

النشاط الإشعاعي ، الرادون ، والطاقة النووية

By
Dr.Muayad Albehadili
Professor of Marine Chemistry
College of Marine Sciences
Basrah University
IRAQ

سنعرض في هذا الفصل لدراسة العمليات النووية وكيف تؤثر على البيئة ، وصحتنا ، وإمدادات الطاقة لدينا. كل هذه المخاوف تركز على آثار النشاط الإشعاعي ، ومع هذا الموضوع سنبدأ. وهذا يسمح لنا بمناقشة الرادون ، وهو أهم ملوثات الهواء المشع في الأماكن المغلقة ، واليورانيوم المنضب. ثم نتحول إلى الطاقة النووية ونستكشف السبل التي يمكن أن تنتج بها الكهرباء والعواقب البيئية للنفايات المشعة التي تولدها هذه العمليات.

النشاط الإشعاعي و غاز الرادون:

طبيعة النشاط الإشعاعي: على الرغم من أن معظم الأنوية الذرية مستقرة إلى أجل غير مسمى ، إلا أن بعضها ليس كذلك. تتحلل النوى غير المستقرة أو المشعة بشكل عفوي عن طريق بث جسيم صغير يتحرك بسرعة كبيرة ، وبالتالي يحمل معه قدرًا كبيرًا من الطاقة. في بعض أنواع عمليات التحلل النووي ، يتم تحويل الذرات من تلك الخاصة بعنصر واحد إلى عنصر آخر كنتيجة لهذا الانبعاث. عناصر ثقيلة جدا عرضة لهذا النوع من التحلل بشكل خاص ، والذي يحدث عن طريق انبعاث جسيم صغير. قد تكون النوى الناتجة عن انبعاث الجسيم أو لا تكون هي نفسها راديوية ؛ إذا كانوا ، سيخضعون لتحلل آخر في وقت لاحق.

نتذكر بأن **عدد الكتلة** هو عدد من الجسيمات الثقيلة "البروتونات والنيوترونات" وليس الكتلة الفعلية للنواة.

والجسيم الفا (α) هو جسيم ينفث اشعاعيا له شحنة هي $+2$ وعدد كتله هو 4 وله 2 نيوترون و2 بروتون (وهو مماثل لنواة ذرة الهيليوم). وهكذا يتم كتابة جسيم الفا بالصيغة التالية: ${}^4_2\text{He}$. حيث ان 4 هي عدد الكتلة و2 يشير الى الشحنة النووية (اي عدد البروتونات).

النواة التي تبقى خلف الذرات التي فقدت جزيئا نوويا (جسيم α) لديها شحنة نووية اقل ب 2 وحدة من الاصلية ولها 4 وحدات اخف.

على سبيل المثال ، عندما تبعث نواة الراديوم 226 جسيم ألفا فان النواة الناتجة سيكون لها عدد كتلة = 226-4=222. ولها شحنة نووية = 88-2=86. وهذا الاخير يعتبر عنصرا جديدا بالكامل وهو نظير لعنصر الرادون. يمكن كتابة العملية كتفاعل نووي:



لاحظ أن كلا من إجمالي عدد الكتلة ومجموع الشحنة النووية يتوازنان بشكل فردي في مثل هذه المعادلات.

جسيم بيتا β هو إلكترون. يتشكل عندما ينقسم النيوترون إلى بروتون وإلكترون في النواة. وحيث أن البروتون يبقى خلف النواة عندما يتركه الإلكترون ، فإن الشحنة النووية (أو العدد الذري) تزداد بمقدار 1 وحدة (قد تتخيل هذا التأثير بأنه "ينسخ جسيماً سالباً"). لا يوجد أي تغيير في العدد الكتلي للنواة ، لأن العدد الكتلي للنيوترونات بالإضافة إلى البروتونات يبقى كما هو. على سبيل المثال ، عندما تتحلل ذرة من نظير الرصاص 214 تبث بفاعلية عن طريق انبعاث جسيم بيتا، فإن الشحنة النووية للنواتج = 82+1=83 المقابلة لعنصر البزموت. يبقى العدد الكتلي نفسه 214:



لاحظ أن الرمز $^0_{-1}\text{e}$ المستخدم هنا للإلكترون يظهر عدد كتلته (صفر) وشحنته ؛ في المعادلة مجموع اعداد الكتلة والشحنة النووية يجب ان تتساوى في طرفي المعادلة.

