وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامـــعة بـــابـــل

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسـم الفـــيزياء

غاز الرادون وتأثيرهُ على جسم الإنسان

Radon Gas and its Effect on The Human Body

بحث مقدم الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة - قسم الفيزياء
كجزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في قسم الفيزياء

من قبل الطالبة

ورود اسماعيل مردان

بأشراف

م. عمار يحيى كاظم المعموري

١٤٤٤ هـ

٢٠٢٣ م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ ومَا تَوْفِيقِي إِلاَّ بِاللَّهِ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ ﴾

صدق الله العلي العظيم

(سورة هود الآية ٨٨)

الاهداء

الى من قاد قلوب البشرية وعقولهم الى مرفأ الأمان

معلم البشرية الأول محمد (صل الله عليه وآله وسلم)

عائلتي الكريمة

الى من دفعني الى العلم وبه ازداد افتخارا ..... أبي

الى روضة الحب التي تنبت أزكى الأزهار ..... أمي

الى العضد والساعد ..... اخواني وأخواتي

الى من وقف بجانبي ولم يدخر جهدا في مساندتي

أهلي وصديقاتي

الى من علمني حرفاً

الى العلم ... وطلابهِ ... ومحبيه

أهدي لكم ثمرة جهدي المتواضع

الباحثة

الشكر والعرفان

الحمد لله رب العالمين حمداً كثيراً ..

لا يسعني بعد إتمام هذا العمل إلا أن أتوجه بكلمات لا تفي صاحب الحق حقه ولا تكافئ ما تقدم به كل من ساهم بهذا العمل .

بداية أتقدم بكامل شكري وتقديري وعظيم أمتناني الى الأستاذ الفاضل صاحب الفضل الكبير في إنجاز هذا البحث ، المشرف **(م. عمار يحيى كاظم المعموري)** لما ابداه من آراء سديدة وتوجيهات علمية ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء بحثنا هذا بجميع جوانبه طيلة مدة إعداد البحث .

والى كل من مد يد العون والمساعدة خلال مدة البحث .

كما واتقدم بالشكر والتقدير الى عماده كلية التربية للعلوم الصرفة واساتذتها وموظفيها التي اعتز بالانتساب إليها وأشكر أستاذتي الأفاضل جميعهم لأني نهلت من معرفتهم العلمية في مدة الدراسة فيها والتي كان لها الأثر الأكبر في توجيهي وارشادي وحثي حتى وصلت الى ما انا عليه الان .

الباحثة

اقرار المشرف

اشهد ان اعداد هذا البحث الموسوم بـ (**غاز الرادون وتأثيره على جسم الإنسان Radon Gas and its Effect on The Human Body**) المقدم من الطالبة (**ورود اسماعيل مردان**) قد جرى تحت اشرافي بقسم الفيزياء بكلية التربية للعلوم الصرفة بجامعة بابل وهو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في قسم الفيزياء للعام الدراسي (٢٠٢٢ ـ ٢٠٢٣) .

توقيع المشرف

م. عمار يحيى كاظم المعموري

التاريخ : / / ٢٠٢٣

بناءً على التوصيات المتوفرة ، ارشح هذا البحث للمناقشة

قائمة المحتويات

الموضـوع	رقم الصفحة
الآية القرآنية	I
الاهداء	II
الشكر والعرفان	III
اقرار المشرف	IV
قائمة المحتويات	V
قائمة الجداول والاشكال	VI
الخلاصة	VII
الهدف من البحث	VIII
الفصل الاول	
المقدمة	١
الرادون	٢
نظائر الرادون	٢
نواتج التحلل	٣
الخواص الكيميائية والفيزيائية للرادون	٦
مصادر غاز الرادون	٨
الوعي بمخاطر غاز الرادون	١٥
الحدود الاشعاعية للرادون	١٦
الفصل الثاني	
الاثار الصحية للرادون	١٧
المخاطر الصحية للرادون ووليداته	١٧
طرق تقليل تركيز غاز الرادون	٢٠
النشاط الاشعاعي الطبيعي	٢١
التأثيرات الحيوية للإشعاع الذري	٢٣
اجهزة قياس غاز الرادون	٢٤
علاقة الزمن بالجرعات الخارجية للإشعاع	٢٧
وحدات النشاط الاشعاعي	٢٧
الاستفادة من قياس غاز الرادون	٢٨
المصادر	٢٩

قائمة الجداول

الجدول	رقم الصفحة
الخصائص العامة لغاز الرادون	٦
الخصائص الفيزيائية لغاز الرادون	٧
التركيز والنشاط النوعي لليورانيوم في الصخور والتربة	٩
ادخال مصادر الرادون في الغلاف الجوي العالمي	١٢
معدل انبثاق الرادون النسبي من مواد مختلفة	١٤

قائمة الاشكال

الشكل	رقم الصفحة
سلسلة تحلل اليورانيوم ٢٣٨ الى الرصاص ٢٠٦	٥
الية انبعاث غاز الرادون من التربية / البناء	١٠
اضمحلال الراديوم وتحوله الى الرادون مطلقاً جسيمات الفا	١٨
كيفية دخول الرادون الى المباني	١٩
جهاز قياس الرادون	٢٤
عبوة بلاستيكية لقياس نفاذية العينة لغاز الرادون باستعمال كاشف CR-39	٢٧

الخلاصة : Abstract

ينشأ غاز الرادون Rn^{222} بسبب تحلل المواد المشعة الموجودة في قشرة الأرض وبطبيعة الحال الأرض تحوي على عناصر مشعة مثل اليورانيوم لكن بتركيزات قليلة .حيث يعتبر اليورانيوم غير خطر لكن مع تحلله ينشأ غاز الرادون Rn^{222} وخطورته تكمن في الأماكن المغلقة وخاصة الأثرية منها لأنها دائما ما تكون مغلقة وتركيز الرادون يزداد فيها بالإضافة الى ذلك يزداد تركيز الرادون في الطابق السفلي أكثر من الطابق العلوي في المباني بسب قربه من سطح الأرض ، ويعتبر الماء سريع الامتصاص للرادون عند مرورها على الطبقات الصخرية والتربة بباطن الأرض . ويعتبر عمر النصف لليورانيوم أكبر من عمر نصف الأرض لذلك الى الآن موجود في القشرة أو الطبقة العليا للأرض .وليس كل ما هو مستخرج من تحت الأرض هو مصدر لانبعاث غاز الرادون Rn^{222} لكن في حال كان في مناطق تكون فيها نسب مرتفعة من اليورانيوم فيمكن إن تكون مصدر لانبعاث غاز الرادون .

ويمكن إن يحدث غاز الرادون Rn^{222} نتيجة تدخل الإنسان نتيجة الحروب بسبب وجود بعض الأسلحة التي تتضمن بعض المواد المشعة فممكن إن تكون السبب لحدوث أو وجود بعض الغازات المسرطنة.

الآثار الصحية لغاز الرادون Rn^{222} هو الإصابة بأمراض سرطان الرئة ،حيث تكمن خطورته في جسيمات ألفا الصادرة عنه حيث تمتلك هذه الجسيمات الطاقة الكافية لتخترق النسج وتصل الى القسم الداخلي للخلايا وتسبب تلفها.

يمكن التقليل أو الوقاية من تركيز غاز الرادون Rn^{222} من خلال تهوية الأماكن ،عدم التدخين في الأماكن المغلقة لأن تدخين يزيد من تركيز الرادون ، او اللجوء الى المهندس المختص .

الهدف من البحث : The Aim Of The Research

أن الهدف الرئيسي من البحث هو :

- ❖ التعرف على مصادر غاز الرادون -Rn^{222}.
- ❖ التعرف على الآثار الصحية لغاز الرادون -Rn^{222} على الإنسان .
- ❖ التعرف على النشاط الإشعاعي الطبيعي .
- ❖ التعرف على طرق الوقاية من غاز الرادون Rn^{222} .
- ❖ التعرف على أجهزة قياس غاز الرادون Rn^{222}.

