الفصل الثالث

طرق الكشف عن غاز الرادون وولائده

3 - 1 تمهيد

لا يستطيع جسم الإنسان الإحساس بالأشعة المؤينة، لذا وجب الاعتماد على أجهزة الكشف المبنية على التأثيرات الفيزيائية والكيميائية للإشعاع ومنها:

أ- تأين الغازات.

ب- التأين والإثارة في مواد صلبة معينة.

ج- التغيرات في الأنظمة الكيميائية.

تعتمد معظم طرق قياس الرادون على قياس إشعاعية النظير رادون - 222 وولائده، إلا في مناطق وجود التركيز المرتفع للثوريوم - 232، كما هي الحال في الهند، وفي هذه الحالة ينبغي قياس كل نظير على حدة لئلا يحدث الالتباس. وذالك لأن الرادون هو الغاز الوحيد المشع الذي يطلق جسيمات ألفا، وله ثلاثة نظائر طبيعية هي الرادون - 222 ذو عمر النصف 3,8 يوم، والثورون - 220، ذو عمر النصف 56 ثانية، والأكتينون - 219، ذو عمر النصف 5 ثوان، وهذا النظير الثالث غير مهم نظراً لقلة وفرته في الطبيعة ولقصر عمره، أما الثورون فأهميته ثانوية كذلك نظراً لقصر عمر نصفه، مع أن تركيزه في التربة والصخور ومواد البناء غير المسامية مقارب لتركيز الرادون. لهذا سيقتصر حديثنا في هذا الفصل على أهم طرق قياس الرادون - 222 وولائده نظراً لكثرة وتنوع هذه الطرق.

ونظراً لأن خطورة الرادون تنبع بشكل رئيس من ولائده كان من المتوقع أن تتركز الطرق على قياس هذه الولائد بوحدة سوية العمل (WL) أو أي وحدة أخرى حديثة، ولكن نظراً لقصر عمر نصف هذه الولائد (انظر جدول (2 - 1)) فإنه من المعتاد

obeikandl.com

قياس تركيز غاز الرادون، وتقدير تركيز الولائد (7) باتخاذ معامل للاستقرار بين الرادون وولائده الذي عادة ما يكون 0,5، أي إن إشعاعية كل وليد هي نصف إشعاعية غاز الرادون.

وإذا ما أخذت عينة هواء وتركت لساعات عدة قبل قياس غاز الرادون فيها فإن ولائده التي كانت موجودة أصلاً عند أخذ العينة تكون قد تلاشت نتيجة لتفككها الإشعاعي، ولهذا يقاس تركيز غاز الرادون فقط، ولكن الولائد تستمر في التكون نتيجة تفكك الغاز، ولذلك فإن القياس يشمل غاز الرادون وولائده المتولدة نتيجة تفككه. لذا فإن هناك فرق بين تحديد تركيز ولائد غاز الرادون في العينة الذي يتطلب عدم التأخر في القياس بعد أخذ العينة، وتحديد تركيز الغاز عن طريق ولائده المتولدة بتفككه.

نظراً لأن تركيز كل من غاز الرادون وولائده الناتجة عن تفككه هي غير ثابتة بل تتغير مع الوقت أثناء اليوم وأثناء السنة، وهذا التغير في المسكن أو أي مبنى يعتمد على سلوك المقيمين فيه، كما يعتمد على تغير الظروف الجوية، لذا ينبغي اختيار مدة القياس تبعاً للمعلومات المطلوبة وللوقت المتوافر للقياس، فالوقت يمكن أن يتغير من ثوان معدودة إلى سنة، والقياس الطويل الأمد يعطي معدلا أدق لتركيز كل من غاز الرادون وولائده في المسكن مقابل الحصول على قياس آني في الطرق المباشرة. والطرق طويلة الأمد هي المعتمدة عادة في قياس تركيز غاز الرادون في المساكن.

3 - 2 قياس الرادون في المختبر

تتعدد تقنيات قياس غاز الرادون وولائده نظرا للتطبيقات العملية لقياس تركيز هذا الغاز في عمليات استكشاف كل من طاقة الأرض الحرارية وخاماتها المعدنية، وتوقع حدوث الزلازل والأنشطة البركانية (انظر فصل 10)، بالإضافة إلى قياس الرادون في المساكن والمناجم. وهناك تقنيات عديدة يمكن استخدامها لكشف وقياس غاز الرادون وولائده، ومن هذه ما يأتي (26):

■ كواشف الآثار النووية.

- الادمصاص.
- الكاشف الوميضي الصلد.
- الكاشف الوميضي السائل.
- مطياف جاما.
- مراقب بيتا.
- غرف التأين.
- كواشف الحاجز السطحي[1].
- الكواشف الحرضوئية.
- العداد التناسبي.
- المستحلب النووي.

ويعتمد تحديد الإشعاعية وقياس شدتها في المختبر على التقنيات العامة ومنها ظاهرة الوميض التي كانت من أوائل التقنيات المستخدمة في قياس الرادون فيما يسمى (بخلية لوكس) التي يعود مسماها إلى مكتشفها عام 1957م.