أحد الأنواع المهمة الأخرى من النشاط الإشعاعي هو انبعاث جسيم جاما γ (يسمى أيضاً الشعاع) بواسطة النواة. وهذه كمية هائلة من الطاقة تتركز في فوتون واحد ولا تمتلك كتلة جسيمية. لا يتغير رقم الكتلة النووية أو الشحنة النووية عندما ينبعث جسيم جاما γ . إن انبعاث جسيم جاما γ غالبا ما يصاحبه انبعاث جسيم ألفا α أو بيتا β من الانوية المشعة.

يمكن ايجاز خصائص الانواع الثلاثة من الاشعاع النووي بالجدول التالي:

Particle Symbol and Name	Chemical Symbol	Comment	Effect on Nucleus of Particle Emission
α (alpha)	4_2He	Nucleus of a helium atom	Atomic number reduced by 2
β (beta)	${}^0_{-1}e$	Fast-moving electron	Atomic number increased by 1
γ (gamma)	None	High-energy photon	None

الآثار الصحية للإشعاع المؤين

الجسيمات الفا وبيتا التي تنتج في الاضمحلال الإشعاعي لنواة ليست في حد ذاتها مواد كيميائية ضارة ، لأنها ببساطة نواة ذرة هيليوم وإلكترون. ومع ذلك ، يتم طردها من النواة مع كمية لا تصدق من طاقة حركية. عندما يتم امتصاص هذه الطاقة من خلال المادة التي يواجهها الجسيم ، فإنه غالباً ما يؤين الذرات أو الجزيئات. لهذا السبب ، يطلق عليه الإشعاع المؤين ، أو الإشعاع فقط. هذا الإشعاع يحتمل أن يكون خطيراً إذا تم امتصاصه ، لأن المكونات الجزيئية لأجسامنا يمكن تأينها أو تلفها بأي شكل آخر.

على الرغم من أن جسيمات الفا وبيتا نشطة ، إلا أنها لا تستطيع أن تسير بعيدا داخل جسم الإنسان ، لأنها تفقد قدرًا أكبر من طاقتها - وتبطئ بلطف - حيث تتصادم مع المزيد والمزيد من الذرات.

يمكن لجسيمات ألفا أن تسير فقط بضعة آلاف من السنتيمترات داخل الجسم ، لذا فهي لا تخترق. هذا بسبب انها ضخمة نسبياً ، وعندما تتفاعل مع المادة تبطئ حركتها ، وتلتقط الإلكترونات من الذرات ، ويتم تحويلهم إلى ذرات غاز هيليوم غير ضارة. إذا كان الجسيم ينبعث خارج الجسم ، فإنه عادة ما يتم امتصاصه في الهواء أو طبقة الجلد الميت ، لذلك لن يحدث لك أي ضرر. ومع ذلك ، يمكن للذرات المشعة المستنشقة أو المبتلعة أن تتسبب في أضرار داخلية خطيرة عندما تنبعث منها جسيمات. يكون الضرر شديداً بشكل خاص مع الجسيمات نظراً لأن الطاقة تتركز في منطقة صغيرة من الامتصاص تقع ضمن حوالي 0.05 ملم من نقطة الانبعاث. في تفاعلها مع المادة ، تكون الجزيئات مدمرة للغاية - أكثرها ضرراً من جميع الجسيمات - لأنها يمكن أن تضرب الذرات من الجزيئات أو الأيونات خارج مواقع البلورات. إذا كانت الجزيئات المصابة هي الحمض النووي أو الانزيمات المرتبطة به ، يمكن أن يؤدي الى موت الخلية. يمكن أن تكون النتيجة الأكثر خطورة للفرد هي خلق عوامل يمكن أن تؤدي إلى السرطان.

