

المقدمة

الوقود الاحفوري بشقية النفط والغاز وبقية الصناعات مثل صناعة الأسمدة الفوسفاتية او الصناعات التعدينية الاستخراجية او الصناعات البتروكيمياوية تعتمد على استخراج المواد من باطن الارض والتي تحوي على سلاسل المواد المشعة طبيعيا ونتيجة للعمليات الصناعية تتركز هذه المواد وتودي الى تعرض العاملين لخطر المواد المشعة الطبيعية التي تتركز بفعل هذه الصناعة. إذ ترافق السلاسل الطبيعية للاشعاع النفط المستخرج من باطن الأرض، ونتيجة الضغط ودرجة الحرارة تترسب المواد الصلبة والاوحال على الجدران الداخلية للأنايبب و اوعية فصل النفط خلال مراحل فصل السوائل تؤدي إلى خفض انحلالية الايونات لدى وصولها إلى سطح الأرض فتتبلور بذلك أملاح عديدة، تؤدي الى تكوين أملاح الكربونات أو الكبريتات المركبة، التي تتراكم على هيئة رواسب في الأنايبب و المعدات فوق سطح الأرض. هذا و تتعلق كمية الرواسب المتراكمة بعدة عوامل، منها معدل الضخ، و زمن وصول الماء المرافق أو المنتج من الحوض إلى السطح،

وتلوث البيئة تسمى هذه المواد المشعة طبيعيا (NORM) . هذه المواد المشعة الطبيعية موجودة في باطن الارض و الصخور والتربة وتتركز خلال مراحل الانتاج،الصيانة وتصفية المنشأة بعد نضوب الابار.

صناعة النفط و الغاز إحدى الصناعات التي تعمل في ظروف عمل شاقة وتجاوب تحديات حقيقية للوصول الى كفاءة عالية في الانتاج مع الحفاظ على معايير امان عالية من خلال السيطرة على التعرض الاشعاعي المهني ولحماية السكان والبيئة من مخاطر الاشعاع. يتعرض العاملون فيها للاشعاع

يحمل الماء المنتج المرافق للنفط أيضا مثل هذه النظائر المشعة، التي لم تترسب في الأنايبب و الخزانات على هيئة رواسب صلبة ولهذا فإن طرح هذه المياه في البيئة المحيطة يلوث التربة.

اهتمت الوكالة الدولية للطاقة الذرية والدول المنتجة للنفط والغاز (NORM) في السنوات الاخيرة لغرض ايجاد الطرق الامنة للتعامل مع هذه المواد في صناعة النفط والغاز بالتحديد وطرق ازالة هذه الملوثات من المعدات والاجهزة . تتضمن الفصول الاولى من الكتاب اساسيات الاشعاع المؤين والكشف عنه وتأثيراته وبقية الفصول تركز على المواد المشعة طبيعيا (NORM) وكذلك تم مناقشة الطرق المعتمدة عالميا للتخلص من المواد المشعة طبيعيا الصلبة والسائلة والاحوال والوقاية من الاشعاع وتصفية منشأة النفط والغاز .

في الختام اقدم جزيل شكري الى جميع اللذين مدوا يد العون لي خلال عملي الميداني مع هذه المواضيع في العراق وفي دولة قطر وخاصة زملائي في قسم الوقاية من الاشعاع في المجلس الاعلى للبيئة والمحميات الطبيعية /الدوحة و اخص بالذكر الانسان القطري الرائع مفتاح محمد الدوسري لجهدة الخير خلال عملي في قطر . اتمنى ان اكون قد وفقت في امداد المكتبة العربية بجهدتي المتواضع ومن اللة التوفيق .

الاهداء

الى الدوحة المدينة التي احتفظتني في اكثر ايام حياتي قسوة ووفرت لي الامان الذي فقدته في وطني العراق الى دوحة الخير والمحبة اهدي مؤلفي السادس جميلا وعرفانا.

الفصل الأول

اساسيات الفيزياء الاشعاعية

١ - المقدمة:

كان لفلاسفة الاغريق افكارهم العلمية الفلسفية في مكونات المادة حيث أطلقوا على القطعة الصغيرة جداً من المادة والتي لا يمكن تقسيمها إلى ما هو أصغر منها اسماً (الذرة Atom أي الذي لا يتجزأ) . وتتضمن الذرة بنية معقدة ، حيث يوجد في مركز الذرة النواة ذات الكثافة العالية جداً والمؤلفة من البروتونات والنيوترونات ، وتحمل النواة شحنة موجبة وتدور حولها الإلكترونات بسرعة فائقة وتحمل هذه الإلكترونات الشحنات السالبة وهي خفيفة الوزن مقارنة مع النواة.

اوضح الفيلسوف الإغريقي ديموقريطس في القرن الخامس قبل الميلاد بفكرة أن المادة تتكون من جسيمات أولية غير قابلة للتجزئة ، خالفة الفيلسوف الشهير أرسطو وأقر أن المادة تتكون من اربع اجزاء هي الماء،النار،التراب،الهواء.. وبعد حوالي ٢٠٠٠ قام الفيلسوف بيكون بمهاجمة آراء أرسطو في بنية المادة ، وأيد فكرة ديموقريطس ، بعدها إقتراح العالم بويل أن الغازات تتكون من جسيمات صغيرة جداً ، يوجد بينها فراغات تقل وترداد حسب الضغط

وفي عام ١٨٠٨م تصور جون دالتون ان الذرة بأنها عبارة كرات صلدة صغيرة و ، فلاقت افكاره موافقة كثير من العلماء لمدة ١٠٠ عام ،ثم اثبتت تجارب فارداي في أنبوية التفريغ الكهربائي بأن هناك جسيمات سالبة الشحنة توجد في الذرة ، وسميت هذه الجسيمات فيما بعد بالإلكترونات، ولوجود أجسام سالبة الشحنة فيجب أن تكون هناك جسيمات موجبة كي تتعادل الذرة .، في عام ١٩١٠م اوضح العالم تومسون بأن الذرة جسيم مشحون بشحنة موجبة يتواجد داخلها جسيمات سالبة ، وأن قصف الذرات بجسيمات ألفا لا يؤدي لانحرافها .لكن تجارب رذرفورد عام 1911 م أثبتت عمليا بأن قصف ذرات الذهب بجسيمات ألفا والذي ادي لانحرافها بزوايا كبيرة .

مما يدل على أن هناك جسيمات موجبة الشحنة موجودة في داخل الذرة تسمى النواة وهي جسيم مركزي تتركز فيه كتلة الذرة والشحنة الموجبة بينما تتواجد الإلكترونات على مسافات بعيدة عن النواة ، إلا أن نموذج رذرفورد فشل أيضاً ، ،
تتكون جزيئات العناصر من وحدات متشابهة ، ومتناهية في الصغر تسمى الذرات وتختلف العناصر باختلاف ذراتها. تتكون ذرة العنصر من النواة ويدور حولها عدد من الإلكترونات

١ - ٢ الذرة (Atoms) :

تتكون العناصر من وحدات متشابهة ، ومتناهية في الصغر تسمى الذرات وتختلف العناصر باختلاف ذراتها وتتركب ذرة العنصر من النواة ويدور حول النواة عدد من الإلكترونات . والإلكترون وهو أحد أهم دقائق الذرة ، عبارة عن جسيم ذري يحمل شحنة كهربائية سالبة مقدارها 1.6×10^{-19} كولوم وكتلته 9.11×10^{-31} كغم ويقوم الإلكترون بدورين ، فهو يدور في مدارات معقدة حول النواة بسرعة الضوء تقريباً ضمن أحد مستويات الطاقة للذرة. وفي نفس الوقت يدور حول نفسه باتجاه يعاكس اتجاه دوران الإلكترون الثاني على المدار نفسه ، ويحدد الإلكترون الخواص الكيميائية والفيزيائية للعنصر.

تعرف الذرة بأنها اصغر جزء في المادة ويحمل الخواص الكيميائية لتلك المادة وان اتحاد الذرات يولد الجزيئات والمركبات الكيميائية .

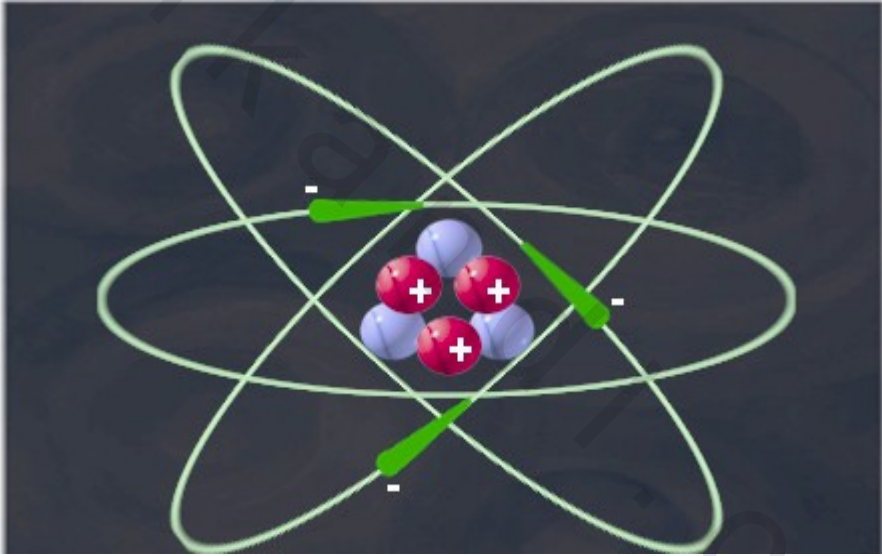
وضعت عدة نماذج للذرة فقد وضع العالم رذرفورد عام ١٩١١ و كان حينئذ في جامعة مانشستر ، أساس الصورة التي مازالت في جوهرها سائدة حتى الآن ؛ فقد أثبت بتجارب أجراها حينئذ بأن الشحنات الموجبة في الذرة تتركز في حيز صغير جدا في وسط الذرة ؛ و أن الإلكترونات السالبة الشحنة متحركة بسرعة حول النواة علي مسافات كبيرة منها ؛ هذا النموذج يوضح أن الذرة تشابة المجموعة الشمسية

حيث تكون فالنواة هي الشمس و تكون الالكترونات فيها هي الكواكب التي تدور حولها .

وهو اول نموذجا تجريبييا عن الذرة عندما قصف رقائق الذهب بجسيمات الفا ، فلاحظ انحراف هذه الجسيمات في مركز الرقائق. فاستنتج بان الذرة تتكون من جزء مركزي موجب

الشحنة يسمى بالنواة تحاط بغيمة من الجسيمات سالبة الشحنة تسمى الالكترونات شكل(1-1).

شكل(1-1). مكونات الذرة



ولقد فشل نموذج رذرفورد للذرة لسببين:

الاول: فقد كانت تفترض الكهرومغناطيسية الكلاسيكية أن لا الإلكترون عندما يدور يشع طاقة لذلك يقترب من النواة بطريق الذرة ثابت .

الثاني: عندما تتناقص طاقة الإلكترونات تدريجيا يتولد طيف مستمر بينما أثبتت التجارب إن طيف ذرة الهيدروجين هو طيف خطي براق .

العالم الدنماركي بوهر اثناء دراسته في انجلترا و بعد أن قضى سنة في كامبردج مضي إلي مانشستر حيث رانفورد يواصل تجاربه و أبحاثه ؛ في سنة (١٩١٣) استند بور الى نظرية الكم للعالم ماكس بلانك ولم يطبق القوانين الكلاسيكية التي كانت سائدة قبلا ، و التي ما نزال حتى الآن نطبقها علي الأجسام الكبيرة. اقترح بور أن الإلكترون يدور في مدارات ثابت حول النواة و عندما ينتقل من مدار لآخر يشع أو يمتص إشعاع ، كما أنه لا يستمر في إطلاق الإشعاع إلى مالا نهاية كما افترضت الكهرومغناطيسية الكلاسيكية ، بل يشع إلى حد معين سمي هذا بنموذج بور والذي ينص على ان الالكترون في أي مستوى يملك طاقة محددة في ذلك المستوى وعندما يكتسب طاقة فانه يقفز من ذلك المدار الى مدار اعلى . تسمى مدارات الالكترونات K, L, M, N من الاقرب الى الابعد عن النواة.حيث ان K المدار الاول و L المدار الثاني و هكذا .. وفي معظم الذرات المستقرة فأن الالكترونات المدارية تحتل المدارات القريبة من النواة فمثلا الكربون يتكون من ستة الكترونات اثنان منهما في المدار K واربعة في المدار L . ولكي يتحرر الالكترون من مداره يجب ان يجهز بطاقة مساوية الى طاقة ربطه مع النواة والتي تسمى طاقة الربط النووي (binding energy) لذلك المستوى،عندما ينتقل الالكترون من مستوى عالي للطاقة الى مستوى أوطأ فإنه يبعث فوتونات طاقتها تساوي الفرق بين طاقة المدارين. ويحصل ذلك عند اكتساب احد الالكترونات الداخلية للذرة طاقة فإنه يزاح من مداره ويبقى مكانه فارغا فينتقل الكترون من مدار اعلى ليحل محل الالكترون المزاح والفرق بالطاقة يظهر بشكل فوتونات للاشعة السينية تسمى بالاشعة السينية المميزة . او ان الطاقة الفائضة نتيجة لانتقال الكترون من مدار اعلى الى المستويات القريبة من النواة تنتقل الى احد الالكترونات وتقلعه من مداره وتسمى هذه العملية بتأثير اوجي (Auger Effect) والالكترون يسمى الكترون اوجي (Auger Electron). وبذلك يحصل تأين مضاعف للذرة .

١ - ٣ النواة

النواة هي عبارة عن جسيم مشحون كتلته أكبر بكثير من كتلة الإلكترونات الذي هي عبارة جسيم صغير يدور حول النواة بسرعة كبيرة ،أي ان النواة الجزء المركزي المتاهي بالصغر من الذرة ، وقد أثبتت التجارب على أن النواة تتكون من نوعين من الجسيمات:

١- البروتونات (P) وهي جسيمات تحمل شحنة كهربائية موجبة تساوي شحنة الإلكترون وتعاكسها بالإشارة .كتلة البروتون تساوي 1.6×10^{-27} كغم ، وهذه القيمة أكبر بـ ١٨٣٦ مرة من كتلة الإلكترون وهي موجودة داخل النواة (مع النيوترونات) وتشكل مايسمى بالنواة. وهي التي تكسب النواة الشحنة الموجبة وشحنتها الموجبة تكافئ الشحنة السالبة للإلكترونات خارج النواة مما يجعل الذرة متعادلة كهربائياً. وفي الذرة المتعادلة، دائماً يكون عدد البروتونات يساوي عدد الإلكترونات ويرمز له بالرمز Z ويسمى العدد الذري. وللبروتونات استخدامات عديدة منها إنتاج بعض العناصر أو بعث بعض الجسيمات النووية مثل النيوترونات من خلال تفاعلها مع بعض العناصر الخفيفة مثل الليثيوم - ٧.

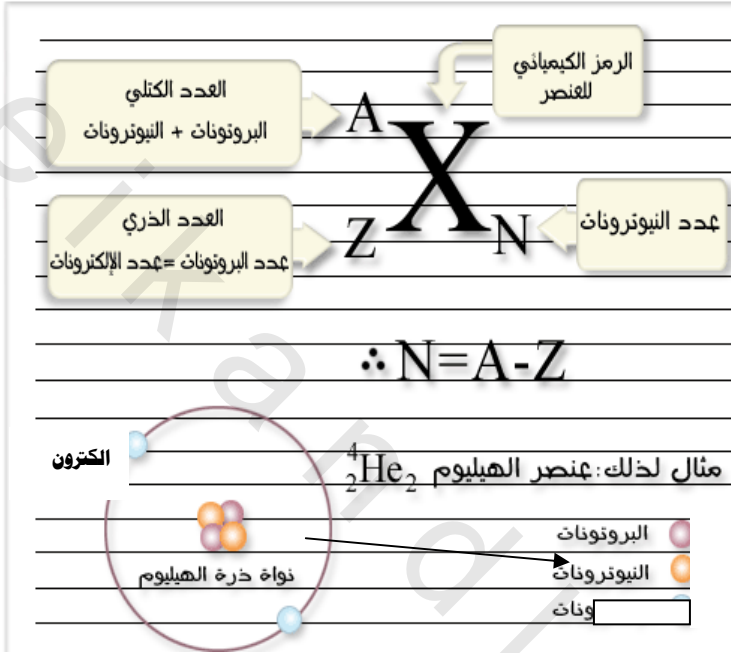
٢- النيوترونات (n) Neutrons اكتشفها العالم شادويك عام ١٩٣٢م حيث قذف البيريليوم بجسيمات ألفا الناتجة عن تحلل البولونيوم ، فنتج عن ذلك جسيمات جديدة لم تكن معروفة من قبل، فهي متعادلة الشحنة ، ولذلك أسماها بالنيوترونات. هذه الجسيمات ذات سرعة كبيرة تتفاعل مع المادة وتؤينها كما تفعل الجسيمات المشحونة α و β ولكن هذا التأين هنا هو تأين غير مباشر. حيث أنها عند تصادمها مع أنوية الذرات يتحرر نيوكلون (بروتونات، نيوترونات) أو أكثر هذه النيوكلونات تقوم بإحداث التأين في المادة خلال مسارها، وتسمى هذه العملية بعملية التأين الثانوي (الغير مباشر). النيوترون له مدى كبير وذلك ناتج عن تعادل شحنته فلا تؤثر عليه

قوة تتأفر كولوم لذلك لا تفقد طاقتها بشكل سريع كجسيمات α - عند التأين، وكتلتها قريبة من كتلة البروتونات ولكنها أكبر من كتلة الإلكترون بمقدار 1836 مرة تقريباً. يدخل النيوترون في تركيب النواة إلى جانب البروتون. لذلك فإن وزن الذرة يتمركز في نواتها تقريباً ، حيث لا يتجاوز مجموع وزن الإلكترونات 0.05 % من مجمل وزن الذرة ، لذا تكون كثافة المادة النووية عالية جداً ، وتدل هذه الكثافة العالية للمادة النووية على الطاقة الهائلة للقوى النووية الداخلية. لذلك تتكون النواة من البروتونات والنيوترونات التي تسمى (بالنيكلونات). بما أن الطاقة التي تربط بين جسيمات النواة أقوى بكثير من أي قوة مؤثرة خارجية ، لذلك تميل النواة إلى الشكل الكروي .

ولأن هذين النوعين من الجسيمات يتشابهان بشكل كبير فيطلق عليهما لفظ (النيوكلونات) و عدد النيوكلونات في النواة يسمى بالعدد الكتلي (عدد النيوترونات + عدد البروتونات) ، ويقاس العدد الكتلي بوحدة الكتل الذرية . أما العدد الذري فيساوي عدد البروتونات في النواة والذي يساوي عدد الإلكترونات ، والعدد الذري يحدد ترتيب العنصر في الجدول الدوري ويحدد الخصائص الكيميائية للعنصر ، وإذا علمنا العدد الكتلي A لنواة عنصر معين والعدد الذري Z فإننا نستطيع أن نستنتج عدد النيوترونات (N) تساوي الفرق بينهما . $N=A-Z$. ويكتب العدد الذري Z في جهة اليسار لرمز العنصر ونحو الأعلى، ويكتب عدد النيوترونات N في جهة اليمين لرمز العنصر ونحو الأسفل. شكل (1 - 1) . الوحدة الاعتيادية للكتل هي الكيلو جرام ولكن هذه الوحدة كبيرة في لتقدير كتل مكونات النواة لذلك تستخدم وحدة الكتل الذرية (amu) والتي تساوي 1/12 من كتلة ذرة الكربون-12 المستقر (^{12}C) والمكونة من النواة وستة إلكترونات. علماً ان $(\text{amu}) = 1.6605 \times 10^{-27}$ كغم. وعلى هذا

الاساس فان كتلة كل من البروتون والنيوترون والالكترون = 0.00783، 1.00866، 0.00055 على التوالي.

شكل (١ - ٢) الرمز الكيميائي



النظائر (Isotopes): هي العناصر التي لها نفس العدد الذري (Z) ولكنها تختلف في العدد الكتلي (A). وهذا يعني انها تتساوى في عدد البروتونات وتختلف في عدد النيوترونات (N) الموجودة في النواة ونتيجة لذلك يكون لها نفس الخواص الكيميائية ولكن تختلف في الخواص الفيزيائية. والنظائر اما ان تكون طبيعية مثل نظائر الهيدروجين ${}^1\text{H}$ ، ${}^2\text{H}$ ، ${}^3\text{H}$ العدد الذري لجميع هذه النظائر = 1. ونظائر اليورانيوم ${}^{235}\text{U}$ ، ${}^{236}\text{U}$ ، ${}^{238}\text{U}$ العدد الذري لجميع هذه النظائر = 92. وإما تكون صناعية يتم الحصول عليها من التفاعلات النووية. وبعض العناصر لها نظيرين أو ثلاثة، بينما يصل عدد النظائر في عناصر أخرى إلى نحو 30 لبعض العناصر مثل

السيزيوم والباريوم. والخواص الكيميائية لجميع نظائر العنصر الواحد متشابهة لكن الخواص الفيزيائية تختلف. فالماء الاعتيادي يتكون من ذرة من الهيدروجين ^1H متصلة بذرتين من الاوكسجين اما عند اتصال الهيدروجين (التريتيوم) ^3H وذرتين من الاوكسجين فيتكون مايسمى بالماء الثقيل والماء في الحالتين لهما نفس الخواص الكيميائية لكنهما لا يختلفان في الخواص الفيزيائية.

الأيزوبارات (Isobars): هي العناصر التي لها نفس العدد الكتلي (A) وتختلف في العدد الذري (Z) أي تختلف بعدد البروتونات (p) الموجودة في النواة.

مثل $^{40}\text{Ca}_{19}$ و $^{40}\text{K}_{18}$ او $^{11}\text{B}_5$ ، $^{11}\text{N}_7$ ، $^{11}\text{C}_6$ ،

الأيزوتونات (Isotones): هي العناصر التي لها نفس عدد النيوترونات (N) وتختلف في العدد الذري (Z). مثال ذلك: $^{131}\text{I}_{78}$ ، $^{132}\text{X}_{78}$ ، $^{133}\text{Cs}_{78}$

١ - ٤ المصادر النيوترونية :

لا يوجد مصدر طبيعي يبعث النيوترونات. ولكن توجد مصادر صناعية لتوليد النيوترونات من اهم طرق الحصول على النيوترونات ما يلي:

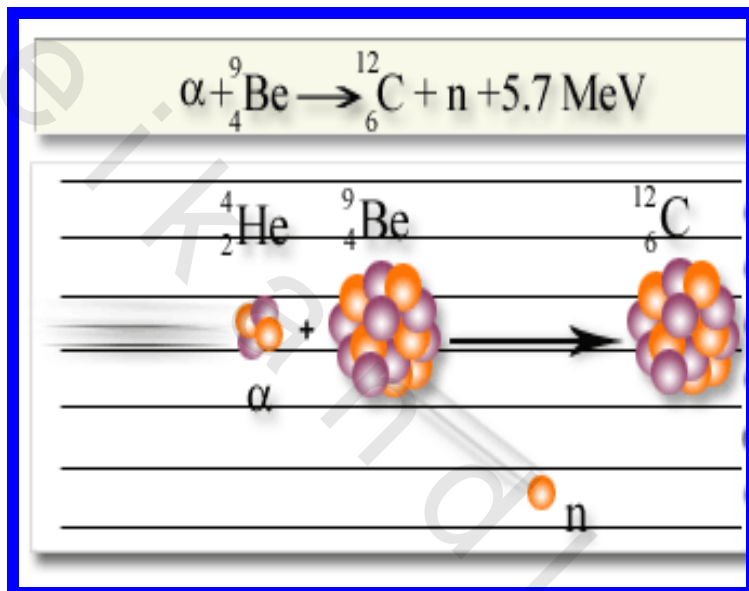
١-المصادر الصناعية للنيوترونات:

من أهم هذه المصادر هو مصدر الكالفورينوم-٢٥٢ هو من العناصر ما بعد اليورانيوم له عمر نصف مقداره ٢.٦٥ سنة. ويتحلل بالانشطار انحلالا واحدا لكل ٣١ انحلال لجسيمات ألفا . أن الانشطار الحاصل بالنواة يكون مصحوبا بانبعثات عدد قليل من النيوترونات والذي يختلف لكل انشطار . وان معدل عدد النيوترونات المنبعثة لكل انحلال هو ٣.٧٦ نيوترون.

٢- مصادر النظائر المشعة:

يخلط مصدر باعث لجسيمات α - مثل نظائر البلونيوم-٢١٠، الراديوم-٢٢٦، الامريشوم ٢٤١ و البلوتونيوم ٢٣٩ مع مسحوق من عنصر مستقر يكون كهدف لقصف هذه الجسيمات حسب التفاعل نوع (α, n) والذي ينتج عنة انبعاث أحد نيوترونات الهدف الضعيفة الارتباط، كما في الشكل (١ - ٣).

الشكل (١ - ٣). الحصول على النيوترونات من مصادر مشعة

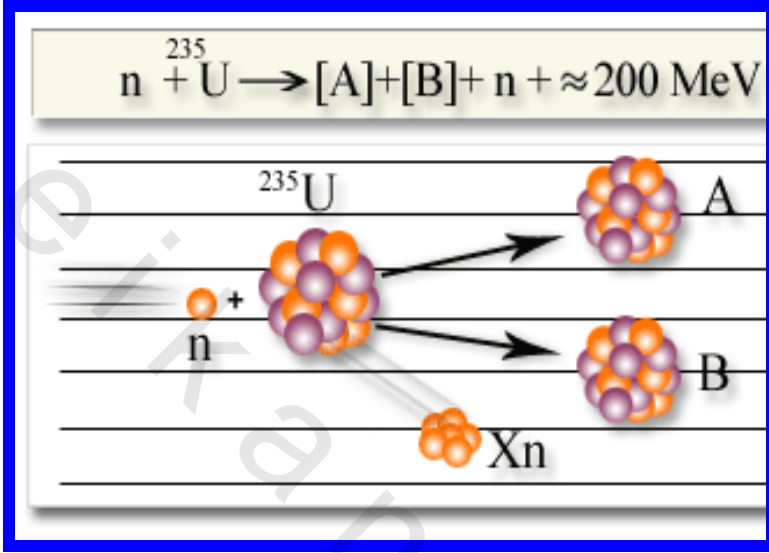


٣ - المفاعلات النووية :

عندما يمتص الوقود النووي للمفاعل (ليورانيوم -٢٣٥) احد النيوترونات تحصل عملية الانشطار النووي. والذي ينتج عنه ذرتين متماثلتين (تقريباً) في الكتلة ومجموع كتلتيهما اقل من كتلة النواة الأم. (ليورانيوم -٢٣٥) بالاضافة الى عد من النيوترونات معدلهايساوي تقريبا 1.5 من النيوترونات ينطلق أثناء عملية الانشطار النووي كما في الشكل (١ - ٤).

حيث A و B هما نواتج الانشطار : X_n . عدد X من نيوترونات الانشطار n. بالاضافة الى طاقة مقدارها ٢٠٠ MeV لكل عملية انشطار

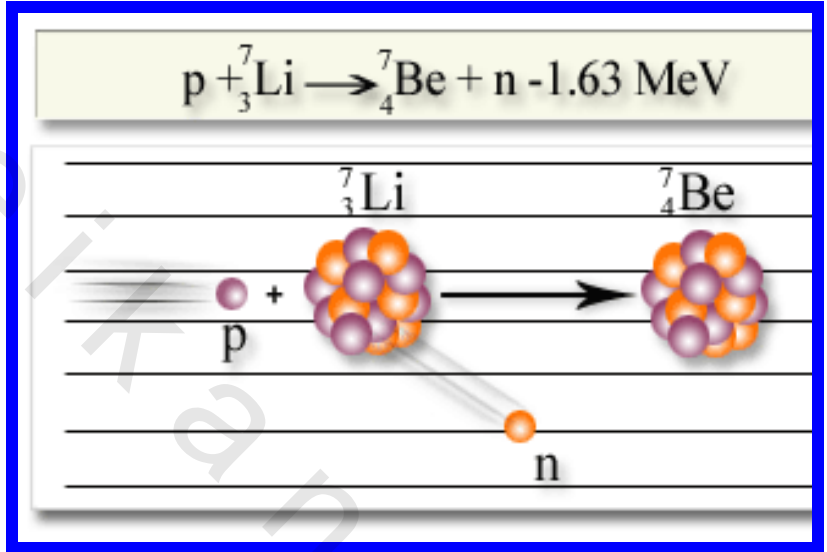
الشكل (١ - ٤) . الحصول على النيوترونات في المفاعلات



٤ - المولد النيوتروني:

المصادر النيوترونية المهمة والتي تولد نيوترونات سريعة طاقتها ١٤ تتولد نتيجة لقصف هدف من التريتيوم بسيل من نوى الديتيريوم التي تصل طاقتها إلى keV ١٥٠. تتميز هذه المصادر بكلفتها الواطئة نسبيا. او تعجيل بعض الجسيمات مثل البروتون إلى طاقة معينة تمكنه من إحداث التفاعل عند سقوطه على هدف من الليثيوم - ٧. لإحداث تفاعل مع نواة الهدف وتتبعث إحد نيوترونات الهدف كما في الشكل (١ - ٥)

الشكل (١ - ٥). الحصول على النيوترونات في المولدات



١ - ٥ قوة الربط النووية

تحتوي النواة على البروتونات و النيوترونات ومن حجم صغير جدا. وتكون متقاربة جدا ويفترض ان تحصل قوة تنافر بين البروتونات حسب قانون كولوم وتتهشم النواة ولكن ذلك لا يحصل لوجود قوة نووية تربط مكونات النواة مع بعضها . هذه القوى ناتجة عن الفرق بين كتل مكونات النواة المحسوبة والمقاسة عمليا . فمثلا نواة ذرة الهليوم تحتوي على بروتونين و نيوترونين. أي ان الكتلة الكلية للنواة = $1.00783 \times 2 + 1.00866 \times 2 = 4.03298 \text{ amu}$ التجارب العملية برهنت ان كتلة نواة الهليوم اقل من ذلك و = 4.00260 amu . ولان $1 \text{ amu} = 931.5 \text{ MeV}$ أي ان الفرق

في الكتلة والذي مقدارة (0.00055) سوف يتحول الى طاقة حسب معادلة انشتاين
لتكافئء اكنلة والطاقة التالية: $E=mc^2$

$$E=931.5 \text{ mc}^2 \text{ MeV}$$

$$E=931.5 \times 0.00055 \times (3 \times 10^8)^2$$

$$= 28 \text{ MeV}$$

هذه الطاقة تصرف لربط النيوكليونات الاربع مع بعضها وتسمى بطاقة الربط النووية وهي على نوعين :

1 - قوى نووية: هائلة هذه القوى تكسب ازواج النيوكليونات تماسكاً داخل النواة ولا يظهر تأثيرها إلا على مسافات قصيرة جداً وتحصل ما بين البروتونات مع بعضها من جهة ومع النيوترونات من جهة أخرى. القوة النووية هي قوة التجاذب المؤثرة بين أي زوج من النيوكليونات بغض النظر عن شحنة النيوكليونات.

٢ - قوة تنافر كولوم: في حال وجود عدد قليل من البروتونات في النواة فإن تأثير قوى التنافر الكولومية على متانة النواة يكون معدوماً ، وعلى العكس من القوى النووية فإن القوى الكهروستاتيكية تؤثر على مسافات بعيدة ، فإذا كانت القوى النووية تتناقص حسب الاس السادس للمسافة، فإن قوى التنافر الكولومية الكهروستاتيكية تتناقص بازدياد مربع المسافة، وبلاضافة لذلك فإن هذه القوى الكهربائية الساكنة غير مهيأة للإشباع ، أي أن كل بروتون يؤثر ويتأثر بكل بروتونات النواة في النوى الثقيلة (حيث توجد كمية كبيرة من البروتونات) تتقارب قيمة قوى التنافر الكولومية الكهروستاتيكية وقيمة قوى الترابط النووي وهذا ما يضعف متانة النواة ، ولكن إذا

زاد عدد البروتونات (العدد الذري) عن ١١٥ فإن قوى التآفر الكولومية الكهروستاتيكية سوف تتغلب على قوى الربط النووية وسوف تنهار هذه النواة عندها ولذلك فإن نوى مثل هذه الذرات تكون غير مستقرة على الإطلاق ولا يمكن أن تتواجد في الطبيعة ، وهذا يدل على أن تأثير القوى الكهربائية على متانة النواة يضع حداً نهائياً لعدد العناصر الكيميائية في الطبيعة أو حتى تلك التي يمكن انتاجها بواسطة التفاعلات النووية. بعد اكتشاف مكونات النواة وهي النيوترونات والبروتونات ، لاحظ العلماء أن القوة التي تربط هذه الجسيمات قوة هائلة لا يمكن تفسيرها بالقوانين المعروفة مثل قانون الجاذبية لنيوتن (قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب تناسباً طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما). أو قانون كولوم بين الشحنات الكهربائية ، ومن أجل تفسير القوة التي تجعل الإلكترون يدور في مداره حول النواة بتطبيق القانونين اعلاة ، فعندما نستعمل قانون الجاذبية ، تكون محصلة القوة ضعيفة للغاية لاتستطيع أن تحفظ الإلكترون في مساره ، وعندما نستعمل قانون كولوم في أن الأجسام ذات الشحنات الكهربائية المتماثلة يجب ان تتآفر والمختلفة تتجاذب فان الإلكترونات لا يمكن ان تبقى في مدارها. ولغرض تفسير الطاقة النووية التي تمسك النيوترونات والبروتونات نبدأ بقانون الجاذبية لنيوتن ولأن كتلة مكونات النواة صغيرة جداً فان محصلة القوى ستكون قليلة جداً وتدل على أن الجاذبية لا تفسر هذه القوة. وإذا استخدمنا قانون كولوم في الكهربائية كمفسر لقوة الترابط ، لوجدنا أنها ليست مقبول أبداً لأننا إذا أخذنا مثلاً ذرة الهيليوم المكونة من نيوترونان عديمي الشحنة وبروتونان موجبي الشحنة ، نجد أن قوة كولوم لو كانت هي القوة الوحيدة المتحكمة في النواة فسوف يتآفر البروتونان حسب هذه القوة ويندفعان الى خارج النواة ، مما دل على أن هناك قوة جديدة أكبر من قوة تآفر كولوم تجعل البروتونات متماسكة في المديات الصغيرة التي أسميت فيما بعد بالقوة النووية القوية. هذه القوة لها خصائص مختلفة عن باقي القوى ، فهي قوة تجاذب

عند المدى ٢ فيرمي تقريباً، وبعدها تخففي هذه القوة ، وعندما يقترب الجسم تزيد القوة النووية لجذبه ، ولكن إذا وصلت المسافة بين النيوكلونات لأقل من ٠.٥ فيرمي فإن قوى الجذب تتحول إلى قوى تنافر فجأة ، وذلك لتجنب الاندماج ، كما أن هذه القوة لا علاقة لها بقوة كولوم حيث أن التجاذب بين النيوترونات يساوي التجاذب بين البروتونات . أن القوة النووية غير متساوية في كل الأنوية ، مع أن جميع الأنوية تحتوي على نفس البروتونات والنيوترونات إلا أن هناك مؤثرات تؤثر على القوة النووية في أنوية العناصر ، فمعدل القوة النووية (٠.٠) Mev عند الهيدروجين ذو النيوكلون الواحد و (٢.٥) Mev عند نواة الهيلوم ذو البروتونين والنيوترون ، ويقفز المعدل إلى (٧) Mev عند الهيليوم ذو البروتونين والنيوترونين ثم يستمر المعدل في الإرتفاع تدريجياً كلما تقدمنا في ترتيب العناصر حتى يصل إلى عنصر الحديد (٨.٨ Mev) ثم يعود بالإنخفاض تدريجياً إلى (7.3 Mev) في آخر الجدول الدوري، وهكذا يكون معدل معظم العناصر ما بين (٧ و 8.8 Mev) ، لذلك فإن نواة الحديد هي أقوى الأنوية من ناحية طاقة الإرتباط.

عدم تساوي طاقة الربط النووية في جميع العناصر ، وذلك بسبب مؤثرات منها ما يزيد في طاقة الإرتباط النووي ومنها ما ينقص منه ، من أهم هذه المؤثرات

١ - مؤثر الحجم :

تزداد القوة النووية كلما زاد عدد النيوكلونات ، وهذا المؤثر يكون فعال حتى نصل إلى ذرة الحديد ، وبعدها تغلب عليه المؤثرات الأخرى

٢- مؤثر مساحة السطح :

عندما يكون النيوكلون في سطح النواة فإنه يتبادل القوى مع جهة واحدة فقط ، لذلك تقل الطاقة الرابطة بسبب هذا الموقع ، وكلما زادت مساحة السطح كلما قلت الطاقة الرابطة بسبب هذا المؤثر السالب

٣- مؤثر كولوم:

قانون كولوم له دور في تحديد طاقة النواة ، حيث أن أي بروتون في النواة يتنافر مع جميع بروتونات الذرة ، فكلما زاد عدد البروتونات قلت طاقة الارتباط

٤ مؤثر التماثل

أثبتت التجارب أن النواة تميل إلى كون عدد النيوترونات يساوي عدد البروتونات ، وكلما زاد الفرق بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات ، تقل الطاقة الرابطة ، وهذا المؤثر يكون غالباً في الأنوية الخفيفة التي عددها الذري اقل من ٤٠ أما الأنوية الثقيلة فالنيوترونات فيها هي الأكثرية

5- مؤثر التزاوج :

الأنوية التي تحتوي على اعداد زوجية من البروتونات و النيوترونات تكون أكثر استقراراً ، ويليهما الأنوية التي عدد نيوتروناتها فردي وعدد بروتوناتها زوجي أو العكس ، اما الأنوية التي عدد بروتوناتها وعدد نيوتروناتها فرديين ، فهي اقل استقراراً (وهي خمسة عناصر فقط في الطبيعة). وكلما كان عدد النيوترونات أو البروتونات مقارباً من أحد الأعداد السحرية فإن طاقة الرابط النووية تزيد

لا يمكن تحديد شكل النواة بالضبط بسبب صغر حجمها ، فالذي يمكن تحديده من النواة هو طاقتها وكتلتها ، كما أن تصميم نموذج للذرة أسهل بكثير من تصميم نموذج للنواة ، فالطاقة التي تربط بين الإلكترونات و النواة و هي قوة، كهرمغناطيسية تربط الموجب بالسالب. ولكن الطاقة التي تربط بين جسيمات النواة لايعرف عنها سوى القليل وهي أقوى بكثير من أي قوة مؤثرة خارجية ،بالإضافة الى أن قطر النواة قليل جدا مقارنة مع قطر الذرة ، فمن الصعب تحديد شكل النواة الخارجي ، لذلك وضعت نماذج للنواة لغرض تحديد خواصها. من اهم هذه النماذج

أ-نموذج القشرة .

