الباب الأول

1-1 مقدمة

تطورت الحياة على الأرض بوجود دائم للخلفية الأشعاعية وهذا ليس شيئا جديداً أخترعه ذكاء الإنسان و الإشعاع هو طاقة تتحرك خلال الفضاء وتعتبر أشعة الشمس أحد أكثر الأشكال المشهورة للإشعاع فهي تحرر الضوء والحرارة و نستطيع أن نتحكم بتأثيرها علينا بوسائل متعددة مثال المظلات والمكيفات والنظارات والحقيقة أن الحياة على الأرض تتطلب وجود ضوء الشمس ولكننا أدركنا أن سقوط كمية كبيرة من هذه الأشعة على الأفراد تقود الي أضرار وقد يكون هذا الضرر خطيراً لذلك يجب التحكم في كمية التعرض .إن استخدامات الإشعاع الذري لم تزل في أتساع مستطرد منذ اكتشافه قبل حوالي قرن من الزمان أو لا يزال الناس بين مؤيد للاستفادة منه دون وعي بمخاطره القريبة والبعيدة ودون احتراز منه أو رفض له جملة وتفصيلاً لارتباطه في أذهانهم بالهلاك والدمار الذي أحدثته القنبلتان اللتان ألقاهما الأمريكان في مدينتي هيروشيما وناجازاتي اليابانيتين في أواخر الحرب العالمية الثانية.

وبين هؤلاء وأؤلئك فريق ثالث يرى أن التقانة النووية مثلها مثل غيرها من ثمار التقدم العلمي والتقني الحديث لها محاسن ومساوي فإذا استغلت استغلال صحيح ومع الوعي بالمخاطر وطرق الوقاية منها فلذلك قمنا بستخدام المنهج الوصفي لعرض بعض مايعين علي فهم إستخدمات الإشعاع الأمثل مع أخذ الإحتياطات لتجنب الأخطار وسوف نقوم بعرض مايتعلق بالإشعاع بصورة متسلسلة في فصول هذا البحث .

1-2 مشكلة البحث :-

لقلة المعلومات أو الدراسات المتعلقة بالتعريف بالإشعاع وا ٍستخداماته في مجتمعاتنا لذلك كان لابد من ان نفرد في هذا البحث المعلومات التي توضح التطيقات المهمة للإشعاع الذري والوسائل المستخدمة للحماية من التاثيرات السالبة للتعرض لتلك الأشعة .

1-3 أهداف البحث :-

يهدف البحث الي التعريف بالإشعاع الذري والفوائد الناتجة من إستخدام الإشعاع في المجال الزراعي والصناعي والطبي والوقاية من الأشعاعات والتعرض لها بجرعات عتبيه

1-4 أهمية البحث :-

نسبة لحوجة العالم المتزايدة لاستخدام أجهزة وتقانات في شتي المجالات لذلك كان إستخدام الإشعاع واحد من اهم الإستخدامات في مجالات عديدة لذلك كان لابد من البحث عن الإشعاع الذري وتقديم للقارئ في مجتمعاتنا وفي التعاليم العالي بصورة اخص عن إستخدامات الإشعاع بوصرة عامة وتوضيح المعايير الأمنية في إستخدامات الإشعاع بصورة أمنه تجلب لنا فوائد عديدة عن الضرر

1-5 منهجية البحث :-

أستخدمنا في البحث المنهج الوصفي للكتابة الحقائق والمعلومات المتعلقة بمادة البحث من المراجع والمجلات العلمية والنشرات الدورية لهئية الطاقة الذرية والأوراق العلمية .

1-6 محتويات البحث :-

يحتوي البحث علي اربعة ابواب تحدثنا في الفصل الأول عن المقدمة ومشكلة البحث وأهميته وفي الفصل الثاني تحدثنا عن مصادر الإشعاع وفي الفصل الثالث الكواشف الإشعاعية والكشف عن الإشعاعات المختلفة وفي الفصل الرابع والأخير استخدامات الإشعاع والوقاية منة والخاتمة والتوصيات .

الفصل الثاني

مصادر الإشعاع

2-1 مقدمة :-

الإشعاعات هي طاقة فى شكل موجات أو جسيمات صغيرة من مادة ما ، وله أشكال عديده , مثل أشعة الشمس , وأشعة الضوء , والأشعة السينية , وأشعة جاما ,و الشعاع الصادر من المفاعلات النووية , والضوء فى حد ذاته إشعاع يطلقه الإلكترون المرتبط فى ذرة ليفرق بين الإشعاع على أساس مكوناته , وفعالياته تتكون الموجات الكهرومغنطيسية من فوتونات وتنتمى إليه الأشعة السينية والأشعة فوق البنفسجية , والأشعة تحت الحمراء ذات طول الموجة الطويل , تسمى موجات ومنها موجات الراديو , موجات الرادار , والميكروويف.

هنالك الشعاع القادم من أعماق الكون مثل الأشعة الشمسية والأشعة الكونية , كما تعرف الإشعاعات الصادرة من النشاط الإشعاعي لبعض المواد . كما تتميز بعض المناطق الجيولوجية بأفرازها للإشعاع وهذه تسمى إشعاعات أرضية وهى ناشئة عن وجود بعض المواد المشعة فى صخور تلك الأراضى .

وهنالك نوع أخر من الإشعاع يسمى إشعاع جسيمات ألفا وبيتا ومنها ما هو نوع من الموجات الكهرومغنطيسية مثل أشعة جاما , وعندما تكون طاقة الأشعة عالية بحيث نستطيع أن نؤين الوسط الذي تم فيه . أي نستطيع فصل الإلكترونات عن ذراتها أو جزيئاتها .

الإشعاعات أيضاً عبارة عن طاقة أو جسيمات نشطة تتطلب من بعض الأجسام الموجوده فى الطبيعة حيث تنطلق من الأجسام المشعة فى صورة كبيرة وبعضها لها القدره على تأين المادة .

2-2 إكتشاف ظاهرة الإشعاع النووي والمواد المشعة

بعد أن قدم راذرفورد تجربته الشهيرة لدراسة تأثير دقائق ألفا على صفائح المعادن، كان من أهم الاستنتاجات التي وضعها هي: أن الجسيمات موجبة الشحنة تتجمع في جزء صغير من الذرة وهو النواة، وفيها أيضا تتجمع كتلة الذرة أي أن تجربته وضعت التصور الأول للنموذج النوو ي لتركيب الذرة، حيث كانت هذه التجربة خطوة مهمة في تطوير هذا العلم.

جدول (2-1): مقارنة بين كمية الطاقة المتحررة من التفاعلات النووية والتفاعلات الكيميائية.

التفاعل	المعادلة	نوعه	كمية الطاقة المتحررة (eV/molecule)
احتراق الكربون	$C_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)}$	كيميائي	**4.1**
انفجار مادة TNT[1]	$C_7H_5(NO_2)_3 \rightarrow$ explosion products	كيميائي	**9.2**
انحلال بيتا لـ Co	$^{60}Co \rightarrow Ni + \beta +$ energy	نووي	**$2.5x10^6$**
الإنشطار النووي	$^{235}U + {}^1n \longrightarrow$ fission products+ energy	نووي	**$200x10^6$**

اكتشف العالم الفرنسي هنري بيكريل H. Becquerel عام 1895م أن أملاح اليورانيوم تبعث إشعاعات تؤثر على الألواح الفوتوغرافية المغلفة، وقد ظن في البداية أنها هي نفسها الإشعاعات التي اكتشفها العالم الألماني روتنجن Rotingen والتي سميت الشعة السينية x-rays ولكنه لاحظ أن

الإشعاعات التي تنطلق من أملاح اليورانيوم ذات قدرة عالية على الاختراق (تفوق قدرة الأشعة السينية) وأن هذه الظاهرة تحدث تلقائيا دون وجود مثير أو مستحث (مؤثر) خارجي مثل: (ضوء الشمس مثلا)، كما أكد أن اشعاعات مشابهة تصدر من جميع املاح اليورانيوم بغض النظر عن التركيب الكيميائي للملح وأن مركبات الثوريوم تعطي ظاهرة مشابهة.