الفصل الأول

Chapter 1

(١.١) المقدمة : Introduction

توجد الإشعاعات في كل جزء من حياتنا ، والإشعاعات قد تحدث بطريقة طبيعية في الأرض ويمكن أن تصل إلينا من الإشعاعات القادمة من الفضاء المحيط بنا وكذلك يمكن أن تحدث الإشعاعات طبيعياً في الماء الذي نشربه أو في التربة وفي مواد البناء (عنصر الرادون من الأرض والعناصر المشعة الموجودة في الأرض).

وقد تحدث الإشعاعات نتيجة صناعتها بواسطة الإنسان مثل الأشعة السينية (Rays-X) ، محطات توليد الكهرباء بالطاقة الذرية ايضاً في كاشفات الدخان [lionization Smoke Detectors].[١]

تعتبر مصادر الإشعاع الأرضي مسؤولة عن معظم تعرض الإنسان للإشعاع الطبيعي على الرغم من أن جميع الناس يتعرضون للإشعاع الطبيعي ، إلا أن البعض قد يتعرض أكثر من غيره حسب المنطقة التي يعيشون فيها على الأرض بسبب وجود الصخور أو التربة المشعة في طبقات الأرض تحت تلك المناطق ، والطريقة التي يعيش بها الناس هي تؤثر أيضًا على كمية الإشعاع التي يمكن أن يتعرضوا لها. [٢]

وقد يكون التعرض للإشعاع داخلياً أو خارجياً وقد يحدث عبر مجموعة متنوعة من مسارات التعرض الإشعاعي، التعرض الداخلي للإشعاع المؤين يحدث عند استنشاق أو بلع النويدات المشعة أو دخولها الى مجرى الدم أما التلوث الخارجي قد يحدث عند تعلق المواد المشعة التي تنتقل عن طريق الهواء بالجلد أو الملابس .وقد يكون التعرض للإشعاع المؤين ناتجاً ايضاً عن التشعيع الخارجي ، ويتوقف التشعيع الخارجي عندما يحجب مصدر الإشعاع أو عندما يخرج الشخص من مجال الإشعاع. [٣]

فالإشعاع النووي يعرف على أنه الطاقة المنبعثة عن طريق عمليات الانشطار أو الاندماج المؤدية إلى تفاعلات نووية . أو هو إشعاع في شكل جسيمات أولية تنبعث من نواة ذرية، مثل أشعة ألفا أو أشعة كاما الناتجة عن تحلل المواد المشعة أو عن طريق الانشطار النووي. [٤]

(٢.١) الرادون : Radon - Rn^{222}

عنصر كيميائي لـه الرمز Rn والعدد الذري ٨٦ فـي الجدول الدوري ، هو من أهم مصـادر الإشـعاع فهو غـاز عـديم اللـون والطعـم والرائحـة ، أثقل مـن الهـواء سـبعة أضـعاف ونصـف الضعف ويؤدي هذا الغاز الى الإصابة بأمراض سرطانية.

الرادون من العناصر المشعة ويشكل معدل الجرعة الإشعاعية التي بسببها هذا الغـاز ووليداتـه لعموم الناس حوالي نصف مكافئ الجرعـة الإشـعاعية مـن المصـادر الطبيعيـة مجتمعـة ومعظم هذه الجرعـة نـاتج مـن استنشـاق النويـدات المشـعة للـرادون والموجـودة فـي الهـواء وخصـوصـاً المباني ، حيث يرتفع فيها معدل تركيزه . [1.4]

(٣.١) نظائر الرادون : Isotopes Of Radon

يتكون من ثلاث نظائر هي :

- **الرادون :**

وهو نظير (Rn^{222}) وينتمي الى سلسلة (U^{238}) ويعد هذا النظير الأطول عمرا من بين نظائر الرادون اذ يبلغ عمره النصفي (٣.٨٢٥) أيام وهذا العمر يمنحنه القابلية على الأنتشار لمسافات محدودة في الجو وهو باعث لجسيمات ألفا بطاقة (MeV٥.٤).

- **الثورون :**

وهو نظير (Rn^{220}) وينتمي إلى سلسلة (Th^{232}) يبلغ عمره النصفي (٥٥) ثانية تقريبا وهو باعث لجسيمة ألفا بطاقة (MeV 6.2).

- **الاكتنيون :**

وهو نظير (Rn^{219}) وينتمي الى سلسلة (U^{235}) يبلغ عمره النصفي (٤) ثوانٍ ويوجد بصورة قليلة جدا وذلك بسبب قلة توفر (U^{235}) وكذلك بسبب عمره النصفي القصير. [٣]

(٤.١) **نواتج التحلل** : Decomposition Products

الرادون (Rn^{222}) هو غاز نبيل مشع ينتج عن اضمحلال الراديوم (Ra^{226}). هو جزء من سلسلة اضمحلال اليورانيوم (U^{238}) (تسمى أحيانًا سلسلة اضمحلال الراديوم) ،وبالتالي فهي تحدث بشكل طبيعي في أي مكان يمكن العثور فيه على اليورانيوم. في درجة حرارة الغرفة ، هو غاز عديم اللون والرائحة . حيث يمثل الشكل (١.١) مخطط لانحلال اليورانيوم U^{238}وصولاً الى الرادون ونواتج تحلله .

يمكن أن يتسبب الرادون في إتلاف الظهارة التنفسية (الخلايا التي تبطن الرئة) من خلال انبعاثات جسيمات ألفا. يحدث الضرر الذي يصيب الخلايا الظهارية في الرئة عندما يتفاعل الإشعاع أما بشكل مباشر مع الحمض النووي في نواة الخلية أو بشكل غير مباشر.

الرادون(Rn^{222}) هو السبب الأول لسرطان الرئة بين غير المدخنين، وفقا لتقديرات وكالة حماية البيئة. بشكل عام ،الرادون (Rn^{222}) هو السبب الرئيسي الثاني لسرطان الرئة. الرادون مسؤول عن حوالي ٢١٠٠٠ حالة وفاة بسرطان الرئة كل عام . تحدث حوالي ٣٠٠٠ حالة وفاة بين الأشخاص الذين يدخنوا قط. عند التعرض ل Pci/L1.3 (متوسط مستوى الرادون في الأماكن المغلقة) ، لم يكن لدى المدخنين ابدا فرصة ٢ من ١٠٠٠ للوفاة من سرطان الرئة ، في حين أن المدخنين المعرضين لنفس المستوى لديهم فرصة ٢٠ من ١٠٠٠ تقول منظمة الصحة العالمية(WHO) أن الرادون يسبب ما يصل إلى ١٥% من سرطانات الرئة في جميع أنحاء العالم. [٥]