ومن النماذج البسيطة المقترحة للنواة أيضاً النموذج الغلافي (الطبقي) للنواة ، وبالإضافة إلى هذه النماذج توجد نماذج أخرى أكثر تعقيداً ، وإن دل تعدد هذه النماذج على شيء فإنما يدل على أن كثيراً من المعلومات عن بناء النواة مازال مجهولاً.

ظهرت نظرية لتركييب نواة الذرة علي أيدي العالمة الأمريكية ماريا مايرعام ١٩٥٠ وتسمي هذه النظرية بنظرية التركيب القشري للنواة ،يوكد هذا النموذج على أن النواة تتكون من قشرات (مستويات) ، حيث تتسع كل قشرة لعدد محدد من النيوكليونات ، وينطبق هذا النموذج على النوى الخفيفة. وكل قشرة يدور فيها عدد معين من النيوكليونات ، وعندما يمتلئ مستوى فإن المستوى الثاني يبدأ بالإمتلاء وقد ازداد الدعم لنموذج المستويات عندما إكتشفت الدكتوراة ماير فكرة الأعداد السحرية والتي تقول أن الأنوية التي يكون عدد نيوترونها أو عدد بروتونها أو كليهما ، أحد الأرقام التالية (٢،٨،٢٠،٢٨،٥٠،٨٢،١٢٦) فإنها تكون مستقرة نووياً. و هذه الأعداد التي سميت بالأعداد السحرية ؛ فمثلا يرمزلة العدد ٢ الى نواة الهيليوم و هي تحوي بروتونين و نيوترونين وهي من أكثر النوى المعروفة استقرارا، و الأكوسجين

الذي يرمز له العدد ٨ يحتوي على ٨ بروتونات ، و ٨ نيوترونات ؛ و كذلك الكالسيوم و له ٢٠ بروتونا ، و يكفي للدلالة علي شدة الاستقرار و الترابط في هذه الأنوية أن نلاحظ أن لها ٦ نظائر ثابتة تحتوي أعدادا من النيوترونات تتراوح بين ٢٠,٢٨ و هذا عدد كبير من التجمعات في النيوترونات بالنسبة لصغر حجم النواة و لكنه يدل دلالة قاطعة علي قوة التماسك في النواة . و إذا ما نظرنا الآن إلي العدد السحري ٥٠ وجدنا أن القصدير و تحتوي نواته علي ٥٠ بروتونا و له عشرة نظائر ثابتة و هي أكبر عدد من النظائر لأي عنصر آخر و كذلك يتوافر القصدير أكثر من أي عنصر يجاوره في الجدول الدوري للعناصر . و قد أثبتت التجارب علي أن نوي العناصر التي تحتوي ٥٠ أو ٨٢ أو ١٢٦ نيوترونا لا تحب أن تمسك بنيوترون إذا مر بها أو أفترب منها و احتمال قبولها لنيوترون واحد يقل بحوالي عشر مرات عن احتمال قبول النوى التي تجاورها أو تماثلها في الوزن للنيوترونات . لقد تم إضافة بعض الفرضيات إلى النموذج القشري من أهمها :

١ - الأعداد السحرية هي أرقام امتلاء هذه المستويات .

٢ - الذرات التي عدد إلكتروناتها (٢ ، ١٠ ، ١٨ ، ٣٦ ، ٥٤ ، ٨٦) وهي علي التوالي غازات الهيليوم - نيون - أرجون - كريبتون - زينون ، تكون مستقرة كيميائياً .

٣ - تعتبر المستويات صلبة و من الصعب الإنتقال بالطاقة من مستوى إلى آخر ، فإذا كان مستواها الأخير يحتوي نيوترون وحيد فإنها تميل إلى فقدان أكثر من ميلها عندما يكون هذا النيوترون في قشرة متكاملة ، وقد حقق هذا النموذج نجاحات كبيرة و استطاع أن يتنبأ بالكثير من الخصائص . ولكنه أغفل نقطة مهمة وهي الشحنة الكهربائية ، مما جعل آخرين يفكرون بنموذج آخر ألا وهو نموذج قطرة السائل .

ب - نموذج قطرة السائل :

يعتبر نموذج قطرة السائل أبسط النماذج النووية وأكثرها وضوحاً وقد اقترحه الفيزيائي الروسي (فرينكل) و العالم الدنمركي (بور) . و حسب هذا النموذج يمكن

تمثل النواة في هذا النموذج مثل قطرة السائل سمي بالسائل النووي جزيئاته هي النيوكليونات والتي تتحرك بشكل عشوائي داخل السائل فيصطدم بعضها ببعض ولهذا السائل كثافة هائلة موزعة بالتساوي على داخل قطرة السائل وتصبح هذه الكثافة صفر عند السطح. وكذلك تتوزع الشحنات بنفس الطريقة في لقطرة. وتختلف حجوم قطرات هذا السائل النووي باختلاف العنصر الكيميائي ، وتتموج هذه القطرة (النواة) مع التأثيرات الخارجية ، كما أن غلاف النواة متماسك أكثر من الداخل، وذلك لأن النيكلون في داخل النواة يكون مرتبط مع بقية النيوكليونات من جميع الجهات ، أما النيوكليون الموجود على السطح فإنه يكون مرتبطاً مع النواة من جهة واحدة فقط وهي جهة مركز النواة أما الجهة الأخرى فتكون عبارة عن فراغ ، وهذا يشبه إلى حد ما الشد السطحي في السوائل ، وتتميز هذه القوى بالإشباع ، فلا يتأثر أو يؤثر النيوكليون إلا بعدد محدود من النيوكليونات المجاورة له ولهذا فإن زيادة عدد النيوكليونات في النواة لا يؤدي إلى زيادة متانة النواة. تتأثر النيوكليونات بقوة التناظر الكولومي الكهروستاتيكي التي تحصل بين البروتونات المتماثلة الشحنة ، وتزيد قوى التجاذب النووي التي تظهر في حالة الأبعاد الصغيرة وتزيد قوى التجاذب النووي بين بروتونين عن قوى التناظر الكولومي الكهروستاتيكي بينهما بمقدار ١٠٠٠ مرة. ان قطرة صغيرة من السائل تكون كروية الشكل و عندما تؤثر عليها قوة خارجية يتحور شكلها وتصبح ذات شكل بيضوي فإذا توقفت القوة الخارجية عن التأثير فإن قوة التوتر السطحي سترجع بالقطرة إلى شكلها الكروي الأصلي أما إذا استمرت القوة في التأثير فيزداد التخصر وتتكون القطرة من حزئي متصلين مع بعضهما و يصبح من المستبعد أن ترجع القطرة ثانية إلى الوضع البيضاوي و لكنها تنقسم إلى شطرين مع احتمال انفصال بعض القطرات الصغيرة من في الجزء الدقيق الذي يصل بين نصفي القطرة ؛ هذا هو ما يحدث لقطرة السائل عند انقسامها بتأثير شد و جذب ولكن هذا النموذج مع سهولته ودقة

نتائج ، أخطأ في كثير من الأشياء وخاصة عن الإستقرار النووي ، وهذا النموذج مرتبط بشكل كبير مع طاقة الربط النووية. وينطبق هذا النموذج على النوى الثقيلة والوسطية ، وقد برهن على صحة هذا النموذج رياضياً وهو يعطي تفسيراً جيداً للظواهر التالية : استقرار النواة ، التفاعلات النووية ، ميكانيكية انشطار النوى الثقيلة وغيرها من الظواهر و ما يحدث للنواة لا يختلف كثيرا عن ذلك ؛ فعند قصف النواة بنيوترون تحدث بعض التذبذبات في سطح النواة (كما يحدث لقطرة السائل) و في خلال عملية التذبذب هذه قد يصبح شكل النواة بيضويا فإذا كانت الطاقة المكتسبة قليلة فإن قوة التجاذب بين مكونات النواة ترجع بها إلي شكلها الكروي الأصلي و تتخلص النواة من هذه الطاقة الزائدة بقذف جسيم آخر (أو أشعة جاما) إلي الخارج راجعة بذلك إلي حالة الاستقرار. و لكن إذا كانت الطاقة التي اكتسبتها القطرة كبيرة فإن تخلصها يزداد تدريجيا حتى تنشط إلي قسمين وذلك بسبب التناثر بين البروتونات الموجودة في كلا نصفي النواة. تحدث عملية الانقسام إذا كانت كتلة النواة الأصلية أكبر من كتلتي النواتين الناتجتين من الانشطار. تسمى الطاقة اللازمة لفصل النواة الي جزئين بالطاقة الحرجة للانشطار.

ج - نظريه عن الحركة الجماعية.:

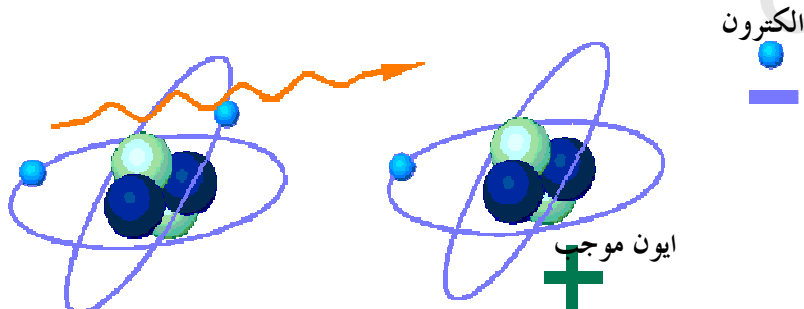
تفسير ظاهرة الانشطار النووي علي أساس نظرية قطرة السائل لاقى نجاحا كبيرا لهذه النظرية. ظلت نظرية قطرة السائل مقرونة بظاهرة الانشطار النووي فقط ، و كان لابد من إيجاد طريقة للربط بين نظريتي القشرة و قطرة السائل وجمع مميزاتها ، و في منتصف الخمسينات طرح العالم الفيزيائي الشاب أيج بوهر (ابن نيلز بوهر الذي طرح النموذج الموحد للنواة) وعدد من زملائه ، نموذجه الموحد عن النواة ، وهذا النموذج دمج فيه نموذج القشرة مع نموذج قطرة السائل ، بحيث تكون النواة ذات القشور المليئة بالنيوترونات و البروتونات حركة جماعية دورانية بحيث يصبح سطح النواة الخارجي مشابه لسطح سائل في قابليته للاهتزاز أي ان القشرة متموجة وليست صلبة ، كما أنه اوضح ان هذا النموذج افترض أن النواة ليست

كروية دائماً ، فهي كروية في حالة الإستقرار النووي التام، ومشوهة في حالة عدم الإستقرار ، كما أنها ثابتة في حالة الإستقرار ومهتزة في حالة عدم الإستقرار ، فلاقى هذا النموذج أكبر الموافقة خاصة في التجارب

١ - ٧ الإشعاع

يعرف الإشعاع بأنه عملية انتقال الطاقة من المصدر إلى المادة بشكل دقائق او بشكل موجات وعندما تكون لهذه الإشعاعات القابلية على تأين ذرات المادة وذلك بفقدانها أو اكتسابها لإلكترون أو أكثر فتسمى هذه الإشعاعات بالإشعاعات المؤينة و يوضح الشكل (١-٦) عملية التأين. يتعرض كل ما هو موجود على سطح الأرض باستمرار لتأثير الإشعاعات المؤينة، التي يكون مصادرها طبيعياً، كالأشعة الكونية و المواد المشعة الطبيعية، او صناعياً وطبياً. والإشعاع على أنواع مختلفة، فبعضها على شكل إشعاع حراري أو ضوءٍ من مختلف الأطوال يصدر عن الشمس أو لهب الاحتراق مثلاً و هو مصدر طبيعي، و بعضها الآخر موجي كالأموج الكهربائية والراديوية المستخدمة في الاتصالات. هذا و يمكن تحسس بعض الإشعاعات بجواسنا مثل الضوء، و بعضها الآخر لا يمكن تحسسه مثل الإشعاع المؤين، و لكن يمكن كشفه و قياسه بأجهزة خاصة تسمى الكواشف كالإشعاعات الصادرة عن المواد المشعة الطبيعية أو الصناعية.

شكل (١ - ٦) تأين الذرات و تحولها الى الكترون و ايون موجب



أنواع الإشعاعات

يمكن تقسيم الإشعاع إلى قسمين رئيسيين:

١- الإشعاع المؤين:

الإشعاع الذي له القدرة على تأيين الذرات التي يمر خلالها وذلك بإقتلاع إلكترون أو أكثر من الذرة (المتعادلة الشحنة) وتبقى بقية الذرة تحمل شحنة موجبة أي أيون موجب

٢ - الإشعاع الغير مؤين :

الإشعاع الذي ليس لديه المقدرة على تأيين الذرات التي يمر خلالها.

وتقسم الاشعاعات المؤينة الى :

١- جسيمات الفا :

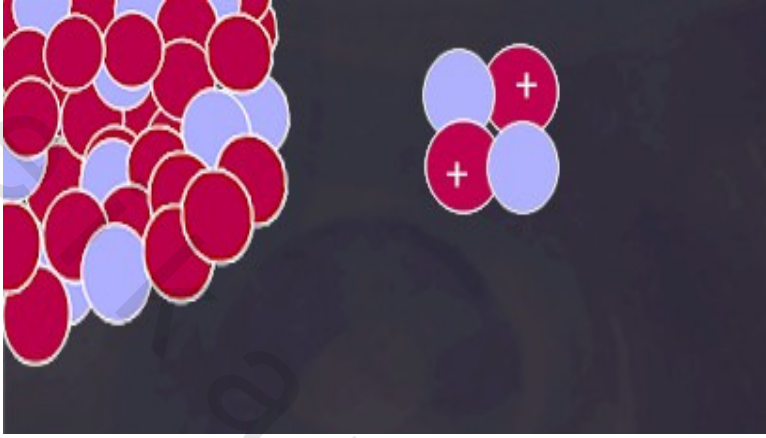
وهي عبارة عن نواة ذرة الهيليوم شكل (١ - ٧) والتي تكون أقل أنواع الإشعاعات نفاذاً في الأجسام وتنتقل بسرعة تتراوح ما بين ١/١٠ إلى ١/١٠٠ من سرعة الضوء ولها قدرة على تأيين الغازات . عند مرورها في مجال مغناطيسي فانها تنحرف عن الاتجاه العمودي ، ويدل اتجاه انحرافها على أنها مكونة من جسيمات تحمل وحتي شحنة موجبة. وهي ذات مدى قصير جداً، فهي تسير مسافة قصيرة جداً في الهواء لا تتعدى بعض السنتمترات تحت الظروف القياسية من الضغط ودرجة الحرارة. جسيمات الفا مرتبطة مع بعضها البعض بشدة بحيث تعامل كجسيم واحد كتلته تعادل اربع من وحدة الكتلة الذرية. في حين أنها تسير بضع من الميكرومترات في النسيج الحي ، وتكفي الورقة العادية لإيقافها. ويرجع السبب في ذلك لكتلتها الثقيلة التي تجعلها تسير ببطء مما يمكنها من تأيين المادة بشكل كبير، إضافة لشحنتها العالية التي تساعد على التأيين بشكل كبير أيضاً، الأمر الذي يؤدي إلى فقدانها للطاقة فتتوقف بسهولة بعد مسافة قصيرة من مرورها في المادة.

٢- جسيمات بيتا:

عبارة عن إلكترونات ذات سرعات فائقة تصل في بعض الأحيان إلى ما يقرب من سرعة الضوء ، كما أن لها قدرة على تأيين الغازات ولكن بدرجة أقل من جسيمات ألفا .واذا وضعت في مجال مغناطيسي فاها تنحرف في الاتجاه العمودي على المجال

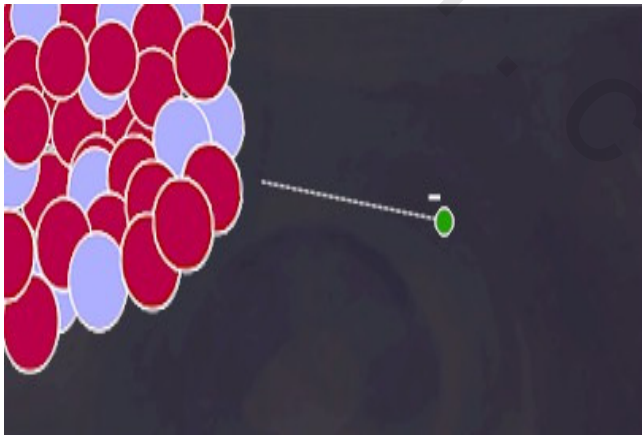
المغناطيسي ويدل اتجاه انحرافها على أنها مكونة من جسيمات مشحونة بشحنة سالبة، كما يدل مقدار الانحراف على أنها جسيمات خفيفة سالبة الشحنة وهي أكثر نفاذاً في الأجسام من جسيمات ألفا .

شكل (٧- ١) جسيمات الفا المنبعثة من النواة



تختلف عن الالكترونات الذرية بكونها اكثر سرعة ومنشأها من النواة ويصحبها انبعاث جسيمات تدعى النيوتريينو. شكل (٨ - ١)

شكل (٨- ١) جسيمات بيتا المنبعثة من النواة



١- أشعة جاما :-

عبارة عن اشعاعات كهرومغناطيسية ذات طول موجي صغير جداً يتراوح بين 10^{-10} إلى 10^{-1} متر وهي شديدة النفوذ إذا ما قورنت بغيرها من الإشعاعات الطبيعية أو حتى الأشعة السينية. للأشعة جاما القدرة على تأيين الغازات ولكن بدرجة أقل من تأيين جسيمات ألفا أو بيتا . وسبب ذلك قوة نفوذها التي تفوق كل من أشعة بيتا وألفا حيث تتناسب قوة النفاذية للإشعاعات الثلاثة عكسياً مع قوة تأينها . وتتميز أشعة جاما بميزات الأشعة السينية فهي ذات طבעة موجيه وليس لها وزن أو شحنة. ولكن الفرق بين أشعة جاما والأشعة السينية هو المنشأ حيث ان الأشعة السينية منشأها المدارات الالكترونية خارج النواة بينما منشأ أشعة جاما هو النواة. شكل (١ - ٩)

شكل (١ - ٩) اشعة جاما المنبعثة من النواة والاشعة السينية المنبعثة من المدارات الالكترونية خارج النواة

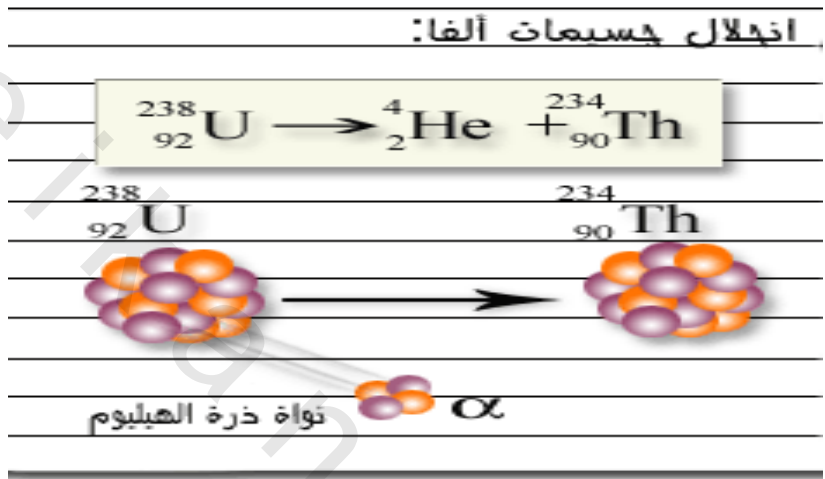


انحلال جسيمات الفا:-

في هذه العملية تفقد نواة النظير المشع (X) جسيم الفا المتكون من بروتونين ونيوترونين وهو عبارة عن نواة ذرة الهليوم ^4He تحاول الوصول الى حالة الاستقرار. شكل (١٠ - ١) .

انحلال اليورانيوم - ٢٣٨ يبعث جسيمات ألفا وتتحوّل النواة الأم إلى نظير الثوريوم - ٢٣٤ وهذا يعني نقصان العدد الكتلي للنواة الأم بمقدار أربع وحدات والعدد الذري بوحدين وبذلك تكون النواة الناتجة مختلفة تماماً عن النواة الأم.

شكل (١ - ١٠) انحلال جسيمات ألفا



انحلال جسيمات بيتا (β-Decay)

في هذه العملية تفقد نواة النظير المشع (X) جسيمات تعرف بجسيمات بيتا وهذه الجسيمات عبارة عن إلكترون سالب الشحنة أو البوزترون (Positron) وهو عبارة عن جسم كتلته مساوية لكتلة الإلكترون ولكن شحنته موجبة. ويحدث هذا النوع من التفكك للنوية في كثير من النظائر سواء كانت ثقيلة أم خفيفة. ويقسم إلى ثلاثة أنواع:

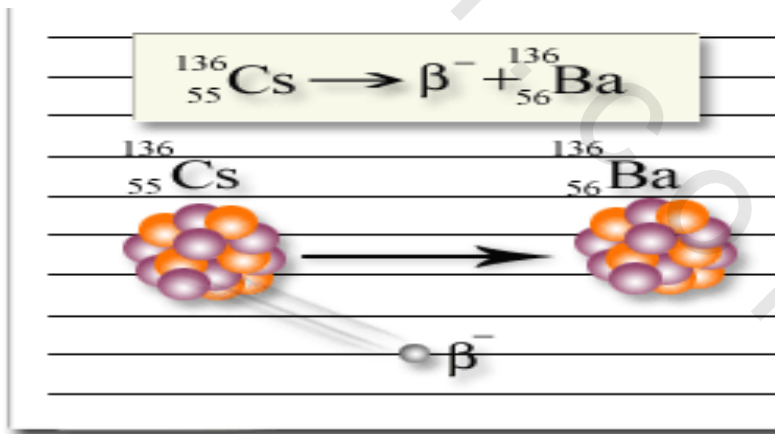
أ - الانحلال بانبعثات الاكترونات Electron decay

بعض النوى تحتوي على فائض من النيوترونات وتحاول الوصول الى حالة الاستقرار عن طريق تحول نيوترون من نيوترونات النواة إلى بروتون والكترون يقذف خارج النواة . وذلك لكي تصبح النسبة بين النيوترونات والبروتونات هي نسبة الاستقرار ويعبر عن هذا التفكك كآلاتي :-



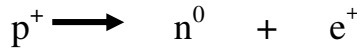
ويلاحظ من المعادلة ان الشحنات محفوظة.تسمى الالكترونات المنبعثة من النواة جسيمات بيتا السالبة هذه الجسيمات سريعة جداً لها كتلة تساوي كتلة الإلكترونات الذرية وتحمل وحدة واحدة من الشحنة السالبة. . وبالطبع تتفاعل جسيمات بيتا مع المادة، وقابليتها للتأين أقل من قابلية جسيمات α ، مما يجعل مداها في الوسط أكبر من مدى جسيمات α -. ومن الممكن أن تنبعث من معظم المصادر الطبيعية مثل ${}^{136}\text{C}$ الذي يبعث β^- . شكل (١ - ١١) ويلاحظ من التفاعل بان العدد الكتلي للنواة الوليدة ثابت ولكن العدد الذري لها يزداد بمقدار ١.

شكل(١ - ١١) انحلال جسيمات ابيتا

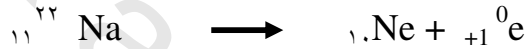


ب) الانحلال بانبعث البوزيترون Positron decay

في بعض الأحيان تكون نسبة البروتونات إلى النيوترونات في النظير المعين أكبر من النسبة التي تحقق الاستقرار . وفي هذه الحالة يتحول أحد بروتونات النواة إلى نيوترون وينطلق نتيجة لذلك إلكترون موجب الشحنة يسمى البوزيترون او جسيمات الموجبة β^+ ويعرف انحلال بيتا في هذه الحالة بالانحلال البوزيتروني ويعبر عنه كالآتي



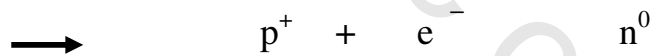
والمثال على ذلك هو انحلال اصوديوم $^{22}_{11}\text{Na}$ الى النيون $^{22}_{10}\text{Ne}$ وانبعث البوزرون



ويلاحظ من التفاعل بان العدد الكتلي للنواة الوليدة ثابت ولكن العدد الذري لها يقل بمقدار ١ .

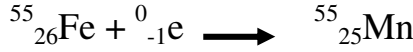
ج) الاسر الإلكتروني : Electron Capture

احد إلكترونات المدارية القريبة من النواة (أي المدار k) للنوى غير المستقرة يأسر من قبل أحد بروتونات النواة ويتحول إلى نيوترون، لذلك تسمى هذه العملية من انحلال بيتا بالأسر الإلكتروني او تسمى احيانا الاسر-k. كما في التفاعل التالي :



وفي حالة الأسر الإلكتروني لا تبعث النواة أيًا من جسيمات بيتا ولكن ينطلق من النواة جسيم يعرف باسم النيوتريينو، والنيوترينو عبارة عن جسم متعادل الشحنة وكتلة السكون له مساوية للصفر. يبقى مكان الإلكترون المأسر فارغا ويحل محله إلكترون من المدار الاعلى والفرق بين طاقة المدارين يظهر بانبعث اشعة سينية

وهي صفة مميزة لهذا النوع من الانحلال . وقد تبعث النواة الوليدة اشعة جاما من نواتها.المثال على هذا النوع من الانحلال هو انحلال الحديد -٥٥ الى المنغنيز - ٥٥ بعد اسر احد الالكترونات .



(ت) الانحلال يبعث اشعة جاما :

إشعاعات جاما هي عبارة عن موجات كهرومغناطسية ذات طاقة عالية . وتصدر إشعاعات جاما مصاحبة الى جسيمات الفا وبيتا الناتجة من النواة الوليدة التي تولت عن انحلال الفا أو انحلال بيتا لكي تعود الى حالة الاستقرار عن طريق التخلص من الطاقة في شكل إشعاعات جاما وبذلك فإنه في حالة الانحلال باشعة جاما تكون النواة الوليدة هي نفسها النواة الأم ولكنها أكثر استقراراً . وتجدر الإشارة إلى أن بعض النظائر المشعة تتحلل إلى نظائر غير مستقرة يكون النظير الناتج مشعاً بدوره وبالتالي تتحلل إلى نظير آخر .

وهكذا نجد أن هناك العديد من النظائر التي لها نشاط إشعاعي طبيعي و تتحلل هذه النظائر مصدره إما جسيمات الفا أو بيتا أو كليهما معاً وقد يتبع ذلك مباشرة أو خلال فترة زمنية معينة إشعاعات جاما الصادرة نتيجة انتقال النويات الوليدة من الحالة المتهيجة إلى الحالة المستقرة (الأرضية)

وينقسم الانحلال ببعث اشعة جاما الى قسمين:

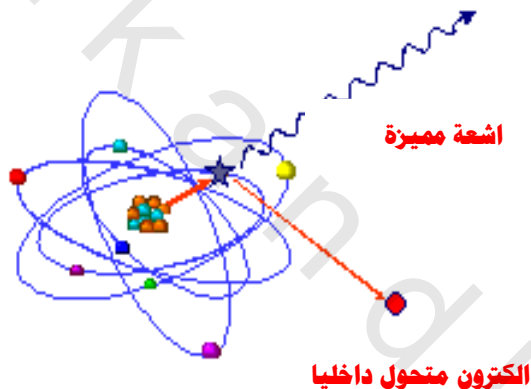
١ - التحول الايزوميري

بعض النوى المتهيجة تصل الى حاة الاستقرار نتيجة لبعثها اشعة جاما. والمثال على ذلك التكنيشيوم المتهيج (${}^{99\text{m}}\text{Tc}$) والذي يكون شبة مستقر (metastable) يفقد الطاقة الفائضة عن طريق انبعاث اشعة جاما لكي يتحول الى التكنيشيوم -٩٩ المستقر .

٢ - الانحلال بالتحول الداخلي:

احد الطرق التي بواسطتها تفقد النوى المثيجة طاقتها للوصول الى حالة الاستقرار . وفي هذا الانحلال يمتص احد الالكترونات الداخلية للذرة (في المدار k) طاقة تهيج النواة ويغادر الذرة. إن طاقة الإلكترون المتحرر تساوي الفرق بين طاقة فوتونات اشعة جاما المنبعثة من النواة المثيجة وطاقة ارتباط الالكترون المتحرر بالذرة. يعتبر التحول الداخلي بأنه ظاهرة كهروضوئية داخلية حيث ان فوتونات اشعة جاما تتفاعل مع الالكترونات المرتبطة بقوة بالذرة وتعطيها جميع طاقتها لكي يتحرر الالكترون شكل (12-1)

شكل (12-1) الانحلال بالتحول الداخلي



التحول الداخلي يشبه الانحلال بواسطة جسيمات بيتا حيث ان كليهما ينتج في انبعاث الالكترونات ولكن الفرق الاساسي بين العمليتين هو :

- ١- في حالة الانحلال بواسطة جسيمات بيتا فان الالكترونات تبعث من النواة اما في حالة التحول الداخلي فان الالكترون المتحول يبعث من المدارات الخارجية .
- ٢- طيف جسيمات بيتا يكون طيف مستمر بينما طيف عملية التحول الداخلي يحتوي على طاقات محددة ان هذا التحول مفيد جدا في تطبيقات الطب النووي حيث

ان النويدات المشعة الشبه مستقرة لها عمر طويل نسبيا لذلك يمكن فصلها عن الام
والحصول على نويدات مشعة باعثة لاشعة جاما فقط

الفصل الثاني
تفاعل الاشعاع مع المادة وتأثيراته
البايولوجية

٢-١ تفاعل الإشعاع مع المادة

السبب الرئيسي للتطرق الى موضوع اسس التفاعل بين الاشعاع والمادة، هو لمعرفة ماذا يحصل للإشعاع عند مروره في المادة وكيف يتفاعل الإشعاع مع الخلايا الحية والاسس الفيزيائية للكشف عن الإشعاع لأن كواشف الإشعاع تتكون من مادة صلبة، سائلة، وغازية وتفاعل الإشعاع مع مادة الكاشف يكون مفيدا لمعرفة اختيار نوع الإشعاع وتصميم الكاشف. وهذا التفاعل قد يحصل بين الإشعاع والكترونات الذرة، او بين الإشعاع ونواة الذرة، واخيرا بين الإشعاع والذرة بأجمعها. ان نوع التفاعل وقدرة اختراق الإشعاع للمادة يعتمد على نوع وطاقة ذلك الإشعاع وطبيعة المادة التي يتفاعل معها الإشعاع .

المقصود بالتفاعل بين الإشعاع والذرات او الجزيئات او الالكترونات هو القوة الكهربائية المتبادلة بين الإشعاع والمادة والتي تتضمن قوة تجاذب او تنافر وليس المقصود بها التماس الميكانيكي بين الإشعاع والمادة. وينتج عن ذلك ظاهرة التأين او التهيج وتنقل الطاقة الى المادة والتي يتحول معظمها الى حرارة نتيجة لاهتزاز الذرات والجزيئات. وتقسم التفاعلات الى قسمين اساسين هما تفاعل الإشعاع مع الجسيمات المشحونة وتفاعله مع الفوتونات . وسوف ندرس بنوع من التفصيل تفاعل اشعاع جاما مع المادة لاهميتها في التطبيقات الصناعية والطب النووي

٢ - ٢. تفاعل الإشعاع مع الجسيمات المشحونة

الجسيمات المشحونة ذات الطاقة العالية مثل جسيمات α وجسيمات β عند تفاعلها مع المادة فانها تفقد طاقتها نتيجة لهذا التفاعل وتحصل ظاهرة التأين او التهيج . ونتيجة لذلك تنبعث الالكترونات باشكال مختلفة حيث تكون بشكل جسيمات بيتا الموجبة او السالبة او تفاعل التحول الداخلي او الالكترونات اوجي وبالإضافة الى ذلك فان الالكترونات تتولد عند تفاعل اشعة جاما والاشعة السينية مع المادة وتقسم جميع هذه التفاعلات الى ما يلي :

أ) التأين:

عندما تتفاعل جسيمات بيتا مع المادة فان طاقتها تستثمر للتغلب على طاقة ربطها بالذرة والباقي من الطاقة يكون بشكل طاقة حركية لهذه الالكترونات (الالكترونات الثانوية)، و اذا كانت طاقة الالكترونات الثانوية كبيرة فانها قد تؤين ذرات او جزئيات اخرى من الوسط وتسمى مثل هذه الالكترونات باشعة الدلتا.

ب) التهييج :

يحصل هذا التفاعل عندما تكون طاقة جسيمات بيتا غير كافية لحصول ظاهرة التأين .لذلك فان الالكترونات المدارية ترتفع من مستوى استقرارها الى مستوى استقرارا أعلى فتكون الذرة في حالة تهيج. وتفقد الذرة طاقة التهييج بشكل اهتزاز للجزئيات ونتيجة لذلك تنبعث اشعة تحت الحمراء، اشعة مرئية او اشعة فوق البنفسجية .

ت) التفاعل مع مجال النواة :

عندما تكون طاقة جسيمات بيتا كبيرة فان الجسيمات المشحونة تخترق الغيمة الالكترونية وتقرب من المجال الكهربائي للنواة. وذلك يؤدي الى تباطئ الجسيمات المشحونة وفقدانها للطاقة فتبعث هذه الجسيمات الطاقة المفقودة بشكل اشعاعات كهرومغناطيسية تسمى باشعاعات الكبح او الحد من السرعة (البرمشتالانك) ان طاقة اشعاعات البرمشتالانك تتراوح بين الصفر(عندما يكون تباطئ الجسيمات قليلا) الى اعظم ما يمكن من الطاقة والذي يساوي طاقة الجسيمات المشحونة الساقطة وتسمى هذه التفاعلات بتفاعلات فقدان الاشعاع.

٢ - ٣ تفاعل جسيمات α مع المادة :

كما نعلم فان جسيمات α لها شحنة موجبة مضاعفة لذلك تتاثر بقوة تجاذب مع الالكترونات الخارجية للذرات المارة قريبا ونتيجة لذلك يقتلع الالكترون من مدارة وتتولد الايونات ويحصل مايلي:

١ - يكون اختراق جسيمات α للمادة قليلا وذلك بسبب كبر كتلتها وتسمى المسافة التي تخترقها الجسيمات المشحونة داخل المادة بالمدى. ولتقل جسيمات α فان انحرافها يكون قليل جدا عند تفاعلها مع الكترونات المادة ويكون مداها مستقيما وذات قيمة ثابتة تقريبا. وبسبب هذا المدى القليل فانها تمتص بعد بضع سنتمترات من الهواء وبضع مايكرون في الانسجة الحية.

٢ - جسيمات α المنبعثة من المصادر المشعة تكون طاقتها ثابتة دائما لكل نظير فمثلا الراديوم - ٢٢١ يبعث جسيمات α بطاقة تساوي 6.71 MeV أي ان كل جسيم من الفا يبعث من الراديوم بنفس الطاقة.

٣ - تمتاز جسيمات α بان ضررها البيولوجي للانسجة الحية كبير جدا لذلك فان النظائر المشعة الباعثة لجسيمات α لا تستخدم في الدراسات التشخيصية لسلوك النظائر المشعة داخل الجسم الحي (in - vivo).

المعادلة التقريبية لحساب المدى في الهواء Ra يعتمد على طاقة جسيمات α ويكتب كما يلي :

$$Ra = 0.325 E^{3/2}$$

اما مدى جسيمات α في أي وسط فيمكن حسابه من المعادلة التالية :

$$R_m = 3.2 \times 10^{-4} (A / \rho) R_a$$

حيث ان A العدد الكتلي و ρ كثافة الوسط

٢ - ٤ تفاعل جسيمات (β) مع المادة :-

بسبب الشحنة السالبة لجسيمات (β) فإنها تتجذب نحو نوى ذرات المادة التي تتفاعل معها وتتناثر مع الكترونات عند مرورها قريبا من المادة. ويحصل نتيجة لتفاعل مايلي :

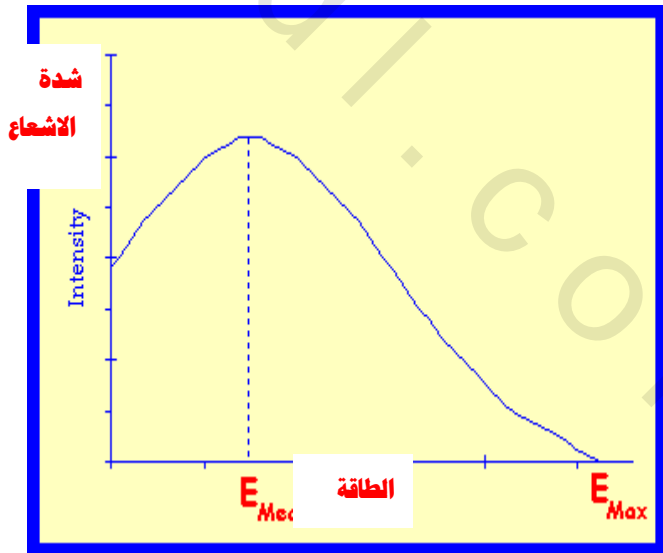
١ - مدى جسيمات (β) لا يكون ثابتا ويختلف من عنصر الى اخر حتى وان كانت الكترونات جسيمات (β) لها نفس الطاقة ونفس الوسط الماص. والسبب في ذلك هو صغر كتلة جسيمات (β) (الالكترون). لذلك يكون المدى متعرجا (zigzag) على العكس من مدى جسيمات α والتي يكون مداها ثابتا وبشكل مستقيم.

