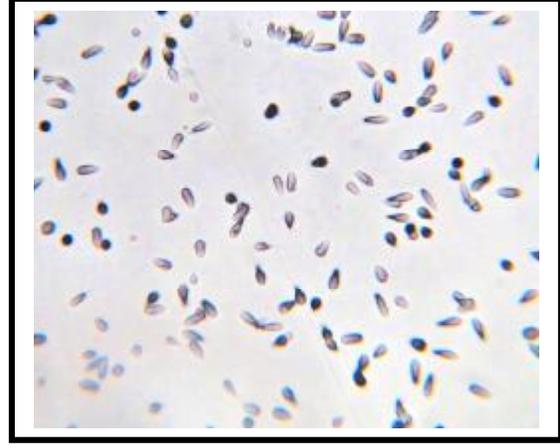
الجدول (2.5) :- طاقة فجوة الحزمة البصرية، والطاقة الفونون، الطاقة أوريباخ، وذرات الكربون (N) في كواشف الاثر النووي البوليمر غير المعالجة حرارياً و معالجة حرارياً والمشع عن طريق جسيمات ألفا مع زمن تعرض مختلفة. تم إجراء التلدين الحرارية عند درجة حرارة 120<sup>0</sup>C لفترات من (2h , 4h , 6h , 8h و 10h).

زمن التلدين بالساعات	زمن تعرض جسيمات ألفا (sec)	طاقة فجوة الحزمة (eV)		طاقة الفونون (eV)	طاقة أوريباخ (eV)	عدد ذرات الكربون	
		مباشر	غير المباشر			غير المباشر	مباشر
0	0 <sup>†</sup>	3.53	4.90	1.37	0.45	5	3
	1	3.33	4.85	1.52	0.55	5	3
	5	3.00	4.75	1.75	0.56	6	4
	10	2.82	4.75	1.93	0.58	6	4
	15	2.72	4.65	1.93	0.59	7	4
	20	2.62	4.65	2.03	0.60	7	4
	25	2.42	4.55	2.13	0.61	8	4
2	0	3.50	4.80	1.3	0.47	5	4
	1	3.45	4.75	1.3	0.48	5	4
	5	3.40	4.75	1.35	0.47	5	4
	10	3.35	4.70	1.35	0.47	5	4
	15	3.35	4.70	1.35	0.47	5	4
	20	3.30	4.65	1.35	0.48	5	4
	25	3.25	4.65	1.4	0.48	5	4
4	0	3.70	4.87	1.17	0.46	5	4
	1	3.65	4.85	1.2	0.45	5	4
	5	3.60	4.83	1.23	0.44	5	4
	10	3.55	4.80	1.25	0.44	5	4
	15	3.50	4.78	1.28	0.44	5	4
	20	3.50	4.75	1.25	0.44	5	4
	25	3.50	4.75	1.25	0.43	5	4
6	0	3.80	4.88	1.08	0.50	5	4
	1	3.80	4.88	1.08	0.50	5	4
	5	3.80	4.88	1.08	0.50	5	4
	10	3.75	4.84	1.09	0.46	5	4
	15	3.70	4.80	1.1	0.47	5	4
	20	3.70	4.80	1.1	0.47	5	4
	25	3.65	4.76	1.11	0.50	5	4
8	0	3.60	4.70	1.1	0.45	5	4
	1	3.60	4.70	1.1	0.45	5	4
	5	3.60	4.60	1	0.45	5	4
	10	3.55	4.65	1.1	0.46	5	4
	15	3.50	4.65	1.15	0.46	5	4
	20	3.45	4.65	1.2	0.46	5	4
	25	3.45	4.65	1.2	0.46	5	4
10	0	3.50	4.80	1.3	0.60	5	4
	1	3.45	4.80	1.35	0.60	5	4
	5	3.40	4.75	1.35	0.60	5	4
	10	3.35	4.75	1.4	0.63	5	4
	15	3.30	4.70	1.4	0.63	5	4
	20	3.25	4.65	1.4	0.60	5	4
	25	3.25	4.60	1.35	0.60	5	4