وفي عام 1889م بدأ الزوجان بيير وماري كوري Pierre and Marie Curie أبحاثهما في هذا المجال، والتي مبنية على أساس ملاحظة أن بعض الخامات الطبيعية لليورانيوم (مثل البتشبلند) لها خواص إشعاعية أقوى من اليورانيوم النقي نفسه. وقد استنتجا من هذه الحقيقة أن هذه الخامات ربما تحتوي على عناصر أخرى غير اليورانيوم لها خاصية الإشعاع. حيث عملا جهود مضنية لإستخلاص الكمبات الضئيلة الموجودة في خام البتشبلند من عنصري البولونيوم Po_{84} والراديوم Ra_{88} وهما عنصران ذوي قدرة كبيرة على الإشعاع تفوق قدرة اليورانيوم، ومن هنا كانت الخاصية إلشعاعية القوية للبتشبلند وهي خامة سوداء اللون تحتوي على أكسيد اليورانيوم U_3O_8 بنسبة 75%.

وفي الأعوام التي تلت عام 1909م، قدم راذرفورد E. Rutherford مساهمات مهمة في هذا المجال حين استخدم الطرق الطيفية لتعيين طبيعة الجسيمات ألفا وأكد أنها عبارة عن أنبوبة الهيليوم وأن جسيمات بيتا تتصرف على نحو مماثل لجسيمات أشعة المهبط التي عرفها طومسون Tohmson بأنها عبارة عن إلكترونات أو جسيمات تحمل شحنة سالبة في الذرات، والتي تتشابه في طبيعتها في جميع الذ رات.

وبين العامين 1911م و 1913م قدم العلمان فاجان وسودي K. Fajan and F. Soody أوراقهما البحثية الخاصة بدراسة عمليات الإنحلال الإشعاعي لعنصري اليورانيوم والثوريوم حيث أوضحا فيها أن عملية الانحلال تتضمن تحولا في النواة يؤدي إلى تكوين عنصر جديد من العنصر المنحل وأن الانحلال بفقد جسيمات ألفا يؤدي إلى تناقص في العدد الذري بمقدار وحدتين، بينما يؤدي انحلال بيتا إلى زيادة

في العدد الذري بمقدار وحدة واحدة وقد شهد العام 1932م حدثا مهما تمثل في اكتشاف جادويك J. Chadwick لوجود النيوترون الذي انطلق من نواة البريليوم بعد قذفها بجسيمات ألفا ذات الطاقة العالية جدا، في تفاعل من النوع:

$$^{9}Be(\alpha, n)^{12}C$$

وكان لاكتشاف النيترون دور هام في تطوير امكانيات اجراء تفاعلات نووية عديدة، لأنه جسيم غير مشحون وهو قادر على اختراق النواة دون الحاجة لاكسابه طاقة عالية، وقد ساهمت هذه التفاعلات النووية في فهم الكثير عن طبيعة التركيب النووي.

وفي العام 1934م أوضحت أيرين كيوري (إبنة بيير وماري كيوري) من خلال عملها المشترك مع زوجها فريدريك كيوري I. and F. J. Curie أن قذف البورون والألومنيوم بأشعة ألفا سوف يؤدي إلى ظهور خواص إشعاعية لهما. وكان هذا كشفا هاما لإمكانية تحويل النواة لتصبح مشعة بشكل صناعي كما نتج عن تجاربهما اكتشاف جسيم البوزترون positron : وهو جسيم له خصائص تشبه خصائص الإلكترون ولكن بشحنة موجبة. وكان قد تم اكتشاف البوزترون قبل ذلك كأحد مكونات الإشعاع الكوني[2].

يمكن تعريف الإشعاع وهوعبارة عن إنبعاث وا نتشار للطاقة خلال الفضاء أو الوسط المحيط.

ينقسم الإشعاع إلى نوعين إثنين:

1- الإشعاع الجسيمي هو عبارة عن الإشعاع الذي تنتقل الطاقة فيه بواسطة الجسيمات الذرية.

2- الإشعاع الموجي هو عبارة عن الإشعاع الذي تنتقل الطاقة فيه عن طريق تردد الموجات الكهرومغناطيسية.

الإشعاع النووي هو عبارة عن إشعاع جسيمي أو موجي ينتج أثناء الإنحلال التلقائي للنواة غير المستقرة.

وهناك **ثلاثة أنواع للإنحلال الإشعاعي** (الإشعاع النووي) هي:

أ. من خصائص أشعة ألفا ما يلي:

***** هي نواة ذرة الهيليوم كتلتها تساوي 4 وحدة كتلة ذرية ($a.m.u.$) وهي تحتوي على 2 بروتون و 2 نيوترون وتحمل شحنة تساوي 2+ .

* تسير ببطء (سرعتها تساوي عشر(10/1) سرعة الضوء).

* لها قدرة كبيرة على تأيين ذرات الوسط الذي تسير فيه (حيث يمكنها تكوين عشرات الألوف من الأيونات في السنتيمتر الواحد).

* مدى أشعة ألفا في الهواء قصير يصل إلى بضع سنتيمترات (من 3-5 سم).

* يمكن إيقاف أشعة ألفا بواسطة ورقة أو رقائق الومينيوم سمكها 1000/1 من البوصة.

* أثناء مرور دقائق ألفا بالمادة فإنها تحدث تصادمات غير مرنة مع إلكترونات جزيئات المادة مسببة الإثارة والتأين لذرات تلك المادة.

* تأخذ دقائق ألفا مسارا مستقيما وتفقد جزء قليل من طاقتها بفعل تلك التصادمات.

* جميع دقائق ألفا لها نفس المدى من الطاقة وتتراوح طاقتها بين 4-9 مليون إلكترون فولت وذلك لأن دقائق ألفا الصادرة من العنصر الواحد لها نفس الطاقة.

ب. أشعة بيتا Beta ray β من خصائصها ما يلي:

* هي عبارة عن الكترون ذو شحنة سالبة ينبعث من النواة غير المستقرة نتيجة لتحول النيوترونات إلى بروتونات.

* تسيربسرعة تساوي تقريبا سرعة الضوء.

* تنبعث دقائق بيتا بطاقات مختلفة تأخذ قيما تتراوح بين الصفر إلى أعلى قيمة لها وتعتبر سرعتها صفة خاصة للعنصر المشع.

* تفقد دقائق بيتا معظم طاقتها عند مرورها من خلال المادة نتيجة التصادمات غير المرنة من إلكترونات تلك المادة، ونتيجة لذلك يكون مسار دقائق بيتا أكبر بكثير من مدى (مسار) إختراق دقائق ألفا لهذه المادة.

* يختلف مدى أشعة بيتا في الهواء حسب طاقتها، حيث يبدأ من بضعة سنتيمترات إلى متر تقريبا.

* يمكن إيقاف أشعة بيتا تماما بواسطة ورق سميك أو لوح من الزجاج أو من المعدن.

* يعتمد إمتصاص أشعة بيتا على طاقتها.

* لها قدرة على تأيين الهواء ولكنها أقل بكثير من قدرة أشعة (جسيمات) ألفا على تأيين الهواء وذلك لصغر وزنها الذي يتراوح (1/1838 a.m.u.) من ذرة الهيدروجين وشحنتها تساوي الوحدة.

ج. أشعة جاما Gamma ray γ من خصائصها ما يلي:

* هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات أصل نووي تشبه أشعة الضوء المرئي وموجات الراديو والأشعة السينية.

* طولها الموجي قصير جدا يتراوح (من 0.0003 إلى 0.03 نانوميتر) وهو يعادل وحدة الطاقة (من 40 Kev كيلو الكترون فولت إلى 4.0Mev مليون الكترون فولت).

* تنبعث أشعة جاما من المادة المشعة بشكل إشعاع أحادي الطاقة أو عدد قليل من طاقات منفردة مثل نظير ^{60}Co حيث يعطي نوعين من أشعة (طاقة) جاما γ وهي ذات الطاقة 1.332 و 1.173 مليون الكترون فولت.

* تفقد أشعة جاما معظم طاقتها خلال تداخل واحد مع المادة على عكس أشعة ألفا وبيتا اللتان تفقدان طاقتهما بصورة تدريجية.

* يمتص جزء من أشعة جاما الساقطة على المادة المحيطة إمتصاصا كاملا، أما الجزء العابر غير الممتص فيحتفظ بطاقته الابتدائية كاملة

3-2 العناصر المشعة

يعرف العنصر المشع بأنه عنصر يحتوي على نواة غير مستقرة تضمحل بإنبعاث جسيمات نووية (ألفا – بيتا – جاما) لتصل إلى حالة الإستقرار.