٢- عند تفاعل جسيمات (β) مع الكثرونات المادة فانها تتشتت أي تستطار والاستطارة الحاصلة في مدى الالكترن نتيجة للتفاعلات النووية او تولد اشعة سينية مستمرة (البرمشتالنك) تؤدي الى انحراف الالكترن بزاوية كبيرة او ايقافه كليا .

٣- طاقة جسيمات (β) المنبعثة من المصادر المشعة تكون غير ثابتة(عكس جسيمات α) وتكون طيفا يمتد من الصفر الى القيم العظمى E_{max} . يوضح الشكل (٢ - ١) طيف جسيمات (β).

وسبب اختلاف طاقة جسيمات (β) يعود الى اساس تولدها من داخل النواة حيث ان النيوترون ينحل الى جسيمات (β) و جسيمات اخرى خواصها غير معروفة بشكل تفصيلي سماها فيرمي بالانتي نيوترينو. في بعض انحلال النيوتوت تقوم جسيمات (β) بحمل طاقة الانحلال باجمعها فتكون طاقتها عظمى E_{max} . في معظم الحالات فان طاقة الانحلال يشارك في حملها الانتي نيوترينو وجسيمات (β) التي تكون لها معدل الطاقة E_{mean} .

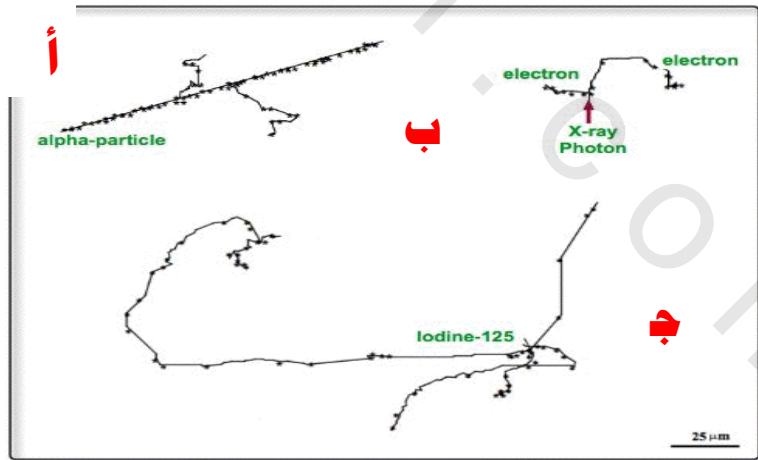
الشكل (٢ - ١) طيف جسيمات (β)



٤ - كذلك تمتاز جسيمات (β) بان ضررها البيولوجي للانسجة الحية كبير نسبيا لذلك فان النظائر المشعة الباعثة لجسيمات (β) لاتستخدم في الدراسات التشخيصية لسلوك النظائر المشعة داخل الجسم الحي (in - vivo).

تفاعل الجسيمات المشحونة مع الالكترونات المدارية خلال التجاذب او النافر الكهروستاتيكي يعتمد على معدل مقدار الطاقة المفقودة على طول المسار للجسيمات المشحونة يعتمد على مربع شحنتها .يوضح اشكل (٢ - ٢) مسار الجسيمات المشحونة في الماء .فان مسار جسيمات الفا يكون بشكل خط مستقيم وتكون عدد التفاعلات لوحدة الطول كثيرة اما مسار الالكترونات يكون قصيرا لان عدد التفاعلات لوحدة الطول قليلة ويكون المسار متعرجا.اسمي مقدار الطاقة المنبعثة لوحدة طول المسار بالطاقة الخطي المنتقلة (Linear Energy Transfer - LET).

شكل (٢ - ٢) مسار الجسيمات المشحونة في الماء -أجسيمات α ذات الطاقة 4 . ٥ MeV .ب - الالكترون المتولد بعد امتصاص اشعة سينية ج - الالكترون المتولد بعد انحلال ^{125}I



فالجسيمات ذات الشحنة الكبيرة والبطيئة الحركة لها LET عالية مقارنة بالجسيمات السريعة والأحادية الشحنة. فجسيمات ألفا ذات الطاقة ٥ MeV إلكترون ذات الطاقة ١ MeV لهما LET مقدارها ٩٥ و 0.25 $\mu\text{m keV}$ على التوالي . الطاقة الخطية المنتقلة لوحدة طول المسار تتغير لتتغير سرعة الجسيمات المشحونة ونقصانها باستمرار. يزال جزء قليل من طاقة الجسيمات المشحونة في كل تفاعل لذلك تزداد تدريجيا على طول المسار ثم تزداد بعد ذلك بحدّة حتى تصل الذروة التي تسمى قمة براك (Bragg Peak) بعدها تصبح طاقة الجسيمات صفرا أي تصبح ساكنة . الهيئة العالمية لوحدات الإشعاع ICRU اقترحت أخيرا استبدال LET بمصطلح آخر سمي الطاقة المباشرة Linear energy له نفس الوحدة يعطي مؤشر جيد لفعالية التأثير البيولوجي (RBE). تعرف هذه الحدة بأنها لنسبة بين الطاقة المترسبة في حجم معين من النسيج الى معدل قطر ذلك الحجم . ولأن الترسيب الميكروسكوبي (الصغير) يكون غير متماثلا. لذلك فان مفهوم الطاقة المباشرة Linear energy أكثر ملائمة لقياس اضرار البيولوجي من LET .

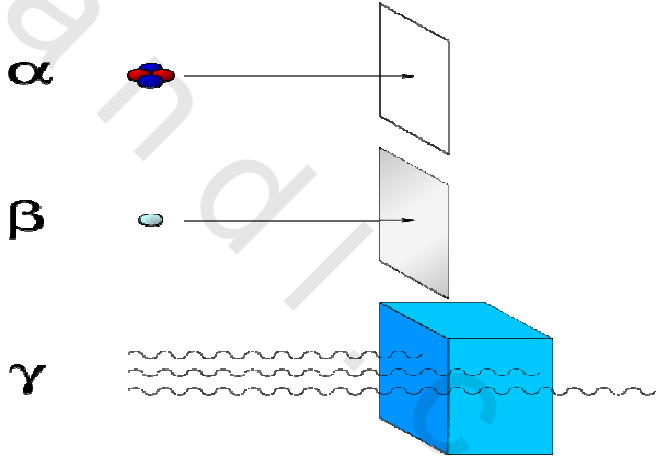
٢ - ٥ تفاعل اشعة جاما مع المادة:

يختلف تفاعل الفوتونات (اشعة جاما و الاشعة السينية) عن تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة حيث ان الفوتونات لا تستطيع تأين ذرات الوسط مباشرة كما هو الحال للجسيمات المشحونة. لانها اشعة مؤينة بصورة غير مباشرة أي ان الفوتونات تقوم بقذف احد الالكترونات للذرات القريبة من الوسط او الوسط نفسه. تقوم الالكترونات او الأزواج الايونية بتأين جزيئات الوسط لذلك يبني عمل الكشف عن الاشعاعات المؤتنة او التأثير البيولوجي لها على هذا الاساس .بالاضافة الى ذلك فان تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة يؤدي الى امتصاصها وابقافها كليا عندما يكون سمك الحاجز كافيا لذلك فيكون لها مدى محدد داخل المادة. ولكن الفوتونات

تتناقص في الشدة بزيادة سمك الوسط الماص ولكن الشدة لاتصبح صفرا لذلك يكون لها مدى غير محدد في المادة .شكل (٢ - ٣) يوضح مدى الجسيمات المشحونة و اشعة جاما في المادة.

عند تفاعل الفوتونات مع المادة فان طاقة الاشعاع (الفوتون) تنتقل نتيجة للتفاعل الى الالكترونات المدارية.هذة الاشعاعات لها القدرة على اختراق النسيج الحي لذلك فهي مهمة للتصوير في الطب او الصناعة والذي يحصل عندما تكون طاقة الاشعاع كافية للنفوذ او الانبعاث من جسم المريض .
يتضمن تفاعل الفوتونات مع المادة انواع عديدة من التفاعلات ولكن الشائع منها ثلاثة نواع هي

شكل (٢ - ٢) مدى الجسيمات المشحونة و اشعة جاما في المادة



أ- الظاهرة الكهروضوئية . (Photo electric)

تعرف الظاهرة الكهروضوئية باتها ظاهرة انبعاث الكترونات من ذرت المادة عند سقوط اشعاع كهرومغناطيسي ذي تردد مؤثر.ولكي تحصل هذة الظاهرة يجب ان تكون طاقة القوتونات اكبر من دالة الشغل للمادة (الطاقة التي يحتاجها الالكترون

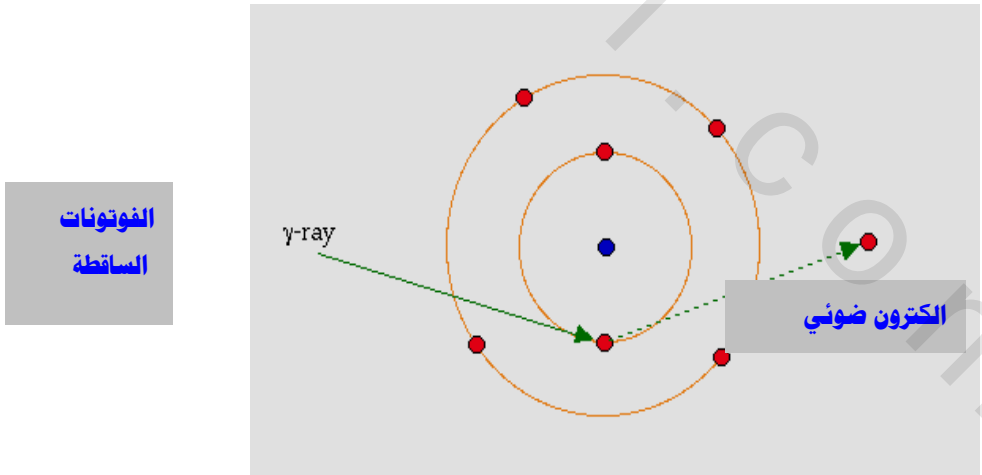
للتخلص من ارتباطة بالنواة). تحصل هذه الظاهرة عندما تكون طاقة الفوتونات قليلة نسبيا (اكبر من دالة الشغل للمادة) أي ان طاقة الفوتونات اقل من طاقة كتلة السكون للالكترون (m_0c^2).

تمتص الذرة طاقة الفوتون الساقط بأجمعها وتقذف احد الالكترونات الداخلية للذرة الى الخارج ويسمى الالكترون المقذوف بالالكترون الضوئي وتتولد ايونات موجبة عندما يغادر الالكترون الضوئي الذرة. . وعندما يزاح الالكترون من مكانه وينتقل الكترون من طاقة اعلى الى ذلك المدار وتتبعث اشعة سينية مميزة او الكترون اوجي. وأخيرا فان الالكترون الضوئي يمكن ان يؤين ذرات المادة خلال مسرة كما في حالة جسيمات بيتا .

استنادا لقانون حفظ الطاقة فان الطاقة الحركية للالكترون الضوئي ($K.E_e$) يساوي الفرق بين طاقة الفوتون (hF) الساقط وطاقة ربط الالكترون بالذرة (Φ).

$$K.E_e = hF - \Phi$$

شكل ٢ - ٤ - تفاعل الفوتونات مع المادة حسب الظاهرة الكهروضوئية



يعتمد حصول الظاهرة الكهروضوئية على العدد الذري للوسط الماص ويتناسب معه طرديا وكذلك على طاقة الفوتونات ويتناسب عكسيا حيث ان الطاقة الواطئة للاشعاع والعدد الذري تجعل الظاهرة الكهروضوئية اكثر احتمالا حيث ان المقطع العرضي للتفاعل يتغير تقريبا حسب $(Z^4 \lambda^3)$ حيث ان (Z) العدد الذري (λ) الطول الموجي للاشعاع الساقط .ولهذا السبب يستخدم الرصاص كدروع واقية من الاشعة السينية وأشعة حاما

ب - ظاهرة (استطارة) كومتن :

هي ظاهرة نقصان الطاقة للفوتونات الساقطة على المادة وزيادة طولها الموجي. تم اكتشاف هذه الظاهرة عام ١٩٢٣ من قبل العالم كومتن الذي منح عام ١٩٢٧ جائزة نوبل لهذا الاكتشاف . تكون طاقة الفوتونات الساقطة كبيرة نسبيا وفي هذا التفاعل تتفاعل الفوتونات مع الالكترونات الخارجية للذرة والتي تكون قوة ارتباطها ضعيفة جدا بحيث يمكن اعتبارها الكترونات حرة. يعتبر التصادم بين الفوتونات والالكترونات تصادما مرنا . فان الفوتون يفقد جزء من طاقته وينحرف عن مساره بزاوية Φ . إما الإلكترون فانه يكتسب جزء من طاقه الفوتونات الساقطة ويزاح عن الذرة مكونا الإلكترون المرند . وبتطبيق قانون حفظ الطاقة فان طاقة الفوتون الساقط E تساوي

$$E = E_s - E_e \text{ ----- 1}$$

حيث ان

E_s طاقة الفوتون المستطار

E_r طاقة الالكترون المرند شكل (٢-٥)

عند تطبيق قانون حفظ الزخم في المستوى الافقي والشاقولي .

$$P = P' \cos \Phi + P_e \cos \dots \dots \dots 2$$

$$0 = -P' \sin \Phi + P_e \sin \dots \dots \dots 3$$

ولأن $P = mv \rightarrow P = 2E/m$ حيث ان P زخم الفوتون

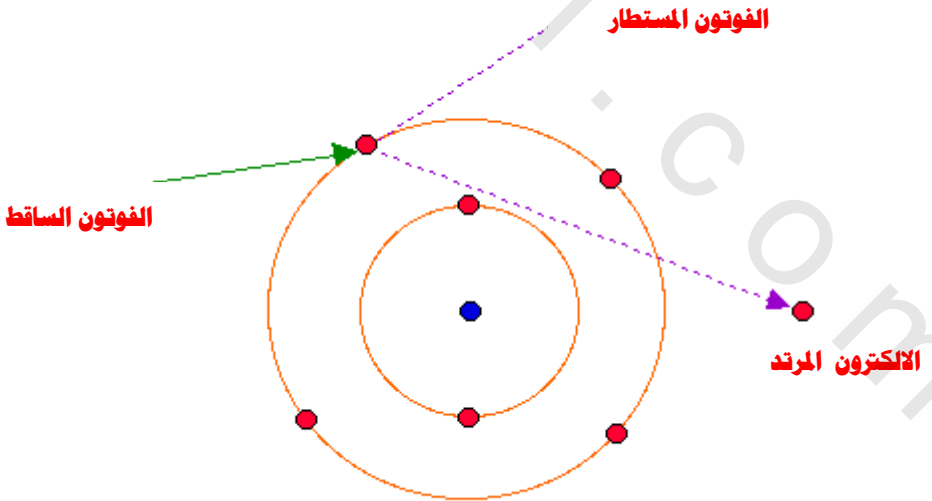
وبحل المعادلات ١ و٢ و٣ ينتج

$$\lambda - \lambda' = h/m_0 c (1 - \cos \Phi)$$

ج- ظاهرة توليد الأزواج:

تحصل هذه الظاهرة عندما تكون طاقة الفوتونات كبيرة وأكثر من (1.02 MeV) وفي هذه الحالة تمر الفوتونات قرب النواة ويؤثر المجال الكهربائي القوي للنواة على الفوتونات ويختفي الفوتون.

شكل ٢ - ٥ ظاهرة كومبتن



وتستخدم طاقته لتوليد زوج الكترون وبوزترون وكل منهما له طاقة مقدارها (0.511MeV). لذلك فتكون اقل طاقة لازمة لحصول هذه الظاهرة هي 1.022MeV. يفقد الالكترتون والبوزترون طاقته بالتأين او التهيج. اما البوزوترون فأنه يفقد جميع طاقته ويتحد مع احد الالكترونات مولدا زوجين من الفوتونات ذات الطاقة 0.511 MeV. باتجاهين متعاكسين وتسمى هذه الظاهرة بالفناء لذلك فان طاقة زوجي الفوتونات والبالغة 1.022MeV وحدها التي تترسب في موقع التفاعل .

ان المقطع العرضي للتفاعل (احتمالية التفاعل) لتوليد زوج الكترون – بوزوترون تتناسب بشكل تقريبي مع $Z^2 + Z$ لذلك فهي مهمة للوسط الماص ذات العدد الذري الكبير ويزداد كذلك المقطع العرضي للتفاعل بشكل قليل بزيادة الطاقة.

٢ - ٦ التأثيرات البيولوجية للإشعاع

التعرض للإشعاع المؤين يؤدي الى تخريب الانسجة الحية .نتيجة لعمليتي التاين والتهيج تكون مايسمى بالجذور الحرة،الجذور الحرة هي ذرات او جزيئات تحتوي الكترونات غير مزدوجة (unpaired) وتكون فعالة كيمائيا بشكل كبير وتحاول الاستقرار بتكوين اواصر مع ذرت وجزيئات في النسيج الحي وتؤدي الى تخريبه. تعتمد مدى الأضرار التي تصيب الخلية على معدل التعرض الذي تستلمه الخلية.وبسبب ميكانيكية اصلاح الخلايا فان الجرعة العالية المستلمة في وقت قصير والتي تسمى بالجرع الحادة(acute dose) تسبب ضررا اكبر مما لو تعرضت الخلايا الى نفس الجرع ولكن بزمن طويل.

وتتنقسم الآثار البيولوجية للإشعاعات في الكائنات الحية إلى نوعين :

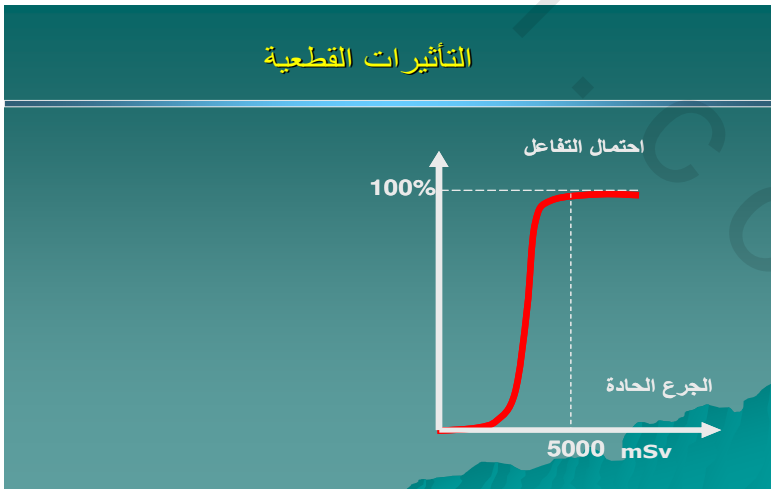
١ - :التأثيرات القطعية (deterministic effect)

تؤدي الجرعة الحادة التي يستلمها النسيج الحي الى التأثيرات الضارة للإشعاع والتي تسمى بالتأثيرات القطعية. هذه التأثيرات تحصل عند أو فوق جرعة معينة تسمى

جرعة العتبة وتؤدي إلى ضرر عالي لعدد كبير من الخلايا وتزداد حدة التأثيرات بزيادة الجرعة. شكل (٢ - ٦). وتعتمد حدة التأثير مباشرة على مقدار الجرعة المستلمة والجزء المعرض من الجسم. وهذه التأثيرات تظهر بعد عدة أيام من التعرض وتحصل بصورة حتمية بسبب عمليات مختلفة أهمها موت الخلايا وتأخر انقسامها نتيجة تعرضها الى مستويات عالية من الإشعاع. إذا كان الإشعاع مركزا بقدر كاف فقد يضعف وظيفة النسيج المتعرض. وتزداد شدة الأثر المؤكد لدى الفرد المعرض كلما تجاوزت الجرعة مستوى العتبة لحدوث هذا الأثر. هذه التأثيرات هي تأثيرات مبكرة للإشعاع (Early effects) وهي أثار تظهر سريريا لدى الأشخاص المعرضين للإشعاعات المؤينة بعد وقت قصير من التعرض.

ويعاني المتعرضين للإشعاع الى ما يسمى بأمراض الإشعاع (Radiation sickness) والأمراض الإشعاعية مصطلح يعبر عن الإضرار المعقدة الناتجة للخلايا عند تعرضها للإشعاع.

شكل (٢ - ٦) التأثيرات القطعية للإشعاع



ومن أهم التأثيرات القطعية:

١ - تناقص كرات الدم **Blood count depression**

تعرض عموم الجسم الى جرعة مقدارها ١ سيفرت أو أكثر تؤدي إلى تخريب الغدد اللمفاوية الحساسة للإشعاع أو نخاع العظم الذي تكون خلايا مسؤولة عن إنتاج خلايا الدم البيضاء والحمراء،

٢- تساقط الشعر **Depilation** :

يحصل تساقط الشعر المؤقت عند جرعة مقدارها ٤ سيفرت. هذا التأثير يحصل نتيجة لتلف بصيلات الشعر والتي تؤدي إلى توقف إنتاج خلايا شعر جديدة مع فقدان الشعر. و يمكن أن ينمو الشعر من جديد بعد فترة. وعندما تكون الجرعة ٧ سيفرت فإن تساقط الشعر يكون دائماً.

٣- احمرار في الجلد (**Erythema**) :

يحصل احمرار الجلد عند التعرض إلى جرعة إشعاعية عالية نسبياً لان الجلد معرض للإشعاع أكثر من أي نسيج آخر في الجسم، خصوصاً بالنسبة للأشعة السينية وأشعة جاما لذا فان التعرض لجرعة مكافئة مقدارها ٥ سيفرت أو أكثر من الأشعة السنوية ذات الطاقة المنخفضة يؤدي إلى احمرار الجلد (الاريثيما). وعند زيادة الجرعة يمكن أن تظهر أعراض أخرى كالحروق والتقيحات وغيرها .

٤- هروق نتيجة للإشعاع (**Radiation burns**)

عند التعرض لجرع تصل إلى ١٠ سيفرت أو أكثر فإن ذلك يؤدي إلى تلف خلايا الجلد وموتها بعد زمن قصير من التعرض والذي يؤدي إلى أضرار حرق الجلد.

٥ - الجهاز العصبي المركزي

زيادة الجرعة الإشعاعية بصورة مضطربة يزيد احتمال الوفاة من خلال التجارب التي أجريت على الحيوانات المختبرية والذي أظهر التشخيص الطبي وجود تلف جزئي في الجهاز العصبي المركزي. وهناك القليل جداً من هذه المعلومات حول الإنسان في هذه الجرع

٢ - : التأثيرات العشوائية Stochastic effect .

التأثيرات الحادة هي التأثيرات التي تلاحظ بعد التعرض الجدي لحادث إشعاعي يؤدي إلى تعرض الفرد إلى جرعة إشعاعية كبيرة، ولحسن الحظ فإن مثل هذه التأثيرات غير شائعة. الدراسات والأبحاث لمجموعة من الأفراد تعرضوا إلى جرعة قليلة من الإشعاع أشارت إلى امكانية تعزيز استحداث السرطان من التعرض الإشعاعي والذي يزداد احتمالاً بزيادة الجرعة الإشعاعية. ومع أن الدراسات العملية للجرع الواطئة قليلة إلا أنه افترض بأنه لا توجد جرعة يكون التعرض للإشعاع عندها آميناً. لذلك فإن أي جرعة مهما كانت قليلة قد تؤدي إلى تأثيرات ضارة. هذا النوع من التأثيرات تؤدي إلى حصول تأثيرات ضارة تتناسب طردياً مع الجرع المستلمة والذي يسمى بالتأثيرات العشوائية. وقد تحصل التأثيرات العشوائية إذا حدث تحور في الخلية المشعة دون ان تقتل. وقد تتطور الخلايا المتحورة بعد عملية طويلة الى سرطان. شكل (٢ - ٧).

الشكل (٢ - ٧) تأثيرات الإشعاع البيولوجية



وهكذا فان تأثير الإشعاعات على الإنسان والكائنات الحية الأخرى ينتج عن إتلاف الخلايا. ويمكن أن تتجلى هذه التأثيرات في نفس الشخص المتعرض للإشعاع نتيجة إتلاف الخلايا العادية لجسمه وتعرف هذه التأثيرات عندئذ بالذاتية Somatic effects . كذلك يمكن أن تنتقل هذه التأثيرات إلى الأبناء أو الأجيال التالية للشخص المتعرض وتعرف عندئذ بالوراثية hereditary effects. تؤدي التأثيرات الوراثية عن تلف خلايا الأعضاء التناسلية للشخص المتعرض للإشعاعات المؤينة. لذلك تقسم التأثيرات العشوائية الى قسمين هما :

أ - التأثيرات الذاتية (Somatic Effects)

ب - التأثيرات الوراثية (Heredity Effects)

أ - التأثيرات الذاتية للإشعاعات :

وهي التأثيرات الصحية على الأشخاص المتعرضين للإشعاع وتؤدي الى استحداث انواع كثيرة من السرطان اكثرها شيوعا سرطان الدم (اللوكيميا). حيث ان الفترة الكامنة لهذا المرض تتراوح من ٢ - ٥ سنة(الفترة الزمنية من بداية تكون المرض حتى ظهوره سريريا) وتتولد انواع اخرى بفعل الاشعاع تختلف في فتراتها الكامنة مثل سرطان الرئتين ،القولون،والمعدة

تتقسم التأثيرات الذاتية إلى نوعين:

-التأثيرات المبكرة: The early effects .

التأثيرات المبكرة للإشعاع هي تلك التي تحدث خلال فترة زمنية تتراوح بين عدة ساعات وعدة أسابيع من وقت التعرض لجرعة كبيرة من الإشعاعات خلال زمن قصير (لمدة ساعات قليلة) إن سبب هذه التأثيرات يعود إلى استنزاف جزء كبير من خلايا بعض أعضاء الجسم بسبب قتلها أو منع أو تأخير انقسامها. وتعود معظم

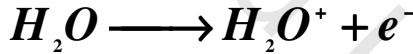
أمراض التأثيرات المبكرة إلى تلف خلايا نخاع العظمى أو الخلايا العصبية أو الخلايا المعوية تبعا للجرعة الممتصة.

ب- الأثار المتأخرة **The Late effects**

مستويات الجرعة الناتجة عن الإشعاع المنبعث من مفاعلات البحوث ومحطات الطاقة النووية أو من التطبيقات الصناعية والطبية للإشعاع هي اقل بكثير من معدلات الجرعات التي تؤدي إلى التأثيرات المبكرة للإشعاع. غير أن الجرعات المنخفضة التي يتعرض لها العاملين في الإشعاع عند التشغيل المعتاد قد يؤدي إلى آثار ضاره على المدى البعيد، الإشعاع المؤبِن يتفاعل على المستوى الخلوي للجسم. تفقد التفاعلات بين الخلية والإشعاع إلى الضرر الإشعاعي وهي تأثيرات معقدة تولد مكونات أيونية، كيميائية، وبيولوجية. تقسم هذه العمليات الى أربع مراحل هي :

أ. المرحلة الفيزيائية الابتدائية :

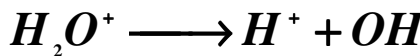
تستغرق هذه المرحلة جزءا ضئيلا من الثانية فقط (حوالي 10^{-16} ثانية) حيث تترسب الطاقة في الخلية وتحدث التأين لجزيئات الماء والتي تكون 90% من الخلية. ويمكن كتابة هذه العملية بالنسبة للماء كما يلي:



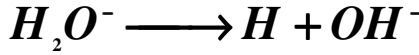
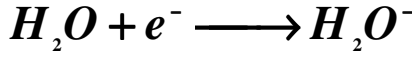
حيث H_2O^+ هو الأيون الموجب (الهيدرونيوم) و e^- هو الأيون السالب (الإلكترون).

ب. المرحلة الفيزيوكيميائية :

وتستغرق هذه المرحلة حوالي 10^{-16} ثانية حيث تتفاعل الأيونات الموجبة مع جزيئات الماء الأخرى مؤدية إلى عدد من النواتج الجديدة نتيجة لتحلل الأيون الموجب إلى ايون الهيدروجين الموجب:



والأيون السالب وهو الإلكترون يرتبط بجزئية ماء متعادلة فتتحلل فيما بعد إلى ايون سالب للماء والذي بدوره يتحلل ايونات الهيدروكسيد السالبة :



وبهذا يكون ناتج التفاعل هو H^+ و OH^- و H و OH ويوجد الأيونين الأوليين بشكل واسع في الماء المعتاد وليس لهما دور في التفاعلات التالية. أما الناتجان H و OH فيطلق عليهما الجذور الحرة (Free - radicals) أي أن لديها إلكترون غير مزدوج ، وبالتالي فهي شديدة الفعالية .

وهناك ناتج آخر للتفاعل وهو بيروكسيدات الهيدروجين الذي يعتبر من العوامل الشديدة الأوكسدة.



ج. المرحلة الكيميائية :

وتستغرق بضع ثوان يتم خلالها تفاعل النواتج مع الجزيئات العضوية المهمة في الخلية ، كما أن الجذور الحرة والعوامل المؤكسدة قد تهاجم الجزيئات المعقدة للكروموسومات حيث تربط نفسها بجزء مما يؤدي إلى كسر الربط في سلسلة الجزيئات الطويلة وإحداث اضرار اولية الى (DNA)

د. المرحلة البيولوجية :

حيث يتباين مقدار الوقت من دقائق إلى عشرات السنين ويؤدي الى ثبوت الضرر وموت الخلايا وشذوذ الكروموسومات. تتبع ذلك التأثيرات الطبية وهي اما تكون احد انواع السرطان او تأثيرات وراثية بحسب نوع الأعراض.

كما موضح في الجدول (٢ - ٤). خلاصة التغييرات الكيميائية المناقشة أنفا يمكنها التأثير على الخلية المفردة بطرق عدة قد تؤدي إلى :

(١) الموت المبكر للخلية.

(٢) منع أو تأخير انقسام الخلية .

(٣) التغيير الدائم الذي ينتقل إلى الخلايا الوليدة .

الفصل الثالث

كواشف الاشعاع المؤين

٣ - ١ الكشف عن الإشعاعات المؤينة

يعتمد الكشف عن الإشعاعات على حدوث ظاهرة التأين أو التهيج وإثارة ذرات أو جزيئات مادة الكاشف عند سقوط الإشعاعات عليها . فمثلاً عند سقوط جسيمات ألفا وبيتا على المادة يتكون من عدد من الأزواج الأيونية أو موجات كهرومغناطيسية في المادة ويتناسب عدد هذه الأزواج الأيونية طردياً مع طاقة الجسيمات الساقطة على مادة الكاشف. عند تجمع الإلكترونات أو الأيونات الناتجة عن التأين وقياس الشحنة الكهربائية الناتجة عن هذه الأزواج (أو التيار الكهربائي الناتج) يمكن معرفة عدد الجسيمات الساقطة وطاقتها . وتستخدم أنواع متعددة من الكاشف تتوقف على نوع الإشعاع الساقط (ألفا - بيتا - جاما) ، شدة الإشعاع ، طاقة الإشعاع ، وشكل المصدر المشع نفسه.

تأثيرات الإشعاع على المادة تؤدي إلى تأثيرات دائمية مثل اسوداد الأفلام. وتأثيرات عابرة كما في أجهزة المسح الإشعاعي المحمولة.

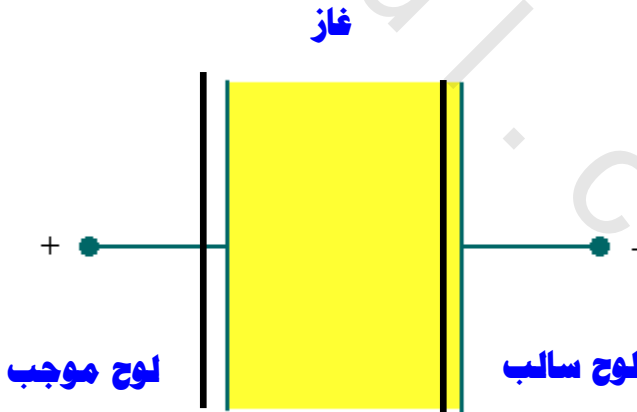
يتكون أي كاشف إشعاعي من المادة التي يتفاعل معها الإشعاع (غاز ، مادة وميضية ، مادة شبة موصلة) والتي تسمى بالحجم الحساس للعداد. تحيط بالحجم الحساس المكونات التركيبية والتي تتضمن الغلاف ونافذة الكاشف الرقيقة والجزء الأخير من مكونات الكاشف هي دوائر نقل الإشارة الإلكترونية. الكواشف أجهزة تستجيب للإشعاع المؤين بتوليدها نبضة كهربائية تتولد نتيجة لانقال طاقة الإلكترون إلى الحجم الحساس للعداد وتسمى النسبة بين عدد العدادات في الثانية (cps) إلى عدد الانحلال في الثانية (dps) بكفاءة العداد $dps \setminus cps =$

وتقسم الكواشف إلى ثلاثة أنواع هي الكواشف الغازية ، الوميضية ، والكواشف المواد شبة الموصلة.

٣ - ٢ الكواشف الغازية

كما لاحظنا سابقا فان الإشعاع يتفاعل مع ذرات الغاز في هذه الكواشف ويسبب ذلك تنتج الأيونات حسب الظاهرة الكهروضوئية وظاهرة كومبتون. ونتيجة للتأين يتولد زوج من الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة. يتكون الكاشف الغازي من وعاء يحتوي على لوحين متوازيين احدهما يمثل الكاثود والأخر الانود وبينهما غاز حامل مثل الاركون او الزينون . ان سبب استخدام غاز حامل لكي لا يؤثر التفاعل الذي يحصل بعد التأين على صفات الغاز وبالتالي لا تتغير خواص الكاشف . شكل (٣ - ١). الكشف عن إنتاج الأزواج الأيونية في الغاز هو أساس عمل الكواشف الغازية حيث ان استعمال مجال كهربائي بين لوح الكاشف ناتج عن تطبيق فولتية مستمرة بين لوح الكاشف يؤدي الى جمع الالكترونات على القطب الكهربائي الموجب و جمع الأيونات الموجبة نحو القطب الكهربائي السالب إذا كانت الفولتية المطبقة كافية لفصل الالكترونات عن الأيونات الموجبة.

شكل (٣ - ١) الكاشف الغازي ذو اللوحين المتوازيين

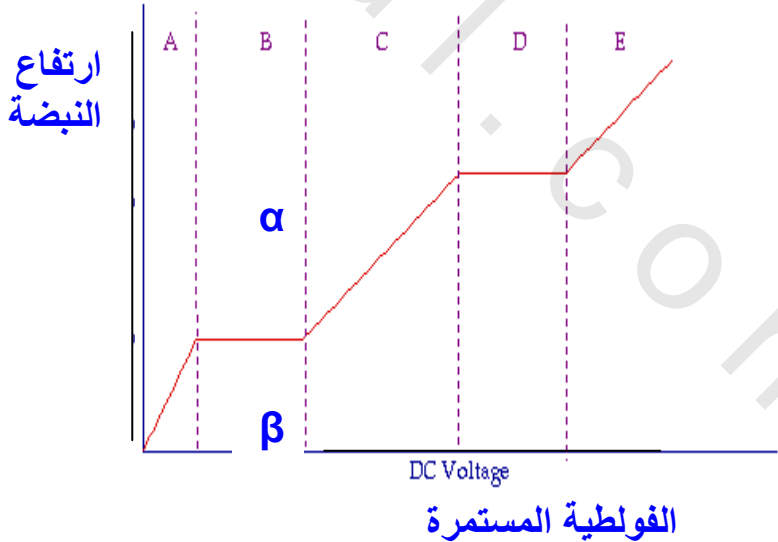


إذا كانت الفولطية قليلة يحصل إعادة الاتحاد بين الايونات المختلفة الشحنة لتكوين ذرة غاز وفي حالة الفولطية العالية يحصل تفريغ كهربائي بين القطبين ويعمل الكاشف وكأنه مصباح نيون.

لذلك يجب ان تختار الفولطية المناسبة لفصل الايونات عن بعضها وتسمى فولطية التشغيل .

لمعرفة تأثير الفولطية المستمرة على مقدار ارتفاع النبضة المتولدة على طرفي المقاومة نأخذ كاشف غازي وتطبق فولطية مستمرة بين لوح الكاشف نغير مقدار الفولطية ونرسم خط بياني محورة العمودي يمثل ارتفاع النبضة بمقياس لوغاريتمي والمحور الافقي يمثل الفولطية المستمرة المطبقة على لوح الكاشف .
النتائج التجريبية يمكن أن تقسم الخط البياني إلى خمس مناطق شكل (٢ - ١٠) هي :

شكل (٢- ٣) الخط البياني بين الفولطية وارتفاع النبضة للعدادات الغازية



١ - منطقة إعادة الاتحاد A :

عندما تكون الفولطية منخفضة نسبياً، يحدث إعادة الاتحاد بين مجموعة كبيرة من الأيونات الموجبة والألكترونات. كنتيجة لذلك فإن معظم الأزواج الأيونية يعاد اتحادها ويكون ارتفاع نبضة الفولطية منخفض نسبياً. وبزيادة الفولطية تقل إعادة الاتحاد ويزيد ارتفاع النبضة بشكل سريع.