تتحرك جسيمات بيتا أسرع بكثير من جسيمات الفا لأنها أخف بكثير ويمكنها أن تسير حوالي 1 متر في الهواء أو حوالي 3 سم في الماء أو النسيج البيولوجي قبل أن تفقد طاقتها الزائدة. وهي مثل جسيمات الفا يمكن أن تسبب تلفاً كبيراً للخلايا إذا كانت تنبعث من جسيمات تم استنشاقها أو ابتلاعها ، وبالتالي تكون النواة المشعة قريبة من الخلية عندما تتحلل.

تمر أشعة جاما بسهولة عبر الجدران الخرسانية وبشرتنا. مطلوب بضعة سنتيمترات من الرصاص لحمايتنا من الأشعة. جزيئات غاما هي الأكثر اختراقاً ، وبالتالي الأكثر ضرراً من بين الثلاثة ، حيث تنتقل بضع عشرات من السنتيمترات إلى أجسادنا أو حتى من خلالها. وهي عموماً أخطر أنواع النشاط الإشعاعي ، حيث يمكنها اختراق المادة بكفاءة وليس من الضروري استنشاقها أو ابتلاعها. على الرغم من أنها قد تمر عبر أجسادنا ، تفقد الأشعة بعض طاقتها في هذه العملية ، ويمكن أن تتلف الخلايا بواسطة هذه الطاقة المنقولة ، حيث يمكنها تأين الجزيئات. لا يمكن للجزيئات المؤينة كالحمض النووي والبروتينات القيام بوظائفها الطبيعية ، مما قد يؤدي إلى مرض الإشعاع والسرطان.

الأيونات الناتجة عن الإشعاع عندما يتم نقل طاقتها إلى الجزيئات الجزيئية تنتج الجذور الحرة. وبالتالي فهي شديدة التفاعل. على سبيل المثال ، يمكن تأين جزيء الماء بواسطة اشعة الفا او بيتا او كاما أو بواسطة الأشعة السينية. ينفصل أيون الجذر الحر H_2O^+ الناتج فيما بعد إلى أيون الهيدروجين وجذر الهيدروكسيل الحر، OH^- :



إذا كان جزيء الماء المصاب متواجداً في الخلية ، يمكن أن يشترك جذر الهيدروكسيل في تفاعلات ضارة مع جزيئات بيولوجية في الخلية ، مثل الحمض النووي والبروتينات. في بعض الحالات ، يكون الضرر الإشعاعي كافياً لقتل خلايا الكائنات الحية. هذا هو أساس تشعيع الطعام ، حيث يساعد موت الكائنات الدقيقة على منع التلف اللاحق للأغذية.

إذا تعرض البشر إلى كميات كبيرة من الإشعاع المؤين ، فيمكن أن يصابوا بمرض إشعاعي. تحدث التأثيرات الأولى لهذا المرض الذي يجب ملاحظته في الأنسجة التي تحتوي على خلايا تنقسم بسرعة ، وذلك لأن تلف الحمض النووي للخلية أو البروتين يمكن أن يؤثر على الانقسام الخلوي. توجد هذه الخلايا التي تنقسم بسرعة في نخاع العظام ، حيث يتم إنتاج خلايا الدم البيضاء ، وفي بطانة المعدة. ليس من المؤكد أن نجد أن الأعراض المبكرة للمرض الإشعاعي تشمل الغثيان وانخفاض في عدد خلايا الدم البيضاء. الأطفال هم أكثر عرضة للإشعاع من البالغين لأن أنسجتها تخضع لمزيد من الانقسام الخلوي. من ناحية أخرى ، يمكن استخدام الإشعاع بفعالية لقتل الخلايا السرطانية لأنها تنقسم بسرعة. لسوء الحظ ، لا يمكن أن يكون العلاج الإشعاعي انتقائياً تماماً من حيث الخلايا التي يؤثر عليها ، لذلك فإن له آثاراً جانبية مثل الغثيان.

قد تظهر التأثيرات طويلة المدى من الإشعاع في الأضرار الجينية ، لأن الكروموسومات ربما تكون قد تعرضت لأضرار أو أن الحمض النووي قد تحور. وقد يؤدي مثل هذا الضرر إلى الإصابة بالسرطان لدى الشخص المعرض أو الآثار في نسلها إذا حدثت التغييرات في المبيضين أو الخصيتين.

