الفصل الثاني

وحدات الإشعاع والجرعة الإشعاعية للرادون

2 - 1 تمهيد

تتكون جميع المواد من عناصر وتتركب هذه العناصر من جزيئات، وتتركب الجزيئات من ذرات، فالذرات هي وحدة البناء الأساسية للعناصر. وتتركب كل ذرة من نواة تدور حولها إلكترونات. ويطلق على الذرة أنها مشعة إذا كانت نواتها لها القدرة على إطلاق إشعاع ذري أو أكثر في عملية تسمى عملية التفكك أو الاضمحلال الإشعاعي. والزمن الذي يستغرقه تفكك نصف الذرات يدعى بعمر النصف، فبعد ضعف عمر النصف يقل عدد الذرات الأصلية إلى الربع (1/2 × 1/2). الذرة الوليدة عن عملية التفكك الإشعاعي قد تكون مشعة أيضا وفي هذه الحالة فإنها ستتفكك، وستستمر هذه العملية حتى تصل إلى ذرة وليدة مستقرة (غير مشعة). ولكل ذرة مشعة عمر النصف والإشعاع الخاص بها.

ووحدة معدل التفكك الإشعاعي الاولى هي الكوري (Ci). وقد عرفت أساسا على أنها معدل تفكك غرام واحد من الراديوم ـ 226، وتساوي 37 بليون تفكك إشعاعي في الثانية تقريبا، وحددت فيما بعد بهذا المقدار. ومن المفيد تعريف وحدة أصغر وهي البيكوكوري وتعادل 10^{-12} كوري. وفي الاستخدام الدولي عرفت وحدة أخرى هي البيكريل (Bq) ضمن النظام الدولي للوحدات (S.I). وتعادل تفكك إشعاعي واحد بالثانية، أو 27 بيكوكوري تقريباً.

وقدرة الجسيمات المتحررة في التفكك الإشعاعي على إحداث التلف مرتبطة بشكل كبير بمقدار طاقتها الحركية، وتقاس طاقة هذه الجسيمات بوحدة تعرف بالإلكترون فولت (eV). والإلكترون فولت هو مقدار الطاقة الحركية التي يكتسبها الإلكترون إذا سرّع بفرق جهد كهربائي قدره فولت واحد. إن هذه الطاقة صغيرة جدا، فمثلا إذا كانت طاقة الإلكترون هي واحد إلكترون فولت فإننا سنحتاج إلى $2,6 \times 10^{19}$

إلكترونا تفرغ طاقتها في غرام واحد من الماء حتى ترفع درجة حرارته بمقدار درجة مئوية واحدة! لهذا نستخدم في الفيزياء النووية مليون إلكترون فولت (MeV) الذي يساوي 10^6 إلكترون فولت.

2 - 2 أنواع الإشعاع الذري الذي تطلقه الذرات المشعة

في الدراسات الأولى للإشعاعية تم تحديد ثلاثة أنواع من الإشعاعات الذرية سميت بإشعاعات ألفا، وإشعاعات بيتا، وأشعة جاما. وبعد التعرف بشكل أفضل على صفات هذه الأشعة سميت بجسيمات ألفا وبيتا وأشعة جاما. وهذه الأنواع الثلاثة هي التي تشكل خطورة إشعاعية في المواد المشعة في الطبيعة، وفيما يلي تعريف بصفاتها.

جسيمات ألفا: تتفكك نوى بعض الذرات الثقيلة بإطلاق جسيم موجب الشحنة بطاقة عالية، هو أثقل آلاف المرات من الإلكترون. و هذا الجسيم الثقيل نسبيا يدعى بجسيم ألفا. وقد عرف بأنه نواة ذرة الهليوم. وعندما يخسر جسيم ألفا طاقته الحركية يتعادل كهربيا بجذب إلكترونيين فيصبح ذرة طبيعية للهليوم. واليورانيوم ـ 238 والراديوم ـ 226 والرادون ـ 222 كلها تطلق جسيمات ألفا.

جسيمات بيتا: من التفكك الإشعاعي المعروف للنظائر المشعة إطلاق جسيم خفيف سالب الشحنة عرف بأنه إلكترون ويعرف بجسيم بيتا. وتتحرر جسيمات بيتا من النوى الخفيفة والثقيلة للذرات المشعة على حد سواء، مثل التريتيوم (هيدروجين – 3) والرصاص – 214.