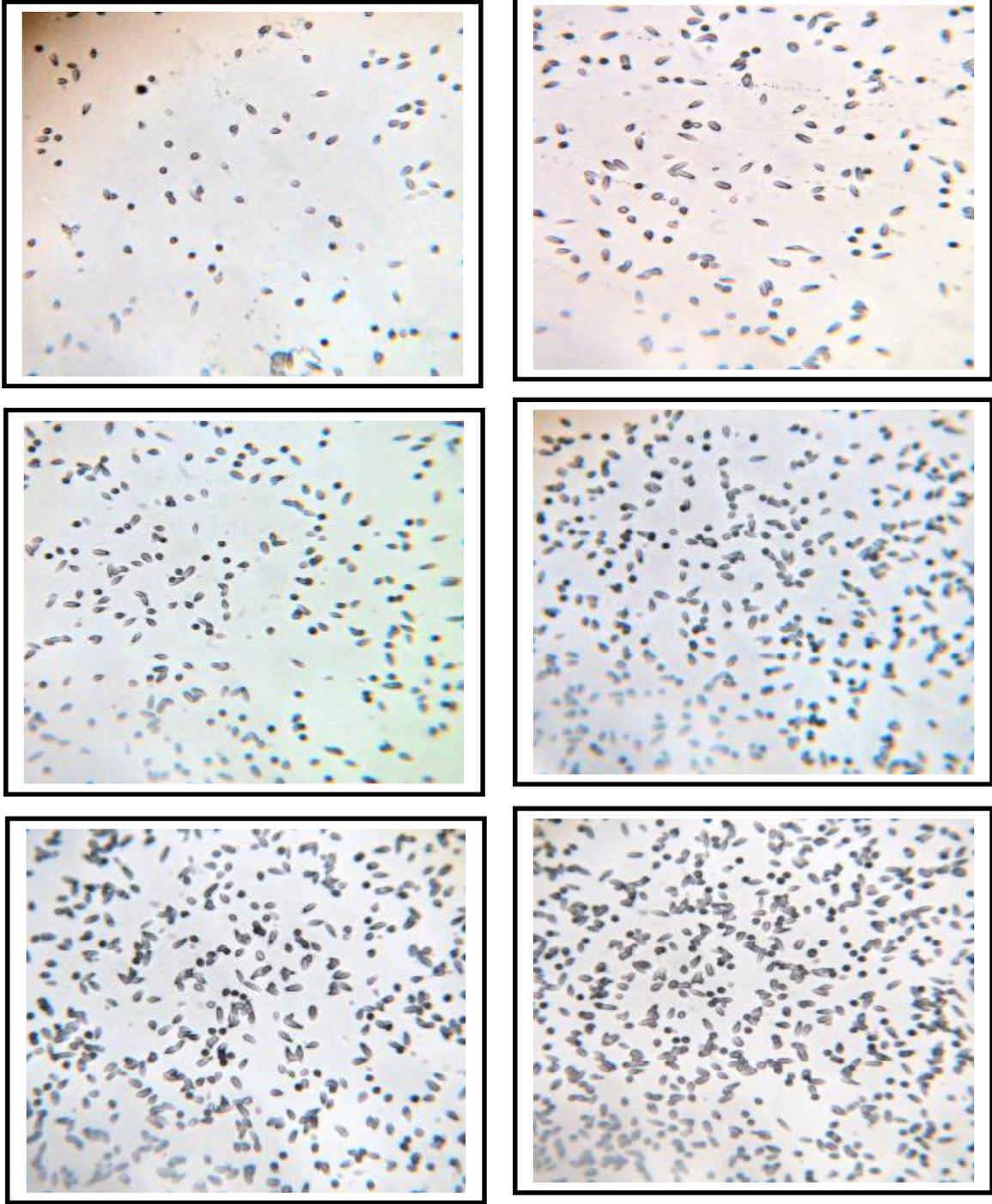
† PADC film is virgin



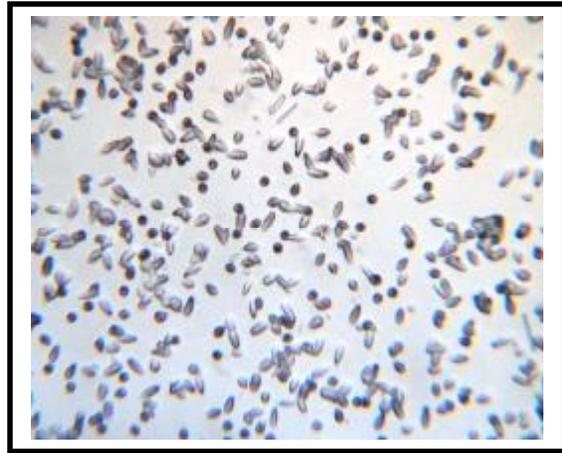
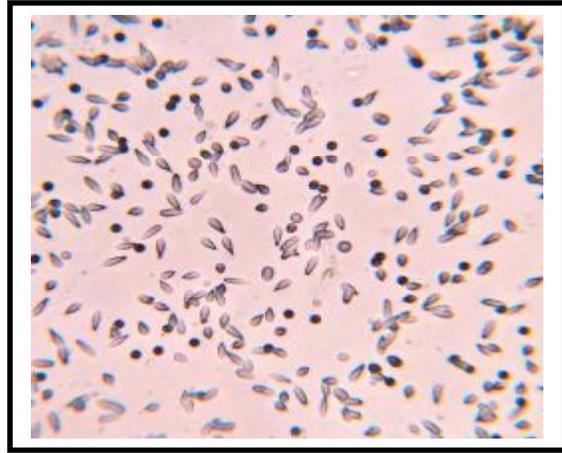
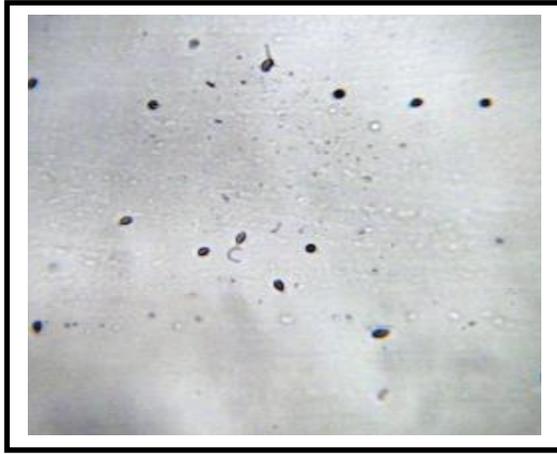
الشكل (7.5) صور فوتوغرافية للأثار النووية ( جسيمات ألفا ) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 و زمن تعرض جسيمات ألفا مختلفة من 1sec إلي 25sec



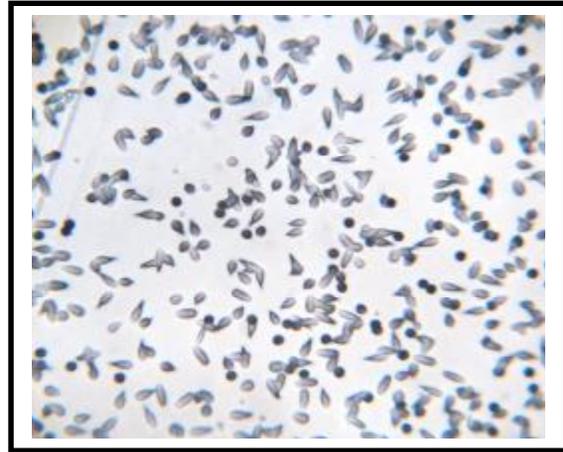
الشكل ( 8.5 ) صور فوتوغرافية للأثار النووية ( جسيمات ألفا ) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 المعالجة حرارياً عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشعيع عند زمن وفترات زمن تعرض جسيمات ألفا مختلفة من 1sec إلي 25sec و 2h