تقاس كمية الإشعاع التي يمتصها الجسم البشري بوحدات rad (الجرعة الممتصة بالإشعاع) ، حيث 1 rad هي كمية الإشعاع التي ترسب 0.01 جول من الطاقة إلى 1 كيلوغرام من أنسجة الجسم. غير أن الراد ليس كمية مفيدة بشكل خاص ، لأن الضرر الناجم عن 1 راد من جسيمات ألفا يكون أكبر بمقدار 10 إلى 20 مرة من ذلك الناتج عن 1 راد من جسيمات بيتا أو أشعة كاما. مقياس الإشعاع الممتص الذي يدمج عامل الفعالية البيولوجية هذا هو rem (مكافئ رونتجن). وحدة أكثر حداثة من ريم هي سيفرت Sv ، والتي تساوي 100 ريم. في المتوسط ، يتلقى كل منا حوالي 0.3 ريم ، أي 300 ملي ريم أو 3000 ملي سيفرت ، من الإشعاع سنوياً. أصلها في المتوسط:

55 ٪ من الرادون في الهواء الداخلي والهواء الطلق ؛

8 ٪ من الأشعة الكونية من الفضاء الخارجي.

8 ٪ من الصخور والتربة.

11 ٪ من النظائر المشعة الطبيعية (على سبيل المثال ^{40}K ، ^{14}C) من العناصر الموجودة في أجسامنا ؛ و

18 ٪ من مصادر بشرية المنشأ ، والأشعة السينية الطبية بشكل رئيسي.

متوسط مساهمة إنتاج الطاقة النووية لا يكاد يذكر في الوقت الحاضر. يؤدي التعرض الحاد لأكثر من 25 ريمًا إلى انخفاض ملحوظ في عدد خلايا الدم البيضاء للشخص ؛ أكثر من 100 ريم تنتج الغثيان وتساقط الشعر. والتعرض لأكثر من 500 ريم تكون النتيجة هي 50 ٪ فرصة الموت في غضون بضعة أسابيع.

إشعاع النواة المشعة

لا يحدث الاضمحلال الإشعاعي للذرات في عينة النظائر كلها دفعة واحدة. على سبيل المثال ، في عينة من اليورانيوم ^{238}U ، وهي كبيرة بما يكفي للظهور ، هناك حوالي 10^{20} ذرة. فقط حوالي 10^7 من نوى ^{238}U في العينة تتحلل في ثانية معينة ، لذلك يتطلب مليارات السنين لإتمام عملية التحلل للعينة ككل.

وبما أن جميع النوى المشعة تحل من خلال عملياتها بحركية من الدرجة الأولى ، فمن الملائم التعبير عن معدل التحلل على أنه الفترة الزمنية اللازمة لنصف عدد الانوية في العينة لتتحلل - نصف عمرها - $t_{1/2}$. على سبيل المثال ، عمر النصف من ^{238}U حوالي 4.5 مليار سنة. حوالي نصف هذا النظير من اليورانيوم موجود عند تكوين الأرض (حوالي 4.5 مليار سنة) الآن قد استنفدت. نصف ما تبقى من ^{238}U ، تصل إلى ربع الكمية الأصلية ، سوف تتفكك على مدى 4.5 مليار سنة قادمة ، تاركة ربع الكمية الأصلي لا يزال سليماً. بعد مرور ثلاث فترات للنصف ، فقط الثامنة من الأصلي سيبقى ، فقط السادس عشر سيكون هناك بعد أربعة نصف حياة.

يمثل الشكل (أ) سلسلة الاضمحلال
 ^{238}U الاشعاعي لليورانيوم

الجزء (ب)

جزء من سلسلة الاضمحلال
 الاشعاعي لليورانيوم -
 238.