في هذه التقنية تدخل عينة الهواء الحاوية على غاز الرادون في حاوية زجاجية عادة مطلي سطحها الداخلي بكبريتيد الخارصين (ZnS) ـ إلا واجهة واحدة ، وتوصل الواجهة غير المطلية بأنبوبة للتضاعف الضوئي، وعندما تصطدم جسيمات ألفا بأسطح كبريتيد الخارصين يتحرر ضوء، ويقاس بأنبوبة التضاعف الضوئي ويحول إلى ومضة كهربية، يحسب عن طريقها عدد جسيمات ألفا المتولدة في الخلية (27)، وقد طورت أنواع جديدة من هذه الكواشف تمتاز برخص ثمنها.

أما عند استخدام سائل التلألؤ (الوميض) في تحديد تركيز غاز الرادون فيمرر هواء العينة في مذيب سائل التلألؤ المبرد حيث يذوب غاز الرادون فيه ويتخلل الهواء

(1) كواشف الحاجز السطحي المسماة بالإنجليزية detectors Surface barrier.

obeikandl.com

خارجا، ثم يخلط المذيب في سائل التلألؤ فيقاس غاز الرادون المذاب. وتستخدم هذه الطريقة في قياس غاز الرادون المذاب في الماء أيضاً. ومع أن غاز الرادون سهل الذوبان في الماء، إلا أنه يذوب بشكل أفضل في التولوين[1]، والذي لا يختلط بالماء لهذا يسهل فصل غاز الرادون عن الماء بخلطه مع التولوين، ثم فصل التولوين المشبع بغاز الرادون عن الماء، واستخدامه كسائل وميضي، أو إضافة كمية معينة من سائل وميضي آخر.

وجمع عينات الهواء المراد دراستها يتم بسحب الهواء في حاويات بلاستيكية أو معدنية أو زجاجية يتراوح حجمها بين 5 و20 لتراً، وكلما كان تركيز الرادون منخفضا تطلب ذلك عينة هواء أكبر ثم تركز العينة في حجم أصغر لغرض القياس.

ومن الأجهزة المستخدمة بشكل واسع في قياس غاز الرادون غرف التأين والعداد التناسبي التي تعتمد على تأين الغاز. وفي هذه الأجهزة تكشف جسيمات ألفا المتحررة مباشرة من التأين الذي تحدثه في الكاشف فتولد ومضة كهربية. وكواشف التأين على صنفين، صنف يعد الومضات الكهربية من التحرر الفردي لجسيمات ألفا المتولدة في التفكك الإشعاعي، والصنف الآخر يقيس التيار الكهربي المتولد من التحرر التكاملي لجسيمات ألفا، وهذه الأجهزة دقيقة إلا أنها غالية الثمن.

يستخدم مطياف ألفا بشكل غير مباشر لقياس الرادون وذلك عن طريق قياس الولائد. ففي هذه الطريقة يمرر حجم معين من الهواء عبر مرشح تترسب فيه الولائد بكفاءة عالية، ومن ثم تقاس الإشعاعية المترسبة على المرشح بعد مدة وجيزة من أخذ العينة، نظراً لأن أعمار أنصاف ولائد الرادون المراد قياسها قصيرة لا تتجاوز 27 دقيقة.

كذلك يستخدم مطياف جاما في تحديد تركيز الرادون عن طريق قياس أشعة جاما التي تطلقها الولائد، وفي هذه الطريقة يمكن التمييز بين الرادون – 222 الذي يطلقه اليورانيوم – 238 والثورون – 220 الذي يطلقه الثوريوم – 232 نظراً للفرق في

(1) التولوين tolune مركب كيميائي C6 H5 CH3 C7 H8.

طاقة أشعة جاما المتحررة في الحالتين، ففي الرادون تقاس إشعاعية وليد البزموث ـ 214 الذي يطلق أشعة جاما بطاقة 0,609 و1,120 مليون إلكترون فولت، أما بالنسبة للثورون، فتقاس إشعاعية وليد البزموث – 212 الذي يطلق أشعة جاما بطاقة 0,288 و0,328 مليون إلكترون فولت.

3 - 3 قياس غاز الرادون في المساكن

يتطلب قياس غاز الرادون في المساكن أو في الخارج إلى وضع الكاشف في الموقع لمدة زمنية محددة بناءً على تجارب سابقة، وهذا القياس إما أن يكون مستمراً أو منفرداً عن طريق أخذ عينة من الهواء، كما أن القياس إما أن يكون مباشراً (عن طريق التخلل الطبيعي للهواء في جهاز الكشف أو ضخ الهواء فيه)، أو أن يكون غير مباشر حيث يتخلل الهواء طبيعيا إلى الكاشف فتترك جسيمات ألفا المتحررة من غاز الرادون وولائده أثرا ما عليه، وبعد معالجته يمكن التعرف على تركيز غاز الرادون في الهواء خلال المدة الزمنية التي وضع فيها. وسنتطرق فيما يأتي لبعض الطرق المباشرة وغير المباشرة الأكثر استخداماً في هذا المجال.

3 - 3 - 1 الكواشف غير المباشرة

إن المقصود بالكواشف غير المباشرة هي التي لا تعطي قراءة آنية، أي لا يتم الحصول على قراءتها مباشرة بعد التعرض للإشعاع، بل تحتاج إلى المعالجة بشكل أو آخر حتى يمكن قراءتها، وهي عادة من الأجهزة التي تقيس معدلات التركيز لمددٍ زمنية طويلة تتراوح بين الأيام والأشهر، وهذه تعد ميزة في قياس غاز الرادون وولائده، لأن تركيزها يتغير في المسكن الواحد أثناء اليوم وفي فصول السنة (64)، كما تعتمد على سلوك الساكنين في تهوية المسكن. وهذه الكواشف تشمل:

(1) كواشف الآثار النووية.