يوجد نوعان من العناصر المشعة:

أ-عناصر مشعة طبيعية: وهي التي توجد في الطبيعة.

ب-عناصر مشعة صناعية: وهي التي تصنع بواسطة قذف العناصر الثابتة بواسطة إحدى القواذف ألفا أو البروتون أو النيوترون.

وتنقسم العناصر المشعة الطبيعية إلى قسمين تبعا لمصدرهما إلى:

1- عناصر مشعة طبيعية كونية:

تتكون هذه العناصر نتيجة لتفاعل الأشعة الكونية (الأشعة الناتجة من الكواكب والشمس) بالمواد الموجودة في الفضاء، وينتج عن ذلك مواد مشعة مثل: ^{35}S ,^{32}P, ^{22}Na, ^{7}Be, ^{14}C, ^{3}H ومعظمها من العناصر الخفيفة، وتنتشر هذه العناصر على سطح الأرض. و**من الأمثلة على هذه التفاعلات:**

$$^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{2}_{1}H + \beta^{+} + \gamma \rightarrow \quad (1.2)$$

$$^{2}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + \gamma \rightarrow \quad (2.2)$$

$$+ {}^{3}_{2}He \rightarrow {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{1}_{1}H \rightarrow \quad (3.2)$$

$$^{4}_{2}He + {}^{3}_{2}He \rightarrow {}^{6}_{4}Li + n \rightarrow \quad (4.2)$$

$$^{1}_{1}H + {}^{6}_{4}Li \rightarrow {}^{7}_{5}Be + \gamma \rightarrow \quad (5.2)$$

$$^{7}_{5}Be + e^{-} \rightarrow {}^{7}_{4}Li + \gamma \rightarrow \quad (6.2)$$

$$3\,{}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C + \gamma \rightarrow \quad (6.2)$$

$$^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{16}_{8}O + \gamma \rightarrow \quad (7.2)$$

$$^{16}_{8}O + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{20}_{10}Ne + \gamma \rightarrow \quad (8.2)$$

$$^{20}_{10}Ne + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + \gamma \rightarrow \quad (9.2)$$

$$^{24}_{12}Mg + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{28}_{14}Si + \gamma \rightarrow \quad (10.2)$$

من التفاعلات السابقة نستنتج أن العناصر الخفيفة ذات الوزن الذري يقبل القسمة على أربعة تكون متوفرة في الطبيعة

2- عناصر مشعة طبيعية أرضية:

توجد هذه العناصر في القشرة الأرضية وتشمل كل المواد التي تحمل عدد ذري أكبر من 83، وتنتمي هذه المواد إلى السلاسل طويلة العمر ومن أهم هذه السلاسل سلسلة اليورانيوم 238 وسلسلة الثوريوم 232، بالإضافة إلى البوتاسيوم 40 الذي يوجد في القشرة الأرضيةبنسبة 0.0117% من البوتاسيوم المستقر ^{39}K . وحيث أن جسم الإنسان يحتوي على نسبة كبيرة من البوتاسيوم المستقر ^{39}K تساوي تقريبا 2.5 كجم فإن عنصر ^{40}K يوجد في جسم الإنسان والحيوان والنبات، وله أهمية كبيرة في تشغيل بعض أجهزة جسم الإنسان مثل القلب، فيعتبر ^{40}K البطارية التي تقوم بتشغيل القلب.

3- العناصر المشعة المصنعة:

لقد تم في السنوات القليلة الماضية صنع مئات العناصر المشعة وذلك بواسطة قذف عناصر غير مشعة بواسطة قذائف مختلفة مثل: النيوترون أو البروتون لتتحول إلى عنصر مشع يستخدم في أغراض مختلفة مثل الطب والصناعة والزراعة وفي الحروب. ومن أمثلة ذلك عناصر تستخدم في الطب مثل:

^{67}Ga, ^{201}Th, ^{123}I, ^{111}In, ^{81}Ru, ^{15}N, ^{18}F, ^{134}Cs, ^{95}Te

الجاليوم-67 ، الثاليوم-201 ، اليود-123 ، الإنديوم-111 ، الروبيديوم-81 ، النيتروجين-15 ، الفلور-18 ، السيزيوم-134 .

ومن أمثلة العناصر التي تستخدم في الصناعة:

لمعرفة المستوى ^{134}Cs , ^{60}Co وفي التصوير ^{124}Sb ، وفي أبحاث الأدوية ^{14}C , ^{3}H وفي إختبار اللحامات (الإختبارات اللا إتلافية) ^{192}Ir [3].

4-2 أنواع الإشعاعات:

يوجد نوعان أساسيان للإشعاع هما:

أ - إشعاع مؤين Ionizing Radiation

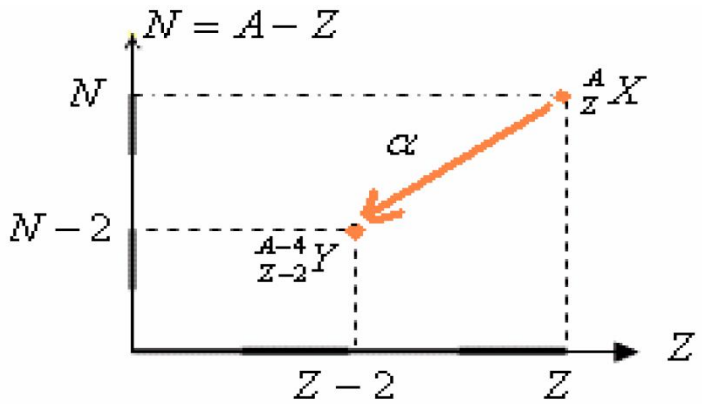
سمي بذلك لان هذا النوع من الإشعاع له القدرة على تايين الذرات التي يمر خلالها مثل الإشعاعات الكهرومغناطيسية (أشعة اكس وأشعة كاما والاشعه الكونيه) واشعاعات جسيمية مثل (جسيمات بيتا والفا والنيوترونات والبروتونات.)

الإشعاع المؤين ينقسم إلى:

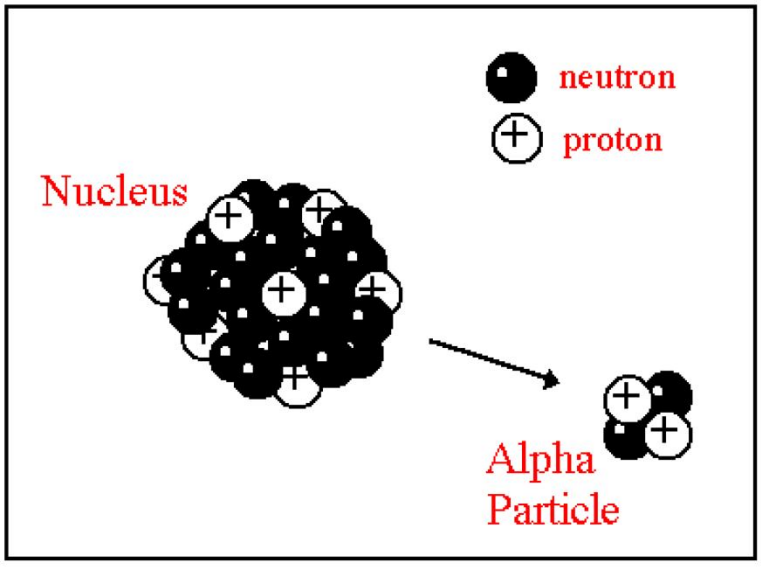
1- **جسيمات (دقائق) ألفا:**

عند انبعاثها من نواة عنصر مشع فان العدد الكتلي للعنصر المشع ينقص بأربعة وينقص عدده الذري باثنين. والمعادلة أدناه تبين تحلل أو تفكك إلفا. كما في الشكل (2-1)