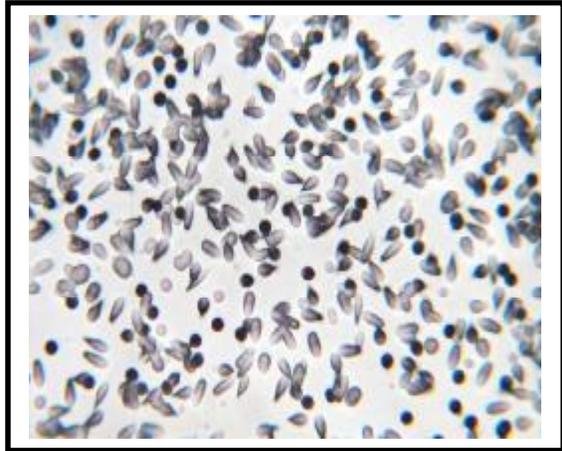
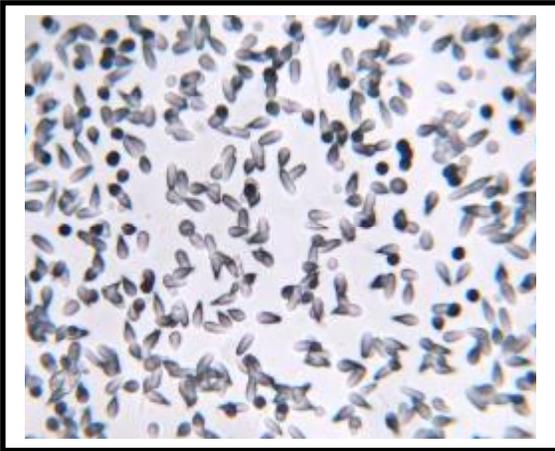
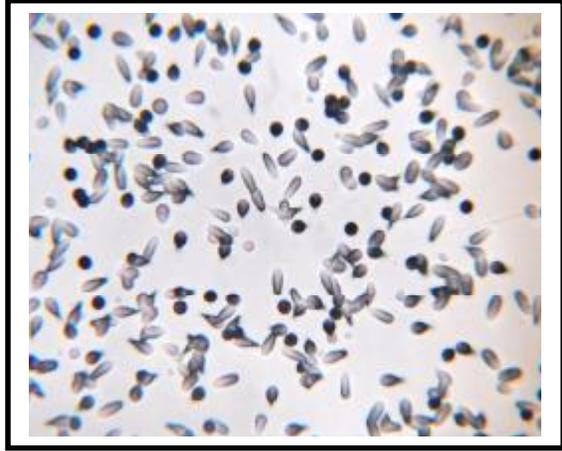
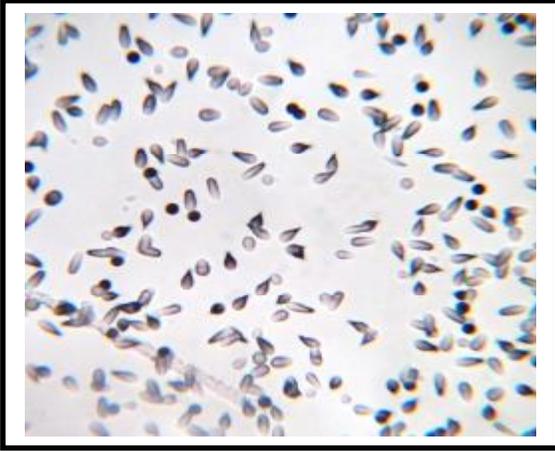
الشكل ( 9.5 ) صور فوتوغرافية للأثار النووية ( جسيمات ألفا ) من عنصر الأмериسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 المعالجة حرارياً عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشعيع عند زمن وفترات زمن تعرض جسيمات ألفا مختلفة من 1sec إلي 25sec و 4h



الشكل (10.5) صور فوتوغرافية للأثار النووية (جسيمات ألفا) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 المعالجة حرارياً عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشعيع عند زمن وفترات زمن تعرض جسيمات ألفا مختلفة من 1sec إلي 25sec و 6h