أشعة جاما: يترك إطلاق النظائر المشعة لجسيم ألفا أو بيتا النوى الوليدة – عادة– في حالة استثارة نتيجة امتلاكها طاقة زائدة، تفقدها بالإطلاق الآني لأشعة جاما. وصفاتها مماثلة للضوء المرئي، إلا أن طاقتها تبلغ نحو مليون ضعف طاقة أشعة الضوء المرئي. ومن النظائر المشعة التي تطلق أشعة جاما بعد إطلاقها لجسيم بيتا السيزيوم – 137 واليود – 131، وهناك بعض النظائر المشعة التي تطلق جسيم بيتا دون أن تطلق أشعة جاما مثل عنصر السترونشيوم – 90 والتريتيوم، إلا أن هذا النوع من التفكك غير معتاد.

جدول (2 - 1) أنواع الإشعاع الذري الذي تطلقه نوى الذرات المشعة وما يتطلب لإيقافها.

نوع الإشعاع	شحنته	كتلته م أف	ما يتطلب لإيقافها
جسيم ألفا	+2	3727	0,2 م من الورق
جسيم بيتا	-1	0,511	100 م من الخشب
أشعة جاما	0	0	50 سم من الخرسانة

م أ ف: مليون إلكترون وهي وحدة لقياس الطاقة استخدمت لقياس كتلة الجسيمات.

2 - 3 قدرة أنواع الإشعاع الذري على الاختراق

إن درجة الخطورة لمصدر معين من الإشعاع يعتمد على شدة إشعاعيته، وطاقة إشعاعه، وعلى موقع التشعيع في الجسم ، كما يعتمد طبعا على نوع الإشعاع. لكل من جسيم ألفا أو بيتا مدى محدد للاختراق في المواد، يعتمد على طاقتها، فمدى جسيم بيتا المعتاد في النسيج اللحمي هو 1,5مم تقريبا، وهذا يكفي لاختراق البشرة ليصل إلى الأنسجة الجلدية، في حين أن المدى المعتاد لاختراق جسيم ألفا للنسيج اللحمي هو 0,05 مم، لذا لا يستطيع اختراق البشرة، وعلى ذلك فإن النظائر التي تطلق جسيمات ألفا لا تشكل خطورة إلا عند دخولها الجسم عن طريق الغذاء أو التنفس أو عبر الجروح، في حين أن مشعات جسيمات بيتا تشكل خطورة على الجلد عند مجرد انتشارها أو إذا كانت قريبة من الجسم وغير محجوزة في حاوٍ عنه.

أما أشعة جاما فلها القدرة على الاختراق العميق للمواد، لذا فهي تشكل خطورة إشعاعية خارجية وداخلية. أما مقدار الضرر الذي يحدثه الإشعاع فيعتمد على نوعه ومقداره وطاقته وموقعه من الجسم(7).

2 - 4 وحدات الجرع الإشعاعية

يتفاعل الإشعاع الذري مع المادة التي يسقط عليها فيفقد من طاقته محدثا التأين في ذرات تلك المادة، والتأين هو عبارة عن فقدان الذرة لأحد إلكترونات المدار أو

أكثر، ومادام الإلكترون قد فقد، تصبح شحنة الذرة موجبة، ويعرف كل من الذرة والإلكترون المنفصل بزوج أيوني. ويعتمد مقدار التلف الذي يحدثه الإشعاع بالمادة على مقدار الطاقة التي يفقدها الإشعاع في وحدة الكتلة من المادة، وتعرف بالجرعة الإشعاعية أو الجرعة وهي مقدار الطاقة المترسبة أو الممتصة -في أي وسط- من قبل أي نوع من أنواع الإشعاع الذري، ولقد كانت الوحدة الأصلية للجرعة هي الراد (rad) التي عرفت على أنها طاقة مترسبة قدرها 0,01 جول/كغم. وتسمى وحدة الجرعة في النظام الدولي للوحدات باسم جراي (Gy) وتعرف على أنها (ترسيب طاقة قدرها 1جول/كغم). لذا فإن الجراي يعادل مئة راد، ومع كون كمية (الجرعة الإشعاعية) فكرة فيزيائية مفيدة، إلا أنها لا تعكس مفهوم التساوي في درجة التلف -للأنسجة الحية- الناتجة عن الجرعة نفسها للأنواع المختلفة من الإشعاع، فلقد وجد -على سبيل المثال- أن 0,05 جراي من جسيمات ألفا يمكنها إحداث تلف في الأنسجة الحية مماثل لما يحدثه جراي واحد من أشعة جاما أو من جسيمات بيتا، وهذا الفرق يجب أخذه بنظر الاعتبار إذا ما رغبنا في جمع جرعات من مختلف الإشعاعات لإيجاد الجرعة الكلية المؤثرة حيويا، ولإنجاز هذا يجب ضرب جرعة الامتصاص بمعامل الإشعاع النوعي (w_R) الذي يعكس قدرة ذلك الإشعاع لإحداث التلف، وعندما تضرب جرعة الامتصاص بعامل الإشعاع النوعي تعرف الكمية الناتجة باسم (الجرعة المكافئة)، ووحدة الجرعة المكافئة في النظام الدولي للوحدات هي (سيفرت) ويرمز لها (Sv)، ويمكن ربطها بالجراي (Gy) كالآتي :