$$Alpha\ decay \qquad {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$



شكل (2-1) يوضح تفكك جسيمات الفا

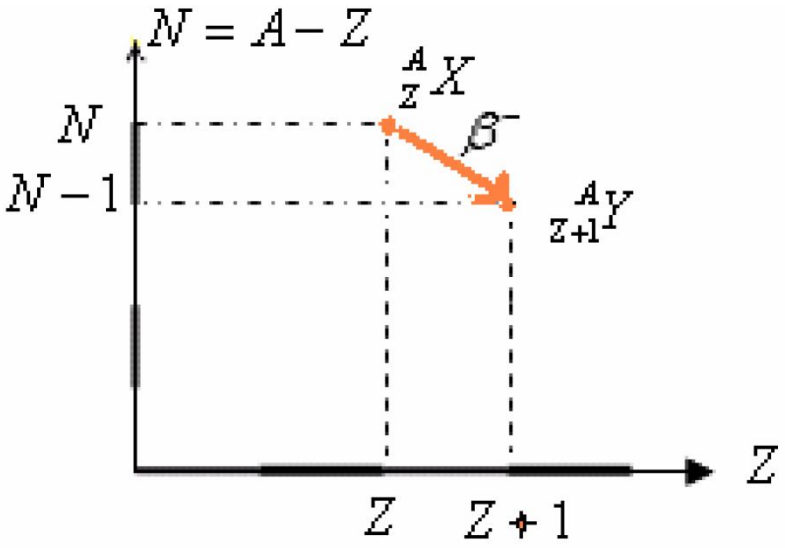


شكل (2-2) يوضح تفكك جسيمات الفا

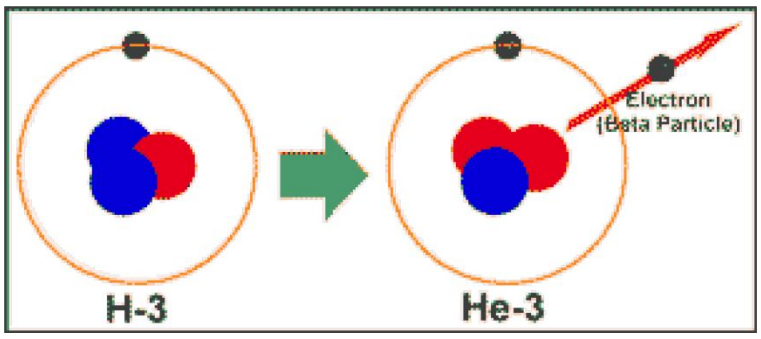
2. جسيمات (دقائق) بيتا:

عندما تنبعث جسيمات بيتا من نواة عنصر مشع فان العدد الكتلي لا يتغير ولكن عدده الذري يزداد بواحد مع انبعاث إلكترون (جسيمة بيتا) كما في المعادلة أدناه ويوضح ذلك الشكل التالي

Beta decay (e^-) $\quad {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu}$



شكل (2-3) يوضح إنبعاث جسيمات بيتا



شكل (2-4) يوضح تفكك جسيمات بيتا

3- أشعة غاما Gamma Rays

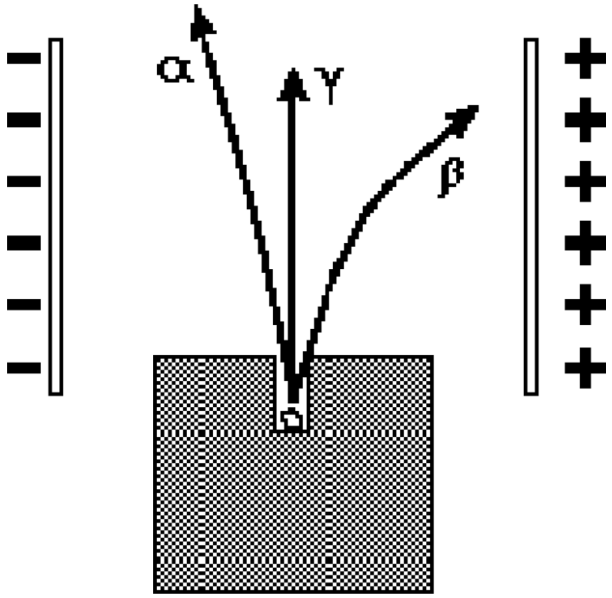
تتميز أشعة كاما بالاتي:-

1. إن طاقة أشعة غاما تكون عاليه وبذلك فان قابلية اختراقها للمادة تكون كبيره حيث تزيد على عده سنتمترات لمادة الرصاص.
2. إن أشعة غاما تؤين الغاز الذي تمر خلاله بصوره ضعيفة.
3. لا تتأثر بوجود المجال المغناطيسي وهذا يدل على أنها موجات كهرومغناطيسية.
4. لا يصحب انبعاث أشعة غاما أي تتغير في عدد ألكتله أو العدد الذري وبالتالي لا يتغير العنصر ولكنها تنتج عندما تكون النواة في حالة أثار ه أي تملك من الطاقة أكثر من الحد الطبيعي لها وحيث ان هناك اتجاه لأي جسيم كان يكون في اقل مستوى من الطاقة فان النواة المثارة تعطي الطاقة الزائدة على شكل موجات كهرومغناطيسية تسمى أشعة كاما.
5. تعد أشعة غاما من اخطر أنواع الإشعاعات ولها قوة اختراق عاليه جدا، اكبر بكثير من جسيمات ألفا وبيتا ويمكن إيقاف سريانها بواسطة حاجز من الكونكريت (الخرسانة المسلحة) وتقع أشعة اكس من ضمن تقسيمات أشعة كاما ولكنها اقل قدره على الاختراق من أشعة كاما. والمعادلة الآتية توضح تفكك أشعة كاما.

Gamma Decay $\quad {}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$

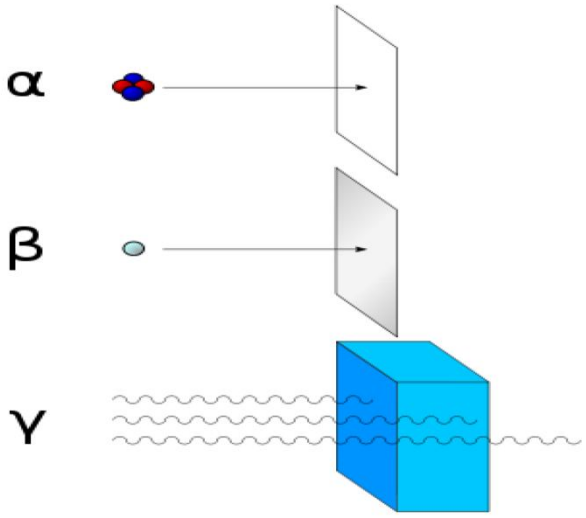
والجدول(2-2) الأتي يوضح قوة التأين النسبية وقوة النفاذية النسبية للإشعاعات النووية.

الإشعاعات النووية	قوة التأين النسبية	قوة النفاذية النسبية
جسيمات ألفا	10000	**1**
جسيمات بيتا	100	**100**
أشعة كاما	1	**10000**

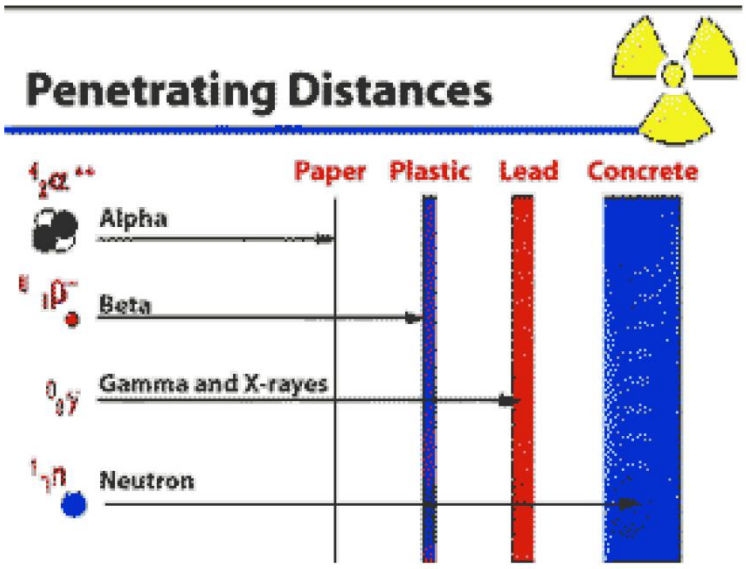


والشكل (2-5)أعلاه يبين قابلية اختراق الإشعاعات النووية للمجال المغنطيسي

جسيمات ألفا أوقفت بصفيحه ورقيه بينما جسيمات بيتا أوقفت بصفيحه من الرصاص سمكها $\frac{1}{16}$ أنج ، بينما أشعة كاما- تستطيع النفاذ خلال عدة انجات من الرصاص



شكل(2-6) يوضح قابلية اختراق الأشعة النووية لحاجز من الرصاص.



شكل (2-7) يوضح قابلية اختراق الإشعاعات النووية.