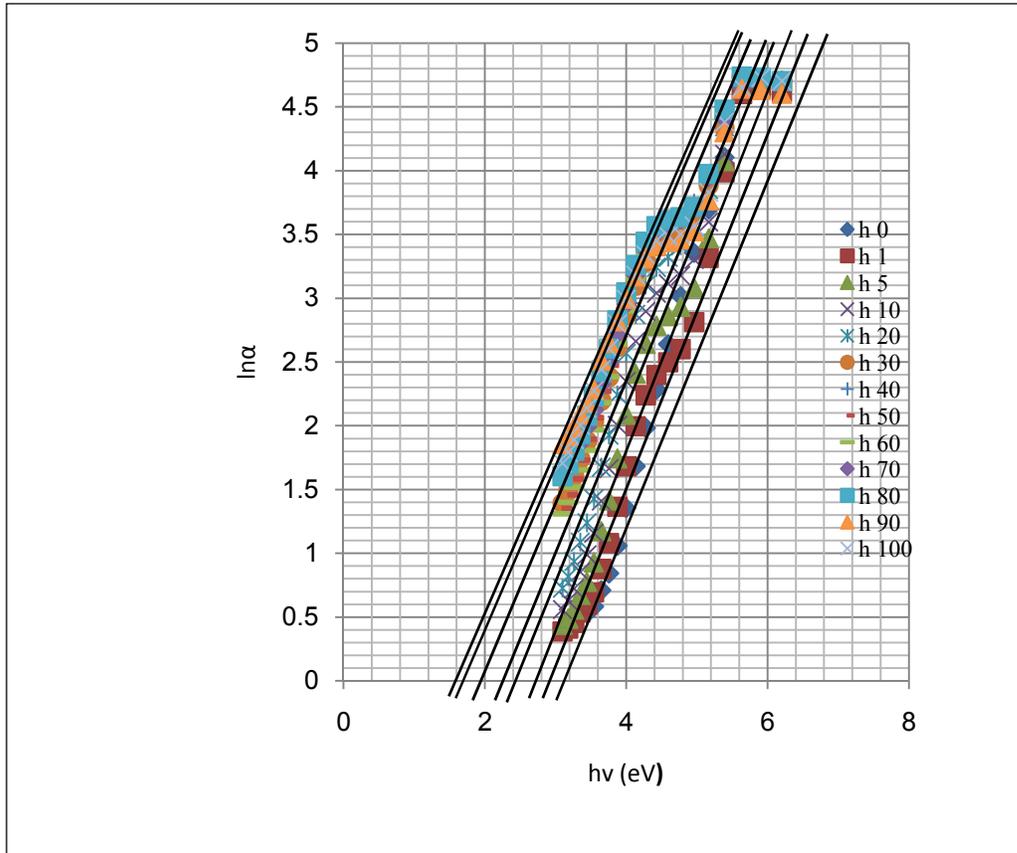
الشكل (11.5) صور فوتوغرافية للأثار النووية (جسيمات ألفا) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 المعالجة حرارياً عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشعيع عند زمن وفترات زمن تعرض جسيمات ألفا مختلفة من 1sec إلي 25sec و 8h



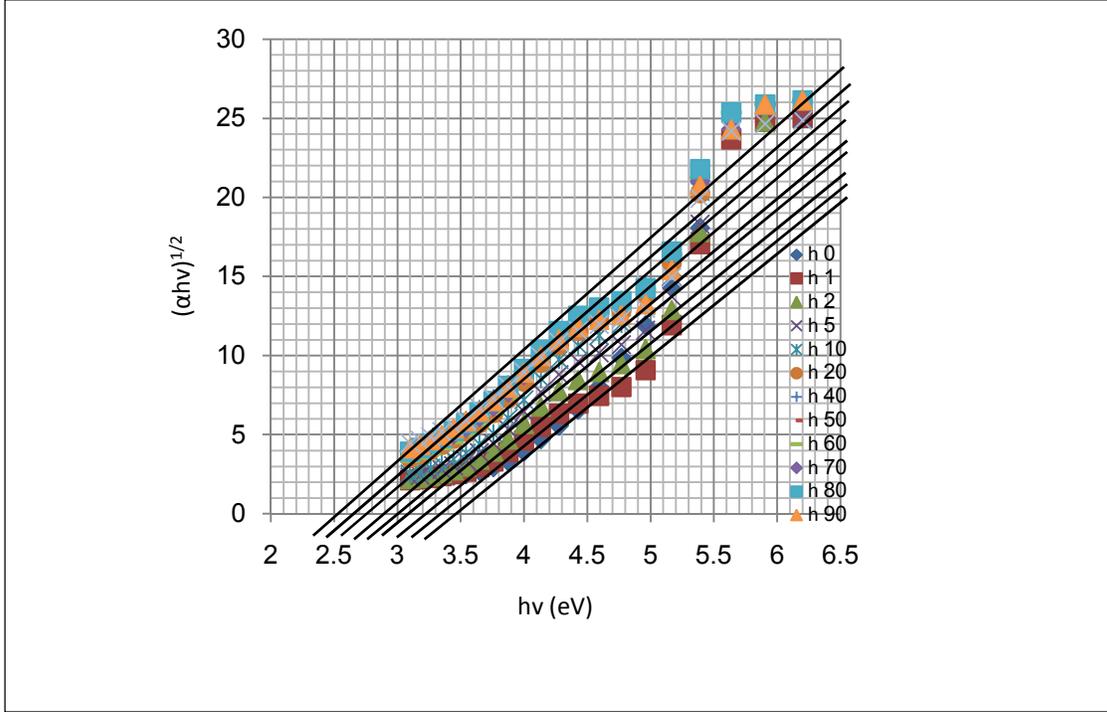
الشكل (12.5) صور فوتوغرافية للأثار النووية (جسيمات ألفا) من عنصر الأمريسيوم  $^{241}\text{Am}$  والمسجلة علي الكاشف البلاستيكي CR-39 المعالجة حرارياً عند  $120^{\circ}\text{C}$  قبل التشيع عند زمن 10h وفترات زمن تعرض جسيمات ألفا مختلفة من 1sec إلي 25sec

جدول (3.5) يبين طاقة فجوة الحزمة البصرية , وطاقة الفونون , وطاقة أروباخ , وذرات الكربون (N) في كواشف الأثر النووي البوليمير PADC عند تعريضها للأشعة فوق البنفسجية من 0 إلى 100 ساعة