٢ - منطقة التأين B :

عند رفع الفولطية بما فيه الكفاية لاتحصل إعادة الاتحاد بين الأيونات الموجبة والالكترونات وإنما تتجمع جميع الألكترونات على القطب الموجب للكاشف (الانود) وتسمى هذه المنطقة بمنطقة الإشباع ويسمى الكاشف الذي يشتغل في هذه المنطقة بكاشف او عداد حجرة التأين.

٣ - منطقة التناسب C:

في هذه المنطقة تكون الفولطية عالية بما فيه الكفاية حيث تعجل في هذه الألكترونات عندما تقترب من السلك المركزي وتكون طاقتها كافية لكي تصطدم مع الكترونات ذرات الغاز لإنتاج أزواج أيونية جديدة. وهكذا يزداد عدد الألكترونات المتجمعة على الانود بشكل كبير وبمقدار يتناسب مع زيادة الفولطية ويسمى ذلك بمضاعفة الأيونات (ion multiplications). تسمى المنطقة بمنطقة التناسب ويسمى الكاشف الذي يشتغل في هذه المنطقة بالعداد التناسبي.

٤ - منطقة كايكر مولر D:

عندما تزداد الفولطية كثيراً فإن معظم الجسيمات المشحونة التي ولدها الإشعاع تكون لها طاقة كافية لتأين جزيئات الغاز مكونة أيونات ثانوية لها من الطاقة ما يكفي لتوليد أيونات ثالثة كذلك لها من الطاقة ما يكفي لتوليد أيونات رابعة..... وهكذا أي يحصل تأين لمعظم ذرات الغاز فيحصل ما يسمى بالانهيار الكتروني. تتجه الالكترونات نحو الانود وتنتشر الغيمة الالكترونية على طول السلك المركزي. هذه المنطقة تدعى منطقة كايكر مولر، والكاشف المستخدم عند هذه الفولطية يسمى عداد كايكر.

٥ - منطقة التفريغ E

وعند زيادة الفولطية بشكل كبير جداً يحصل تفريغ كامل للغاز وبذلك لايمكنها كشف الإشعاع المؤين المنطقة (E).

١ - حجرة التأين :

تتكون حجرة التأين من وعاء مملوء بغاز خامل يحتوي لوحين متوازيين يسلط بينهما فرق جهد مستمر قليل نسبيا . عند سقوط الاشعاع المؤين على الغاز فأنة يتاين وتتولد الالكترونات والايونات الموجبة والتي يعاد اتحادها فتعود ذرة غاز جديدة. وعند زيادة الفولطية بين لוחي الحجرة تتفصل الالكترونات عن الايونات وتتجه نحو الاتود فيزداد التيار بشكل سريع بزيادة الفولطية حتى تصل حالة الاشعاع أي ان الانود يسحب جميع الالكترونات التي تولدت نتيجة لسقوط الشعاع على الحجم لحساس للعداد. تكون الاشارة الخارجة ضعيفة الشدة لذلك نستعمل مضخم حساس جدا و مجموعة من الدوائر الإلكترونية التي تتصل بحجرة التأين . يتم قياس التيار الخارج من حجرة التأين باستعمال الكتروميتر حساس جدا للتيارات الواطئة. ولمعرفة ارتفاع تلك النبضة نفترض سقوط جسيمات الفا على الغاز وقد وجد بان توليد زوج ايوني واحد يتطلب طاقة مقدارها ٣٠ eV. نفترض بان طاقة جسيمات الفا والتي تمتص كليا في الغاز يساوي 1MeV فان عدد الازواج الايونية المتولدة (n) يساوي

$$n = \frac{1 \text{ MeV}}{30 \times 10^{-6} \text{ eV}}$$

$$= \frac{10^6}{30} \times 3.3 = 10^4 \times 3.3$$

الشحنة الكهربائية المتكونة في الغاز $e \cdot n = Q$

$$= 3.3 \times 10^4 \times 1.6 \times 10^{-19} = 5.28 \times 10^{-15} \text{ كولوم}$$

$$Q = 5 \times 10^{-15} \text{ كولوم}$$

إذا افترضنا ان حجرة التأين بشكل متسعة سعتها ١٠٠ بيكو فراد (pF) فان

ارتفاع نبضة الفولطية التي ولدتها V

$$V = Q/C = \frac{5 \times 10^{-15}}{100 \times 10^{-12}} = 5 \times 10^{-5} \text{ فولت}$$

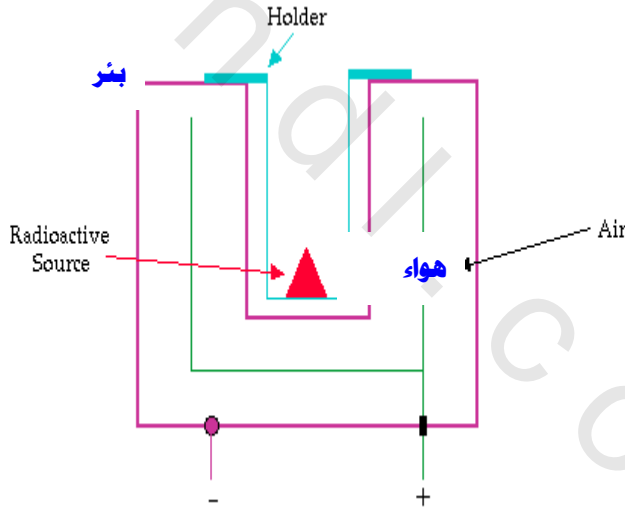
$$= 50 \text{ مايكرو فولت}$$

من تطبيقات حجرة التآين:

١ - قياس التعرض الإشعاعي وهي كمية الشحنة الكهربائية المتولدة في وحدة كتلة الهواء. غرفة التآين المملوءة بالهواء تستعمل لمثل هذا القياس.

٢ - قياس النشاط الإشعاعي. استعملت غرفة التآين التي تكون بشكل حفرة أو بئر لكي توضع المادة المشعة داخل البئر شكل (٢ - ١١) وبذلك يمكن أن يكتشف عن معظم الاشعاع المنبعث من المادة المشعة. تستخدم هذه الحجرة على نحو واسع في الطب النووي لغرض تعير (Calibrate) النظائر المشعة بحيث ان التيار الكهربائي المتولد بمثل هذا الكاشف يدرج لكي يعطي القراءة في وحدات النشاط الإشعاعي (mCi أو MBq). أكثر أقسام الطب النووي يتوفر فيها على الأقل إحدى هذه الكواشف لكي تقيس النشاط الإشعاعي للمادة قبل اعطائها للمرضى.

شكل (٣ - ٣) حجرة تآين بشكل حفرة أو بئر



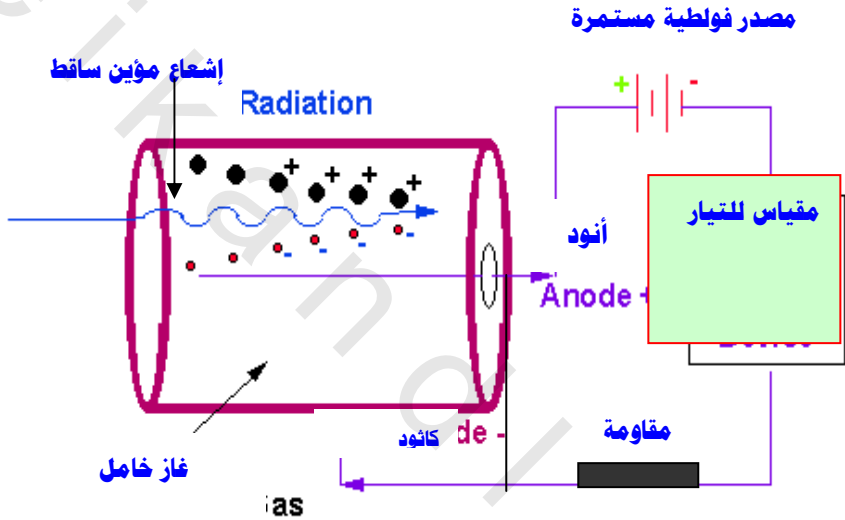
مصدر مشع

١ - عداد كايكر

تغل عداد كايكر في الفولطيات العالية نسبياً والتي تتراوح بين ٣٠٠-٤٠٠ فولط والتي تسمى فولطية التشغيل. تمتاز هذه العدادات بكونها تكشف عن الإشعاع فقط

ولكنها لأتفرق بين الانواع المختلفة للإشعاع. ويلاحظ من الشكل (٣ - ٢) بان ارتفاع النبضة لجسيمات α اكبر منها لجسيمات بيتا β و اقل ارتفاع يكون لأشعة جاما لان التأين النوعي لجسيمات الفا اكبر منه لجسيمات بيتا وأشعة جاما على التوالي. لقد استعويض عن الاقطاب الكهربائية المتوازية بحجرة أسطوانية الشكل لأنها اكثر كفاءة للقياس . كما في الشكل (٣ - ٤)

الشكل (٣ - ٤) الكاشف الغازي ذو الشكل الاسطواني



القطب الكهربائي الموجب عبارة عن سلك رفيع يمر عبر مركز الأسطوانة والقطب الكهربائي السالب هو جدار الأسطوانة. من حيث المبدأ يمكن تصنيع مثل هذا الكاشف بأخذ أنبوب معدني، يمر في مركزه سلك معدني و يملأ بغاز خامل وتغلق نهايتي الأنبوب، الكواشف الفعلية اكثر تعقيدا من ذلك. تطبق الفولتية المستمرة عن طريق بطارية أو عن طريق جهاز فولتية يتصل بمقاومة خارجية . عند دخول اشعة جاما داخل الكاشف. تنتج أزواج أيونية في الغاز بعدها تتجه الأيونات الموجبة

إلى الجدار الخارجي للأسطوانة والالكترونيات تتجه إلى السلك المركزي. الألكترونيات تمر خلال المقاومة مكونة تيار كهربائي وحسب قانون اوم تتولد فولطية بين طرفي المقاومة، هذه الفولطية تُضخم بمضخم لتضخيم الفولطية. يتضمن الكاشف مقياس (rate meter) لقياس نبضات الفولطية لوحدة الزمن (معدل العد - Rate Count) او اعداد (Scalar) الذي يحسب عدد نبضات الفولطية المتولدة في فترة زمنية معينة (العد - Count) .

بعد امتصاص الإشعاع في الغاز تحصل ظاهرة انهيار الألكترونيات وتكون نبضات الفولطية المتولدة بهذا الكاشف كبير نسبياً حيث أن الغاز يعمل كمضخم للشحنات الكهربائية المتولدة.

من أهم مميزات هذه الكواشف:

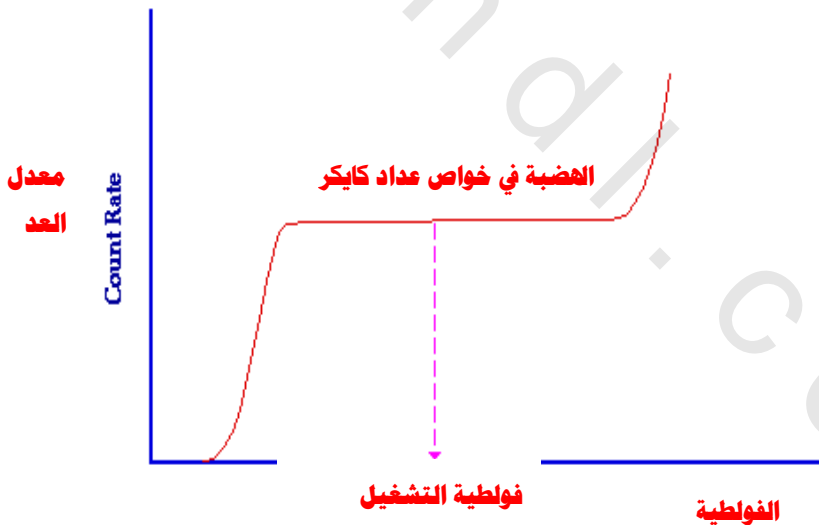
- ١ - عدم الحاجة إلى مضخم حساس (كما كان الحال جبر التآين) لهذا الكاشف بسبب تكبير الغاز فتكون الإشارة كبيرة .
- ٢ - يجب أن تتوقف عملية انهيار الإلكترون لكي يعمل الكاشف كما ينبغي. فعندما تسقط الدقائق المشعة او الفوتونات فان ذرات الغاز تمتصها ويحص تفرغ كامل للغاز وبذلك يعجز الغاز عن الكشف عن الإشعاعات التالية التي تدخل الكاشف. لذلك لابد من وجود وسائل لإيقاف انهيار الإلكترون وتعالج بعملية تسمى الاطفاء (Quenching). وأحد وسائل الإطفاء تقليل الفولطية المستمرة إلكترونياً بعد كل انهيار. والطريقة الثانية الأكثر استعمالاً هي إضافة كمية صغيرة من غاز مطفئ إلى الغاز الخامل، مثل غاز الكحول الأثيلي. الكحول الأثيلي بشكل بخار يتكون من جزيئات ذات طاقة كبيرة تمتص طاقة الالكترونيات وبذلك لأتصرف في عملية انهيار الإلكترون. اي ان جزيئات الغاز المطفئ الكبيرة تتصرف مثل الكابح لظاهرة الانهيار.

٣- بصرف النظر عن نوع الغاز المطفئ المستعمل في الكاشف فإن الكاشف لا يسجل امتصاص الإشعاع لفترة زمنية صغيرة. هذه الفترة الزمنية تدعى بزمن الخمود (Dead Time). وبالرغم من أن زمن الخمود قصيرة نسبياً (٢٠٠-٤٠٠ μ s) لكنه يقلل من كمية الإشعاع الحقيقية. و كنتيجة لذلك نحصل على قراءة بهذا الكاشف أقل من القراءة الحقيقية. يُمكن أن تُحسب القراءة الحقيقية للكاشف باستعمال المعادلة التالية:

القراءة الحقيقية = قراءة الكاشف \ (١- زمن الخمود) .

٤- الخط البياني لعداد كايكر يوضح وجود حالة الإشباع التي عندها يبقى معدل العد ثابتاً بالرغم من زيادة الفولطية وتسمى هذه المنطقة بالهضبة (Plateau). ومنتصف الهضبة يمثل فولطية التشغيل للكاشف والتي تبين بان معدل العد لا يتأثر بتذبذب فولطية التشغيل للكاشف. شكل (٣- ٥).

شكل (٣- ٥) تعيين فولطية التشغيل لعداد كايكر



٣-٣ الكواشف الوميضية: (Scintillation Detectors)

كواشف الإشعاع الوميضية من أول الكواشف التي استخدمت للكشف عن الإشعاعات المؤينة . فقد لاحظ رونتجن عند اكتشاف الأشعة السينية في ١٨٩٥ وبطريق الصدفة انبعاث وميض عند سقوط الالكترونات المعجلة داخل أنابيب مفرغة على بلورات سيانيد البوتاسيوم، واختفاء الوميض عند فصل الأنابيب عن المصدر الكهربائي. أبسط طرق الكشف عن أشعة جاما هو الكواشف الوميضية وتمتاز هذه الكواشف بكفاءتها العالية نسبة للكواشف الغازية وبصغر حجمها لكثافتها العالية نسبة للعدادات الغازية، حيث تستجيب المواد الوميضية للإشعاع المؤين الساقط عليها عبر تفاعلها مع الإشعاع ويتحول جزء صغير من الطاقة الحركية للإشعاع إلى طاقة ضوئية ويتبدد الجزء المتبقي من طاقة الإشعاع على شكل اهتزازات للبلورة أو في صورة حرارة . وتعتمد الاستجابة الوميضية لمادة البلورة على نوع الإشعاع الساقط ونوع المادة الوميضية ذاتها وارتفاع النبضة يتناسب مع الطاقة. يعتمد أساس عملها على تأين أو تهيج ذرات بعض المواد عند سقوط الإشعاعات المؤينة كالجسيمات المشحونة (ألفا) و (بيتا) وإشعاعات جاما ثم عودتها إلى حالة الاستقرار وتبعث الطاقة الفائضة بشكل ومضات ضوئية. تعرف مثل هذه المواد بالمواد الوميضية وللكشف عن الإشعاعات المؤينة باستخدام المواد الوميضية يتم اختيار المواد الوميضية التي تبعث وميضها خلال زمن قصير جدا لا يتجاوز (مايكروثانية واحدة) ،
تقسم المواد الوميضية الى عدة انواع :

أ - المواد الوميضية الصلبة غير العضوية:

تعتبر المواد الوميضية غير العضوية الصلبة أفضل المواد من حيث الاستجابة الخطية وهي الأكثر ملائمة للكشف عن الإشعاع المؤين. حيث يمكن الكشف عن أشعة جاما باستخدام بلورة أيوديد الصوديوم المنشط بالثاليوم (NaI (TI) ، ويرجع ذلك إلى كبر كثافتها وكبر عددها الذرى مما يزيد كفاءة الكشف وتصل كفاءة

الكواشف الومضية بالنسبة لأشعة جاما إلى ١٠٠ مرة أكبر من عدادات كايكر وتعتمد هذه الكفاءة على طاقة فوتون جاما الساقط وكذلك على أبعاد البلورة الومضية . عند سقوط فوتونات أشعة جاما على البلورة يتحرر عدد من الإلكترونات وهذه الإلكترونات سريعة وتحدث تأين لمادة الكاشف ولكي تعود الى حالتها المستقرة تبعث ومضات فوتونات تتناسب مع كمية وطاقة فوتونات جاما الساقطة عليها. أما بالنسبة لجسيمات ألفا فتستخدم طبقة رقيقة من بلورة كبريتيد الخارصين الموضوعة في حجرة مفرغة من الهواء .

أما بالنسبة للكشف عن النيوترونات فتستخدم بلورة وميضية تحتوى على خليط من كبريتيد الخارصين والبارافين الذي يحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين التي تهدا النيوترونات السريعة نتيجة اصطدام النيوترون بالهيدروجين ينطلق البروتون الذى يتم تسجيله فى الكاشف.

اما الاشعة السينية فيتم الكشف عنها باستخدام بلورات السيزيوم المنشط بالصوديوم
CsI (Na)

ب - العدادات الومضية السائلة Liquid Scintillation Counters :

توجد مواد وميضية سائلة سائل مثل التلوين فائدة مثل هذه المادة الومضية امكانية وضعها بتماس مباشر بالمادة المشعة عن طريق خلطها مع النموذج المراد فحصه . لقياس النشاط الاشعاعي للجسيمات ذات الطاقة المنخفضة في عينة معينة توضع مع العينة المراد عددها مذيب عضوي من مادة متبلورة حيث تحيط بنويات الذرات المشعة أو الجزيئات بالكامل وإذا كانت العينة غير ذائبة فى المذيب العضوى يمكن وضعها فى معلق متمائل ، وهناك العديد من المواد البلورية مثل PPO (diphenylakazol) مع التلوين أو الداىوكسين كمذيب. تبنى فكرة العدادات الومضية السائلة على أن الجسيمات المتأينة من المواد المشعة تحدث إثارة وتأيين جزيئات المذيب التي بدورها تنقل الطاقة إلى جزيئات (PPO) التي تكون ومضات

ضوئية نتيجة لاكتسابها هذه الطاقة وإثارها ثم عودتها إلى المستوى الارضي (الاستقرار) و عند انبعاث هذه الومضات فإنها تصل إلى أنبوبة المضاعف الضوئي. تُنَوَّبُ العينات أو تعلق في سائل يسمى "كوكتيل الذي يحتوي على مذيب اورماتيكي مثل البنزين والتلويين .وقد استخدمت مؤخرا مذيبات أقل خطر من المذيب الاورماتيكي. تنتقل جسيمات بيتا المنبعثة من العينة طاقتها إلى جزيئات المذيب والذي يؤدي الى تهيجها ولكي تعود الجزيئات المتهيجة الى الاستقرار فإنها تبعث الضوء. بهذه الطريقة فان كل جسيم من دقائق بيتا يؤدي إلى بعث نبضة من الضوء. في أغلب الأحيان تحتوي الكوكتيلات الوميضية بعض المواد المضافة التي تقوم بإزاحة الطول الموجي للضوء المنبعث لكشفها بسهولة أكثر.

توضع المادة المشعة والكوكتيل في قنينة شفافة أو نصف شفافة صغيرة من الزجاج أو البلاستيك في داخل العداد الوميضي السائل. وجهاز العداد الوميضي السائل له استخدام واسع في قياس النشاط الإشعاعي لجسيمات بيتا ذات الطاقة المنخفضة مثل C^{14} و H^3 . وكذلك جسيمات بيتا ذات الطاقة العالية مثل P^{32} . كفاءة القياس لهذه العدادات يتراوح بين ٣٠% للترتيوم ذي الطاقة الواطئة لجسيمات بيتا إلى ١٠٠% تقريبا للفسفور -32 ، ذي الطاقة العالية لجسيمات بيتا. بعض العينات تكون ملونة وعكرة وهذا يؤدي لعدم دقة عملية القياس (مثل نماذج الادرار) لذلك يضاف لها بعض مركبات الكلور لقصر اللون لكي لا يحصل تدخل في القياس والذي يعرف بالاطفاء.

بعض النظائر الباعثة لجسيمات بيتا ذات الطاقة العالية مثل P^{32} تقاس في العداد الوميضي السائل بدون استخدام الكوكتيل. بتطبيق التقنية، المعروفة باسم تقانة شيرنكوف (Cerenkov). يُكشَفُ عن اشعاعات شيرنكوف مباشرة بالمضخم الضوئي وغالبا ما تستعمل تقانة شيرنكوف للقياسات التقريبية السريعة، حيث يمكن الاعتماد عليها عند الاختلاف الناتج عن الشكل الهندسي للعينة. وإذا كانت جسيمات

بيتا ذات طاقة عالية جدا فتم قياسها بدون استخدام العدادات الوميطية السائلة ،
ويستخدم عدادات شيرنكوف (Cerenkov)، وفيها تذاب العينة المشعة فى الماء
ويضع فيها محلول شيرنكوف وهذه الجزيئات المتأينة تنقل خلال الماء بسرعة أكبر
من سرعة الضوء محدثة ومضة ضوئية تسمى ضوء شيرنكوف.

ويتركب جهاز العداد ألوميضي السائل من :

١- أنبوبتان للمضاعف الضوئى تسجل النبضات من جهتي القنينة ويتصلان بدائرة
التزامن (Coincidence circuit) وهى مصممة على استلام وإخراج نبضة واحدة
من كل من أنبوتى المضاعف الضوئى اما نبضات الخلفية الاشعاعية او النبضات
الناجمة من الضوضاء الإلكترونية فسوف ترفضها دائرة التزامن والكاشف وهذه
الدائرة غالباً ما تبرد لى تقلل من الضوضاء الناشئة عن الحرارة المرتفعة فى
أنبوتى المضاعف الضوئى . شكل (٣ - ٦)

شكل (٣ - ٦) العداد ألوميضي السائل



٢- وحدة تمييز الحدود level discriminator:

هي دائرة تسمح بمرور النبضات التى حجمها أو طاقتها أعلى من طاقة معينة (E)
وترفض النبضات ذات الطاقة الأقل . تمييز الحدود السفلى فهو يسمح بمرور
النبضات التى حجمها أو طاقتها أقل من E ويرفض الطاقات الأعلى وتقوم هذه

الوحدات بالعمل على تجانس النبضات طبقاً لأسس معينة . تمرر هذه النبضات على جهاز القياس (Scalar) الذى يحول النبضات إلى عدات يمكن حسابها كدالة للزمن . ومن أهم مساوئ العدادات الوميضية هي قلة مقدرتها فى الفصل بين النويدات المشعة المختلفة فى العينة وتساء هذه المقدرة كلما ازداد حجم بلورة الكاشف والذى يفضل استخدامه كلما ضعف تركيز التلوث .

ت -العدادات الوميضية العضوية:

تتوفر بعض المواد الضوئية الوميضية بشكل بلاستيك polystyrene والتي يمكن تصنيعها بأي شكل وحجم .

مكونات منظومة الكواشف الوميضية:

تتكون منظومة العداد الوميضي من الاجزاء التالية :

١ - البلورة الوميضية.

تكون البلورة بشكل صلب ،مسحوق ،سائل، وبلاستيك وجميعها تعمل بنفس الاساس حيث ان الاشعاع يؤين او يهيج هذه البلورات فتكون في حالة قلقة ولكي تعود الى وضع الاستقرار فانها تبعث وميضاً بشكل فوتونات مرئية وغير مرئية. البلورة الوميضية (NaI (TI يمكن ان تتلف لذلك يحيط بها غلاف من الالمنيوم. يصمم لكي يعكس أي ضوء يسقط عليه نحو الاسفل باتجاه المضاعف الضوئي. تتصل البلورة مباشرة الى المضاعف الضوئي

٢ - المضاعف الضوئي (Photomultiplier)

منظومة الغرض منها زيادة عدد الالكترونات المتولدة نتيجة لتفاعل الاشعاع مع المادة الوميضية لإمكانية قياسها بسهولة.

المضاعف الضوئي يتكون من كاثود ضوئي وظيفته تحويل الومضات الضوئية التي أنتجت نتيجة لتوهين الاشعاع داخل البلورة الى الكترونات . يتم تجميع وتركيز الالكترونات بواسطة شبكة (Grid) وإسقاطها على قطب موجب يسمى الداينود

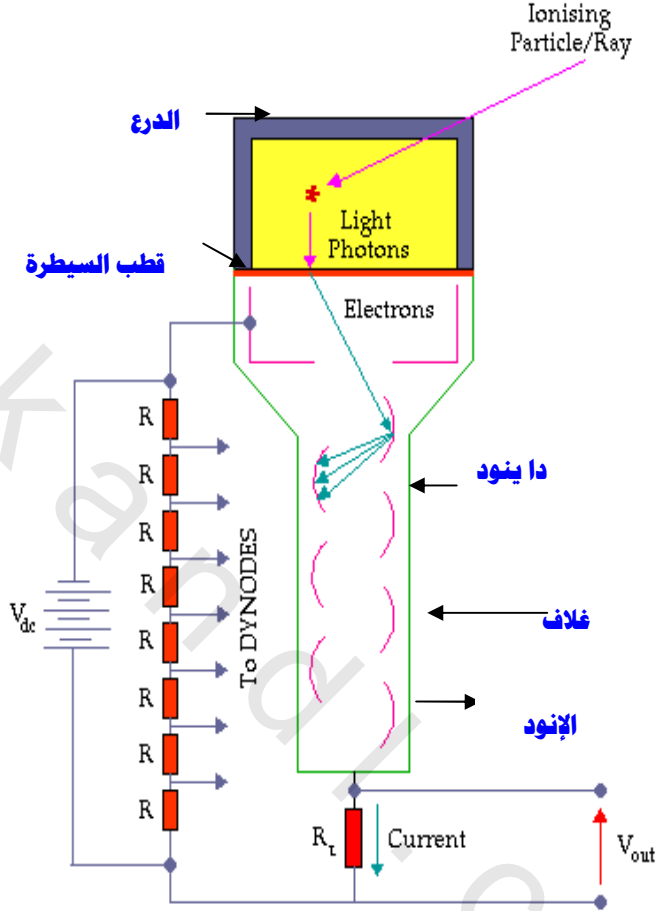
(dynode). يصنع الدايونود من سبيكة خاصة والتي تبعث الالكترونات عند قصفها بالالكترونات أي ان الالكترونات المنبعثة أكثر من الكترونات الممتصة. عادة مايبعث الدايونود بين ٢ - ٥ الكترون عند سقوط الكترون واحد. يوجد عدد من الدايونودات تستعمل لمضاعفة وتكبير أالكترونات الضوئية التي تتبعث من سطح الدايونود فمثلاً عند سقوط إلكترون واحد على الدايونود فأنة يتضاعف بشكل كبير ونظراً لوجود العديد من الدايونودات فان الإلكترون الواحد يتضاعف إلى ملايين أالكترونات والتي تخرج على هيئة نبضات كهربائية تتناسب مع طاقة أشعة جاما الساقطة على البلورة والتي تجمع أخيراً على القطب الموجب (الانود) . ويتم تكبير النبضة خطياً بواسطة المضخم (Amplifier) حيث يتصل إلى محلل سعة النبضات ، تخزن النبضات وتصنف تبعاً لحجمها ثم تخزن في جزء خاص بالذاكرة الإلكترونية وبعد زمن معين تجمع القراءة المسجلة في فترة زمنية معينة ،

يحتوي المضاعف الضوئي على جهاز للفولطية العالية المستمرة (V_{dc}) والتي يمكن أن يكون بحدود ١,٠٠٠ فولت بين طرفيها سلسلة من مجزئ المقاومات والتي يشمل صف من المقاومات، كل منها له نفس المقاومة R . وظيفة هذه السلسلة من المقاومات أن تقسم الفولطية العالية المستمرة (V_{dc}) إلى فولطيات متساوية تجهز إلى الدايونودات شكل (٣-٧) .

كنتيجة لذلك تزداد الفولطيات بأجزاء متساوية وتطبق على صف الدايونودات. كذلك تحتوي دائرة المضاعف الضوئي على حمل خارجي R_L يستعمل لتوليد فولطية خارجة V_{out} .

تسري هذه الألكترونات خلال مقاومة الحمل الخارجي بشكل تيار كهربائي وتكون فولطية خارجة V_{out} طبقاً لقانون اوم الذي يقاس بمجموعة من الدوائر الإلكترونية . الميزة المهمة للكاشف الوميضي هو ان الفولطية الناتجة تتناسب مباشرة إلى طاقة الإشعاع المترسبة في البلورة.

شكل (٣-٧) مكونات المضاعف الضوئي



ويمكن بسهولة حساب الشحنة المتجمعة على الأنود والتي تعطي فكرة أفضل على أداء الكاشف الوميضي.

الشحنة المتجمعة على الأنود يمكن كتابتها حسب المعادلة التالية

$$Q = mf \epsilon R^n e$$

m : عدد الفوتونات المتولدة في البلورة

f : الكفاءة البصرية للبلورة، كفاءة البلورة لإرسال الضوء

£: الكفاءة الكمية للكاثود الضوئي (كفاءة للكاثود الضوئي لتحويل الفوتونات الضوئية إلى الإلكترونات).

n: عدد الدايونودات .

R: عامل المضاعفة للدايونودات. (عددُ الألكتروناتِ الثانويةِ المنبعثة من الدايونود لكل إلكترونٍ ممتصٍ).

e: شحنة الإلكترون.

فعلى سبيل المثال نفترض ان طاقة اشعة جاما تساوي 100 keV والتي تمتص في البلورة. و عدد الفوتونات المتولدة حوالي 1,000 لبلورة وميضية مثالية. كفاءتها البصرية ، f ، تساوي 0.5 أي ان 50 % من الضوء المتولد يصل الى الكاثود الضوئي والذي له كفاءة كمية £ مقدارها 0.15 . المضخم الضوئي المثالي يحتوي عشر دايونودات عامل المضاعفة لها يساوي 4.5 .

$$Q = mf \text{ £} R^n e \quad \text{لذلك}$$

نعوض في المعادلة اعلاة

$$Q = 100000 \times 0.5 \times 0.15 \times 4.5^{10} \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$Q = 40 \text{ pC}$$

هذه الكمية من الشحنة صغيرة جداً لذلك يجب استعمال مضخم حساس جداً للتضخيم هذه الإشارة. هذا النوع من المضخمات يدعى المضخم الاولي (pre - amplifier)

٣ - ؛ الطيف الطاقي لأشعة جاما

كما علمنا سابقا بان هناك آليتان لتفاعل الاشعاع مع المادة هما التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون. ونعلم ان التأثير الكهروضوئي يتضمن الامتصاص الكلي لطاقة اشعة جاما، بينما تأثير كومبتون يتضمن امتصاص جزئي لهذه الطاقة. ولان الفولطية الناتجة تتناسب مباشرة إلى طاقة الإشعاع المترسبة في البلورة لذلك نتوقع بان التأثيرات الكهروضوئية في البلور ستولد فولطية خارجة متميزة وكبيرة نسبياً، اما تأثيرات كومبتون ستؤدي إلى توليد فولطيات صغيرة .

الطريقة الاعتيادية لتوضيح هذه المعلومات من خلال الرسم البياني بين معدل العدات كدالة من لارتفاع نبضة الفولطية الناتجة و طاقة الإشعاع .شكل (٣ - ٨)

شكل (٣ - ٨) الطيف الطاقي لأشعة جاما المنبعثة من نظير ^{99m}Tc



يوضح الرسم البياني الناتج عن أشعة جاما المنبعثة من نظير ^{99m}Tc الذي يبعث إشعاع جاما الاحادية الطاقة (١٤٠ keV). مثل هذه الرسوم البيانية تسمى الطيف الطاقي لأشعة جاما. الشكل يحتوي منطقتان الاولى تسمى الذروة (القمة) الضوئية (Photo peak) والثانية تسمى تشتت كومبتون. الذروة الضوئية تنتج بسبب الامتصاص الكهروضوئي لأشعة جاما المنبعثة من المصدر المشع. بعض المصدر المشعة تبعث أشعة جاما بطاقتين او اكثر. فمثلا الكوبلت - ٦٠ له ذروتين ضوئيتين الاولى عند الطاقة ١١٧٢ keV والثانية عند الطاقة ١٣٣٣ keV.

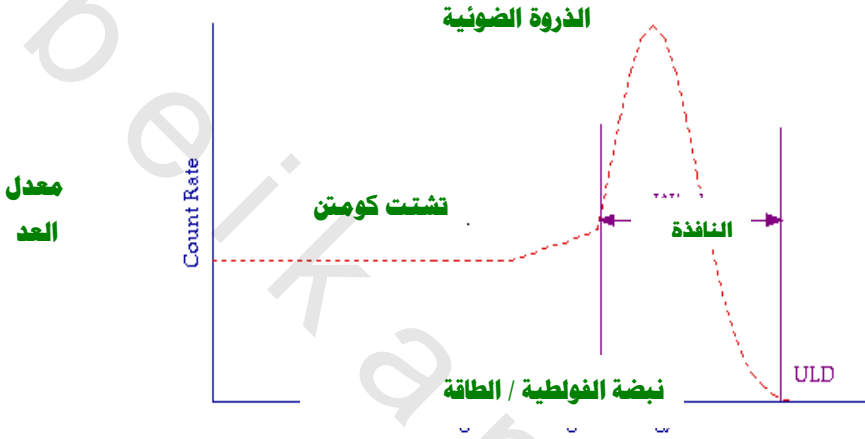
يلاحظ ان الذروة الضوئية لها تذبذب إحصائي يعتمد مقداره على نوعية الكاشف. فالكاشف الجيد ،عالي النوعية، سيكون عنده التذبذب الإحصائي قليل وتكون الذروة الضوئية ضيقة.

ويتكون الطيف كذلك من جزء آخر هو تشتت كومبتون والذي يحتوي مدى واسع من الفولطيات الناتجة التي تكون أوطأ من الذروة الضوئية. هذا الطيف مؤشر على الامتصاص الجزئي لطاقة أشعة جاما في البلورة. وتأثيرات كومبتون هو تشتت فوتونات جاما مع الكترونات التكافؤ والذي ينتج نبضات فولطية كبيرة نسبياً. ومن تأثيرات كومبتون آلاخرى ان اشعاع جاما ينقل الطاقة الأقل الى إلكترون التكافؤ لذلك يولد نبضة فولطية صغيرة نسبياً. وبين هاتين النهايتين في مدى التشتت توجد نبضات تتضمن مدى من تحولات الطاقة لذلك تتولد ارتفاعات لنبضة الفولطية.

من المهم أيضاً العلم بان الكواشف الغازية تستعمل للكشف عن وجود الإشعاع بالإضافة إلى كمية ذلك الإشعاع اما العدادات الومضية فإنها بالإضافة لكشفها عن وجود الإشعاع وكميته تزودنا بمعلومات اضافية عن طاقة الإشعاع. هذه المعلومات الإضافية للعدادات الومضية يمكن أن تستعمل للعديد من التطبيقات المتنوعة مثل معرفة نوع النظير المشع المجهول وكذلك لإنتاج صور الطب النووي. الذروة الضوئية لطيف طاقة اشعة جاما مهم في الطب النووي لأنها صفة مميزة للنظير المشع والتي يمكن عزلها عن طيف تشتت كومبتون باستعمال تقنية تحليل ارتفاع النبضة. هذه التقنية تتضمن نوعين من الدوائر الإلكترونية تدعى الدائرة الاولى مميز المستوى الأدنى (LLD - Lower Level Discriminator) الذي يسمح لنبضات الفولطية بالمرور خلال الدائرة عندما تكون أوطأ من النبضة المثبتة. تدعى الدائرة الثانية مميز المستوى الأعلى (ULD - Upper Level Discriminator) الذي يسمح لنبضات الفولطية بالمرور خلال الدائرة عندما تكون أعلى من النبضة المثبتة.

إن النتيجة لاستعمال كلتا الدائرتين يمثل نافذة ذات عرض متغير والتي يمكن توضع في أي مكان على طول الطيف. فعلى سبيل المثال إذا رغبتنا بالحصول على معلومات عن ذروة ضوئية معينة نثبت المميز بين بدايتها ونهايتها شكل (3-9)

شكل (٣ - ٩). استخدام دائرة المميز



يجب ملاحظة نقطة مهمة بأن منظومة الكاشف الوميضي تستعمل بشكل واسع للحصول على المعلومات حول طاقات الإشعاع المنبعث من المصدر المشع والتي تسمى المطياف الوميضي. ويكون المطياف على نوعين:

الاول مُحلّل القناة المنفرد (Single Channel Analyzer) البسيط نسبياً والمحلل المتعدد القنوات الأكثر تطوراً، يحتوي إ محلل القناة المنفرد على بلورة وميضية متصلة بمضاعف ضوئي يشتغل بفولطية عالية (H.V) إن الفولطية الناتجة تُضخّم باستخدام المضخم الاولي ثم نُضخّم وتعدل باستخدام المكبر. نبضات الفولطية بعد خروجها من المكبر تكون في شكل مناسب لمحلل ارتفاع النبضة (P.H.A.) حيث ان ناتج النبضات الخارجة مئة يُمكن أن تُغذي إلى مقياس (Scalar)، وعداد Ratemeter لعرض المعلومات حول جزء الطيف الذي سُمح له بالمرور خلال

(P.H.A).العداد وسيلة لعرض عدد النبضات المتولدة لوحدة الزمن. اما المقياس فيشمل عادة عرض رقمي لعدد نبضات الفولطية الناتجة في فترة زمنية محددة.