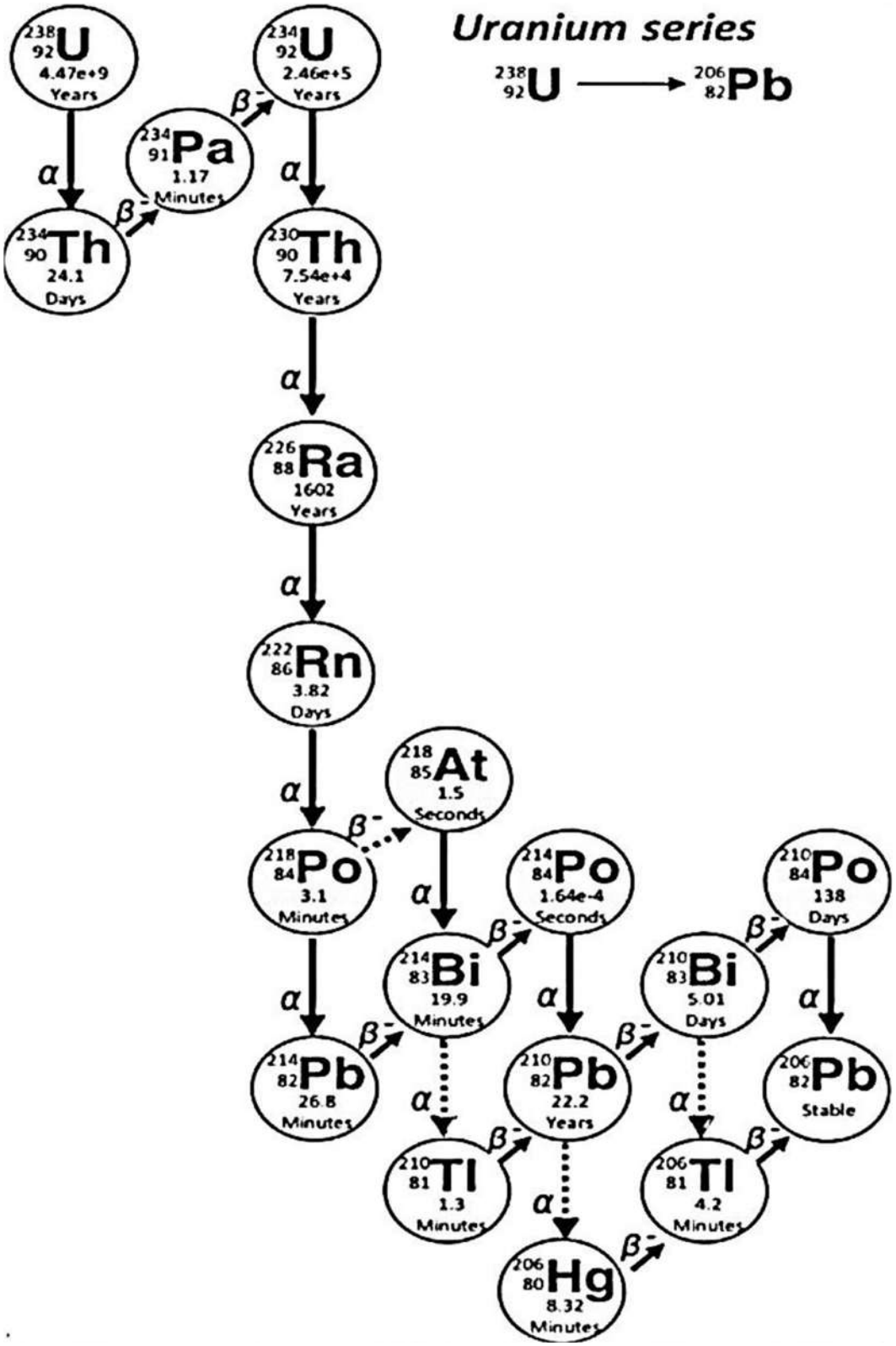
تنقسم نواتج تفكك غاز الرادون Rn^{222} الى مجموعتين ، الأولى نواتج ذات عمر نصف قصير مثل $Po^{218}(t1/2=26.8min)$,$pb^{214}(t1/2=29.7min)$,Bi $^{214}(t1/2=19.7min)$,$Po^{214}(t1/2=146us)$

وجميعها بعمر نصف أقل من ٣٠ دقيقة ؛ و الثانية منتجات تفكك بعمر نصف طويل مثل

$Pd^{210}(t1/2=22.3y)$,$Bi^{210}(t1/2=5.01\ d)$,$Po^{210}(t1/2=138.4\ d)$

لا توجد للثورون نواتج تفكك طويلة العمر ، ولكن النظير الأكثر أهمية في نواتج تفككه هو $Pb^{212}(t1/2=10.6h)$

ويعود الخطر الإشعاعي للرادون بشكل رئيسي إلى منتجات تفككه قصيرة عمر النصف، حيث أن احتمال حدوث تفكك منتجاته أكبر بكثير من حدوث تفككه أثناء عملية الشهيق والزفير، ومنتجات تفككه أجسام صلبة تستطيع أن تلتصق على الجدران الداخلية للجهاز التنفسي وتشكل خطرا كامنا. [٦]



الشكل (١.١) : يوضح سلسلة تحلل اليورانيوم(٢٣٨) الى الرصاص(٢٠٦). [٢]

(٥.١) : **الخواص الكيميائية والفيزيائية للرادون** :

Chemical And Physical Properties Of Radon

ينتمي الرادون إلى الغازات النبيلة أو الخاملة ؛ فذرة الرادون كباقي الذرات الخاملة نادرا ما تتفاعل لذلك يمكنها أن تنتشر بحرية عبر كل المواد المنفذة للغازات لأنها خاملة كيميائياً . ويعتمد في كشف الرادون بشكل رئيس على كشف الأشعة المرافقة لتفككه وتفكك وليداته . [١]

الجدول (١.١) : الخصائص العامة لغاز الرادون. [١]

الاسم , العدد , الرمز	رادون , 86 , Rn
تصنيف العنصر	غاز نبيل
المجموعة , الدورة , المستوى الفرعي	P , 6 , 18
الكتلة الذرية	(222) g/mol
توزيع الإلكترونات لكل غلاف تكافؤ	8 , 18 , 32 , 18 , 8 , 2

الجدول (2.1) : الخصائص الفيزيائية لغاز الرادون. [١]

الطور	غاز
الكثافة	(0°c , 101.325 كيلوباسكال)
كثافة السائل عند نقطة الغليان	4.4 g/cm3
نقطة الإنصهار	202 k , 71.15°c , 96.07°f
نقطة الغليان	211.3k , 61.85°c , 79.1°f
النقطة الحرجة	377k , 6.28 M Pascal
حرارة الإنصهار	3.247 kJ/mol
حرارة التبخر	18.10 kJ/mol
السعة الحرارية	(25°c) 20.786 J/mol.k
أرقام الأكسدة	2
الكهروسالبية	2.2 (مقياس باولنغ)
طاقة التأين	الأول : 1037 kJ/mol
نصف قطر تساهمي	150 pm
نصف قطر فان ديرفالس	220 pm
البنية البلورية	نظام بلوري مكعب
المغناطيسية	لا مغناطيسي
الناقلية الحرارية	W/m.k 3.61 300)

(٦.١) مصادر غاز الرادون : Sources Of Radon Gas

(١.٦.١) التربة والصخور : Soil And Rock

إن قرابة ٨٠ %من غاز الرادون المحتوى في الغلاف الجوي ينبعث من الطبقات العليا لقشرة الأرض ، ويعتبر جود الراديوم أو اليورانيوم السلف الأساسي precursor ultimate في الأرض المصدر الرئيسي لانبثاق غاز الرادون من التربة ، حيث تتغير كمية الراديوم واليورانيوم حسب الموقع المحدد والمادة الجيولوجية. يمكن التعبير عن تركيز اليورانيوم بطريقتين ، الأولى جزء من مليون جزء (ppm) والثانية عن طريق النشاط النوعي specific activation معبراً عنه بالبيكو كوري (pCi) من U^{238} في الغرام الواحد من المادة (pCi/g) ، والعلاقة بين هذين التركيزين هو (1 pCi/g=3ppm).إن متوسط تركيز اليورانيوم في بعض الصخور التي تكون غنية باليورانيوم ، مثل الغرانيت ، هو 1.6 pCi/g ،بينما من أجل البازلت ، الذي يكون فيه تركيز اليورانيوم منخفضاً نسبياً ، يكون متوسط تركيز اليورانيوم (0.3 Pci/g) . بوجه عام يكون تركيز اليورانيوم في صخور القشرة الأرضية وسطيا قرابة 1 pCi/g ،في حين يبلغ في التربة 0.7 pCi/g . يعرض الجدول (3.1) بعض متوسطات تراكيز اليورانيوم U^{238} في الصخور والتربة . يرتبط تركيز اليورانيوم في التربة بالنشاط الإشعاعي في الصخور التي تتشكل منها التربة . ينتج كل تفكك لذرة راديوم Ra^{226} ذرة رادون Rn^{222}.