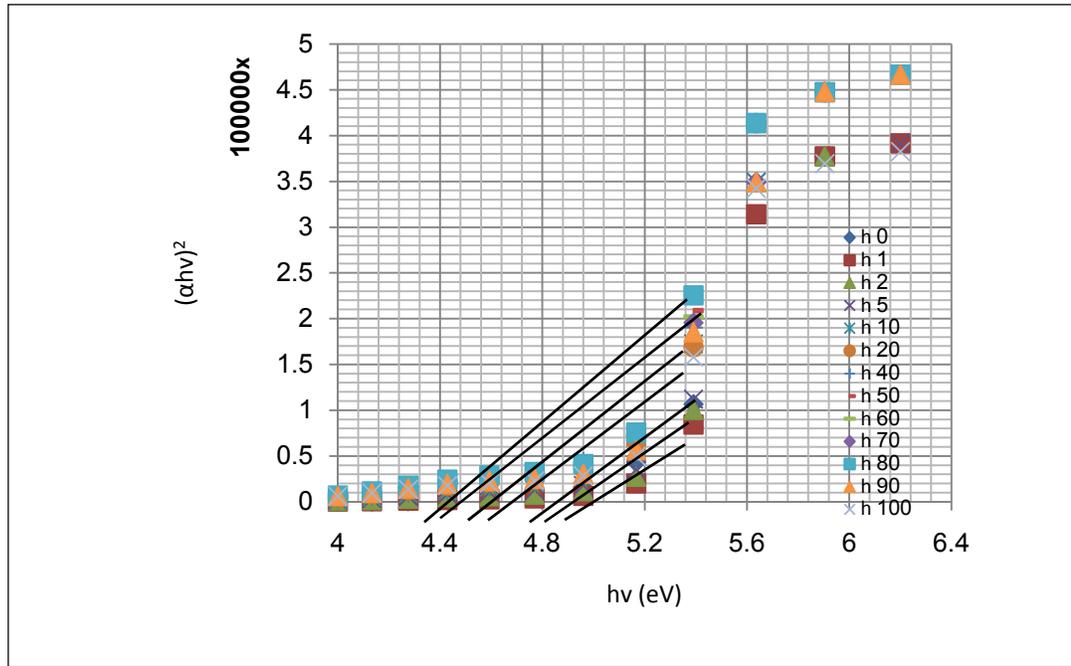
زمن تعرض للأشعة فوق البنفسجية (h)	طاقة فجوة الحزمة (eV)		طاقة الفونون (eV)	طاقة أروباخ (eV)	عدد ذرات الكربون	
	غير المباشرة	المباشرة			غير المباشرة	المباشرة
0	3.50	4.88	1.38	0.55	5	4
1	3.40	4.96	1.56	0.55	5	4
2	3.30	4.96	1.66	0.55	5	4
5	3.20	4.80	1.60	0.53	6	4
10	3.10	4.56	1.46	0.53	6	4
20	3.00	4.56	1.56	0.54	6	4
40	3.00	4.40	1.40	0.54	6	4
50	2.9	4.40	1.50	0.54	6	4
60	2.9	4.40	1.50	0.54	6	4
70	2.8	4.48	1.68	0.63	7	4
80	2.7	4.40	1.62	0.62	7	4
90	2.7	4.48	1.78	0.62	7	4
100	2.7	4.64	1.94	0.62	7	4



الشكل ( 16.5 ) العلاقة بين  $(\ln\alpha)$  وطاقة الفوتون  $h\nu$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات  
تسعين مختلفة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية من 0h إلي 100h



الشكل (17.5) العلاقة بين  $(ahv)^{1/2}$  وطاقة الفوتون  $h\nu$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات تشعيع باستخدام الأشعة فوق البنفسجية من 0h إلى 100h



الشكل (18.5) العلاقة بين  $(\alpha h\nu)^2$  وطاقة الفوتون  $h\nu$  لكاشف الأثر النووي CR-39 وفترات  
تسعين باستخدام الأشعة فوق البنفسجية من 0h إلى 100h

جدول (4.5) بارامترات الحفر الكيميائي لعينات الكاشف الأثر النووي CR-39 المشععة بالأشعة فوق البنفسجية من 0h إلي 100h والحفر الكيميائي في محلول هيدروكسيد الصوديوم لمدة 4h.

زمن تعرض للأشعة فوق البنفسجية (h)	$D_\alpha$ ( $\mu m$ )	$D_{ff}$ ( $\mu m$ )	$X = \frac{D_\alpha}{D_{ff}}$	$D_0^{ff} / D_{ff}$	$D_0^\alpha / D^\alpha$	$V = \frac{V_T}{V_B}$	$S = V - 1$	$V_B$ ( $\mu m / h$ )	$V_T$ ( $\mu m / h$ )	$\theta^c$	$\eta$ %
0	5.0	8.9	0.562	1.0	1.0	1.92	0.92	1.48	2.84	31.38	48
1	5.8	10.0	0.580	0.890	0.862	2.01	1.01	1.67	3.36	29.83	50
2	6.5	11.0	0.591	0.809	0.769	2.07	1.07	1.83	3.79	28.88	51
5	8.0	12.8	0.625	0.695	0.625	2.28	1.28	2.13	4.86	26.01	56
10	11.3	16.7	0.677	0.533	0.442	2.68	1.68	2.78	7.45	21.90	62
20	16.5	22.5	0.733	0.395	0.303	3.33	2.33	3.75	12.49	17.47	69
40	28.0	38.0	0.737	0.234	0.178	3.38	2.38	6.33	21.39	17.20	70
50	45.0	60.0	0.750	0.148	0.111	3.57	2.57	10.00	35.70	16.26	72
60	53.0	70.0	0.757	0.127	0.094	3.68	2.68	11.60	42.69	15.76	73
70	61.0	80.0	0.763	0.111	0.082	3.78	2.78	13.30	50.27	15.34	74
80	85.0	84.0	0.774	0.106	0.077	3.98	2.98	14.00	55.72	14.55	75
90	68.0	86.0	0.790	0.103	0.074	4.34	3.34	14.30	62.06	13.32	77
100	73.0	88.0	0.829	0.101	0.068	5.4	4.40	14.60	78.84	10.67	81

## الاستنتاج

### Conclusion

تحليل مطياف الأشعة فوق البنفسجية من خلال أثر الفا المحفورة في كواشف الأثر النووي المعالجة حرارياً وغير المعالجة حرارياً الاستنتاجات التالية :-