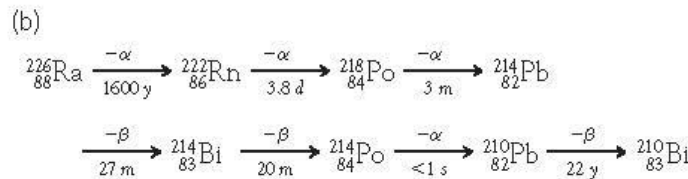
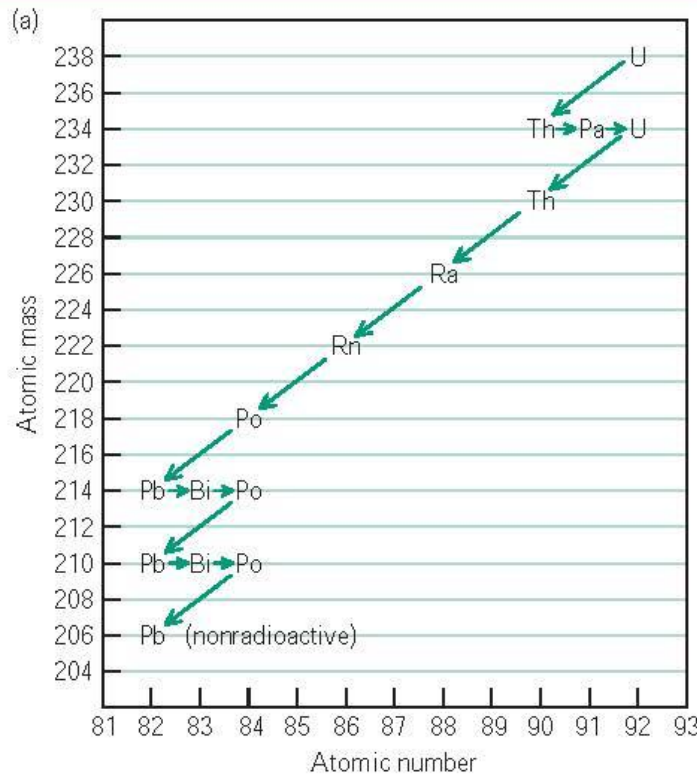
جزء راديوم - رادون.

الرمز فوق السهم يدل على
 نوع الجسيم المنبعث خلال
 عملية الانتقال.

الفترة الزمنية المشار اليها

اسفل السهم تمثل نصف حياة

النظير غير المستقر



رادون من تسلسل تفكك اليورانيوم 238

العديد من الصخور والترب الجرانيتية تحتوي على اليورانيوم ، وبالتالي فإن عملية الاضمحلال الإشعاعي تحدث تحت أقدامنا كل يوم ، رغم ان غاز الرادون احد المنتجات غير المرحب بها. كل نواة يورانيوم-238 في نهاية المطاف تبعث جسيم الفا وذرة من نظير الثوريوم-234 كما في المعادلة النووية التالية:



وهذا هو العنصر الاول من 14 عنصر في عملية الاضمحلال الاشعاعي المتسلسل لنواة اليورانيوم-238 الموضحة في الشكل السابق. آخر هذه التفاعلات تنتج النظير الرصاص-206 وهو نظير غير مشع ومستقر ولذلك فان السلسلة ستتوقف.

الجزء الاكثر اهمية من متسلسلة ال 14 عنصر السابقة هو عنصر الرادون لانه العنصر الوحيد مع الهيليوم الناتج من الانحلال الاشعاعي بصورة غازية. وبالتالي يحمل في الهواء ويكون اكثر خطرا. الناتج الفوري للرادون هو عنصر الراديوم-226 الذي له عمر نصف 1600 سنة عن طريق انبعاث جسيم الفا حسب المعادلة النووية التالية:



يبلغ عمر نصف النظير رادون-222 بحدود 3.8 يوم وهو ما يمكن ان يكون طويلا بما فيه الكفاية لان تنتشر من خلال الصخور الصلبة او التربة التي يتم تشكيلها في البداية. يهرب معظم الرادون مباشرة الى الهواء الخارجي عند عدم تغطية الصخور. ورغم ان الرادون يتحلل في غضون ايام قليلة, الا انه يتم استبداله باستمرار من خلال اضمحلال المزيد من الراديوم. وهناك خطورة كبيرة على المنازل من تسرب هذا الغاز من خلال الشقوق الخراسانية في الطوابق السفلى وكذلك انظمة المياه الجوفية في تلك المناطق الصخرية.