الجرعة المكافئة (Sv) =

الجرعة الإشعاعية (Gy) × معامل الإشعاع النوعي (w_R)

وقيمة معامل الإشعاع النوعي (w_R) تعتمد على كثافة التأين الناتج عن الإشعاع، حيث ينتج جسيم ألفا نحو مليون زوج أيوني في المليمتر الواحد من المسار في النسيج الحيوي، بينما جسيم بيتا ينتج نحو عشرة آلاف منها فقط. ومعامل الإشعاع النوعي (w_R) أعطي قيمة واحد لإشعاع جاما وبيتا، وقيمة 20 لجسيمات ألفا.

وتتباين الأنسجة المختلفة في حساسيتها للإشعاع، وهذا يصعب أمر التعامل مع تعرض أجزاء الجسم غير المتساوي للإشعاع، وهو أمر معتاد في التعرضات الإشعاعية، لذا فإن هناك حاجة لإدخال مصطلح آخر يسمى «الجرعة المؤثرة» ويحصل عليه من جمع الجرع المكافئة لكل أنسجة وأعضاء الجسم بعد ضرب كل واحد منها بمعامل النسيج النوعي (w_T) الخاص به عند تعرضه للإشعاع. ويمكن كتابة ذلك بالمعادلة الآتية :

الجرعة المؤثرة (E) =

مجموع (الجرعة المكافئة (H_T) × معامل النسيج النوعي (w_T))

حيث إن (H_T) هو الجرعة المكافئة للنسيج ($_T$). وينبغي الإشارة هنا إلى أن وحدة الجرعة المؤثرة هي أيضا السيفرت (Sv).

2 - 5 حالة الاستقرار بين غاز الرادون وولائده

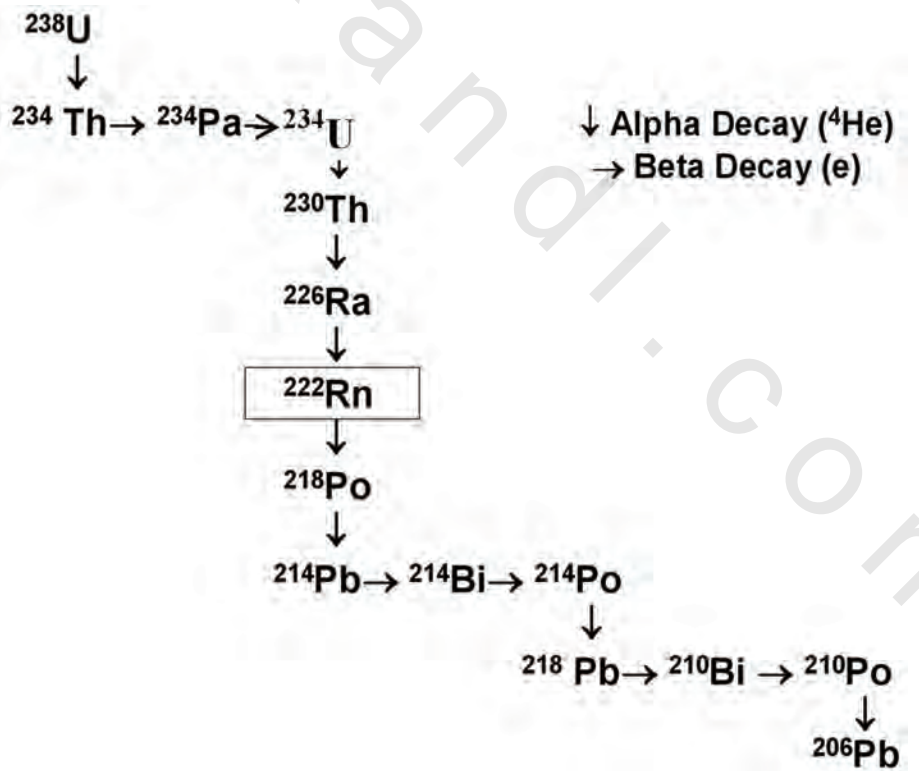
لغاز الرادون - 222 عدة ولائد، اثنان منهما يطلقان جسيم ألفا وهما: بولونيوم - 218 وبولونيوم - 214 ويشكلان المصدر الرئيس للتلف الإشعاعي عند تفككهما في الرئة. أما غاز الرادون نفسه فنظرا لكونه خاملاً كيميائياً فإن ما يستنشق منه يخرج معظمه مع الزفير، إلا قليل من الذي ينتقل إلى الدم أو يتفكك في الرئة. لهذا فإن خطورة الرادون تنبع من ولائده غير الغازية فعندما تستنشق فإنها تترسب على السطح الداخلي للرئة.