(2) الكواشف الحرضوئية.

obeikandl.com

(3) كواشف «الألكترت».

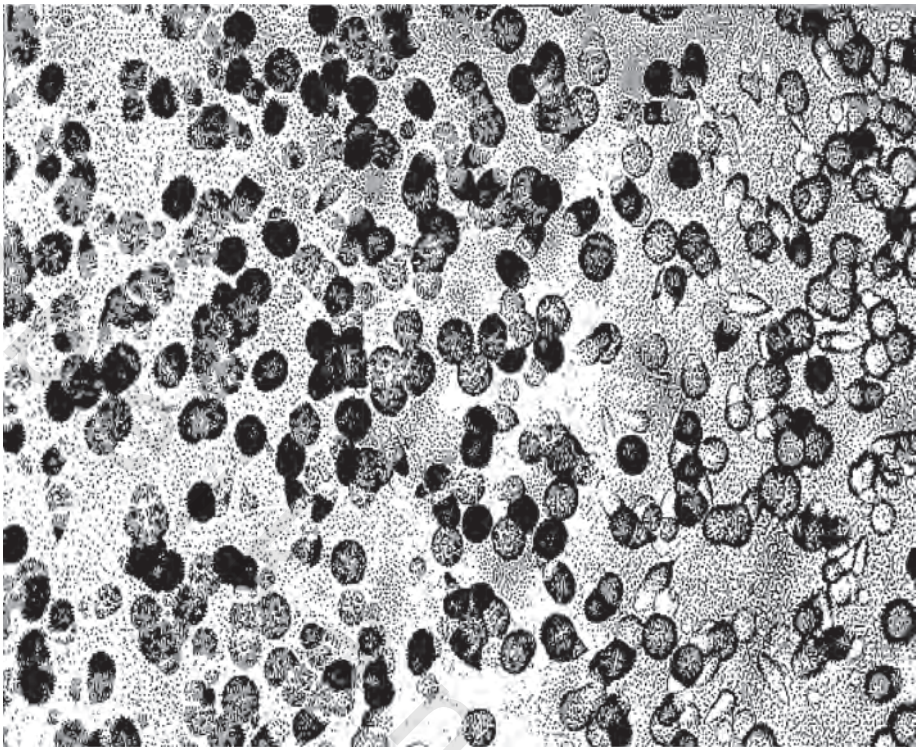
(4) تقنية الادمصاص.

3 - 3 - 1 - 1 كواشف الآثار النووية

إن استخدام كواشف الآثار النووية لدراسة الجسيمات النووية المؤينة من التقنيات التي تستحق الاهتمام والدراسة للاستفادة منها. فقد أثبتت هذه الكواشف تميزها على أنظمة الكشف النووية الأخرى بسهولة الاستخدام وقلة التكاليف. فعندما تمر جسيمات نووية مشحونة في بعض أنواع المواد العازلة مثل البلاستك أو الزجاج أو البلورات فإنها تترك أثرا صغيرا بقطر قدره عدة نانوميتر، ومدى مقداره بضع مايكروميتر تقريبًا، نتيجة تقطع السلاسل المكونة للمادة البلاستيكية . ولإظهار آثار الجسيمات النووية المارة في الكاشف يجب وضعها في محلول قلوي أو حامضي مثل هيدروكسيد البوتاسيوم أو الأمونيا تبعا لنوع الكاشف، وذلك لمدة من الزمن تتراوح بين عدة دقائق إلى عدة ساعات في درجة حرارة معينة، حيث يؤدي ذلك إلى التآكل الكيميائي لسطح المادة، ومن ضمنها مسار الجسيم النووي الذي يكون تآكله أسرع، ويترتب على هذا ظهور آثار الجسيمات النووية بأشكال تتناسب مع نوع الجسيم وطاقته وزاوية سقوطه على الكاشف النووي (انظر شكل(3 - 1)).

ولهذه الكواشف ميزة فريدة بين كواشف الجسيمات النووية، وهي صغر حجمها، فإن 1سم^2 منها بسمك 0,5 مم يكفي في معظم دراسات الجسيمات النووية ذات الطاقة المنخفضة، كما أن الأجهزة المستخدمة في هذه التقنية قليلة ورخيصة الثمن(29).

اكتشفت هذه التقنية عام 1959م. وفي المراحل الأولى لتطويرها كانت الكواشف مستخدمة من مواد طبيعية مثل المعادن والبلورات، ومع التطور السريع في هذا المجال وجدت مواد جديدة في نهاية الستينيات مثل بلاستيك LR - 115 وCN - 85 الذي تصنعه شركة كوداك وكانت قدرته على الكشف محدودة.



شكل (3 - 1) آثار جسيمات ألفا (مكبرة) كما تبدو على الكواشف البلاستيكية بعد المعالجة الكيميائية لها (3).