1- نتيجة تشيع جسيمات ألفا يحدث تأثير كبير على طاقة فجوة الحزمة البصرية في حالة الانتقالات غير المباشرة والمباشرة، من كواشف الأثر النووي غير المعالجة حرارياً . وبسبب التشيع بجسيمات ألفا تتشكل بعض المجموعات الكروموفورية ( Chromophoric group )<sup>[50]</sup> الذي يعود الى تشكيل  $C = O$  و  $C = C$  في النظام المترابط من الحزمة, وقد لوحظ انخفاض من 31.40% إلي 7.10% في طاقة فجوة الحزمة البصرية في كواشف الأثر النووي البكر والمشعة بجسيمات ألفا من 3.53eV و 4.90eV إلى 2.42eV و 4.55eV على التوالي في الانتقالات الغير مباشرة والمباشرة. وقد لوحظت زيادة كبيرة من 35.65% إلي 55.55% في طاقة الفونون وطاقة أورباخ في عينة البكر والعينات المشعة من 1.37eV و 0.45eV إلى 2.13eV و 0.61eV على التوالي. تزداد عدد ذرات الكربون من 33.30% إلي 60% في الفترة من 5 و 3 إلي 8 و 4 في عينة البكر وعينات المشعة، في كل الانتقالات غير المباشرة والمباشرة على التوالي. عموماً أشارت البيانات إلي زيادة شدة امتصاص البصرية في طاقة فجوة الحزمة البصرية. الانتقالات البصرية من  $\pi \rightarrow \pi^*$  في بنية  $C = C$  لعبت دوراً مثيرة للاهتمام في تشكيل الأثر الخفي في كواشف الأثر النووي بحدود منخفضة للطاقة.

2- تغييرات كبيرة يتسبب فيها التلدين الحراري في الخصائص البصرية لكواشف الأثر النووي حيث يحدث انخفاض قدره 7.10% إلي 1.10% في طاقة فجوة الحزمة البصرية في حالة الانتقالات الغير مباشرة والمباشرة من 3.50eV و 4.80eV، 3.70eV و 4.87eV، 3.80eV و 4.88eV، 3.60eV و 4.70eV، 3.50eV و 4.80eV إلى 3.25eV و 4.65eV، 3.50eV و 4.75eV، 3.65eV و 4.78eV، 3.45eV و 4.65eV وكذلك 3.25eV و 4.60eV المعالجة حرارياً والشعة بجسيمات ألفا

عند  $120^{\circ}\text{C}$  لمدة (2h، 4h، 6h، 8h، و 10h) على التوالي. طاقة الفونون، وطاقة أورباخ وعدد ذرات الكربون أظهرن تأثير معاكس في الكواشف الأثر النووي المعالجة حرارياً وغير المعالجة حرارياً.

3- إن الكواشف الأثر النووي المعالجة حرارياً أظهرت حساسية منخفضة مع معدلات التأين بواسطة جسيمات ألفا.

4- الملاحظات المقترحة الحالية علي تحدد جرعة جسيمات ألفا المقدر لها في كواشف الأثر النووي الصلبة.

5- من خلال دراسة تأثير التشعيع بتقنية UV-visible على كاشف الأثر النووي CR-39 تبين أن قيمة طاقة فجوة الحزمة تقل بزيادة فترات التشعيع من  $3.50\text{eV}$  إلي  $2.70\text{eV}$ .

6- أعلى امتصاصية ضوئية تقع تقريباً عند الطول الموجي (280-320)nm وتزداد الامتصاصية بزيادة زمن التشعيع .

7- تحدث تغييرات كبيرة بسبب تأثير تشعيع بالأشعة فوق البنفسجية في الخصائص البصرية في كواشف الأثر النووي حيث يحدث انخفاض في طاقة فجوة الحزمة البصرية في حالة الانتقالات غير المباشرة والمباشرة من  $3.50\text{eV}$  و  $4.88\text{eV}$  إلي  $2.70\text{eV}$  و  $4.64\text{eV}$  مع زيادة في قيمة طاقة الفونون من  $1.38\text{eV}$  إلي  $1.94\text{eV}$  وطاقة أورباخ من  $0.55\text{eV}$  إلي  $0.62\text{eV}$  بزيادة زمن التشعيع من 0h إلي 100h.

8- ازدياد معدل الحفر الكمي  $V_B$  ومعدل حفر الأثر  $V_T$  وحساسية الكاشف مما يؤدي إلي زيادة في كفاءة الكاشف في تسجيل جسيمات ألفا يقابلها انخفاض في الزاوية الحرجة  $\theta^{\circ}$ .

## References

- [1] Fleischer, R. L., Price, P.B., 1963. Tracks of charged particles in high polymers. *Science* 140, 1221–1222.
- [2] Cartwright, B.G., Shirk, E.K., Price, P.B., 1978 . A nuclear-track-recording polymer of unique sensitivity and resolution. *Nucl.Instrum.Methods* 53, 457–460.
- [3] Durrani, S.A., Bull, R.K., 1987 *Solid state Nuclear Track Detection: Principles and Applications*, Pergamon Press, Oxford.
- [4] Glenn, F., Knoll, 1989. *Radiation Detection and Measurement*. Fourth Edition, Michigan University.
- [5] Rochel, A., Powsner, Edward, R., Powsner, 1998. *Essential Nuclear Medicine Physics*. Second Edition, Boston University.
- [6] Young, D.A., 1958. Etching of radiation damage in lithium fluoride. *Nature* 182, 375–377.
- [7] E.C.H., Silk, R.S., Barnes, 1959. Examination of fission fragment tracks with an electron microscope . *Phil Mag.* 4, 972 .
- [8] Fleischer, R.L., Price, P.B., Walker, R.M., 1975. *Nuclear Tracks in Solids: Principles and Application*. University of California Press, Berkeley, USA.
- [9] Nikezic, D., Yu, K.N., 2004. Formation and growth of tracks in nuclear track materials. *Mater. Sci. Eng. R* 46, 51–123.
- [10] Durante M., Grossi G. F., Pugliese M. and Gialanella G., 1996 . *Nuclear Track Detectors in Cellular Radiation Biology*. *Rad. Meas*, 26 (2):pp 179 – 186.