4. النيوترونات

هي الجسيمات الوحيدة غير المشحونة التي لها أهميه وهي نوع مهم للإشعاع المؤين لعلاقتها بالقنابل الذرية و المفاعلات النووية. والنيوترون عبارة عن جسيم ذي كتله $1{,}67 \times 10^{-34} gm$ ومتشابهه لكتلة البروتون، ولكنه لا يحمل أية شحنه كهربائية ولأنه متعادل كهربائياً فانه يخترق بعمق للمواد من جميع الأنواع ومن ضمنها الانسجه الحية، أن النيوترونات تشكل إحدى الجسيمات الاساسيه التي تبنى منها نوى

كل الذرات وهي تنبعث كناتج جانبي عندما تعاني الذرات الثقيلة المشعة- كاليورانيوم-انشطارا(أي تنغلق لتكوين ذرتين صغيرتين) وقد تنتج- ايضاً صناعيا بواسطة المعجلات الضخمة في مختبرات بحوث الفيزياء.

5- البروتونات:

هي جسيمات موجبة الشحنة وتوجد في نوى جميع الذرات وكتلة البروتون مساوية لكتلة النيوترون تقريبا، وعادة لا تنبعث من النظائر المشعة على الأرض ولكنها توجد بغزاره هائلة في الف ضاء الخارجي وتشكل خطرا على رواد الفضاء.

6- الاشعه الكونية (Cosmic Rays):

المصدر الرئيسي لهذه الاشعه ناتج عن الحوادث ألنجميه في الفضاء الكوني البعيد ومنها ما يصدر عن الشمس خاصة خلال التوهجات الشمسية التي تحدث مره او مرتين كل 11سنه.مولده جرعة أشعاعيه كبيره إلى الغلاف الغازي للأرض وتتكون هذه الاشعه الكونية من 87% من البروتونات و 11 من جسيمات الفا وحوالي 1% من النوى ذات العدد الذري ما بين 4 و 26 وحوالي 1% من الالكترونات ذات طاقه عاليه جدا وهذا ما تمتاز به الأشعة الكونية، لذلك فان لها ألقدره الكبيره على الاختراق. كما انها تتفاعل مع نوى ذرات الغلاف الجوي مولده بذلك الكترونات سريعة وأشعة كاما ونيوترونات ولا يستطيع احد تجنب الاشعه الكونية ولكن شدتها على سطح الأرض تتباين من مكان إلى أخر.[4]

ب - إشعاع غير مؤين Non-Ionizing Radiation

اي ليس له القدرة على تايين الذرات التي يمر خلالها مثل موجات الراديو والتلفزيون وموجات الرادار والموجات الحرارية ذات الأطوال الموجيه القصيرة (ميكروويف) وموجات الأشعة تحت الحمراء والاشعه فوق البنفسجية والضوء العادي وأشعة الليزر.

2-5 الإشعاعات النووية:-

خلال السنوات العديدة من اكتشاف النشاط الإشعاعي وجد أن النوى النشطة إشعاعيا تقذف بشكل طبيعي نوعا واحدا أو أكثر من ثلاثي أنواع من الإشعاعات (جسيمات ألفا وجسيمات بيتا وأشعة غاما) التي أمكن التمييز فيما بينها وذلك كما يأتي:

1- قدرة اختراقها للوسط الذي تمر فيه

2- قابلية تأينها لذرات وجزيئات المواد التي تمر خلالها

2- سلوكها في المجالين الكهربائي والمغناطيسي

الفصل الثالث

الكواشف الإشعاعية

3-1 مقدمة

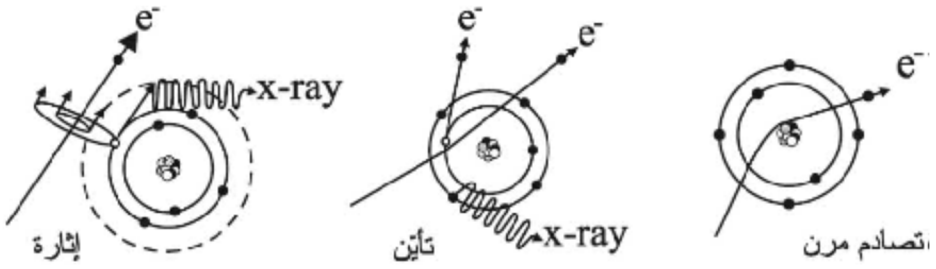
تنتج من تآثر الأشعة المؤينة مع المواد المختلفة آثار عدة تتوقف على نوع الإشعاع وطبيعته وشدته، وكذلك طبيعة المادة. وتسمى المواد التي تتأثر بالإشعاع بشكل يمكن الاستفادة من الأثر الناتج (كواشف الإشعاع) radiation detectors. فعندما تتآثر الأشعة على اختلاف أنواعها سواء أكانت جسيمات مشحونة أم جسيمات غير مشحونة، مثل النترونات، أو حتى الأشعة الكهرمغطيسية؛ مع الكاشف، فإن الحصيلة النهائية لتبادل التأثير بالنسبة لأغلب أنواع الكواشف هي تَشَكُّل كمية من الشحنات الكهربائية ضمن مادة الكشف . أو ما يسمى بالحجم الفعال للكاشف . التي تجمع عند قطب معاكس.

3-2 تصنيف الكواشف

تصنف كواشف الإشعاع من حيث الطبيعة الفيزيائية لمادة الكشف إلى نوعين رئيسيين؛ هما:

الكواشف الغازية والكواشف الصلبة

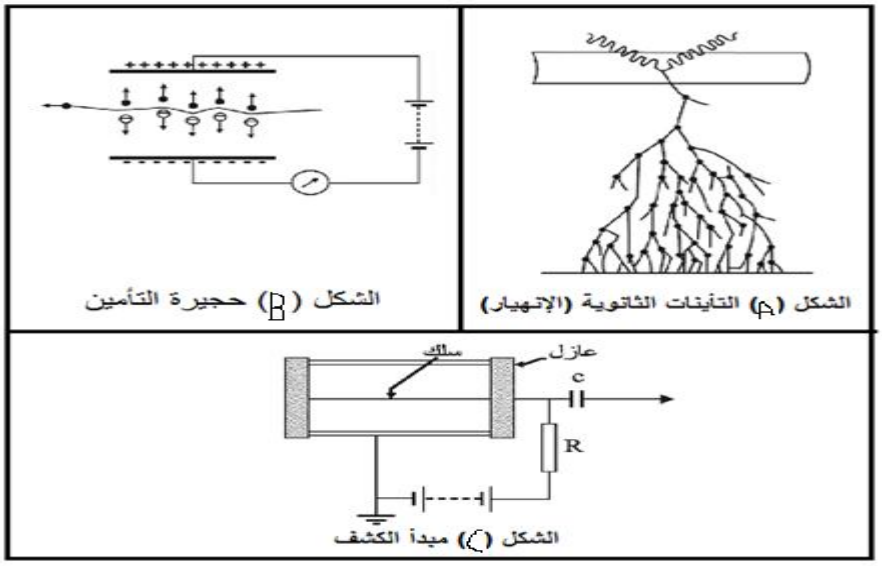
1. الكواشف الغازية



الشكل (3-1) يوضح تفاعلات الإلكترون مع الذرة

تعد الكواشف الغازية من أقدم أنواع الكواشف الإشعاعية، فقد استخدمت منذ أوائل القرن الماضي. تعتمد تقنية الكشف في هذا النوع من الكواشف على مبدأ تجميع الأزواج الأيونيةالمتولّدة في الغاز (وسط الكاشف) نتيجة تفاعل الإشعاع مع ذرات الغاز، فيتولد الزوج الأيوني المؤلف من الإلكترون وذرة الغاز المتأينة من جراء مرور الأشعة في الغاز، وتراوح الطاقة اللازمة لتوليد الزوج الأيوني في أغلب الغازات المستخدمة ما بين eV (30 و 35)أي أنه يتولد نحو 30000 زوج أيوني من جراء مرور جسيمة مشحونة طاقتها 1 مليون إلكترون فولط.

