هيئة الطاقة الذرية السورية | جامعة دمشق | الوكالة الدولية للطاقة الذرية

دراسة إمكانية إعادة شحن E-perm من أجل قياس الرادون في الهواء

The possibility of recharging E-Perm for radon measurement in air

بحث أُعد لنيل درجة الماجستير في الفيزياء اختصاص "الوقاية الإشعاعية وأمان المصادر المشعة وأمنها"

كلية العلوم – جامعة دمشق

إعداد:

روعه عادل بردان

إشراف:

د.رياض شويكاني

هيئة الطاقة الذرية

أ.د.محمد قعقع

جامعة دمشق

دمشق 2009 – 2010

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين حمداً يليق بجلاله وكماله وفضله وكرمه علينا فمنه الحمد والعطاء وإليه يرجع الأمر كله

أتوجه بالشكر لكل من:

الوكالة الدولية للطاقة الذرية

هيئة الطاقة الذرية السورية على تعاونها وسعيها لإنجاح مشروع ماجستير الوقاية الإشعاعية

جامعة دمشق – كلية العلوم – قسم الفيزياء وأخص بالشكر الدكتورة بيداء الأشقر

المركز الوطني للمعايرة والمعايير وأخص بالشكر الدكتور سمير الظاهر والمهندسين كامل بركات وحمزة كشور

المربي الفاضل الأستاذ الدكتور محمد قعقع على كل ما قدمه من مساعدة و دعم لإنجاح هذا البحث

من لامس بذكائه أفكاري واستنبت منها بذور حب العمل والنجاح والدي وأستاذي الدكتور رياض شويكاني

الدكتور بسام عباس في قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرية

العاملين في قسمي الكيمياء والخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرية

الدكتور محمد سعيد المصري وجميع العاملين في قسم الوقاية والأمان وأخص بالشكر زملائي في دائرة الأمان الإشعاعي

شكر خاص للأستاذ خالد الطايل على كل المساعدة والدعم الذي قدمه لانجاز وإنجاح هذا العمل

إخوتي وزملائي في ماجستير الوقاية الإشعاعية من اليمن ولبنان وسورية

كل الحب والشكر والتقدير لأعز صديقاتي "ورد البغجاتي ولمى حمادة وصفاء عبده وهناء الخميسي"

لا تلوموا قلمي إن عجز عن خط حروفٍ لشكركم لأنكم أعظم من أن تشكروا فقط ..... أنتم نبض قلبي والشمعة التي أضاءت دربي "عائلتي الكريمة"

هل رأيتم الليل حين يلقي ظلمته وينيره القمر
والأرض حين تجف وتموت فيحيها المطر
والحدائق حين تحزن فيلونها الزهر
أمي تشبه تلك الأشياء .....
قبس النور في حياتي
الألوان في كل لوحاتي.....
منديلاً لكل دمعاتي
أمي...حبيبتي غاليتي لا بل ملاكي .....

أمي الحبيبة

يا صاحب القلب الكبير
يا صاحب الوجه النضير.....
يا تاج الزمان يا صدر الحنان
أنت الحبيب الغالي وأنت الأب المثالي
أنت الأمير.....
ولو كان للحب وساماً فأنت بالوسام جدير

والدي الحبيب

حق للأطيار أن تغرد وتشدو
حق للأشجار أن تتمايل وتزهو.....
حق للأزهار أن تتفتح وتبهو
حق لي أن أفخر وأسمو...لأنكم إخوتي

إخوتي الأعزاء

أنا عنكم ما أخبرتهم .....
لكنهم لمحوكم تتألقون في أحداقي
أنا عنكم ما كلمتهم .....
لكنهم قرؤوكم في حبري وأوراقي

أصدقائي الغاليين

أهدي إليكم جميعاً عملي المتواضع

الموضوع **رقم الصفحة**

ملخص البحث

الفصل الأول : الكهرباء الساكنة والإلكتريت 1

1- تاريخ الكهرباء الساكنة 2

2- قانون كولون ومبدأ انحفاظ الكهربية 2

3-.واحدة قياس الشحنة الكهربائية 3

4- طرائق الشحن بالكهرباء الساكنة 3

4-1- الشحن باللمس 3

4-2- الشحن بالدلك 4

4-3- الشحن بالتأثير (الحث) 5

5- الحقل الكهربائي 5

6- البنية الذرية للمادة وأنواع المواد 7

7- سلوك المواد في الحقل الكهربائي 8

7-1- سلوك النواقل في الحقل الكهربائي 8

7-2- سلوك العوازل في الحقل الكهربائي 9

8-الإلكتريت (الكهريت) 10

8-1- مقدمة تاريخية 10

8-2- طريقة تحضير الإلكتريت 11

8-3- تطبيقات الإلكتريت 12

8-4- حجيرة الإلكتريت الأيونية 12

الفصل الثاني : الرادون وطرائق قياسه 13

1- مقدمة 14

2- الخواص الكيميائية والفيزيائية للرادون 14

3- مصادر الرادون 15

3-1- التربة والصخور 15

3-2- الماء 16

4- الرادون في المنازل 16

5- خطورة الرادون 17
6- واحدات قياس الرادون 17
6-1- مستوى العمل 17
6-2- معامل التوازن 18
7- طرائق قياس الرادون 19
7-1-الطريقة المباشرة (الطريقة الآنية) 19
7-1-1- طريقة التألق (خلية لوكس) 19
7-1-2- حجيرة التأين 19
7-1-3- طريقة الفلترين 19
7-1-4- مقياس سويات العمل 19
7-2- الطريقة غير المباشرة (الطريقة التراكمية) 20
7-2-1- كواشف الأثر النووي الصلبة 20
7-2-2- طريقة الفحم الفعال 21
7-2-3- طريقة الإلكتريت أو نظام الإيبرم (E-perm) 21
8- مقارنة بين الطرائق التكاملية لقياس الرادون 22
9- مكونات نظام الإيبرم 23
9-1- الإلكتريت 23
9-2- حجيرة الأيونات (حجيرة الإلكتريت) 25
9-3- قارئ الفولط الخاص 27
10- مبدأ عمل نظام الإيبرم 27
11- مراحل تطور نظام الإيبرم 29
12- العوامل البيئية المؤثرة على نظام الإيبرم 31
12-1- درجة الحرارة 31
12-2- الأيونات الأخرى 31
12-3- الحقول الكهربائية الأخرى 31
12-4- تيارات الهواء 31
12-5- نسبة الرطوبة 32
12-6- الارتفاع 33

12-7- الثورون الموجود في الهواء 33
12-8-الغبار المحيط 33
12-9- تأثير أشعة غاما 33
الفصل الثالث : الإجراءات العملية – النتائج والمناقشة 34
الفصل الرابع : الخاتمة والتوصيات 63
المراجع 67
الملحق الأول 71
الملحق الثاني 73

ملخص البحث

ملخص البحث

اهتمت العديد من المدول والمنظمات بدراسة التعرضات الإشعاعية وخصوصاً الطبيعية منها والتركيز على العنصر الأكثر مساهمةً فيها وهو غاز الرادون. فقد بينت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة ومنظمة الصحة العالمية أنه يساهم في الجرعة الإشعاعية الطبيعية بنسبة تتجاوز 50% إضافة إلى اعتباره السبب الثاني بعد التدخين للإصابة بسرطان الرئة.

وتنوعت طرائق قياس الرادون فمنها ما هو آني ومنها التراكمي، ومن أبرز الطرائق التراكمية طريقة الإلكتريت (E-perm)، التي تمتاز بدقتها وسهولة استعمالها وفعاليتها الجيدة في الكشف عن الرادون.

تعتمد هذه الكواشف على قرص من التفلون ندعوه الإلكتريت مشحون بشحنة كهربائية ساكنة تنخفض عند استعمال الكاشف في قياس الرادون بشكل متناسب طرداً مع كل من تركيز الرادون في مكان القياس وزمن القياس، الأمر الذي يجعلها صالحة للاستخدام من 3-4 مرات، وبعدها ترمى أو تعاد إلى الشركة الصانعة ليتم شحنها من جديد الأمر المذي يكلف الوقت والمال والجهد.

لذلك هدفت هذه الدراسة إلى إيجاد طريقة لا تخريبية وغير مكلفة لإعادة شحن هذه الكواشف محلياً واستخدامها من جديد في قياسات لاحقة إضافة إلى محاولة تصنيع أو إيجاد مواد بديلة عن التفلون تقوم بنفس دوره.

تم في هذا البحث دراسة المعطيات الأساسية الخاصة بعمل الإلكتريت ومن ثم الانتقال إلى إجراء تجارب الشحن واختبار تأثير مختلف المعاملات على قيمة الشحنة (الكمون) النهائية بهدف الحصول على الشروط (المعاملات) المثالية لعملية الشحن.

وُجِدَ بعد العديد من التجارب أن استعمال إبرة معدنية موصولة إلى مولد جهد مرتفع (وفق عملية تدعى poling) من أجل استقطاب حاملات الشحنة في قرص التفلون هي طريقة ناجحة للحصول على شحنة كهربائية ساكنة ومستقرة محملة على الإلكتريت.

تم دراسة استقرار الإلكتريت بعد كل تجربة لفترة زمنية تجاوزت الشهر في بعض التجارب وحددت المعاملات المناسبة للشحن بـ (الكمون المستخدم في الشحن 5Kv – ارتفاع إبرة الشحن 7mm – زمن الشحن 15sec).

اعتماداً على نتائج الشحن والاستقرار جرت معايرة الإلكتريت في خلية الرادون العيارية، وأُوجِدَت معاملات المعايرة المناسبة. ومن ثم جرى اختبار الإلكتريت المشحون في تحديد تركيز الرادون في البيئة المفتوحة، وقُورنت النتائج مع كواشف الأثر النووي CR-39 ووجد توافق جيد بين نتائج الطريقتين.

وفي النهاية جرى اختبار شحن مجموعة من المواد العازلة منها البارافين والبيرسبكس والتي لم تحتفظ بشحنتها لأكثر من ساعة إضافة إلى اختبار تفلون محلي احتفظ بنسبة 50% من شحنته بعد 48 ساعة من الشحن.

ولم يكن بالإمكان إجراء العديد من التجارب واختبار مواد أكثر بسبب استخدام نفس حامل الإلكتريت وذلك لوجود قارئ فولط (كمون) وحيد يملك فتحة قياس ذات أبعاد محددة إضافة إلى وجود عدد محدود وقليل من الإلكتريت.

Abstract

In this work recharging electret detectors and studying their responding for measuring radioactive gases (radon gas) was studied and the results were compared with solid state nuclear detectors (CR-39).

After several experiments it was found that using a metal nozzle, which is connected to a high voltage supply (poling method), is useful to polarize the electret material and give a stable electrostatic charge.

The stability of electret was studied after each experiment, the results showed that the best charging parameters were: (7 mm as a nozzle height.- 15 sec as a charging time and 5 kV as a charging voltage).

Depending on the charging and stability studying results the electrets were calibrated in radon calibration cell and the calibration factors were defined.

The charged electrets were examined to measure radon concentration in the open environmental and were compared with CR-39 detectors; the charged electrets appeared a liner response for radon gas as CR-39 detectors.

الفصل الأول

الكهرباء الساكنة والإلكتريت

1- تاريخ الكهرباء الساكنة:

اكتشف الإنسان منذ القديم أنه إذا تم دلك قضيب من العنبر (الكهرمان) بقطعة من القماش اكتسب خاصة جذب الأجسام الخفيفة كالقش وقصاصات الورق، وتعرف هذه الظاهرة التكهرب بالدلك.

وفي مطلع القرن السابع عشر اكتشف William gilbert أن مواد أخرى مثل الزجاج يمكن أن تتكهرب بالدلك أيضاً.

أثبت Dophy عام 1733 أنه يمكن تصنيف جميع الأجسام المتكهربة في صنفين يتميزان بالخاصتين الأساسيتين :

- يتنافر الجسمان المنتميان إلى صنف واحد.
- يتجاذب الجسمان المنتميان إلى صنفين مختلفين.

فاقترح Benjamin Franklin عام 1747 استعمال الكلمتين موجب وسالب للدلالة على هذين الصنفين، وقد عكف Coulomb زمناً طويلاً على دراسة حوادث التجاذب والتنافر بين الأجسام المشحونة في الخلاء، وخلص من دراسته التجريبية إلى بعض النتائج التي تعبر بمجموعها عما يسمى قانون كولون [1]، لكن مبدأ انحفاظ الكهربية لم يكتشف تجريبياً إلا عام 1837 بفضلMichael Faraday، ويقال عن الجسم المتكهرب أنه يحمل شحنة كهربائية وفي عكس ذلك يقال أنه حيادي [1-2-3] .

كانت أول محاولة نظرية لتفسير ظاهرة التكهرب تستند على افتراض وجود مائع كهربائي، وكان Faraday أول من اقترح وجود مقدار أولي من الكهرباء نتيجةً لتجاربه في التحليل الكيميائي بالكهرباء، حيث أشار إلى أن كل أيون يحمل شحنة ثابتة.

حاول snony عام 1874 أن يعين قيمة هذه الشحنة باستعمال القيمة المقيسة لكتلة الفضة المترسبة وعدد أفوغادرو، وأطلق اسم إلكترون على هذه الشحنة ولكن قيمتها لم تكن دقيقة آنذاك[1-3].

وبما أن الشحنة الكهربائية محمولة دوماً على جسم مادي، وأن أصغر شحنة كهربائية هي تلك التي يحملها الإلكترون (عنصر الشحنة السالبة) أو البروتون (عنصر الشحنة الموجبة)، و بالتالي فإن الشحنة الكهربائية لأي جسم مشحون تساوي أمثالاً صحيحة من هذه الشحنة العنصرية والتي تبلغ قيمتها $e=(1.60207\pm0.00007)*10^{-19}$ C [1-3].

2- قانون كولون ومبدأ انحفاظ الكهربية:

ينص قانون كولون على أنه:

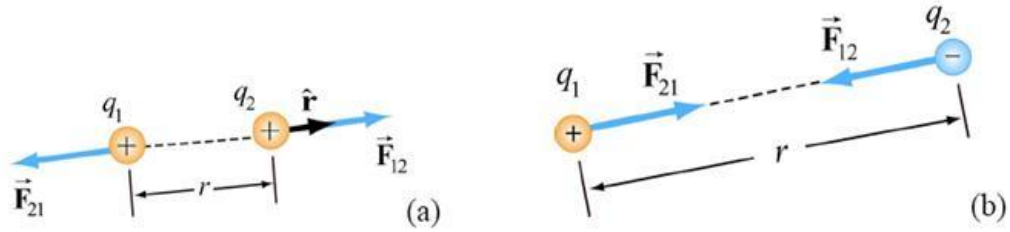
إذا وجد شحنتين نقطيتين (q_1,q_2)، أبعادهما صغيرة بالنسبة إلى المسافة (r)الفاصلة بينهما فإن:

القوة التي تؤثر بها كل من الشحنتين على الأخرى تتناسب طرداً مع كل منهما وعكساً مع مربع البعد الفاصل بينهما، وتتعلق هذه القوة بطبيعة الوسط المحيط بالشحنتين، وهي قوة جذب أو دفع حسبما تكون الشحنتان مختلفتين في الإشارة أو متماثلتين الشكل (1-1).

ويعطى قانون كولون بالعلاقة :

$$F=K.q_1.q_2/r^2$$

حيث أن K هو ثابت يتعلق بخواص الوسط المحيط بالشحنتين وكذلك بواحدات القوة والمسافة والشحنة [1-3]



الشكل (1-1) (a) الشحنتان متماثلتان وقوة كولون هي قوة دفع -(b) الشحنتان مختلفتان وقوة كولون هي قوة جذب

تدل جميع التجارب على أن الشحنة الكهربائية كائن لا يمكن إفناؤه، فإذا كنا إزاء جملة أجسام معزولة مادياً عن أي جسم خارجي، فإن مجموع عددي الإلكترونات والبروتونات فيها يبقى ثابتاً ولا يمكن أن يحدث فيها سوى تغيرات في توزع الشحنات.

وعبر Franklin عن هذه النتيجة عام 1750 بإسم مبدأ انحفاظ الكهربية والذي ينص على أن:

المجموع الجبري للشحنات الكهربائية التي تحملها مجموعة أجسام معزولة ثابت، فإذا اقتصرت هذه المجموعة على جسمين فقط، فإن الشحنة التي يكتسبها أحدهما تساوي وتعاكس بالإشارة الشحنة التي يخسرها الآخر [1-3].

3- واحدة قياس الشحنة الكهربائية:

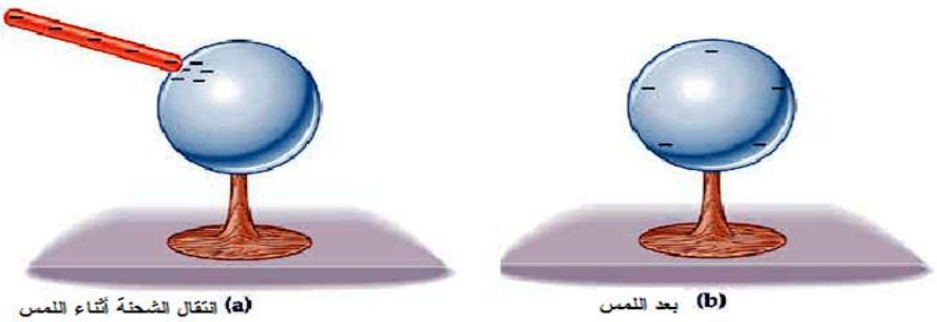
تقاس الشحنة الكهربائية بواحدة تدعى الكولون وهي واحدة كبيرة جداً، و يمكننا أن نعرف الكولون استناداً إلى قانون كولون بأنه : الشحنة النقطية التي إذا وضعت في الخلاء على بعد متر واحد من شحنة أخرى مماثلة لها دفعتها بقوة تساوي ($9*10^9$) نيوتن [1-3].

4- طرائق الشحن بالكهرباء الساكنة:

يمكن أن يتم شحن أي مادة بالكهرباء الساكنة باستخدام إحدى الطرائق التالية :

1-4- الشحن باللمس:

وهي عملية انتقال للالكترونات من جسم مشحون إلى آخر معتدل كهربائياً عن طريق الاتصال المباشر، ويكون للجسمين نفس نوع الشحنة وتتوزع الشحنة الكلية بحيث يبقى المجموع الكلي للشحنات ثابتاً [4]، يوضح الشكل (1-2) عملية انتقال الشحنة الكهربائية عند الشحن باللمس.



الشكل (1-2) يوضح عملية الشحن باللمس

4-2- الشحن بالدلك:

وهي عملية انتقال الإلكترونات من أحد جسمين متعادلين من مادتين مختلفتين إلى الآخر عند دلكهما بعضاً مع بعض.
ويكون عدد الإلكترونات التي يفقدها الجسم الأول يساوي عدد الإلكترونات التي يكتسبها الجسم الثاني، وبالتالي سيكون لهما نفس المقدار من الشحنة ولكن بإشارتين مختلفتين [4] يوضح الشكل (1-3) عملية انتقال الشحنة الكهربائية عند الشحن بالدلك.

الشكل (1-3) يوضح عملية الشحن بالدلك

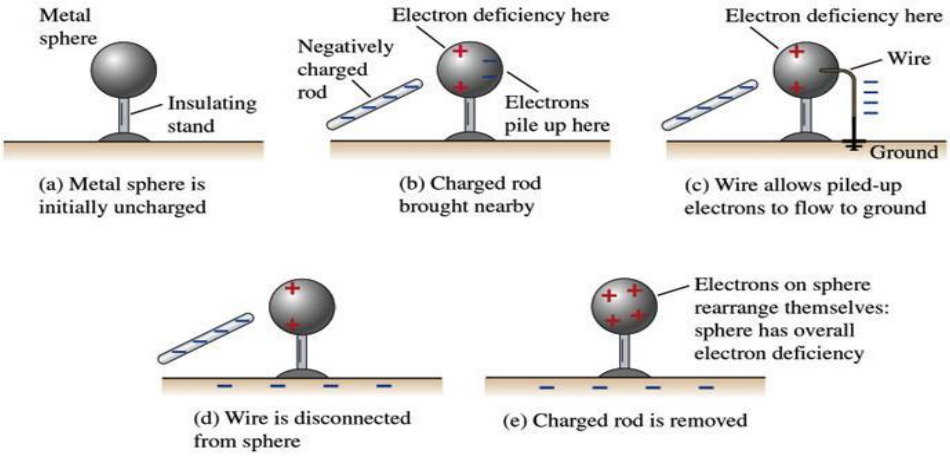
ويتوقف نوع الشحنة التي يمكن أن يكتسبها أي من الجسمين على موقعهما في سلسلة الكهرباء الاحتكاكية، (وهي عبارة عن سلسلة رتبت فيها المواد وفق ازدياد الطاقة اللازمة لانتزاع إلكترون منها). فالزجاج مثلاً يرد قبل شعر الإنسان في هذه السلسلة، وبالتالي فإن عملية انتقال الإلكترونات منه إلى الشعر أسهل، وذلك لأن الطاقة اللازمة لانتزاع إلكترونات الزجاج أقل من الطاقة اللازمة لانتزاع إلكترونات الشعر، وهذا ما يفسر الشحنة الموجبة لقضيب من الزجاج بعد دلكه بالشعر، ويوضح الجدول (1-1) ترتيب المواد في سلسلة الكهرباء الاحتكاكية.

الجدول (1-1) ترتيب المواد في سلسلة الكهرباء الاحتكاكية

TRIBOELECTRIC SERIES	
MATERIALS	**POLARITY**
Acetate	+
Glass	+
Human Hair	+
Nylon	+
Lead	+
Aluminum	+
Paper	+
Polyurethane	+
Cotton	+
Steel	+
Hard Rubber	+
Acetate Fiber	+
MYLAR*	+
Epoxy Glass	+
Nickel, Copper, Silver	+
UV Resist	+
Stainless Steel	+
Synthetic Rubber	+
Acrylic	+
Polystyrene Foam	+
Polyurethane Foam	+
Polyester	+
Polyethylene	+
Polypropylene	+
PVC (Vinyl)	+
TEFLON*	+
Silicone Rubber	+

4-3- الشحن بالتأثير (الحث):

وهي عملية انتقال الشحنات من جسم إلى آخر دون أن يكون هناك اتصال مباشر بينهما، وتكون الشحنة المتكونة بالتأثير أقل مقداراً من الشحنة المؤثرة وتختلف عنها في النوع [4] يبين الشكل (1-4 (b)) تأثير الحقل الكهربائي المتولد عن القضيب المشحون، والذي يؤدي إلى نشوء شحنة متحرضة مقيدة على سطح الناقل الكروي المقابل للقضيب ونشوء شحنة متحرضة حرة على السطح الآخر. فإذا وصلنا الناقل الكروي إلى نقطة مؤرضة كما في الشكل (1-4 (c)) فستنتقل الإلكترونات (التي تمثل الشحنة المتحرضة الحرة) إلى الأرض لنحصل بالنهاية على قيمة عددية للشحنة تعبر عن كمون هذا الناقل كما يوضح الشكل (1-4 (e)).



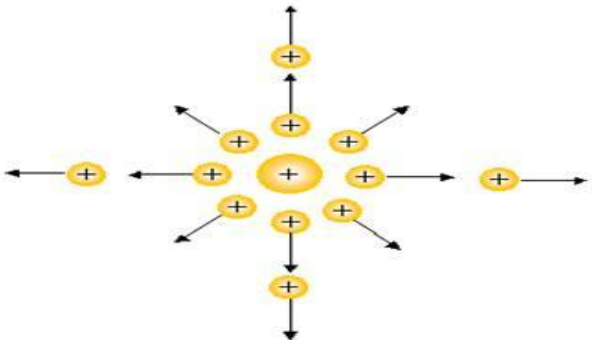
) يوضح عملية الشحن بالتأثير.

5- الحقل الكهربائي:

يعرف الحقل الكهربائي بأنه الحيز الذي تظهر فيه القوة الكهربائية.

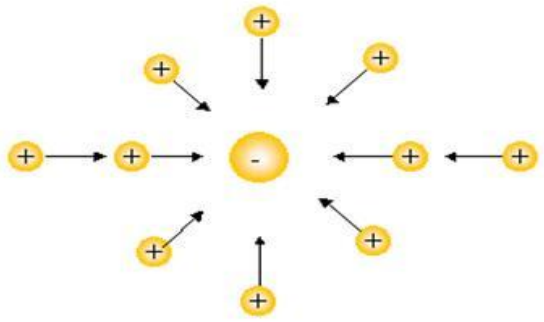
ولما كانت الحقول الكهربائية كغيرها من الحقول غير مرئية ولا تدرك إلا بتأثيرها قام Faraday بتمثيلها عام 1840م على الشكل التالي:

إذا وضعت شحنات موجبة حرة الحركة ضمن الحقل الكهربائي لشحنة مؤثرة موجبة مثلاً، فإن هذه الشحنات تتأثر بقوة كهربائية تتجه في أي نقطة من الحقل خارج الشحنة المؤثرة الموجبة (وهو ما يعبر عن تنافر الشحنات المتماثلة) الشكل (1-5) [4].



الشكل (1-5) يوضح الحقل الكهربائي للشحنة الموجبة

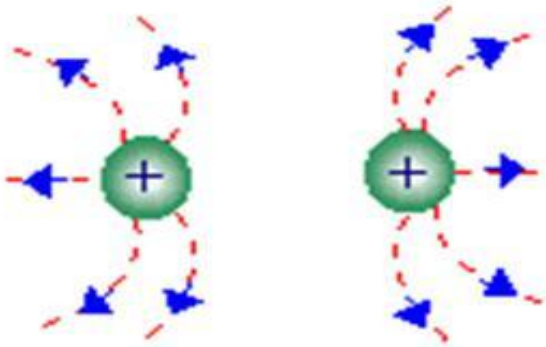
أما إذا كانت الشحنة المؤثرة سالبة فإن القوة الكهربائية تتجه باتجاهها (وهو ما يعبر عن تجاذب الشحنات المختلفة) الشكل (1-6) [4].



الشكل (1-6) يوضح الحقل الكهربائي للشحنة السالبة

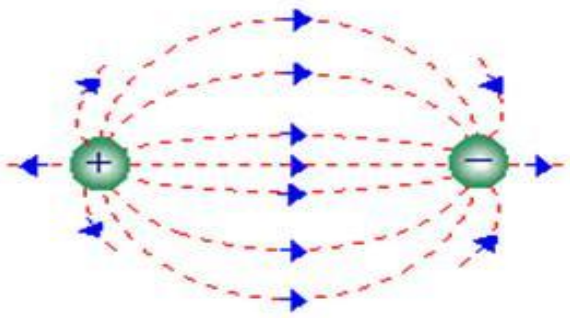
وتأخذ خطوط قوة الحقل الكهربائي الأشكال التالية [4]:

❖ في حالة كون الشحنتين متماثلتين الشكل (1-7).