الثاني محلل متعدد القنوات (Multi- Channel Analyzer -MCA):لإتاحة أي

دائرة كاشف أكثر تطوراً هو مشابه تماماً لمحلل القناة الوحيد باستثناء استبدال العداد والمقياس ومحلل ارتفاع النبضة بمحلل متعدد القنوات و حاسوب. إن محلل متعدد القناة (MCA) دائرة لها القدرة على تثبيت عدد كبير من النوافذ الفردية للنظر إلى الطيف الكلي مرة واحدة. شكل (٣ - ١٠).

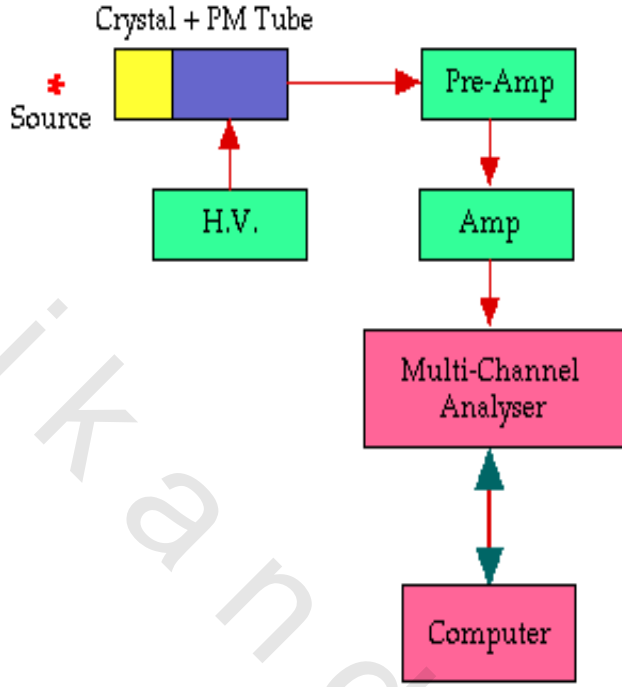
احد انواع محلل متعدد القناة يحتوي على ١٠٢٤ نافذة فردية والحاسوب الذي يحتوي على برامج جاهزة لمعالجة المعلومات الناتجة بطرق عديدة .

تمتاز العدادات الومضية الصلبة غير العضوية (NaI (TI) بان كفاءتها عالية نسبيا (النسبة بين معدل العد إلى معدل التحلل للذرات المشعة يعرف بكفاءة جهازا لعد) ولكن قدرة الفصل لها قليلة. ذلك فان طيف طاقة اشعة جاما الومضي يكون مفيدا اذا كان طيف النظير المشع يحتوي ذروة ضوئية واحدة او ذروات طاقة متباعدة لكي لا تتداخل مع بعضها. اما اذا كان النظير المشع يحتوي على عدد من الذروات المتقاربة فان احدهما يتراكب مع الاخر ولا يكون القياس دقيقا .لذلك يفضل الاستعاضة عن الكاشف الومضي بكواشف الحالة الصلبة.

٣- ٥- كواشف الحالة الصلبة.

وهي الكواشف التي يكون حجمها الحساس من مواد شبة موصله مثل الجرمانيوم المشوب بالثاليوم اوالجرمانيوم عالي النقاوة .تستخدم لمعرفة نوع العناصر النزرة ونوعها في أي نموذج يتكون من نظائر مشعة مختلفة ويكون المطلوب الحصول على تركيز كل نظير مشع على حده ، ويتميز هذا النوع من الكواشف بأن مقدرة على الفصل عالية جداً لمختلف النظائر المشعة إلا أن كفاءته النسبية لتسجيل أشعة جاما أقل في حالة الكواشف الومضية.

شكل (٣ - ١٠) منظومة الطيف الجامي ألوميضي متعدد القنوات



ويتكون الجهاز من الكاشف المبرد بالنيتروجين السائل (Cryostat) وهو عبارة عن نظام تبريد وتفرغ يحفظ الكاشف من في درجة حرارة منخفضة حتى لا تحدث ضوضاء حرارية Thermal Noises. وجهاز المحلل متعدد القنوات وأهم اجزاء المحول الرقمي (ADC) الذي يقوم بتحويل النبضات الخطية إلى أرقام تخزن في ذاكرة الكمبيوتر ذات القنوات المتعددة حيث تكون هذه القنوات معرفة ومرقمة ومرتبطة حسب طاقة هذه النبضات. ويعرض الطيف الجامي على شاشة حاسب حيث يمكن رؤية وطباعة رسوم المنحنيات للقمم في القنوات الناتجة كلاً حسب طاقته ، كما يمكن أيضاً طباعته وحساب صافي المساحة لكل قمة عند طاقة معينة وبالتالي نسبة صافي المساحة Net area تحت المنحني للذروة الضوئية إلى تركيز العنصر

الكلية. لذا فإن كفاءة العد لمعظم الأجهزة أقل من ١٠٠% أى يمكن القول أن جزءاً فقط من الكمية الكلية المتحللة فى العينة هو الذى يتم عدّه. عموماً فإن كفاءة العد فى الأجهزة المختلفة أيضاً يؤثر فيها عوامل مثل :

١- امتصاص الإشعاع: عند قياس عينة ما يمتص جزء من الإشعاع داخل العينة نفسها ، وتتناسب الكمية الممتصة داخل العينة تناسباً طردياً مع تركيز الذرات المشعة فى العينة مع ثبات جميع الظروف الأخرى مثل نوع مادة الامتصاص والشكل الهندسى الذى يعتمد على الزاوية بين مصدر الإشعاع والكاشف تساوي 4π أى ان العداد يحيط بالمادة من معظم الجهات وعلى ذلك فإنه فى حالة المصادر الصغيرة المشعة تكون الزاوية أقل من 180° درجة (2π) أى ان الشكل الهندسى يقل بمعدل النصف . كما أن الامتصاص الذاتى يتناسب عكسياً مع حجم العينة لذا فإنه لتقليل الخطأ الناتج عن الامتصاص الذاتى يجب أن تكون كل القياسات والأحجام ثابتة من العينات مع تقليل الحجم إلى أقل ما يمكن بالتبخير أو الترسيب الكيمياءى . وتتضاعف كفاءة العد إذا كانت العينة فى وضع هندسى يغطى بلورة الكاشف بالكامل ويمكن الوصول لهذا الوضع باستخدام وعاء (مارنيللى) وهو إناء من البلاستيك أو أية مادة ذات معامل امتصاص ضئيل لأشعة جاما . يوضع الوعاء حول العداد يكافئ حجم البلورة بحيث ان الوعاء يدخل فى البلورة وتصبح البلورة فى هذه الحالة كأسطوانة محورية موازية للجدار الخارجى للوعاء ويمتلئ الوعاء عادة بمادة متجانسة حجمها فى حدود اللتر .

باستخدام حجم معين من العينات المطحونة والتي توضع فوق العداد لغرض قياس نشاطها الإشعاعى يمكن التعرف على العناصر المشعة الملوثة للعينة وكميتها فى حالة استخدام عينات عيارية تحتوى على نفس النظائر المشعة الموجودة فى العينات المراد قياسها ويراعى أن هذه العينات مماثلة لنفس حالة وحجم العينة .

٢- تأثير الخليفة الاشعاعية :لا يمكن قياس النشاط الإشعاعى لاي نظير مشع بدون قياس للخلفية (Background). فعند عدم وضع مادة مشعة بالجهاز نلاحظ أن هناك قراءات تدل على وجود نشاط إشعاعى نتيجة لمصادر مشعة طبيعية أو صناعية تؤثر عليه بل وتتداخل مع قراءة الجهاز وهو ما يسمى بالخلفية الاشعاعية. ويؤدى إلى خطأ فى العد ما لم يقدر وي طرح من العدات الكلية حتى يمكن الحصول على صافى العدات الفعلية. وقد تتغير الخليفة الاشعاعية أثناء العد لذا يجب تقديرها فى بداية العد ونهايته أو بين عد العينات. لتغلب على مشكلة الخليفة يجب إحاطة أنبوبة الكاشف بكثل من الرصاص حيث يقل هذا الخطأ المحتمل بحوالى ١٥%. أو وسائل إحصائية حيث يمكن تقليل الخطأ المحتمل بزيادة زمن عد للعينة.

الفصل الرابع

النشاط الإشعاعي الطبيعي

٤ - ١ النشاط الإشعاعي الطبيعي:

عندما كان بيكرل يجري بعض التجارب على بعض املاح اليورانيوم عام ١٨٩٦ لاحظ فلورة هذه الاملاح عند تعرضها لاشعة الشمس فاعتقد ان هذه الفلورة ناتجة عن انبعاث الاشعة السينية والتي اكتشفها رونتكين في تلك الفترة عام ١٨٩٥. لكن التجارب قادتته الى ان هذه الظاهرة ليس سببها ضوء الشمس حيث ان الفلورة يمكن رؤيتها في الظلام وتعتمد على تركيز اليورانيوم في النماذج وفي عام ١٨٩٨ وضح بير كيوري ومدام كوري (شكل ١٠ - ١) بأن هذه الاشعاعات ظاهرة ذرية خاصة بالعنصر وليس لها علاقة بالحالة الفيزيائية او الكيميائية وان هذه المواد تبعث بشكل تلقائي اشعاعات مستمرة تعتمد على نوع العنصر وسميت هذه العناصر بالعناصر المشعة.

(شكل ١٠ - ١) السيدة كيوري مكتشفة النشاط الإشعاعي



مصادر الاشعاع الطبيعي:

الاشعاع الذي يحيط بيئة الانسان بشكل طبيعي ومستمر يسمى بالخلفية الاشعاعية لأن هذا الاشعاع يشمل سكان العالم كافة وان التعرض يحدث بمعدل ثابت نسبيا وعلى مدى فترات زمنية طويلة. وتعتبر الخلفية الاشعاعية كمستوى مرجعي للمقارنة بين مصادر الاشعاع المؤين التي يتعرض لها الانسان من المصادر الطبيعية.

لا يعرف لحد الآن تأثير الإشعاع الناتج عن المصادر الطبيعية اي تأثير الخلفية الإشعاعية ففهم من الباحثين يعتبر ان الخلفية الإشعاعية ذات فائدة كبيرة للانسان حيث ان (٢-١٠%) من الطفرات الوراثية المفيدة في النبات والحيوان والتي سببت تطورا للانسان ناتجة عن الخلفية الإشعاعية.

والدليل على ذلك ان الخلفية الإشعاعية في بعض مناطق العالم كبيرة مثل كيرلا في الهند ومع ذلك فأن اكثر المعمرين في العالم في هذه المنطقة. وفي الأرجنتين حيث ان الخلفية الإشعاعية لبعض المناطق كبيرة جدا وبالرغم من ذلك تقام في هذه المناطق المصحات لأمراض كثيرة. وقسم آخر من الباحثين يعتبر بأن سبب زيادة السرطان في العالم ناتج من الخلفية الإشعاعية ولا توجد ادلة مؤكدة على صحة رأي اي من الفريقين.

من اهم المصادر المشعة الطبيعية:

٤-٢ الأشعة الكونية (Cosmic ray):

تنشأ هذه الأشعة من اماكن بعيدة في الفضاء الخارجي وينطلق بعضها من الشمس اثناء التوهج الشمسي ومن المجرات الخارجية. ويمثل التعرض لهذه الأشعة حوالي ربع ما يتعرض له الانسان من الإشعاع الطبيعي المصدر الرئيسي لهذه الأشعة ناتج عن الحوادث النجمية في الفضاء الكوني البعيد ومنها ما يصدر عن الشمس خاصة خلال التوهجات الشمسية التي تحدث مرة أو مرتين كل ١١ سنة ، مولدة جرعة إشعاعية كبيرة إلى الغلاف الغازي للأرض .

وتتكون الأشعة الكونية من قسمين رئيسيين هما:

الاول الأشعة الكونية الاولية والثاني الأشعة الكونية الثانوية.

وتتكون الأشعة الكونية الاولية من بروتونات ذات طاقة عالية جدا تبلغ حوالي ٢٠٠ MeV وتمثل ٨٧% من الأشعة الكونية و ١١% من جسيمات الفا و حوالي ١% من بعض نوى الذرات ذات العدد الذري ما بين ٤ و ٢٦ و حوالي ١% والالكترونات

ذات الطاقة العالية جداً لذلك فإن لها قدرة كبيرة على الاحتراق . كما أنها تتفاعل مع نوى ذرات الغلاف الجوي مولدة بذلك إلكترونات سريعة وأشعة جاما ونيوترونات وميزونات . ولا يستطيع أحد تجنب الأشعة الكونية ولكن شدتها على سطح الأرض تتباين من مكان لآخر وتكون الأشعة الكونية الأولية حوالي ٢٠% من مجموع الأشعة الكونية عند مستوى سطح البحر وخط العرض الجيومغناطيسي ٥٠° وتزداد نسبة الأشعة الكونية بالارتفاع عن سطح الأرض وتكون سائدة على ارتفاع ٥٠ كم فاكثرت (شكل ١٠ - ٢ أ).

أما الأشعة الكونية الثانوية فهي الأشعة الناتجة عن تفاعل الأشعة الكونية الأولية أو تصادمها بمكونات الغلاف الجوي وتتكون من مكونات خفيفة مثل الإلكترونات والميزونات والفوتونات ومكونات ثقيلة مثل النيوترونات والبروتونات تكون هذه المركبة سائدة على ارتفاع معين من سطح الأرض يبلغ ٢٠ كم.

٤ - ٣ العناصر المشعة طبيعياً:

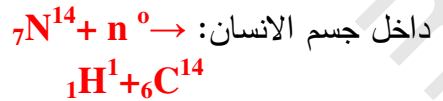
تنتشر العناصر المشعة طبيعياً انتشاراً واسعاً في قشرة الأرض مسببة جرعة إشعاعية قد تكون أقل أو أكثر من الجرعة الإشعاعية الناتجة من الأشعة الكونية، وهذه الأشعة على نوعين:

شكل (١٠- ٢) شدة الاشعة الكونية كدالة للارتفاع عن سطح الارض

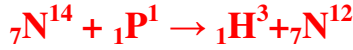


أ- العناصر المشعة ذات الاصل الكوني:

وهي العناصر التي تتولد في الجو نتيجة للتفاعل النووي بين مركبات الاشعة الكونية ونوى وذرات العناصر المستقرة مثل الكربون ١٤ (عمر النصف ٥٥٧ سنة) والذي يتكون من عملية تفاعل نيتروجين الهواء الجوي من نيوترونات الاشعة الكونية. يؤثر C^{14} بجرعة اشعاعية خارجية ضئيلة جدا ولكن جرعته الاكبر تكون عند تكونه



اما العنصر المشع الآخر فهو التريتيوم هو نظير مشع للهيدروجين وعمر نصفه 1.2×10^8 سنة يتولد نتيجة لتفاعل بروتونات الاشعة الكونية من نيتروجين الهواء في الطبقات العليا:



وقد ازدادت نسبة التريتيوم في الطبيعة خلال تجارب تفجيرات الاسلحة النووية فوق سطح الارض.

ب- العناصر المشعة ذات الاصل البدائي:

تنتشر المواد المشعة الطبيعية انتشارا واسعا في القشرة الارضية ونظرا لنصف عمرها الطويل فانها تكونت مع تكون الارض وهذه المواد تتكون من اربعة سلاسل هي:

أ-سلسلة اليورانيوم - ٢٣٨:

يتواجد اليورانيوم - ٢٣٨ ونواتج انحلاله في الطبيعة بشكل مختلف من مكان لآخر وعمر النصف لليورانيوم ٢٣٨ يساوي 4.5×10^9 سنة ويتحلل بشكل طبيعي حتى يصل الى عنصر الرصاص المستقر ويرمز لهذه السلسلة بالرمز $(4n+2)$ حيث ان n يتراوح بين ٥١-٥٩. الجدول (٤ - ١).

يتكون اليورانيوم في الطبيعة من اربعة نظائر مشعة أعدادها الكتلية ٢٣٠ و ٢٣٤ و ٢٣٥ و ٢٣٨. وتكون وفرة اليورانيوم ٢٣٨ في الطبيعة ٩٩.٢٩% و هو في توازن إشعاعي مع اليورانيوم ٢٣٤ ذي الوفرة ٠.٠٠٥٨%. أما اليورانيوم ٢٣٥ فوفرتة تساوي ٠.٧١%، ووفرة اليورانيوم ٢٣٠ فهي قليلة جدا. تحوي الصخور البركانية الحامضية على اليورانيوم بتركيز يصل إلى ٣ (ppm) اجزاء بالمليون، بينما تصل تراكيز اليورانيوم في بعض الصخور الفوسفاتية الى ١٢٠ جزءا في المليون. و إضافة إلى ذلك يختلف تركيز اليورانيوم من صخر فوسفاتي إلى آخر، تبعاً لمكان وجوده على الكرة الأرضية، إذ يصل الى ١٠٠ جزءا بالمليون في صخور عكاشات في العراق و اقل من ٦٠ جزءا في المليون في تونس. ينتج من الاستعمال المستمر للأسمدة الفوسفاتية في الزراعة الى تزايد تركيز اليورانيوم في التربة و في المياه الجوفية وعندما لا يصفى حامض الفسفوريك من اليورانيوم ، وعند تصفية الحامض تتولد كميات كبيرة من مادة الفوسفوجبسوم والذي يحتوي على

الجدول (٤ - ١) عناصر سلسلة انحلال اليورانيوم ٢٣٨

النظير	رمزه	عمر نصفه	الإشعاع الصادر عنه	طاقة الإشعاع (ميغا إلكترون فولت)
اليورانيوم ٢٣٨	^{238}U	٤.٥×١٠^9 سنة	ألفا	٤.٢٠، ٤.١٥
الثوريوم ٢٣٤	^{234}Th	٢٤ يوم	بيتا كاما	٠.١٩٢، ٠.١٠٠ ٠.٠٠٩
البروتكتينيوم ٢٣٤	^{234}Pa	١.٢ دقيقة	بيتا	٢.٢٧، ١.٥٣، ١.٢٥
اليورانيوم ٢٣٤	^{234}U	٢.٥×١٠^٥ سنة	ألفا	٤.٧٧، ٤.٧٢
الثوريوم ٢٣٠	^{230}Th	٨×١٠^٤ سنة	ألفا	٤.٥١، ٤.٦١، ٤.٦٨
الراديوم ٢٢٦	^{226}Ra	١٦٢٢ سنة	ألفا كاما	٤.٥١، ٤.٦١، ٤.٧٨ ٠.١٨٦
الرادون ٢٢٢	^{222}Rn	٣.٨ يوم	ألفا	٥.٤٨
البولونيوم ٢١٨	^{218}Po	٣.٠٥ دقيقة	ألفا	٦.٠
الرصاص ٢١٤	^{214}Pb	٢٦.٨ دقيقة	بيتا كاما	٠.٧٢ ٠.٣٥٣، ٠.٢٩٥
البزموت ٢١٤	^{214}Bi	١٩.٧ دقيقة	بيتا	١.٠٠، ١.٥، ٣.٢٦
البولونيوم ٢١٤	^{214}Po	١.٦×١٠^{-٤} ثانية	ألفا	٧.٦٨
الرصاص ٢١٠	^{210}Pb	٢٢ سنة	بيتا كاما	٠.٠٦١، ٠.٠١٥ ٠.٠٦٥
البزموت ٢١٠	^{210}Bi	٥.٠ يوم	بيتا	١.١٧
البولونيوم ٢١٠	^{210}Po	١٣٨ يوم	ألفا	٥.٣
الرصاص ٢٠٦	^{206}Pb	مستقر	-	-

جدول (٤ - ٢) عناصر سلسلة تفكك الثوريوم ٢٣٢

النظير	رمزه	عمر نصفه	الإشعاع الصادر عنه	طاقة الإشعاع (ميغا إلكترون فولت)
الثوريوم ٢٣٢	^{232}Th	1.4×10^{10} سنة	ألفا غاما	٤.٠١، ٣.٩٥ ٠.٠٥٥
الراديوم ٢٢٨	^{228}Ra	٦.٧ سنة	بيتا	٠.٠٥٥
الاكتينيوم ٢٢٨	^{228}Ac	٦.١٣ سنة	بيتا	٢.١٨، ١.٨٥ ١.٧٢، ١.١١
الثوريوم ٢٢٨	^{228}Th	١.٩ سنة	ألفا	٥.٤٢، ٥.٣٤
الراديوم ٢٢٤	^{224}Ra	٣.٦ يوم	ألفا	٥.٦٨، ٥.٤، ٥.١٩
الرادون ٢٢٠	^{220}Rn	٥٥ ثانية	ألفا	٦.٢٨
البولونيوم ٢١٦	^{216}Po	٠.١٦ ثانية	ألفا	٦.٧٧
الرصاص ٢١٢	^{212}Pb	١٠.٦ ساعة	بيتا غاما	٠.٣٣، ٠.٥٧ ٠.١٧٨، ٠.٢٣٨، ٠.٣٠٠
البزموت ٢١٢	^{212}Bi	٦٠.٥	بيتا	٢.٢٣
البولونيوم ٢١٢	^{212}Po	3.04×10^{-7} ثانية	ألفا	٨.٧٨
التاليوم ٢٠٨	^{208}Tl	٣.١ دقيقة	بيتا غاما	١.٨٠ ٢.٦١
الرصاص ٢٠٨	^{208}Pb	مستقر	-	-

تراكيز عالية نسبياً من اليورانيوم ويسبب مشكلة بيئية نتيجة تراكمة في مصانع الاسمدة الفوسفاتية ويعتبر ملوثات مشع ذات نشاط إشعاعي واطىء وأجريت بحوث كثيرة للتخلص من هذه النفايات منها استعمالها في الطبقات السطحية لرصف الطرق أو إضافة إلى الأراضي الزراعية بنسب معينة لتحسين نفوذيتها. ينتقل اليورانيوم أيضاً من المياه والنباتات إلى جسم الإنسان.

ب- سلسلة الثوريوم ٢٣٢:

والثوريوم أكثر انتشاراً من اليورانيوم في الطبيعة وعند انحلال هذه السلسلة يتكون الرصاص المستقر ويرمز لها بالرمز $4n$ حيث أن n عدد صحيح يتراوح بين ٥٢-٥٨. يوجد الثوريوم في

القشرة الأرضية في شكل أكسيد، وله عدة نظائر مشعة هي: الثوريوم ٢٣٠، الثوريوم ٢٢٨، الثوريوم ٢٢٧، الثوريوم ٢٣٤، والثوريوم ٢٣٢. يتراوح تركيز الثوريوم في الصخور البركانية كالجرانيت بين ٨.١ و ٣٣ جزءاً في المليون. و تقدر نسبة الثوريوم إلى اليورانيوم بنحو ٣.٥ إلى ٤ أمثال، في معظم أنواع الصخور وخاصة البركانية منها. جدول (٤-٢)

تتميز أكاسيد الثوريوم بقلّة ذوبانها في الماء، لذلك لا تنتقل إلى النبات والثمار بكثرة و لهذا فإن وجوده في الأجسام الحية قليل جداً. و يعود وجود بعض التراكيز القليلة من الثوريوم في الثمار أحياناً نتيجة لادمصاصه على سطح الثمار. كما ينتقل الثوريوم إلى الإنسان بالعوالق الهوائية عن طريق الجهاز التنفسي و لا يوجد الثوريوم إلا بتركيز منخفضة جداً في المياه بالمقارنة بتركيز اليورانيوم.

ج- سلسلة الأكتينيوم:

تبدأ هذه السلسلة باليورانيوم ٢٣٥ وينتهي بالرصاص المستقر ويرمز لهذه السلسلة بالرمز $(4n+3)$ وتمثل n عدد صحيح بين ١٠-٥٨ ولأن عمر النصف لها قليل فإنه لم يعد لهذه السلسلة تأثير محسوس.

د-سلسلة النبتونيوم:

وتبدأ هذه السلسلة بالنبتونيوم (عمر النصف 2.2×10^6 سنة) وتنتهي بالرصاص ونظرا لأن نصف العمر لها قليل مقارنة بعمر الأرض، لذلك فإن ما يتبقى من النبتونيوم كمية لا يمكن قياسها ويرمز لها بالرمز $(4n+1)$. ولم يبق من عناصر هذه السلسلة الا البزموت 209 .

عدد كبير من عناصر هذه السلاسل يدخل في تركيب الصخور والمواد الأولية المستخدمة في البناء. لذلك يتعرض سكان البنايات المنشأ من الكونكريت والحجر الى جرعة اضافية خارجية تزيد من التعرض.

ومن اهم نواتج اضمحلال سلسلة اليورانيوم 238 هو الراديوم 226 وقد لا يكون في حالة اتزان مع اليورانيوم 238 في الطبقة السطحية من القشرة الارضية والذي ينحل الى عنصر الرادون 222 والذي ينبعث من الصخور او التربة التي تحتوي على اليورانيوم ويدخل الى جسم الانسان عن طريق الاستنشاق حيث يصل الى الرئتين ويتحلل فيها ليستقر في القصبات الهوائية معرضا للرئتين الى جرعة ناتجة من جسيمات الفا المنبعثة عنه.

ينشأ غاز الرادون (عمر نصفه 3.8 يوم) عن انحلال الراديوم 226 ، إذ ينطلق من مكامن وجود هذا الأخير في الأرض، و في مواد البناء إلى المحيط الخارجي، و لعل المصدر الرئيسي للرادون في القشرة الأرضية ناجم عن وجود سلسلة اليورانيوم و سلسلة الثوريوم (نظير الرادون 220) فيها. و لهذا فإن تركيز الرادون في الهواء الجوي يتبع تركيز اليورانيوم و الثوريوم في التربة و الصخور.

يعد غاز الرادون مع وليداته الناجمة عن تحلله مصدراً إشعاعياً مهماً يتعرض له الجسم البشري داخليا بعملية التنفس. ينطلق الرادون المشع مع وليداته إلى الهواء ويتعلق فيه مكونة معلقات صغيرة تسمى بالعناقيد، و ترتبط هذه العناقيد بعد ذلك بالمعلقات الهوائية خلال زمن يقع بين 1 و 100 ثانية مكونة المعلقات المشعة للرادون و الثورون. و بسبب خمول غاز الرادون فإنه لا يساهم كثيرا في الجرعة الإشعاعية، غير أن منتجات تفككه ذات عمر النصف القصير تترسب في الرئة

والقصبات و تصدر جسيمات ألفا، مؤدية، من جراء استنشاقها، إلى جرعة إشعاعية تزيد ١٠٠ مرة على ما يسببه إشعاع الرادون وحده.

ومن المعروف أن تركيز غاز الرادون في المنازل ذات التهوية الرديئة والمبني من الاسمنت او الحجر أعلى منه في الهواء الطلق و في الأبنية الجيدة التهوية، ينحل غاز الرادون في الماء و يتغير تركيزه تبعاً لمصدر المياه، سطحية كانت أم جوفية، و تبعاً لمحتواها من الأملاح المعدنية، و لطبيعة الحوض المائي.

شكل (٤ - ٢ ب). الجرعة الإشعاعية الناتجة عن المصادر الطبيعية والطبية والصناعية التي يتعرض لها الفرد الألماني



يبلغ تركيز الرادون في المياه السطحية كالبحيرات من ٠ إلى ١٨٥ (ملي بكرل لكل لتر)، و من ١٨٥ إلى ٣٧٠٣ mBq/L في الجداول و الآبار. أما في الينابيع فيصل إلى ٣٧ Bq/L هذا و يمكن أن تصل التراكيز إلى أعلى من هذه القيم في المياه الجوفية ، نتيجة تراكم غاز الرادون في مياه الشرب بكميات مختلفة، وكميات محسوسة في المياه ذات المصدر الجوفي. وتكون كميته في المياه السطحية منخفضة، لتطايره بسرعة من المياه بفعل الحركة و لهذا يجري التخلص من الرادون في المياه بتقليبها أو رفعها إلى أبراج عالية، و من ثم إسقاطها في الهواء.

ويوضح الشكل (٤ - ٢ ب) الجرعة الإشعاعية الناتجة عن المصادر الطبيعية والطبية والصناعية التي يتعرض لها الفرد الألماني وهي أعلى من الجرعة التي يتعرض لها الإنسان الخليجي وذل الفرد الألماني يتعرض من منشآت الطاقة النووية و من العناصر المشعة ذات الاصل البدائي التي يكون تركيزها كبيرا في المياه وفي المساكن لزيادة تركيز الرادون

الفصل الخامس
المواد الطبيعية المشعة في
صناعة النفط و الغاز
(NORM)

٥ - ١ مقدمة

عند طرح المواد المشعة الطبيعية بشكل رواسب صلبة او في بحيرات تجميع المياه المرافقة لعملية استخراج النفط والغاز دون معالجة، فإنها تسبب مشاكل صحية وبيئية، من خلال تعرض العاملين خلال عملهم بالقرب من المعدات الحاوية للرواسب الصلبة جرعة إشعاعية خارجية ناجمة عن بواعث أشعة جاما التي يمكن أن تخترق الأنابيب والأوعية الحديدية. و تعتبر هذه الجرعة اقل خطرا من جرعة التعرض الإشعاعي الداخلي، التي يمكن أن يتلقاها العاملون خلال عمليات صيانة و تنظيف المعدات و الأنابيب والخزانات الحاوية على ترسبات المواد المشعة الطبيعية وذلك لاحتمال دخول الجزيئات الحاملة للمواد المشعة إلى أجسامهم عن طريق الابتلاع، الاستنشاق، وعن طريق الجروح.

ظاهرة تكون الرواسب تم دراستها من قبل كثير من الباحثين، لما تسببه من خفض في كفاءة عمل المعدات، نتيجة تراكم والتصاق الرواسب على المعدات، و هذا ما يدعو إلى تنظيفها بين الفينة والأخرى باستخدام طرائق كيميائية و فيزيائية عديدة للحيلولة دون تكون هذه الرواسب.

بدأت دراسة موضوع المواد المشعة الطبيعية الناتجة عن صناعة النفط والغاز منذ عام 1904 في كندا لأول مرة ثم ظهرت دراسات كثيرة في الاتحاد السوفيتي السابق و ألمانيا في العشرينيات. و في بداية الثلاثينيات ظهرت دراسات كثيرة في الولايات المتحدة الأمريكية نتيجة ظهور مشكلة التخلص من مخلفات هذه الصناعة الحاوية لمثل هذه المواد (رواسب صلبة، وحل، مياه مرافقة) و وقاية العاملين و البيئة من الأخطار التي تتجم عن أعمال تنظيف المضخات، الخزانات، الأنابيب، و المعدات الأخرى المستخدمة. ثم ازداد اهتمام شركات النفط في العالم في الآونة الأخيرة (منذ عام ١٩٨١) بعد أن كُشف وجودها في آبار اسكتلنده في بحر الشمال بالمواد المشعة

الطبيعية المرافقة للنفط، ، وبعد ذلك ظهرت دراسات كثيرة حول الموضوع وبشكل تفصيلي خلال العقود الماضية.

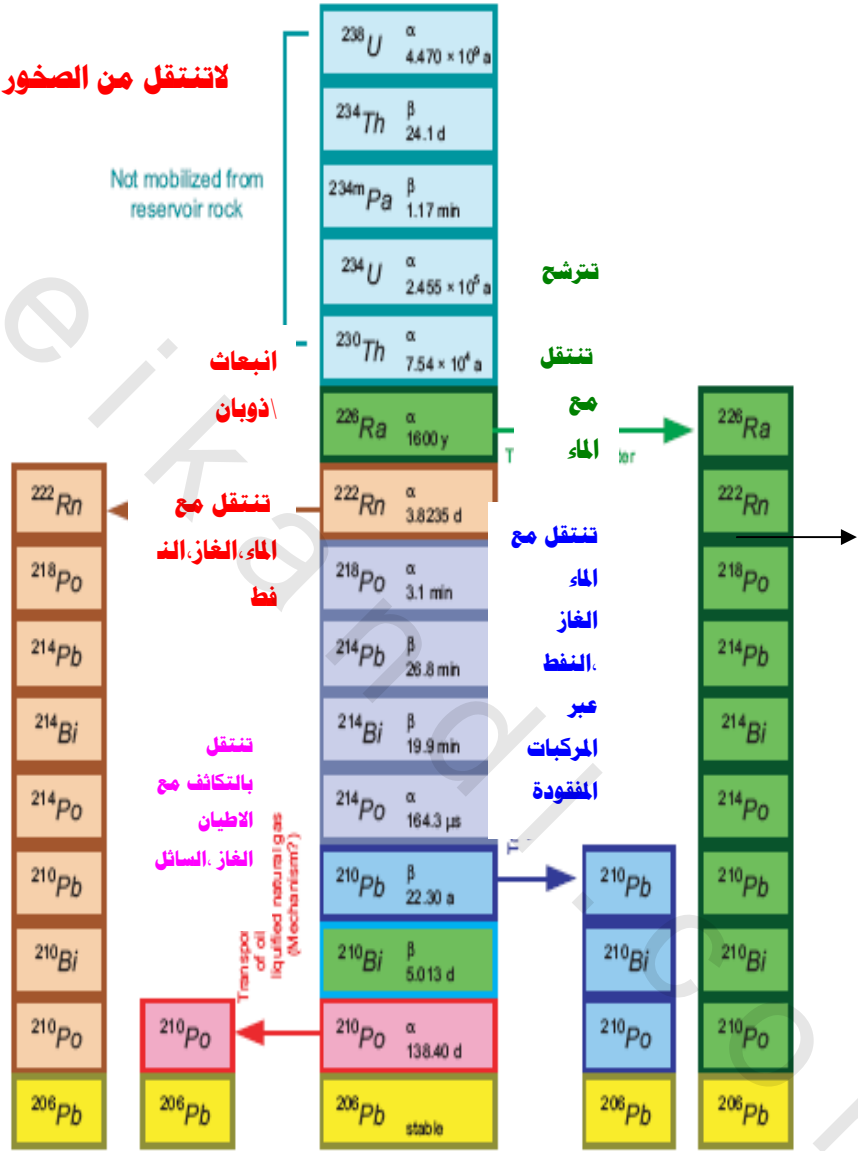
٥- ٢ المواد المشعة الطبيعية في صناعة النفط و الغاز :

يرمز لمصطلح NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials) المستخدم في صناعة النفط و الغاز إلى المواد المشعة الطبيعية. و تسمى بعض الأحيان المواد المشعة الطبيعية التي جرى تركيزها تكنولوجياً بفعل الإنسان (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive) .TENORM (Materials)

النويدات المشعة التي تم تشخيصها وقياسها في دفق الغاز والنفط هي نواتج تحلل السلسلتين الطبيعييتين للعناصر المشعة الأرضية وهي U^{238} و Th^{232} . تمتاز هذه السلاسل بعمر بنصفها الطويل وتواجدها في التربة بنسب تعتمد على التركيب الجيولوجي لتلك الأرض.