ويرجع نوع التفاعلات الممكنة للجسيمات المشحونة مع الوسط الغازي إلى أحد الأشكال المبينة في الشكل (3-2)



الشكل (3-2) يوضح تفاعلات الجسيمات المشحونة مع الوسط الغازي

تُنتج هذه الأزواج الأيونية نتيجة التصادم أزواجاً أيونية جديدة تسمى بالثانوية؛ ليصل هذا التضخيم في عدد الإلكترونات إلى حد الانهيار، ويسمى انهيار تاو نسندTaunsand Avalanche الشكل .(A)

تقسم الكواشف الغازية بحسب شروط تشغيلها إلى ثلاثة أنواع رئيسة هي حجيرات التأين، العدادات التناسبية، وعدادات غايغر . مولرGeiger-Müller counters.

i. **حجيرات التأين :** Ionizing Chamber

تتألف حجيرة التأين بشكل أساسي من حجم مغلق من الغاز غُمس فيه قطبان طُبق بينهما الجهد كهربائي ومقياس حساس للتيار الشكل (B) . إن قياس التيار في الدائرة الخارجية هو قياس مباشر لتيار الأيونات المجمعة على الأقطاب والناشئ أصلاً عن توليد الأزواج الأيونية نتيجة لتفاعل نوع معين من الإشعاع في الحجم الفعال للحجيرة، فبغياب الجهد لايمكن قياس أي تيار عبر الدارة الخارجية، وتضمحل جميع الشحنات المتشكلة في الحجم الفعال بإعادةاتحادها بعد تشكيلها . وبزيادة الجهد المطبق بين قطبي الحجيرة يزداد تأثير الحقل الكهربائي المتولد، وتبدأ عندها عملية جرف كل الأيونات المتشكله . ولا تؤدي زيادة الجهد المطبق على القيمة السابقة إلى زيادة في قيمة التيار المقيس؛ لأن كل الشحنات

المتشكلة تم التقاطها، ومعدل تشكلها ثابت. تدعى منطقة العمل هذه منطقة الإشباع، وتميز منطقة عمل حجيرات التأين شائعه الاستخدام، يراعى في تصميم حجيرات التأين الشكل الهندسي للحجيرة ونوع الغاز المختار وضغطه وذلك بحسب تطبيقات القياس. تستخدم حجيرات التأين في أجهزة المسح الإشعاعي لأغراض المراقبة وقياس الجرعة الإشعاعية إضافة إلى استخدامها لمعايرة المنابع المشعة وتطبيقات قياس طاقة الإشعاع.

ii. **العداد التناسبي وعداد غايغر . ميلر :** العداد التناسبي هو أسطوانة مملوءة بالغاز يمر فيها سلك معزول على طول محورها حيث تشكل الأسطوانة المهبط والسلك المحوري المعزول المصعد الشكل .(C) تعزى النبضة الكهربائية المتشكلة في هذا النوع من الكواشف، بخلاف حجيرة التأين، إلى ظاهرة التضاعف التي تحدث في الغاز بالنسبة للأزواج الأيونية الأصلية المتشكلة نتيجة تطبيق فرق كمون عال بين المهبط والمصعد . ونتيجة لذلك؛ فإن سعة النبضة الناتجة عن العداد التناسبي أكبر من تلك الناتجة عن حجيرة التأين، ويشبه ذلك نوعاً من التضخيم الذاتي للإشارة. تتناسب النبضة الكهربائية المتشكلة مع الجهد المطبق؛ الأمر الذي أمكن معه استخدام تلك الكواشف في تطبيقات الكشف ومطيافية الطاقة للتمييز بين الجسيمات المختلفة إضافة إلى استخدامها في كشف النترونات. وتصنَّع تلك الكواشف بأشكال هندسية مختلفة، وتملأ بمزائج غازية متنوعة لتحقيق غرض القياس المطلوب. تؤدي زيادة الجهد المطبق بين طرفي العداد إلى فقدان التناسبية الخطية بين نبضة الخرج وطاقة الإشعاع المتفاعل، ويلاحظ أن لكل النبضات المتشكلة المطال نفسه، ولاتعطي أي معلومة عن طاقة الإشعاع. تتميز منطقة عمل العداد بحدوث الانفراغ على طول المصعد عند تفاعل الإشعاع مع الغاز، بغض النظر عن نوعه وطاقته، ويسمى العداد في هذه الشروط التشغيلية بعداد غايغر . مولر. تُملأ هذه العدادات بمزيج من غاز الأرغون والكحول وأحياناً بمزائج أخرى تتألف في الغالب من غاز نبيل noble gas وبخار عضوي. ويصبح

العداد حساساً لكشف النترونات إذا ملئ بغاز يحتوي على البورون. إن أكثر تطبيقاته شيوعاً هي استخداماته للكشف عن الإشعاعات المختلفة والتحري عن المصادر المشعة.

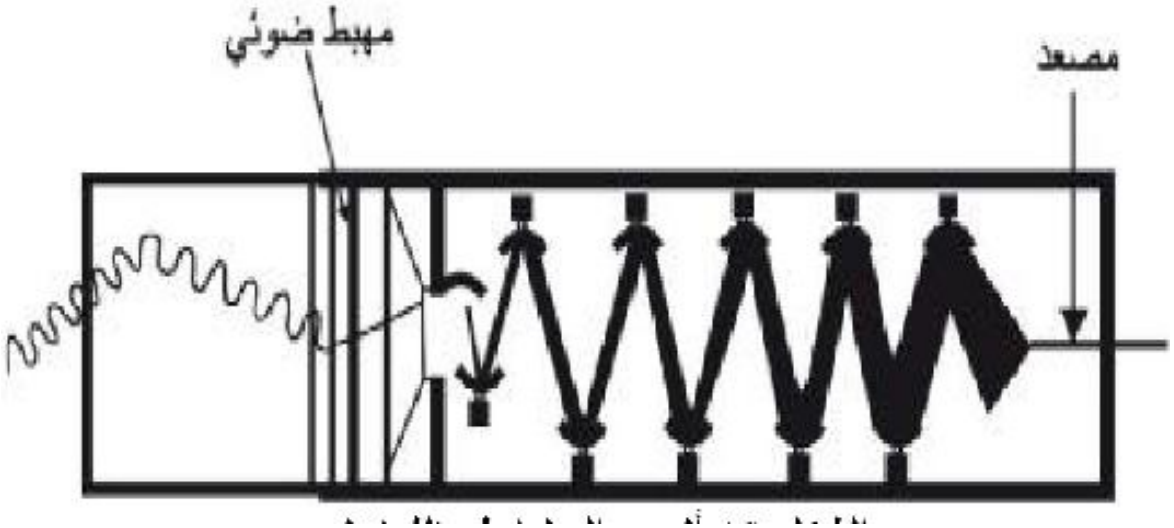
2. الكواشف الصلبة

المبدأ العام للكشف . كما مر سابقاً في الكواشف الغازية . هو تشكيل شحنة كهربائية من عدد كبير من حاملات الشحنة (إلكترون . أيون موجب) تتناسب في معظم الأحيان مع طاقة الإشعاع المودعة في الكاشف. ويسعى المصممون إلى تحقيق تلك الخطية بطرائقمختلفة. وا ن استخدام مواد صلبة تقوم على المبدأ ذاته سيؤدي إلى زيادة عدد حاملات الشحنة كثيراً ؛ الأمر الذي يؤدي إلى تحسين مواصفات جملة الكشف وزيادة مردودالكشف كثيراً ، هذا إضافة إلى تصغير حجم الكاشف. الكواشف من أنصاف النواقل : تحقق أنصاف النواقل وا إلى حد كبير شروط الكشف وقياس الإشعاع، فهي من حيث المبدأ حجيرات تأين؛ كثافة مادة الكشف فيها عالية جداً إلى الدرجة التي يكون فيها الوسط صلباً . تتبادل الأشعة التأثير مع نصف الناقل بشكل يتم فيه إنتاج عدد معين من الأزواج الأيونية (إلكترونات . ثقوب) حيث يكافئ الثقب هنا الأيون الموجب في الكاشف الغازي. يتناسب عدد الأزواج الأيونية المتولدة مع الطاقة المفقودة في الحجم الفعال للكاشف، حيث يتم تجميعها بين طرفي مادة نصف الناقل اللذين يكافئان أقطاب التجميع في الكاشف الغازي، أي يمكن القول: إن الكواشف من أنصاف النواقل عبارة عن حجيرات تأين صلبة. إن الطاقة اللازمة لإنتاج الزوج الأيوني (إلكترون . ثقب)هي نحو 3إلكترون فولط مقارنة بـ 30إلكترون فولط في الكاشف الغازي؛ الأمر الذي يعكس جودة النبضات الناتجة من تلك الكواشف. تُصنَّع كواشف أنصاف النواقل عموماً من شرائح السليسيوم والجرمانيوم بأشكال هندسية مختلفة تبعاً لتطبيقات القياس. وقد مكّنت المواصفات التشغيلية الممتازة لتلك الكواشف من استخدامها في تطبيقات مطيافية الطاقة، كمطيافية ألفا وغاما إلا أن حساسيتها العالية للبيئة المحيطة وشروط تشغيلها

الخاصة، مثل تبريدها إلى درجة حرارة الآزوت السائل، إضافة إلى الكلفة العالية لتصنيعها جعل استخدامها مقتصراً أساساً على المختبرات التحليلية في مراكز البحث العلمي .