وفي عام 1978م نشر أول بحث عن كاشف بلاستيكي جديد يسمى CR – 39، وهي المادة المستخدمة في صنع بعض أنواع عدسات النظارات الطبية، وله مميزات رائعة للكشف عن الجسيمات النووية ابتداءً من أصغرها ـ البروتونات ـ إلى أكبرها وهي نوى ذرات اليورانيوم بمختلف الطاقات، مما فتح الباب على مصراعيه لبحوث مستمرة لم تنقطع منذ ذلك الحين (30).

ومن أهم مميزات كواشف الآثار النووية ما يأتي:

- توافرها في الطبيعة حيث إن بعض كواشف الآثار النووية موجودة في الطبيعة مثل المعادن، لذا يمكن استخدامها في دراسة العديد من الظواهر الجيولوجية والكونية.

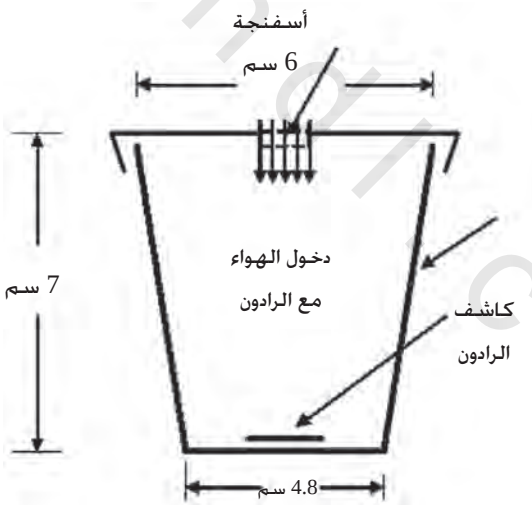
- المعلومات المسجلة على هذه الكواشف تخزن لمدة طويلة جدًا، كما هي الحال في سجل الأشعة الكونية في النيازك التي تتراوح أعمارها حتى بلايين السنين.
- هذه الكواشف تسجل المعلومات الحرارية والحركية التي تأثرت بها، لما تتركه فيها من طول الأثر المسجل وقطره وكثافة الآثار المتبقية.
- هذه الكواشف تعطي آثارا متباينة بتباين مادتها مع كل شحنة من شحنات الإشعاع الذري المسجل وطاقته، وبذلك يمكن التمييز بين أنواع الإشعاع الذري المسجل على الكواشف.
- هذه الكواشف تعطي سجلا تراكميا للإشعاع الذري الساقط عليها، ولهذا الأمر ميزة فريدة في تسجيل الظواهر النادرة الحدوث كما في بعض أنواع التحلل الإشعاعي النادر.
- هذه الكواشف لا تحتاج إلى أجهزة تحكم إلكترونية، الأمر الذي يمكّن من استخدامها في المناطق النائية وفي الفضاء الخارجي.
- هذه الكواشف تمتاز بصغر حجمها وصلابتها مع رخص ثمنها وسهولة استخدامها، فيمكن أن يكون قطر الكاشف أجزاء من المايكرومتر أو أقل، كما هي الحال في حبيبات التراب التي جلبت من القمر.

غاز الرادون المشع وولائده الموجودة في الهواء تطلق جسيمات ألفا، وتستخدم كواشف الآثار النووية في قياس تركيز هذا الغاز في الأماكن المختلفة، حيث تترك جسيمات ألفا آثارا على سطحها عند اصطدامها بها. وبمعالجة هذه الكواشف كيميائيا أو كيميائيا – كهربائيا تظهر آثار جسيمات ألفا التي تتناسب كثافتها مع مقدار التعرض لهذه الجسيمات (انظر شكل (3 - 1)). ولقياس هذا الغاز توضع كواشف الآثار النووية في وعاء صغير مغطى بمرشح للهواء يمنع دخول الغبار والهباءات الغبارية (انظر شكل (3 - 2)) ويترك في البيت لعدة أشهر إلى سنة، ومن ثم يعالج كيميائيا، وبحساب عدد الآثار التي سجلت على مساحة محددة من الكاشف آليا أو يدويا، ومعرفة المدة التي

بقي فيها الكاشف يمكن تقدير تركيز غاز الرادون داخل المبنى. وقد قام مؤلف هذا الكتاب ورفاقه بقياس تركيز غاز الرادون في أكثر من 1000 مسكن ومدرسة في مدن عدة من المملكة العربية السعودية (9، 3، 1) وأجروا دراسات أخرى باستخدام هذه الكواشف (32، 33).

3 - 3 - 1 - 2 كواشف الألكترت[1]:

إن تقنية الألكترت مبنية على استخدام قطعة من هذه المادة التي تحمل شحنة كهربية دائمة إذا لم يحدث لها اضطراب، وهذه الشحنة تولد مجالا كهربائيا قويا يستطيع تجميع الشحنات الموجبة والسالبة وبهذا تنخفض الشحنة التي على الألكترت. وقد تم تطوير هذه التقنية بعد أن كانت فكرة مع تصنيع نوعية جديدة منها تجعل الألكترت قطع إلكترونية معتمدة حتى عند درجة الحرارة والرطوبة المرتفعتين.



شكل (3 - 2): رسم تخطيطي لكاشف غاز الرادون في وعائه المستخدم في القياس (3).