مقياس الجرعة الإشعاعية

يتم قياس معدل التفكك الإشعاعي في عينة من مادة ما بمقياس Bq (Bequerels) حيث ان 1 Bq يعادل تفكك نواة ذرية واحدة في الثانية. الوحدة البديلة المستخدمة هي الكيوري curie ويرمز لها Ci الذي يساوي 3.7×10^{10} Bq وهو النشاط الإشعاعي الناتج عن غرام واحد من عنصر الرادون-226.

في الانظمة البيئية عادة ما يعبر عن النشاط الإشعاعي بعدد Bq لكل وحدة حجم. وفي الولايات المتحدة الاميركية يعبر عنها ب picocuries حيث : $1 \text{ pCi} = 10^{-12} \text{ Ci}$.

على سبيل المثال تحدد وكالة حماية البيئة الاميركية المستوى الاعلى للرادون المسموح به في المنازل هو 4 pCi لكل لتر من الهواء.

يمكن حساب كمية الطاقة من الاشعاع الممتص من رئتي شخص في السنة اذا كان يتنفس الهواء الحاوي على الرادون بمعدل 4 pCi L^{-1} .

طاقة جسيم الفا المنبعثة من ذرة رادون تقدر ب $9.0 \times 10^{-13} \text{ J}$.

$$4 \text{ pCi L}^{-1} = 4 \times 10^{-12} \times 3.7 \times 10^{10} = 0.15 \text{ تفكك لكل لتر بالثانية}$$

ولان العدد السنوي الاجمالي من التفكك في 1 لتر من الهواء هو:

$$(60 \times 60 \times 24 \times 365) \times 0.15 = 4.7 \times 10^6 \text{ J}$$

وبالتالي فان العدد الاجمالي للطاقة المتحررة سنويا في هذه العملية:

$$4.7 \times 10^6 \times 9.0 \times 10^{-13} = 4.23 \times 10^{-6} \text{ J}$$

اذا افترضنا ان كل هذه الطاقة يتم امتصاصها بواسطة انسجة الرئة للانسان (بدلا من الهواء في الرئتين). حجم الرئة القابل للتبادل حوالي 1 لتر. كتلة الرئة حوالي 3 كغم.

بما ان 1 راد = 0.01 جول كغم⁻¹. الطاقة الممتصة تساوي $0.14 \text{ mrad} = 1.4 \times 10^{-4} \text{ rad}$. باستخدام عامل 10 لتحويل راد الى ريمس لاشعاع جسيم الفا. نجد ان جرعة الاشعاع السنوي تساوي 1.4 ملي ريم اي حوالي 0.5% من كمية التعرض الاصلية.

إشعاع من بنات الرادون

الرادون ، وهو اكبر عضو في مجموعة الغازات النبيلة ، خامل كيميائيا في ظل الظروف المحيطة ويبقى غازا أحادي الذرة. يصبح جزء من الهواء الذي نتنفسه عندما يدخل منازلنا. بسبب خمول حالته الفيزيائية، وانخفاض قابلية ذوبانه في سوائل الجسم ، فالرادون نفسه لا يشكل الكثير من الخطر لعدم وجود فرصة ليتفكك خلال الوقت القصير لمكوته في الرئة.

ينشأ خطر النشاط الإشعاعي للعناصر الثلاثة التالية في تسلسل تفكك الرادون - وبالتحديد البولونيوم والرصاص و البزموت, تسمى هذه الأحفاد بنات الرادون ، والذي بدوره يسمى العنصر الرئيسي. في الكميات الميكروسكوبية هذه العناصر تكون مواد صلبة وحين تنبعث في الهواء من الرادون فانها تسير كجزيئات الغبار. بعض جزيئات الغبار تلتصق باسطح الرئة عند استنشاق الهواء. وفي هذه الحالة فانها تشكل خطرا وتهديدا للصحة.