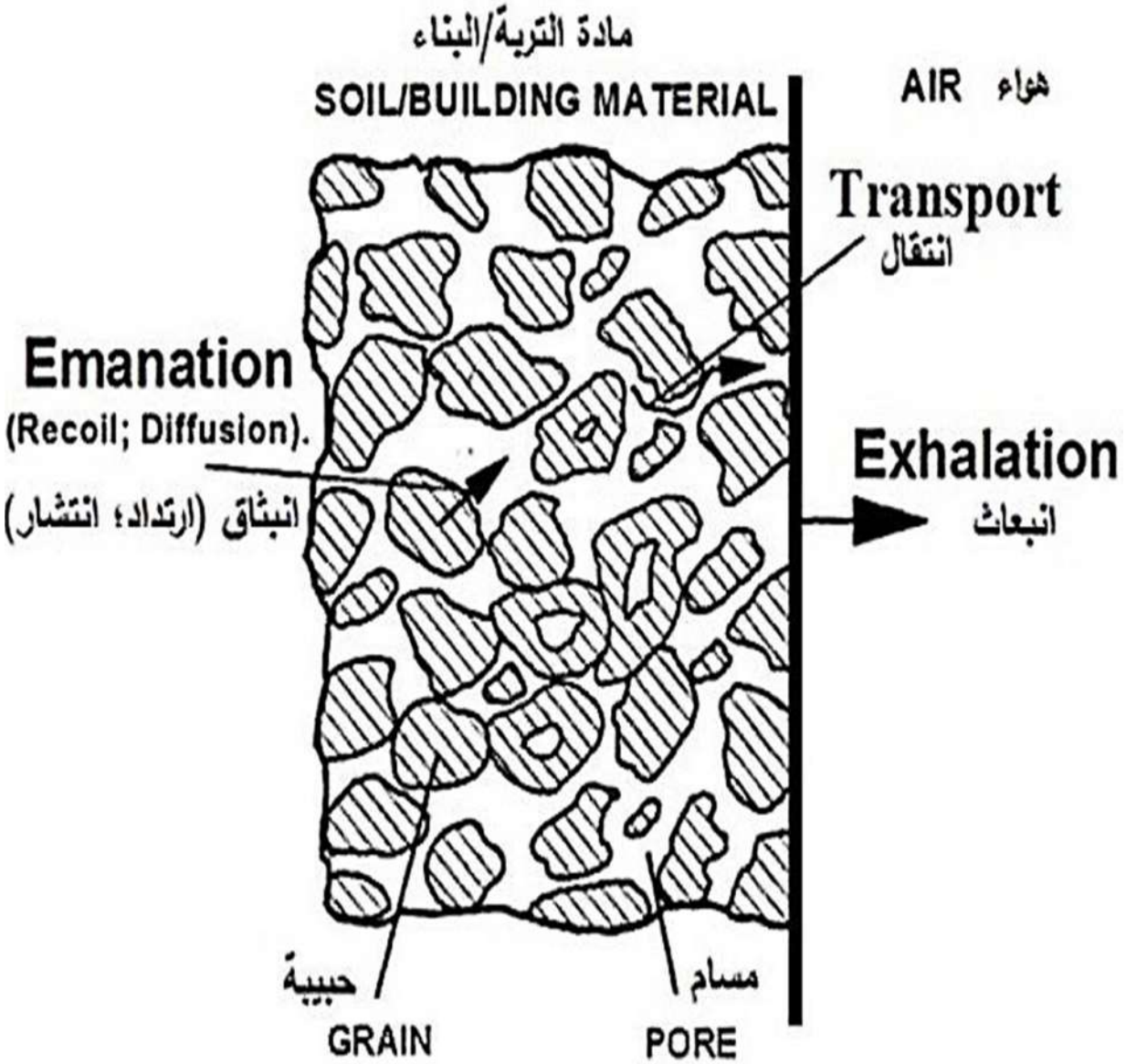
فإذا كان الرادون المنتج قريب من سطح الأرض فإنه يستطيع الهروب إلى الغلاف الجوي. يعتمد مقدار الرادون المنبعث Radon Exhalation من التربة على عدد من العوامل الأخرى التي تشمل المسامية porosity والنفاذية permeability ومحتوى الرطوبة . [٦]

يوضح الشكل (٢.١) آليات انبعاث الرادون من التربة.

يعرف معدل الانبعاث بأنه كمية النشاط المتحرر بوحدة المساحة وبوحدة الزمن. حيث قُدر بأنه حوالي ١٠ %من الرادون ينتج فوق واحد متر من التربة في الغلاف الجوي . يتم تحديد تدفق غاز الرادون ضمن مادة المصدر من خلال انبثاق الرادون وانتقاله خلال المسامات إلى الغلاف الجوي. حيث يعتقد بأن تحرر الرادون من الخامات المعدنية يتم التحكم به بارتداد جسيم الفا الناتج عن تفكك الراديوم في البنية المعدنية. [٦]

الجدول (٣.١) : التركيز والنشاط النوعي لليورانيوم في الصخور والتربة. [٦]

المادة	تركيز اليورانيوم (ppm)	النشاط النوعي لليورانيوم (pCi/g) (1 pCi/g = 37 Bq/kg)
صخور بركانية		
صخور بازلتية	0.5 – 1	0.2 – 0.3
صخور مافيك mafic	3.9 – 4.7	1.3 – 1.6
الغرانيت	3.0	1.0
صخور رسوبية		
صخر زيتي shale	3.7	1.0
صخور رملية		
الكوارتز الصافي	< 1.0	< 0.3
الكوارتز الشائب	2 – 3	1.0
الأركوز Arkose	1 – 2	0.3 – 0.7
الرمال الشاطئية (غير موحدة)	3.0	1.0
الصخور الكربوناتية	1.8	0.6



الشكل (٢.١) : آليات انبعاث غاز الرادون من التربة/البناء. [٦]

(٢.٦.١) الـماء : Water

ينحل غاز الرادون بشكل محدود في الماء ، وتزداد انحلاليته بانخفاض درجة الحرارة. لهذا السبب عند جريان المياه الجوفية الباردة خلال التربة والصخور، الحاوية على غاز الرادون، فإنها تمتص كمية معتبرة من الرادون. أما عند تسخين الماء الحاوي على الرادون يتحرر جزء كبير من الرادون المنحل إلى الغلاف الجوي. تعتمد كمية الرادون في الماء بشكل رئيسي على عاملين، العامل الأول هو أن انبثاق الرادون يعتمد على خصائص الصخور التي بدورها تعتمد على النوع الجيولوجي .

أما العامل الأخر فيتحدد بنوع الماء المستخدم. يتسرب الرادون إلى المنازل التي تستخدم المياه الطافية، وليس لتلك المنازل التي تستخدم الماء من الأنظمة الصالحة للاستعمال. تبقى المياه الصالحة للاستخدام في الخزانات ومعامل المعالجة وأبراج المياه لفترات طويلة من الزمن قبل أن تصل إلى صنابير المياه المنزلية. فعندما يكون زمن تخزين ومعالجة المياه أطول نسبيا بالمقارنة مع عمر النصف لغاز الرادون، فإن معظم الرادون المنحل يكون قد تفكك خلال زمن وصوله إلى المنزل.

طُور العديد من النماذج لتقدير العلاقة بين الرادون في الماء ومستوى الرادون الذي يصل إلى الهواء .وقد قدر بشكل تقريبي بأن(10,000 pCi/l) من الرادون في الماء سيضيف حوالي (1 piC/l) من الرادون في الهواء ، عند استخدام الماء العادي . أظهرت دراسات الرادون في مياه الآبار بأن القيم تمتد من (500 piC/l)في السويد إلى (170,000 pCi/l) في نوفا سكوتيا Nova scotia .كما تبين بأن معظم الجرعة التي تنشأ عن الرادون في الماء الصالح للشرب هو نتيجة لاستنشاق الرادون المتحرر من الماء، مقارنة مع جرعة الناتجة عن عملية الهضم . [٦]

بينت الدراسات أن جرعة المعدة هي أخفض من جرعة الرئة بعامل بين ٣ – ١٢ مرة .

ومع أن مساحة المحيطات تشكل ضعفي مساحة الأرض إلا أنها تساهم بحوالي ١%من انبعاث غاز الرادون الكلي إلى الغلاف الجوي، ويعود ذلك إلى أن تركيز اليورانيوم والراديوم في مياه البحار أقل بكثير منه في التربة والصخور . وفقا لهذا فإن المساهمة الأكثر أهمية في انبعاث غاز الرادون الى الغلاف الجوي تأتي من التربة والمياه الجوفية . يعطي الجدول (٤.١) مصادر الرادون في الغلاف الجوي ومقدار إدخال كل منها. [٦]

الجدول (4.1) : إدخال مصادر الرادون في الغلاف الجوي العالمي. [٦]

المصدر	الإدخال إلى الغلاف الجوي (pCi/l) ($pCi/l = 37\ Bq/m^{-3}$)
الانبثاق من التربة	2,000
المياه الجوفية (الكامن)	500
الانبثاق من المحيطات	30
بقايا الفوسفات	3
مخلفات مطاحن اليورانيوم	2
بقايا الفحم	0.02
الغاز الطبيعي	0.01
احتراق الفحم	0.001

(٣.٦.١) مواد البناء : Building Materials

تحتوي مواد البناء المصنوعة من التربة والصخور من مثل الطابوق والبلوك والخرسانة الاسمنتية وغيرها على نكليدات مشعة طبيعية مثل اليورانيوم والراديوم التي تولد الرادون. و لما كانت هذه المواد ذات بنية مسامية فإنها تسمح للرادون أن يتحرر إلى الهواء. فالمواد التي لا تنشأ من القشرة الأرضية، مثل الخشب ، تميل لأن تمتلك تركيزا منخفضا جدا من الراديوم. يعطي الجدول(5.1) معدل انبثاق الرادون النسبي من مواد مختلفة لها ثخانات محددة.