غاز الرادون - 222 هو الوليد المباشر للراديوم - 226، الذي هو أحد أفراد سلسلة التحلل الإشعاعي لليورانيوم - 238. ويوضح الشكل (2 - 1) سلسلة تحلل اليورانيوم، كما أن جدول (2 - 2) يبين أعمار الأنصاف والإشعاع المتحرر في السلسلة. وفيه أن عمر نصف الرادون هو 3,82 يوما مما يسمح له بالحركة مسافة ملحوظة في البيئة من موقع تولده.

في سلسلة التفكك للنظائر المشعة التي تبدأ بنظير ذي عمر نصف طويل ، تتغير كمية كل وليد حتى يتعادل مقدار تولده مع مقدار تفككه، حتى تحدث حالة استقرار تكون فيها إشعاعية كل وليد متساوية مع ما قبله وما بعده ومساوية لإشعاعية النظير الأب،

obeikandl.com

ويقال لنظائر السلسلة المشعة حينئذ إنها في حالة استقرار. والزمن اللازم لحدوث حالة الاستقرار هذه يعتمد على معدل تفكك كل وليد في السلسلة، فإذا كانت البداية هي غاز الرادون فحسب بعدِّه الأب، وكان تفككه الإشعاعي هو السبيل الوحيد لنقصانه فإن الزمن الذي يستغرقه كل وليد للوصول إلى حال استقرار موضح في الجدول (2 - 3)، ولم يتم فيه وضع الولائد بعد البولونيوم – 214 نظرا لطول عمر النصف للرصاص – 210 الذي يزال بالترسب من الهواء على السطوح المختلفة قبل أن يتفكك إشعاعياً، وكذا الحال بالنسبة للرصاص – 210 الذي يترسب في الرئة بالاستنشاق أو بالتفكك الإشعاعي للبولونيوم – 214، ويغلب خروجه من الرئة بالعمليات الحيوية قبل أن يتفكك. لذا فإن السلسلة الإشعاعية تنقطع في الحقيقة بعد البولونيوم – 214. ولهذا فإن ولائد الرادون التي تشكل خطورة في حدوث مرض سرطان الرئة هي الولائد قبل الرصاص – 210، وهي البولونيوم – 218، والبزموث – 214، والبولونيوم – 214، والرصاص – 214.



شكل (2 - 1): سلسلة الاضمحلال الإشعاعي لليورانيوم – 238، ويظهر فيه غاز الرادون (25).

obeikandl.com

والرموز الكيميائية المستخدمة هي U ويشير إلى اليورانيوم، وTh للثوريوم، وPa للبروتاكتينوم، وRa للراديوم، وRn للرادون، وPo للبولونيوم، وBi للبزموث، وPb للرصاص.