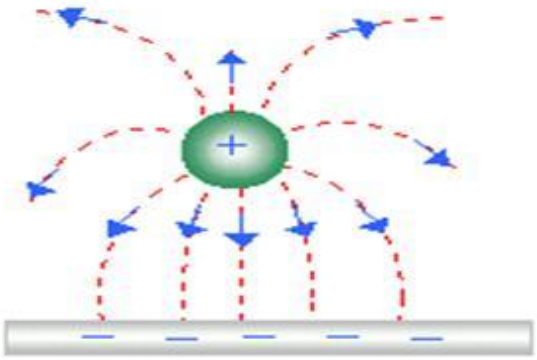
الشكل (1-7) يوضح خطوط قوة الحقل الكهربائي في حالة الشحنتين المتماثلتين

❖ في حالة كون الشحنتين مختلفتين الشكل (1-8):



الشكل (1-8) يوضح خطوط قوة الحقل الكهربائي في حالة الشحنتين المختلفتين

❖ في حالة وجود شحنة نقطية وصفيحة مستوية الشكل (1-9):



الشكل (1-9) خطوط قوة الحقل الكهربائي بوجود شحنة نقطية وصفيحة مستوية

ونقول عن الحقل الكهربائي أنه منتظم أو (نسيق) [4]:

- إذا كانت خطوط القوة مستقيمات متوازية.
- إذا كانت قيمة المجال الكهربائي ثابتة عند كل نقطة تقع في المجال (أي أن عدد خطوط المجال الكهربائي التي تخترق وحدة المساحة العمودية ثابت عند أي نقطة).
- إذا كان اتجاه المجال الكهربائي ثابت في كل نقطة.

وفي خلاف ذلك يكون المجال الكهربائي غير منتظم وينشأ عادة عن الشحنات المفردة.

6- البنية الذرية للمادة وأنواع المواد:

تتألف كل ذرة من نواة ذات كتلة صغيرة مشحونة ايجابياً (تضم البروتونات والنترونات)، ومن جسيمات ذات شحنة سالبة عددها يساوي عدد البروتونات ندعوها بالالكترونات تتوزع على مداراتها المخصصة حول النواة.

إن عدد إلكترونات المدار الخارجي في الذرة يعطي صورة جيدة عن طبيعة الجسم الكهربائية وتكون قوة ارتباط هذه الالكترونات بالنواة التابعة لها صغيرة، وبالتالي فإنه تحت تأثير الذرات المتجاورة يمكن لها أن تفقد صلتها بذرات معينة وتصبح الكترونات حرة، إن عدد هذه الالكترونات ومدى حريتها يحددان صفات المادة الكهربية.[3]

وتقسم المواد الصلبة إلى نوعين أساسين : النواقل والعوازل.

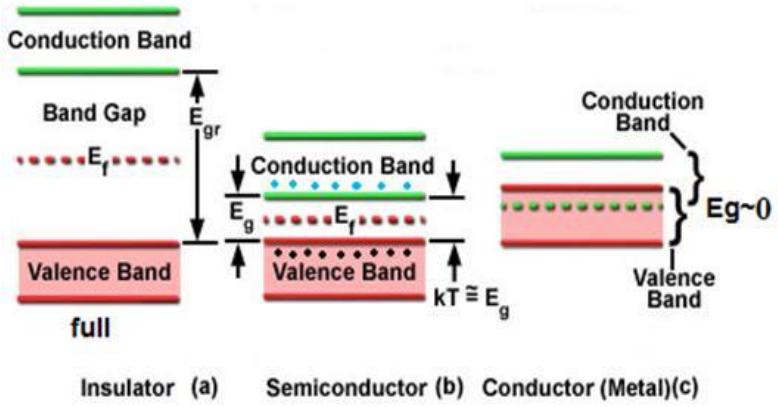
❖ فالنواقل عبارة عن مواد تكون فيها الشحنات الكهربائية (الالكترونات) حرة الحركة، وبالتالي يمكن أن يجري فيها تيار كهربائي إذا طبق حقل كهربائي عليها [5].

❖ العوازل عبارة عن مواد تكون فيها الشحنات الكهربائية مقيدة الحركة، وبالتالي لا يمكن أن يجري فيها تيار كهربائي إذا طبق حقل كهربائي عليها [5].

ويمكن التمييز بين هذين النوعين على أساس نظرية عصابات الطاقة حيث أن كل عصابة طاقة تحتوي على عدد محدد من السويات، وحسب مبدأ باولي فإنه لايمكن لأي سوية أن تحتوي على أكثر من إلكترونين.

وبما أن عدد الالكترونات في الجسم الصلب محدود فإن عصابات الطاقة المدنيا (والتي ندعوها عصابات التكافؤ) هي التي ستكون مشغولة بالالكترونات. بعض هذه العصابات ستكون مملوءة تماماً، بينما يمكن لبعضها الآخر أن يكون مملوء بشكل جزئي وهذا ما يميز النواقل عن العوازل. فالجسم الصلب لا يسلك سلوك الناقل إلا إذا كانت بعض عصاباته الطاقية مملوءة جزئياً، حيث لا يمكن للعصابة المملوءة تماماً أن تنقل التيار الكهربائي حتى بوجود حقل كهربائي خارجي [5] الشكل(1-10(a-c)).

- إضافة إلى ذلك يوجد مواد ندعوها أنصاف النواقل وهي مواد تقع بين العوازل والنواقل من حيث قدرتها على نقل الكهرباء الشكل(1-10(b)).



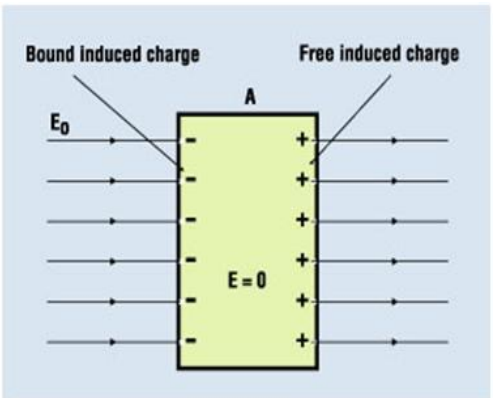
الشكل (1-10) تصنيف المواد وفق نظرية عصابات الطاقة

7- سلوك المواد في الحقل الكهربائي:

سيقتصر هذا البحث على دراسة سلوك كل من النواقل والعوازل في الحقل الكهربائي.

7-1- سلوك النواقل في الحقل الكهربائي:

بفرض أن E هو الحقل الكهربائي المطبق على الجسم الصلب (الناقل) المتوضع بين لبوسي مكثفة مستوية، يؤثر هذا الحقل على الإلكترون بالقوة F=-Ee. حيث يعمل هذا الحقل على الإخلال بتناظر توزع سرع الإلكترونات، بحيث أن الإلكترونات المتحركة بعكس القوة تتباطأ وتلك التي تتحرك باتجاهها تتسارع، وفي كلتا الحالتين سيؤدي ذلك إلى تغير في طاقة الإلكترون، وبالتالي انتقاله إلى حالات ذات طاقة أعلى أو أخفض. وبالطبع لا يمكن لهذه الانتقالات أن تتم إلا إذا كانت عصابة التكافؤ غير مملوءة تماماً.



عندها تنشأ حركة غالبة للإلكترونات في الاتجاه المعاكس لاتجاه الحقل مما يؤدي إلى نشوء تيار كهربائي، أي إن ما يحدث هو أن الشحنات الموجودة في الجسم تعيد ترتيب نفسها، فالإلكترونات الحرة تتحرك حتى ينعدم الحقل داخل الجسم ويصبح الكمون ثابتاً [1-5]. ويبن الشكل (1-11) سلوك الناقل في الحقل الكهربائي وتشكل شحنات كهربائية على سطحي الناقل ندعوها بالشحنات المتحرضة.

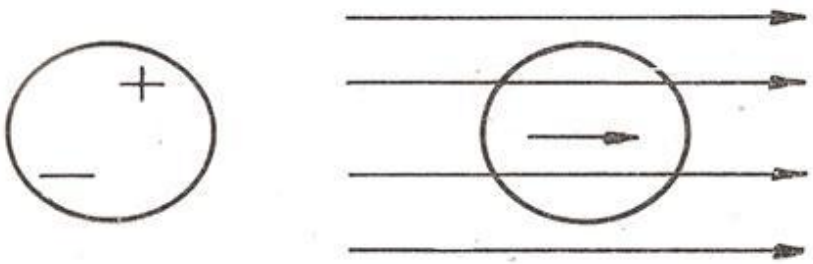
الشكل(1-11) سلوك الجسم الناقل في الحقل الكهربائي

7-2- سلوك العوازل في الحقل الكهربائي:

تكون عصابة التكافؤ في العوازل مملوءة تماماً فلا يؤدي تطبيق الحقل الكهربائي إلى تغير في طبيعة حركة الإلكترونات لأنه لا توجد داخل العصابة سويات فارغة، وبالتالي تتبادل الإلكترونات مواضعها فقط، وفي هذه الحالة لا يستطيع الحقل الكهربائي الخارجي أن يؤدي إلى جريان الإلكترونات أي أن يحدث تياراً كهربائياً [1-5].

وتصنف جزيئات العازل إلى صنفين :

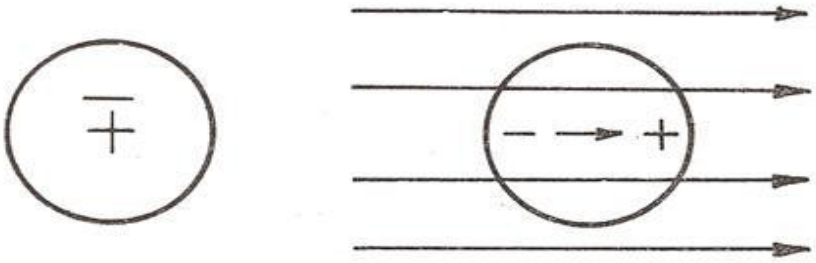
1- جزيئات قطبية: تمتلك بنية الكترونية ذات تناظر معين بحيث لا ينطبق مركز ثقل الشحنات السالبة على مركز ثقل الشحنات الموجبة فيكون لها ذي قطبين كهربائي (وهو كل جملة مؤلفة من شحنتين كهربائيتين متساويتين في القيمة (q) ومتعاكستين في الإشارة تفصل بينهما مسافة صغيرة [1-3] ويملك ذي القطبين محور متجه من الشحنة السالبة إلى الشحنة الموجبة، كما ويتميز ذو القطبين بعزمه الكهربائي الذي يعطى بالعلاقة: $F = q * x$) حتى في غياب الحقل الكهربائي، وبالتالي يكون تأثير الحقل الكهربائي على الجزيئة القطبية هو توجهها باتجاهه كما في الشكل (1-12) [3].



الشكل (1-12) يوضح سلوك جزيئات العازل القطبية في الحقل الكهربائي

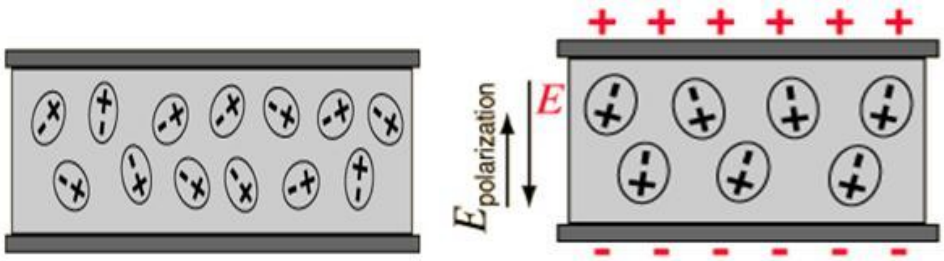
2- جزيئات غير قطبية: ليس لها عزم ذي قطبين حيث أن مركز ثقل الشحنات السالبة ينطبق على مركز ثقل الشحنات الموجبة.

فإذا طبقنا حقلاً كهربائياً على العازل انزاحت الشحنات في الجزيئة غير القطبية كما في الشكل (1-13) [3].



الشكل (1-13) يوضح سلوك جزيئات العازل غير القطبية في الحقل الكهربائي

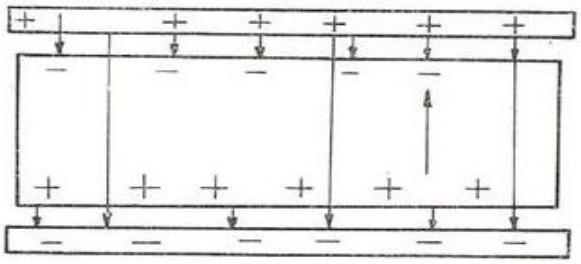
ويقال عندئذ أن الجزيئة استقطبت بواسطة الحقل، وأصبحت ذا قطبين متحرض وبالنهاية سيكون ترتيب الشحنات داخل جزيئات العازل بوجود الحقل الخارجي كما في الشكل (1-14).



الشكل (1-14) ترتيب (اصطفاف) الشحنات داخل جزيئات العازل بوجود الحقل الكهربائي

يستقطب العازل بشكل كامل بحيث توجد داخل الطبقتين السطحيتين شحنة كهربائية تكون سالبة على إحداهما وموجبة على الأخرى، و تشكل هاتان الطبقتان الشحنات السطحية المتحرضة، وهذه الشحنات ليست حرة بل إن كل واحدة منها تكون مربوطة بذرة واقعة على السطح أو في جواره [3].

أما في داخل القسم المتبقي من العازل فتبقى الشحنة الصافية صفراً، وبالنتيجة فإن الحالة الداخلية للعازل المستقطب لا تتميز بالشحنة الإضافية بل بالانزياح النسبي للشحنات الموجودة داخلها كما في الشكل (1-15) [3].



الشكل (1-15) يوضح الحالة الداخلية للعازل المستقطب

8- الإلكتريت (الكهريت):

8-1- مقدمة تاريخية:

إن لفظ الإلكتريت عبارة عن مزيج من (Electr) التي ترمز إلى الكهرباء و (et) التي ترمز إلى المغنطيس. والإلكتريت عبارة عن مادة عازلة كهربائياً تمتلك شحنة كهربائية ساكنة مستقرة ودائمة كجزء لا يتجزأ منها [6].

تمتلك هذه المواد مقاومة نوعية تتراوح بين 10^{16}-10^{18} (Ω m) [6-7]، وهذه المقاومة هي ما يكسب الإلكتريت القدرة على الاحتفاظ بشحنة كهربائية ساكنة مستقرة لفترات زمنية طويلة يمكن أن تصل إلى مئات السنين [1-6].

اقترح Michael faraday أنه يمكن استقطاب المواد العازلة كهربائياً للحصول على جسم عازل يحتفظ بشحنة كهربائية ساكنة بعد إزالة الحقل الكهربائي الخارجي المطبق لاستقطاب هذه المادة [8].

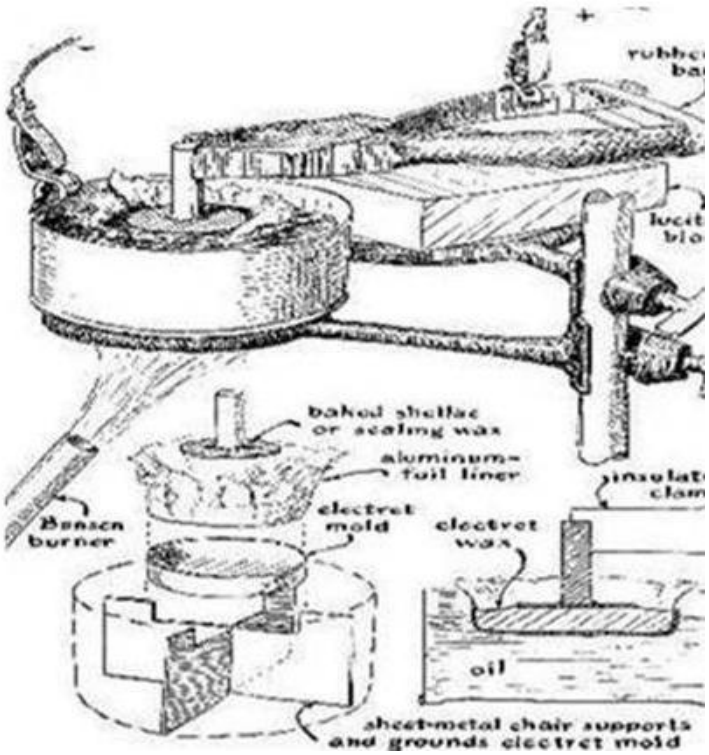
ولم يول اقتراح Faraday اهتماماً كبيراً في تلك الفترة حتى عام 1885 م، حيث كان العالم Oliver Heaviside أول من اقترح استخدام مصطلح الإلكتريت، وبقي هذا المصطلح مجرد لفظ علمي حتى عام 1922 م عندما قام Moto taro Eguchi بإنتاج أول الكتريت [1-8].

8-2- طريقة تحضير الإلكتريت:

يوجد في الطبيعة العديد من المواد التي تبدي خواص الإلكتريت مثل الكوارتز وأكسيد السليكون، وفي وقتنا الحالي فإن معظم أنواع الإلكتريت تصنع (تحضر) من : الشمع – البوليميرات (بوليميرات الفلور Fluorinated ethylene propylene (تفلون FEP) – PP البولي بروبلين – polyethyleneterphtahalate البولي ايثيلين تترافتالات) [8].

وكانت أولى التجارب التي أجريت هي صهر مزيج من الشموع على الشكل (1-16) [8]:

- 45% من شمع الشجر carnauba wax.
- 45% من البارافين water-white resin.
- 10% من شمع العسل (شمع أبيض اللون).



الشكل (1-16) يوضح أولى تجارب تحضير الإلكتريت

ثم يترك هذا المزيج ليبرد ضمن حقل كهربائي قوي يعادل بضعة kV/cm، يعمل هذا الحقل على توجيه حاملات الشحنة (ترتيب ثنائيات القطب) وعندما تبرد المادة وتتصلب (تصبح في حالتها الصلبة) فإنها تجمد حاملات الشحنة في مكانها، ويعتمد مقدار هذه الشحنة على [8]:

1. تركيب (بنية) الشمع.
2. معدل التبريد.

وفي مرحلة لاحقة اقترح بعض المجربين استبدال halo wax بـ water- white resin واقترح بعضهم الأخر عدم إضافة شمع العسل حيث أنه يضاف فقط من أجل خفض (التقليل من) هشاشة الإلكتريت النهائي، وبالتالي فإن استخدام كميات متساوية من شمع الشجر وhalo wax يعطي الإلكتريت الناتج بنية دهنية عاجية اللون ذات سطح مصقول تسهل عملية إزالتها من القالب، ولكن halo wax ماص للرطوبة الأمر الذي يستدعي حماية الإلكتريت حتى لا يفقد شحنته الكهربائية الساكنة [8].

تلاشت هذه الاقتراحات وغيرها عندما أخذت صناعة السيراميك على عاتقها تطوير المواد العازلة كهربائياً وأنتجت مواداً جديدة ابتداءً من: المكثفات (الخزفية) السيراميكية piezoelectric ceramic- ceramic capacitors وانتهاءً بالإلكتريت السيراميكي ceramic electrets الذي يصنع من تيتانات الباريوم، الأمر الذي أثبت عدم صحة الاقتراح القائم على أن الإلكتريت لا يمكن أن يكون إلكتريتاً فعالاً دون أن يحوي أثاراً من شمع الشجر [8].

كما يمكن تحضير الإلكتريت من خلال إكساب المادة العازلة كهربائياً فائضاً من الشحنة السالبة باستخدام مسرع الجسيمات [8]، أو من خلال توضيع الشحنة على السطح أو بالقرب منه باستخدام الانفراغ الإكليلي عالي الفولطية high voltage corona discharge [8]، وهو تفريغ كهربائي يحدث نتيجة وجود غاز متأين بالقرب من ناقل ما عندما يزداد الكمون تدريجياً عن مقدار معين بحيث يحدث انهياراً جزئياً في الغاز المحيط.

8-3- تطبيقات الإلكتريت:

اكتسبت مواد الإلكتريت أهمية تجارية وصناعية كبيرة، فاستخدمت في: صناعة لواقط الصوت (electrets) microphone – آلات الطباعة – بعض أنواع فلاتر (مرشحات) الهواء – مقاييس الجرعة الفردية - حجيرات التأين لقياس الغازات المشعة وخصوصاً الرادون [6].

8-4- حجيرة الإلكتريت الأيونية:

إن حجيرة الإلكتريت الأيونية Electret Ion Chamber عبارة عن حجيرة أيونية تكاملية، تستخدم من أجل قياس تركيز الرادون وتعرف هذه الحجيرة تجارياً بالاسم E-Perm اختصاراً لـ:

Electret Passive Environmental Radon Monitor [9-10].

مقياس (مرقاب) رادون الوسط الإلكتريتي المنفعل.

الفصل الثاني

الرادون وطرائق قياسه

1- مقدمة:

أدرك الإنسان منذ اكتشاف الأشعة السينية على يد العالم Roentgen عام 1895 وما تبعه من تطورات في مجال استخدام التقنيات الإشعاعية والنووية في مختلف نواحي الحياة، المخاطر والأضرار المترتبة أو التي يمكن أن تترتب على استخدام هذه التقنيات.إضافة إلى المخاطر والأضرار التي يمكن أن يتعرض لها نتيجة التعرض للإشعاع. وكنتيجة حتمية للتطور والتقدم في استخدام الإشعاع كان من الضرورة التقدم والتطور في أساليب الوقاية منه والحد من أثاره السلبية، حيث أدى الاهتمام المتزايد بموضوع الأشعة المؤينة منذ عام 1950 إلى إنشاء عدد من المنظمات الدولية التي تهتم بكافة المجالات المتعلقة بالأشعة المؤينة والوقاية منها كاللجنة العلمية لدراسة آثار الإشعاع الذري United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)، والهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع International Commission on Radiological Protection (ICRP)، والوكالة الدولية للطاقة الذرية International Atomic Energy Agency (IAEA). وقد بينت الدراسات الأولية لهذه المنظمات أن التعرض لمستويات عالية من الإشعاع يمكن أن يسبب أضراراً بالغة في أنسجة جسم الإنسان، وأن التعرض للإشعاع ينطوي على تأثير بطيء المفعول يتمثل في الحث على تكوين الخلايا السرطانية، وبالتالي لابد من تنظيم التعامل مع المنابع المشعة والأجهزة الإشعاعية المستخدمة في مختلف المجالات: الطبية التشخيصية والعلاجية والصيدلانية والزراعية والصناعية والأبحاث والتعليم إلى جانب منشآت توليد الطاقة النووية [11].

إن ظاهرة النشاط الإشعاعي وما ينتج عنها من إشعاع، موجودة على سطح الأرض قبل نشوء الحياة عليها بزمن طويل، حيث أصبحت المواد المشعة جزءاً من الأرض منذ بداية تكوينها.

تتعرض البشرية إلى الإشعاع من مصدرين أساسين [12]:

- الإشعاع الطبيعي (النظائر المشعة الطبيعية).
- الإشعاع الصنعي (النظائر المشعة الصنعية).

ومن أهم العناصر المشعة الطبيعية غاز الرادون الذي اكتشف على يد العالم الكيميائي Fredrik Dorn عام 1900م، والذي بين أن الرادون هو غاز ذو منشأ طبيعي ينتج من تفكك عنصر الراديوم المشع الذي ينتج بدوره عن واحدة من أهم السلاسل الإشعاعية الطبيعية. ويحظى غاز الرادون باهتمام عالمي متزايد نظراً لمساهمته العالية في الجرعة الطبيعية لعموم الناس واعتباره المساهم الثاني بعد التدخين في الإصابة بسرطان الرئة [13].

2- الخواص الكيميائية والفيزيائية للرادون:

ينتمي الرادون إلى فصيلة الغازات الخاملة و بالتالي فإنه ضعيف التفاعل، مما يجعله قادراً على الانتشار بحرية عبر المواد النفوذة للغازات، كما يعد الرادون أثقل الغازات على الإطلاق.

وغاز الرادون عديم اللون والرائحة ولا يمكن كشفه بالحواس البشرية، لذلك يعتمد في كشفه بشكل رئيسي على كشف الأشعة المرافقة لتفككه وتفكك وليداته، ينصهر الرادون عند درجة حرارة (70-) درجة مئوية ويغلي عند (60-) درجة مئوية [12-14].

تطلق تسمية غاز الرادون على النظير 222 ذي عمر النصف(92h)، في حين يسمى نظير الرادون 219 بالأكتينون. يهمل هذا النظير في حساب الجرعة الإشعاعية الطبيعية وذلك لندرة وجود نظير اليورانيوم-235 أساس السلسلة التي ينحدر منها هذا النظير، وبسبب عمره النصفي القصير (3.92sec) فإنه يتلاشى قبل خروجه من التربة إلى البيئة.

أما النظير 220 فيدعى بالثورون. إن نسبة إنتاج الرادون-222 والثورون-220 في الطبيعة متساوية تقريباً، ولكن احتمالية تفكك الثورون وتلاشيه داخل التربة قبل خروجه إلى الوسط الخارجي كبيرة بسبب عمر النصف القصير له (55.6sec)، وبالتالي يعتبر غاز الرادون-222 المشارك الأساسي في الأخطار الناتجة عن التعرض للرادون [12].

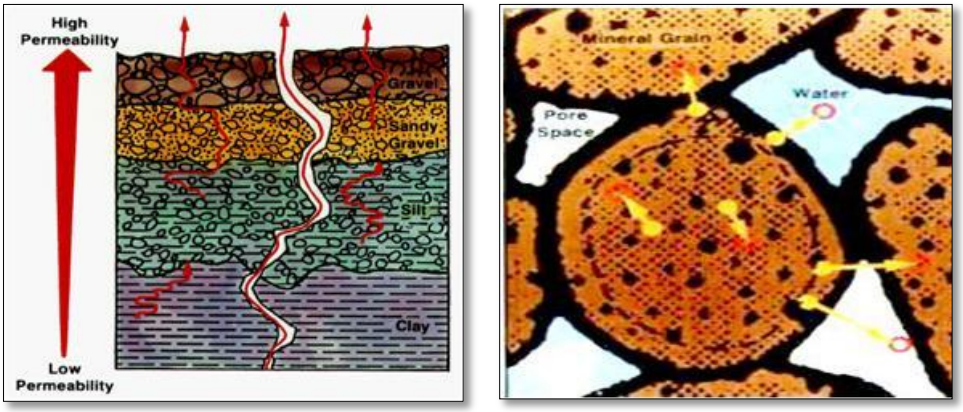
3- مصادر الرادون:

إن المصدرين الأساسيين للرادون في الوسط الخارجي هما التربة والصخور – الماء.

3-1- التربة و الصخور:

إن حوالي 80% من غاز الرادون المنبثق إلى الوسط الخارجي ينتج عن الطبقة العليا للأرض [15]، حيث ينشأ غاز الرادون من تفكك الراديوم-226، وينطلق من أماكن وجود الراديوم في الأرض ومواد البناء إلى المحيط الخارجي. ويمكن اعتبار المصدر الرئيسي للرادون في القشرة الأرضية ناجم عن وجود سلسلتي اليورانيوم والثوريوم، و بالتالي فإن تركيز الرادون الكلي في الهواء الجوي يتبع تركيز اليورانيوم والثوريوم في التربة و الصخور، كما أن انتشاره يعتمد على تركيزه في الصخور ونفوذيته من التربة والصخور [12].