يتغير معدل انبثاق الرادون لنوع معين من مادة بناء بشكل أساسي من عينة إلى أخرى، حتى لو كان تركيز اليورانيوم نفسه تقريبا ، وذلك تبعا لتغير ظروف البيئة المحيطة. ويعتقد أن العوامل البيئية الأكثر أهمية هي الرطوبة والضغط الجوي، أما تأثير درجة الحرارة في انبثاق غاز الرادون فليس له قيمة ملموسة ضمن المجال الطبيعي من درجات الحرارة. بينت الدراسات أن تأثير الضغط مهماً حيث أن ازدياد ١%-٢% في ضغط الهواء خارج المنزل يمكن أن يضاعف معدل انبثاق الرادون في المنزل وهذا يسمى تأثير الضخ .

أما بالنسبة لتأثير الرطوبة في انبثاق الرادون فقد وجد أنه عند مستويات رطوبة منخفضة، يزداد انبثاق الرادون مع ازدياد محتوى المسام من الرطوبة، حيث يزداد من ١٠ - ٢٠ % عندما تزداد الرطوبة من مستوى طبيعي ٢%-٤% وزنا إلى ٦%- ٨%.

وجد في دراسة أخرى أن التأثير أعلى ، حيث وصف بأن ازدياد محتوى الرطوبة لعينة من خرسانة إسمنتية بنسبة ٤% سيزيد من انبثاق الرادون بنسبة ١٠٠%.[٦]

الجدول (5.1) : معدل انبثاق الرادون النسبي من مواد مختلفة. [٦]

المادة	الثخانة (سم)	المعدل النسبي*
خرسانة إسمنتية	10	0.005
خرسانة إسمنتية خفيفة	20	0.02
خرسانة إسمنتية ثقيلة	8	0.01
فوسفوجبسون	1.3	0.001
فوسفوجبسون	7.6	0.01
تربة	لانهاية	0.5
مخلفات مطحنة اليورانيوم	10	0.2
مخلفات مطحنة اليورانيوم	لانهاية	1.6

*** معدل انبثاق الرادون ($Pcim\text{-}^{2}s\text{-}^{1}$)$Rn^{222}$ الى تركيز الراديوم ($Pcig\text{-}^{1}$) Ra^{226}**

يعتقد بأن سبب هذا التأثير يعود إما إلى كمية ذرات الرادون الموضوعة في المسامات التي تحتوي على الماء مما يزيد من فقد طاقة ذرات الرادون المرتدة من تفكك الراديوم في المادة إلى الماء، أي أن ذرات الرادون تودع طاقتها في المسام بدلا من أن تودعها في حبيبة أخرى، والذي بدوره يزيد ويعزز من الانتشار ، أو غسل الرادون بالماء من البنية البلورية قد تضرر بفعل تفكك ألفا.

ويمكن القول إن العوامل الرئيسية التي تؤثر في معدلات انبعاث غاز الرادون من مواد البناء هي بنيتها المجهرية ومحتوى الرطوبة فيها.[٦]

(٧.١) الوعي بمخاطر غاز الرادون - Rn^{222} :

Awareness Of The Dangers Of Radon Gas - Rn^{222}

الوعي بمخاطر غاز الرادون تصعب تبصرة الناس بمخاطر الرادون لأسباب يتعلق معظمها بطبيعة هذا الغاز والمخاطر التي يحدثها، التي منها ما يأتي :

- عدم وجود أدلة مادية مباشرة على وجود غاز الرادون الذي لا يرى ولا يشم ، ولا يمكن ادراكه.
- الرادون قاتل "صامت"، فتأثيراته تظهر بشكل غير مباشر بعد مدة طويلة من الزمن. وحتى عند اكتشاف التركيز العالي منه فإن هذا يزيد احتمال الإصابة بمرض سرطان الرئة.
- على الرغم من إجماع المنظمات الصحية الوطنية منها والعالمية على أن الرادون داخل المباني يمثل مشكلة بيئية صحية تجب معالجتها، فإن الكثير من الناس يتساءل: لماذا لم نسمع عن عدد كبير من الوفيات بسببه؟
- ومسببات مرض سرطان الرئة غير مقصورة على الرادون، لذلك فمن الصعب ربط الموت مباشرة بهذا الغاز.
- والمبالغة في مخاطرة أو التقليل من شأنها، إثارة الشك لدى العديد من الناس.
- لقد سئم الناس عموما سماع مسببات السرطان، فلما بلغ ذلك حد الاشباع أصبحوا يميلون إلى إهمال أي معلومات جديدة.[٧]

(٨.١)الحدود الإشعاعية للرادون - Rn^{222} :

Radiation Limits Of Radon - R^{222}

بعد أن ثبت علميا أن الرادون هو أحد مصادر الاصابة بسرطان الرئة عمدت الوكالات الدولية والوطنية المعنية بحماية البيئة في البلدان التي اكتشف فيها وجود تركيزات عالية من الرادون الى ارشاد مواطنيها بخطورة هذا الغاز وطرق الوقاية منه فالوكالة الأمريكية لحماية البيئة EPA فقد قدمت توصية بان يقوم الناس بإصلاح بيوتهم إذا كانت تركيزات الرادون فيها تزيد عن 150 Bq/m^3 وسمي هذا بمستوى التدخل في حين رفعت بريطانيا مستوى التدخل الى 200 Bq/m^3 والمانيا 250 Bq/m^3 بينما خفضته هولندا إلى 20 Bq/m^3. ولا يعني هذا بالضرورة أن هذا مستوى امن من ناحية الحماية الصحية للإنسان اذ ليس هناك حد أمن التعرض للرادون كما هو الحال في جميع المسرطنات حيث ان اي مستوى للتعرض مهما قل شانه قد يشكل قدرا من مخاطر الإصابة بالسرطان بينما يقل هذا الخطر طرديا مع انخفاض مستوى التعرض للإشعاع . [٧]

الفصل الثاني

Chapter 2

(١.٢) الآثار الصحية لغاز الرادون - Rn^{222} :

Health Effects Of Radon Gas - Rn^{222}

يعتبر الرادون الموجود في الهواء سبب رئيسي لسرطان الرئة في جميع أنحاء العالم وبسبب سنوياً بموت آلاف الأشخاص مناصفتةً مع التدخين والذي يعتبر أيضا من اهم أسباب سرطان الرئة. يتواجد الرادون في كل مكان تقريبا في الهواء الخارجي والمنزلي ويشتد تركيزه كلما اقتربنا من سطح الأرض فمثلاً يكون تركيزه في الطبقات السفلى من البناية أكبر منه في الطبقات العليا ويمكن التخفيف من تركيزه داخل المنزل عن طريق التهوية الجيدة. [٨]