2 - 6 الإشعاعية في الهواء:

العامل الفاصل في تحديد خطر الوسط البيئي الملوث بالرادون هو المقادير النسبية الموجودة من كل واحد من ولائد غاز الرادون في الهواء. وهذه المقادير النسبية تتفاوت بين وجود غاز الرادون فقط، إلى وجود ولائده معه في أعلى تركيز لها عندما يكون الجميع في حالة الاستقرار، وهي الحالة التي تكون فيها إشعاعية كل وليد متساوية مع ما قبله وما بعده، ومساوية لإشعاعية النظير الأب وهو غاز الرادون (انظر باب (2 - 5)). وسبب هذا التفاوت هو وجود مصادر أخرى لغاز الرادون، أو عمليات إزالة أخرى، فهذه العمليات تغير النسب المتوافرة من غاز الرادون وولائده في الهواء. والعامل الرئيس لإزالة غاز الرادون داخل المبنى هو التهوية، أما إزالة ولائده فتحدث بالتصاقها على السطوح في المسكن مثل الجدران والأثاث. وعند ثبات مصادر غاز الرادون وطرق إزالته وولائده فإن غاز الرادون وكل من ولائده تثبت عند نسب معينة دون حالة الاستقرار، بعد مضي الزمن اللازم، وهي أربع ساعات تقريبا (انظر جدول (2 - 2))، وحيث إن تركيز نظائر سلسلة غاز الرادون حتى البولونيوم – 214 هي التي تحدد خطورة الاستنشاق، فإن من المهم معرفة مقدار نقصانها مقارنة بقيم حالة الاستقرار. ونظرا لصعوبة قياس ولائد غاز الرادون مقارنة بقياس الغاز، فإن من المعتاد تقدير نسبة الولائد من قياس غاز الرادون باتخاذ متوسط تركيز نسبي لها، وهو نصف تركيزها في حالة الاستقرار.

openkandil.com

جدول (2 - 2) أعمار الأنصاف والإشعاع الرئيس المتحرر في تفكك اليورانيوم -238 (7).

النظير	عمر نصفه	الإشعاع المتحرر وطاقته (م ا ف)
يورانيوم - 238	$4,47 \times 10^{9}$ سنة	α: 4,149 (%24) و4,149 (%77)
ثوريوم - 234	24,1 يوم	β: 0,198 (%74)
بروتواكتينيوم - 234	1,17 دقيقة	β: 2,29 (%98)
يورانيوم - 234	244500 سنة	α: 4,721 (%27) و4,773 (%72)
ثوريوم - 230	75000 سنة	α: 4,621 (%23) و4,688 (%76)
راديوم - 226	1600 سنة	α: 4,602 (%6) و4,785 (%94)
رادون - 222	3,82 يوم	α: 5,490 (%100)
بولونيوم - 218	3,11 دقيقة	α: 6,003 (%100)
رصاص - 214	26,8 دقيقة	β: 0,65 (%50)
بزموث - 214	19,8 دقيقة	β: حتى 3,28 γ: 0,609 (%46) و1,120 (%15) و1,765 (%16)
بولونيوم - 214	$1,6 \times 10^{-4}$ ثانية	α: 7,687 (%100)
رصاص - 210	22,3 سنة	β: 0,015 (%81)
بزموث - 210	5,01 يوم	β: 1,161 (%100)
بولونيوم - 210	138 يوم	α: 5,298 (%100)
رصاص - 206	مستقر	---

جدول (2 - 3) الزمن التقريبي لوصول ولائد غاز الرادون إلى حالة الاستقرار معه (7).

الوليد	عمر نصفه	الزمن بالدقيقة لوصول الاستقرار إلى النسبة المئوية المحددة			
		%25	%50	%90	%99
بولونيوم ← 218	3 دقائق	1	3	10	20
رصاص ← 214	27 دقيقة	16	31	95	180
بزموث ← 214	20 دقيقة	36	60	135	230
بولونيوم ← 214	<< ثانية	36	60	135	230

obeikandl.com

عندما تتفكك إحدى الذرات المشعة فإن الذرة الوليدة ترتد وهي بحالة مؤينة، فإذا كان التفكك بإطلاق جسيم ألفا فإن طاقة الارتداد تكون كبيرة (نحو مئة ألف إلكترون فولت)، أما إذا كان التفكك بإطلاق جسيم بيتا فإن طاقة الارتداد تكون أقل كثيرا.