يبين الشكل (2-1) آلية انبثاق الرادون إلى الوسط الخارجي، حيث يعتمد انبثاق الرادون من التربة على كمية إصداره من حبيبات مادة التربة (Emanation)، وعلى انتشاره عبر مسامات التربة إلى الوسط الخارجي [16-17].



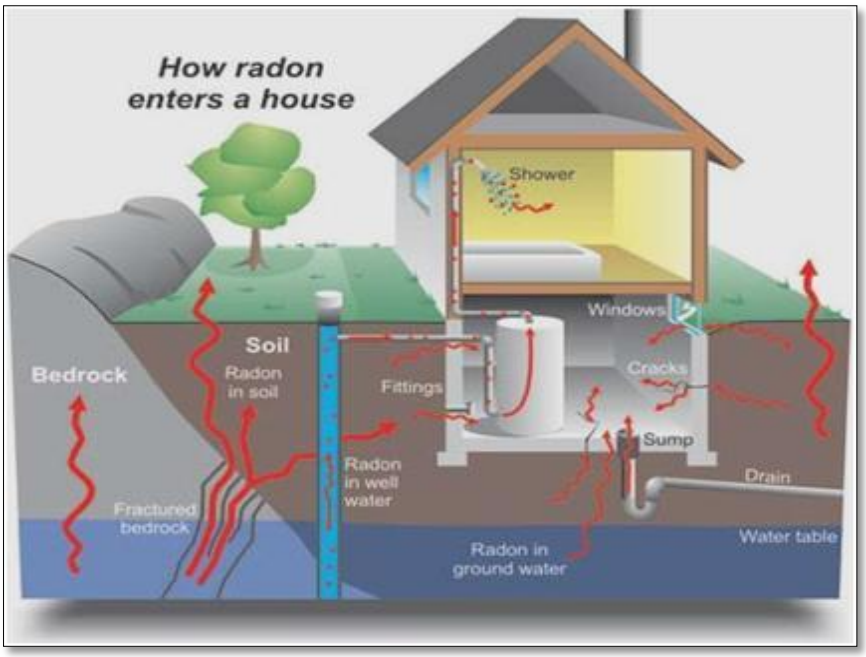
الشكل (2-1) آلية انبثاق الرادون من التربة إلى الوسط الخارجي

2-3- الماء:

يُعد الرادون متوسط الانحلالية في الماء وتزداد انحلاليته بنقصان درجة حرارة الماء، ويتبع تركيزه مصدر المياه سطحية كانت أم جوفية ومحتواها من الأملاح المعدنية وطبيعة الحوض المائي، حيث يمكن أن يتجاوز تركيزه 37 Bq/l في بعض مصادر المياه الجوفية [12]. فعندما تسير المياه الجوفية عبر صخور التربة تمتص كمية لا بأس بها من الرادون، وعند تحريك المياه أو تسخينها فإن كمية من الرادون تنطلق إلى الوسط الخارجي.ولقد قدر بشكل عام أن تركيزاً قدره 10000 PCi/l من الرادون في الماء سيضيف حوالي 1 pCi/l إلى الهواء الداخلي للمنازل بافتراض الاستخدام العادي للماء. ووجد أن متوسط مستوى الرادون في مياه الآبار يتراوح بين 500-170000 pCi/l [18].

4- الرادون في المنازل:

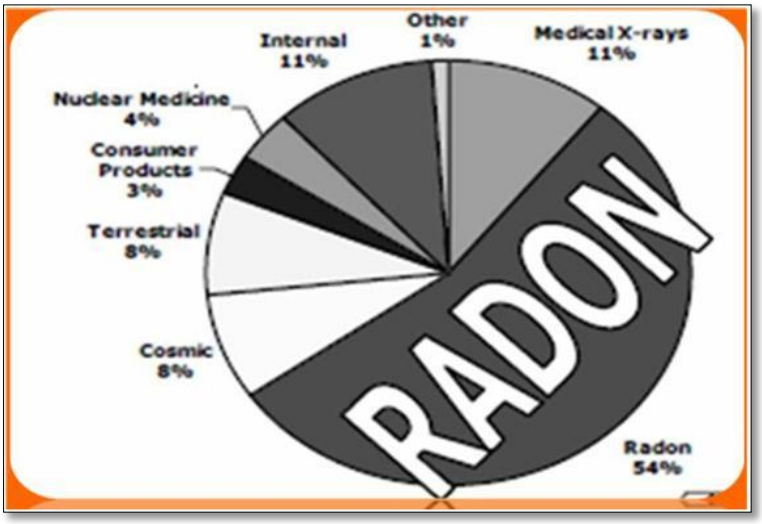
إن تركيز غاز الرادون في المنازل والمغاور والأقبية المغلقة أعلى بكثير من تركيزه في الهواء الطلق أو في الأبنية جيدة التهوية، وذلك نتيجة تراكم الرادون الذي مصدره الأرض ومواد البناء والمياه، حيث يشكل الرادون حوالي $(10)^{-20}$ من هواء الجو. ولا يشكل الرادون طبقة قريبة من سطح الأرض إنما يتواجد بشكل خليط متجانس مع الهواء الداخلي للمنازل [12] ويوضح الشكل (2-2) آلية دخول الرادون إلى المنازل.



الشكل (2-2) آلية دخول الرادون إلى المنازل

5- خطورة الرادون :

تأتي أهمية دراسة غاز الرادون باعتباره المساهم الأكبر في الجرعة الإشعاعية الطبيعية الشكل (2-3):



الشكل (2-3) مساهمة غاز الرادون في الجرعة الإشعاعية الطبيعية

ويعتبر الرادون المسبب الثاني بعد التدخين في الإصابة بسرطان الرئة، حيث ينطلق الرادون المشع مع منتجات تفككه إلى الهواء، فتتولد معلقات من منتجات الرادون ترتبط بسرعة كبيرة مع الغازات والأبخرة الهوائية مشكلة معلقات عنقودية صغيرة، ثم ترتبط هذه المعلقات العنقودية مع المعلقات الهوائية مشكلة معلقات مشعة من الرادون والثورون. وبسبب خمول غاز الرادون فإنه لا يحتبس في الجهاز التنفسي وبالتالي لا يساهم كثيراً في الجرعة الإشعاعية، غير أن منتجات تفككه قصيرة عمر النصف تترسب في الرئة والقصبات الهوائية مصدرة جسيمات ألفا التي تؤدي عند استنشاقها إلى جرعة إشعاعية تزيد 100 مرة على ما يسببه الرادون لوحده [12].

6- واحدات قياس الرادون :

6-1- مستوى العمل ((Working Level (WL):

أدخلت هذه الواحدة لأول مرة عام 1956 كمقياس للخطر النسبي لنواتج تفكك الرادون قصيرة عمر النصف التي يمكن أن يتعرض لها العمال في مناجم اليورانيوم. و تعبر هذه الواحدة عن جو يحوي 100 pCi من الرادون في حالة توازن مع نواتج تفككه. وقد عرفت أيضاً على أنها "أي مزيج من نواتج تفكك الرادون قصيرة عمر النصف في لتر واحد من الهواء والمذي يمكن أن يعطي $1.3*10^5$ Mev من طاقات جسيمات ألفا الكامنة والمنطلقة خلال تفككها لتصل إلى الرصاص-210.

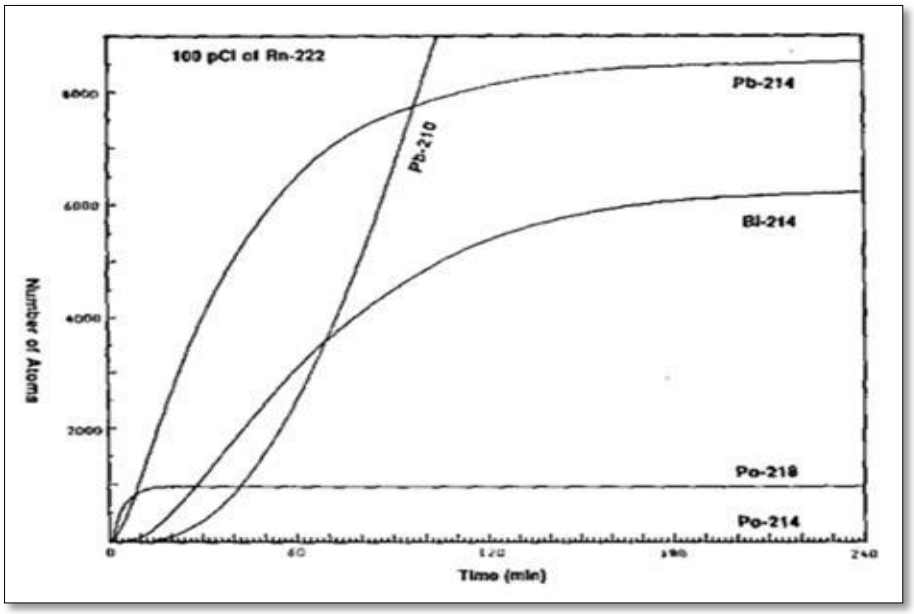
فيحسب عدد مستويات العمل بالمعادلة:

$$Number of WL = \frac{13.69(N_A) + 7.69(N_B + N_C)}{1.3\times10^5}$$

حيث N_A، N_B و N_C تركيز نواتج تفكك الرادون البولونيوم-218، الرصاص-214 والبزموت-214 على الترتيب.و يدل العدد (13.69) على مجموع طاقتي جسيمي ألفا المنطلقين عند تفكك عنصر البولونيوم-218 إلى الرصاص-210 [18-19].

2-6- معامل التوازن ((Equilibrium Factor (F)):

إذا وضعنا 100 pCi من الرادون في حيز محصور، و كانت القيمة البدائية لنواتج تفككه هي الصفر، فسيبدأ تركيز نواتج تفكك الرادون داخل هذا الحيز بالازدياد حتى يصل إلى التوازن بنشاط يساوي تقريباً 100 pCi لكل من نواتج تفكك الرادون قصيرة عمر النصف الأربعة، ويوضح الشكل (2-4) تزايد عدد ذرات نواتج تفكك الرادون كنتيجة لوضع 100 pCi من الرادون في حيز مغلق.



الشكل (2-4) تنامي (تزايد) عدد ذرات نواتج تفكك الرادون في حيز مغلق

وبما أن نواتج تفكك الرادون الصلبة تلتصق على الجدران والمفروشات في المنازل، فإن تركيزها المقاس يكون أقل من ذلك المحسوب لنفس الكمية في حالة التوازن المستقر (Secular Equilibrium). ويعبر عن معامل التوازن F على أنه النسبة بين تركيز نواتج تفكك الرادون المقاس حقيقة مقدراً بواحدة WL وتركيز الرادون مقدراً بواحدة pCi/l أي:

$$F = \frac{activity\ concentration\ of\ \ progeny}{activity\ concentration\ of\ \ parent\ radon} = \frac{progeny\ conc.\ (WL)}{radon\ conc.\ (pCi/l)} \times 100$$

في حالة التوازن المستقر تكون قيمة F مساوية الواحد. ولكن التوازن التام لا يتحقق في المنازل حيث وجد أنه في المنازل العادية يكون معامل التوازن بين 0.2 و 0.7 [18-19].

7- طرائق قياس الرادون:

7-1- الطريقة المباشرة (الطريقة الآنية):

يتم من خلالها قياس تركيز غاز الرادون في الهواء مباشرةً باستخدام كواشف مرتبطة بأجهزة كهربائية.

7-1-1- طريقة التألق (خلية لوكس Lucas cell):

تعتمد هذه الطريقة على كشف التألق الناتج عن صدم جسيمات ألفا الناتجة عن تفكك الرادون ووليداته بمادة تألق مثل كبريتات التوتياء (ZnS) ضمن حيز محكم الإغلاق [20-21].

7-1-2- حجيرة التأين (Ionization Chamber):

حجيرة التأين عبارة عن مكثفة اسطوانية الشكل، يولد حقل كهربائي بين لبوسيها. يدخل الهواء المراد قياس تركيز غاز الرادون فيه عبر فلتر إلى الحيز الفعال في الحجيرة، و يعتمد مبدأ عمل هذه الطريقة على جمع التأينات الحاصلة نتيجة التفكك الإشعاعي للرادون ووليداته بين طرفي لبوسي الحجيرة. يولد جمع هذه التأينات تياراً من النبضات وعندها يمكن حساب تركيز الرادون من خلال عدد النبضات المسجلة خلال فترة معينة ومحددة [20-21].

7-1-3- طريقة الفلترين (المرشحين) (Two Filters Technique):

تعتمد هذه الطريقة على قياس تركيز البولونيوم-218 من أجل تحديد تركيز الرادون، و ذلك من خلال ضخ الهواء الحاوي على غاز الرادون إلى أنبوب أسطواني يحوي فلترين على فتحتيه. يوقف الفلتر الأول الغبار ونواتج تفكك الرادون الصلبة المتواجدة في الهواء ويسمح لغاز الرادون فقط بالمرور حيث يتفكك داخل الأنبوب إلى البولونيوم-218، تترسب هذه الذرات على فلتر المخرج، وباستخدام كاشف الحاجز السطحي (Surface barrier Detector) يتم قياس نشاط جسيمات ألفا المنطلقة من الفلتر، ومنها يمكن حساب تركيز الرادون [18-20].

7-1-4- مقياس سويات العمل (Working Level Monitor):

تعتمد هذه الطريقة على ضخ الهواء الحاوي على الرادون ووليداته عبر فلتر،ثم يتم عد جسيمات ألفا الصادرة عن نواتج تفكك الرادون المترسبة على الفلتر باستخدام كاشف الحاجز السطحي (Surface barrier Detector)، يحدد مستوى العمل للرادون من معدل تدفق الهواء عبر الفلتر ومعدل عد جسيمات ألفا وفق المعادلة التالية :

$$WL = \frac{CPM}{E \cdot V \cdot K}$$

حيث CPM عدد جسيمات ألفا المعدودة بالدقيقة، E مردود الكشف لكاشف الإعاقة السطحي المستخدم، V حجم الهواء الذي ضخ عبر الفلتر وK معامل المعايرة [18-22].

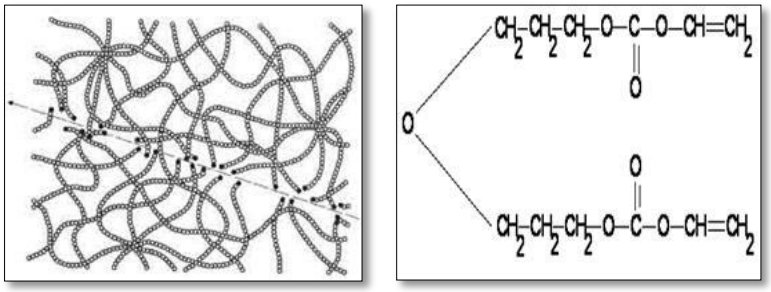
2-7- الطريقة غير المباشرة (الطريقة التكاملية) (Time Integrated Technique):

تعتبر القياسات التكاملية طويلة الأمد أكثر مصداقية من أجل تحديد تركيز الرادون في مكان ما، فهي تعبر عن متوسط تركيز الرادون خلال فترة التعريض، وتمتاز بأنها لا تحتاج إلى أجهزة كهربائية وسهلة الاستخدام، غير أنها تحتاج إلى وقت طويل للحصول على النتيجة ومنها:

2-7-1- كواشف الأثر النووي الصلبة (Solid State Nuclear Tracks Detectors (SSNTDs)):

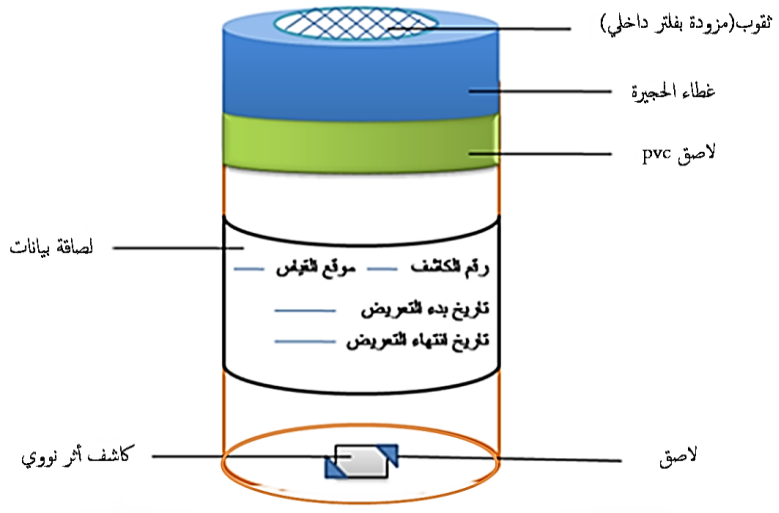
من أكثر الكواشف استخداماً في قياسات الرادون وذلك لدقتها وسهولة استعمالها، وهي عبارة عن قطع بلاستيكية بوليمرية حساسة لجسيمات ألفا (poly diglycol carbonate) وأهمها كواشف CR-39.

تعتبر كواشف CR-39 ذات خواص فريدة واستعمالات واسعة حيث أنها عالية النقاوة وذات تأثر ضئيل جداً بالتغيرات البيئية، فهي حساسة جداً للأشعة المؤينة، وهي الوحيدة التي تستطيع تسجيل آثار للبروتونات. كما وتستطيع تسجيل جسيمات ألفا بطاقة أعلى بقليل من الصفر إلى طاقة حوالي 60Mev، والصيغة الكيميائية لهذا الكاشف هي $C_{12}H_{18}O_7$ الشكل (2-5).



الشكل (2-5) الصيغة الكيميائية لكاشف CR-39

توضع كواشف CR-39 داخل حجيرة بلاستيكية ذات غطاء بلاستيكي يحوي العديد من الثقوب. يملك الوجه الداخلي للغطاء فلتر ورقي يمنع دخول منتجات تفككك الرادون وذرات الغبار التي يزيد قطرها على قطر مسامات الفلتر، يبلغ ارتفاع هذه الحجيرة 9.5 cm وقطرها 6.4cm وقطر الفلتر 4cm الشكل (2-6).



الشكل (2-6) حجيرة كاشف CR-39 لقياس غاز الرادون

يعتمد هذا النوع من الكواشف على الأثر الذي ستحدثه الجسيمات المؤينة في الأجسام العازلة بما فيها الزجاج والبلاستيك. فعندما يدخل غاز الرادون إلى داخل الحجيرة يتفكك مطلقاً جسيمات ألفا، وهذه الجسيمات تصطدم بسطح الكاشف فتؤدي كل منها إلى إحداث تخريب مجهري (ميكروسكوبي) على طول مسار الجسيمة في جسم الكاشف ويدعى هذا التخريب بالأثر الكامن (الخفي).

حيث يكون قطر الأثر أقل من (10^{-8} cm) ولكن يمكن جعل هذه الآثار مرئية بواسطة الميكروسكوب الضوئي العادي (أي قطر الأثر من رتبة 10^{-4}cm) بعملية الحك الكيميائي (Chemical Etching). يوضح الشكل (2-7) الآثار بعد الحك الكيميائي.

الشكل (2-7) الأثر تحت المجهر بعد المعالجة الكيميائية

تلعب شروط الحك من حيث تركيز المحلول ودرجة حرارته وزمن الحك دوراً كبيراً في عملية الإظهار، كما وتعتمد أيضاً على نوع الكاشف الحاوي على الآثار (بلاستيك، زجاج، بلورات)، فمن أجل الكواشف البلاستيكية يغمس عادة الكاشف في محلول كيميائي قلوي مثل ماءات الصوديوم (NaOH)، أو ماءات البوتاسيوم (KOH) بتركيز ودرجة حرارة وفترة زمنية محددة، عندها يمكن ربط عدد الآثار المسجلة والظاهرة على الكاشف بوسطي تركيز الرادون [18-23].

7-2-2- طريقة الفحم الفعال(Activated Charcoal):

تعتمد هذه الطريقة على خاصية الفحم الفعال في امتصاص وحفظ غاز الرادون ونواتج تفككه. يمكن أن يحدد تركيز الرادون الممتص باستخلاصه إلى عداد التألق السائل (Liquid scintillator)، أو باستخدام كاشف لأشعة غاما (مثل كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة أو بلورة الصوديوم التألقية) ليكشف أشعة غاما الصادرة عن الرصاص-214 والبزموث-214 [24].

7-2-3- طريقة الإلكتريت أو نظام الإيرم (E-PERM):

تعتمد هذه الطريقة على قرص من التفلون يدعى بالإلكتريت مشحون بشحنة كهربائية ساكنة حيث يؤدي وجود الأيونات المشحونة الناتجة عن وجود غاز الرادون ومنتجات تفككه داخل حجيرة الإلكتريت إلى خفض قيمة كمون قرص التفلون.

من خلال فرق الكمون وباستخدام معامل معايرة مناسب يتم تحديد تركيز غاز الرادون [25].

8- مقارنة بين الطرائق التكاملية لقياس الرادون: [25-26]

أجرت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة ((Environmental Protection Agency (EPA)

العديد من الدراسات لتحديد مشاكل تركيز الرادون وطرائق قياسه ومعالجته، واستخدمت (EPA) في دراساتها طرائق قياس مختلفة (آنية وتراكمية) واقترحت حداً للقيمة المطلقة للخطأ في القياس يساوي25%. فإذا كانت القيمة المطلقة للخطأ في القياس أصغر أو تساوي 25% فيعتبر القياس ناجحاً. ويبين الجدول (2-1) بعض طرق القياس المستخدمة ونسبة النجاح (عدد الكواشف التي أعطت نتيجة صحيحة لتركيز الرادون من كل 100 كاشف) التي حققتها كل طريقة.

الجدول (2-1) طرق القياس المستخدمة في قياس الرادون ونسبة نجاح كل منها.

طريقة القياس	نسبة النجاح	طريقة القياس	نسبة النجاح
طريقة الإلكتريت	94%	مقياس سويات العمل	79%
طريقة الفحم الفعال	69%	عداد الوميض السائل	61%
كواشف الأثر النووي	67%	Grab sample Radon	61%
		Grab sample working level	56%

وخلصت (EPA) في نهاية الدراسة إلى مقارنة بسيطة بين طرق الطرق التكاملية المستخدمة في قياس الرادون كما هو موضح في الجدول (2-2).

الجدول (2-2) مقارنة بين الطرائق التكاملية لقياس الرادون

الخصائص	طريقة الإلكتريت	كواشف الأثر النووي	طريقة الفحم الفعال
أنواع القياسات	قياسات قصيرة الأجل اختبارية(الملحق1) (screening measurement) قياسات طويلة الأجل اختبارية + تأكيدية (follow-up measurement)	قياسات طويلة الأجل تأكيدية(الملحق1) (follow-up measurement)	قياسات قصيرة الأجل اختبارية (screening measurement)
مجالات القياس (زمن التعريض)	من يوم إلى سنة	من 30 يوم إلى سنة	من يوم إلى 3 أيام
الأسعار	30$ – 3من أجل كل وحدة قياس	30$ – 25من أجل كل وحدة قياس	30$ – 10من أجل كل وحدة قياس
تكلفة القياس	الأقل كلفة من أجل كل قياس	أعلى كلفة	غير مكلفة نسبياً
المحاسن	الأكثر دقةً – الأسهل استخداماً – لا تتأثر بالرطوبة – سرعة في الحصول على النتائج – تعطي تراكيز وسطية – إمكانية استخدام نفس الكاشف في قياسات لاحقة	دقة عالية جداً في القياس طويل الأجل لمستويات الرادون	طريقة سريعة لتحديد وجود مشاكل الرادون
المساوئ	تسجل أشعة غاما (الخلفية الطبيعية) والتي يجب أن تطرح من النتائج النهائية للقياس	تستهلك زمناً طويلاً من أجل الحصول على النتائج (حك + عد)	تتطلب تصحيح درجة الحرارة

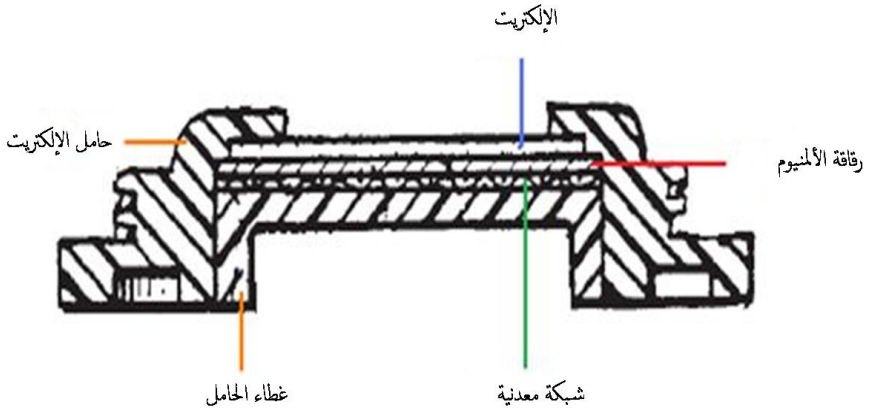
9- مكونات نظام الإيبرم:

يتألف نظام الإيبرم من ثلاثة مكونات أساسية:

9-1- الإلكتريت:

وهو قرص من التفلون تم شحنه بطريقة خاصة بشحنة كهربائية ساكنة ليملك من خلالها قطبية موجبة تعادل 750volt، ويعتبر هذا القرص مصدراً للحقل الكهربائي الساكن الذي يجذب الأيونات المخالفة له بالإشارة، ويكون هذا القرص محمياً بواسطة حامل من البلاستيك الناقل يثبت في أسفل حجيرة الإلكتريت.

تثبت رقاقة من الألمنيوم أسفل قرص الإلكتريت الذي طلي وجهه الخلفي بطبقة رقيقة من الكربون، يليها شبكة معدنية لتأمين توزيع الشحنة الكهربائية بشكل متجانس على الوجه السفلي للإلكتريت وبالتالي تأمين الاتصال الكهربائي مع قاعدة الإلكتريت (حامل الإلكتريت) الشكل (2-8) [9-10-25].



الشكل (2-8) قرص الإلكتريت وحامله

وتتوفر أنواع مختلفة من الإلكتريت ومواصفات مختلفة يمكن تمييزها من خلال ملصقاتها الملونة وأرقامها التسلسلية المثبتة على الوجه الخلفي للحامل فنميز:

- الإلكتريت ذو اللصاقة الخضراء واللصاقة الزرقاء (يملك قرص تفلون أبيض اللون)، يتمتع بحساسية عالية ويستخدم في القياسات قصيرة الأجل (2-7days) [9-10-25] الشكل (2-9).