- [11] Kumar, V., Sonkawade, R.G., Chakarvarti, S.K., Kulriya, P., Kant, K., Singh, N.L., Dhaliwal, A. S., 2011. Study of optical structural and chemical properties of neutron irradiated PADC film. *Vacuum* 86, 275–279.
- [12] Durrani, S.A., Karamdust, N.A., Al-Khalifa, I.J.M., 1990. The Effect of the registration temperature on the response of CR-39 to alpha particles and fission fragments. *Radiat. Protect. Dosimetry* 34, 43–46.
- [13] Falk R., Mellander H., Nyblom L., Ostergren I., 2001. Individual Radon Exposure History Measured by an Alpha Track Detector Technique. Swedish Radiation Protection Institute (SSI), S-17116, Stockholm
- [14] Barioni A., Manso Guevara M. V., Arruda-Neto J. D. T., 2001. The Concentration of Uranium in Sao Paulo Citizens, Diet, Results. Institute of Fisica. Universidade de Sao Paulo.
- [15] Sadowska B. J., Sadwski M., 2000. Low Energy Ion Measurements by means of CR-39 Nuclear Track Detectors. Conf. On Nuclear Tracks in Solids . Dept. of Plasma Phys. Technology. Soltan Inst. For Nucl. Studies, 05 – 400 Otwock, Poland.
- [16] Ahmed.A., El-Rahamany ,1993. CR-39 Nuclear Track Detector Characterization and its application for Determining the U-Concentration in Minerals. Ph.D., Thesis, Menoufiya University, Unpublished.
- [17] Chadderton, L.T., Cruz, S .A .and fink, D. W., 1993 Theory for Latent Particle tracks in Polymers Nuclear tracks. *Radiation Measurement*, 22, 29-38.
- [18] Fleischer, R.L., Price, P.B., Symes, E.M., Miller, D.S., 1964. Fission track ages and track-annealing behavior of some micas. *Science* 143, 349–351.

- [19] Modgil, S.K., Virk,H.S., 1985. Annealing of fission fragment tracks in inorganic solids. Nucl .Instrum. Methods Phys .Res.B12,212–218.
- [20] Jain,R.K., Rhandhawa,G.S., Bose,S.K., Virk,H.S., 1998. Study of etching and annealing characteristics of <sup>238</sup>U ion tracks in Trifol-TN polycarbonate. J.Phys. D: Appl.Phys31,328.
- [21] Anupam,S., Kumar,1997. On the effect of cure cycle parameters and dopants on pre and post irradiation annealing response of CR-39track detectors. Radiation Measurement 28, 181–184.
- [22] Ipe, N.E., Ziemer,P.L.,1986. Effect of annealing on track density in unirradiated and gamma irradiated CR-39 when used for fast neutron detection. Radiation Measurement 11,137–140.
- [23] Rana , M.A.,2012. Mechanisms and kinetics of nuclear track etching and annealing : Free energy analysis of damage in fission fragment tracks.\_Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.A672,57–63.
- [24] Jain, R., Kumar, A., Singh,B.K.,2012.Track etch parameters and annealing kinetics assessment of protons of low energy in CR-39 detector. Nucl .Instrum. Methods Phys.Res.B274,100–104.
- [25] Salamon, M.H;Price,P.B;Drach,J,1986.Thermal annealing of nuclear tracks in polycarbonate plastic.Nucl.Instrum.MethodsPhys.Res.B17,173–176.
- [26] Fox, Mark, 2001. Optical Properties of Solids. Oxford University Press Inc., New York.

- [27] Zhu, Z., Liu, C., Sun, Y., Liu, J., Tang, Y., Jin, Y., Du, J., 2002 Modification of polyethylene terephthalate under high-energy heavy ion irradiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 191, 723–727.
- [28] Khan, E.U., Malik, F., Qureshi, I.E., Husaini, S.N., Ali, N., Mehmood, A., 2005. Measurement of neutron fluence with CR-39 using a UV spectrophotometer. *Radiation Measurement* 40, 583–586.
- [29] Yamauchi, T., Yasuda, N., Asuka, T., Izumi, K., Masutani, T., Oda, K., Barillon, R., 2005. Track core size estimation for heavy ions in CR-39 by AFM and UV methods. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 236, 318–322.
- [30] Tidjani, A., 1990a. Effects of UV light on the efficiency of alpha particle detection of CR-39, LR115 Type II and CN-85. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* 17, 491–495.
- [31] Tidjani, A., 1990b. Property modifications in UV irradiated polymeric track detectors. *Nucl. Instrum. Methods B* 58, 43–48.
- [32] Fujii, M., A.F. Saad, S.T. Atwa, R. Yokota 2005. Radiation Induced Modification on Spectroscopic and Thermal Properties of CR-39 and SR-90 Track Detectors. *Radiation Measurements*. (Elsevier Science). VOL.40, PP.780-784.
- [33] Malek, M.A., Renreng, A., Chong, C.S., 2001. Mechanistic model for bond scission in a polymeric system by radiation. *Radiat. Phys. Chem.* 60, 603–607.
- [34] Lounis-Mokrani, Z., Fromm, M., Barillon, R., Chambaudet, A., Allab, M., 2003. Characterization of chemical and optical modifications induced by 22.5 MeV Proton beams

in CR-39 detectors. *Radiat. Meas.* 36, 615–620.

[35] Fujii, M., Yokota, R., Kobayashi, T., Hasegawa, H., 1995. Sensitization of polymeric track detectors with carbon dioxide. *Radiat. Meas.* 25, 141–144.

[36] Fujii, M., Yokota, R., Kobayashi, T., Hasegawa, H., 1997. Effect of vacuum oxygen and carbon dioxide on the track registration in SR-90 and CR-39. *Radiat. Meas.* 28, 61–64.