(1) الألكترت: electret: أنواع من المواد العازلة والمستقطبة كهربائياً، فلها مجال كهربائي ثابت، مثلها مثل المغانط التي لها مجال مغناطيسي ثابت.

ويتكون مرقاب(كاشف) الألكترت أساساً من علبة من الحديد الصلب، مثبت على سطحها الداخلي العلوي مقياس الألكترت، وعلى السطح السفلي فتحة صغيرة تسمح بدخول غاز الرادون عن طريق مرشح، وبالتفكك الإشعاعي للرادون وولائده داخل العلبة يحدث تأين فتتولد الأيونات داخل العلبة، وهذه الأيونات تتجمع على الألكترت فتقلل شحنتها الأساسية. وبعد مرور مدة زمنية يقاس فرق الجهد على سطح الألكترت الذي يمثل مقياسا لما دخل من غاز الرادون في العلبة، وهو مقياس لتركيز الغاز في الموقع الذي وضع فيه المرقاب، بعد الأخذ في الحسبان المدة التي وضع فيها الكاشف للقياس. وهذه الطريقة غير إتلافية حيث يمكن استخدام المرقاب مرات عديدة دون تغير ملحوظ على شحنة الألكترت، وهناك أشكال مختلفة لهذا المرقاب، ومن مزاياه، قدرته على الاحتفاظ بقياساته لمدد زمنية طويلة نسبياً، وعدم تأثره برطوبة الجو، كما أنه سهل القراءة، ومن مساوئه أن قياساته لا تغطي أيا من الجرع المنخفضة جدا والمرتفعة جداً بدقة، كما أنه حساس لأشعة جاما القادمة من الإشعاع الطبيعي للتربة ومواد البناء التي قد تولد أحيانا خطأ ملحوظاً في قراءاته. وهذه المشكلة عولجت بوضع ثلاثة كواشف من الألكترت، اثنان منها داخل علبتين والثالث دون غطاء.

3 - 3 - 1 - 3 تقنية الادمصاص[1]

تعتمد هذه التقنية في قياس الرادون على ادمصاص الغاز في وسط ادمصاصي مثل الفحم النباتي ومن ثم قياس إشعاعية جاما المتحررة من وليدي الرادون: الرصاص ـ 214 والبزموث ـ 214. ويتكون جهاز الادمصاص من علبة من البلاستيك تحوي عدة جرامات من الفحم النباتي المنشط المثبت بلاصق، وعند القياس تفتح العلبة وتوضع على الأرض وفتحتها إلى الأسفل وتترك لعدد من الأيام يتراوح من 4 إلى 12يوماً ومن ثم تسترجع العلب بعد تغطية فتحتها، وتقاس إشعاعية جاما التي يطلقها البزموث وليد الرادون في المختبر باستخدام كاشف يوديد الصوديوم (NaI) الوميضي، حيث

(1) الادمصاص: هو نوع من الامتصاص الذي يحدث في السطح فقط ، و يكون فيه الممتص طبقة رقيقة جدا على السطح الماص.

تعتمد شدة الإشعاعية على مقدار الرادون المأسور في العلبة، وبمعايرة هذه العلب يمكن معرفة تركيز الرادون في الموقع. وعند وجود الثورون يمكن التمييز بينه وبين الرادون بطاقة أشعة جاما المختلفة التي يطلقها كل من ولائد النظيرين، أو بالاستفادة من الفرق الكبير بين عمر نصف النظيرين: الرادون والثورون، فبترك العلبة مدة 3 إلى 5 أيام يضمحل الثورون وولائده، وتكون أشعة جاما المقاسة هي لولائد الرادون فقط.

ومن المفيد الإشارة هنا إلى أن كاشفات الوميض تعتمد على كشف إشعاع الفلورة المنبعث عندما يعود الإلكترون من حالة الإثارة إلى رابط التكافؤ (انظر باب (4 - 3 - 4))، والمواد التي تنتقى لهذه الكاشفات هي تلك التي يحصل فيها هذا بسرعة كبيرة (نحو 1 مايكرو ثانية). إن امتصاص فوتون جاما ذي المليون إلكترون فولت ينتج عنه في كاشف الوميض 10,000 إثارة من فوتونات الضوء، ويتم الكشف عن هذه الومضات بواسطة أنبوب التضاعف الفوتوني الذي يحول الضوء إلى نبضات كهربائية تكبر فيما بعد.

و يتناسب حجم النبضة مع ترسب الطاقة في البلورة بواسطة الجسيمات المشحونة أو الفوتونات، وفي قياسات أشعة جاما فإن المادة الومضية الأكثر انتشاراً هي يوديد الصوديوم (NaI)، وتكون عادة في بلورة أبعادها 50 × 50 مم^2، وتستعمل هذه على نطاق واسع في مطياف جاما، أما في كاشفات ألفا فتستعمل بلورات كبريتيد الزنك في طبقات رقيقة جداً.