الشكل (2-9) كاشف الإلكتريت ذو اللصاقة الزرقاء والخضراء

- الإلكتريت ذو اللصاقة الحمراء (يملك قرص أسود أو فضي)، وهو أقل حساسية من الإلكتريت ذو اللصاقة الخضراء أو الزرقاء ويقوم بنفس دوره تماماً ويستخدم في القياسات طويلة الأجل (1-365days) [9-10-25] الشكل (2-10).

الشكل (2-10) كاشف الإلكتريت ذو اللصاقة الحمراء

إن الحساسية المنخفضة التي يتمتع بها هذا النوع من الإلكتريت تجعله مستقر جداً بحيث يمكن استخدامه من أجل القياسات طويلة الأجل (أو من أجل القياسات قصيرة الأجل بوجود تراكيز عالية جداً من الرادون).

تحمل جميع أنواع كواشف الإلكتريت رقماً تسلسلياً مميزاً يبدأ بالحرف S يليه حرف آخر من (a-z) يليه رقم مؤلف من أربع خانات [25]، وتتوافر أقراص الإلكتريت وفق السماكات (الثخانات) التالية: [27]

- (0.127mm) يستخدم من أجل القياسات طويلة الأجل منخفضة الحساسية.
- (1.524mm) يستخدم من أجل القياسات قصيرة الأجل عالية الحساسية.
- (4.572mm) يستخدم من أجل القياسات طويلة الأجل عالية الحساسية.

وتؤثر سماكة الإلكتريت بشكل مباشر على نوع القياس المخطط له (قصير الأجل – طويل الأجل) فكلما ازدادت سماكة الإلكتريت كان بالإمكان استخدامه لفترة قياس أطول [25].

9-2- حجيرة الأيونات (حجيرة الإلكتريت):

عبارة عن حجيرة من البلاستيك الناقل يثبت في أسفلها حامل الإلكتريت [9-10-25].

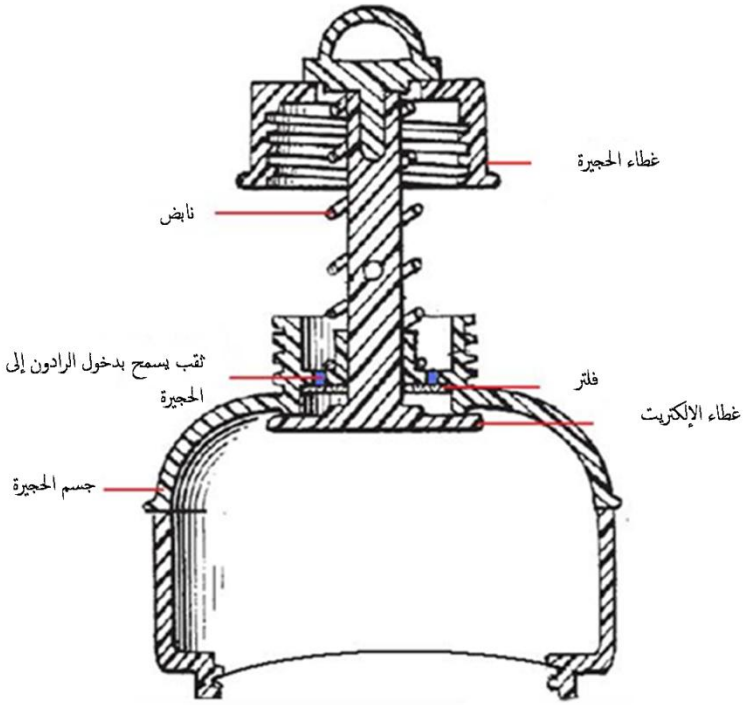
ونميز ثلاثة أنواع للحجيرات :

❖ الحجيرة S أو الحجيرة العيارية:

وهي عبارة عن وعاء (قارورة) مصنوع من البلاستيك الناقل الذي يؤلف بدوره حجيرة التجميع الأيونية المستخدمة في قياس الرادون، عندما تقترن هذه الحجيرة بالإلكتريت فإنها تشكل وحدة قياس الرادون E-perm.

تمتاز هذه الحجيرة بدقتها حيث أن الحجم والتصميم المثالي للحجيرة يسمح لغاز الرادون بدخولها عبر الانتشار الموجب، أما العناصر المشعة الأخرى مثل غاز الثورون ومنتجات تفكك الرادون تتم فلترتها.

تمتلك الحجيرة S غطاء يرتكز على نابض يؤمن تغطية الإلكتريت والتحول بين آلية الفتح والإغلاق أثناء تجميع الرادون [25] الشكل (2-11).



الشكل (2-11) الحجيرة S أو الحجيرة العيارية

وهذه الآلية تميز نظام الإيبرم وتسمح بالقيام بعمليات التعريض المتسلسل والقياسات المتكررة باستخدام نفس الإلكتريت.

عندما نستخدم الإلكتريت قصير الأجل فإننا ندعو هذه الحجيرة بـ SST اختصاراً لـ S-chamber short term [34]، وعند استخدام الإلكتريت طويل الأجل ندعوها SLT اختصاراً لـ S-chamber long term [25].

أبعاد الحجيرة :

الارتفاع : في وضعية الفتح 14 cm، وفي وضعية الإغلاق 10 cm.

قطر الحجيرة: 8.26 cm وزن الحجيرة:g 125، أما حجم الحجيرة 200 ml تقريباً

❖ الحجيرة L:

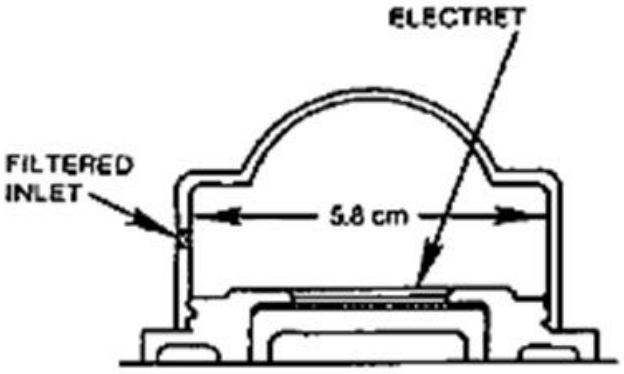
عبارة عن حجيرة أيونية صغيرة الحجم مصممة لتكون غاية في الفعالية من أجل قياسات الرادون طويلة الأجل، ولتكون أداة منخفضة التكلفة مقارنة مع الأجهزة الأخرى المستخدمة في قياس الرادون (طويلة الأجل).

ولا تمتلك هذه الحجيرة آلية فتح /إغلاق ، يمكن استخدام الإلكتريت ST-LT مع هذه الحجيرة من أجل الحصول على مجال (متوسط إلى طويل الأجل) في قياس الرادون [25].

أبعاد الحجيرة :

قطرها 6.6 cm، ارتفاعها 5 cm

حجم الحجيرة 50 ml الشكل (2-12).



الشكل (2-12) الحجيرة L

❖ الحجيرة H:

وهي حجيرة نصف كروية تملك قاعدة مربعة الشكل، صممت لتلبي الحاجات السريعة التي تستخدم فيها E-perm قصير الأجل عالي الحساسية من أجل الحصول على قياسات دقيقة لمستويات الرادون المنخفضة خلال فترات زمنية قصيرة (يوم واحد على سبيل المثال)، لا تحوي هذه الحجيرة على آلية فتح/

إغلاق [25].

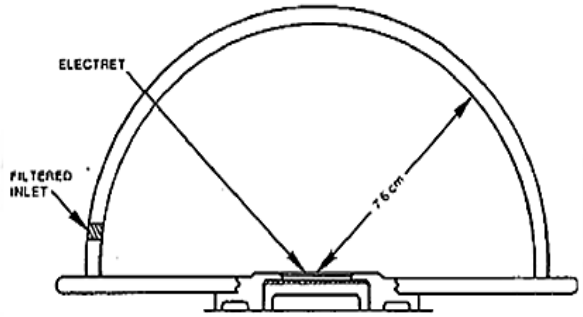
أبعاد الحجيرة :

قطر الحجيرة 15.24 cm.

طول ضلع القاعدة 18 cm.

ارتفاعها 15.24 cm.

حجم الحجيرة 1000 ml تقريباً الشكل (2-13).



الشكل (2-13) الحجيرة H

يجب أن تستخدم كل من الحجيرة (L – H) من قبل مختصين مدربين وذلك لعدم امتلاكها آلية فتح/ إغلاق حيث يمكن للشخص غير المتدرب أن يلمس سطح الإلكتريت وبالتالي يفشل عملية القياس.

9-3- قارئ كمون (فولط) سطحي خاص ((sper-1) surface potential electrets reader):

عبارة عن أداة الكترونية تستعمل لقياس الكمون السطحي للإلكتريت، حيث يعبر التغير في كمونه السطحي خلال فترة تعريض محددة عن تركيز الرادون الموجود في حجيرة الإيبرم خلال هذا الزمن والذي يساوي تركيز الرادون في مكان القياس [25] الشكل (2-14).

الشكل (2-14) قارئ الفولط الخاص بنظام الإيبرم

يملك القارئ نافذة ذات أبعاد محددة تحوي صفيحة معدنية (صفيحة من الذهب) عالية الحساسية قادرة على كشف أي تغير في كمون الإلكتريت مهما كان صغيراً دون أن تلامس سطحه لتظهر النتيجة على شاشة رقمية، و يتميز هذا القارىء بسهولة استعماله فهو يحتاج إلى بطارية 9volt لكي يعمل وبالتالي يمكن استخدامه في القياسات الحقلية ويبلغ مجال حساسية القارىء (±1999 volt) [25].

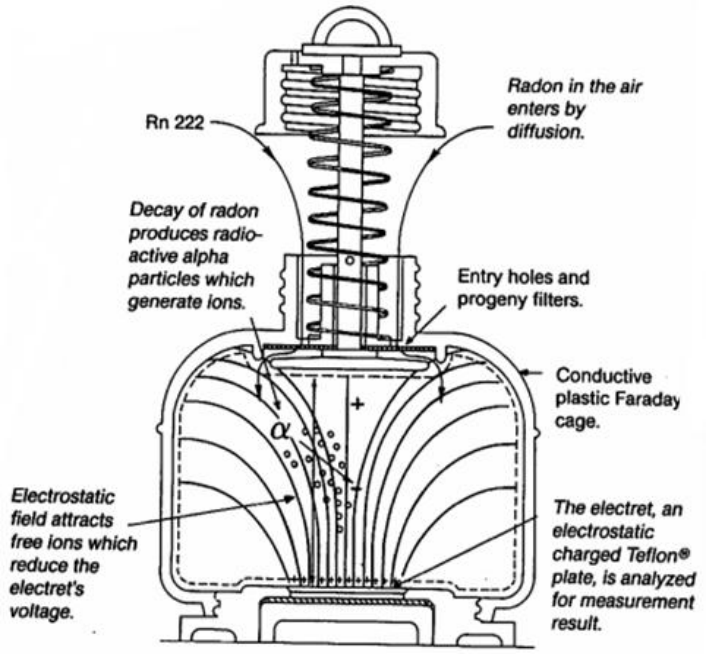
10- مبدأ عمل نظام الإيبرم:

يدخل الهواء الذي له نفس تركيز الرادون في الغرفة إلى داخل الحجيرة عن طريق العديد من الثقوب الموجودة في أعلى الحجيرة وفق آلية الانتشار الموجب.

تزود هذه الثقوب بمجموعة من الفلاتر الورقية التي تمنع دخول ذرات الغبار أو أي جسيمات أخرى يمكن أن تسبب تأيينا يتداخل مع الأيونات المتشكلة بفعل تفكك الرادون أو منتجات تفككه.

وعندما تتفكك ذرة الرادون المشعة أو منتجات تفككه فإن النواة تصدر جسيم ألفا الذي يقوم بتأيين ذرات الهواء مشكلاً غمامة من الإلكترونات الحرة والأيونات الموجبة، يؤدي وجود الإلكتريت في قاعدة الحجيرة إلى تشكيل حقل كهربائي ساكن داخل الحجيرة قادر على جذب الشحنات (الأيونات) المخالفة له بالإشارة الكهربائية المتولدة عن تفكك الرادون ومنتجات تفككه داخل الحجيرة.

وبهذا يتم خفض الشحنة الكهرساكنة على قرص الإلكتريت بشكل متناسب مع الشحنات المتولدة داخل الحجيرة الشكل (15-2) [9-10-25-28].



الشكل (15-2) يوضح مبدأ عمل نظام الإيبرم

وهنا يجب أن يعَرف معامل المعايرة (CF) على أنه مقدار انخفاض كمون الإلكتريت عندما يعرض نوع محدد منه ضمن حجيرة محددة لمدة يوم واحد لتركيز رادون قدره 1 pCi/L. ومعامل المعايرة بالنسبة للإيبرم خطي يبدأ من 150 volt وحتى 750 volt، وذلك لأن عملية تجميع الأيونات بواسطة الإلكتريت بكمون أقل من 150 volt تكون غير فعالة ويمكن أن نواجه حالة من التضاعف الأيوني في حال كان كمون الإلكتريت أعلى من 750 volt حيث سيكون لدينا أخطاء كبيرة في تعيين القيمة الصحيحة لكمون الإلكتريت بعد التعريض وبالتالي وجود أخطاء في حساب تركيز الرادون [25-28]

يحسب تركيز الرادون باستخدام خلية الإيبرم على مرحلتين:

يتم في المرحلة الأولى حساب معامل المعايرة بعد تحديد نقطة منتصف هبوط الكمون (MPV) الذي يعطى بالعلاقة :

$$CF(Volt\ \ per\ \ pCi/l\ in\ 1\ day) = A + \frac{B(I+F)}{2}$$

حيث A وB ثابتان من أجل إيبرم محدد وI هو كمون الإلكتريت البدائي والذي يقاس قبل البدء بعملية التعريض أما F فهو كمون الإلكتريت النهائي.الذي يقاس بعد 3 ساعات من انتهاء التعريض (وهو الزمن اللازم لتفكك وليدات (منتجات تفكك) الرادون بشكل كامل) [25-28].

تعطى قيم الثوابت A وB لكل نوع من أنواع الإيبرم وفق الجدول (2-3):

الجدول (2-3) قيم الثوابت A وB لكل نوع من أنواع الإيبرم

نوع الإيبرم	A	B
أخضر S، حجيرة S	1.562	0.00129
ازرق S، حجيرة S	1.8864	0.000638
أحمر L، حجيرة S	0.16	0.00006
أحمر L، حجيرة L	0.02723	0.0000128
أزرق S، حجيرة L	0.2903	0.000154
أزرق S، حجيرة H	6.88	0.0043

ومن ثم يحسب تركيز غاز الرادون من العلاقة التالية:

$$Rn(pCi/l) = \frac{I - F}{CF \cdot D} - Bg$$

حيث Rn تركيز الرادون بواحدة pCi/L

I وF كمونا الإلكتريت البدائي والنهائي.

D زمن القياس باليوم.

أما Bg فهي الخلفية الطبيعية لأشعة غاما (تقاس مباشرة) مقدرة بما يكافئها من تركيز الرادون وهي تقريباً

0.01 μ Sv/h=0.087 pCi/l [25].

11- مراحل تطور نظام الإيبرم:

استخدم العديد من الأدوات الفعالة لقياس الرادون وسميت بـ: ((passive electrets radon monitors (perms).

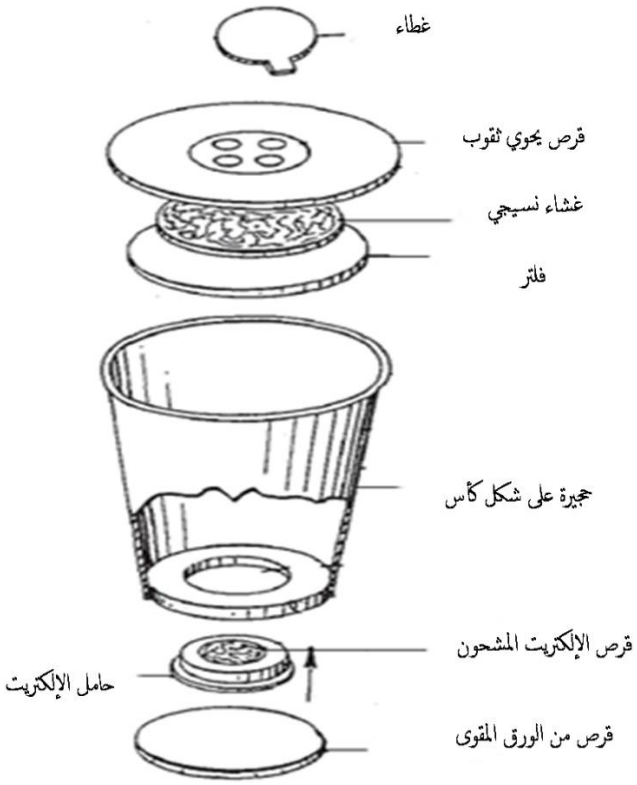
11-1- في المرحلة الأولى: استخدمت صفيحة (رقاقة) معدنية يطبق عليها كمون سالب عالي من أجل تجميع منتجات تفكك الرادون ومن ثم قياس إشعاع ألفا الناتج عنها بواسطة مقاييس التألق الحراري [9].

11-2- في المرحلة الثانية: استخدم قرص من الإلكتريت ذي شحنة سالبة كمجمع للشحنة عوضاً عن الصفيحة المعدنية وقيست أشعة ألفا الناتجة بواسطة الكواشف الوماضة [9].

11-3- في المرحلة الثالثة: تم وضع صفيحة من البولي كاربونيت فوق قرص الإلكتريت ووجدت علاقة ارتباط ضعيفة بين تركيز الرادون وهبوط شحنة البولي كاربونيت [9].

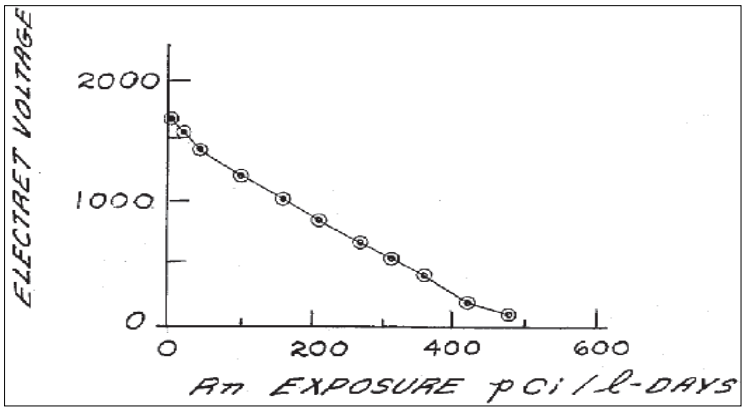
11-4- في المرحلة الرابعة: استخدم قرص الإلكتريت من أجل تقدير طاقة جسيمات ألفا المستهلكة في الهواء والناتجة عن الرادون والثورون ومنتجات تفككها من خلال قياس كمون الإلكتريت قبل وبعد التعريض ولكن هذه الآلية لم تفصل تركيز الرادون عن تركيز وليداته وتركيز الثورون. [9].

5-11- في المرحلة الأخيرة: استعملت حجيرة على شكل كأس بحجم 225ml وإلكتريت مصنوع من التفلون FEP (Fluorinated ethylene propylene) بسماكة 9 mm الشكل (2-16) [9].



الشكل (2-16) حجيرة الكتريت على شكل كأس بحجم 225ml

ووجدت علاقة ارتباط جيدة بين التعرض للرادون (تركيز الرادون) وكمون الإلكتريت كما في الشكل (2-17) [9].



الشكل (2-17) العلاقة بين تركيز الرادون وكمون الإلكتريت

ومن أهم ما تميزت به هذه الحجيرة:

- ❖ لا تحتاج إلى أجهزة الكترونية أو أنظمة قراءة خارجية من أجل تحديد قيمة الحقل الكهربائي الساكن للإلكتريت فهذه الأجهزة مكلفة وكبيرة الحجم ولا تصلح للقياسات المنزلية.
- ❖ لا تحتاج إلى صفيحة البولي كاربونيت فوق قرص الإلكتريت حيث يمكن قياس حقله الكهربائي الساكن مباشرة.
- ❖ على خلاف مقاييس الرادون السابقة تمكننا هذه الحجيرة من تلافي الأخطاء الناتجة عن الرطوبة المرتفعة نسبياً [9].

12- العوامل البيئية التي يمكن أن تؤثر في نظام الإيبرم:

12-1- درجة الحرارة:

إن القياسات التي تتم باستخدام الإيبرم لا تتأثر عادة بتغيرات درجة الحرارة التي يمكن أن تلاحظ في المنازل أو في الجو المحيط وقد تم اختبار الإيبرم خلال كافة الفصول وفي 50 ولاية أمريكية وقد أثبتت هذه الاختبارات أن تأثير درجة الحرارة على دقة قراءة كاشف الإيبرم مهملة.

ولكن يجب أن نكون حذرين من التأثير الآخر لدرجة الحرارة الذي يمكن أن يظهر أثناء قراءة كمون الإلكتريت نتيجة لاختلاف معاملات تمدد كل من التفلون والبلاستيك الناقل.

فسطح الإلكتريت يميل للتقعر أو التحدب (بشكل مهمل) عندما تتغير درجة الحرارة بشكل جوهري أثناء قراءة الإلكتريت والذي يتجلى باختلاف قيمة قراءة الكمون.

حيث أن اختلاف القراءات يمكن أن يكون بارتفاع حوالي volt 2 لكل تغير بمقدار 12 ºC في درجة الحرارة ويمكن لنا أن نتفادى هذا الأمر من خلال أخذ القراءة البدائية والنهائية لكمون الإلكتريت في نفس درجة حرارة الغرفة [25].

12-2- الأيونات الأخرى التي يمكن أن توجد في الغرفة (مكان القياس):

يحوي مكان القياس على العديد من الأيونات وذلك بوجود مولد أيونات فعال (منبع مشع) ولكن جميع أيونات الهواء المحيط توقف بشكل كامل بواسطة فلتر الإيبرم بما فيها منتجات تفكك الرادون وهذا الأمر مثبت من خلال إجراء قياسات للرادون في الغرفة بوجود/عدم وجود مولد للأيونات [25].

12-3- الحقول الكهربائية الخارجية:

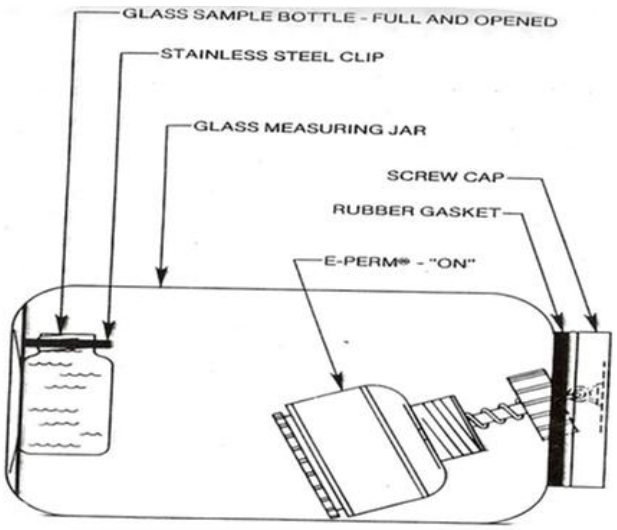
لاتملك الحقول الكهربائية الخارجية الموجودة في الغرفة أي تأثير على أداء الإيبرم حيث أن حجيرة الإيبرم مصنوعة من البلاستيك الناقل كهربائياً والذي يحجب كافة الحقول الكهربائية الخارجية عنها [25].

12-4- تيارات الهواء:

لا تؤثر تيارات الهواء في قدرة الإيبرم على كشف التركيز الوسطي للرادون وهذا الأمر مثبت من خلال إجراء قياسات ضمن قناة تضم بداخلها تدفقاً هوائياً عالياً [25].

12-5- نسبة الرطوبة:

لا تتأثر قياسات الرادون باستخدام الإيبرم بمستويات الرطوبة العالية التي يمكن أن توجد في المنازل أو في الطبيعة حيث أن الإيبرم يستخدم عادة من أجل قياسات الرادون في الماء الشكل (2-18) في ظروف تكون فيها نسبة الرطوبة 100% ولكن يجب الحفاظ على قارئ الفولط جافاً من أجل الحصول على قراءات صحيحة للكمون [25].



الشكل (2-18) قياس الرادون في الماء باستخدام الإيبرم

12-6- الارتفاع:

تعطى معاملات تصحيح الارتفاع ضمن جداول خاصة كما في الجدول (2-4) ونلاحظ أنه لا يوجد معاملات تصحيح للارتفاع من أجل الحجيرة S عند ارتفاع أقل من 1200 m عن سطح الأرض.

أما بالنسبة للحجيرة L فيجب استخدام معاملات التصحيح عند ارتفاع أعلى من 300 m

ولا يوجد لدينا معاملات تصحيح من أجل الحجيرة H [25].

Elevation in meter	S chamber correction factor	L chamber correction factor
0	1	1
300	1	1.05
600	1	1.09
900	1	1.14
1200	1.03	1.18
1500	1.09	1.22
1800	1.15	1.28
2100	1.21	1.33
2400	1.27	1.39

الجدول (2-4) معاملات تصحيح الارتفاع

12-7- الثورون الموجود في الهواء:

وهو أحد نظائر الرادون ذو عمر نصف قصير ويتواجد بتراكيز منخفضة في المنازل وقد صمم الإيبرم لتكون استجابته للثورون أقل من 15% وبالتالي فإن الإيبرم لا يقيس إلا الرادون [25].

12-8- الغبار المحيط:

لا يملك الغبار الخارجي أي تأثير على أداء الإيبرم حيث تتم فلترة جزيئات الغبار خلال عملية الانتشار الموجب عبر الفلتر [25].

12-9- تأثير أشعة غاما:

إن الإيبرم حساس للأيونات الناتجة عن الأشعة المؤينة شديدة الاختراق مثل أشعة x و أشعة غاما كحساسيته للأيونات المتولدة عن الرادون ضمن الحجيرة.

إن المصدر الوحيد لأشعة غاما هو إشعاع الخلفية الطبيعية وقد زود كاشف الإيبرم بقائمة من معاملات تصحيح هذه الخلفية الجدول (2-5) [25].