توجد المواد المشعة الطبيعية في مكامن النفط و الغاز الأخرى، بتركيز متباينة، و تخرج هذه المواد مع سوائل الإنتاج خلال عمليات الاستخراج. ولكن تحاليل العناصر المشعة طبيعياً باستخدام طريقة تحليل أطيف حاما في كثير من حقول النفط والغاز بينت بأن المواد الصلبة الموجودة في كميات النفط والغاز في مستودعاتها العميقة أو على السطح لا تحتوي على العناصر المشعة (U^{238} و Th^{232})، وذلك لان هذه العناصر لا تنتقل من صخور الآبار النفطية أو الماء المتولد كنواتج عرضي لاكتشاف النفط والغاز الذي يحتوي على المجموعة الثانية (II) من الجدول الدوري والتي تتكون من الايونات السالبة (anions)

شكل (٥-٣) مخطط انحلال سلسلة اليورانيوم - ٢٣٨

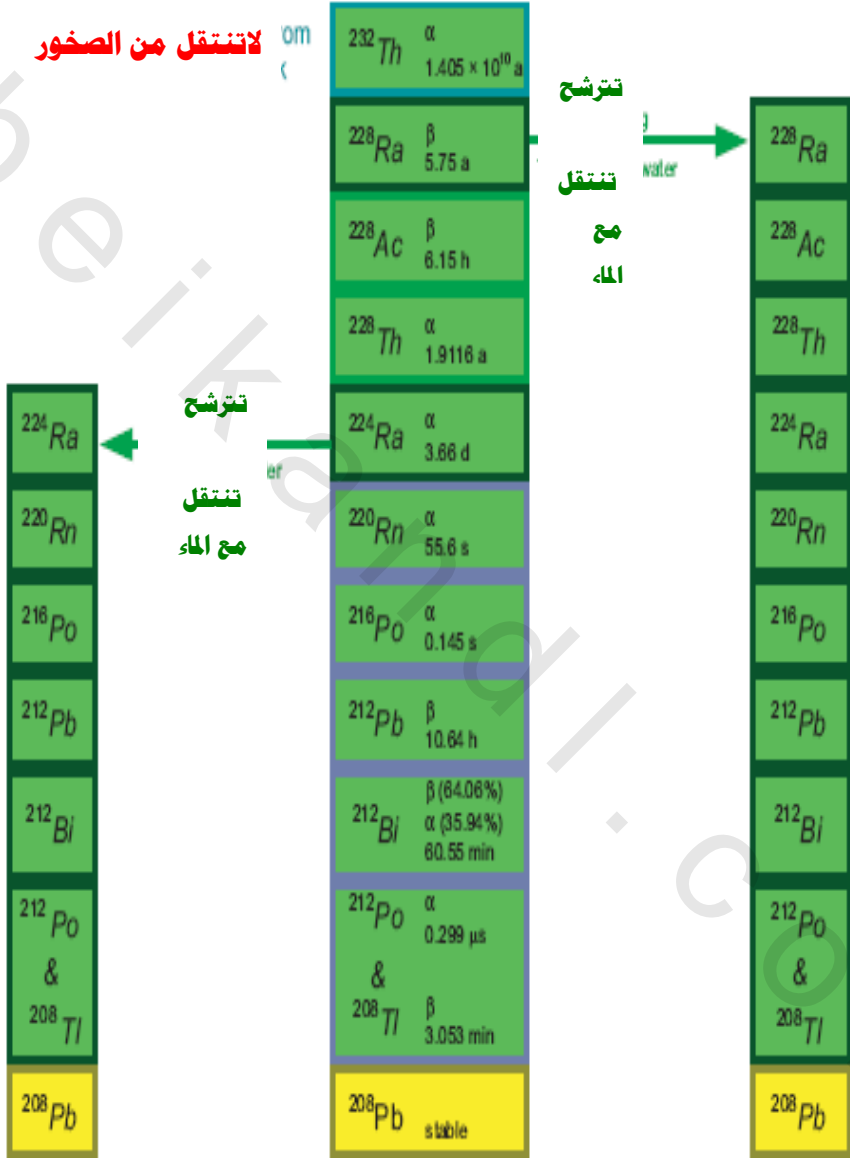


لكل من الكالسيوم، السترونتيوم، الباريوم، والراديوم المذابة من صخور الآبار ونتيجة لذلك يتولد ماء يحتوى علي نظير Ra^{226} الناتج عن تحلل سلسلة اليورانيوم-

شكل (٥-١) ٢٣٨

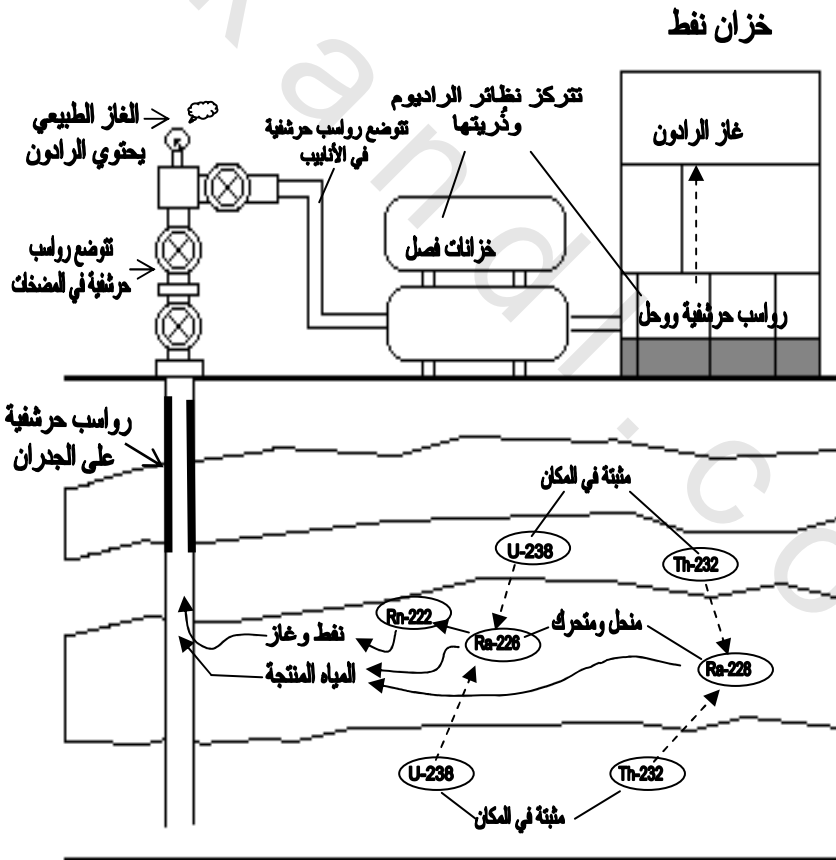
وكذلك Ra^{228} و Ra^{224} الناتجة عن تحلل سلسلة الثوريوم Th^{232} شكل (٥ - ٢).

شكل (٥ - ٢) مخطط انحلال سلسلة الثوريوم - ٢٣٢



لذلك فان النظائر الثلاث للراديوم فقط تظهر في الماء الناتج عرضيا من للنفط أو الغاز وتسمى هذه النظائر غير المسندة (unsupported) لان نظائر السلسلة الأصلية الأولى U^{238} و Th^{232} و Th^{228} تبقى في البئر. إن النظير المشع للثوريوم -228 يكشف عنة بعض الأحيان في الأطيان والترسبات القديمة وينتج عن انحلال Ra^{228} المتحرك عندما تكون ايونات عناصر المجموعة 11 من الجدول الدوري والتي تشمل الراديوم في الماء المتولد في البئر. يؤدي انخفاض الضغط ودرجة إلى تعدي قابلية الذوبان لمزيج الكبريتات والكربونات والذي يؤدي الى ترسبها بشكل مركبات صلبة من الكبريتات والكربونات في الأنابيب، الصمامات، المضخات، الفاصلات، الخزانات وأوعية معاملات الماء والغاز كما في الشكل (٥-٣)

الشكل (٥-٣) أماكن وجود المواد المشعة الطبيعية في صناعة النفط



و يلاحظ من الشكل أن منشأ الراديوم ٢٢٦، و الراديوم ٢٢٨ و غاز الرادون هو من النظائر المشعة الأم وهي اليورانيوم ٢٣٨ أو الثوريوم ٢٣٢، الموجودة في الأماكن الجيولوجية تحت الأرض، و التي توجد بكميات كبيرة نسبياً في الصخور الطينية. و لما كان كل من اليورانيوم و الثوريوم جزءاً من هذه الصخور فهي غير مذابة بدرجة كبيرة في سوائل الحوض والتي تحتوي على مياه عذبة و مالحة ، نפט، وغاز. أما الراديوم فيكون مذاباً في الماء وقابلاً للحركة فهو ينتقل من هذه الأماكن إلى سطح الأرض مع الماء المرافق للنפט. و تعتمد كمية الراديوم الموجودة في المياه المنتجة و المرافقة للنפט، على طبيعة وكمية هذه الصخور ومحتواها من اليورانيوم و الثوريوم، إضافة إلى الشروط الفيزيائية والكيميائية مثل الضغط و الحرارة و الحامضية (PH).

تنتقل السوائل من البئر إلى معدات الإنتاج على السطح. و تنتقل خلال عمليات المعالجة المختلفة و خلال عملية الانتقال، تتغير الخواص الفيزيائية (الضغط و الحرارة، ...) والكيميائية لسوائل الإنتاج. تؤدي هذه التغيرات إلى انخفاض ذوبان الراديوم و العناصر الأخرى المشابهة كيميائياً كالكالسيوم و السترونشيوم و الباريوم، فترسب لتكوّن رواسب صلبة أو وحلاً. تتشارك العناصر المشعة مع العناصر غير المشعة الموجودة في الطور المائي في تكوين هذه الرواسب في الأنابيب (ترسب الراديوم مع كبريتات الباريوم) أو الترسب مع الوحل، و تبقى عادة كميات ضئيلة من العناصر المشعة مع النفط و المياه المرافقة. يبقى الوحل و الرواسب الصلبة داخل معدات استخراج النفط و الغاز، مثل خطوط النقل و خزانات الفصل و خزانات المعالجة الحرارية و المياه المالحة. و يستثنى من ذلك غاز الرادون الذي يمكن أن يكون منحللاً في المياه المرافقة والذي يتحرر إلى الجو بعد عملية الفصل. و يبقى غاز الرادون أيضاً مع الغاز الطبيعي المرافق فتتراكم نواتج انحلاله في تجهيزات معالجة الغاز مثل مرشحات الدخول و مضخات إعادة الضخ.

تترسب المواد المشعة الطبيعية في مكونات كثيرة منها الفتحة السفلية لأنبوب النفط داخل البئر، المعدات المركبة على سطح الأرض و معدات الإنتاج كمعدات تمرير المياه، الخزانات، مناطق رشح المياه المالحة، و كذلك على سطح البئر. يؤدي تراكم المواد المشعة الطبيعية إلى ارتفاع المستويات الإشعاعية الطبيعية والتي تؤثر على العاملين بجرع تعرض خارجية أو داخلية.

غاز الرادون مختلف بعض الشيء عن نظائر الراديوم، التي تلتصق ملتصقة بالرواسب و الوحل، لانة غازاً خامل في درجة الحرارة و الضغط النظاميين، و هو يتحلل بعمر نصف قصير. وتبقى وليداتة في الشبكة البلورية للرواسب الصلبة و الوحل تماماً، و الذي يؤدي الى زيادة في مستوى أشعة جاما الصادرة من هذه الرواسب، لوجود الرصاص ٢١٤ و البزموت ٢١٤.

يؤدي تجمع غاز الرادون في الاوعية المغلقة (خزانات الفصل) وبقاء فترة من الزمن الى حصول حال التوازن الاشعاعي بينة وبين كل من الرصاص ٢١٤ و البزموت ٢١٤ و إذا ما تم إخراج غاز الرادون من الحاوية أو خزان التجميع من فتحات التهوية و ترك الباقي لبضع ساعات ليتفكك كل من الرصاص ٢١٤ و البزموت ٢١٤، سوف يتفككان فيقل النشاط الاشعاعي ويمكن بعد ذلك الدخول الى الخزان دون التعرض لغاز الرادون ووليداته.

تقع نقطة غليان غاز الرادون بين نقطة غليان غاز الإيتان و غاز البروبان، فإنه ولوجود مستويات عالية من غاز الرادون في المضخات و الخزانات و خطوط الإنتاج المرافقة لمعالجة الإيتان و البروبان في منشآت معالجة الغاز، أكثر منه في الأماكن الأخرى في خط إنتاج النفط. و معروف أنه يمكن أن توجد مستويات مرتفعة من الإشعاع في محطات إنتاج الغاز و خاصة عندما تخزن كميات كبيرة من الغاز أو تضغط.

لا تواجد المواد المشعة الطبيعية بنسب اشعاعي كبير في كل الآبار النفطية، و خاصة إذا لم يكن هناك حقن للمياه و إنتاج كميات كبيرة من المياه المنتجة، و لكن كقاعدة يمكن القول بأن ازدياد ترسب المواد المشعة الطبيعية يرافق استخدام حجوم كبيرة من المياه لرفع الضغط على النفط الخام لغرض اخراجه الى السطح، و هذا يؤدي إلى إنتاج حجوم كبيرة من المياه. على أية حال يمكن أن توجد هناك بعض الحالات الشاذة. ولقد قام بعض الباحثين السوريين بإجراء قياسات مستوى التعرض الإشعاعي على سطح بعض المعدات و الأنابيب في عدد من الآبار السورية كما موضح في الجدول ٥ - ١ .

و فيه تلاحظ ان التعرض الإشعاعي عند عدد من الآبار مرتفع نسبيا ويصل الى نحو $23.5 \mu\text{Sv/h}$. وهي جرعات مرتفعة لدى مقارنتها بالخلفية الطبيعية السورية والبالغة ($0.09 \mu\text{Sv/h}$).

أما غاز الرادون فهو غازاً خاملاً في درجة الحرارة و الضغط النظاميين ويختلف عن نظائر الراديوم التي توجد ملتصقة بالرواسب الصلبة و الوحل، ولأن عمر النصف له قصير فأنه لا ينفذ تماماً من الشبكة البلورية في الرواسب الصلبة و الوحل. لذا تبقى جميع نواتج انحلاله (بناته) المتتالية في الرواسب هذا ما يعطي زيادة في مستوى أشعة كما الصادرة من هذه الرواسب نتيجة لوجود الرصاص 214 و البزموت 214 . و يفسر وجود هذين النظيرين جميع بواعث أشعة جاما المنبعثة من الرواسب الملوثة بالراديوم 226 تقريباً. يحصل توازن إشعاعي بين غاز الرادون مع الرصاص 214 و البزموت 214 عندما يتراكم الرادون في نظام مغلق كخزان الفصل او خزانات التجميع عدة أيام.

عند نفوذ غاز الرادون من الحاوية أو خزان التجميع من خلال فتحات التهوية فان الباقي من الغاز ينحل إلى كل من الرصاص 214 و البزموت 214 بعد فترة من الزمن. في منشآت معالجة الغاز توجد مستويات مرتفعة من الإشعاع و خاصة

عندما تخزن كميات كبيرة من الغاز أو تضغط في المضخات و الخزانات و خطوط الإنتاج المرافقة لمعالجة الإيثان و البروبان وذلك لأن نقطة غليان غاز الرادون تقع بين نقطة غليان الغازين.

الجدول (٥ - ١) مستوى التعرض الإشعاعي في مواقع مختلفة من خط إنتاج النفط في دير الزور (سوريا)

الموقع	نقطة القياس	معدل التعرض الإشعاعي (مكرو سيفرت/ساعة)
١	رأس العين (WE-106 Oil Well)	٢٣.٥
٢	خزان فصل (EW-106 Separator)	٢٠
٣	رأس البئر (EW-105 Oil Well)	١٢
٤	رأس البئر (WE-103 Oil Well)	١٤
٥	خزان فصل (WE-103 Separator)	١١
٦	خزان فصل (EW-104 Separator)	٤.٥
٧	خزان فصل (EW-101 Separator)	٣.٨
٨	خط نقل المياه (Water Line)	٦
٩	خط نقل النفط (Oil Line)	٢.٦
١٠	مشعب (H.P. Manifold)	١٠
١١	مشعب (L.P. Manifold)	٣
١٢	خط اختبار (Test Line)	٢.٢
١٣	منطقة المشعب (Manifold Area)	٠.٥

تم قياس تركيز المواد المشعة الطبيعية في الرواسب الصلبة و الوحل و المياه المرافقة، في مناطق كثيرة من العالم والتي جرى قياسها في العالم، يوضح الجدول (٥ - ٢) قسما من هذه التراكيز.

النظير المشع	النفط الخام (بكرل/غم)	الغاز الطبيعي (بكرل/م ³)	المياه المنتجة (بكرل/لتر)	الرواسب الصلبة (بكرل/غم)
²³⁸ U	0.000001 - 0.01	-	0.0003 - 0.1	0.001 - 0.5
²²⁶ Ra	0.0001 - 0.04	-	0.002	0.1 - 15000
²¹⁰ Pb	-	0.005 - 0.02	0.05 - 190	0.02 - 75
²¹⁰ Po	0 - 0.01	0.002 - 0.08	-	0.02 - 1.5
²³² Th	0.0003 - 0.002	-	0.0003 - 0.001	0.001 - 0.002
²²⁸ Ra	-	-	0.3 - 180	0.05 - 2800
²²² Rn	-	5 - 200000	-	-

الجدول (٥-٢) تركيز المواد المشعة الطبيعية في الرواسب والوحل والمياه المنتجة

و يلاحظ أن تركيزها يفوق كثيراً تلك الموجودة في الطبيعة ، لهذا تسمى أحيانا مثل هذه المواد بالمواد المشعة الطبيعية التي جرى تركيزها تكنولوجياً (TENORM). و يلاحظ كذلك في هذا الجدول أن نظائر الراديوم (²²⁶Ra ، ²²⁸Ra ، ²²⁴Ra) هي أكثر المواد تركيزاً و خاصة في الرواسب الصلبة. و لهذا تعد هذه الرواسب أهم نفايات الصناعة النفطية ذات الخطر الإشعاعي. ويعتمد تركيز المواد المشعة الطبيعية على كمية المياه التي يحقن بها البئر ، و لكن كقاعدة يمكن القول بأن ازدياد ترسب المواد المشعة الطبيعية يرافق استخدام حجوم كبيرة من المياه لرفع الضغط، و هذا يؤدي إلى إنتاج حجوم كبيرة من المياه.

٥- ٣ أنواع المواد المشعة طبيعياً NORM :

أهم أنواع المواد المشعة الطبيعية NORM المتولدة في صناعة النفط والغاز موضحة في الجدول (٥ - 3) وبالإضافة إلى هذه الأنواع فقد اكتشفت حديثاً

جدول (٥- ٣) المواد المشعة الطبيعية في إنتاج النفط والغاز

النوع	النظائر المشعة	الخواص	الحدوث
ترسبات Ra	Ra^{224} Ra^{228} Ra^{226} ووليداتها	ترسبات صلبة من Ca, Sr, Ba والكبريتات. والكربونات	تحصل عند الأجزاء الرطبة من أجهزة الإنتاج والآبار.
وحل Ra	Ra^{224} Ra^{228} Ra^{226} ووليداتها	رمل، طين، برفاين ومعادن ثقيلة.	أجهزة الفصل ومن قشط الخرانات.
ترسب Pb	Pb^{210} ووليداتها	ترسب الرصاص المستقر	تحصل في أجهزة الإنتاج الرطبة.
أفلام Pb	Pb^{210} ووليداتها	ترسبات رقيقة جداً	معاملة النفط والغاز ونقلها.
أفلام Po	Po^{210}	ترسبات رقيقة جداً	أجهزة التكثيف.
الغازات الطبيعية المتكاثفة	Po^{210} Pb^{210} Ra^{222}	غازات نبيلة غير مسندة، السطوح	أجهزة معاملة الغاز ونقله.
الماء الناتج	Pb^{216} Ra^{224} Ra^{228} Ra^{226}	ماء مالح ويكون بحجم كبير في عملية إنتاج النفط	في جميع أجهزة الإنتاج.

نوع آخر من ترسبات المواد التي تسبب التآكل في أجزاء كثيرة من منظومات ضخ مياه البحر والتي تشمل خطوط أنابيب نقل هذه المياه. يعود سبب الترسبات إلى تعزيز تركيز اليورانيوم الموجود في ماء البحر إلى أكثر من تركيزه الاعتيادي نتيجة عمل الكبريتات لخفض البكتريا في محيط غير هوائي.

تتداخل المواد الصلبة (scale) المترسبة بعد زمن طويل مع عملية الإنتاج وذلك بغلق الأنابيب وقد تؤدي إلى مخاطر في العملية الإنتاجية. وتوجد محاولات للتقليل من ظاهرة الترسبات بإضافة بعض المواد المانعة للترسب في منظومة ضخ مياه البحر أو في الأجهزة الموضوعة في أعلى فتحة البئر والمستخدمة لسحب السوائل في آبار النفط المنتجة هذه المواد تنقل من ترسيب مركبات الكبريت والكربونات. أما نظائر الراديوم فإنها تمر خلال منظومة الإنتاج وتطرح مع الماء الناتج.

إن مدى حركة النويدات المشعة من المكامن وظهورها في الماء الناتج وأجهزة الإنتاج تتغير من منشأ إلى آخر ومن بئر إلى آخر وبشكل عام فإن الترسبات تكون كثيرة في صناعة النفط مقارنة مع الغاز. وخلال عمر الإنتاج فإن الماء الناتج قد يصبح أكثر ملوحة وهو مؤشر لتولد محلول ملحي كنتاج عرضي والذي يؤدي إلى تعزيز ذوبان عناصر المجموعة الثانية في الجدول الدوري.

وفي عمر الإنتاج للبئر فإن (NORM) يكون غير موجود في بداية الإنتاج ثم يزداد بعد ذلك. حركة وانتقال الرصاص المستقر والرصاص المشع (Pb^{210}) يكون متغير كذلك. الأحوال الناتجة والحاجة إلى إزالتها بشكل منتظم من الفواصل والمنظومات التي تتعامل مع الماء الناتج كذلك تتغير من مكن وآخر. أي أنه لا يوجد تركيز معين للنظائر (NORM) من إنتاج الغاز أو النفط وكذلك لا يوجد كمية معينة من الترسبات والأحوال المنتجة سنويا أو خلال عمر إنتاج البئر.

وفي عملية فصل الغاز الطبيعي بالتسييل فإن الرادون يتركز مع الغاز لأنه له نفس درجة الغاز السائل. لذلك يتوقع بان Po^{216} و Pb^{216} يتركز في أجزاء معينة من الإنتاج.

جمعت معلومات كثيرة خلال السنوات الماضية عن تركيز النظائر المشعة الطبيعية والتي نشر منها قليلا. وضحت المعلومات بان تركيز Ra^{228} ، Ra^{226} ، و Ra^{224} في الوحل والترسبات الصلبة تتراوح بين اقل من 0.1 بيكرل/ غم إلى أكثر من ١٥٠٠٠ بيكرل/ غم موضح في جدول (٥ - ٤)

وبشكل عام فان النشاط الإشعاعي لنظائر الراديوم تكون قليلة في الأوحال مقارنة بالترسبات الصلبة. ويكون العكس بالنسبة Pb^{210} الذي يكون تركيزه قليل في الترسبات الصلبة ولكن قد يصل تركيزه إلى أكثر من 1000 بيكرل/ غم في الإدخال ترسبات الرصاص. ومع أن نظائر الثوريوم لا تنتقل من الممكن لكن نواتج التحلل للثوريوم -228 تبدأ بالنمو.

جدول (٥-٤) تركيز (NORM) في النفط والغاز والنواتج العرضية عن صناعتها

النويدات المشعة	النفط الخام بكرل/غم	الغاز الطبيعي بكرل/م ³	الترسبات الصلبة
U^{238}	0.000 0001-0.01	-	0.001-0.5
Ra^{226}	0.0001-0.04	-	0.1-15000
Po^{210}	0.01 - 0	0.002-0.08	1.5 - 0.02
Pb^{210}	-	0.005-0.02	0.02-75
Ra^{222}	-	5-200000	-
Th^{232}	0.000 03-0.002	-	0.001 - 0.002
Ra^{228}	-	-	0.05-2800
Ra^{224}	-	-	-

٥ - ٤ الرواسب الصلبة - Scales

تحتوي الرواسب الصلبة في صناعة النفط والغاز على نظائر طبيعية مشعة أهمها راسب (الراديوم) . و تهتم شركات النفط بهذه الرواسب ليس فقط لأن بعضها يحتوي على المواد المشعة الطبيعية، بل لأنها تترسب وتتجمع على الجدران الداخلية للأنابيب و المعدات، مما يؤدي إلى تخفيض معدل الإنتاج وتلف المعدات. لهذا تسعى هذه الشركات لتثبيط وإزالة هذه الرواسب أينما وجدت.

تتكون الرواسب الصلبة الحاوية للمواد المشعة الطبيعية من ترسب كبريتات أو كربونات الراديوم مع كبريتات وكربونات الباريوم أو السترونسيوم أو الكالسيوم عند اختلاط المياه الموجودة طبيعياً في المكامن النفطية مع المياه المالحة المحقونة إلى البئر أو من معالجة المياه المرافقة. ان سبب تكون الرواسب الصلبة يعود إلى الاختلاف في درجة الحرارة أو الضغط بين حوض التشكيل و السطح، خلال عمليات استخراج النفط. من أهم العوامل التي تساعد على تكون الرواسب الصلبة في المعدات السطحية هي:

العامل الاول: زيادة تركيز الايونات المعدنية في الماء عن حد ذوبانها.

العامل الثاني: توفر سطوح خشنة أو جسيمات صغيرة لتكون كنوى لبدء تكون البلورة، و تنشأ هذه النوى إما من التبلور المستمر للعناصر المترسبة أو من وجود تآكل في السطوح المعدنية ثم تلتصق هذه البلورات على سطوح معدات الإنتاج.

العامل الثالث: يساهم امتصاص الايونات المعدنية للكالسيوم والباريوم والسترونسيوم على سطوح هذه المواقع في تركيب البلورات.

ان العوامل اعلاية يمكن ان تساهم للتنبؤ بتكون الرواسب الصلبة. ويتم ذلك من خلال :

١ - إجراء تحاليل كيميائية لتحديد تركيز الايونات السالبة والموجبة في المياه المرافقة(العامل الاول) مع الأخذ بنظر الاعتبار الظروف الحركية و الثرموديناميكية الحاصلة داخل البئر لتحديد ذوبان وانحلال تلك الايونات.

٢ - توفر مواقع لنشوء البلورة و امتصاص الايونات على هذه المواقع. ولغرض التنبؤ الدقيق يجب دراسة العاملين معا لان حساب كمية الرواسب المتوقعة اعتماداً على نتائج التحليل فقط قد لا يكون دقيقاً وقد نلاحظ عدم وجود الرواسب الصلبة. ويعود سبب ذلك عدم تحقق العامل الثاني حول توفر مراكز للترسب والالتصاق بالمعدن. و هكذا فإننا بإهمال عامل الالتصاق، يمكن أن نقودنا هذه التحاليل إلى حسابات خاطئة عن حالة الرواسب. و لغرض التنبؤ بتكون الرواسب الصلبة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار العوامل كلها بأن واحد لكي يكون التنبؤ دقيقاً. وبشكل عام من الصعب التنبؤ بالكمية الحقيقية لهذه الرواسب و لكن يمكن إعطاء قيم تقريبية تبعاً لنوع الترسبات. فعند التنبؤ بتكوين رواسب كبريتات الباريوم ($BaSO_4$) فان ذوبانها يزداد بازدياد محتوى الأملاح في المياه المالحة الخارجة إلى السطح. و لكن الدراسات بينت بأنه لا توجد علاقة خطية بين الذوبان ودرجة الحرارة، أو الذوبان والضغط، أو الذوبان و محتوى الأملاح. وهذا يعني أنه إذا انخفضت درجة الحرارة أو الضغط أو محتوى الأملاح في المياه المالحة التي تحوي كبريتات الباريوم فسوف تترسب كميات كبيرة أو قليلة من كبريتات الباريوم اعتماداً على مقدار هذا الانخفاض، و على الهبوط النهائي في درجة الحرارة و الضغط و محتوى الأملاح. و لكن كثير من الدراسات بينت أن التغير في درجة الحرارة لها الأثر الأكبر في ترسب كبريتات الباريوم في أغلب الآبار.

تعتبر رواسب كبريتات الكالسيوم أكثر الرواسب صعوبة للتنبؤ مقارنة برواسب كبريتات الباريوم، إذ يعد ترسب هذه المادة أكثر تعقيداً من ترسب كبريتات الباريوم. و يعود ذلك إلى وجود ثلاثة أنواع من بلورات كبريتات الكالسيوم المائية المتكونة وهي كبريتات الكالسيوم ثنائية الماء ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) الجبسوم ، كبريتات الكالسيوم الأحادية الماء ($CaSO_4 \cdot H_2O$)، و كبريتات الكالسيوم نصف المائية ($CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$). وعادة ما يترسب نوع واحد فقط من كبريتات الكالسيوم اعتماداً على

الظروف الهيدروميكانيكية و الترموديناميكية المختلفة . و يمكننا القول بوجه عام بانه يتكون الجبسوم في درجات حرارة منخفضة، في حين تتكون كبريتات الكالسيوم اللامائية في درجات حرارة مرتفعة. يزداد ترسب الكبريتات اللامائية بازياد درجة الحرارة، بسبب سلوك الانحلالية غير الطبيعية للكبريتات اللامائية، إذ تنخفض انحلاليتها بازياد الحرارة. يعود تكون رواسب الجبسوم إلى هبوط الضغط أثناء تدفق المياه، وتغير درجات الحرارة و محتوى الأملاح.

أكثر الرواسب انتشاراً في صناعة النفط والغاز هي كربونات الكالسيوم (CaCO_3) . أهم الشروط التي تؤدي إلى ترسبها هو:

١ - انحلالية غاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2 .

٢ - تكون أو تحطيم ايونات البيكربونات والكربونات.

٣ - الضغط المسلط لان الضغط يزيد في سرعة التفاعلات الكيميائية المؤدية إلى ترسب كربونات الكالسيوم .

و لهذا فإن تحاليل ايونات البيكربونات والكربونات و غاز الكربون في المياه مفيد في التنبؤ بتكون هذا النوع من الرواسب.

الفصل السادس
طرائق إزالة الرواسب الصلبة المشعة
طبيعيا (NORM) وغير المشعة
في صناعة النفط والغاز.

٦- ١ المقدمة

توجد طرائق عديدة لإزالة الملوثات المشعة وغير المشعة من المعدات المستخدمة في صناعة النفط والغاز. سبب إزالة ترسبات (NORM) والأوحال من المعدات والأجهزة لغرض زيادة الإنتاج أو لغرض الوقاية الإشعاعية يحتاج إلى سياقات مناسبة للوقاية الإشعاعية. بالإضافة إلى مخاطر الإشعاع المنبعث من هذه الترسبات فهناك مخاطر أخرى غير إشعاعية تحتاج إلى حيطة أكثر ومن هذه المواد كبريتات الهيدروجين، الزئبق، والهيدروكربونات «البنزين».

ويفضل إزالة تلوث التجهيزات من المواد المشعة من قبل أشخاص متخصصين. ويتوقف اختيار الطريقة المناسبة على عدة عوامل منها توفر وسائل العمل والموازنة بين الكلفة المترتبة على إجراء مثل هذه العمليات وقيمة التجهيزات التي ستخضع للتنظيف. تتطلب عملية الإزالة الحصول على ترخيص من قبل السلطة الرقابية و أن تتبع إجراءات خاصة لوقاية العاملين من الإشعاع عند إجراء هذه الأعمال.

٦ - ٢ طرائق إزالة التلوث عن الأجهزة والمعدات الملوثة.

إزالة التلوث الإشعاعي عن الأجهزة والمعدات في الموقع تكون مطلوبة في أحيان كثيرة وخاصة عندما يتداخل وجود هذه الترسبات والأطيان مع معدل إنتاج النفط أو الغاز وعندما لا يمكن تعويض المعدات التي تحتوي على تلك الترسبات. أكثر هذه الطرائق شيوعاً وفعالية وأمناً التنظيف اليدوي ، ، القشط التنظيف بالرمل المضغوط (Sand blast) والتنظيف بالماء تحت ضغط (HPWJ) وهي أكثر الطرائق ولكن كمية الملوثات المتولدة كبيرة وتوجد طرق أخرى موضحة في الجدول (٦-١).

أهم الطرق الشائعة هي:

١-التنظيف اليدوي

وهي من أبسط وأسهل طرائق الإزالة يجري فيها الغسل اليدوي للتجهيزات بالمحاليل الكيميائية و الماء. و تجري عمليات إزالة الوحل من الخزانات الملوثة بالمواد المشعة يدوياً، فيقشط الوحل من المعدات و تجمع في حاويات ثم تغسل المعدات بوساطة الماء من مضخة بسيطة. و لهذا تعد الطريقة اليدوية بسيطة وغير مكلفة و لكنها ذات فعالية منخفضة إضافة إلى خطورتها الإشعاعية المرتفعة على عاملي الإزالة لاحتمال التلوث الداخلي عن طريقالتنفسش اوالابتلاع.

٢ - التنظيف بالماء المضغوط (HPWJ)

تستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع لإزالة الرواسب الصلبة الحاوية لمواد مشعة طبيعية. لتنظيف المعدات الكبيرة ، مثل أجهزة فصل النفط عن الماء و خزانات النفط، و كذلك شبكات الأنابيب الطويلة من الرواسب الصلبة. تحتاج عمليات تنظيف الرواسب الحاوية لمواد مشعة إلى الماء المقذوف بضغط عالي يتراوح بين ١٠ - ٢٥٠ Mpa وذلك باستعمال مضخات خاصة. و يعطي تطبيق هذه الطريقة إزالة فعالة للرواسب إضافة إلى قلة خطورة انطلاق الغبار الحاوي لمواد مشعة، إذ يحافظ تطبيقها على بقاء المواد المشعة في حالة رطبة. ويمكن استخدامها في المواقع البرية والبحرية (on shore). يتم تنظيف الأنابيب باستخدام أنبوب طويل يتدفق الماء بقوة من فتحة صغيرة شكل (٦- ١). ويمكن لهذه الأنبوب الوصول إلى داخل أوعية طويلة باستخدام خراطيم طويلة. لهذه الطريقة بعض الأخطار المرافقة لتطبيق الضغط العالي، إضافة إلى انتشار التلوث على مساحة كبيرة وصعوبة استخدامها لإزالة التلوث عن السطوح الخارجية نتيجة لانتشار رذاذ الماء الملوث. و لهذا يفضل أن تكون أنظمة الغسيل بالضغط العالي محكمة الإغلاق، و لا يسمح للماء الملوث والنواتج عن الإزالة بأن ينتشر إلى البيئة، بل يجب أن يعبأ أو يعاد استخدامه في نظام مغلق أو أن يمرر عبر مرشحات

الجدول (٦-١) طرائق ازالة تلوث المواد المشعة طبيعيا (NORM)

الملاحظات	الطريقة
طريقة سهلة لا تحتاج إلى معدات ميكانيكية تتضمن غسل المعدات بالماء، تستخدم هذه الطريقة لإزالة الرمل أو الأوحال من الأجهزة	١. التنظيف اليدوي الاعتيادي
تستخدم بشكل شائع لإزالة الترسبات الصلبة من الأنابيب والمعدات الملوثة السطوح. وتكون عملية الثقب رطبة لتقليل انتشار الدقائق المشعة في الهواء، ويجب أن يرشح الماء الناتج عن هذه العملية لعدم مرور الترسبات الصلبة	٢. طريقة التوسيع بالثقب
تستخدم هذه الطريقة لإزالة الترسبات الصلبة من الأنابيب عال جداً والمعدات الملوثة السطوح وتمتاز هذه الطريقة بأنها فعالة لإزالة الترسبات الصلبة وتقليل تكون الغبار المشع. تستخدم طريقة القشط اليدوية لإزالة الملوثات الصلبة من السطوح باستخدام مقاشط من الحديد	٣- التنظيف بالماء تحت ضغط (HPWJ)
هذه الطريقة قد تكون رطبة أو جافة لإزالة الجزيئات الملوثة العالقة.	٤ - طريقة القشط ٥- طريقة التفريغ
استخدام مواد كيميائية لإذابة الترسبات الصلبة أو إزالة الطبقات الرقيقة (film) من أنابيب الغاز.	٦ - طريقة التنظيف الكيميائي
تصهر المعدات كمواد فائضة «سكراب» فتكون معظم مواد (NORM) مع الخبث ولكن النظائر المشعة المتطايرة تخرج من الغازات الأخرى المدخنة. يتم قشط الملوثات المشعة الملتصقة بالمعدات والأنابيب.	٧ - الصهر (melting)
	٨ -التنظيف بالرمل المضغوط

لاستخلاص الرواسب منه.

شكل (٦ - ١) ازالة التلوث باستخدام الماء المضغوط (HPWJ)



٣ - طريقة القشط (Abrasive)

تستخدم طريقة القشط الجاف والرطب اليدوية لازالة الملوثات الصلبة من السطوح التي يمكن الوصول إليها عمليا وذلك باستخدام قاشطة معدنية حادة. لكن الطريقة الجافة للقشط لايجب استخدامها وذلك لانتشار الملوثات في الهواء وتعرض العامل الذي يقوم بعملية القشط الى تعرض اشعاعي خارجي وداخلي كما انها تستغرق زمنا اكثر.

٤ - طريقة التوسيع بالثقب

تستخدم هذه الطريقة في تنظيف شبكة أنابيب الإنتاج. حيث يتم إدخال مقرب معدني صلد لغرض توسيع الفتحات من أحد طرفي الأنبوب و يبدأ بالدوران ليصل إلى الطرف الآخر بحيث يزيل الرواسب العالقة. و هذه الطريقة جيدة لأنها تقشط داخل الأنبوب بكفاءة عالية. ومن مساوئها تولد غبار ملوث بالمواد المشعة الطبيعية إذا استخدمت هذه العملية بطريقة جافة. أما إذا استخدم موسم الفتحات بالدوران في جو رطب فان الغبار الملوث المتولد يقل بشكل كبير. فإنها تعد طريقة جيدة إضافة وعند إجرائها ضمن نظام محكم الإغلاق لمنع انتشار المواد الملوثة فتعتبر طريقة جيدة للأنابيب.

٥- التنظيف بطريقة المصّ بالهواء:

التنظيف بالمصّ الهوائي قد يكون جافاً أو رطباً. وهي طريقة فعالة في إزالة الجسيمات الملوثة بالمواد المشعة غير العالقة. و عادة ما تستخدم هذه الطريقة قبل تنظيف التجهيزات يدوياً. تستخدم في هذه الطريقة مرشحات خاصة لمنع انتشار التلوث إلى الأماكن المحيطة، و تخفيض احتمال تكون المعلقات الملوثة بالمواد المشعة. و يجب أخذ الحذر لضمان عدم تراكم كميات كبيرة من المواد المشعة في جهاز التنظيف وتغير المرشحات بين وقت وآخر للتقليل من خطر الإشعاعي على العاملين.

ينجم عن أعمال التنظيف هذه نفايات مشعة تحوي تراكيز ملموسة من المواد المشعة الطبيعية، و لهذا يجب أن يجري نقلها أو التخلص النهائي منها بطرائق سليمة و ضمن معايير خاصة بالتخلص من المواد المشعة.

٦ - طريقة إزالة التلوث بالمواد الكيماوية .

تستخدم هذه الطريقة لإزالة الترسبات من السطوح التي لا يمكن الوصول إليها بالطرق الميكانيكية أو الطرق تؤدي إلى تلف تلك المعدات. المعدات تنظف أولاً

بمذيبات عضوية أو قواعد ساخنة قبل الإزالة الكيميائية للتلوث. المواد الكيميائية المستخدمة لإزالة التلوث هي الحوامض والقواعد ومواد معقدة. لكل نوع من أنواع الرواسب الثلاثة الرئيسية طرائق كيميائية محددة لإزالتها من داخل الآبار و المعدات. وهي:

أ-إزالة رواسب كبريتات الباريوم ($BaSO_4$):

لغرض إزالة رواسب كبريتات الباريوم بالطريقة الكيميائية تستخدم المواد التالية:

١ - مركبات (EDTA).