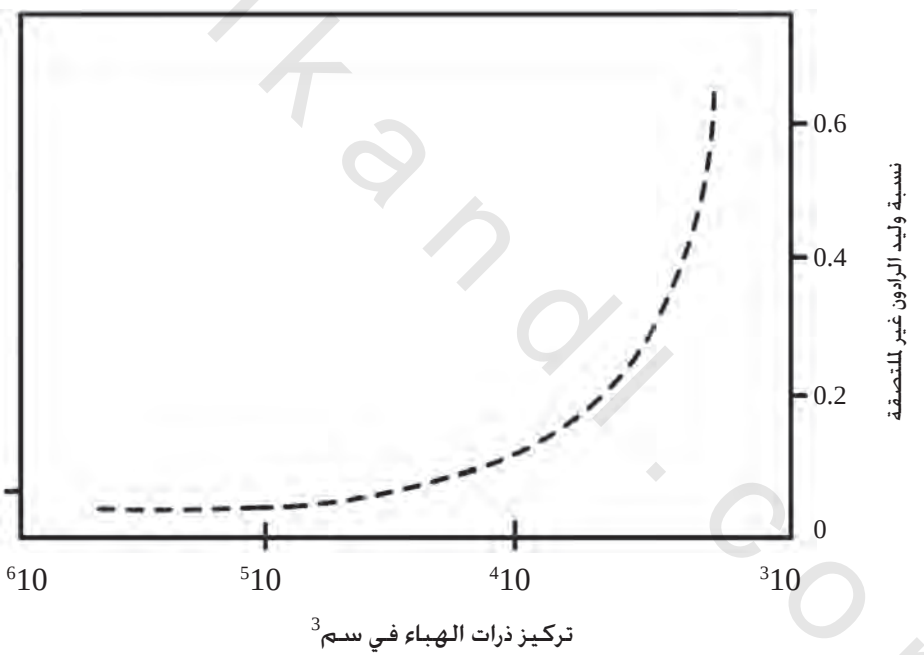
ويتفاعل الأيون المرتد بشدة مع الذرات المجاورة فيتعادل كهربائيا. والذرة الناتجة تملك شحنة زائدة فتكون شديدة التفاعل الكيميائي، ويمكنها أن تتفاعل مع أحد مركبات الهواء مثل الأوكسجين أو الغازات النادرة مما يقود إلى تغير في صفاتها الكيميائية. فإن كانت أيونا في الهواء فإن قوى جذب الكهربائية المستقرة تجعل من السهولة على هذه الذرة الوليدة أن تلتصق بذرات الهباء[1]، وإذا كانت ذرة متعادلة كهربائيا فإنه من الممكن أن يحدث لها ادمصاص بواسطة ذرات الهباء الجوي وفي كلتا الحالتين فإن الذرة الوليدة ستترسب في الرئة، أو على سطوح الغرفة.

وتعرف ذرات الهباء بأنها مجموعة من الذرات الصلدة أو السائلة المنتشرة في وسط هوائي ولها القدرة على التعلق في هذا الوسط لمدة طويلة نسبيا (أي يمكن عدّها مستقرة) ولها مساحة سطحية كبيرة مقارنة بحجمها، وعدد ذرات الهباء في الهواء هو عادة كبير، يقدر بعدة مئات في السنتيمتر المكعب الواحد أو يزيد (8).

والأقطار الهندسية لذرات الهباء تقع عادة بين 0,001 من المايكرون و100 مايكرون، والمايكرون هو واحد بالمليون من المتر(7). وعلى ذلك فإن الولائد التي يحدث لها ادمصاص على أسطح هباءات الجو التي تحمل معها وتترسب في الرئة على هذا الأساس. والولائد التي يحدث لها ادمصاص تمثل الجزء الملتصق. أما بقية الولائد في الهواء التي هي عبارة عن خليط من الأيونات الحرة والأكاسيد وأنواع أخرى من الأشكال الكيميائية فإنها في ـ العادة صغيرة – الحجم جدا (بقطر الأنجستروم الذي يساوي 10^{-8}سم) وهي تتكتل مع عدة جزيئات من الماء وتمثل الجزء غير الملتصق. وتكون ولائد الرادون في الهواء خليطا من الجزء الملتصق وغير الملتصق،

(1) الهباء الجوي: هو جسيمات صُلبة صغيرة جداً، لا ترى بالأعين، إلا في مكان مظلم نفذت إليه أشعة الشمس من كوة مثلاً، فيُرى بعضه يتطاير في الهواء.