الجدول (2-5) معاملات تصحيح الخلفية الطبيعية

State	BG (uR/h)	BG Correction "S"	"L"	"H"	State	BG (uR/h)	BG Correction "S"	"L"	"H"
AL (LE)	6.86	0.6	0.8	0.5	MT	11.31	1.0	1.4	0.8
AL (HE)	10.04	0.9	1.2	0.7	NE	10.40	0.9	1.2	0.7
AK	9.85	0.9	1.2	0.7	NV	12.10	1.1	1.5	0.8
AZ	11.20	1.0	1.3	0.8	NH	10.00	0.9	1.2	0.7
AR (LE)	6.85	0.6	0.8	0.5	NJ (LE)	6.90	0.6	0.8	0.5
AR (HE)	10.36	0.9	1.2	0.7	NJ (HE)	9.87	0.9	1.2	0.7
CA (HE)	10.06	0.9	1.2	0.7	NM	12.73	1.1	1.5	0.9
CO	13.05	1.1	1.6	0.9	NY	9.94	0.9	1.2	0.7
CT	9.88	0.9	1.2	0.7	NC (LE)	6.82	0.6	0.8	0.5
DE	6.81	0.6	0.8	0.5	NC (HE)	10.18	0.9	1.2	0.7
DC	8.49	8.7	1.0	0.6	ND	10.36	0.9	1.2	0.7
FL	6.82	0.6	0.8	0.5	OH	10.04	0.9	1.2	0.7
GA (LE)	6.86	0.6	0.8	0.5	OK (LE)	6.93	0.6	0.8	0.5
GA (HE)	10.10	0.9	1.2	0.7	OK (HE)	10.30	0.9	1.2	0.7
HI	9.81	0.9	1.2	0.7	OR	10.13	0.9	1.2	0.7
ID	11.40	1.0	1.4	0.8	PA	7.02	0.6	0.8	0.5
					PA **	9.94	0.9	1.2	0.7
IL	10.07	0.9	1.2	0.7	RI	9.84	0.9	1.2	0.7
IN	11.39	1.0	1.4	0.8	SC (LE)	6.82	0.6	0.8	0.5
IA	10.14	0.9	1.2	0.7	SC (HE)	10.00	0.9	1.2	0.7
KS	10.31	0.9	1.2	0.7	SD	10.48	0.9	1.3	0.7
KY (LE)	6.89	0.6	0.8	0.5	TN (LE)	6.87	0.6	0.8	0.5
KY (HE)	10.08	0.9	1.2	0.7	TN (HE)	10.12	0.9	1.2	0.7
LA	6.82	0.6	0.8	0.5	TX (LE)	6.86	0.6	0.8	0.5
ME	9.97	0.9	1.2	0.7	TX (HE)	10.68	0.9	1.3	0.7
MD (LE)	6.82	0.6	0.8	0.5	UT	12.52	1.1	1.5	0.9
MD (HE)	9.96	0.9	1.2	0.7	VT	9.96	0.9	1.2	0.7
MA	9.93	0.9	1.2	0.7	VA (LE)	6.82	0.6	0.8	0.5
MI	10.10	0.9	1.2	0.7	VA (HE)	10.18	0.9	1.2	0.7
MN	10.25	0.9	1.2	0.7	WA	9.96	0.9	1.2	0.7
MS	6.87	0.6	0.8	0.5	WV	10.26	0.9	1.2	0.7
MO (LE)	6.90	0.6	0.8	0.5	WI	10.09	0.9	1.2	0.7
MO (HE)	10.06	0.9	1.2	0.7	WY	13.33	1.2	1.6	0.9

الفصل الثالث

الإجراءات العملية - النتائج والمناقشة

منهجية العمل:

- في المرحلة الأولى تمت دراسة جميع المعطيات والمؤثرات التي يمكن أن تلعب دوراً أساسياً في عمل الإلكتريت.
- البحث عن الطرائق التي يمكن من خلالها الشحن بالكهرباء الساكنة.
- البحث عن الأجهزة التي يمكن أن تخدم هذه الدراسة.
- اعتماد الكواشف البلاستيكية CR-39 ككواشف معيارية تقارن بها نتائج هذه الدراسة في الخلية العيارية والبيئة المفتوحة.
- إجراء تجارب شحن لمواد عازلة مختلفة ودراسة إمكانية استخدامها ككواشف أشعة.

ونظراً لوجود عدد محدود من عينات الإلكتريت تم استعمال نفس الإلكتريت في أكثر من تجربة وانتظار نتائج التجربة لمدة تجاوزت الشهر في بعض الأحيان قبل الانتقال إلى التجربة التالية.

الخطوات العملية:

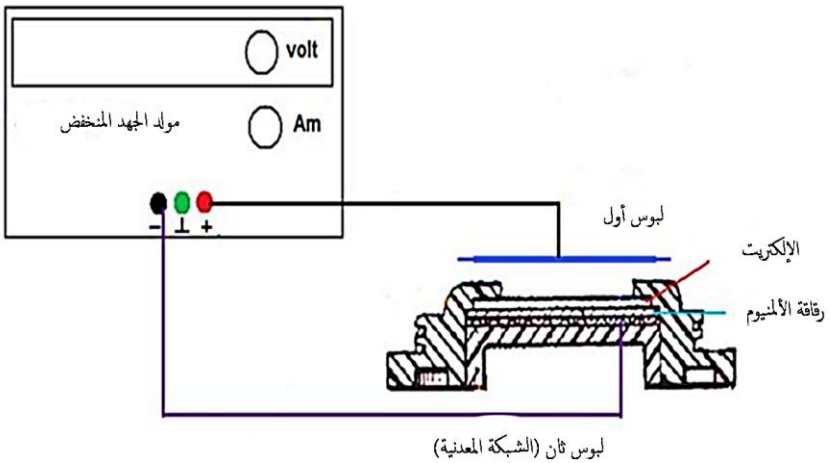
تم في هذه المرحلة إجراء العديد من التجارب لشحن الإلكتريت من خلال استقطاب حاملات الشحنة أو من خلال إكساب مادة الإلكتريت فائضاً من الشحنة الموجبة وفق المراحل التالية:

1. **الشحن باستخدام مولد الجهد المنخفض:**

يوضح الشكل (3-1) مولد الجهد المنخفض والذي يمكن من خلاله الحصول على جهد مستمر تصل قيمته العظمى إلى 50 volt مع إمكانية التحكم بقيمة التيار المطبق.

الشكل (3-1) مولد الجهد المنخفض

تم وصل هذا المولد إلى لبوسي مكثفة مستوية تحوي بداخلها قرص الإلكتريت لاستقطاب حاملات الشحنة فيه وفق المخطط المبين في الشكل (3-2) وذلك تبعاً للمراحل التالية:



الشكل(3-2) مخطط التوصيل الكهربائي لمولد الجهد المنخفض والمكثفة المستوية

1-1- المرحلة الأولى:

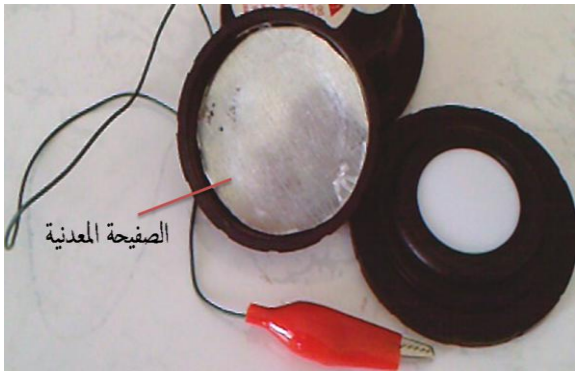
بما أن التركيب الداخلي للإلكتريت يحوي شبكة معدنية من الألمنيوم، اعتبرت هذه الشبكة اللبوس الثاني للمكثفة، أما اللبوس الأول فكان عبارة عن رقاقة من الألمنيوم لها نفس مساحة الغطاء العلوي توصل إلى القطب الموجب لمولد الجهد عند القيمة 50 volt لمدة نصف ساعة، ثم أعيدت التجربة بعد عكس الأقطاب.

- **نتيجة المرحلة الأولى:**

لوحظ أثناء عملية الشحن أن قيمة تيار المكثفة تزداد تدريجياً حتى بلغت القيمة 700 mA وباستخدام مفتاح التحكم بالتيار تم تثبيت قيمته عند 100 mA وبقياس الكمون النهائي للإلكتريت وجد أنه انخفض بمقدار 2 volt، ولم يؤدِ عكس الأقطاب إلى تغير في قيمة الكمون النهائي.

2-1- المرحلة الثانية:

استبدلت صفيحة من القصدير برقاقة الألمنيوم ووصلت إلى القطب السالب للمولد ذي القيمة 50 volt دون تثبيت التيار عند أي قيمة كما في الشكل (3-3).



الشكل (3-3) صفيحة قصدير لها مساحة الغطاء العلوي

- **نتيجة المرحلة الثانية:**

بمجرد تطبيق الكمون ذي القيمة 30 volt ارتفعت قيمة التيار إلى 9 Am الأمر الذي أدى إلى احتراق حامل الإلكتريت الشكل (3-4)، وذلك بسبب ملامسة الصفيحة المعدنية للحامل (قصر الدارة الكهربائية)، وبما أن البلاستيك الحامل للإلكتريت ناقل مقاومته 6 $k\Omega$ فإن ذلك أدى إلى ارتفاع قيمة التيار في المرحلة الأولى وفي هذه المرحلة.

الشكل (3-4) يوضح احتراق حامل الإلكتريت

3-1- المرحلة الثالثة:

اعتبر البلاستيك الحامل للإلكتريت أحد أقطاب التوصيل (لبوس ثان) أما اللبوس الأول عبارة عن صفيحة معدنية لها نفس مساحة قرص الإلكتريت، تثبت بحيث تلامس سطح الإلكتريت دون ملامسة الحامل وتوصل إلى القطب السالب لمولد الجهد عند القيمة 30 volt الشكل (3-5).

الشكل (3-5) وصل الصفيحة المعدنية إلى القطب السالب لمولد الجهد

- **نتيجة المرحلة الثالثة:**

انخفض كمون الإلكتريت من القيمة 72 volt إلى القيمة 88 volt –

1-4- المرحلة الرابعة:

طبق الكمون ذي القيمة 50 volt بشكل مباشر على سطح الإلكتريت عن طريق حك سطحه بواسطة الكترود موصول إلى القطب الموجب (دون وجود قطب توصيل ثان) الشكل (3-6).

الشكل (3-6) حك سطح الإلكتريت باستخدام الكترود موصول إلى القطب الموجب لمولد الجهد

- **نتيجة المرحلة الرابعة:**

بلغت قيمة الكمون النهائي 787 volt -

لذلك جرى دراسة سلوك الإلكتريت بعد هذه التجربة حيث تم تعريضه للرادون الموجود في الخلية العيارية لمدة ساعة إضافة إلى الكتريت ثان ذي كمون بدائي (219 volt) (الكتريت للمقارنة)، وبقياس الكمون النهائي تم الحصول على النتائج التالية الجدول (3-1).

الجدول (3-1) يبين قيم الكمون النهائي للإلكتريت بعد التعريض للرادون في الخلية العيارية

الكمون	الإلكتريت المشحون	الكتريت المقارنة
الكمون البدائي	-787 volt	+219 volt
الكمون النهائي	-712 volt	+163 volt

تبين هذه المقارنة ازدياد كمون الإلكتريت المشحون وانخفاض كمون الإلكتريت الآخر لذلك لا يمكن اعتبار هذا النوع من الشحن مناسباً للأسباب التالية:

- عدم القدرة على تحديد زمن حك سطح الإلكتريت اللازم للحصول على قيمة محددة للشحنة (الكمون).
- ظهور الإشارة السالبة التي عزيت إلى لمس سطح الإلكتريت والتي لا يمكن من خلالها التمييز بين الإلكتريت المشحون والصالح للاستعمال لكشف الرادون والإلكتريت الذي لمس سطحه واكتسب شحنة سالبة غير مستقرة وأصبح غير صالح لقياس الرادون.
- تلعب الآلية المستخدمة في الحك (الحك بشكل دائري – أفقي) دوراً أساسياً في قيمة الكمون النهائي للإلكتريت وذلك لاختلاف الطاقة التي يمكن منحها لذرات المادة.

لذلك تم الانتقال إلى تطبيق الطريقة الثانية في الشحن والتي تقوم على إكساب مادة الإلكتريت فائضاً من الشحنة الموجبة باستخدام مسرع الجسيمات وفق ما يلي:

2. الشحن باستخدام مسرع الجسيمات السالبة الترادفي:

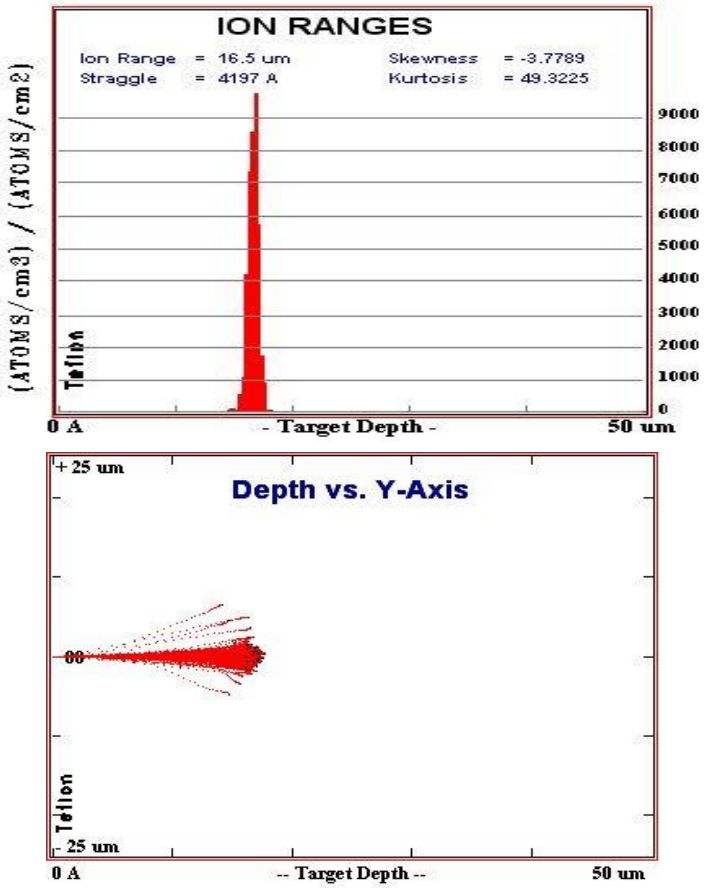
(Tandem accelerator - negative ion source)

تقوم هذه التجربة على قذف سطح الإلكتريت بأيونات موجبة الشحنة ذات طاقة محددة تخترق هذه الأيونات سماكة محددة مسبقاً داخل المادة الهدف (قرص الإلكتريت) ليتم إكسابها فائضاً من الشحنة السطحية الموجبة (باعتباره التطبيق المتاح) ويبين الملحق (2) مبدأ عمل مسرع الجسيمات.

2-1- المرحلة الأولى :

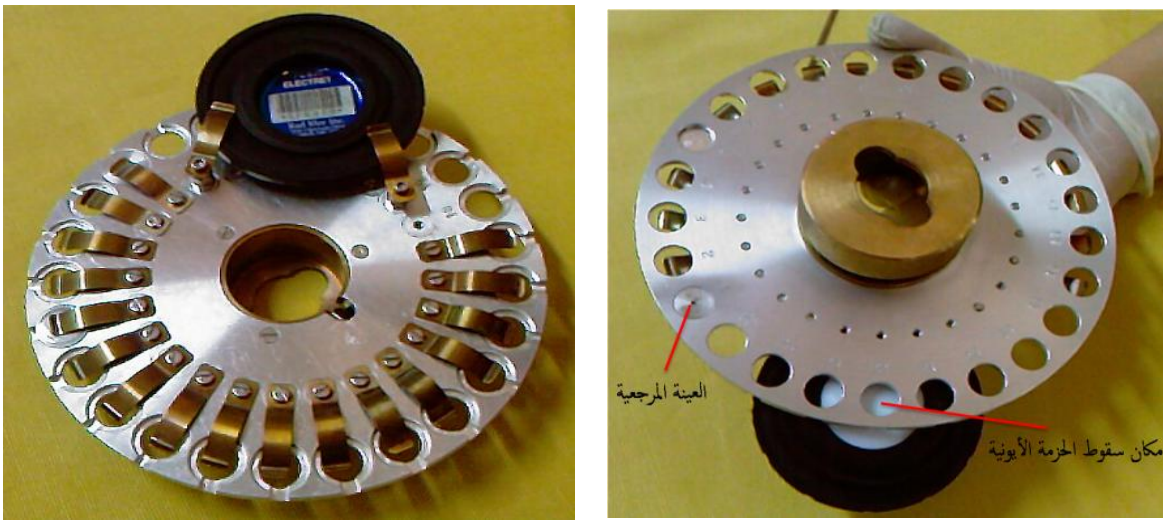
2-1-1- تم إجراء تجربة نظرية باستخدام برنامج حاسوبي خاص بالمسرع لمحاكاة سلوك حزمة الأيونات داخل المادة الهدف باستخدام تقنية ((Particle Induced X-ray Emission (PIXE) ويبين الملحق(2) مبدأ عمل هذه التقنية.

يوضح الشكل (3-7) اختراق حزمة الايونات للمادة الهدف (من خلال مساحة تبلغ $1cm^2$) وانتشار هذه الحزمة ضمن المادة الهدف في نهاية مسارها.



الشكل (3-7) تجربة نظرية لمحاكاة سلوك حزمة الأيونات داخل المادة الهدف

2-1-2- تم تثبيت الإلكتريت مع حامله على حامل العينات (حامل العينات عبارة عن قرص معدني يحوي 25 ثقباً لتثبيت العينات إضافة إلى عينة مرجعية ثابتة دائماً للمقارنة) الشكل (3-8).



الشكل (3-8) تثبيت الإلكتريت مع حامله على حامل العينات

3-1-2- اختيرت المعاملات المطلوبة لإجراء التجربة على الشكل التالي:

H^{+}_{beam} E_{beam} = 1 Mev

Target material TiH2 Sputter source 860 A

4-1-2- تم حساب كمون التسريع من خلال المعادلة:

$$E_{beam} = (q+1)\ T_v + E_{ex}$$

حيث أن: E_{beam} هي الطاقة النهائية للحزمة بعد التسريع وتقدر بواحدة Kev.

q شحنة الأيون المراد تسريعه - T_v كمون التسريع ويقدر بواحدة الكيلو فولط.

E_{ex} الطاقة التي يملكها الأيون قبل التسريع بعيد خروجه من منبع الأيونات (sputter source) وتبلغ قيمتها E_{ex} = 32 Kev .

بالتعويض في المعادلة السابقة وجد أن: T_v= 484 Kv.

5-1-2- تم اختيار قيمة تيار العينة العيارية I_0 = 20 nA.

وزمن تجميع للشحنة قدره t = 2000 sec = 0.55 h، وتحديد السماكة التي ستخترقها الحزمة ضمن الإلكتريت بـ 16 μm

6-1-2- باستخدام المعادلة $Q = I_0 * t$ حسبت الشحنة التي تم تجميعها ضمن المادة:

$$Q = 20 * 2000 = 4000\ nC = 40\ \mu C$$

ليتم بعد ذلك تشغيل المسرع حيث بلغت قيمة التيار المطبق على سطح مادة الإلكتريت عند بدء التشغيل I = 1 nA

7-1-2- بعد انتهاء الزمن المحدد (زمن تجميع الشحنة) تم قياس كمون الإلكتريت مباشرةً.

- **نتيجة المرحلة الأولى:**

إن قيمة كمون الإلكتريت لم تتغير I = F = 0 volt أي أن القارئ لم يتحسس لهذه القيمة الصغيرة من الشحنة، ولم تبد هذه العملية أي أثر تخريبي على سطح الإلكتريت.

2-2- المرحلة الثانية:

2-2-1- تم إعادة التجربة السابقة باستخدام نفس الإلكتريت ونوع الحزمة وطاقتها وتيار العينة العيارية.

2-2-2- حدد بشكل مسبق كمية الشحنة المراد تجميعها بالقيمة Q= 550 μC

تم حساب الزمن اللازم للحصول على الشحنة السابقة باستخدام المعادلة:

$$Q = I_0 * t$$

$$t= 550\ \mu C / 20\ nA = 27500\ sec = 7.6\ h$$

2-2-3- تم تشغيل المسرع وبعد انتهاء الزمن المحدد قيس كمون الإلكتريت بشكل مباشر.

- **نتائج المرحلة الثانية:**

1- خلال مرحلة قذف الإلكتريت بالحزمة الأيونية ارتفعت قيمة تيار الإلكتريت إلى I = 11 nA

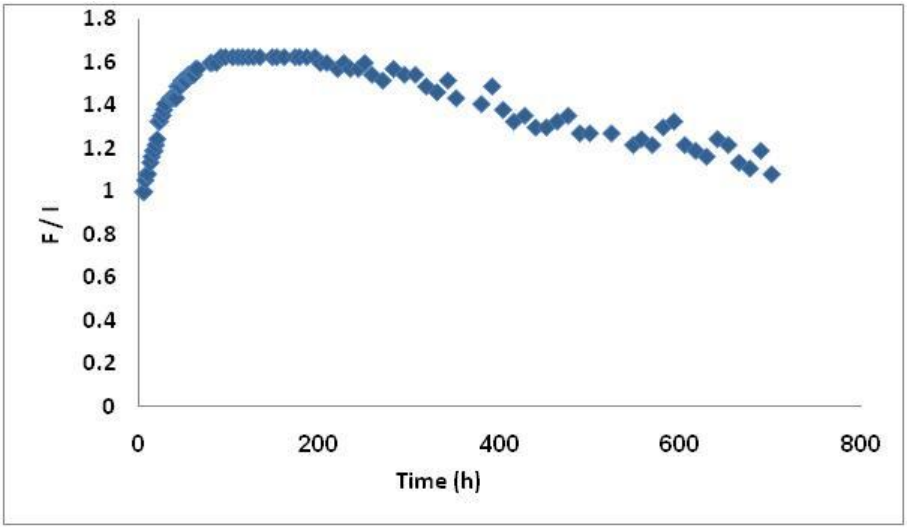
2- بلغت قيمة الكمون النهائي للإلكتريت بعد قياسه مباشرةً F = 37 volt.

3- تركت الحزمة الأيونية أثراً حرارياً في مكان سقوطها على سطح الإلكتريت كما في الشكل (3-9).

الشكل (3-9) الأثر الحراري لحزمة الجسيمات الأيونية

إن ارتفاع التيار المطبق على سطح الإلكتريت من القيمة I = 1 nA إلى القيمة I = 11 nA يدل على تغير في البنية الكيميائية لمادة الإلكتريت، حيث تم باستخدام تقنية PIXE الخاصة بالمسرع زرع أيونات الهيدروجين الموجبة ضمن مادة الإلكتريت على عمق 16 μm إضافة إلى أشعة X المرافقة لهذه التقنية والتي أدت إلى تخريب مادة الإلكتريت.

وبمراقبة كمون الإلكتريت لعدة أيام لاحقة لوحظ ازدياد في قيمة هذا الكمون حتى بلغ 60 volt بعد 4 أيام تقريباً، تلتها فترة ثبات للكمون تجاوزت 5 أيام ومن ثم بدأت بالتناقص بشكل تدريجي حتى بلغت نفس القيمة البدائية الشكل (3-10).



3) نسبة احتفاظ الإلكتريت بالشحنة بدلالة الزمن

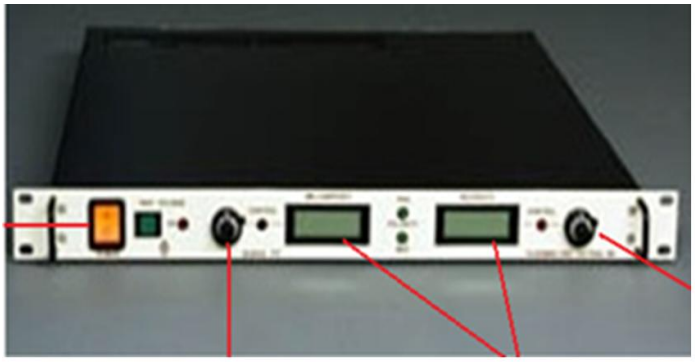
وعزي ذلك إلى وجود أيونات الهيدروجين الدخيلة على مادة الإلكتريت (التفلون) والتي أدت في البداية إلى زيادة كمون الإلكتريت، وبما أشعة-x المرافقة لتقنية PIXE أدت إلى تخريب البنية الكيميائية للإلكتريت (تكسير الروابط)، فهناك احتمال بأن تكون هذه الأيونات قد تفاعلت مع هذه الروابط وفقدت شحنتها الموجبة الأمر الذي أدى إلى انخفاض شحنة الإلكتريت.

وللأسباب السابقة إضافة إلى الكلفة العالية لتشغيل المسرع والزمن الطويل اللازم للحصول على قيمة منخفضة للكمون لا يمكن اعتبار هذا النوع من الشحن فعالاً.

لذلك استخدم في المرحلة التالية مولد جهد مرتفع لاستقطاب حاملات الشحنة.

3- الشحن باستخدام مولد الجهد المرتفع:

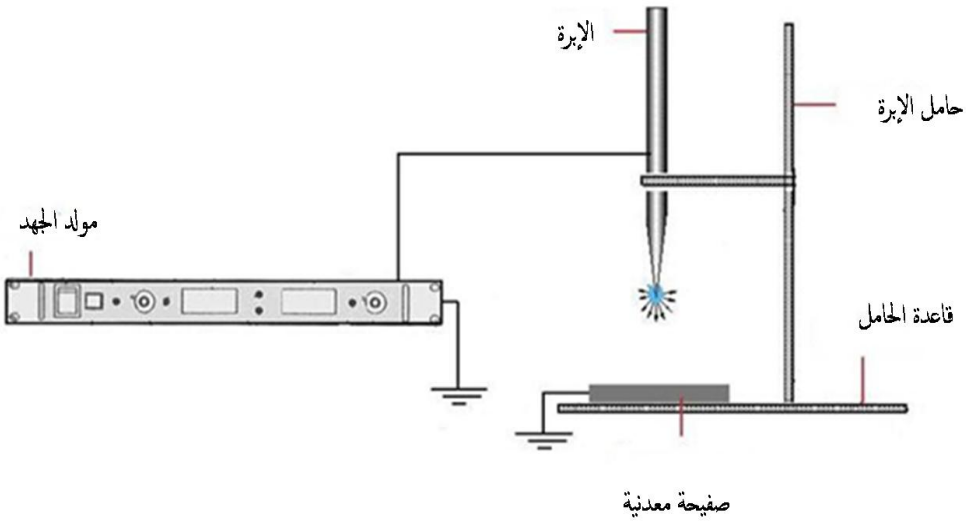
تعتمد هذه الطريقة على استقطاب حاملات الشحنة الموجودة ضمن المادة العازلة عن طريق تطبيق كمون كهربائي موجب ذي قيمة مرتفعة، باستخدام مولد جهد مرتفع من النمط Glassman high voltage Inc نموذج FX15R20-231 ويبين الشكل (3-11) المكونات الأساسية لمولد الجهد.



الشكل (3-11) مولد الجهد المرتفع

يوصل مولد الجهد إلى إبرة معدنية من التنغستين قطرها 3.15 mm مثبتة على حامل عازل ثبت على قاعدته العازلة أيضاً صفيحة معدنية من الألمنيوم.