على وجه الخصوص كلا من ^{218}Po التي تشكلت مباشرة من ^{222}Rn و ^{214}Po التي تبعث جسيمات الفا المشبعة بالطاقة والتي يمكن ان تسبب ضررا اشعاعيا لخلايا الشعب الهوائية الموجودة بقرب جزيئات الغبار. هذا الضرر يمكن في نهاية المطاف ان يؤدي الى الاصابة بسرطان الرئة.

تقييم الخطر الصحي من الرادون في الاماكن المغلقة

إن أكبر تعرض لجسيمات الفا الناتجة عن تفكك الرادون يعاني منه عمال المناجم الذين يعملون في مناجم اليورانيوم تحت الأرض سيئة التهوية. نسبة الإصابة بسرطان الرئة أعلى بالفعل من عامة الناس ، حتى بعد إجراء التصحيحات للبيانات الخاصة بتأثير التدخين. من البيانات الإحصائية المتعلقة بزيادة انتشار سرطان الرئة إلى المستوى التراكمي من التعرض للإشعاع ، تم تطوير علاقة رياضية بين الإصابة بالسرطان والتعرض للرادون. قام العلماء باستقراء هذه العلاقة لتحديد الخطر على عامة السكان من المستويات المنخفضة عمومًا للرادون التي يتعرض لها الجمهور. استنادًا إلى الاستقراء الخطي من بيانات عمال المناجم ومصادر أخرى ، تقدر وكالة حماية البيئة الأمريكية أن الرادون يسبب حاليًا حوالي 21000 حالة وفاة بسرطان الرئة سنويًا ؛ تقديرات المملكة المتحدة هي 2000 حالة في السنة. **ترتبط معظم الوفيات الزائدة بالمدخنين ، لأن الرادون ودخان السجائر تتآزر في التسبب في سرطان الرئة.** على وجه الخصوص ، فإن خطر الإصابة بسرطان الرئة في عمر 75 هو 4 في 1000 لغير المدخنين الذين يعيشون في منزل مع خالي من الرادون ويزداد فقط إلى 7 في 1000 إذا كان لديه أو لديها تعرض مستمر عن طريق الاستنشاق إلى 400 بيكريل متر مكعب من النشاط الإشعاعي من الغاز ، وهذا يعني زيادة صافية بالإصابات قدرها 3 في 1000. مع ذلك ، فإن فرص إصابة المدخن بسرطان الرئة ترتفع من 100 إلى 160 في 1000 ، بزيادة 60 ، عن طريق التعرض لنفس المستوى من النشاط الإشعاعي. وتشير التقديرات إلى أن الرادون يتسبب في حوالي 10٪ من جميع حالات سرطان الرئة ، وهو ما يمثل حوالي نصف معدل الوفيات الناجمة عن حوادث السيارات ، على سبيل المثال.

يتم تحديد مستوى النشاط الإشعاعي في الهواء بوحدات إما بيكريل لكل متر مكعب أو $Bq\ m^{-3}$ أو بيكوكيوري لكل لتر أو $pCi\ L^{-1}$. مستوى النشاط الإشعاعي المعتمد - للهواء في الأماكن المغلقة ، هو 150 بيكريل لكل متر مكعب أي 4 بيكوكيوري لكل لتر في الولايات المتحدة ، ويقع في نطاق 200 - 400 بيكريل لكل متر مكعب في معظم الدول المتقدمة الأخرى. لأن الراديو النويات المذاب في ماء الشرب يمكن أن يهرب إلى الهواء عندما يخرج من القناني ، فإن الحد الأقصى لمستوى الملوثات 150 بيكريل لكل لتر قد تم إنشاؤه من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية. أما لمنظمة الصحة العالمية فهو 100 بيكريل لكل لتر. ترتبط تركيزات الرادون في هذه المستويات بالمياه الجوفية التي مرت من خلال التكوينات الصخرية التي تحتوي على اليورانيوم والراديو الطبيعي.