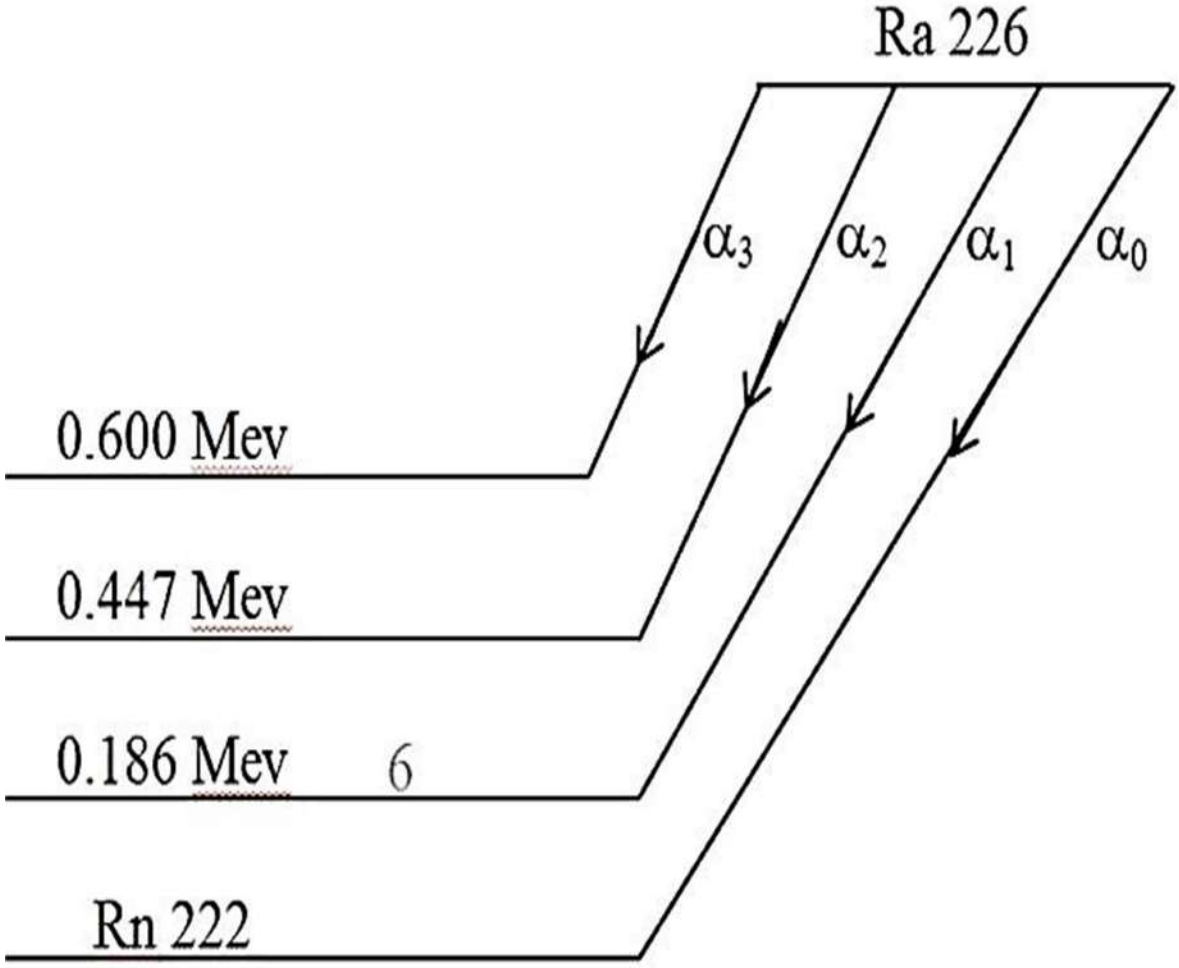
(٢.٢) المخاطر الصحية للرادون ووليداته :

The Healthy Risks Of Radon And Daughter

تكمن الآثار الصحية في جسيمات الفا الصادرة عن غاز الرادون وعن نواتج تحلله نظراً لكون جسيمات ألفا المنبعثة منه تعد من الجسيمات الثقيلة والمشحونة وهذا بدورة يسبب إتلاف الخلايا أو التسبب بمرض السرطان وتمثل جرعة التعرض للرادون بمفردها من المصادر الطبيعية المشعة حوالي (٥٠%)من إجمالي الجرعة السنوية التي تعرض لها الإنسان من جميع المصادر الطبيعية، وتختلف هذه الجرعة باختلاف خط عرض المكان

وارتفاعه عن سطح البحر وطبيعية التربة ونوع المسكن ، حيث الشكل (1.2) يوضح اضمحلال الراديوم وتحوله إلى الرادون مطلقا جسيمات ألفا .

فعلى الرغم من عدم إمكان تجنب وجود الرادون تجنباً كلياً فإنه يمكن البحث عن التأثيرات المؤذية المحتملة أكثر أهمية بين كل المصادر الطبيعية والصناعية على الإنسان. [٩]



الشكل (١.٢) : يوضح اضمحلال الراديوم وتحوله إلى الرادون مطلقا جسيمات ألفا. [٩]

يوجد الرادون في كل مكان في الغلاف الجوي، ويمكن أن يترسب مباشرة الى المباني من خلال الأقبية والطوابق، حيث يتزايد تركيزه –كمية النشاط من حيث الاضمحلال مع الوقت في حجم معين من الهواء – في الأساس، عندما يتم تدفئة المنازل، يرتفع الهواء الدافئ إلى الجزء العلوي من المنزل، ويترسب من خلال النوافذ أو التسربات، مما يخلق الضغط المنخفض في الطابق الأرضي والسفلي ، وهذا بدوره يؤدي الى شفط الرادون من باطن الأرض من خلال الشقوق والترسبات (على سبيل المثال حول إدخالات أنابيب الخدمة) في الجزء السفلي من المنزل . يوضح الشكل (2.2)كيفية دخول الرادون الى المباني. [١٠]

الشكل (٢.٢) :يوضح كيفية دخول الرادون الى المباني. [١٠]

(٣.٢) طرق تقليل تركيز غاز الرادون :

Ways To Reduce The Concentration Of Radon Gas

يمكن التحكم في تقليل وخفض تركيز غاز الرادون بصورة عامة على أحكام غلق منافذ تخلل الغاز والتهوية الجيدة للمنازل وهنالك عدة طرق مستخدمة لتقليل تركيز غاز الرادون المشع وأهمها :

١- إزالة مصدر غاز الرادون وذلك عن طريق التخلص من المواد التي تحتوي على العناصر المشعة مثل اليورانيوم والراديوم في البيئة السكنية والتي عادة ما تكون أما في الطبقة العليا من التربة او في المياه الجوفية ولهذا ينبغي التعرف على محتوي التربة من المواد المشعة ومعدل تدفق غاز الرادون منها ، أما بالنسبة للمياه يمكن تركها داخل خزانات سطحية لمدة زمنية يتم عبرها اضمحلال هذا الغاز تماماً والتي قدرت بحوالي (١٩ يوماً) على الأقل.

٢- الوقاية من غاز الرادون المنبعث من المصدر عن طريق وضع عوازل تمنع نفوذ الغاز، أو عن طريق تحويل تدفق الغاز إلي خارج المبنى وذلك بوضع طبقة سميكة من الخرسانة أسفل المبني، كما يجب ايضاً سد الفراغات التي تترك حول أنابيب المياه والكهرباء والغاز الطبيعي، والصرف الصحي باستخدام لاصق مناسب يمنع نفوذ الغاز.

٣- التهوية : تعتبر هذه الطريقة من أهم الطرق لتقليل تركيز الرادون فالتهوية بشتي أنواعها تؤدي إلي انخفاض تركيز هذا الغاز ففي حالة التهوية الطبيعية يمكن فتح الشبابيك والأبواب، أما في حالة التهوية القصدية يمكن تشغيل المراوح والمكيفات وضخ الهواء الخارجي إلى داخل المنزل وكل هذا يؤدي إلى استبدال الهواء الداخل وخفض تركيز غاز الرادون داخل المباني السكنية . [٩]

(٤.٢) :النشاط الإشعاعي الطبيعي : Natural Radioactivity

يعد هذا النوع من الإشعاع مهم لأنه موجودا في الكون قبل ظهور الأرض ذاتها ، (منذ بدء الكون).

ينتج النشاط الإشعاعي الطبيعي في الصخور بشكل أساسي من العناصر المشعة الطبيعية : مثل -24K, -432U- ، و- 232 Th ومنتجات انحلالها ،يتم نقل هذه العناصر الموجودة بشكل رئيس في الصخور النارية بسبب العمليات الجيولوجية إلى الرواسب، حيث تتراكم مع أنواع مختلفة من الفلزات .