الكواشف الومضانية: تبدي بعض المواد خصائص إصدار ضوئية لدى تفاعل الإشعاع المؤين معها، وتسمى تلك المواد بالوامضات، ومنها العضوية واللاعضوية، وتستخدم بأشكالها الفيزيائية الصلبة والسائلة والغازية

i. الشكل أنبوب المضاعف الفوتوني



شكل (3-3) يوضح أنبوب التضاعف الفوتوني

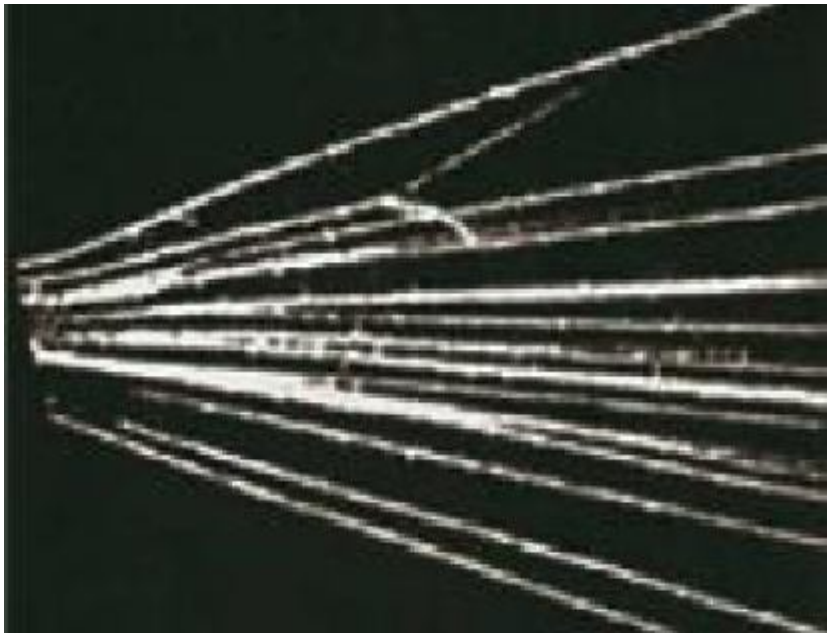
تعمل الكواشف الومضانية على مبدأ الإثارة، فعندما تعبر الأشعة الكاشف تثير ذرات الوسط إلى مستويات طاقية أعلى، وبعودتها إلى حالتها الطاقية الأساسية تصدر فوتونات تقع أطوالها الموجية في مجال الضوء المرئي، ويتناسب عدد الفوتونات الضوئية مع طاقة الإشعاع المودعة في الكاشف. يمكن تحويل تلك الإصدارات الضوئية إلى نبضات كهربائية بوساطة ما يسمى المهبط الضوئي وأنبوب المضاعف الفوتوني الذي يعمل على تضخيم الإشارة الكهربائية. وتتناسب سعة نبضة الخرج طرداً مع طاقة الأشعة المودعة في الكاشف؛ وبذلك يمكن استخدام هذا النوع من الكواشف في تطبيقات قياس طاقة الإشعاع للتمييز بين الإشعاعات المختلفة . تستخدم الوامضات اللاعضوية لكشف جميع أنواع الأشعة حيث

يستخدم الوامض المصنوع من يوديد الصوديوم في الكشف عن أشعة غاما rays (γ) ووامض كبريت التوتياء لكشف جسيمات ألفا particles α ووامض الأنتراسين لكشف جسيمات بيتا particles β وقد مكنت سهولة صنع الكواشف الومضانية بأشكال هندسية مختلفة وبحجوم كبيرة وبكلفة منخفضة من جعلها واسعة الانتشار في تطبيقات كشف التلوث وقياسه، إضافة إلى استخداماتها في التطبيقات الطبية.كواشف الأثر : تعتمد هذه الكواشف على تسجيل مسار الجسيمات العالية الطاقة الواردة، وذلك لاستنتاج المقادير الفيزيائية، مثل الشحنة والطاقة (الكتلة) والعزوم المغنطيسية من خلال حساب نصف قطر انحناء المسار وجهة التقعر وجهة المسار[2]

ii. الحجرة الضبابية وحجرة الفقاعات وحجيرة الشرارة أمثلة على كواشف الأثر:-

الشكل (3-4) حجرة ويلسون الضبابيةالحجرة الضبابية

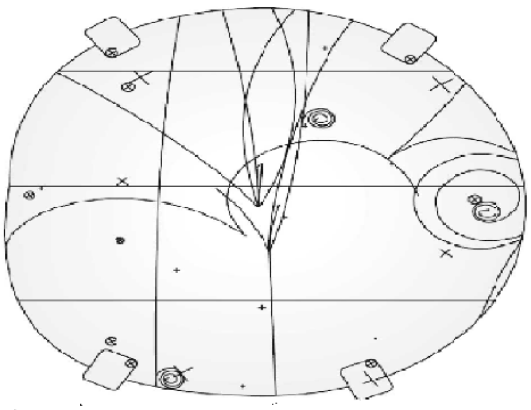
أول جهاز وضع لرؤية مسارات الجسيمات المشحونة عند مرورها خلال المادة كانت حجرة السحاب cloud chamberالتي اكتشفها ويلسون T.R.Wilsonعام 1911(الشكل2-8) وهي تتألف من وعاء ذي نافذة زجاجية والوجه المقابل مزود بمكبس يتم بوساطته زيادة الحجم الداخلي للحجرة المملوء بالهواء المشبع ببخار الماء، وبذلك يتحكم المكبس بدرجة الإشباع. ويؤدي التوسع المفاجئ إلى تمدد الغاز بسرعة وانخفاض درجة حرارته، ولكن بخار الماء لا يتكاثف إلا بوجود الأيونات الناتجة عن مرور الجسيمات، وبتتبع تجمع هذه الأيونات يتم رسم مسار مرور الجسيمات. ويمكن الاستدلال من شكل المساروكثافته على نوع الجسيم، فجسيمات ألفا تشكل مساراً أكثر كثافة من مرور الإلكترونات. في حجرة ويلسون الضبابية يستخدم الماء لإشباع الهواء، ولكن أصبح من المألوف اليوم استخدام الكحول الإيتيلي أو مزيج من الكحول والماء، وعادة يكون الغاز المستخدم هو الهواء، ويستخدم في بعض الأحيان غاز الأرغون.



شكل (3-5) يوضح مسارات الجسيمات في الحجرة الضبابية

تنتج الجسيمات المختلفة أنواعاً عدة من المسارات، فجسيمات ألفا البطيئة تعطي مسارات مستقيمة وعريضة، وتعاني عند نهاية المسار انحرافاً حاداً نتيجة تصادمها مع نوى الأكسجين أو النتروجين الموجودة في الهواء، أما الإلكترونات البطيئة فتنتج مسارات متعرجة رفيعة حبيبية، في حين أن الجسيمات السريعة الخفيفة والثقيلة تعطي مسارات رفيعة مستقيمة وحبيبيه . وتبين الصورة المأخوذة من قبل ويلسون مسارات الجسيمات في هذه الحجرة الشكل .(3-5) تكمن مساوىء الحجرة الضبابية في أنها تحتاج إلى زمن معين بعد التمدد؛ لتستعيد نشاطها؛ لذلك يتعذر الحصول على تسجيل مستمر لما يحدث فيها .