٢ -حامض النترواسيتات الثلاثية (NTA).

٣ -المركبات الكلبيية (Chelating Agents) . تقوم هذه المحاليل في البداية بتحطيم بلورات كبريتات الباريوم وذلك بتحويلها إلى ايونات الباريوم الموجبة (Ba^{++}) و ايونات الكبريتات السالبة (SO_4^{--}) و ترتبط هذه الايونات مع المركب الكيميائي الكلبي لتشكل معقدًا منحلًا و مستقرًا.

و من المحاليل الفعالة الأخرى المستخدمة لازالة رواسب كبريتات الباريوم،هو محلول كلوريد الصوديوم المائي (NaCl). والذي يكون رواسب غير مستقرة و تزداد فعالية الانحلال في هذا المحلول عند التسخين. أن تغير الضغط و الحرارة أو المحتوى الملحي يمكن أن تؤدي إلى ترسب كبريتات الباريوم مرة أخرى، مكونة بذلك ما يسمى بالرواسب الثانوية. من مساوئ هذه الإزالة أنها تحتاج إلى وقت طويل لازالة كمية كافية من هذه الرواسب. و يعود ذلك إلى المعدل المنخفض جداً لانحلال بلورات كبريتات الباريوم بهذه المركبات .وهذا يعني أنها تستهلك كميات كبيرة من الطاقة لتحطيم البلورات الثابتة لكبريتات الباريوم.

ب-إزالة رواسب كبريتات الكالسيوم:

هذه الرواسب عبارة عن مركبات الجبسوم والذي يمكن ازالته باستخدام أغلب المركبات المستخدمة لإزالة رواسب كبريتات الباريوم وبفعالية أعلى قليلاً. و لكن الأمر يحتاج إلى وقت طويل لإنجاز العمل إذا استخدمت المعقدات الكلبيية. و لما

كان الجبسوم أقل خمولاً من الناحية الكيميائية مقارنةً بكبريتات الباريوم، فإنه يمكن تحويله إلى شكل آخر بواسطة مركبات كيميائية تسمى محولات الجبسوم. تقوم هذه المركبات بتحويل الجبسوم إلى أملاح تتحلل بحامض الهيدروكلوريك مكونة نوعاً من الوحل يمكن سحبه بالمضخات إلى خارج البئر. و تساهم هذه المركبات بإزالة رواسب كربونات الكالسيوم أيضاً، و التي عادة ما تكون مرافقة لكبريتات الكالسيوم.

ج - إزالة رواسب كربونات الكالسيوم:

تعد عملية الحفاظ على معدل إنتاجية كثير من آبار النفط استخدام ازالة التكلسات الصلبة المشعة او الوحل باستعمال حوامض معدنية و غير معدنية لغرض إزالة كربونات الكالسيوم والتي تعتبر من أكثر الإجراءات الناجعة للإزالة. مع ذلك، توجد بعض الحالات التي تكون فيها هذه الطريقة غير فعالة، ويعود ذلك إلى تآكل جدران البئر إذا سكب الحمض بأسلوب غير صحيح. من أهم الحوامض المستخدمة لإزالة رواسب كربونات الكالسيوم هي حامض الهيدروكلوريك وهو أكثر الحوامض استخداماً. كذلك تستخدم أيضاً بعض الحوامض العضوية كحامض النتريك أو مزيج من عدة حوامض. و يعتمد اختيار الحامض على عوامل عدة اهمها:

١. مكان وجود الرواسب.
٢. الحرارة داخل البئر و التشكيلات الجوفية.
٣. فعالية المزيل لإزالة كربونات الكالسيوم.
٤. التقليل ما أمكن من عملية التآكل للمعدات .
٥. تقليل حدوث عملية إعادة الترسب التي تتولد نتيجة لتفاعلات كيميائية بين الحوامض المستهلكة و المواد الأخرى الموجودة في التشكيلات الجوفية خلال أعمال الصيانة.

مساوي هذه الطريقة:

١ - تكون سوائل ملوثة كثيرة.

- ب - أن بعض مكونات هذه المعدات قد يذوب بالحوامض.
- ج - صعوبة استخدام أسلوب الإزالة الكيميائية عندما توجد أنواع مختلفة من الرواسب يصعب التنبؤ بتكوينها.

٧ - إزالة التلوث بالصهر:

- إن صهر المواد المعدنية الحاوية على المواد المشعة الطبيعية تؤدي إلى فصل المعدن عن النظائر المشعة الصلبة والتي ستكون الخبث الذي يطفو على المعدن المنصهر. وتطبق هذه الطريقة في مواقع مخصصة للصهر. أهم الخطوات في هذه الإزالة هي:
- ١- نقل المعدات إلى موقع التدوير برا أو بحرا باستخدام معدات تحميل مناسبة.
 - ٢- تقطيع المعدات إلى أجزاء صغيرة بواسطة العمليات الميكانيكية أو الحرارية إلى أجزاء قابلة للصهر.
 - ٣- نقلها بواسطة حزام ناقل أو رافعة الى أفران الصهر.
 - ٤- إزالة ميكانيكية للخبث الطافي.
 - ٥- إعادة وجمع الغبار الخارج من المداخل.

٨ - القصف بالرمل (Sand blasting) :

يتوجية الرمل الممزوج بالهواء تحت ضغط عال الذي يولده ضاغط باستخدام أنبوب طويل يتدفق الرمل بقوة من فتحة صغيرة. تتميز هذه الطريقة بكفاءتها في ازالة المادة الملوثة الصلبة الملتصقة بالمعدات المعدنية والأنابيب. من مساوئ هذه الطريقة تولد ملوثات صلبة كثيرة مختلطة مع الرمل وكذلك انتشار الملوثات بشكل عوالق في الهواء وتعرض العاملين الى التلوث الداخلي. لذلك يجب على العاملين ارتداء بدلات خاصة محكمة جيدا وكمامات تغطي الوجه باجمعة ويتم التنفس من خلال قناني التنفس الخاصة.

٦-٣ طرائق استخدام المواد الكيميائية لتثبيت تكون الرواسب في حقول

النفط والغاز.

لمنع وتقليل تكون الرواسب الصلبة تستخدم مركبات كيميائية بتراكيز منخفضة تمنع تكون أو نمو بلورات الرواسب الصلبة بتكوين معقدات كيميائية ثابتة. و تستخدم عادة هذه المواد بتراكيز أكبر من تراكيز مكونات الرواسب الصلبة. من اهم المواد الشائعة الاستخدام الفوسفانات والتي تستعمل في درجات حرارة تصل إلى (150) درجة سليزية، و متعدد كربونات الاكزالات التي تستعمل في درجات حرارة تصل إلى 200 درجة سليزية ، و استر الفوسفات والتي تعدّ من المواد الجيدة بالنظر إلى كلفتها الواطئة، و لكن تطبيقها محدود في درجة حرارة أدنى من (100) درجة سليزية. ان اختبارات الفحص هي التي تحدد تركيز المواد الكيميائية لتثبيت تكون الرواسب الواجب استخدامها. يعتمد اختيار مثبت تكون الرواسب على درجة الحرارة التي يستخدم فيها مانع التكون و درجة حموضة الماء المالح و تركيبه في الابار النفطية . و إضافة إلى ذلك تعتمد كفاءة عمل مانع التكون على درجة حموضة الوسط (PH)، إذ يجب زيادة تركيز مانع التكون في الأوساط ذات الحموضة المنخفضة.

لتثبيت وتقليل تكون الرواسب في الحقول طرائق عديدة لحقن المواد الكيميائية للابار أهمها:

١. حقن المثبطات الكيميائية في التشكيلات الجيولوجية النفطية العميقة دفعة واحدة.
 ٢. الحقن المستمر للمثبطات الكيميائية إلى داخل فوهة البئر على دفعات متتابعة أثناء الإنتاج و يجري ذلك بحيث يعاكس الحقن خط الإنتاج أو بمد خطوط ضيقة إلى أسفل فتحة البئر و ضخ المادة المثبطة باستمرار.
- لكل من هذه الطرائق محاسنها و مساوئها التقنية و الاقتصادية. و يعتمد اختيار الطريقة المناسبة على العوامل الاقتصادية والتقنية في الحقل.

أما مشاكل استعمال المثبطات الكيميائية فهي كثيرة و أهمها ما يسمى بالرواسب الكاذبة وتكون المعوقات.التي تنشأ نتيجة للتفاعلات المتبادلة و الحاصلة بين الايونات الموجبة لكل من المنغنيز (Mg^{++}) والكالسيوم (Ca^{++}) و الباريوم (Ba^{++}) الموجودة في المياه المالحة والايونات الموجودة في المثبطات. فتسلك هذه المركبات المترسبة سلوك الرواسب الصلبة نفسه. و بذلك لا تعمل المواد الكيميائية في منع تكون الرواسب فقط بل تسبب مشاكل إضافية بتكون الرواسب الكاذبة.

تنظيف تلوث تجهيزات منشأة الغاز

يمكن أن يحدث التلوث بالمواد المشعة الطبيعية في تجهيزات معالجة الغاز الطبيعي كما يحصل في المعدات النفطية. حيث تتكون طبقات رقيقة غالبا لا تكون مرئية بالعين المجردة و يمكن أن تتألف الطبقات من مواد ذات نشاط إشعاعي مرتفع تلتصق بجدران تجهيزات المعالجة. و يمكن أن تزال هذه الطبقات بالمواد الكيميائية. و يكمن خطر هذه المواد كالرصاص ٢١٠ والبولونيوم ٢١٠ في التعرض الداخلي فقط، لانها غير باعثة لأشعة كما التي تؤدي إلى تعرض خارجي ملموس. ينجم عن أعمال التنظيف هذه نفايات مشعة تحوي تراكيز ملموسة من المواد المشعة الطبيعية، و لهذا يجب أن يجري نقلها أو التخلص النهائي منها بطرائق سليمة و ضمن معايير خاصة بالتخلص من المواد المشعة.

الفصل السابع
طرائق التخلص من المياه والمواد
الصلبة الملوثة اشعاعيا

٧ - ١ مقدمة

الكمية الكبيرة المتولدة من الماء المنتج تخضع إلى عملية الخزن والمعاملة أولاً كطريقة عملية لطرح هذه المياه استناداً إلى المستويات التي تضعها السلطة الرقابية للتعامل مع المواد غير المشعة مثل الهيدروكربونات الذائبة. يعد الماء المنتج نتيجة لحفر الآبار النفطية أحد النفايات المشعة الناجمة عن الصناعة النفطية، ويمكن أن يحوي تراكيز مرتفعة نسبياً من المواد المشعة الطبيعية. الكمية الكبيرة المتولدة من الماء المنتج تخضع إلى عملية الخزن والمعاملة أولاً كطريقة عملية لطرح هذه المياه استناداً إلى المستويات التي وضعتها السلطة الرقابية للتعامل مع المواد غير المشعة مثل الهيدروكربونات الذائبة.

٧ - ٢ طرق التخلص من الماء المنتج:

من أهم طرق التخلص من المياه الملوثة الناتجة عن صناعة النفط والغاز هي:

١ - إعادة حقن الماء في أحد الآبار القديمة:

للتخلص من الماء المنتج طرائق عديدة ، و قد تكون أهم هذه الطرائق هي إعادة حقن المياه في إحدى الآبار العميقة. يعتمد اختيار هذه الطريقة على توفر الآبار المناسبة للحقن .

إعادة حقن الماء إلى البئر الذي جاء منه أو في أحد الآبار الناضبة الأخرى من الخطوات العملية المقبولة في حالة منشآت الإنتاج النفطية أو الغاز في اليابسة والبحر. هذه الطريقة بسيطة ولا تؤدي إلى إضافة في المخاطر الإشعاعية حيث أن الماء المنتج يعود بنفس التركيز أو أقل للمكونات التي نشأ منها.

٢ - طرح الماء إلى البحار والمحيطات:

معظم منشآت الإنتاج النفطية القريبة من السواحل تطرح الماء المنتج إلى البحار أو المحيطات. وان متطلبات الطرح تختلف من دولة إلى أخرى. ففي بعض الحالات

لا توجد أي متطلبات وي طرح الماء مباشرة وفي بلدان أخرى يتطلب الترخيص بالطرح إذا كان النشاط الإشعاعي أكثر من الحدود الموضوعه من قبل تلك الدولة. وطرح هذه المياه يخضع إلى المعاهدات الدولية لحفظ الكائنات البحرية مثل معاهدة لندن عام 1972 ومعاهدة حفظ الكائنات البحرية لشمال شرق الأطلنطي عام 1992 (معاهدة OSPAR).

٣- معالجة المياه :

يتم معالجة الماء لفصل نظائر الراديوم بالترسيب أو المرشحات، ثم استخدام هذه المياه في الزراعة. بعد ان يتم قياس النشاط الإشعاعي للملوثات في تلك المياه.

٤ - الطرح إلى البحيرات الصناعية (Discharge into seepage ponds):

في قسم كبير من المواقع النفطية البحرية يطرح الماء المنتج إلى بحيرات صناعية (Lagoons) شكل (٧ - ١) لكي يتبخر وترسب المواد المشعة على التربة ، و هذا يؤدي إلى تلوث التربة بالمواد المشعة وقد يصل التلوث إلى المياه الجوفية. ولمنع تلوث التربة والمياه الجوفية تبطن البحيرات ببطانة بلاستيكية تمنع تسرب المياه إلى التربة والمياه الجوفية ، و بعد التبخير يمكن تجميع البطانة البلاستيكية و إرسالها إلى مخزن المواد المشعة للتخلص منها.

يعتمد مدى قبول هذه الطريقة على التأثير الإشعاعي على المياه السطحية والمياه الجوفية ومخاطر تجمع المواد المشعة على البيئة النباتية . تعتمد هذه المخاطر على العوامل التالية:

- أ-النشاط الإشعاعي للنويدات المشعة.
- ب-نسبة النشاط الإشعاعي المترسب.
- ج-درجة التخفيف إلى المياه السطحية المحلية أو المياه الجوفية.
- د-الحجم الناتج.

شكل (٢ - ١) البحيرة الصناعية لغرض ترسيب المواد المشعة طبيعيا



تعتبر هذه الطريقة كطريقة للتركيز والاحتواء (concentrate and contain) لمعاملة النفايات المشعة حيث أن النويدات المشعة المذابة تتحول إلى ترسبات صلبة والتي يمكن جمعها مع التربة الملوثة. وعند استخدام هذه الطريقة يجب اخذ الأمور التالية بنظر الاعتبار.

- ١- اختيار الموقع المناسب للبحيرات الصناعية.
- ٢- السيطرة لمنع الدخول إلى هذه المناطق.
- ٣- تعميم المخاطر الإشعاعية للإنسان والبيئة على أمد طويل والناج عن تلوث التربة، المياه السطحية والمياه الجوفية.
- ٤- تطبيق نظام توكيد الجودة وفتح سجلات خاصة بالموقع.
- ٥- تقييم التنظيف والإعادة لموقع البحيرات لغرض التخلص من المواد المشعة والاستفادة من الارض (Remediation). شكل (٧ - ٢)
- ٦- طرح المواد المشعة الصلبة كنفايات صلبة مشعة.

شكل (٧ - ٢) إعادة اصلاح ارض (Remediation)



٧ - ٣ طرائق التخلص من المواد المشعة الطبيعية الصلبة والأوخال:

المواد المترسبة الصلبة. والأوخال تحتوي على مدى واسع من النشاط الإشعاعي للعناصر الطبيعية والتي تختلف في عمر نصفها. تكون هذه المواد بكميات مختلفة خلال الفترة التشغيلية لمنشآت النفط والغاز. و تجري حالياً في العالم عمليات لتطوير التنظيمات الخاصة بالتخلص من المواد المشعة الطبيعية الناجمة عن صناعة النفط.

يوجد تنظيمات عديدة للتخلص من المواد المشعة عالمياً صادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية و غيرها من الوكالات الدولية وقد اهتمت هذه المنظمات في السنوات الخمسة الأخيرة بموضوع المواد المشعة الطبيعية الناتجة عن صناعة النفط وعقدت من أجل ذلك وبتنظيم الوكالة الدولية للطاقة الذرية عدة مؤتمرات ودورات حول الموضوع ولازال هذا النشاط مستمرا

يمكن تقسيم نفايات المواد المشعة الطبيعية الناجمة عن هذه الصناعة إلى ثلاث فئات

هي:

١ - المواد المشعة الطبيعية الحرة غير المتماسكة كالرواسب، و الأوحال ، و التربة الملوثة.

٢ - الأنابيب الملوثة.

٣ - التجهيزات الملوثة مثل أجهزة الفصل والخزانات والصمامات و غيرها.

توجد عدة طرق للتخلص من هذه المواد مطبقة عملياً من عدة دول بشكل روتيني وتخضع إلى المعاهدات الدولية للحفاظ على الكائنات البحرية و سنذكر هنا بعض طرائق التخلص المأمون من هذه النفايات، و المقترحة من قبل العديد من الباحثين العاملين في هذا المجال في العالم.

من أهم هذه الطرق:

١) الطرح إلى مياه البحار:

تقوم بعض الدول بطرح المواد المشعة الطبيعية (NORM) الصلبة إلى مياه البحار بعد الحصول على إذن من السلطات الرقابية في البلد. ولكن هذه الطريقة تؤدي إلى تراكم المواد الصلبة المشعة طبيعياً حول الحقول البرية على مدى عدة سنوات من الطرح. ويجب اخذ العوامل التالية بنظر الاعتبار.

١-يحتاج إلى تقييم الإضرار المؤثرة على الإنسان والبيئة.

٢-تقييم لجرع التعرض المهني ووضع برنامج للوقاية الإشعاعية لبعض النشاطات لغرض السيطرة على التعرض وتقليل انتشار المواد المشعة.

٣-يحتاج إلى برنامج جيد لتوكيد الجودة ووجود سجلات لمعرفة كميات النفايات المشعة ومدخلها.

٢) الحقن في البئر وطريقة التمزيق الهيدروليكي:

استخدمت هذه الطريقة للتخلص من المواد الصلبة المشعة طبيعياً والناجمة عن الصناعات النفطية في خليج مكسيكو للحقول البرية حيث تم حقن الأوحال و الرواسب الصلبة الحاوية لمواد مشعة طبيعية في المكنن النفطي، أو بطريقة التمزق

الهيدروليكي في حوض مفصول جيولوجياً و ميكانيكياً عن مصادر المياه الجوفية المستخدمة للشرب. تخلط هذه المواد بالطين أو الإسمنت في تجهيزات خاصة بالخلط، ثم تحقن النفايات المشعة (غير المنحلة في الماء) مع كمية كبيرة من الماء فتتحرك كلها معاً في الممكن النفطي.

ويجب اخذ النقاط التالية بنظر الاعتبار:

أ- اختبار الموقع نسبة إلى الاستقرار على المدى البعيد للمكونات الجيولوجية المحيطة بالبئر والعمق اللازم لذلك.

ب- الحاجة إلى تغليف هذه المواد بالاسمنت.

ج- تقييم الأضرار على الإنسان والبيئة.

٣) الطرح في الآبار المهجورة وغير المستخدمة:

يعد البئر الذي استُفِدَتُ فرص استثماره مكاناً جيداً للتخلص من المواد المشعة الطبيعية، و ذلك بعد موافقة السلطة الرقابية للوقاية من الإشعاع المختصة في البلد المعني. يتضمن الطرح في الآبار المهجورة خلط المواد المشعة الطبيعية الصلبة بالإسمنت وتكون بين سدادين (plugs) داخل البئر.

خضعت هذه الطريقة إلى تقييم للجرع الإشعاعية الناتجة عنها وبرهنت بأن هذه الطريقة هي الطريقة المفضلة لطرح الترسبات الصلبة من الحقول البحرية وكذلك الأحوال الحاوية على الزئبق، تتميز هذه الطريقة بصعوبة عزل المواد غير المشعة لأنها لا تتحلل إشعاعياً. من أهم النقاط التي يجب أخذها بنظر الاعتبار هي:

١ - البئر المختار يضمن استقراراً لسنوات طويلة للمكونات الجيولوجية المحيطة به وعلى أساس أطول عمر نصف للنظائر المشعة (مثل الراديوم-٢٢٦ عمر نصفه ١٦٠٠).

ب - ضرورة مزج الملوثات وإحاطتها بالاسمنت والأخذ بنظر الاعتبار الكلفة المادية لذلك.

ت- تقييم للمخاطر الإشعاعية لتحديد المخاطر على الإنسان والبيئة لفترة طويلة والنتائج عن تلوث المياه الجوفية.

ث - الحاجة إلى تقييم للتعرض المهني ووضع برنامج للرقابة الإشعاعية لغرض السيطرة على التعرض وتقليل انتشار الملوثات إلى الجمهور.

ح - وضع برنامج لضبط الجودة وفتح سجلات للنفايات المشعة الداخلة.

٤) الطرح السطحي (surface disposal):

الأراضي السطحية غير العميقة (shallow) احد الطرائق للتخلص من النفايات المشعة الطبيعية وقد أجريت كثير من الدراسات لتطوير هذه الطريقة في الولايات المتحدة الأمريكية ومشاكل (Remediation) ووجود الترسبات الصلبة والأحوال. من مساوئ هذه الطريقة وجود العناصر غير المشعة في الأحوال يجعل هذه الطريقة غير عملية للطرح .

اهم الخطوات الواجب استخدامها عند الطرح السطحي :

١ - اختيار الموقع المناسب بأقل عمق ممكن وهذا الاختبار يركز على تقليل تأثير هذه الملوثات واستقراريتها لفترة طويلة وعلى الكلفة الاقتصادية لنقل هذه المواد. ان العوامل الأساسية الواجب تطبيقها عند اختيار الموقع وحسب توصيات الوكالة الدولية للطاقة الذرية هي:

- - العوامل المناخية والجوية. يكون الموقع باتجاه معاكس للرياح السائدة
- - المياه واحتمال الفيضانات. يكون الموقع بعيدا عن السدود ومواقع السيول.
- - الزلازل والبراكين. من المتطلبات الاساسية لاختيار الموقع جمع المعلومات التاريخية عن الزلازل والبراكين وكذلك القياسات والخرائط الزلزالية.
- - عدم تأثير الموقع على الثروة المعدنية واستخراجها.
- - استغلال الأرض.
- - النبات. لا يؤثر الموقع على نمو النبات والبساتين والمزارع.

قرب الموقع من شبكة المواصلات البرية او البحرية لتسهيل نقل الملوثات

ب - الاستقرار طويل الأمد للموقع.

ت- تقييم للمخاطر الإشعاعية لتحديد المخاطر على الإنسان والبيئة لأمد طويل والنتائج عن تلوث المياه الجوفية.

٥) نشر المواد المشعة على الأرض أو دفنها:

يمكن التخلص من المواد المشعة الطبيعية الحرة (الرواسب، الوحل ، التربة الملوثة) بنثرها على الأرض و خلطها بتربة نظيفة. و لكن تحتاج مثل هذه الطرائق إلى دراسات معمقة لتقدير خطر انتقال المواد المشعة إلى الإنسان. حيث أن طريقة نشر المواد المشعة بعد التخفيف أو بدونه وصفت بأنها من الطرق المهمة في الصناعة النفطية. ولكن قبول هذه الطريقة للتخلص من المواد الصلبة المشعة تحيط به الشكوك نتيجة لوجود العناصر الثقيلة والهيدروكربونات السامة.

٦) الطرح في الطبقات العميقة داخل الأرض (Deep underground):

طرح المواد المشعة في الطبقات العميقة من الأرض قد تم دراستها بشكل كبير واستخدامها للتخلص من النفايات المشعة ذات النشاط الإشعاعي العالي والمتوسط والنتيجة عن دورة الوقود النووي. التخلص من النفايات المشعة طبيعياً (NORM) والنتيجة عن الصناعات النفطية بهذه الطريقة يعتبر فعالاً. وخاصة التخلص منها بطمرها في مناجم المعادن العميقة والغير مستخدمة وقريباً من المنشآت النفطية لغرض التقليل من الكلفة الاقتصادية للنقل وعند استخدام هذه الطريقة يجب الأخذ بالاعتبارات التالية:

أ- كلفة تشغيل واختبار مثل هذه المواقع للطمر مقارنة بالمواقع الأخرى.

ب- موقع الطمر نسبة إلى مواقع إنتاج النفط والغاز.

ج- معاملة النفايات والتعامل معها ورزمتها.

د- كلفة النقل وخضوعه إلى متطلبات النقل الأمن للمواد المشعة.

٧) التدوير بالصهر Recycling by melting :

تعتبر هذه الطريقة من الطرق المهمة للتخلص من المواد المشعة الطبيعية وتعتبر كذلك طريقة لإزالة التلوث عن الأنابيب الملوثة. حيث يمكن صهر الأنابيب و التجهيزات الحاوية لمواد مشعة طبيعية فتتراكم هذه المواد بالدرجة الأولى في الخبث الذي يمكن أن ينقل إلى مخزن مرخص له في التخلص من المواد المشعة. توجد دراسات متقدمة لعملية صهر المعدات والأنابيب الملوثة بالمواد المشعة. وتوصلت هذه الدراسات إلى أن تكون عملية الصهر اختياراً قابلاً للتطبيق في حالة الأنابيب الملوثة و المعدات الأخرى عندما توافق عليها السلطة الرقابية.

الملوثات المشعة الطبيعية تتركز في الأوحال تتم هذه الطريقة بصهر المعدات الملوثة مع معدات أخرى غير ملوثة كثيرة. أن إضافة المعدات غير الملوثة مع الحديد يؤدي إلى تخفيف جيد لمعدات السكراب الملوثة بحيث أن النشاط الإشعاعي للمواد المشعة طبيعياً في الوحل أو في الغازات المشعة المطروحة إلى البيئة (مثل Pb^{210} ، Po^{210}) تكون قليلة. من أهم المخاطر الإشعاعية لهذه الطريقة هي الجرعة التي يتعرض لها العاملين أثناء تقطيع معدات السكراب إلى أجزاء صغيرة لكي تتلاءم مع حجم أفران الصهر.

إن إعادة تدوير السكراب الملوث بالمواد المشعة قد تم تحديده في السنوات الأخيرة وذلك لأمر قانونية تتعلق بتجارة السكراب. حيث أن هذه المواد ومنشآت الصهر لها يتم مسحها إشعاعياً باستخدام الأجهزة المحمولة لغرض رفض السكراب الملوث

٧ - ٤ مخازن المواد المشعة الطبيعية الصلبة و المعدات الملوثة .

توجد في حقول النفط أجهزة عديدة تتركز فيها المواد المشعة الطبيعية كالأنابيب والمضخات و المرشحات و غيرها. توجد حاجة ضرورية لجمع وتخزين المواد الصلبة المشعة طبيعياً (NORM) مثل والأنابيب والأجهزة الملوثة قبل اتخاذ أي إجراء لغرض التخلص من هذه الملوثات و ترخص مواقع التخزين من السلطة

الرقابية. من الضروري اخراج هذه التجهيزات من منشأة الإنتاج أو موقع المحطة بين فترة وأخرى، لتخزينها في موقع مركزي قبل صيانتها أو إزالة التلوث عنها، أو التخلص النهائي منها، و ذلك لتفادي تعرض العاملين الى الإشعاع لهذا لا بد من وجود مخزن مركزي، لكل شركة نفط أو كل حقل تظهر فيه مشكلة المواد المشعة الطبيعية، تخزن فيه هذه التجهيزات. و سنذكر هنا الإجراءات العملية اللازمة لخصن هذه المواد لتلافي أي تعرض إشعاعي عال للعاملين في المخزن و من حوله. شكل (٧ -

من أهم متطلبات مخازن المواد الصلبة المشعة طبيعياً (NORM):

- ١- توفر علامات واضحة لتوضيح الغرض من الموقع .
- ٢ - توفر علامات تحذيرية من الإشعاع.
- ٣- يجب أن تخزن الحاويات والتجهيزات الحاوية لمواد مشعة طبيعية في مخازن مأمونة و ذات تهوية مناسبة لمنع تراكم غاز الرادون .و يحدد دخول الأشخاص إليها.
- 4- أن تكون أبعاد المخزن المواد المشعة يكون بحيث لا يزيد مستوى الإشعاع في محيطه الخارجي على $0.5 \mu\text{Sv/h}$ (أو أي حد تضعه الجهة الرقابية في البلد المعني).
- ٥ - يجب أن تخزن المواد ذات النشاط الإشعاعي المرتفع في مركز المخزن و ذلك لتقليل مستوى الإشعاع إلى الحد الأدنى في محيط المخزن.
- ٦ - الدخول إلى المخزن محكوم بضوابط.و يحدد دخول الأشخاص إليه .
- ٧ - يجب التأكد بأن التجهيزات و حاويات المواد المشعة في موقع التخزين مأمونة وموثقة في سجلات خاصة.

٥-٧ تصفية (Decommission) منشأة النفط والغاز:

عند نضوب مكامن النفط أو الغاز إلى المدى الذي يكون فيه الاكتشاف غير اقتصادي فإن الآبار تهجر وتفكك منظومات الإنتاج والنقل لإزالة تلوثها. وكذلك فإن مخازن ومنشآت معاملة النفايات المشعة لأتعود لها حاجة فيزال تلوثها وتفكك كذلك. يتطلب من مالك البئر الطلب من السلطات الرقابية لإنهاء رخصة استخدام المواد المشعة. من المهم بأن عملية تصفية المنشآت النفطية تأخذ بنظر الاعتبار قبل فترة طويلة من تنفيذها لغرض:

شكل (٧-٣) حاويات حديدية Container تستخدم كمخازن لخرن المواد المشعة طبيعياً (NORM)



- ١- تقليل كميات النفايات المشعة المتولدة.
- ٢- تحديد المساحات اللازمة لغرض التصفية.
- ٣- اختبار الطرائق المناسبة والأمنية والاقتصادية لغرض التصفية.
- ٤- تقليل الجرع للعاملين والجمهور.

المالك المرخص يكون مسئولاً عن أن جميع البنايات، الأرض، الأجهزة يمكن استخدامها بدون أي محاذير بعد إزالة تلوثها السطحي.

والمطلوب من المرخص عمل ما يلي:

١- القيام بالمسح الإشعاعي.

٢- رسم الخارطة الإشعاعية وتعيين النقاط الذي يكون مستوى نشاطها الإشعاعي كبير.

٣- إرسال جميع هذه المعلومات إلى السلطة الرقابية.

١ - إستراتيجية التصفية:

إن الإستراتيجية المفضلة لعملية التصفية تتضمن النقاط التالية:

١- إزالة التلوث الإشعاعي من الأجهزة والمعدات الملوثة إلى المستوى الذي تحدده السلطة الرقابية.

٢- جميع المنشآت والأجهزة والمناطق المزال تلوثها يمكن استخدامها من قبل الجمهور بدون محددات أي اعتبارها مستثناة من الترخيص.

٣- التخلص من النفايات المشعة وبقية المعدات الملوثة.

٢ - فعاليات تصفية المنشآت:

تصفية المنشآت تتضمن عدة نشاطات أهمها:

١- تطوير خطط وإستراتيجيات التصفية وبرنامج توكيد الجودة وعمليات التفكيك بغرض تقليل كمية الملوثات المشعة المتولدة.

٢- تقييم الأضرار التي يتعرض لها العاملين والجمهور والبيئة خلال وبعد نشاطات التصفية.

٣- إرسال جميع الخطط، الاستراتيجيات، السجلات، التقارير ونتائج المسح الإشعاعي إلى السلطات الرقابية لغرض المصادقة عليها.

٤- تحديد المعدات والمناطق المزال تلوثها وكمية وصفات الملوثات الخطرة.

٥- القيام بمسح إشعاعي لتقييم مستوى معدل جرعة جاما، ألفا وبيتا في السطوح الملوثة.

٦- وضع برنامج مناسب للوقاية الإشعاعي للعاملين، الجمهور والبيئة، والتخلص من جميع النفايات المشعة في منشآت مرخصة.

٧- الاهتمام بفعالية إزالة التلوث من الأرض (remediation).

٨- نقل المواد المشعة حسب تعليمات الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

٩- إجراء مسح إشعاعي نهائي بعد التفكيك ورفع المواد وإصلاح الأرض.

الفصل الثامن

**الوقاية من الإشعاع من المواد المشعة
بيعيا (NORM) في الصناعة النفطية**

٨ - ١ المقدمة :

الوقاية من الإشعاع من المواد المشعة الطبيعية الناتجة عن صناعة النفط والغاز لا تختلف في الأساس عن أساليب الوقاية الإشعاعية من المصادر المشعة ذات النشاط الإشعاعي الواطئ، بحيث تكون الجرعة للعاملين والجمهور اقل ما يمكن التوصل إليها عملياً (ALARA). يتعرض العاملون في صناعة النفط لخطر الإشعاع الصادر عن المواد المشعة الطبيعية أثناء العمل بالقرب من فوهة الابار ومعدات الانتاج مثل شبكة أنابيب نقل النفط، خزانات فصل النفط ، أماكن معالجة وإزالة الأجهزة الملوثة، ومخزن المواد المشعة الطبيعية والتي تحوي الرواسب الصلبة التي تم ازلتها من المعدات الملوثة و الوحل و الأجهزة. و لا بد من اتباع الإجراءات الوقائية اللازمة، التي تحكمها قوانين الإشعاع الصادرة عن السلطات الرقابية في البلد المعني. و تختلف طبيعة الإجراءات تبعاً لنوع التعرض الإشعاعي.

التعرض لخطر الإشعاع الصادر عن المواد المشعة الطبيعية نوعان وهما الاول التعرض الخارجي الناتج عن المواد المشعة الباعثة لإشعاعه جاما. والثاني التعرض الداخلي والذي ينجم عن ثلاث معابر أساسية هي استنشاق الغبار الناشئ عن أعمال التنظيف و غيرها بطريق التنفس، او عن طريق الابتلاع للطعام الملوث، او دخول الملوثات المشعة عن طريق الجروح. و للوقاية من هذا التعرض يجب العمل ضمن إجراءات الوقاية من الإشعاع حسب توصيات الوكالة الدولية للطاقة الذرية. ولكن في غياب نظام مراقبة إشعاعية جيد في عمليات استخراج النفط والغاز فان المواد المشعة الطبيعية (NORM) قد يؤدي إلى تعرض خارجي خلال الإنتاج وذلك لتراكم النويدات المشعة الباعثة لأشعة جاما أو من التعرض الداخلي للعاملين والجمهور وخاصة خلال عملية الصيانة، ونقل الملوثات والأجهزة الملوثة، وإزالة التلوث عن الأجهزة والمعدات.

٨ - ٢ أنواع التعرض الإشعاعي هي:

١- التعرض الخارجي:

التعرض الناتج من المصدر عندما يكون خارج الجسم الحي . ومثل هذه التعرضات تحدث من المصادر المغلفة والمفتوحة وكذلك المواد المشعة طبيعياً (NORM) والأجهزة الإشعاعية. وقد يولد ترسب المواد الصلبة والأحوال في الأنابيب والأوعية معدل جرعة داخل وخارج هذه المعدات تؤثر على العاملين والجمهور. فان وليدات نظائر الراديوم وفي الأخص Ra^{226} يبعث أشعة جاما التي لها القدرة على النفوذ من خلال جدران هذه المعدات وكذلك فان أحد وليدات Th^{228} وهو Tl^{208} يبعث بأشعة جاما ذات طاقة عالية والتي تساهم بشكل كبير إلى معدل الجرعة خارج سطوح هذه المعدات. أن معدل الجرعة يعتمد على كمية والنشاط الإشعاعي للنويدات المشعة الموجودة داخل المعدات.

معدل الجرعة العظمى يصل إلى بضع من $\mu Sv/h$. وفي بعض الحالات غير الاعتيادية قد يصل معدل الجرعة خارج سطوح هذه المعدات إلى بضع مئات من $\mu Sv/h$ وهي اكبر من 1000 مرة من الخلفية الإشعاعية الاعتيادية. ويوضح الجدول (٨ - 1) هذه الجرع.

أما الترسبات الحاوية على Pb^{210} فلا يمكن تقييمها من خلال القياس خارج المعدات لان طاقة أشعة جاما المنبعثة منها منخفضة وكذلك جسيمات بيتا وكلاهما لا يخترق المعدات، لذلك فان الجرعة الخارجية الناتجة عن Pb^{210} لا تساهم في الجرعة الناتجة عن التعرض الخارجي ولكن التعرض منها يكون مؤثراً عند فتح هذه المعدات.

الجدول (٨ - 1) معدل الجرعة الخارجة لبعض آبار إنتاج النفط:

الموقع	معدل الجرعة $\mu\text{Sv/h}$
الأنابيب داخل البئر وصمامات الأمان	أكثر من 300
سطح البئر	22.5 - 0.1
خطوط الإنتاج	5 - 3.5
أجهزة الفصل «القياس من الداخل»	أكثر من 200
أجهزة الفصل «القياس من الخارج»	أكثر من 15
الماء الخارج	0.5 - 0.2

يمكن الكشف بالأجهزة المحمولة عن تراكم ترسبات الراديوم بدون فتح هذه المعدات شكل (٨ - ١) وعند فتح المعدات لغرض الصيانة فسوف تزداد الجرعة. وجود المواد المشعة الطبيعية NORM في المنشآت لا يسبب تعرضاً إشعاعياً خارجياً كبيراً يتعدى حدود الجرعة السنوية للعاملين. حيث إن التعرض من هذه المواد يكون قليلاً بحيث لا يتطلب أخذ إجراءات وقائية صارمة. ولكن توجد بعض الحالات التي تكون فيها الجرعة الناتجة عن هذه المواد كبيرة ويمكن إتباع الخطوات التالية لتقليل جرع التعرض وذلك بزيادة المسافة عن المعدة وتقليل زمن التعرض وقد وجد أن وضع محددات الدخول وتقليل زمن التواجد قرب هذه الأنابيب يقلل من معدل الجرعة السنوية المستلمة و خاصة أشعة جاما، ينبغي إتباع

شكل (٨-١) الكشف الإشعاعي عن الملوثات المشعة الطبيعية (NORM)

بالأجهزة المحمولة



أساسيات الوقاية الإشعاعية و الذي يعتمد على كلاً من المسافة و الزمن و التدرج

١. الزمن:

يجب خفض زمن المكوث بالقرب من مصدر الأشعة المؤينة إلى أقصى ما يمكن و لهذا من المفضل تدوير العاملين و تغيير مهامهم حيناً بعد حين، و خاصة الأماكن التي يحصل فيها تعرض لجرعات إشعاعية مرتفعة. لأنه من الأفضل أن توزع الجرعة على عدة عاملين بدل من عامل واحد.