[37] Urbach, F., 1953. The long-wavelength edge of photographic sensitivity and of the electronic absorption of solids. *Phys. Rev.* 92, 1324 .

[38] Zaki, M.F., 2008. Gamma-induced modification on optical band gap of CR-39 SSNTD. *Phys.D:Appl.Phys* 41, 175-404.

[39] Khayrat, A. H., Durrani, S. A., 1995. The effect of UV exposure on the track and bulk etching rates in different CR-39 plastics. *Radiat. Meas.* 25, 163–164.

[40] Chong, C.S., Ishak, I., Mahat, R.H., Amin, Y.M., 1997. UV-VIS and FTIR spectral studies of CR-39 plastics irradiated with X-rays. *Radiat. Meas.* 28, 119–122.

[41] Shahid Manzoor, 2008. Improvement and Calibrations of Nuclear Track Detectors for Rare Particles Searches and fragmentation Studies Ph. D. Thesis, University of Bologna, Italy.

[42] Cassou, R.M., Benton, E.V., 1978. Properties and applications of CR-39 polymeric nuclear track detector. *Nucl. Track Detect* 2, 173–179.

- [43] G.Somogyi, R., Scherzer, K.,Grabisch,W.Enge 1978. A Spatial track formation Model and its use for Calculating Etch –pit Parameters of light Nuclei. In : Proc.9th Int.conf. Solid State Nucl.Track Detectors, Munich, and Suppl. I,Nucl.Pergamon.Oxford,pp.103-18.
- [44] G.Bonfiglioli, A.Ferro, A.Nojoni 1961. Electron microscope investigation on the nature of tracks of fission products in mica.J.Appl.Phys.32,2499-2503.
- [45] Vilensky, A.I., Zagorski, D.L., Kabanov, V.Ya., Mchedlishvili, B.V, 2003. UV and  $\gamma$ -sensitization of latent tracks in polyethylene terephthalate. Radiat. Meas. 36, 131–135.
- [46] Hussain, G., 1982. Influence of ultraviolet-radiation on the nuclear track recording properties of CR-39 polycarbonate detectors. Int. J. Appl. Radiat.Isot. 33, 517–519.
- [47] Sharma,T., Aggarwal,S., Kumar,S., Mittal,V.K., Kalsi,P.C.,Manchanda,V.K.,2007. Effect of gamma irradiation on the optical properties of CR-39polymer.J.Mater. Sci 42,1127–1130.
- [48] Fink, D., Chung, W.H., Klett, R., Schmoidt, A.,Cardosa, J.,Montiel, R., Vazquez, M.H., Wang, L., Hosoi, F., Omichi, H., Goppelt-Langer, P, 1995. Carbonaceous clusters in irradiated polymers as revealed by UV-visible spectrometry.Radiat. EC. Def. Solids 133, 193–208.
- [49] Belykh, T.A., Gorodishchensky, A.L., Kazak, L.A., Semyannikov,V.E., Urmanov, A.R., 1990. Defect production and annealing due to high energy ion implantation. Nucl. Instrum. Methods B51, 242–246.
- [50] Phukan,T., Kanjilal,D., Goswami,T.D., Das,H.L.,2003. Study of optical properties of swift heavy ion irradiated PADC polymer .Radiat. Meas. 36,611–614.

- [51] A.F. Saad, Hamed, N.A., Abdalla, Y.K., Tawati, D.M., 2012. Modifications of the registration properties of charged particles in a CR-39 polymeric track detector induced by thermal annealing. *Nucl. Instrum. Methods Phys B* 287, 60–67.
- [52] A.F. Saad, N.M. Al-Fatory, R.A. Mohamed, 2013. Study of the optical properties of etched alpha tracks in annealed and non-annealed CR-39 polymeric detectors. *Radiat. Phys. Chem.*, in Press. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2013.11.021.
- [53] Dexter, D.L., 1956. Absorption of light by atoms in solids. *Phys. Rev. B* 101, 48.
- [54] Raghuvanshi, S.K., Ahmad, B., Siddhartha, Srivastava, A.K., Krishna, J.B.M., Wahab, M.A., 2012. Effect of gamma irradiation on the optical properties of UHMWPE (ultra-high-molecular-weight-polyethylene) polymer. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 271, 44–47.
- [55] A.F. Saad, El-Namrouy, A., Solyman, S., Atwa, S.T., 2011. Scanning Aged CR-39 SSNTDs with etched alpha tracks by using transmitted laser light. *J. Korean Phys. Soc.* 58, 701–705.
- [56] Khayrat, A.H., Durrani, S.A., 1995. The effect of UV exposure on the track and bulk etching rates in different CR-39 plastics. *Radiat. Meas.* 25, 163–164.
- [57] Tse, K.C.C., Ng, F.M.F., Yu, K.N., 2006. Photo-degradation of PADC by UV radiation at various wavelength. *Poly. Degradation Stability* 91, 2380–2388.
- [58] Abu-Jarad, F.; Islam, M.A.; Abu-Abdoun, I.; 1991. Ultraviolet and laser irradiation effects on various batches of CR-39. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* 19, 135–138

[59] Abu-Jarad, F., Islam, M.A., Abu-Abdoun, I., Khan, M.A., 1992. Effect of ultraviolet light, solar radiation, XeCl laser and Xenon arc lamp on the nuclear track recording properties of CR-39. Nucl. Tracks Radiat. Meas. 20, 531–541.

مراجع العربية

[60] أسس الفيزياء الإشعاعية

د. محمد فاروق أحمد , د. أحمد محمد السريع 2005 جامعة الملك سعود قسم الفيزياء – كلية العلوم

[61] فيزياء الإشعاع قياساته وتطبيقاته العملية

د. محمد شحادة الدغمة 1998 معهد الإنماء العربي بيروت لبنان