يختلف تركيز اليورانيوم ، الثوريوم ، والبوتاسيوم من منطقة إلى أخرى باختلاف أنواع الصخور ، وهناك عوامل متعددة تؤثر أيضا على توزيع اليورانيوم والثوريوم في أنواع الصخور، أهمها الشروط الجيوكيميائية للوسط ، كمية المادة العضوية ، بالإضافة الى السلوك الجيوكيميائية لهذه العناصر.[١١]

(١.٤.٢) سلسلة اليورانيوم-٢٣٨ : ٢٣٨- Uranium Series

تبدأ هذه السلسلة بنظير اليورانيوم - ٢٣٨ الذي تكون وفرته (٩٩.٢%) من اليورانيوم الطبيعي وبعمر نصف (٤.٥×١٠^{9} years) وتتحول تدريجا الى عنصر الرصاص المستقر- ٢٠٦ وتضم عشرين نظيرا تتراوح أنصاف أعمار النظائر الوليدة لها بين الثواني ومئات آلاف السنين ، وباستثناء غاز الرادون (الذي يعتبر ميزة هذه السلسلة ويبلغ نصف عمره (day3.8) فأن جميع نويداتها الوسطية هي عناصر صلبة.

وتحسب اعدادها الكتلية من العلاقة(4n+2) وهذا يعني أن العدد الكتلي يقبل القسمة (٤) والباقي (٢). [12]

(٢.٤.٢) سلسلة الثوريـوم-٢٣٢ : ٢٣٢- Thorium Series

الثوريوم (Th^{232}) العنصر المشع الثاني الذي يأتي بعد اليورانيوم، و عدده الذري (٩٠) ، عدده الكتلي (٢٣٢)، درجة انصهاره (١٧٥٠C^{o}) ، درجة غليانه (٤٧٠٠C^{o}) وتبلغ كثافته (١١.٧٢gm/cm^{3}) . ويوجد الثوريوم بتراكيز قليلة في الطبيعة لذا يعد من العناصر ذات التواجد الضئيل .

تبدأ هذه السلسلة بنظير الثوريوم_ ٢٣٢ وتعاني العديد من الانحلالات لتنتهي بالنظير المستقر للرصاص_ ٢٠٨ و تحسب الأعداد الكتلية لنظائر هذه السلسلة من العلاقة (n4) أي ان العدد الكتلي لعناصر هذه السلسلة يقبل القسمة على (٤) دون باقي. [12]

(٣.٤.٢) البوتاسيوم- 40 : 40 - Potassium

يعد البوتاسيوم _٤٠ النظير المشع من نظائر البوتاسيوم ،عدده الذري(١٩) ، عدده الكتلي(٤٠) ، درجة انصهاره (٦٣.٨٠C^{o}) ، درجة غليان (٧٧٠C^{o}) ، كثافته (٠.٨٦gm/cm^{3})وبوفره طبيعية (٠.١١٨%). يتميز هذا النظير باحتوائه على خط كامي مفرد ذي طاقة (1460 Kev) ويبلغ تركيزه في التربة بحدود (12 ppm) . [١٢]

(٥.٢) التأثيرات الحيوية للإشعاع الذري :
Biological Effects Of Atomic Radiation

تقسم التأثيرات الحيوية للإشعاع الى :

(١.٥.٢) التأثيرات الأولية للإشعاع : Early Effects Of Eadiation

تقسم التأثيرات الأولية للإشعاع الى الأقسام التالية :

- ❖ الموت الإشعاعي الحاد Acute radiation lethality .
- ❖ التلف الشعاعي الموضعي للأنسجة Local tissue damage .
- ❖ التأثير الإشعاعي على جهاز تكّون الدم Hematologic effects .
- ❖ التأثير الإشعاعي على الوراثّيات الخلفية Cytogenetic effects . [13]

(٢.٥.٢) التأثيرات المتأخرة للأشعة : Late Effects Of Radiation

يمكن تقسيم التأثيرات المتأخرة للأشعة الى :

- ❖ التأثيرات على الجلد : حدوث السرطان ، ويمكن حدوث التوسف desquamation وتغير لون الجلد وتركيبه، ويبدو صلبا في منطقة اليد والساعد وقد يبدو قاسيا، وسريع التشقق والتقشر.
- ❖ زيادة عتمة العين Cataract .
- ❖ تقليل عمر الإنسان (الوفاة قبل الأوان).
- ❖ الإصابة بالسرطان مثل سرطان الدم Leakemia ،سرطان العظام ، سرطان الرئة ، سرطان الغدة الدرقية.
- ❖ التأثير على الكروموسومات والجينات وحدوث الطفرات . [١٣]

(٦.٢) اجهزة قياس غاز الرادون : Radon Measuring Devices

(١.٦.٢) كاشف الحالة الصلبة (RAD7) : (RAD7)Solid State Detector

جهاز RAD٧ هو كاشف متعدد الاستعمالات إذ يستخدم لأغراض مختلفة مثل سحب الرادون من الهواء ، استنشاق غاز الرادون أو الثورون ، قياس غاز الرادون في المياه، اختبار غاز التربة وقياس انبعاثات غاز الرادون والثورون من المواد والاسطح .

و الشكل (٣.٢) يوضح المظهر الخارجي لجهاز RAD7 . [١٤]

الشكل (٣.٢) : يوضح جهاز قياس الرادون. [١٤]

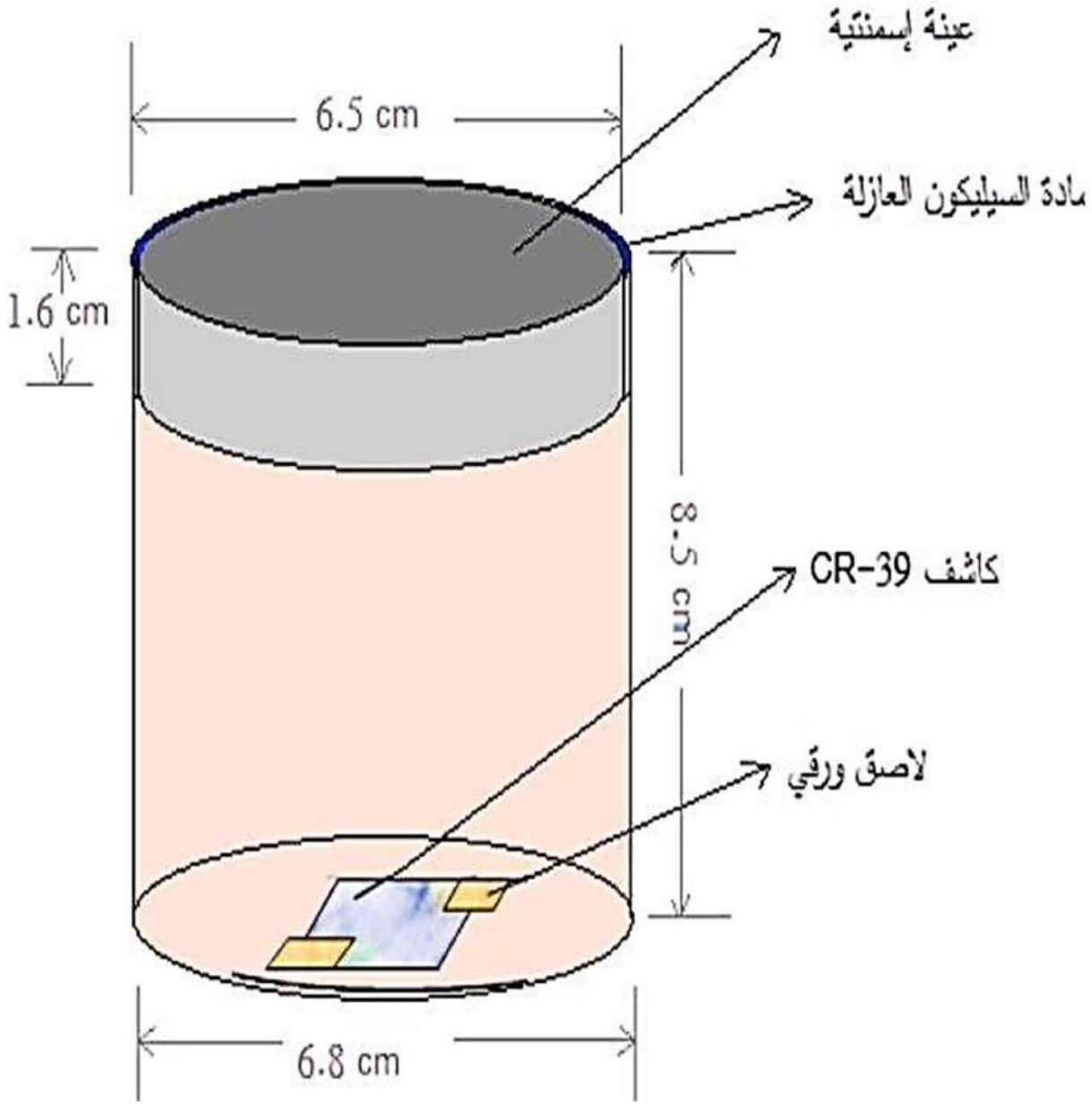
(٢.٦.٢) كاشفات الحالة الصلبة النووية (CR-39) :
Nuclear Solid State Detectors (CR-39)