٢. المسافة:

على العامل البقاء أبعد ما يمكن عن أي مصدر للأشعة المؤينة إذ ينخفض التعرض الإشعاعي بسرعة عند الابتعاد عن المصدر كون العلاقة بين التعرض الإشعاعي مع مربع المسافة عن المصدر علاقة عكسية .

٣. **الدرع الواقي:**

يفضل زيادة التدريع ما أمكن بين العامل و المادة المشعة حيث يقوم الدرع بامتصاص وتوهين بعض الأشعة الصادرة عن المادة و تعتمد ذلك نوع مادة الدرع. لا يمكن عادة استخدام هذا الأسلوب لحماية الأشخاص من الأشعة الصادرة عن المواد المشعة الطبيعية في الحقول النفطية. لان الحديد الذي تصنع منه المعدات النفطية يعد درعاً ملائماً من التعرض المنخفض نسبياً، الناتج من المواد المشعة الطبيعية. أن البراميل التي تحوي الرواسب الصلبة التي تم إزالتها هي سبب أكثر التعرضات الناشئة عن المواد المشعة الطبيعية الموجودة في الحقول لهذا يجب أثناء تخزين عدد كبير من البراميل في المستودع إحاطة البراميل، التي تولد جرع أعلى من سواها، ببراميل تظهر قراءات أخفض. أو استخدام براميل سميكة.

تتطلب الخطوتين الأولى والثانية تصميم منطقة إشراف وسيطرة والتي يكون الدخول إليها محكوم بضوابط. أما الخطوة الثانية فان الأنابيب التي في داخلها المادة المشعة يمكن اعتبارها درعاً وقائياً. أما إذا وجدت كمية كبيرة من المواد المشعة طبيعياً (NORM) ذات نشاط إشعاعي عالي فيجب خزنها في أوعية خاصة لكي تقلل من أشعة جاما النافذة منها إلى مستويات مقبولة.

٢-**التعرض الداخلي:**

هو عملية دخول المصادر المشعة إلى داخل جسم الإنسان . أن التقرب مع المصادر المغلقة أو المصادر المفتوحة أو انتشار المواد المشعة طبيعياً يمكن أن تسبب تعرض داخلي عن طريق التنفس . الابتدلاع أو الجروح في جسم الإنسان ، وفي حالة المصادر المشعة طبيعياً فيجب الاهتمام بغاز الرادون المشع الذي يتجمع قرب مصادر المواد المشعة طبعاً.

عند غياب أي سيطرة على المواد المشعة طبيعياً فإن التلوث الداخلي يمكن أن يحصل نتيجة للاستنشاق أو الابتلاع للنويدات المشعة. وهذا يحصل عند تنظيف المعدات الملوثة أو نقلها أو فتحها لغرض الصيانة عند عدم اخذ الحيطة قبل الأكل والشرب والتدخين، وكذلك يأخذ الحذر بعدم انتشار هذه الملوثات إلى خارج منطقة العمل وكذلك عدم جعل الهواء ملوثاً بالمواد المشعة نتيجة لتعلق هذه الدقائق في الهواء. لان استنشاق هذه الدقائق يؤدي إلى تأثيرات ضارة وخاصة عند عدم استخدام المعدات الوقائية. «أجهزة التنفس والملابس الوقائية».

إن مخاطر الجرعة الناتجة عن الاستنشاق تعتمد على الخواص الفيزيائية والكيميائية والنشاط الإشعاعي (NORM) وعلى معدل القطر الايروناميكي لجزيئات المادة المشعة. و لتفادي مثل هذا الانتقال لا بد من تحديد المناطق الملوثة، و نشر الوعي بين العاملين حول وجود مثل هذه التلوث. و تعد إشارات التحذير و وضع الأشرطة أو الأسلاك حول المنطقة الملوثة .

توجد قواعد عامة للوقاية من التعرض الداخلي أثناء العمل في مناطق ملوثة بالمواد المشعة الطبيعية و هي:

1. يمنع الأكل و الشراب و التدخين و العلك و استخدام مواد التجميل للنساء (Cosmetics) في المناطق الملوثة أو المحظورة.
2. استخدام أجهزة التنفس الاصطناعي و الألبسة الملائمة.
3. إجراء كشف إشعاعي للتحري عن تلوث العاملين عند خروجهم من المنطقة الملوثة.
4. يجب غسل اليدين و الوجه قبل تناول الطعام و الشراب أو التدخين. و الحفاظ على ما تحت الأظافر نظيفاً. و غسل ملابس العمال على الدوام.
- 5 - يفضل استخدام الطرق الرطبة لازالة المواد المشعة طبيعياً لغرض تقليل انتشار العوالق الملوثة في الهواء. و وضع المواد في حاويات تمنع انتشارها.

تتطلب عمليات إزالة تلوث الرواسب الملوثة في الموقع الإجراءات الوقائية التالية:

١ - تعامل المعدات على انها ملوثة بالمواد المشعة الطبيعية عندما يزيد مستوى تعرضها الإشعاعي الخارجي عن حدٍ تحدده السلطة الرقابية البلد المعني.

٢ - إزالة التلوث في موقع العمل تتجم عنة مخاطر إشعاعية للعاملين والجمهور لذلك ولغرض وقاية العاملين والجمهور والبيئة يتم رصف أرض مناطق التنظيف الدائمة بالخرسانة وتغطية أرض مناطق التنظيف بالبلاستيك قبل البدء بعمليات إزالة المواد المشعة الطبيعية عن المعدات لتلافي التلوث الإشعاعي. و تستعمل عادة الأغشية البلاستيكية لأرض منطقة العمل لاحتواء التلوث و تسهيل إجراءات التنظيف بعد إتمام العمل. وتجري أعمال الإزالة في مناطق جيدة التهوية لغرض عدم تراكم غاز الرادون المشع.

٣- الأجهزة أو الموقع يحتاج إلى إزالة التلوث لغرض رفع الرقابة (Clearance) من متطلبات السلطة الرقابية لغرض تدوير هذه الملوثات أو طرحها إلى البيئة كملوثات اعتيادية.

٤- العاملون لإزالة التلوث يجب أن يعلموا بالمخاطر الإشعاعية واتخاذ الإجراءات الضرورية للوقاية وان يتقن جميع العاملين استخدام أجهزة الوقاية الفردية التي يجب ارتداؤها أثناء أعمال الإزالة إضافة إلى معرفتهم للإجراءات الصحيحة لدخول منطقة وجود المواد الملوثة صبيغيا.

٥- استخدام معدات احتواء للمواد المشعة تشكل غرفة بلاستيكية لعدم انتشار المواد المشعة إلى خارج موقع العمل شكل (٨ - ٢) أو أن المعدات تأخذ إلى خارج المواقع لغرض إزالة تلوثها شكل (٨ - ٣)

٨ - ٣ الإجراءات الوقائية عند ازالة التلوث من التجهيزات الملوثة وخزانات النفط،

١. التقليل من التعرض الداخلي وذلك يتم عن طريق منع تناول الطعام و الشراب و التدخين و المواد التجميلية في مناطق العمل الذي يجري فيه تداول المعدات.

شكل (٨- ٢) المعدات الوقائية عند إزالة التلوث الإشعاعي



شكل (٨- ٣) معدات ملوثة إشعاعيا مخزونة خارج موقع الإزالة



٢. عدم انتقال الملوثات الى البيئة المجاورة من مواقع العمل من خلال احتواء المادة الملوثة داخل التجهيزات الملوثة بالمواد المشعة وتغطية الأرض باستخدام أغشية من البلاستيك للتقليل من تولد أي غبار أو انتقال للرواسب أو الاوحال فتلوث التربة المحيطة بالمنطقة .
٣. قياس جرع التعرض الشخصي في مواقع وجود التجهيزات الملوثة.
٤. عند التعامل مع المعدات الملوثة يجب استخدام معدات الوقاية من ملابس و أجهزة تنفس اصطناعية مناسبة إذا تطلب العمل على تجهيزات يمكن أن يتولد منها معلقات هوائية ملوثة لتقليل التماس المباشر مع المواد المشعة.
٥. يتم التعامل مع الاوحال و الرواسب الصلبة الملوثة بالمواد المشعة بعد ترطيبها لتقليل إثارة الغبار إلى أقل حد ممكن.
- ٦ - عند تنظيف خزانات النفط يتم تهوية الخزان وذلك للتخلص من غاز الرادون، الذي يمكن أن يتولد ويتراكم نتيجة لتحلل (الراديوم ٢٢٦) إضافة إلى التخلص من معظم الابخرة السامة وأبخرة الهيدروكربونات. يوصى باستخدام أجهزة تنفس صناعية خلال الدخول الأول إلى خزان التجميع من أجل التنظيف أو التفيتش.
- ٧- المعدات المستخدمة في أعمال التنظيف، يجب إزالة تلوثها ، بغسلها بالماء والصابون، اما المواد والمعدات الملوثة، التي لا يمكن إزالة التلوث عنها، فتوضع في اكياس بلاستيكية يحكم إغلاقها وتخزن لفترة ثم تطمر باعتبارها نفايات مشعة.
- ٨ - عدم طرح المياه الناتجة عن الازالة إلى المجاري العامة او البيئة الا بعد التأكد من انها تحوي تراكيز منخفضة من المواد المشعة، تعادل الحدود المسموح بها او اقل ضمن المعايير الموضوعه من السلطة الرقابية.
- ٩ - يحظر دخول الأشخاص غير المرخص لهم إلى مناطق تنظيف التجهيزات، و يجب أن يكون عدد الأشخاص في مناطق التنظيف أقل ما يمكن.

١٠ - يجب إجراء مسح إشعاعي للمعدات المطلوب ازالة تلوثها قبل عمليات الإزالة و بعد انتهائها لمقارنة القراءات وحساب عامل الازالة والذي يساوي النسبة بين القراءات قبل الازالة الى القراءات بعد الازالة والذي يجب ان يكون اقل من الواحد بكثير ثم يقارن العامل مع القيم العالمية.

١١- وضع الرواسب الصلبة والأوحال وجميع الملوثات الاخرى في حاويات مناسبة للتخزين و أن تمرر المياه الناتجة عن عملية إزالة التلوث عبر مرشحات لامتناس الملوثات منها و إعادة استخدامها أو طرّحها.

٤-٨ إدارة النفايات المشعة للمواد المشعة طبيعياً (NORM):

تتولد في منشآت النفط والغاز نفايات صلبة وسائلة خلال العمر التشغيلي لهذه المنشآت. وبالإضافة إلى ذلك تتولد نفايات صلبة إضافية نتيجة لإزالة التلوث أو تصفية تلك المنشآت. هذه النفايات تحتوي على مواد مشعة طبيعياً تؤدي إلى تأثيرات إشعاعية على العاملين والجمهور المتعرضين لهذه النفايات وبالإضافة إلى التأثيرات الإشعاعية توجد تأثيرات كيميائية لهذه المواد. من أهم نفايات المواد المشعة طبيعياً والمتولدة نتيجة للصناعات النفطية والغاز هي:

١- الماء المنتج

٢- الرواسب والأوحال .

٣- المعدات الملوثة

٤- النفايات الناتجة عن نشاطات معاملة النفايات.

٥- النفايات الناتجة عن تصفية المنشآت.

إن النشاط الإشعاعي للمواد المشعة في الماء المنتج تكون قليلة ولكن حجم الماء كبير، أما الملوثات الصلبة فان النشاط الإشعاعي فيها يتراوح بين النشاط المنخفض والعالي، ولكن حجمها في الغالب يكون قليل. إن عمر النصف الطويل لبعض هذه النفايات يتطلب إدارة جيدة لها.

إزالة التلوث عن المنشأة أو الأجهزة يولد نفايات مشعة يعتمد نوعها على نوع المواد المزلة وتركيزها وطريقة الإزالة. حيث ان إزالة التلوث ميكانيكياً بالطريقة الجافة تولد نفايات صلبة بالإضافة الى النفايات الجافة المتولدة من منظومة المرشحات المستخدمة لإزالة المواد المشعة العالقة في الهواء. وكذلك فان إزالة التلوث في الموقع يولد كميات من الماء تحتوي على مواد مشعة. اهم النفايات المشعة المتولدة نتيجة لإزالة التلوث هي:

١- الأوحال المزلة من الأنابيب والأوعية والخزانات.

٢- الترسبات الصلبة المعلقة في الماء.

٣- السوائل الحاوية على ترسبات مشعة ذاتية في المواد الكيميائية المستخدمة لإزالة التلوث.

٤- نفايات صلبة ناتجة عن إزالة التلوث الجافة أو الصلبة.

٥- نفايات ماء ناتجة عن إزالة الترسبات بعملية الترسيب أو الترشيح للماء المستخدم في المعاملة الرطبة لإزالة التلوث وخاصة استخدام الماء المضغوط.

٦- الخبث المتولد نتيجة لصهر المعادن الملوثة.

٧- الغبار المتطاير أو الغازات الخارجة من المداخل والتي تحتوي على مواد مشعة متطايرة.

إن هذه النفايات لا تحتوي على مواد مشعة حسب وإنما تحتوي على مركبات كيميائية مستخدمة في الإزالة، بقايا عضوية صلبة أو سائلة تنتج من تصفية النفط والغاز، والعناصر الثقيلة مثل الزئبق، الرصاص، الزنك والتي تكون مرافقة للمواد المشعة طبيعياً الناتجة عن إنتاج النفط والغاز. هذه العناصر تتطلب وقاية إضافية.

يتكون برنامج إدارة النفايات المشعة من الإدارة، التنظيم والخطوات التقنية للتعامل بأمان مع النفايات المشعة والسامة. حيث أن الخطر السمي لبعض المواد المشعة يكون اكبر من خطرها الإشعاعي.

ونتيجة للأنواع المختلفة للمواد المشعة الطبيعية المتولدة عن الصناعات النفطية والغاز واحتمال تغير تولدها. لذلك يجب وضع خطط الوقاية الإشعاعية وبسبب طبيعة الصناعات النفطية وحقيقة كون حجم وتركيز هذه النفايات قليل فان المعلومات عن مخاطر هذه الملوثات لدى العاملين تكون محدودة بالرغم من أن الأمان الإشعاعي لا يختلف عن اي مواد مشعة أخرى بغض النظر عن منشأها. ولغرض تقييم الإضرار الناتجة عن إدارة النفايات المشعة والناتجة عن المصادر المشعة وغير المشعة بهدف التأكد من أن وقاية الإنسان والبيئة تكون عند مستوى مقبول بموجب المعايير الدولية.

ولغرض تقييم الإضرار بشكل امن يجب إتباع ما يلي:

أ-تحديد وتشخيص مداخل المصادر (Source terms) المشعة.

ب-تحديد التعرض المهني وتعرض الجمهور الناتج عن إدارة النفايات المشعة المختلفة من لحظة تولدها حتى التخلص منها.

ج- التأثيرات الإشعاعية طويلة الأجل الناتجة عن التخلص من النفايات على الإنسان والبيئة.

د-التصميم الأمثل لمعدات معاملة النفايات.

هـ-وضع جميع السيناريوهات والمسارات لتعرض العاملين والجمهور والبيئة للمواد المشعة وغير المشعة والإضرار المتوقعة.

الإضرار الناتجة عن إدارة النفايات المشعة يقارن مع السياقات الموضوعية من قبل السلطات الرقابية او الدولية. هذه السياقات تتضمن حدود الجرعة السنوية للعاملين نتيجة لتعرضهم اثناء العمل وللجمهور المتعرضين نتيجة لطرح النفايات المشعة خلال عمل المنشأة وبعد إغلاقها. كذلك تضع السلطات الرقابية مستويات التدخل وحدود النشاط الإشعاعي والتلوث السطحي.

٨-٥ قياس النشاط الإشعاعي:

لمعرفة النشاط الإشعاعي للمواد المشعة الطبيعية الصلبة في صناعة النفط والغاز يتطلب استخدام منظومة قياس طيف أشعة جاما ذات التحليل العالي وذلك بأخذ نماذج من الأوحال وتجفيفها ومزجها ووضعها في وعاء مارتيللي لغرض التحليل. ويوضح الجدول (٨-٢) طريقة تعين بعض النويدات المشعة في NORM.

ولان نفوذ (emanation) وليدات Ra^{226} مثل Rn^{222} من الأوحال والترسبات الصلبة قليل جداً. فان Ra^{226} يمكن قياسه مباشرة من خلال الطاقة 186 keV لفوتونات أشعة جاما في النماذج ذات التركيز المنخفض لليورانيوم. وفي حالة وجود تداخل من U^{235} ذات الطاقة 186 keV فان Ra^{226} يمكن قياسه من خلال وليدته Pb^{214} أو Bi^{226} عندما يكونان في حالة توازن إشعاعي يتم التوصل إليه نتيجة لمعدل نفوذ قليل أو احتواء Rn^{222} داخل وعاء لا ينفذ الغازات.

إن قياس تركيز Pb^{210} يتطلب تصحيح القراءات نتيجة للامتصاص الداخلي لفوتونات أشعة جاما ذات الطاقة المنخفضة في نسيج النموذج، التصحيح للامتصاص الداخلي يستند إلى قياسات النفوذ الناتجة عن مصدر Pb^{210} استخدام حاويات اسطوانية لقياس النماذج يهيئ مثل هذه القياسات.

جدول ٨-٢ ملخص لقياسات طيف أشعة جاما للمواد الصلبة الحاوية

NORM والناتجة عن صناعة النفط أو الغاز

النويده المراد قياسها	النويده المستخدمة للتحليل	الملاحظات
Ra-226	Ra-226 ذات الطاقة 186 keV	إذا لم يكن هناك تداخل من U-235
Ra-226	Ra -214 ذات الطاقة 352 keV	إذا لم يكن هناك تداخل من U-235
Pb-210	Pb-210 ذات الطاقة 46.5 keV	تحتاج إلى تصميم للامتصاص

الداخلي للإشعاع	keV)	
	Ac-225 ذات الطاقة (911 keV)	R-228
تحتاج إلى تصميم للانحلال وتقرع السلسلة chain branching	Th208 ذات الطاقة (583 keV)	Th-228

يجب تعيير المنظومة لغرض قياس كفاءة العد باستخدام نفس الشكل الهندسي للعد واستخدام مصادر عياريه من الوكالة الدولية للطاقة الذرية الموسومة-IAEA (IAEA-RGTH-1 و RGU-1).

قياس النشاط الإشعاعي لـ Po^{210} يتطلب إجراءات أخرى للقياس تحتاج إلى زمن أطول، هذه الإجراءات تتضمن إذابة تامة لنسيج النموذج ثم فصل كيميائي والقياس باستخدام منظومة طيف جسيمات الفا وفي حالة التوازن الإشعاعي بين Pb^{210} و Po^{210} في الإدخال والترسبات العملية يمكن قياس Po^{216} من خلال تحليل طيف جاما للنظير Pb^{216} مثل هذه التوازن لا يحصل للغاز الطبيعي المتكاثف.

ولقياس النظائر الطبيعية المشعة في الماء المنتج فان التوازن الإشعاعي بين Pb^{210} و Po^{210} لا يكون ضرورياً. وعند نشاط إشعاعي اكبر من 10 بيكرل/لتر فان النموذج السائل والحاوي على Ra^{226} و Ra^{228} يمكن قياسه بدون تركيز النموذج على افتراض أن منظومة القياس معبرة جيداً وتأخذ بنظر الاعتبار ما يلي:
أ- تعيين Ra^{226} على أساس معدل العدات لفوتونات جاما لوليدتها Pb^{214} و Bi^{214} عملية غير دقيقة وذلك لنفوذ غاز الرادون Ra^{222} من الماء أو من وعاء نموذج القياس.

ب- إن عدم الدقة في قياس Pb^{214} أو Bi^{214} يمكن تجنبه باستخدام مصدر عياري من احد مصادر الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA-RGU-1) أو مصدر عياري سائل من Ra^{226} في وعاء محكم غير منفذ للغاز.

ت -نتيجة للفرق الكبير لاحتمال انبعاث الفوتونات عند الطاقة 186 keV من Ra^{226} «3.5%» وتلك عند الطاقة 352 keV و 609 keV للفوتونات من Pb^{214} «35%» و Bi^{214} «45%» على التوالي فان قياس Ra^{226} من خلال قياس Ra^{228} سوف يتحسن بمقدار 10 مرات.

ث-قياس Pb^{216} يكون غير دقيق وذلك للامتصاص الذاتي طاقته المنخفضة من قبل نسيج النموذج.

ج- عند قياس الماء المنتج فهناك احتمال أن تترسب المواد الصلبة في السائل إلى قاع الوعاء وقربية من الكاشف فتعطي قراءات لا تمثل السائل أجمعه ويمكن تجنب ذلك بجعل الماء يشكل جلاتيني بإضافة بعض أنواع الصمغ (glue) ولكن نماذج الماء المالحة لا يمكن جعلها جلاتينية.

وعندما يكون النشاط الإشعاعي اقل من 1Bq/L فان القياس المباشر إلى Ra^{226} و Ra^{228} في الماء المنتج يكون غير كافياً. لذلك فتحتمل هذه النماذج إلى التركيز بواسطة التبخير لغرض تركيز العناصر المشعة وزيادة الدقة إلى مستويات مقبولة. ويمكن الحصول على دقة قياس عالية بفصل الراديوم عن طريق إضافة عنصر الباريوم الحامل (carrier) والذي يؤدي إلى ترسب الراديوم والباريوم بشكل كبريتات غير ذائبة، النشاط الإشعاعي لنماذج حجمها بضعة التار يمكن تركيزها إلى كمية قليلة من المواد الصلبة والتي يمكن قياسها بوعاء صغير يكون قريب من الكاشف. وكذلك فان هذه الطريقة تخلف K^{40} في نموذج الماء وبذلك فان الخلفية الإشعاعية للمادة الصلبة المراد قياسها تكون قليلة. هذه الطريقة تستطيع قياس Pb^{216} عند مستوى تلوث اقل من 1Bq/L وذلك بإضافة الرصاص المستقر كحامل ثم يضاف الباريوم الحامل لفصل Pb^{210} و يترسب الرصاص بشكل كبريتات الرصاص غير الذائبة. وتصحيح الامتصاص الذاتي باستخدام مصدر عياري Pb^{210} في قياس الأوحال والمواد الصلبة وكذلك استخدام وعاء اسطواناني مسطح لغرض القياس

ويكون غير منفذ للغازات، ويمكن استخدام نافذة رقيقة لعداد الجرمانيوم النقي من النوع N والمستخدم لقياس الطاقات المنخفضة لأشعة جاما المنبعثة من Pb^{210} في النموذج أو المنبعثة من Pb^{210} المنبعثة من مصدر التغير.

٨-٦ المسح الإشعاعي :

تستخدم في الوقت الحاضر أجهزة كثيرة لغرض المسح الإشعاعي وقياس التلوث الإشعاعي ، ولا توجد مقاييس معينة مخصصة لقياس الإشعاع المؤين في صناعة إنتاج النفط والغاز ، ولا يوجد جهاز منفرد باستطاعته قياس جميع الإشعاعات وبجميع الطاقات . لذلك يجب اختيار الجهاز المناسب من قبل كثير من الأجهزة ويكون كفوء لعدد من التطبيقات وخاصة في محيط قابل للاشتعال مثل المنشآت النفطية. من اهم الخطوات الواجب اتخاذها عن استخدام اجهزة المسح الاشعاعي هي:

- ١ - في المناطق التي يحتمل ان تكون ملوثة يجب وضع العداد داخل غطاء بلاستيكي لحماية من التلوث.
- ٢ - قبل وصل المجس بالعداد يجب اطفاء العداد ، لان المجسات تعمل بفولطيات مختلفة وعندما يسري التيار في العداد فقد يؤدي الى تلف المجس .
- ٣ - يجب ان يكون العداد معيرا في مختبرات التعبير الثانوي المؤهلة سنويا او بعد كل صيانة ويثبت تاريخ انتهاء الصلاحية على ملصق مثبت على العداد ولايجوز استخدام العداد بعد انتهاء الصلاحية ستة اشهر .
- ٤ - التأكد من عمل البطارية عندما يكون مؤشر البطارية ضمن المي الاخضر . ويجب نزع البطاريات من العداد بعد اجراء الفحص .

٥- التأكد من عمل التحذير الصوتي وذلك باستخدام اقل تدريج وتشغيل الجهاز وسماع الصوت . واذ لم يعمل التحذير فيمكن استخدام العداد والملاحظة المستمرة للمؤشر لمراقبة التعرض الإشعاعي .

٦ - قياس الخلفية الإشعاعية او لا حيث يفتح الجهاز في منطقة لا يحتمل احتواءها على مصادر و ملوثات مشعة ونستخدم اقل تدريج فاذا تغيرت عدات العدادات بين ١٠ -مئات العدادات فيعني ان العداد يتحسس بالخلفية الإشعاعية. ناخذ عدة قئات عندما يكون العداد على ارتفاع متر واحد عن سطح الارض

أهم الأجهزة المستخدمة لقياس الإشعاع هي :

١ - قياس معدل الجرعة:

يتم اختيار هذه الأجهزة بحيث تكون ملائمة وكفاءة لقياس التعرض الخارجي بشكل مباشر بحيث أن قراءته تشير إلى معدل مكافئ الجرعة مقاسا بالمايكروسييفرتا ساعة $\mu\text{SV/h}$ وتستخدم هذه الأجهزة لقياس معدل مكافئ الجرعة المتجمعة في المواد المشعة طبيعيا أو حول مخازن المواد المشعة أو أي مادة مشعة . من الضروري ان يستطيع الجهاز قياس جرعة تتراوح بين بضع مئات من السييفرت / ساعة الى ملي سييفرت / ساعة . وفي بعض الحالات وخاصة في حالة الطوارئ الإشعاعية تكون الحاجة إلى جهاز لقراءة معدل الجرعة العالية ويجب أن لا يتعدى مؤشر الجهاز أقصى مدى له .

وفي حالة الجرعة العالية ويكون المؤشر خارج المدى فأن الجهاز لا يتحمل هذه القياسات ويقرأ صفرا وهذا يعطي مؤشرا بعدم وجود إشعاع بالرغم من أن مستويات

الإشعاع كبيرة توجد أجهزة تعمل بمديات مختلفة تبدأ من المايكروسيترات إلى السيفرت . توجد بعض الأجهزة الحساسة جدا ولها قابليه على قياس مديات واطئة جدا من معدل جرع جاما وخاصة في حالة الخلفية الإشعاعية والتي تتراوح في بعض المواقع عند مستوى سطح البحر بين 40 - 60 نانوسيفرت / ساعة ، وكذلك بمقدور هذه الأجهزة قياس النشاط الإشعاعي للطبقات الخارجية من البئر والتي قد تكون ملوثة من المصادر الإشعاعية المستخدمة في سبر الآبار. هذه الأجهزة تستخدم لقياس الجرع الإشعاعية الناتجة عن الترسبات الصلبة للمواد المشعة الطبيعية داخل الأنابيب عند وضع الأجهزة فوق الأنبوب من الخارج .

التلوث الداخلي الناتج عن ^{210}pb ووليداته لا يمكن لأجهزة قياس معدل الجرعة التحسس بها لان طاقة أشعة جاما و جسيمات الفا وبيتا ذات طاقة واطئة بالإضافة الى ان المعدن الذي تترسب عليه هذه النظائر يعتبر درع دافي .

تتوفر في الوقت الحاضر كواشف حساسة لقياس معدل الجرع وقياس طيف أشعة جاما المنبعثة من المصدر المشع استنادا إلى الطاقة المنبعثة من المصدر وبذلك يمكننا معرفة نوع النظير المشع .

استجابة الكاشف المشع تعتمد على كفاءة الجهاز للكشف عن الإشعاع عند طاقة معينة . بعض الأجهزة لها كفاءة عند مدى من الطاقات وتتناقص بشكل حاد عند طاقات معينة أو صفراً بالرغم من وجود جرعة من هذه النظائر فمثلا الأجهزة التي تكون دقيقة لقياس طاقة ^{137}Cs قد لا تكون دقيقة لقياس معدل جرعة أشعة جاما المنبعثة من ^{24}Am .

المصدر النيوتروني Am-Be ²⁴¹ تبعث أشعة جاما والنيوترونات ولا يمكن قياس الاشعاعين بجهاز واحد فقط لذلك تحتاج إلى جهازين أحدهما لقياس أشعة جاما وعداد نيوتروني لقياس النيوترونات وجمع القرائين نحصل على معدل الجرعة الكلية ولكن في بعض الحالات وعند وجود كاشف لأشعة جاما فقط يمكن قياس الجرعة الكلية عن جاما والنيوترونات باستخدام النسبة بين كاما والنيوترون (-gamma neutron ratios) للحصول على معدل الجرعة الكلية عند تعرض معلوم .

٢ - قياس الجرعة الشخصية :

قياس التعرض المهني يحتاج إلى قياس الجرعة المتجمعة لفترة من الزمن لذلك تستخدم أجهزة قياس جرعة التعرض الشخصي والتي تعلق فوق الملابس لغرض تسجيل الجرعة الكلية المتجمعة خلال فترة التعرض ، هذه المقاييس تسجل جرعة أشعة جاما أو جرعة النيوترونات أو كليهما من هذه المقاييس الفلم باج ، العداد ألجيبى ، وعداد اقراص الوميض الحراري TLD .

٣ - أجهزة قياس التلوث السطحي :

تتوفر بعض الكواشف التي تقيس التلوث الحاصل من نوع معين من الإشعاع ولها كفاءة قياس عظمى عند مدى من الطاقات ، فمثلا أن الكاشف يستجيب لجسيمات ألفا فقط أو لأشعة جاما أو لجسيمات بيتا وجاما معا . وهذه المعدات تقاس بوحدات العد / ثانية ولكن يفضل نعيرها وتحويل القراءة إلى وحدات معروفة مثل Bq/cm^2 او Bq/ gm .

توجد بعض الصعوبات في قياس التلوث الناتج عن المواد المشعة طبيعيا على سطح الترسبات الصلبة والأحوال الملوثة لعدم توزعها بشكل منتظم . من الصعوبات الأخرى فأن كثير من المواد التي تبعث الإشعاع تختلف في قدرتها على اختراق المادة. أن المواد المشعة طبيعيا NOTM عادة ما تبعث جسيمات ألفا ولكن هذه الجسيمات لا يمكنها الوصول إلى الكاشف بسبب حالة السطح المعرض للفحص .المواد المشعة الطبيعية التي تحتوي على الراديوم فأنها تبعث جسيمات بيتا وأشعة جاما . وبالرغم من أن جسيمات بيتا توهن من قبل المعدات الحامية لها ولكن بعض الأحيان يمكن الكشف عنها باستخدام كواشف حساسة مناسبة . أما أشعة جاما فأنها ذات مدى أكبر داخل المادة ولكن الخليفة الإشعاعية التي تسجلها الأجهزة كبيرة وتقل من دقة القياس. أجهزة التلوث السطحي والتي تحتوي على كواشف لجسيمات بيتا أو ألفا يمكنها قياس طبقة رقيقة من المواد المشعة طبيعيا على السطح ، ولكن المشكلة هو أن معظم عدادات بيتا تكون حساسة لأشعة جاما لذلك فإن وجود هذه الإشعاع وانبعاتها من داخل الأوعية يفسر خطأ على أنه تلوث سطحي. يجب تعيير كواشف بيتا بحيث يمكنها أن تميز جسيمات ألفا والموجودة في المواد المشعة طبيعيا الذي يحتوي على الراديوم أو وليداته .

كواشف التلوث لجسيمات ألفا تكون جيدة لقياس النشاط الإشعاعي للمواد المشعة طبيعيا لأنها لا تستجيب لأشعة جاما لذلك يكون معدل العد للخلفية الإشعاعية قليل جدا ، ولكن هذه الكواشف عرضة للتلف الميكانيكي ولا يمكن الاعتماد عليها لقياس

التلوث والتي تمتص الإشعاع وكذلك فإن المواد الرطبة تحتوي على البخار الذي يمتص بعض الإشعاع .

إما كواشف التلوث لجسيمات بيتا فيمكنها الكشف عن الترسبات المشعة الصلبة عند أمكانية وصول الكاشف إلى السطح الداخلي للأوعية . وذلك لأن هذه الجسيمات ليس لديها القدرة على اختراق جدران الأنابيب والأوعية الحديدية ، فإذا تم الكشف عن التلوث خارج الوعاء فهذا يعني أن التلوث موجود على السطح الخارجي للجسم الذي يفحص ، هذه القياسات غير دقيقة لقياس التلوث السطحي وذلك لامتناس جسيمات ألفا في نسيج المادة التي تحتوي المواد المشعة ، ولكن في أفضل الحالات فإن قياس جسيمات ألفا يعطي مؤشر جيد للحاجة إلى اتخاذ تدابير لوقاية العاملين من الإشعاع في تلك المناطق. توجد كواشف خاصة لجسيمات بيتا في المواد المشعة طبيعيا عن طريق إدخال الكاشف (Probe) إلى داخل الأنبوب أو الأوعية ويوضع العداد في الخارج. إما كواشف معدل الجرعة لأشعة جاما أو كواشف التلوث يمكن استخدامها للكشف عن تجميع المواد المشعة طبيعيا NORM في المنشأة والمعدات

٤ - كشف التلوث الإشعاعي للمواد العالقة في الهواء :

تستخدم أجهزة لقياس التلوث في الهواء نتيجة لانتشاره في الجو أو نتيجة لإعادة تعلقه في الهواء من السطوح الملوثة ،تقوم هذه الاجهزة بسحب المواد بمعدل ثابت من خلال مرشح لغرض الكشف عن عوالمق الهواء الباعثة لجسيمات ألفا ، بعض الكواشف لها القدرة على الكشف عن المواد المشعة على المرشح وإعطاء تحذير صوتي في حالة تعدي التلوث قيمة معينة.

٨ - ٧ أنواع الكشف الإشعاعي :

توجد أنواع كثيرة من كواشف الإشعاع والتي تستخدم في عمليات الإنتاج، نقل المواد وحركتها وخرن المواد المشعة أو التخلص منها. وتوجد ثلاث أنواع من المسح الإشعاعي هي :

أ - مسح المهمات (Task monitoring) :

العاملون اللذين يستخدمون المصادر المشعة بشكل يومي أو اللذين يعملون مع مصادر المواد المشعة الطبيعية NORM يحتاجون إلى هذا النوع من المسح الإشعاعي . لذلك من الضروري وجود عاملين مدربين جيدا لاستخدام كواشف الإشعاع وتفسير القياسات التي يحصلون عليها وخاصة في العمليات التي يحتمل وجود مخاطر فيها ومن الأمثلة على ذلك :

١ - فحص العاملين مع المواد المشعة طبيعيا (NORM) لاحتمال تلوث ملابسهم قبل مغادرتهم المنطقة التي يتم فيها إزالة التلوث الإشعاعي .

٢ - قياس مستوى غاز الرادون في نقاط خروج السوائل أو الغازات .

(ب) المسح الإشعاعي / روتيني (Routine monitoring) :

يقوم ضابط الوقاية الإشعاعية في الموقع بالمسح الإشعاعي لمواقع العمل التي يحتمل أن تصدر إشعاعات بشكل منتظم ، هذه القياسات تكون مهمة لتحديد منطقتي السيطرة والإشراف من خلال قياس معدل الجرعة الخارجية والداخلية هذه القياسات تحفظ في سجلات فترة من الزمن .

لتوضيح حالة العمل من الناحية الإشعاعية ومن الأمثلة على هذه المسح :

١- ضابط الوقاية الإشعاعية (RPO) المسؤول في المنشآت التي تتراكم فيها المواد المشعة الطبيعية (NORM) يقوم بقياس معدل جرعة التعرض الخارجي عند المناطق التي تتجمع فيها هذه المواد ، ويحدد مناطق العمل والأشخاص المخولين بالدخول إلى هذه المناطق .

٢- في حالة إزالة التلوث الإشعاعي يقوم ضابط الوقاية بقياس تلوث السطوح وتلوث عوالمق الهواء في منطقة محددة .

(ج) المسح الخاص (Special monitoring) :

المسح الخاص يقوم به خبير مؤهل له القدرة على استخدام أجهزة متطورة للقياس وتحليل القياسات المعقدة وإمكانية حساب هذه النتائج للوصول إلى قرار صائب. يحفظ تقرير عن القياس توضق فيها القياسات ، التوصيات ، والقرار ، المسح الخاص يمكن أن يقوم به المفتشين المنتدبين من السلطة الرقابية أثناء تفتيشهم عن أساليب الوقاية الإشعاعية .

المصادر

محمد سعيد المصري المواد المشعة الطبيعية في صناعة النفط والغاز

Al-Masri, M. S., Ali, A. F., Kito, M. and Kawash, A., *Determination of Naturally Occurring Radionuclides in Scales Produced in Oil Industry*, AECS-PR\RSS 186, April, 1997.

Atomic Energy Commission of Syria (AECS), *Evaluation of Radiation Levels at Various Oil Fields Locations in Der Ezzor Area*, Technical Reports, July 1997.