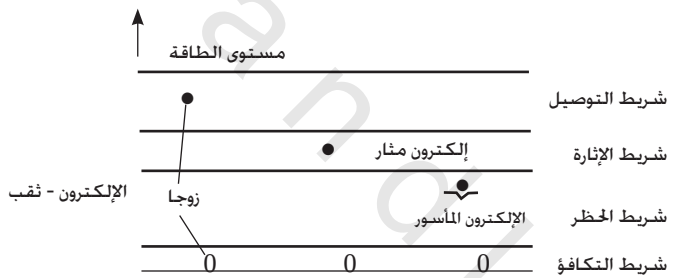
3 - 3 - 1 - 4 الكواشف الحرضوئية

إن الكواشف الحرضوئية هي من كواشف المواد الصلبة، وهي أصناف معينة من المواد البلورية التي تظهر آثارا قابلة للقياس عند تعرضها لإشعاعات مؤينة، ففي مثل هذه المواد توجد الإلكترونات في أشرطة طاقة معينة تنفصل عن بعضها بواسطة أشرطة الحظر (انظر الشكل (3 - 3)). ويسمى أعلى شريط طاقة، الذي تتواجد فيه الإلكترونات عادة، شريط التكافؤ. إن انتقال الطاقة من الفوتون أو الجسيم المشحون إلى أحد إلكترونات التكافؤ ربما يرفعه من شريط التكافؤ عبر شريط الحظر إلى

شريط إثارة، أو ما يسمى شريط التوصيل، والفراغ الذي يخلفه تحرك الإلكترون يسمى ثقب، وهو مشابه للأيون الموجب في الكواشف الغازية.

يعرف تهيج الإلكترون إلى شريط التوصيل بالتأين، وإن زوج الإلكترون - ثقب يمكن مقارنته بالزوج الأيوني المتكون في الغازات. وكل من الإلكترون والثقب يتحرك عشوائيا ولا ينتج عن ذلك تيارا كهربائيا، إلا أنهما يتسارعان في اتجاهين متعاكسين عند وجود مجال كهربائي، فينتجان تيارا هو تيار الإلكترونات وتيار الثقوب، ومن ثَمَّ فإنهما يسهمان في التوصيل الكهربائي في المواد.

أما عملية تهيج الإلكترون إلى شريط الإثارة فتسمى الإثارة ويظل الإلكترون - في هذه الحالة ـ محيطاً بالثقب بواسطة القوى الكهربائية، ولكنه لا يسهم في التوصيل.



شكل (3 - 3): التأين والإثارة وصيد الإلكترون (2).

والعملية الثالثة التي يمكنها أن تقع هي صيد الإلكترون، وما فخاخ الصيد إلا عبارة عن تشوه أو عدم نقاوة في التركيب البلوري حيث يؤدي ذلك إلى أسر الإلكترونات في شريط الحظر. وتظهر العمليات الثلاث في الشكل (3 - 3).

يعتمد وجود الحالات الثلاثة - التي ربما تكون دائمة بالفعل أو أنها قد تبقى لمدة جد قصيرة ـ على طبيعة المادة، أو على درجة الحرارة إلى حد كبير. وبالرجوع إلى شريط التكافؤ، فإن فرق الطاقة ينبعث على شكل إشعاع فلوريسيني وهو عبارة عن فوتونات الضوء المرئي. أما في حالة الإلكترونات المصطادة فإنها لا تستطيع

الانتقال إلى شريط التكافؤ مباشرة ولكن يمكنها الانتقال إلى شريط الإثارة أولا عند توافر طاقة كافية لذلك عن طريق تسخين الكاشف، ومن ثم الانتقال إلى شريط التكافؤ، والضوء المنطلق كنتيجة لهذا يدعى ظاهرة الحرضوئية.

تستغل في الكاشفات الحرضوئية عملية اصطياد الإلكترونات، وتختار المواد بحيث إن إلكتروناتها التي تصطاد نتيجة للتعرض للإشعاعات المؤينة تكون مستقرة في درجات الحرارة الاعتيادية. فإذا ما سخِّنت المادة -بعد التشعيع- إلى درجة حرارية مناسبة (نحو 250ْم) فإن الإلكترونات المصطادة سوف تتحرر وتعود إلى شريط التكافؤ مع انبعاث فوتونات الضوء. ولهذا، فإذا ما سخن الجهاز في الظلام - ولكن تحت أنبوب للتضاعف الفوتوني - فإن الضوء الناتج يمكن قياسه حيث يتناسب مع جرعة الإشعاع التي استقبلها الكاشف. وأكثر المواد شيوعاً فلوريد الليثيوم (LiF)، ولكن هناك أنواعاً أخرى من المواد التي لها تطبيقات خاصة ومن ضمنها فلوريد الكالسيوم وبوريت الليثيوم.

ويعتمد الكشف عن غاز الرادون باستخدام الكواشف الحرضوئية بشكل رئيس على جسيمات ألفا التي تطلقها ولائد الرادون. في هذه التقنية يسمح للرادون بدخول حاوٍ يشتمل على كاشف حرضوئي بقربه قطعة معدنية، إما أن تكون مشحونة كهربائياً لغرض زيادة كفاءتها في جمع ولائد الرادون المترسبة عليها، أو لا تكون مشحونة. وهذه الولائد المترسبة على القطعة تتفكك مطلقة أشعة ألفا التي ترسب طاقتها في الكاشف الحرضوئي كما أسلفنا، وبعد تعرضها لقدر مناسب من الرادون في الوسط الذي وضعت فيه تستعاد هذه الكواشف وتقرأ بجهاز خاص بها، يتكون أساساً من مسخن صغير يرفع درجة حرارة الكاشف بشكل منتظم في وسط من النيتروجين، وتسقط الأشعة الضوئية المتحررة بالتسخين من الكاشف الحرضوئي على أنبوب للتضاعف الفوتوني الذي يحول الإشارة الضوئية إلى نبضة كهربية تقاس كما يقاس طيف الأشعة الضوئية المتحررة بالتسخين، وتسجل النتائج ويتمّ تحليلها عادة آلياً في الأجهزة التجارية. وللكواشف الحرضوئية استخدامات واسعة في قياس الجرع الإشعاعية الشخصية لأشعة جاما وللنيوترونات وغيرها من الأشعة المؤينة (2).