وعندما تستنشق لتصل الرئة فإن كل جزء له سلوك ترسب مختلف، يعتمد على صفاته الفيزيائية والكيميائية، وهناك استقرار حركي في الهواء بين الجزئين، ومن المهم معرفة تركيز وتركيب كل منهما، لذا فمن المعتاد عند تصنيف ولائد الرادون في البيئة لغرض تقويم الضرر أن يحدد الجزء غير الملتصق لكل وليد. فالجزء غير الملتصق للبولونيوم – 218 هو عادة أقل من 10% في البيئة داخل المباني، ويمكن أن تكون النسبة أكبر في الأوساط الخالية من الغبار أو الدخان الذي يمثل ذرات الهباء (انظر شكل(2 - 2))، في حين أن الأجزاء غير الملتصقة في الولائد الأخرى تكون أقل من ذلك بكثير.



شكل (2 - 2) تغير نسبة البولونيوم – 218 غير الملتصق مع تركيز الهباء في الهواء(71).

وولائد التفكك يمكن أن تلتصق على أي سطح متوافر، وفي الوسط المغلق الذي يحوي سطوح مختلفة مثل الجدران والأثاث في غرفة مغلقة فإن الالتصاق بالسطوح، والانفصال عنها يصبح أمرا معقدا للغاية (7).

obeikandl.com

2 - 7 تعريف بالمصطلحات الخاصة بولائد غاز الرادون المشع:

إن خطورة غاز الرادون تتبع بصورة رئيسة من ولائده القصيرة العمر، فهذه الولائد تبقى في الرئة وتتفكك بإطلاق جسيمات ألفا التي تفرغ طاقها الحركية في النسيج الرئوي. ويقدر ما يبقى في الرئة من هذه الولائد المستنشقة بنحو 30% (26) وتصنف ولائد الرادون في الهواء إلى ولائد ملتصقة بذرات الهباء، وأخرى غير ملتصقة كما أسلفنا، وخطورة الأخيرة أكبر نظراً لأن الولائد الملتصقة يحدث لبعضها ترشيح في الأنف أو الفم مما يقلل من احتمال دخولها الرئة وتشكيلها خطراً إشعاعياً، كما يزداد ترشيح ذرات الهباء وتقصر مدة بقائها عالقة في الهواء مع زيادة حجمها (26 ، 27 ، 28).

ولقياس تركيز هذه الولائد –الملتصقة وغير الملتصقة– في الهواء عرفت وحدة سوية العمل (Working level :WL) وكان تعريفها في بادئ الأمر لهواء مناجم اليورانيوم وبعد ذلك عمم على بقية المناجم وعلى هواء المساكن التي يقطنها الناس.

وإذا كان تركيز غاز الرادون المشع ثابتا في الهواء فإن تركيز ولائده قصيرة العمر يمكن أن يتفاوت تبعاً لعمليات الإزالة التي تحدث لها، كما أن مقدار ما يفرغ من طاقة جسيمات ألفا في الرئة يتناسب طرداً مع تركيز هذه الولائد في الهواء وطاقة جسيمات ألفا المتحررة. فذرة البولونيوم ـ 218 تطلق جسيم ألفا بطاقة 6 مليون إلكترون فولت في تفككها، وولائدها الآتيين: الرصاص – 214 والبزموث – 214 يطلق كل منهما جسيم بيتا منخفض الطاقة في تفككه. وكثافة التأين الذي تحدثه جسيمات بيتا في المادة منخفض حتى ولو كانت طاقة هذا الجسيم مرتفعة (انظر باب (2 - 4))، لهذا فإن مشاركتها منخفضة في إحداث التلف الإشعاعي مقارنة بجسيم ألفا. أما البولونيوم – 214 فيطلق جسيم ألفا بطاقة 7,69 مليون إلكترون فولت في تفككه. وعلى هذا يكون مجموع طاقة جسيمي ألفا المتحررين في تفكك الولائد القصيرة العمر للرادون هو 13,69 مليون إلكترون فولت. فإذا لم تكن هناك إزالة لولائد الرادون في الهواء غير تفككها الإشعاعي، وكانت في حالة استقرار معه فإن طاقة جسيمات ألفا المتحررة تكون في أوجها.