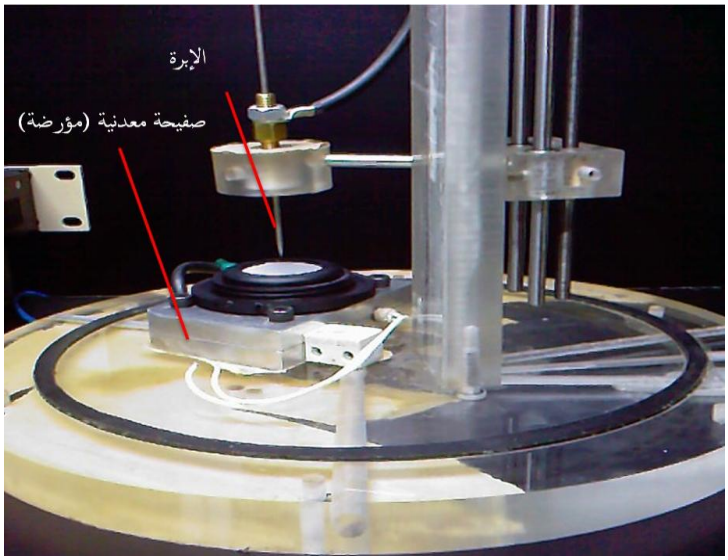
إن طريقة التوصيل الكهربائي المبينة في الشكل (3-12) تمكننا من التحكم بنوع الشحنة الكهربائية التي يمكن الحصول عليها.أي يمكن الحصول على شحنة كهربائية (سالبة أو موجبة) صافية تكون كثافتها أعظم ما يمكن عند رأس الإبرة وتدعى هذه العملية بـ Poling.



الشكل (3-12) مخطط التوصيل الكهربائي لمولد الجهد والإبرة المعدنية

3-1- المرحلة الأولى:

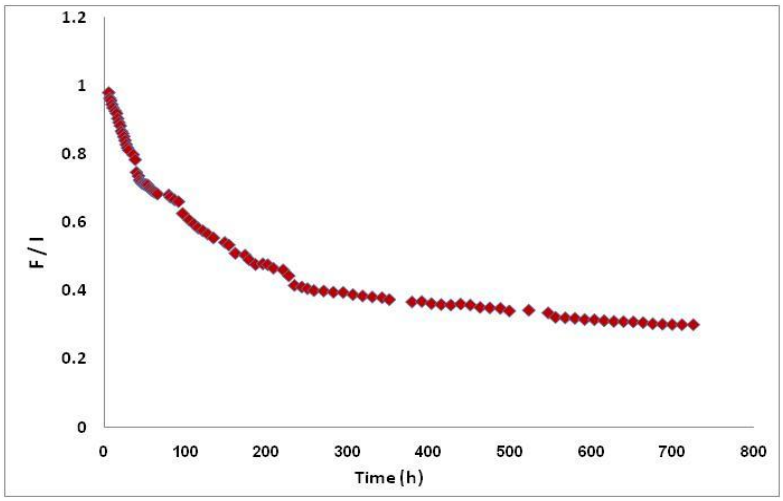
بعد قياس الكمون البدائي للإلكتريت تم تثبيته فوق الصفيحة المعدنية المؤرضة كما في الشكل (3-13)، حيث تم ضبط الإبرة المستخدمة في الشحن على ارتفاع 7 mm عن مركز قرص الإلكتريت، ثم تم رفع قيمة الكمون المطبق ابتداءً من الصفر حتى قيمة 7 kv بدون وجود تيار كهربائي، وتم تثبيت هذه القيمة لمدة دقيقة تقريباً، ليتم بعد ذلك خفض الكمون بشكل تدريجي حتى الصفر ثم قيس الكمون النهائي للإلكتريت مباشرةً.



الشكل (3-13) تثبيت الإلكتريت فوق الصفيحة المؤرضة

- **نتائج المرحلة الأولى:**

إن قيمة الكمون البدائي للإلكتريت المستخدم I = - 465 volt وبعد عملية الشحن بلغت قيمة الكمون النهائي F = + 1452 volt . تمت مراقبة كمون الإلكتريت لفترة زمنية تجاوزت 30 يوماً يقاس فيها الكمون النهائي بفاصل زمني يقارب الساعتين (خلال الأسبوع الأول)، وحساب نسبة احتفاظ الإلكتريت بالشحنة (F/I) مع الزمن ورسم المنحني البياني الشكل (3-14).

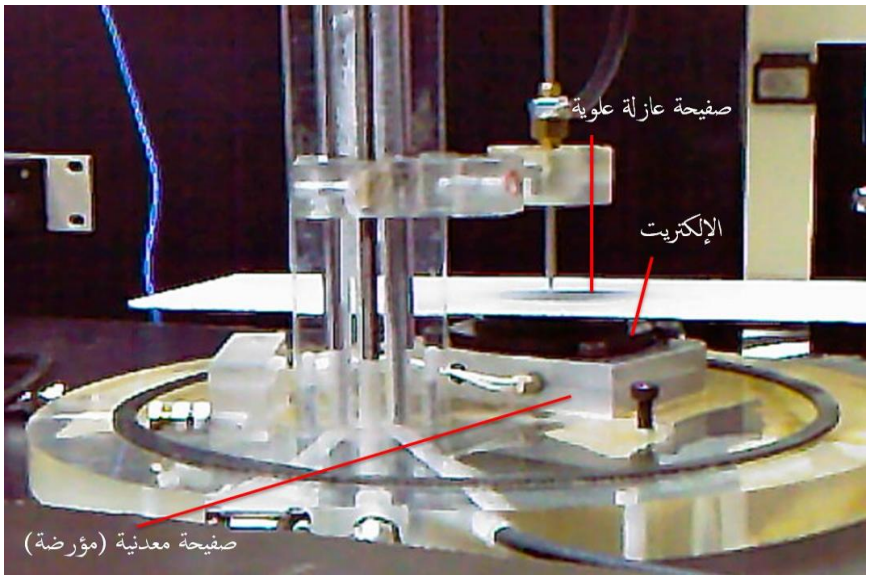


الشكل (3-14) نسبة احتفاظ الإلكتريت بالشحنة بدلالة الزمن

يبين هذا المنحني سرعة انخفاض الكمون مع الزمن، حيث احتفظ الإلكتريت بنسبة 50% من قيمة كمونه النهائي (قيمة الشحنة) بعد زمن 200 ساعة تقريباً (8 أيام)، وبالتالي لا يمكن الاعتماد على هذه الطريقة في الشحن (الشحن باستخدام معاملات غير محددة القيمة)، إضافة إلى ذلك لم يتم تحديد كل من الزمن والكمون الفعال للشحن.

3-2- المرحلة الثانية:

هدفت هذه المرحلة إيجاد كمون وزمن شحن ثابتين، وذلك عن طريق استخدام صفيحة عازلة توضع في الفراغ بين الإبرة وحامل الإلكتريت أثناء رفع الكمون، ليتم إبعادها عند بلوغ الكمون المطلوب (وبالتالي يطبق كمون ذو قيمة معلومة ومحددة بشكل دقيق) لفترة زمنية معلومة (1, 2, 3, 4, 5 min)و (0.15 sec) ومن ثم تعاد قبل عملية خفضه حتى الصفر كما يبين الشكل (3-15).

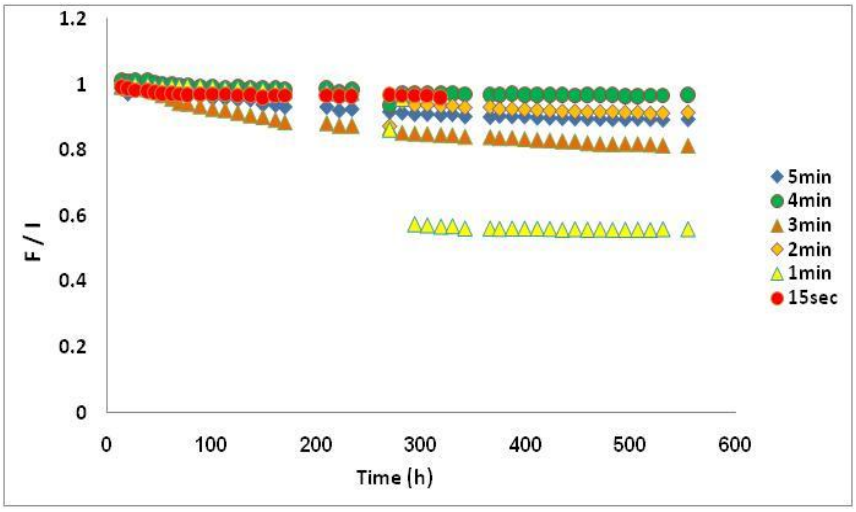


الشكل (3-15) الشحن باستخدام صفيحة عازلة علوية

- **نتائج المرحلة الثانية:**

عند تطبيق كمون قدره 3 kv لمدة دقيقة لم تتغير قيمة كمون الإلكتريت المستخدم، لذلك رفعت قيمة الكمون إلى 5 kv لفترات زمنية محددة ومختلفة ومن خلال مراقبة هبوط الكمون مع الزمن لمدة 25 يوم وجد أن:

- ❖ هبوط الكمون مع الزمن منخفض (بطيء) مقارنة مع نتائج المرحلة الأولى.
- ❖ الإلكتريت المشحون بزمن 4 min و15 sec هو الأكثر استقراراً ونسبة احتفاظه بالشحنة هي الأعلى الشكل (3-16)، وعزي ذلك إلى وجود اختلاف في الاستجابة بين الكتريت وآخر.
- ❖ اعتبر الكمون 5 Kv كموناً مناسباً للشحن.



الشكل (3-16) نسبة احتفاظ الإلكتريت بالشحنة بدلالة الزمن

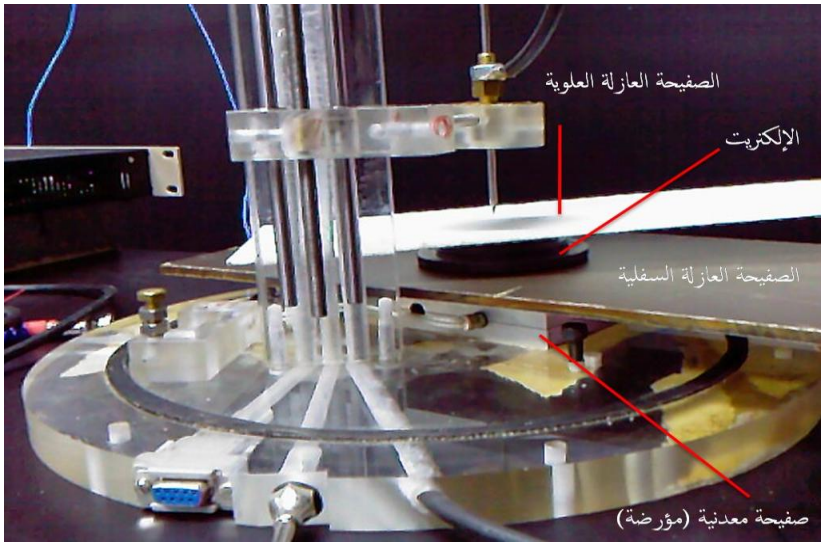
❖ يصل الإلكتريت إلى أعلى كمون بغض النظر عن قيمة زمن الشحن المطبق (أي زمن تثبيت الكمون عند قيمة محددة) وسيتم اعتبار الزمن 15 sec زمناً كافياً لعملية الشحن.

3-3- المرحلة الثالثة:

وضعت صفيحة عازلة تحت حامل الإلكتريت (مع الحفاظ على وجود الصفيحة العازلة العلوية) كما في الشكل (3-17) وذلك لدراسة تأثير وجود الصفيحة الناقلة المؤرضة على قيمة الكمون النهائي، وإيجاد علاقة تربط كمون الشحن البدائي بكل من زمن الشحن والكمون النهائي للإلكتريت بعد الشحن. استخدم في هذه المرحلة مجموعتين من الإلكتريت: المجموعة الأولى ذات كمون بدائي يساوي الصفر:

I = 0 volt نتيجة تعريضه للرادون في الخلية العيارية.

I = 0 volt نتيجة التعريض لجرعة 1 Gy من أشعة غاما (حيث أن أشعة غاما تؤثر في شحنة الإلكتريت كتأثير الرادون فيه). أما المجموعة الثانية فكانت ذات كمون بدائي: (130, 186, 252, 585 volt).



الشكل (3-17) الشحن بوجود صفيحة عازلة علوية وسفلية

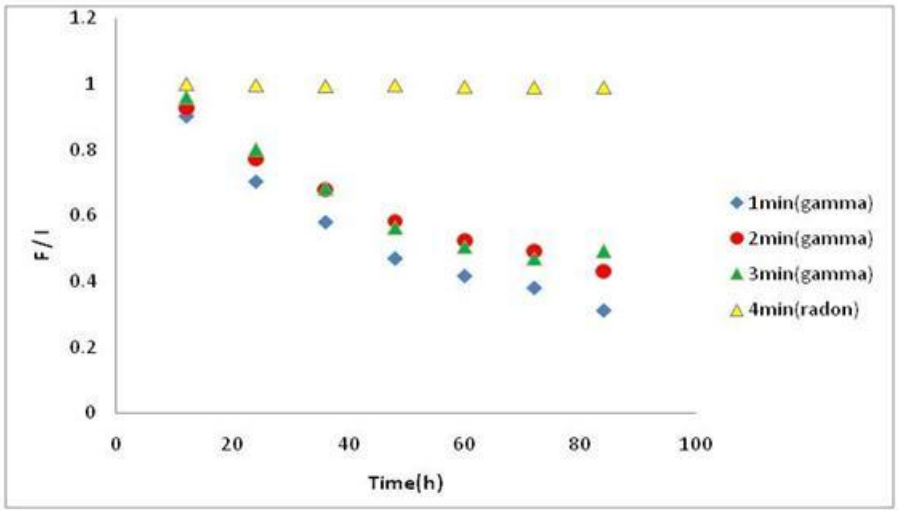
- **نتائج المرحلة الثالثة:**

كانت قيمة الكمون النهائي بوجود صفيحة عازلة تحت حامل الإلكتريت أقل مقارنةً مع قيمته في حال غياب هذه الصفيحة كما يوضح الجدول (3-2) بالنسبة للمجموعة الأولى من الإلكتريت.

الجدول (3-2) نتائج شحن المجموعة الأولى بوجود صفيحة عازلة علوية وسفلية

الإلكتريت	SF6987	SF6913	SF7048	SF7313
كمون الشحن	5 kv			
زمن الشحن	1 min	2 min	3 min	4 min
الكمون البدائي	0 volt	0 volt	0 volt	0 volt
الكمون النهائي	715 volt	877 volt	908 volt	452 volt

ومن خلال مراقبة هبوط الكمون مع الزمن لوحظ الهبوط السريع لكمون الإلكتريت المعرض لأشعة غاما وانخفاض نسبة احتفاظه بالشحنة مقارنة مع باقي الإلكتريت من المجموعتين نتيجة الأثر التخريبي الذي ألحقته هذه الأشعة بمادة الإلكتريت الشكل (3-18).



الشكل (3-18) نسبة احتفاظ الإلكتريت المعرضة لأشعة غاما.بالشحنة بدلالة الزمن مقارنة مع الكتريت معرض للرادون

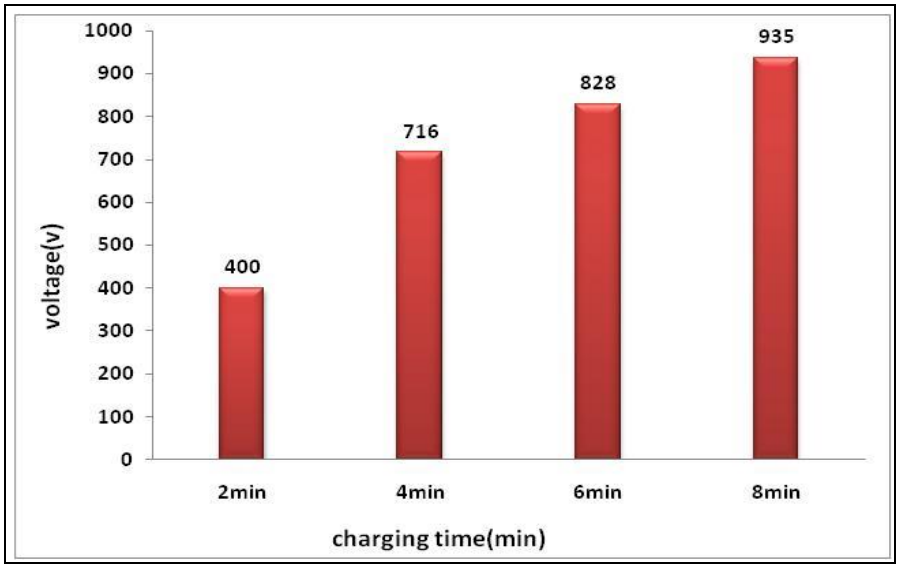
أما بالنسبة للمجموعة الثانية فكانت النتائج كما في الجدول (3-3).

الجدول (3-3) نتائج شحن المجموعة الثانية بوجود صفيحة عازلة علوية وسفلية

الإلكتريت	SF7136	SF6973	SF7254	SF7373
كمون الشحن	5 kv			
زمن الشحن	2 min	4 min	6 min	8 min
الكمون البدائي	585 volt	252 volt	186 volt	130 volt
الكمون النهائي	985volt	968 volt	1014 volt	1068 volt

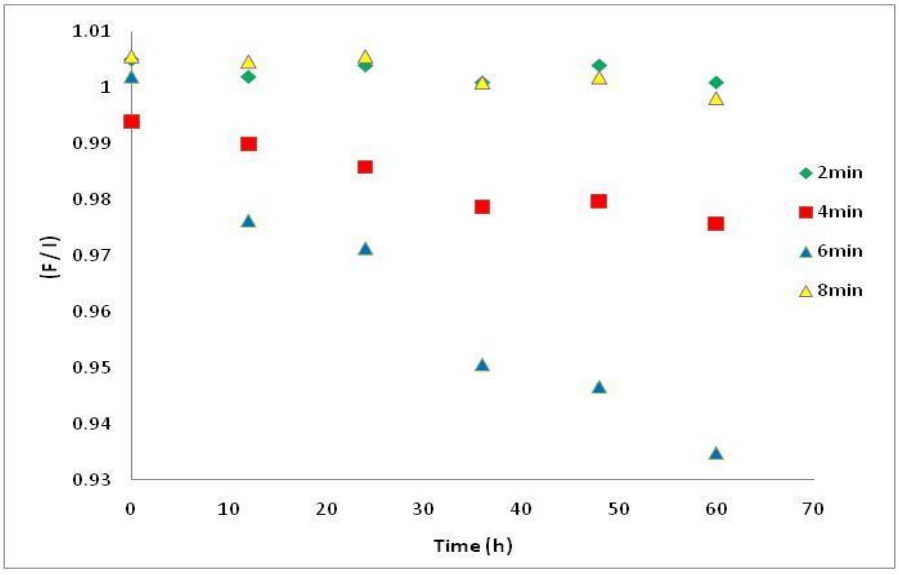
حيث لم تؤثر قيمة الكمون البدائي بشكل كبير على القيم النهائية للكمون، ومن خلال القيم المبينة في الجدول السابق (3-3)، لوحظ تأثير زمن الشحن على قيمة الكمون الذي يمكن الحصول عليه بوجود صفيحة عازلة سفلية.

ولم تُظهر زيادة زمن الشحن (بعد زمن 8 دقائق) أي زيادة في قيمة الكمون النهائي يبين الشكل (3-19) قيم الكمون التي تم الحصول عليها وفق أزمنة شحن مختلفة بالنسبة للمجموعة الثانية.



الشكل (3-19) مقدار الزيادة في الكمون وفق أزمنة شحن مختلفة

ويظهر تأثير زمن الشحن بوجود صفيحة عازلة علوية على استقرار الإلكتريت ونسبة احتفاظه بالشحنة في الشكل (3-20)



الشكل(3-20) نسبة احتفاظ الإلكتريت بالشحنة بوجود صفيحة عازلة علوية عند أزمنة شحن مختلفة

3-4- المرحلة الرابعة:

دُرِسَ في هذه المرحلة تأثير ارتفاع الإبرة المستخدمة في الشحن على شكل خطوط قوة الحقل الكهربائي، وبالتالي على القيمة النهائية للكمون واستقرار هذه القيمة.

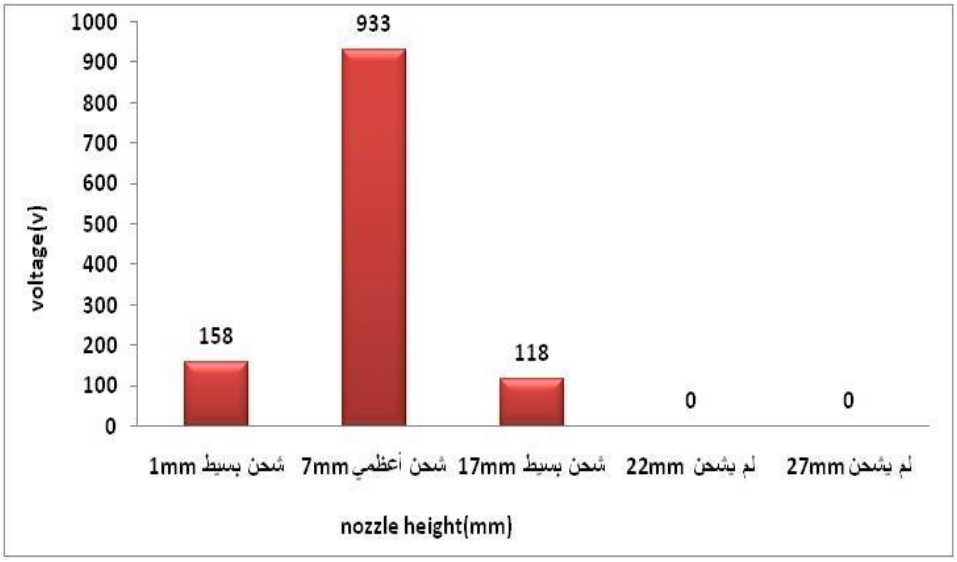
- **نتائج المرحلة الرابعة:**

بتطبيق كمون قدره 5 kv وزمن شحن 15 sec على ارتفاعات مختلفة للإبرة عن سطح الإلكتريت بوجود الصفيحة العازلة السفلية والعلوية باستثناء الارتفاع (1 mm) لصعوبة استعمال الصفيحة العازلة العلوية فقط كانت النتائج كما يبين الجدول (3-4).

الجدول (3-4) نتائج الشحن على ارتفاعات مختلفة لإبرة الشحن

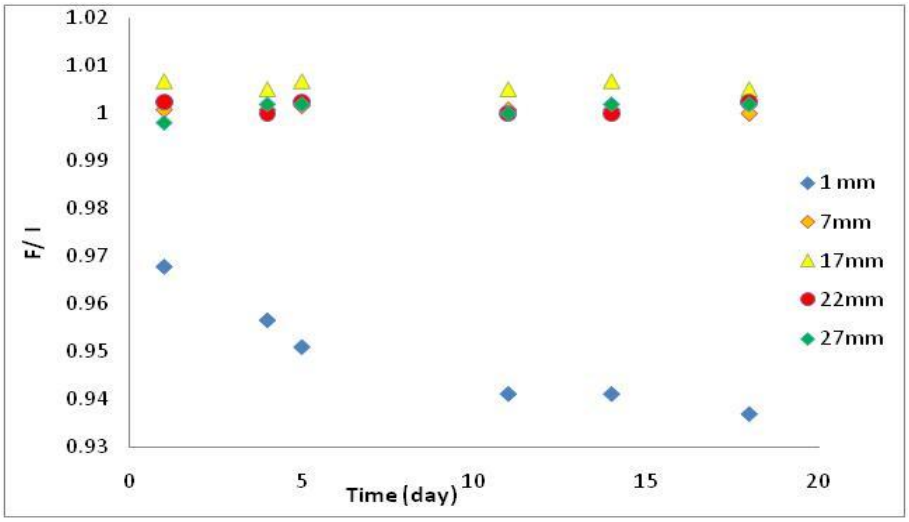
الإلكتريت	SC4549	SB8585	SB7747	SB1625	SB9583
ارتفاع الإبرة	1 mm	7 mm	17 mm	22 mm	27 mm
الكمون البدائي	555 volt	388 volt	478 volt	429 volt	515 volt
الكمون النهائي	713 volt	1321 volt	596 volt	429 volt	515 volt

ويبين الشكل (3-21) مقدار الزيادة في قيم الكمون، ولوحظ وجود ارتفاع حدي يعطي أعلى قيمة للكمون النهائي وبالتالي لمقدار زيادة هذا الكمون عن الكمون البدائي.



الشكل (3-21) مقدار الزيادة في كمون الإلكتريت على ارتفاعات مختلفة لإبرة الشحن

وبالمثل تمت بدراسة استقرار شحنة هذه المجموعة من الإلكتريت فوجد أن ارتفاع الإبرة المستخدمة في الشحن لا يؤثر على استقرار الشحنة (باستثناء الارتفاع 1 mm) بل على القيمة النهائية لكمون الإلكتريت فقط الشكل (3-22).



الشكل (3-22) تأثير ارتفاع إبرة الشحن على استقرار الإلكتريت ونسبة احتفاظه بالشحنة

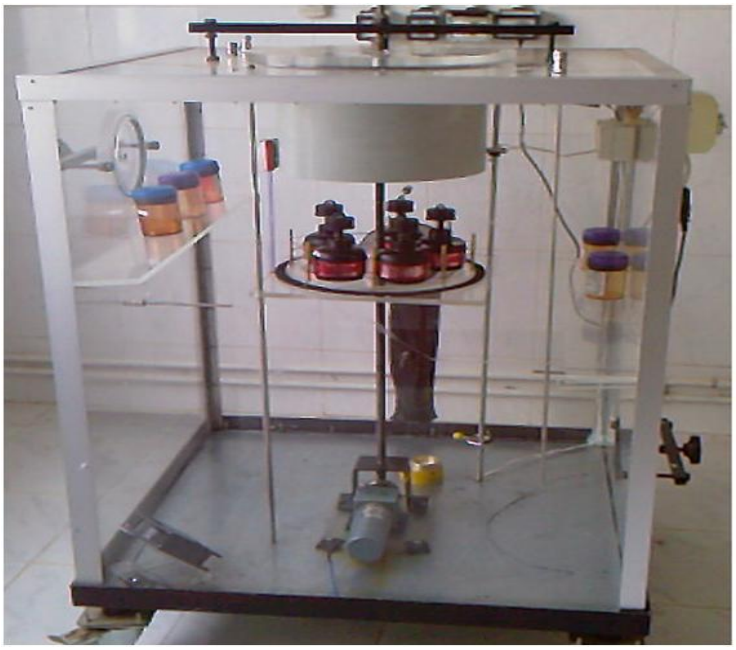
3-5- المرحلة الخامسة:

اعتماداً على نتائج المراحل السابقة تمت معايرة الإلكتريت في الخلية العيارية وفي البيئة المفتوحة وقورنت النتائج مع كواشف الأثر النووي CR-39.