obeikandi.com

3 - 3 - 2 الكواشف المباشرة

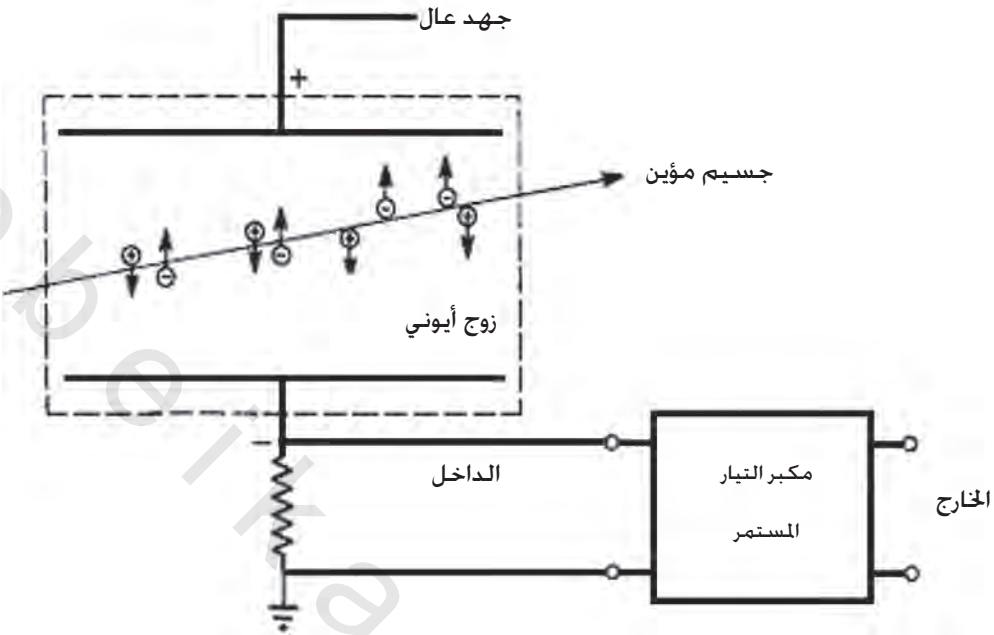
تعطي كواشف الرادون المباشرة قراءة آنية، وهذه الكواشف عديدة ومتنوعة، وسنتحدث هنا عن نوعين منها هما غرفة التأين والعداد التناسي.

3 - 3 - 2 - 1 غرفة التأين

سبق أن ذكرنا أن امتصاص الإشعاع في الغاز يؤدي إلى إنتاج أزواج أيونية تتكون من أيون سالب (الإلكترون) وأيون موجب، وعند تسليط فرق جهد متوسط بين لوحين (قطبين) متقاربين تنجذب الأيونات السالبة نحو القطب الموجب (الأنود)، والأيونات الموجبة نحو القطب السالب (الكاثود). وهذا السيل من الأيونات يشكل تياراً كهربائياً يعد مقياساً لكثافة الإشعاع في حيز الغاز، وبما أن التيار منخفض إلى حد كبير (نحو 10^{-12} أمبير عادةً) فتستعمل دائرة إلكترونية حساسة لقياسه يطلق عليها (مكبر التيار المستمر). ويسمى الجهاز بأكمله «غرفة التأين»، وما التيار المقاس إلا معدل قيمة تفاعلات عدة جسيمات مشحونة أو فوتونات مع جزيئات الغاز المستعمل في الكاشف (شكل (3 - 4)).

ويعتمد تصميم غرفة التأين وماهية الغاز الذي يملؤها على غرض الاستعمال، ففي أجهزة الفيزياء الصحية تبنى جدران الغرفة من مادة ذات عدد ذري منخفض وتملأ عادة بالهواء. أما إذا كان الجهاز معدا لغرض قياس إشعاع بيتا، فيجب أن تحتوي الغرفة على جدران أو نافذة رقيقة (2).

openkandil.com



شكل (3 - 4):جهاز غرفة التأين (2).