كذلك فإن كان تركيز غاز الرادون في الهواء هو 3,7 بيكريل/لتر (أي 3700 بيكريل/م^3)، وكان في حالة استقرار مع ولائده فإن هذا يمثل سوية عمل واحدة، وفي هذه الحالة فإن ولائد الرادون في اللتر الواحد من الهواء لها القدرة على توليد طاقة حركية لجسيم ألفا مقدارها 130,000 مليون إلكترون فولت تقريبا. فتعريف سوية العمل هو تركيز ولائد الرادون القصيرة العمر بأي نسب كانت شريطة أن تكون لها القدرة مجتمعة على توليد 130,000 مليون إلكترون فولت من الطاقة الحركية لجسيمات ألفا في اللتر الواحد من الهواء (انظر ملحق 1). وإذا أردنا أن نكون دقيقين أكثر فإن تركيز 3,7 بيكريل/لتر في الهواء من غاز الرادون الذي هو في حالة استقرار مع ولائده له القدرة على توليد 128,400 مليون إلكترون فولت من طاقة جسيمات ألفا الحركية في اللتر من الهواء. لهذا فإن التعريف الدقيق لسوية العمل لتركيز من غاز الرادون مقداره 3,748 بيكريل/لتر في الهواء في حالة استقرار مع ولائده (7).

ونظراً لعمليات الإزالة التي تحدث لولائد غاز الرادون غير التفكك الإشعاعي، فإن تركيز الولائد يكون عادة أقل من حالة الاستقرار، وفي هذه الحالة فإن تركيز 3,7 بيكريل/لتر من غاز الرادون في الهواء سيولد قيمة أقل من سوية عمل واحدة من طاقة جسيمات ألفا. وفي هذه الحالة يمكن حساب سوية العمل من معرفة تركيز ولائد الرادون قصيرة العمر، وعادة يفترض تركيز محدد للولائد في الهواء يعادل نصف تركيز حالة الاستقرار، وقد استمدت هذه القيمة من دراسات ميدانية في دول عدة وأخذ متوسط القيم، علماً أن تركيز الولائد في بعض الأجواء قد يختلف عن هذه القيمة كثيراً زيادة أو نقصاناً.

ولتعريف مقدار انخفاض تركيز الولائد القصيرة العمر مقارنة بتركيز غاز الرادون المشع في الهواء عُرِّف معامل الاستقرار F، فإذا كان تركيز الولائد في حالة استقرار مع الرادون في الهواء فإن معامل الاستقرار يساوي واحد، أما إذا كانت تركيز الولائد أقل من تركيز الرادون فإن معامل الاستقرار يكون أقل، ويفترض عادة أن معامل الاستقرار بين 0,4 و0,5.

إن الجرعة الإشعاعية الناتجة عن استنشاق ولائد الرادون تعتمد على تركيز كل من هذه الولائد في الهواء، والمدة التي يقضيها الإنسان في هذا الوسط. فإذا أخذنا عامل مناجم يقضي 2000 ساعة عمل في المنجم في السنة فإن عدد الساعات التقريبي التي يقضيها في العمل بالشهر هي 170، وهي القيمة المتخذة لساعات العمل الشهرية. فإن كان تركيز الولائد في هواء المنجم هو سوية عمل واحدة فإن مقدار الجرعة التي يتعرض لها في الشهر هي سوية عمل شهرية (WLM) (انظر الملحق 1)، فإذا افترضنا أن تعرضه الشهري ثابت بهذه القيمة ، فإن تعرضه السنوي يكون 12 سوية عمل شهرية. ولحساب جرعة ولائد الرادون لعموم الناس من بقائهم في المساكن وداخل المباني التي تقدر بنحو 80% من الوقت فإن هذه المدة تعادل:

$$\text{عمل شهري } 41 = \frac{0{,}8 \times 24 \text{ ساعة في اليوم} \times 365 \text{ يوم في السنة}}{170 \text{ ساعة}}$$

فإذا كان تعرضه فيها 0,1 سوية عمل فإنه يتعرض لجرعة سنوية مقدارها 4,1 سوية عمل شهرية. وقد وجد أن الإصابة بمرض سرطان الرئة في عمال المناجم المتعرضين لجرع مرتفعة من ولائد الرادون يتناسب طردياً مع الجرعة الإشعاعية المتراكمة عبر سنين العمل. ومن المفيد الإشارة هنا أنه قد استحدثت وحدات أخرى لقياس الجرعة الإشعاعية لولا ئد غاز الرادون (8) لن نتطرق لها.

obeikandi.com