- **نتائج المرحلة الخامسة:**

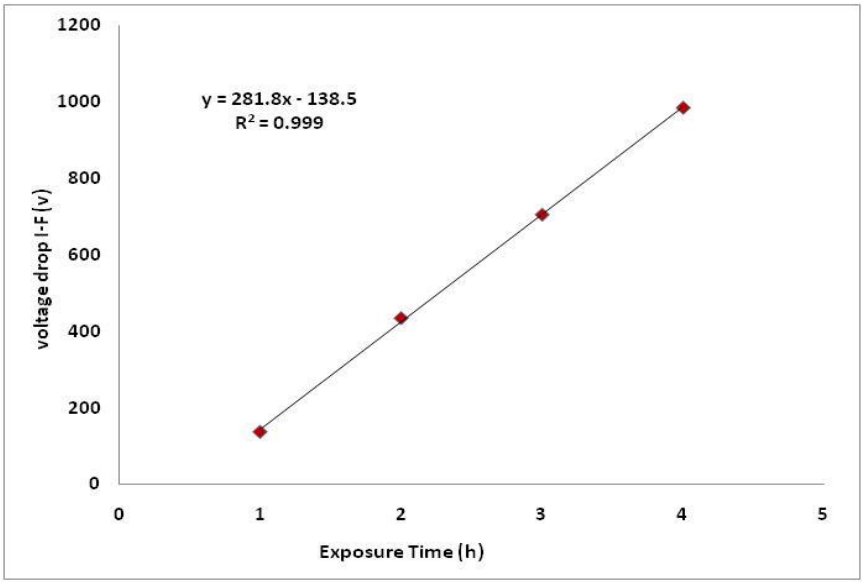
1. **المعايرة باستخدام الخلية العيارية: استخدم لهذه المرحلة:**

- خمس عينات من الإلكتريت ذات لصاقة زرقاء وضعت في الحجيرات الخاصة بعد قياس الكمون البدائي.
- خمسة كواشف بلاستيكية (غير معرضة لأي منبع)، وضع كل كاشف داخل حجيرة بلاستيكية خاصة، ثم عرضت جميع عينات الإلكتريت والكواشف البلاستيكية لتركيز رادون ثابت قدره $170\ kBq/m^3$ في خلية الرادون العيارية ولأزمنة مختلفة (1, 2, 3, 4, 5 h)، بحيث يتم رفع الكتريت وكاشف بلاستيكي في كل مرة ، ليقاس كمون الإلكتريت بعد ثلاث ساعات الشكل (3-23).



الشكل (3-23) معايرة الإلكتريت في الخلية العيارية

وبشكل بياني تم رسم هبوط الكمون (I – F) مقدرا بالفولط بدلالة زمن التعريض مقدراً بالساعة الشكل (3-24) والذي يبين الاستجابة الخطية للإلكتريت.



الشكل (3-24) يبين الاستجابة الخطية للإلكتريت ذي اللصاقة الزرقاء

استخدمت المعادلات (*):

$$CF(Volt\ \ per\ \ pCi/l\ in\ 1\ day) = A + \frac{B(I+F)}{2} \quad (*)$$

$$Rn(pCi/l) = \frac{I-F}{CF \cdot D} - Bg$$

لحساب تركيز الرادون من أجل كل الكتريت فكانت النتائج كما هي مبينة في الجدول (3-5).

الجدول (3-5) تركيز الرادون باستخدام المعادلات (*)

الإلكتريت	الكمون البدائي (V)	الكمون النهائي (V)	زمن التعريض (h)	تركيز الرادون (pCi/l)
SF7351	1155	1018	1	1275
SF7352	1228	793	2	2062
SF7048	1053	347	3	2431
SF7015	1244	258	4	2337
SF7313	1073	0	5	2311

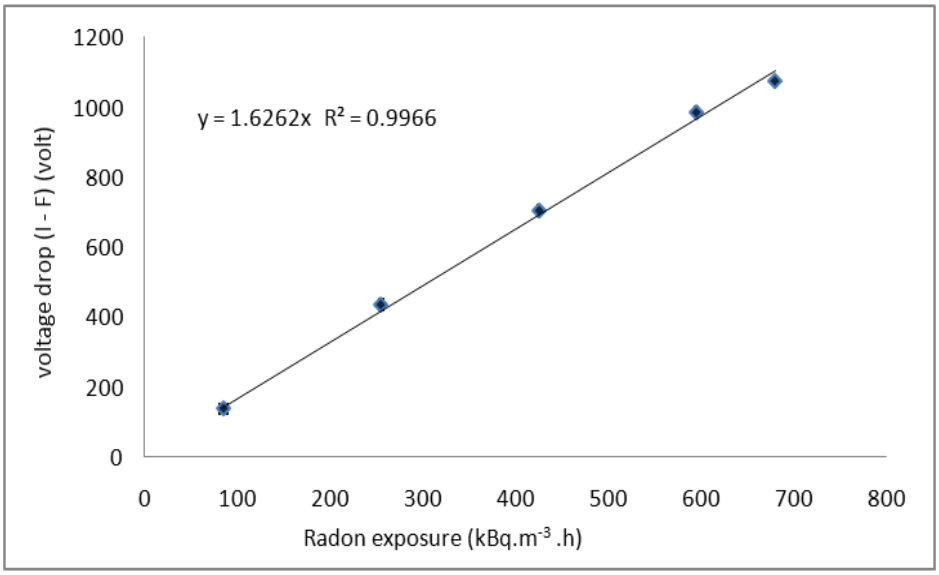
لوحظ أن قيم تركيز الرادون متقاربة نوعاً ما (باستثناء القيمة الأولى)، ولكنها بعيدة عن قيمة تركيز الرادون الصحيحة (170 KBq/m^3 ≅ 4600 pCi/l)، وبالعودة إلى المنحني السابق وباستخدام معادلته وُجِدَ أن حجم حجيرة الإلكتريت يحتاج إلى نصف ساعة حتى يتوازن الرادون المداخل إليها مع الرادون الموجود في الخلية العيارية، ولـذلك اعتبر أن زمن التعريض الفعلي ناتج عن إهمال نصف الساعة الأولى من زمن التعريض.

أيضاً باستخدام معادلة المنحني وُجِدَ أن كمون الإلكتريت الأخير وصل إلى الصفر قبل انتهاء زمن التعريض (5 h)، ليصبح زمن التعريض الفعلي له هو (4 h) وتكون النتائج كما في الجدول (3-6).

الجدول (3-6) تركيز الرادون بعد إهمال نصف ساعة من زمن التعريض

الإلكتريت	الكمون البدائي (V)	الكمون النهائي (V)	زمن التعريض الفعلي(h)	تركيز الرادون (kBq/m^3)	تركيز الرادون (pCi/l)
SF7351	1155	1018	0.5	94	2549
SF7352	1228	793	1.5	102	2750
SF7048	1053	347	2.5	107	2905
SF7015	1244	258	3.5	106	2858
SF7313	1073	0	4	107	2889

وبالمثل فإن هذه التراكيز متجانسة مع بعضها ولكنها بعيدة عن قيمة التركيز الصحيح، لذلك تم رسم هبوط الكمون (I-F) مقدراً بالفولط بدلالة زمن التعريض مقدراً بالساعة عند التركيز مقدراً بواحدة KBq فكان عبارة عن خط مستقيم ميله ($m = 1.6262 \pm 0.03$ v/kBq.m^{-3}.h) الشكل (3-25).



الشكل (3-25) ازدياد هبوط الكمون بدلالة التعريض.بالنسبة للإلكتريت ذو اللصاقة الزرقاء (منحني معايرة)

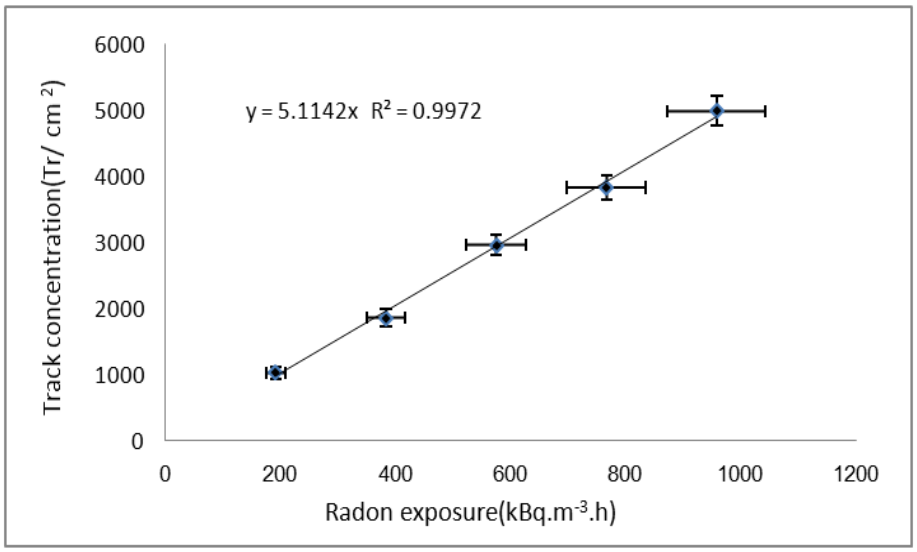
بتعويض قيمة الميل عوضاً عن قيمة CF في معادلة التركيز كانت النتائج كما في الجدول (3-7).

الجدول (3-7) تركيز الرادون باستخدام ميل منحني المعايرة

الإلكتريت	الكمون البدائي (V)	الكمون النهائي (V)	زمن التعريض الفعلي (h)	تركيز الرادون (kBq/m^3)	تركيز الرادون (pCi/l)
SF7351	1155	1018	0.5	169 ± 7	4560 ± 194
SF7352	1228	793	1.5	179 ± 5	4827 ± 133
SF7048	1053	347	2.5	174 ± 4	4700 ± 117
SF7015	1244	258	3.5	173 ± 4	4689 ± 111
SF7313	1073	0	4	165 ± 4	4465 ± 105
وسطي تركيز الرادون				172 ± 5	4648 ± 136

تبين النتائج السابقة أن وسطي تركيز الرادون المحسوب متوافق مع تركيز الرادون الموجود في الخلية العيارية والذي يعادل (170 kBq/m^3 ≅ 4600 pCi/l).

أما الكواشف البلاستيكية تمت معالجتها بمحلول ماءات الصوديوم (6.25 mol/l) وبدرجة حرارة (70)°C لمدة سبع ساعات متواصلة. غُسلت بعد ذلك بالماء المقطر وتم عدها بالمجهر الضوئي. حُسب متوسط تركيز الآثار على كل منها، ثم رُسم بشكل بياني تركيز الآثار Tr/cm^2 بدلالة زمن التعريض مضروباً بتركيز الرادون في الخلية العيارية فكان عبارة عن خط مستقيم ميله ($m = 5.114 \pm 0.4\ Tr.cm^{-2}/kBq.m^{-3}.h$) الشكل (3-26).



الشكل (3-26) منحني معايرة كواشف الأثر النووي

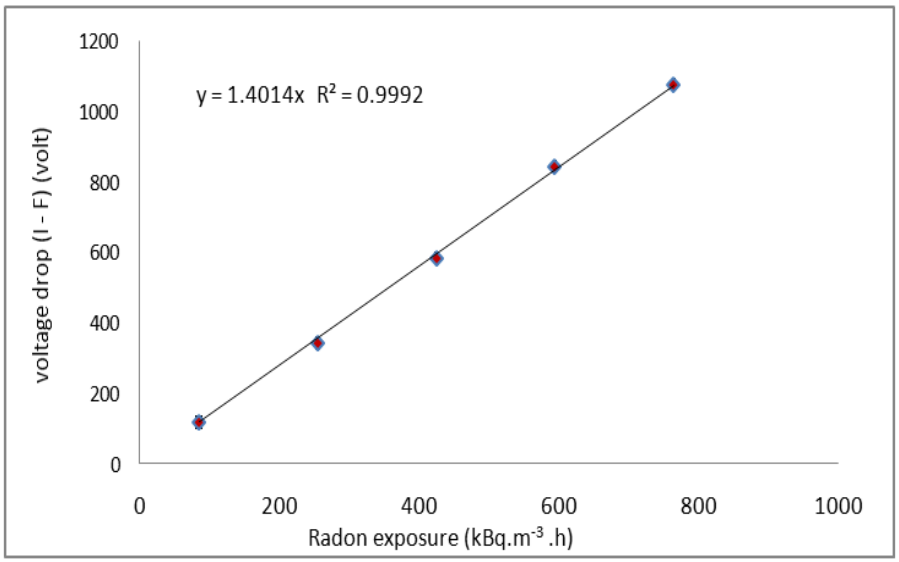
استخدم هذا الميل في حساب تركيز الرادون فكانت النتائج كما في الجدول (3-8):

الجدول (3-8) تركيز الرادون باستخدام كواشف الأثر النووي

رقم كاشف CR-39	زمن التعريض (h)	وسطي تركيز الآثار (Tr/cm^2)	تركيز الرادون (KBq/m^3)	تركيز الرادون (pCi/l)
6	1	1027 ± 96	178 ± 31	4819 ± 827
8	2	1859 ± 128	161 ± 24	4363 ± 641
7	3	2964 ± 162	172 ± 23	4637 ± 616
10	4	3835 ± 188	167 ± 21	4500 ± 572
9	5	5035 ± 225	175 ± 22	4726 ± 582
وسطي تركيز الرادون			171 ± 24	4609 ± 654

وهي قيم متوافقة مع قيمة تركيز الرادون التي تم حسابها باستخدام الإلكتريت وتعبر أيضاً عن تركيز الرادون في الخلية العيارية.

وبالمثل تم اختبار خطية الإلكتريت ذات اللصاقة الخضراء في الخلية العيارية ورسم منحني المعايرة الخاص بها وهو عبارة عن خط مستقيم ميله ($m = 1.4014 \pm 0.001$ v/kBq.m^{-3}.h) والذي يعبر عن ازدياد هبوط الكمون بدلالة التركيز X زمن التعريض الشكل (3-27).



الشكل (3-27) ازدياد هبوط الكمون بدلالة التعريض.بالنسبة للإلكتريت ذو اللصاقة الخضراء (منحني معايرة)

واستخدم الميل لإيجاد تركيز الرادون فكانت النتائج معبرة عن تركيز الرادون في الخلية العيارية كما هي مبينة في الجدول (3-9)

الجدول (3-9) تركيز الرادون للإلكتريت ذو اللصاقة الخضراء باستخدام ميل منحني المعايرة

الإلكتريت	الكمون البدائي (V)	الكمون النهائي (V)	زمن التعريض الفعلي(h)	تركيز الرادون (kBq/m^3)	تركيز الرادون (pCi/l)
SB1625	1173	1056	0.5	167 ± 4	4518 ± 119
SB3618	1210	868	1.5	163 ± 2	4402 ± 42
SB0496	1152	568	2.5	167 ± 1	4510 ± 26
SB7133	1210	366	3.5	172 ± 1	4656 ± 20
SB8653	1245	169	4.5	171 ± 1	4617 ± 16
وسطي تركيز الرادون				168 ± 2	4540 ± 59

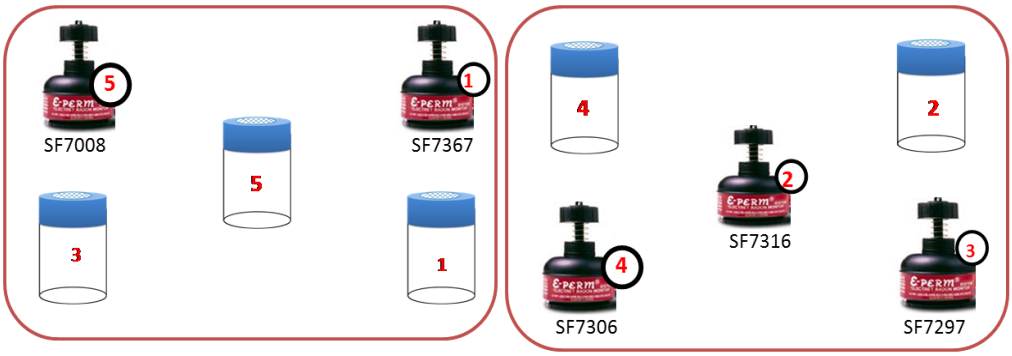
2. المعايرة في البيئة المفتوحة: استخدم لهذه المرحلة:

- خمس عينات الكتريت وضعت في الحجيرات الخاصة بعد قياس الكمون البدائي.
- خمسة كواشف بلاستيكية (غير معرضة لأي منبع)، وضع كل كاشف داخل حجيرة بلاستيكية خاصة ثم وضعت العينات والكواشف السابقة في قبو وبعد مدة زمنية قدرها 12.5 يوم أزيلت عينات الإلكتريت فقط وتم حساب التركيز الوسطي للرادون خلال اليوم الواحد وكانت النتائج كما يبين الجدول (3-10).

الجدول (3-10) نتائج القياس باستخدام الإلكتريت في البيئة المفتوحة

الإلكتريت	الكمون البدائي (V)	الكمون النهائي (V)	تركيز الرادون (Bq/m^3)	تركيز الرادون (pCi/l)
sf7008	1139	1042	199 ± 11	5.4 ± 0.3
sf7367	1107	1018	183 ± 11	4.9 ± 0.3
sf7297	1176	994	374 ± 15	10.1 ± 0.4
sf7306	1174	937	486 ± 15	13.1 ± 0.4
sf7316	1052	674	778 ± 22	21.0 ± 0.6

تبين النتائج السابقة تبايناً في قيم تركيز الرادون مع وجود قيمة مرتفعة جداً (القيمة الأخيرة).
عزي هذا الاختلاف إلى احتمال حدوث تضاعف أيوني بسبب استعمال كواشف الإلكتريت عند كمون أعلى من 750 volt وبالتالي الحصول على قيم غير صحيحة لتركيز الرادون.
لذلك أعيدت عينات الإلكتريت نفسها بعد ترقيمها دون تبديل مواقع كواشف CR-39 لمدة 10 أيام كما يبين الشكل(3-28).



الشكل (3-28) توضع كل من الإلكتريت وCR-39 في البيئة المفتوحة

فكانت النتائج كالتالي الجدول (3-11):

الجدول (3-11) تركيز الرادون في البيئة المفتوحة باستخدام الإلكتريت

الإلكتريت	الكمون البدائي (V)	الكمون النهائي (V)	تركيز الرادون (Bq/m^3)	تركيز الرادون (pCi/l)
sf7008	1046	971	182 ± 12	4.9 ± 0.31
sf7367	1020	944	190 ± 12	5.1 ± 0.31
sf7297	925	842	213 ± 12	5.8 ± 0.33
sf7306	937	852	218 ± 12	5.9 ± 0.33
sf7316	674	588	218 ± 12	5.9 ± 0.33
وسطي تركيز الرادون			204 ± 12	5.5 ± 0.32

وهي نتائج متوافقة مع نتائج كواشف الأثر النووي CR-39 في البيئة المفتوحة والمبينة في الجدول(3-12)

الجدول (3-12) تركيز الرادون في البيئة المفتوحة باستخدام كواشف الأثر النووي

رقم كاشف CR-39	وسطي تركيز الآثار (Tr/cm^2)	تركيز الرادون (Bq/m^3)	تركيز الرادون (pCi/l)
1	635 ± 107	197 ± 48	5.3 ± 1.3
2	613 ± 122	205 ± 56	5.5 ± 1.5
3	672 ± 114	216 ± 52	5.8 ± 1.4
4	637 ± 95	216 ± 48	5.8 ± 1.3
5	671 ± 108	211 ± 48	5.7 ± 1.3
وسطي تركيز الرادون		209 ± 52	5.62 ± 1.4

وباعتبار أنه لم يتم من خلال الجزء الأول من التجربة السابقة تحديد أسباب التباين الكبير بين قيم تركيز الرادون واختلافها عن نتائج الجزء الثاني من التجربة تمت إعادة التجربة، حيث عرضت خمس عينات الكتريت جديدة (ذات لصاقة خضراء) لمدة شهر متواصل في نفس القبو فكانت النتائج على الشكل التالي الجدول (3-13)

الجدول (3-13) تركيز الرادون باستخدام الإلكتريت في البيئة المفتوحة (شهر متواصل)

الإلكتريت	الكمون البدائي (V)	الكمون النهائي (V)	تركيز الرادون (Bq/m^3)	تركيز الرادون (pci/l)
SB3648	1192	937	253 ± 3	6.8 ± 0.09
SB1302	996	720	274± 3	7.4 ± 0.09
SB8585	1315	1055	258 ± 3	7.0 ± 0.09
SB8537	1256	984	270 ± 3	7.3 ± 0.09
SB7543	1007	752	253 ± 3	6.8 ± 0.09
وسطي تركيز الرادون			262 ± 3	7.1 ± 0.09

أما بالنسبة لكواشف CR-39 فكانت النتائج كما في الجدول(3-14)

الجدول (3-14) يبين نتائج تركيز الرادون باستخدام كواشف الأثر النووي في البيئة المفتوحة (شهر متواصل)

رقم كاشف CR-39	وسطي تركيز الآثار (Tr/cm^2)	تركيز الرادون (Bq/m^3)	تركيز الرادون (pCi/l)
1	1296 ± 62	254 ± 29	6.9 ± 0.8
2	1406 ± 97	275 ± 37	7.4 ± 1.0
3	1273 ± 65	249 ± 30	6.7 ± 0.8
4	1385 ± 63	271 ± 33	7.3 ± 0.9
5	1378 ± 69	269 ± 33	7.3 ± 0.9
وسطي تركيز الرادون		263 ± 19	7.1 ± 0.5

تبين النتائج السابقة أن الإلكتريت مستقر بشكل كافٍ ليتم استخدامه لقياس الرادون في مختلف الظروف والبيئات وبفعالية جيدة جداً أن تباين النتائج في المرحلة السابقة يمكن أن يكون نتيجة زمن التعريض غير الكافي.

بعد أن تم تحديد المعاملات الخاصة بشحن الإلكتريت ودراسة استقرارها واختبار إمكانية استخدامها لكشف الرادون تم الانتقال إلى مرحلة اختبار شحن مواد عازلة مختلفة من أجل إيجاد مادة بديلة عن التفلون (تقوم بنفس دوره) كخطوة أولية لتصنيع كاشف الكتريت جديد.

4- اختبار شحن مواد عازلة مختلفة:

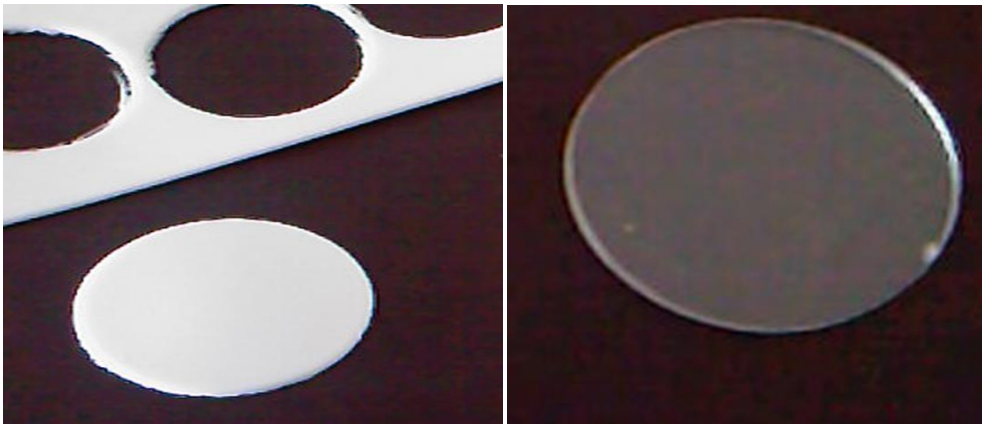
وُجِد في هذه المرحلة العديد من الصعوبات ومنها وجود قارئ كمون وحيد ذو أبعاد محددة الأمر الذي أدى إلى استخدام نفس حامل الإلكتريت من أجل وضع العينات وإجراء تجارب الشحن (ونظراً للعدد المحدود لعينات الإلكتريت الأصلية لم يتم استعمال أكثر من ثلاثة حوامل) ولم يتم الحصول على نتائج جيدة عند استعمال حوامل بلاستيكية أخرى.

تم في هذه المرحلة:

- تحضير عينة من البارافين بسماكة (1.5 mm) تقريباً الشكل (3-29).

الشكل (3-29) عينة البارافين

❖ قص عينة من تفلون (تجاري) محلي وعينة من البيرسبكس بسماكة (1.5mm) تقريباً الشكل (3-30).



(b) (a)

الشكل (3-30) (a) عينة البيرسبكس – (b) عينة التفلون المحلي

❖ ثبتت العينات ضمن حوامل الإلكتريت وتمت إضافة باقي المكونات (الشبكة المعدنية ورقاقة الألمنيوم) من أجل تأمين التوصيل الكهربائي مع قاعدة حامل الإلكتريت الشكل (3-31).

الشكل (3-31) تثبيت عينة التفلون المحلي على الحامل مع الحفاظ على باقي المكونات

❖ جرى شحن العينات باستخدام المعاملات التي اعتمدت للشحن (الكمون المستخدم في الشحن 5 Kv – ارتفاع إبرة الشحن 7 mm – زمن الشحن 15 sec) ليتم مقارنتها مع نتائج شحن الإلكتريت (التفلون الأصلي).

فكانت النتائج كما يلي:

- بلغت قيمة الكمون النهائي لكل من عينة البارافين والبيرسبكس 1200 volt ≅ F وحدث تفريغ سريع للشحنة خلال أقل من ساعة لذلك لم يتم تسجيل القراءات.
- وبالمثل بلغ الكمون النهائي لعينة التفلون المحلي قيمته العظمى 1300 volt ≅ F واحتفظت العينة بنسبة 50% من الشحنة بعد 48 ساعة من الشحن.

يلعب نوع البارافين المستخدم وطريقة تحضيره دوراً أساسياً في قدرة هذه المادة على الاحتفاظ بشحنة كهربائية ساكنة ومستقرة لفترة زمنية طويلة، وفي هذه التجربة جرى صهر البارافين بدون تطبيق جهد مرتفع أثناء عملية الصهر (لاستقطاب حاملات الشحنة في مادة البارافين) وترك ليبرد ضمن درجة حرارة الغرفة العادية.

تمتلك مادة البارافين القدرة على بلوغ الكمون النهائي الأعظمي باستخدام المعاملات المعتمدة لشحن الإلكتريت (التفلون الأصلي) ولكن لم تكن هذه العينة قادرة على الاحتفاظ بشحنة كهربائية دائمة ولم يتم اختبار معاملات جديدة (تغيير قيمة المعاملات السابقة: الكمون المستخدم في الشحن – ارتفاع إبرة الشحن – زمن الشحن) نظراً لصعوبة تحضير العينة والعدد المحدود للحوامل البلاستيكية.

وبالمثل فإن المعاملات المستخدمة في شحن عينة البيرسبكس لم تكن مناسبة لهذا النوع من المواد العازلة وذلك لاختلاف قيمة مقاومتها الكهربائية عن قيمة المقاومة الكهربائية لمادة التفلون.