تستخدم كواشف الأثر النووي الصلبة

(Detectors Track Nuclear State Solid : SSNTDs) في تحديد تركيز Rn^{222}

إن الكواشف الأكثر شيوعا هي (CR-39) وهو عبارة عن بوليمير كيميائي مكون من كربونات ثنائي غليكول الاليل carbonate diglycol alil يستعمل هذا النوع من الكواشف بطريقتين مختلفتين ، الطريقة الأولى يكون الكاشف فيها مكشوفا bare حيث تؤثر الرطوبة والغبار في كشف جسيمات ألفا، وتعتمد حساسيته على عامل التوازن بين الرادون ووليداته قصيرة العمر .الطريقة الثانية يكون الكاشف فيها مغلقا حيث يوضع ضمن حجيرة انتشار لمنع تأثيره بالظروف الخارجية. لدى اختراق الجسيم المؤين الثقيل كاشف الأثر النووي تتشكل جذور حرة نشطة كيميائيا على طول مسار الجسيم داخل الكاشف. ينتج عن هذا المسار ما يعرف بالأثر الكامن ، حيث يكون قطره أقل من(10^{-8} cm).لا يمكن رؤية هذه الاثار بواسطة المجهر الضوئي إلا بعد عملية الحك الكيميائي.

بالإضافة الى ذلك يمتلك كاشف CR_٣٩ حساسية وقدرة تحليل عاليتين في تسجيل آثار البروتونات او جسيمات الفا او شظايا الانشطار (fragments Fission) ، بسبب احتوائه على أواصر الكربون الضعيفة التي تتكسر بسهولة عند تعرضها للإشعاع . حيث يوضح الشكل عبوة بلاستيكية لقياس نفاذية العينة لغاز الرادون باستعمال كاشف (CR-39). [١٢.١٥]



الشكل (٤.٢) : يوضح عبوة بلاستيكية لقياس نفاذية العينة لغاز الرادون باستعمال كاشف (CR-39). [6]

(٧.٢)علاقة الزمن بالجرعات الخارجية للإشعاع :

The Relationship Of Time With External Doses Of Radiation

أن أبسط اسلوب للوقاية من الأخطار الإشعاعية الخارجية هو قضاء أقل فتره زمنية ممكنه في الأماكن التي توجد فيها الإشعاعات فالجرعة الإشعاعية المتراكمة في عضو ما H أو في جسم الإنسان ككل E تتناسب طرديا مع كل من طول الفترة الزمنية t ومعدل الجرعة المكافئة H* أو الفعالية E* في مكان وجوده اي أن : E=E*×t

وهكذا يتبين أنه للوقاية من الأخطار الإشعاعية الخارجية يجب الا يتجاوز زمن التعرض زمنا يسهل وكلما زاد معدل الجرعة في هذا تحديده بمعرفة معدل الجرعة المكافئة أو الفعالة في المكان المقصود ،المكان قل الزمن الذي يسمح بالبقاء خلاله داخل هذا المكان.

الحماية الزمنية هي احتياط واجب حيث انه كلما مضت مده على التلوث الإشعاعي قلت قيمة الجرعة المستقبلة على النشاط الإشعاعي.[٣]

(٨.٢)وحدات النشاط الإشعاعي : Radioactivity Units

هي وحدات لقياس كمية الإشعاع الصادر من المواد المشعة منها :

- الكوري : هو النشاط الإشعاعي لغرام واحد من الراديوم ويساوي ٣.٧×١٠^{10} ذرة متحللة من المادة المشعة في الثانية الواحدة .
- البيكريل : ويساوي ذرة واحده متحللة من المادة في الثانية الواحدة .[٣]

(٩.٢) الاستفادة من قياس غاز الرادون :

Benefit From The Measurement Of Radon Gas

كما يمكننا الاستفادة من قياس غاز الرادون في التنبؤ بالزلازل والبراكين وتحديد مكامن العناصر المشعة ، ويجدر بنا القول أن استنشاق غبار العناصر المشعة الأخرى يؤدي إلى ذات الخطر الذي يمثله الرادون لا بل خطر أكبر وخصوصا إذا كان العنصر من أعلى السلسة المشعة واذا كان نشطا كيميائيا يمكنه التفاعل وتشكيل أملاح يمكنها الترسب في مناطق نشطة بيولوجيا مثل الكبد والغدد ونقي العظام وبالتالي يكون الخطر أكبر بأضعاف ما كان عليه بالنسبة للرادون وكمثال على ذلك استخدام اليورانيوم المستنفذ في الأسلحة.[٣]

Resources And References : المراجع والمصادر

1. Ahmed, Amna Ahmed Abdullah, Daw Al-Bayt, Aisha Bashir Ali, Muhammad, Fatima Muhammad Ali, & Supervisor-Ahmed Al-Hassan Al-Faki. (2011). Measurement of radon radiation in the Al-Fatihab area in open rooms (Doctoral dissertation, Sudan University of Science and Technology).
2. Mahmoud Omar Bisharat, & Mohamed. (2020). Indoor Radon Concentration Measurements in Dwellings in Tammoun Town, Palestine (Doctoral dissertation, An-Najah National University).
3. Al-Rifai, Nihal Al-Rifai Malik, & Ahmed Al-Hassan Al-Faki. (2020). Sources of radiation doses in the environment and methods of detection and prevention (Doctoral dissertation, Sudan University of Science and Technology).
4. Nisreen Ghanem. (2022). The basis of the state's civil liability for the damages of nuclear radioactive contamination. the College of Law and Political Science Journal, 11 (18).
5. Abdalsattar, K. H., Ahmed Najam, A. N., Abbas, F. H., & Fadhil, K. F. (2017). Lung cancer risk due to radon in different brand cigarette tobacco in Iraqi market. World Scientific News, 77(2), 163-176.
6. Badr El Din Naoum (2017). Spread of radon gas and ionizing radiation through cement mixtures (PhD thesis, University of Damascus).

٧. محمد بن ابراهيم الجار الله، غاز الرادون، مصادره، واستخداماته، مخاطره إلشعاعية والحماية منه ، العبيكان للنشر، مكتبة الملك فهد، المملكة العربية السعودية، الطبعة ٢٠٠٩م.

8. Zainab Abdul-Karim Ali (2020) Measurement of radon and uranium concentrations in different types of tobacco in Kirkuk Governorate, University of Kirkuk.

9. Ibrahim, Nisreen Taj Al-Sir Al-Amass (2021). Study and measurement of radioactive levels of radon gas concentration for local homes in Al-Damar - River Nile State. Digital repository Nile Valley University.

١٠.الإشعاع : الآثار والمصادر، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠١٦.

11. Crescent, M. A., & Mohammed Al-Ahmad. (2006). Radioactive radon gas and the need to determine its concentration in the geological environment of Medina.

١٢.ندى فرحان كاظم الربيعي(٢٠٠٤) ، دراسة اشعاعيه لنماذج بيولوجية مختارة ، الجامعة المستنصرية ، كلية العلوم.

١٣.مبادئ الإشعاع والوقاية الإشعاعية / د. هشام إبراهيم ،استشاري الأشعة التشخيصية ، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع ، ٢٠٠٥ .

14. Durridge Company Inc, RAD7 Radon Detetor User Manual, 2017.

15. Shweikani R, Raja G, (2005). Design, construct test of a calibration radon chamber Radiat. Meas. 40, 316-319.