ويشير أولئك المتشككون في استخدام بيانات عمال المناجم اليورانيوم إلى أن التقديرات المحسوبة لسرطان الرئة الذي يسببه الرادون قد تكون مرتفعة جدا ، لأن عمال المناجم يعملون في ظروف أكثر اتساما بكثير من التي توجد في المنازل وأن تنفسهم أثناء الأشغال الشاقة أعمق بكثير من المعتاد. وبالتالي ، هناك فرصة أكبر بكثير أن البنات الرادون سوف تجد طريقها إلى رئات عمال المناجم بالمقارنة مع عموم السكان. وقد يساهم تعرض عمال المناجم للزئبق وعوادم الديزل أيضا في زيادة معدل سرطان الرئة الذي كان من الممكن الإصابة به بسبب الرادون.

من أجل تحديد ما إذا كان تراكم غاز الرادون في المنازل يسبب سرطان الرئة أم لا ، أجريت العديد من الدراسات الوبائية في التسعينيات. هذه التحليلات ، واحدة من السويد ، واحدة من كندا ، وواحدة من الولايات المتحدة ، وصلت إلى استنتاجات متناقضة حول خطر الرادون لأصحاب المنازل. في التقرير السويدي وجد أن معدل سرطان الرئة لدى غير المدخنين ، وخاصة المدخنين ، يزداد مع زيادة مستويات غاز الرادون في منازلهم. ركزت الدراسة الكندية على سكان وينيبغ ، مانيتوبا ، التي لديها أعلى مستويات في الرادون في كندا. لم يتم العثور على أي ارتباط بين مستويات الرادون وسرطان الرئة. وجدت الدراسة الأمريكية ، التي أجريت بين نساء غير مدخنات في ميسوري ، أدلة قليلة على وجود اتجاه لزيادة سرطان الرئة مع زيادة تركيز الرادون في الأماكن المغلقة.

حظيت مشكلة الرادون البيئية بأكثر قدر من الاهتمام في الولايات المتحدة ، حيث توجد حاليًا برامج لاختبار الهواء في الطوابق السفلية لعدد كبير من المنازل لمستويات مرتفعة بشكل كبير من الغاز. وبمجرد تحديد الرادون ، يمكن للمالكين تغيير أنماط دوران الهواء لتقليل مستويات الرادون في مناطق المعيشة ، مما يقلل من خطر الإصابة بسرطان الرئة. يتم سد الفجوات والشقوق في جدران الطابق السفلي ، ويتم تثبيت أنابيب التنفيس من خلال ألواح الطابق السفلي.

الآثار الصحية لمستويات منخفضة جدا من الإشعاع

أقلية من العلماء تعتقد أن النشاط الإشعاعي عند مستويات منخفضة للغاية لا يسبب أي ضرر للإنسان. إنهم يشككون في الافتراضات الخطية التي يمكن استقراء الآثار المرصودة لجرعات عالية من النشاط الإشعاعي خطيًا إلى جرعات منخفضة جدًا وأنه لا يوجد حد أدنى من النشاط الإشعاعي لا يسبب أي آثار ضارة مثل السرطان.

في الواقع ، تشير بعض الدراسات إلى عتبة قرب 1000 بيكريل لكل متر مكعب لسرطان الرئة الناجم عن الرادون السكني. بالإضافة إلى ذلك ، هناك نقص في الأدلة على زيادة الإصابة بالسرطان في العديد من المناطق التي ترتفع فيها مستويات الرادون. ويدعم نظرية الافتراضات الخطية من الأدلة التي تتعلق بالمواطنين الروس الذين تعرضوا عن غير قصد إلى جرعات منخفضة للغاية من النشاط الإشعاعي الناجم عن إنتاج الأسلحة النووية.

لا تجد المراجعات الحديثة للدراسات الوبائية التي أجريت في أمريكا الشمالية وأوروبا أي عتبة لزيادة سرطان الرئة مع التعرض للرادون السكني.

هناك عدد قليل من العلماء يؤمنون بنظرية تسمى الهورمونات ، والتي تنص على أن التعرض للنشاط الإشعاعي - وبعض المواد الكيميائية - بجرعات منخفضة للغاية لفترات قصيرة من الوقت يمكن أن يكون في الواقع مفيدًا لصحة الإنسان. على الرغم من وجود بعض الدراسات على الحيوانات والخلايا التي تدعم هذه الفكرة ، إلا أنها غير مقبولة على نطاق واسع بين العلماء.