- استعملت حوامل بلاستيكية جديدة (مصنوعة من البلاستيك العازل) عوضاً عن حوامل الإلكتريت (المصنوعة من البلاستيك الناقل ذي المقاومة 6 $k\Omega$)، وثبتت عينات من التفلون المحلي عليها الشكل (3-32) ليتم شحنها باستخدام نفس المعاملات، وبلغ الكمون النهائي لعينات التفلون قيمته العظمى (1100 volt) ولكن حدث تفريغ سريع للشحنة كما في حالة عينات البارافين والبيرسبكس.

الشكل (3-32) تثبيت عينات التفلون على الحوامل البلاستيكية الجديدة

ولوحظ في هذه التجربة تأثير ومساهمة نوع البلاستيك الحامل للإلكتريت في كل من عملية الشحن وزمن احتفاظ التفلون بشحنته النهائية أي أن الحامل البلاستيكي يجب أن يكون من البلاستيك الناقل.

بناءً على كافة النتائج السابقة جرى اختبار دور طبقة الكربون (التي طلي بها الوجه السفلي لقرص التفلون الأصلي) الشكل (3-33) في تأمين التوصيل الكهربائي مع قاعدة حامل الإلكتريت ومساهمتها في احتفاظ الإلكتريت بشحنته.

الشكل (3-33) طبقة الكربون على الوجه السفلي للتفلون الأصلي

وذلك من خلال استعمال رقاقة من الكربون توضع تحت قرص التفلون المحلي مع الحفاظ على باقي المكونات الأخرى وفق الترتيب المبين في الشكل (3-34).

الشكل (3-34) تثبيت التفلون المحلي ورقاقة الكربون على الحامل البلاستيكي مع وجود باقي المكونات

إضافة إلى طلي (بخ الوجه السفلي) لإحدى العينات بطبقة من الكربون كما في الشكل (3-35).

الشكل (3-35) الوجه الخلفي لعينة التفلون المحلي التي تم طليها بالكربون

تم شحن العينات باستخدام نفس الشروط المعتمدة للشحن فبلغت القيمة النهائية للكمون 1000 volt تقريباً، واحتفظت العينات التي حوت رقاقة الكربون بنسبة 46% من شحنتها بعد 24 ساعة من الشحن مقارنة مع نسبة 2% للعينة التي طليت بالكربون.

لوحظ من خلال هذه التجربة أن دور الكربون هو تأمين التوصيل الكهربائي فقط ولا يساهم في احتفاظ الإلكتريت بشحنته الدائمة وفق هذا التركيب.

من خلال التحليل الكيميائي لكل من طبقة الكربون التي يملكها التفلون الأصلي ورقاقة الكربون ومادة الكربون التي استخدمت في الطلي وجد أن:

- رقاقة الكربون هي خليط من البروم والنيكل والكربون بنسب متفاوتة (حيث يملك الكربون النسبة الأعلى).
- وجد اختلاف في المادة الطيارة (المادة التي تساهم في التصاق الكربون على السطوح أثناء الطلي) بين الكربون الأصلي والكربون المستخدم في الطلي (حيث أن المادة الطيارة في الكربون الأصلي أخف وزناً).

الفصل الرابع

الخاتمة والتوصيات

تم في هذا البحث محاولة تحقيق خطة الدراسة الموضوعة لإعادة شحن E-perm ومحاولة إيجاد مواد بديلة تقوم بنفس المهمة من أجل تصنيع كاشف الكتريت جديد من خلال:

- ❖ دراسة جميع المعطيات والمؤثرات التي يمكن أن تلعب دوراً أساسياً في عمل الإلكتريت، والبحث عن الطرائق التي يمكن من خلالها الشحن بالكهرباء الساكنة والأجهزة التي يمكن أن تخدم هذه الدراسة.
- ❖ اعتماد الكواشف البلاستيكية CR-39 ككواشف معيارية تقارن بها نتائج هذه الدراسة في الخلية العيارية والبيئة المفتوحة.
- ❖ تحديد الشروط (المعاملات) المثالية للشحن واختبار تأثير مختلف هذه الشروط على قيمة الكمون (الشحنة) النهائي للإلكتريت.

وحصلنا على النتائج التالية:

1. باستخدام مولد جهد منخفض بلغت قيمة الشحنة التي تم الحصول عليها من خلاله (787volt-) ولكن لم يتم تحديد معاملات مناسبة وثابتة للشحن.
2. باستخدام مسرع فان دي غراف الترادفي بلغت الشحنة قيمة منخفضة جداً (37 volt) إضافة إلى الأثر التخريبي (حرق) لقرص التفلون.
3. باستخدام مولد جهد مرتفع تم إجراء تجارب شحن وفق معاملات متغيرة (كمون الشحن – ارتفاع إبرة الشحن – زمن الشحن) ثم تم الانتقال إلى دراسة تأثير مختلف الشروط ووجد أن:

- إمكانية إعادة شحن الإلكتريت محلياً دون تكاليف ليتم استخدامه في قياس الرادون من جديد.
- قيمة الكمون النهائي للإلكتريت مستقلة عن زمن الشحن وتبلغ قيمتها العظمى 1300 volt.
- الشروط المثلى للشحن تمثلت بـ (كمون الشحن 5 Kv - زمن الشحن 15 sec – ارتفاع إبرة الشحن 7 mm).
- استقرار الشحنة الكهربائية المحملة على الإلكتريت لزمن طويل يتجاوز 10 سنوات.
- استجابة الإلكتريت المشحون بهذه الطريقة لغاز الرادون.
- الاستجابة الخطية للإلكتريت مما يدل على أنها تصلح لأن تكون كاشفاً.
- إمكانية استخدام هذه الكواشف ضمن مجال الكمون (100 volt – 1300 volt) وهو أعلى من المجال المحدد من قبل الشركة الصانعة (150 volt – 750 volt) لقياس الرادون وبفعالية ممتازة الأمر الذي أطال من عمر هذه الكواشف (عدد مرات الاستخدام).
- تم إيجاد معامل معايرة مناسب مستقل عن الكمون البدائي أو النهائي للإلكتريت ذو اللصاقة الزرقاء والخضراء (سماكة قرص الإلكتريت 1.54 mm) ، وبالتالي لم يعد هناك داع لاستخدام معادلات حساب معامل المعايرة الواردة في دليل استخدام هذه الكواشف.

- تم إيجاد معامل تصحيح لزمن التعريض عند استعمال الحجيرة S (وهي عبارة عن وعاء مصنوع من البلاستيك الناقل والتي تؤلف بدورها حجيرة التجميع الأيونية المستخدمة في قياس الرادون، عندما تقترن هذه الحجيرة بالإلكتريت فإنها تشكل وحدة قياس الرادونE-perm) يتمثل بإهمال نصف الساعة الأولى من زمن التعريض.

4. يوجد العديد من المواد العازلة القابلة للشحن ولكن لم تكن هذه المواد قادرة على الاحتفاظ بشحنتها ضمن الشروط المطبقة للشحن، ولم نتمكن من إجراء العديد من التجارب نظراً للتقيد باستعمال حامل الإلكتريت، ولم يفلح استخدام حوامل بلاستيكية أخرى في الحصول على نتائج مرضية وتبين أيضاً من خلال هذه المرحلة:

- يلعب نوع البلاستيك الذي صنع منه الحامل دوراً أساسياً (بلاستيك ناقل) في عملية الشحن واحتفاظ الإلكتريت بالشحنة .
- أن دور باقي مكونات كاشف الإلكتريت (طبقة الكربون – رقاقة الالمنيوم – الشبكة المعدنية) يتجلى في تأمين التوصيل الكهربائي مع قاعدة الإلكتريت.

التوصيات:

- نوصي بمتابعة هذه الدراسة لإيجاد معاملات المعايرة لكواشف الإلكتريت عند استعمال باقي الحجيرات وباقي السماكات.
- نظراً للصعوبات التي واجهت هذه الدراسة بوجود قارئ كمون وحيد يملك فتحة قياس ذات أبعاد محددة نوصي بتصنيع قارئ مناسب بديل.
- نوصي بإيجاد مولد جهد مرتفع خاص بشحن كواشف الإلكتريت.
- نوصي بمتابعة البحث عن مواد بديلة للتفلون قابلة للشحن وتحديد الشروط المثلى لشحنها واختبار إمكانية استخدامها ككواشف أشعة.
- نوصي باستعمال كواشف الإلكتريت في مجال قياس الرادون في سورية بشكل أوسع نظراً لسهولة استخدامها ودقتها في القياس وانخفاض تكلفة القياس مقارنة مع أنواع أخرى من الكواشف.
- نوصي باعتماد طريقة الإلكتريت كطريقة مقارنة (طريقة لمقارنة نتائج قياس الرادون باستخدام كواشف أخرى).

المراجع

[1]- أ.د.أدهم السمان - الكهرطيسية- الطبعة الثالثة - منشورات جامعة دمشق 2000 م.

[2]- MARCUS , ARAHAM .basic electricity third edition,.engle wood cliffs ,n .j .prentice-hall, 1969.

[3]- أ.د.محمد قعقع - الفيزياء العامة- الطبعة الثالثة – منشورات جامعة دمشق 1994 م.

[4]- Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, Mathew Sands "The Feynman lectures on physics: the electromagnetic field" California institute of technology, 1964.

[5]- د.بسام معصراني - د.فخري كنوت، الجسم الصلب – الطبعة الخامسة – منشورات جامعة دمشق2003 م.

[6]-.WWW. Wikipedia com, Electret.

[7]–– ألفين هالبيرن، إريك إلبارخ - الفيزياء الجامعية II, ترجمة فايز فوق العادة, منشورات دار أكاديميا انترناشيونال – بيروت 1998.

[8]- C.L.Strong "how to make an electrets" Scientific American ,nov 1960.

[9]- John C .Dempsey ,Salamanca ,Payasada Kotrappa ,N.Y."Ionization chamber for monitoring radioactive gas" Aug.1.1989.

[10]- Robert W .Ramsey, J r ,Damascus , Payasada Kotrappa , Frederick, MD."Electret ion chamber for radon monitoring."Feb.12.1991.

[11]- م.د.مصطفى عبد المهدي المجالي - الوقاية الإشعاعية "المبادئ والتطبيقات" - الدار المتقدمة للنشر والتوزيع - عمان ،الأردن2005 م.

[12]- د.محمد سعيد المصري - مقرر مصادر الأشعة المؤينة – ماجستير الوقاية الإشعاعية 2007-2009.

[13]- Wikipedia "http://www.epa.gov/radon/pub"s/citguide.html" (www.answers.com/topic/radon).

[14]- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR 1988) Report to the general Assembly, with Annexes (1988).

[15]- National Council for Radiation Protection and Measurements, Exposures from the Uranium Series with emphasis on radon and its daughters, NCRP Report No. 77 (Bethesda, MD: NCRP) (NCRP 1984).

[16]- National Council for Radiation Protection and Measurements, Evaluation of Occupational and Environmental Exposures to Radon and radon daughters in United States, NCRP Report No. 78 (Bethesda, MD: NCRP) (1984).

[17]- Andrews J. N. and Wood D. F. Mechanism of radon release in rock matrices and enter into groundwater. Institution of mining and metallurgy, Transaction Section B, 81, B198-209, (1972).

[18]- Shweikani R., Badr I., Maged A.F., Adam A.A. and Durrani A.S , A new "calibrated chamber for parametric studies of radon and thoron gases Radiation Measurements", 25, 613-614, (1995).

[19]- Holub R. F., et al. Radon-222 and Rn-222 progeny concentrations measured in an energy-efficient house equipped with a heat exchanger. Health Physic., 49, 267-277, (1985).

[20]- Nevissi, A.E ,Methods for detection of radon and radon daughters. In Indoor radon and its hazards, University of Washington Press, 30, (1987).

[21]- Lucas, H. F,"Improved low-level alpha-scintillation counter for radon"; Rev. Sci. Instrum ,28,68, (1957).

[22]-Kunsetz H. L., Am. Ind. Hyg. Assoc. J. Qart.,17, 85, (1956).

[23]- Durrani S. A and Ilic R.,"Radon measurements by etched Track Detectors", published by: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, (1997).

[24]- Prichard H. M and Marlen K., Disruption of radon from activated carbon into a liquid scintillator", Analytical Chemistry, 55, 155-157, (1983).

[25]- Rad Elect Inc , Frederick. MD , 21701 "E-PERM system user manual" 1991.

[26]-Review of E-perm passive integrating electrets ionization chamber for measuring Radon in air, Thoron in air,Radon in water and Radon flux room surfaces and mill tailings, Paul Kotrappa ,Rad Elec Inc.,57 144 Industry Lane ,Frederick, MD 21704 USA,2000.

[27]- Innovative technology, summary report DOE/EM-0534."E-perm alpha surface monitor", May 2000.

[28]- Paul Kotrappa and lorin Stieff "the measurement of very high levels of Rn222 concentration using electret ion chamber.(Rad Elect Inc. Frederick ,MD), 1994.

[29]- http://www.rcp.ijs.si/mic/general/accelerator.php#sputter.

[30]- http://www.eaglabs.com/training/tutorials/rbs_instrumentation_ tutorial/rtank.php.

[31] -http://www.eaglabs.com/training/tutorials/rbs_instrumentation_ tutorial/rstrip.php.

[32]- P.J. Bryant CERN, Geneva, Switzerland" A BRIEF HISTORY AND REVIEW OF ACCELERATORS".

[33]- P. H. Rose, K. H. Purser and A. B. Wittkower High Voltage Engineering Corporation Burlington, Massachusetts" THE TANDEM AS A HEAVY ION ACCELERATOR", page 251, 1965.

[34]-http://www.eaglabs.com/training/tutorials/rbs_instrumentation_ tutorial/rchamber.php.

[35]- http://www.eaglabs.com/techniques/analytical_techniques/rbs.php.

[36]- http://www.eaglabs.com/techniques/analytical_techniques/pixe.

الملحق الأول

القياسات قصيرة الأجل [25]:

وتدعى هذه القياسات عادة بالقياسات الاختبارية أو التقيمية (Screening measurement) وتمتد عادة لفترة زمنية تتراوح بين 2–7 days وتستخدم هذه القياسات من أجل الكشف السريع (تحديد) عن وجود مشكلة رادون (تركيز مرتفع) في المكان المراد اختباره.

القياسات طويلة الأجل [25]:

وتدعى هذه القياسات بالقياسات اللاحقة أو التأكيدية (Follow–up measurement) ويجري من خلال هذه القياسات وصف لمشكلة الرادون التي تم تحديدها مسبقاً من خلال القياس الاختباري.

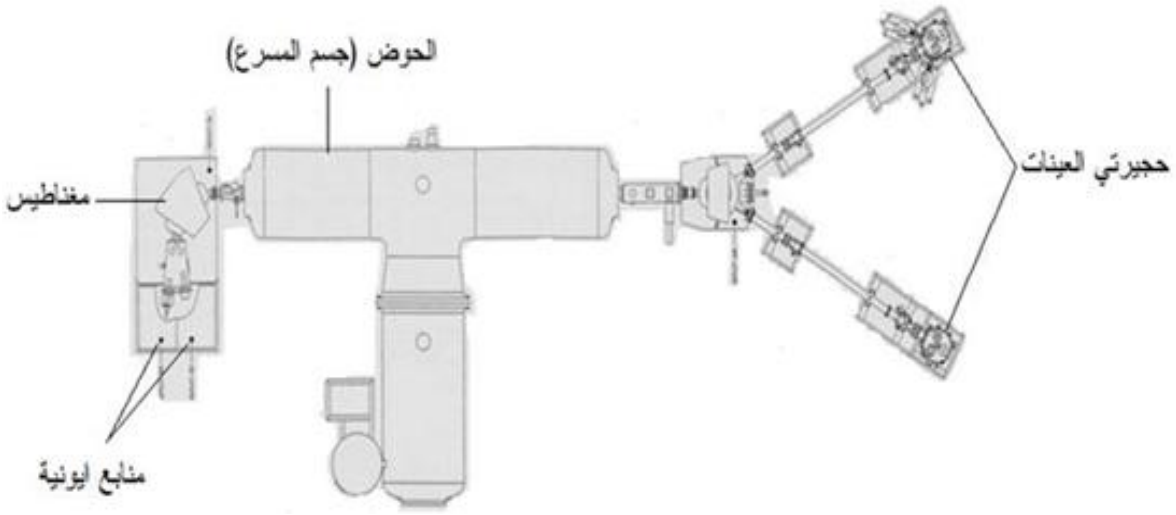
وتعتمد الفترة الزمنية اللازمة لإجراء هذا القياس على قيمة تركيز الرادون التي تم الحصول عليها من خلال القياس الاختباري على الشكل التالي :

- إذا كانت نتيجة القياس الاختباري تراوح بين (4 – 20 pCi/l) فيوصى بإجراء قياس تأكيدي لمدة 12 month ضمن ظروف المنزل العادية.
- إذا كان نتيجة القياس الاختباري تتراوح بين (20 – 200 pCi/l) فيوصى بإجراء قياس تأكيدي لمدة تتراوح بين (1 – 8 weeks) ضمن ظرف منزل مغلق.
- إذا كانت نتيجة القياس الاختباري أعلى من (200 pCi/l) فيوصى بإجراء قياس تأكيدي لاحق لعدة أيام فقط.

الملحق الثاني

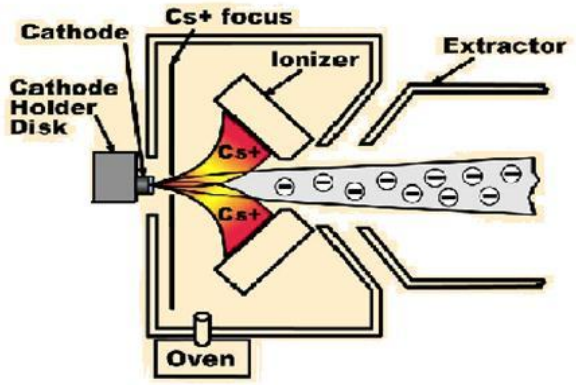
1. **مسرع فان دي غراف الترادفي من النمط Tandem accelerator :**

يبين الشكل (1) المكونات الأساسية للمسرع:



الشكل (1) مكونات مسرع فان دي غراف الترادفي

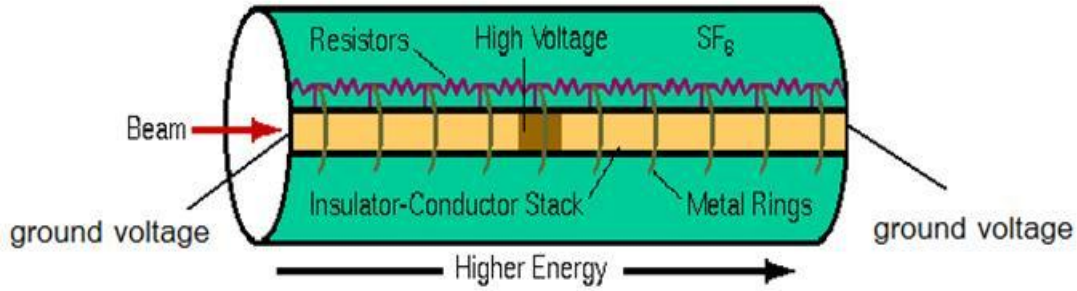
1-1- المنابع الأيونية sputter source: التي تستخدم لتوليد الجسيمات المشحونة الأولية المراد تسريعها وذلك من خلال ضخ أيونات السيزيوم137 الموجبة [29] الشكل (2)



الشكل (2) آلية توليد الجسيمات المشحونة الأولية

2-1- مغناطيس : يقوم بحرف مسار حزمة الجسيمات المشحونة (المراد تسريعها) لتدخل حوض التسريع.

3-1- حوض التسريع: يبين الشكل (3) المكونات الداخلية لهذا الحوض [30].

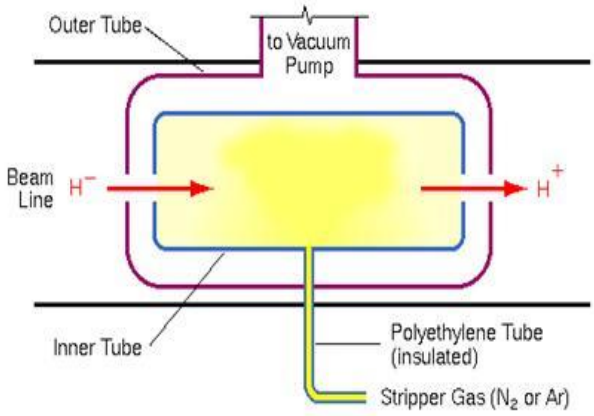


الشكل (3) المكونات الأساسية لحوض التسريع

حيث يطبق الكمون العالي (high terminal voltage) اللازم للتسريع على الإلكترود الموجود في منتصف الحوض، ويتطلب استخدام هذا الكمون في المسرعات الترادفية تقنيات عزل جيدة وذلك لأن الهواء يتأين ويصبح ناقلاً في الحقول الكهربائية العالية. وبالتالي يجب ترتيب مكونات المسرع بحيث تقلل من هذه الحقول على الشكل التالي:

1. يملأ الحوض بغاز sf6 العازل الذي يعمل على مقاومة الانهيار الكهربائي بشكل أكبر بكثير من الهواء العادي.
2. يحاط مسار الحزمة والكمون العالي بسلسلة من الحلقات الناقلة، والتي تتصل بدورها بالكمون عبر سلسلة من المقاومات تعمل على خفض انحدار الكمون بين المكونات وبالتالي تخفيض الحقول الكهربائية.
3. نظام تخلية.

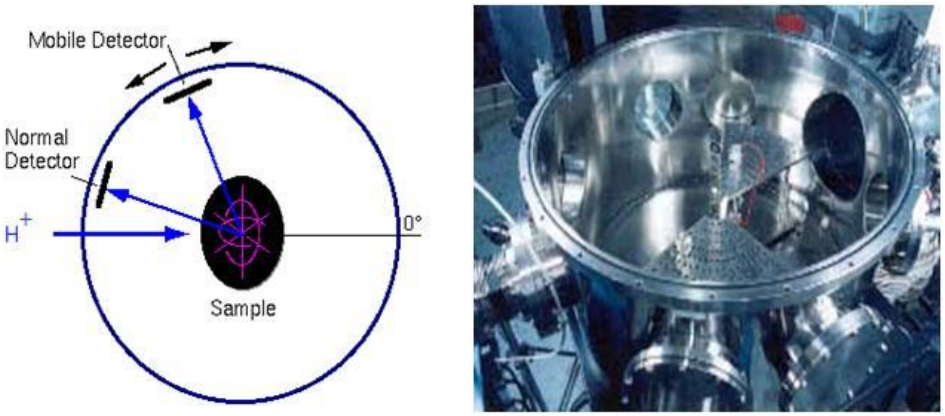
إضافة إلى ذلك يوجد في منطقة الكمون العالي غاز مجَرد (N2/Ar) stripper gas [30] يقوم بقلب شحنة حزمة الجسيمات المسرعة عن طريق قنص إلكترون أو أكثر [32-33] الشكل (4).



الشكل (4) آلية قلب شحنة الجسيمات المسرَعة

4-1- حجيرة العينات: يبين الشكل (5) مكونات الحجيرة [34] والتي تحوي:

1. قاعدة حامل العينات.
2. كاشف أو أكثر.
3. مدخل للحزمة الإشعاعية.
4. نظام تخلية.



الشكل (5) المكونات الأساسية لحجيرة العينات

ويملك مسرع فان دي غراف الترادفي حجيرتي عينات:

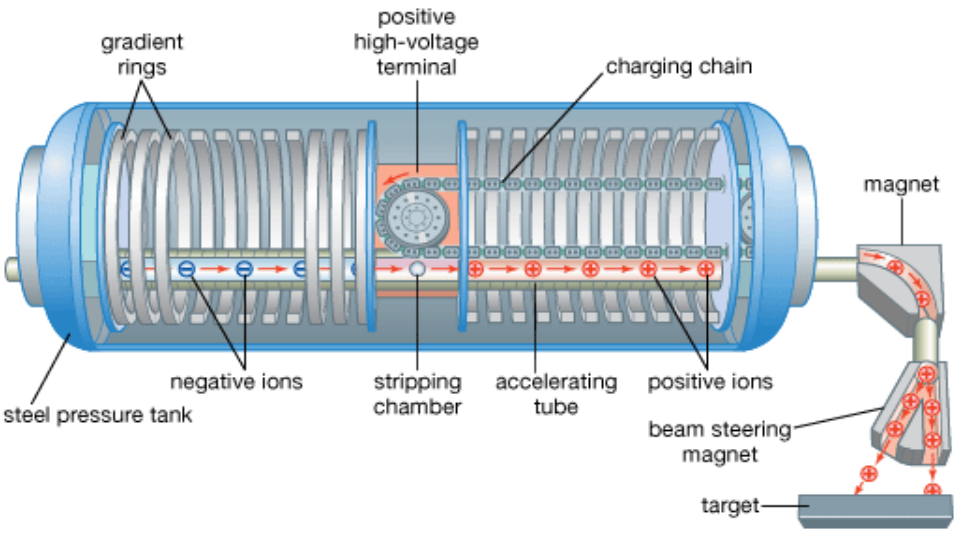
الحجيرة الأولى خاصة بتقنية تحليل ندعوها ((Rutherford backscattering (RBS) والحجيرة الثانية خاصة بتقنية تحليل متممة للتقنية الأولى وتدعى ((Particle Induced X-ray Emission (PIXE) [35-36]

في تقنية (RBS) يتم قذف العينة (المادة الهدف) بحزمة من الجسيمات المشحونة بطاقة معينة، ومن الطيف الطاقي للجسيمات التي تتبعثر بزوايا كبيرة عن نوى ذرات المادة الهدف يمكن معرفة تركيز مختلف العناصر في العينة [35].

أما تقنية (PIXE) تعتمد على قياس طيف أشعة X المرافق للتحليل باستخدام (RBS) للتمييز بين عنصرين متقاربين في الكتلة إضافة إلى كشف العناصر التي لا يمكن تمييزها باستخدام (RBS) [36].

2- مبدأ عمل المسرع الترادفي:

تعطى الذرات شحنة سالبة وذلك عن طريق قذفها بإلكترونات منخفضة الطاقة داخل المنبع الأيوني، ومن ثم تسرع الأيونات السالبة الناتجة من الكمون الأرضي باتجاه الكمون العالي الموجب المطبق على الإلكترود في منتصف عمود التسريع. هناك تخسر إلكتروناً أو أكثر بفعل احتكاكها مع الغاز المجرد (قالب الشحنة) لتصبح أيونات موجبة، ثم تبدأ المرحلة الثانية من عملية التسريع، حيث تسرع الأيونات الموجبة بفعل الكمون الموجب في المنتصف إلى الكمون الأرضي الموجود في الطرف الثاني من حوض التسريع ثم توجه إلى حجيرة العينات[12-32-33] كما في الشكل (6).



الشكل (6) يوضح مبدأ عمل المسرع الترادفي