3 - 3 - 2 - 2 العداد التناسبي

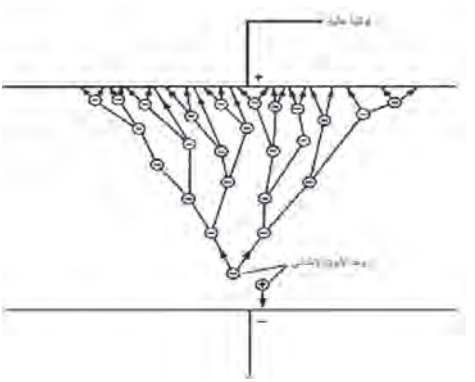
إذا ما ازداد فرق الجهد المسلط قرب نقطة ما –في جهاز غرفة تأين– فسوف تحصل ظاهرة يطلق عليها اسم تضاعف تأين الغاز، ويحصل هذا بسبب أن الإلكترونات الناتجة عن التأين تتسارع بواسطة الجهد المسلط إلى طاقة عالية تمكنها من إحداث تأينات أخرى بنفسها قبل وصولها إلى الأنود مما ينتج عنها مراحل عدة من التأين (شكل (3 - 5))، ولهذا فإن كلاً من الجسيم المتأين الواحد أو الفوتون، يمكن أن يؤدي إلى نبضة كهربائية تكون كبيرة إلى حد يمكن من كشفها، وعند تجاوز مدى معين من فرق الجهد يصبح حجم النبضة متناسبا مع كمية الطاقة المترسبة بواسطة الجسيمات الأصلية أو الفوتونات، ويطلق على هذا الجهاز اسم العداد التناسبي. والمصطلح (عداد) يعنى أن الخارج من الجهاز عبارة عن سلسلة

من النبضات التي يمكن عدها بطريقة ما، التي هي أفضل من معدل التيار الذي يتم الحصول عليه في غرفة التأين (2).

3 - 4 قياس غاز الرادون المشع في الماء

هناك طرق عديدة لقياس تركيز غاز الرادون في الماء تشمل كواشف الآثار النووية، ومطياف جاما، والسائل الوميضي، وفصل الرادون ثم قياسه بإحدى الطرق السالفة الذكر. وفي تقنية كواشف الآثار النووية توضع عينة الماء في أنبوبة طويلة (مقارنة بقطرها) مغلقة وغير مملوءة ويلصق كاشف الآثار في السطح الداخلي العلوي للأنبوبة، وعند تحرر غاز الرادون من الماء يتفكك هو وولائده مطلقاً جسيمات ألفا التي تترك آثاراً على الكاشف عند اصطدامها به، ويمكن عدها بعد المعالجة الكيميائية أو الكيميائية ـ الكهربائية.

وعندما يكون تركيز الرادون مرتفعا في الماء يمكن قياسه باستخدام تقنية طيف جاما باستخدام الكاشف الوميضي NaI أو كاشف الجرمانيوم Ge (Li) التي تقيس أشعة جاما المتحررة من ولائد الرادون، ويمكن ـ إذا لزم الأمر ـ التمييز بين غاز الرادون والراديوم الموجودان أصلاً في الماء وذلك بإعادة القياس بعد ثلاثين يوماً، وعند هذا الوقت يكون غاز الرادون الموجود أصلاً قد تلاشى بالتفكك الإشعاعي، ويبقى الرادون المتولد عن الراديوم ـ 226.



شكل (3 - 5): ظاهرة تضاعف تأين الغاز التي هي أساس عمل العداد التناسبي (2).

أما في تقينه السائل الوميضي فتخلط عينة من الماء في مذيب السائل الوميضي ثم تعد الومضات المتكونة نتيجة تفاعل الإشعاع مع السائل الوميضي، يتحرر على أثرها ومضة ضوء يكشفها العداد (انظر باب (3 - 2)).

ومن التقنيات الدقيقة في قياس تركيز غاز الرادون في الماء –خاصة عندما يكون تركيزه منخفضا– طريقة فصل الغاز عن الماء، وقياس إشعاعيته باستخدام أحد الكواشف مثل كبريتيد الخارصين الوميضي. ويمكن فصل الرادون عن الماء بتمرير غاز الهليوم به، ثم يمرر خليط الغازين (الهليوم والرادون) بمصيدة لغاز الرادون مثل فحم الخشب المبرد الذي يمسك بالرادون، وبتسخينه يتحرر الغاز في خلية لوكس الحاوية على الكشاف فتقاس الإشعاعية كما ذكر آنفاً (انظر باب (3 - 2)).

3 - 3 - 5 المقارنة والمعايرة الدولية لمقاييس غاز الرادون

تجرى في بعض الدول بشكل دوري مقارنة قياسات الكواشف غير المباشرة لغاز الرادون وولائده المستخدمة في كثير من مختبرات دول العالم، بغرض التأكد من التطابق في هذه القياسات، ويتم ذلك بإرسال كل مختبر ومركز لمجموعة من كواشفه إلى مركز المعايرة حيث تعرض لجرعات معلومة ومتفاوتة من غاز الرادون، وذلك بوضعها في حجرة مخصصة للتشعيع، يمكن التحكم بتركيز غاز الرادون فيها، وذلك بتغيير مدة التعرض لتركيز ثابت من الغاز في حجرة المعايرة، أو بتغيير تركيزه في الحجرة وتثبيت زمن التعرض له، ثم يعاد إرسال كل مجموعة من هذه الكواشف، إلى مختبرها الذي يقوم بقياس تركيز الرادون المسجل على كواشفها دون أن تعرف مقدار ما عرضت له، ثم ترسل نتائج قياساتها إلى مركز المعايرة الذي يقوم بمقارنة النتائج التي يتم نشرها، دون ذكر أسماء المراكز المشاركة. وهذه المقارنات مفيدة في معرفة مدى تطابق قراءات الأجهزة مع التعرضات الحقيقية. وتقدم مراكز المعايرة هذه الخدمة مقابل رسوم محددة.

Obeikandl.com