وفي عام 1939أجرى العالم لانغسدروف تطويراً للحجرة وحصل على حساسية مستمرة، وسميت هذه الحجرة بحجرة الانتشار الضبابية، والتي تتألف من وعاء يحتوي هواء أو أي غاز آخر، يحفظ القسم العلوي منها تحت خفضة حرارة معتدلة، أما القسم السفلي فيحفظ تحت درجة حرارة من . السائل المستخدم هو عادة الكحول الإيتيلي أو الكحول الميتيلي الذي يبخر في المنطقة الدافئة حيث يكون الضغط مرتفعاً ، وينتشر البخار إلى الأسفل باستمرار من خلال منطقة يكون فيها التدرج الحراري العمودي محققاً بوساطة تبريد قعر الحجرة. وكلما انتشر البخار إلى الأبرد من مناطق الغاز تناقص ضغط بخار الإشباع بسر عة . ويوجد هناك حجم قرب القاعدة الباردة للحجرة حيث يتحقق عنده شرط فوق الإشباع؛ وبذلك يحذف زمن الدورة غير الحساسة للحجرة الضبابية التقليدية.



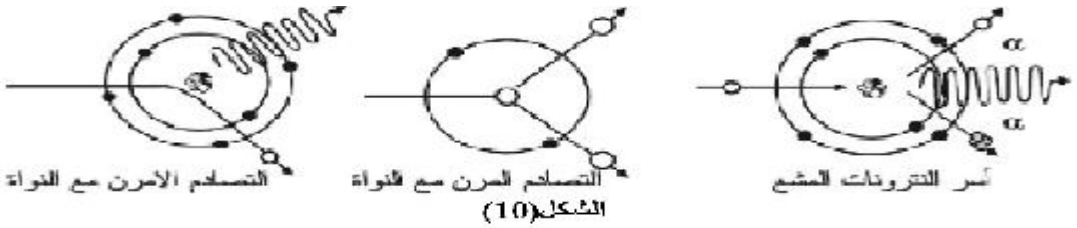
الشكل (3-6) صورة لحجرة فقاعية الهيدروجين عرضت لجسيمات ضديد البروتون بطاقة 8.8 MeV

حجرة الفقاعات: لايمكن الكشف عن الجسيمات العالية الطاقة باستخدام حجرات السحاب؛ نظراً لعدم إمكان ملاحظة التأثير المتبادل للجسيمات العالية الطاقة بشكل كامل فيها . وللتغلب على ذلك تستخدم حجرة مملوءة بمادة لها قدرة إيقاف أكبر، وقد أدى ذلك إلى اكتشاف الحجرة الفقاعية ، bubble chamber وتم تصميم أول حجرة منها عام 1952م من المعلوم أن السائل يغلي عادة مع تشكّل فقاعات بخارية عند نقطة الغليان، فإذا سخنت السائل تحت ضغط مرتفع إلى درجة حرارة أعلى من نقطة غليانه الطبيعية، ومن ثم حرر الضغط بشكل مفاجئ؛ فإن ذلك يؤدي إلى ترك السائل في حالة فوق نقطة غليانه، وإذا تحركت جسيمات مؤينة في السائل في أثناء بضعة ميلي ثانية بعد تحرير الضغط؛ فإن الأيونات المتشكلة على طول المسار تعمل مراكز تكثيف من أجل تشكيل فقاعات بخارية . وتنمو الفقاعات البخارية بمعدل سريع وتأخذ حجماً مرئياً في زمن من مرتبة 10 إلى 100 مكروثانية، ووفقاً لهذا المبدأ تعمل الحجرة الفقاعية . والفقاعات تشبه القطرات في الحجرة الضبابية، إذ تكون مرئية تحت إضاءة قويه . فإذا أحدثت تفاعلات نووية في سائل الحجرة الفقاعية؛ فإن مجموعات المسارات تنحرف عن مركز التصادم كما هي الحال في الحجرة الضبابية، ويتم تصوير هذه المسارات مقابل خلفية مظلمة حجرة الشرارة: يعتمد مبدأ عمل حجرة الشرارة spark chamber على الانفراغ الكهربائي الذي يحدث في الغاز، مثل الذي يحدث في عداد غايغر . مولر، ويؤمن هذا الانفراغ معلومات عن الشكل الهندسي للمسار، مثل التي تعطيها الحجرة الفقاعية . ويستخدم هذا الكاشف على نطاق واسع في فيزياء الطاقة العالية . يعتمد مبدأ عمل هذه الحجرة على تطبيق كمون مرتفع بين صفيحتين مثبتتين في وعاء يحوي غازاً بحيث لايكون الحقل الكهربائي المتشكل كافياً للماح بمرور شرارة، وإذا ما دخلت جسيمة مؤينة الحيز الغازي؛ فإنه تحدث شرارة تتبع مسار الأزواج الأيونية المتشكلة بوساطة الجسيمة المؤينة، وقد استخدم العالم غريناتشر عام 1935 مرور الشرارة عبر الغاز الذي أُي أنه بوساطة الأشعة النووية للكشف عن جسيمات ألفا.

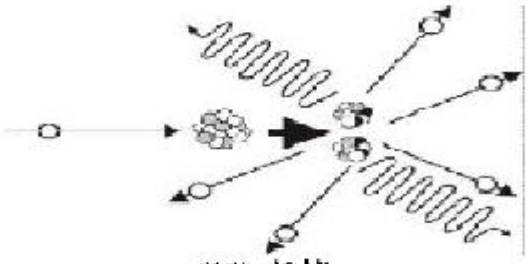
تتألف حجرة الشرارة في أبسط أشكالها من سلسلة من الصفائح المعدنية المتوازية الر قيقة و الكبيرة، وتكون عادة مصنوعة من الألمنيوم، ومساحة سطحها بضعة أقدام مربعة، تفصل بينها مسافة 1سم ومثبتة في حجرة مملوءة بغاز النيون عند الضغط الجوي العادي، وتكون جميع الصفائح معزولة عن بعضها بعضاً ، وتكون الصفحات الأولى والثالثة والخامسة موصولة بالأرض، أما الصفحات الثانية والرابعة والسادسة فمتصلة بمولّد نبضي ذي جهد مرتفع يعطي الصفائح كموناً مرتفعاً في أزمنة تفجير قصيرة من مرتبة مكروثانية لكل واحدة، ويكون هذا الكمون كافياً لجعل الشرارات تحدث بين الصفائح في المناطق التي تؤين بوساطة الجسيمات الداخلة إلى الحجرة. وهذه الحجرة حساسة لنحو نصف مكروثانية تلي تطبيق الجهد، وتنتج أي جسيمة مشحونة أخرى تمر في الحجرة في هذه الفترة على طول مسارها انفراغاً شرارياً مرئياً يمكن تصويره من الجانب، ويظهر تصوير جميع الشرارات المنفردة مقاطع مسار الجسيمة بين الصفائح، وتستخدم للتصوير آلتا تصوير إحداهما عمودية على الأخرى. والميزة الوحيدة التي تُفضل هذه الحجرة عن غيرها من الحجرات هي أن عملية القدح بسيطة، ويمكن دراسة كل حادثة منفردة تنتج بوساطة جسيمة واحدة.

iii. كشف النترونات

النترونات neutrons هي جسيمات نووية لا شحنة خالصة لها، وهي تتفاعل مع نوى الذرات من خلال القوى النووية بأحد الأشكال الآتية المبينة في الشكل (3-7) ويوضح الشكل عملية انشطار النواة بعد التصادم مطلقة النترونات.



الشكل(10)



الشكل (11)

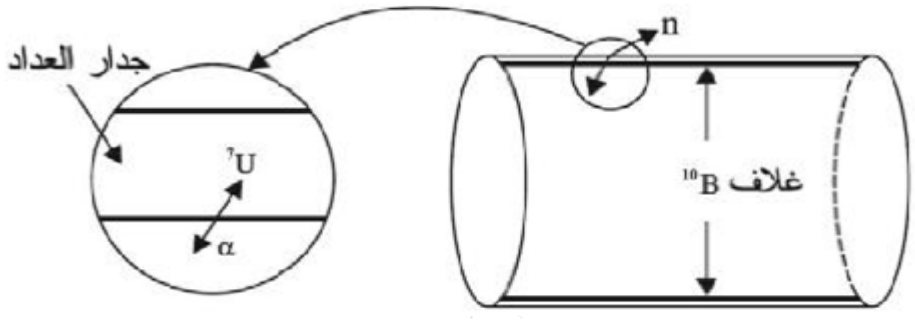
الانشطار بالنترونات

شكل (3-7) يوضح عملية إنشطار النواة بعد التصادم مطلقة النيوترونات

تُكشف النترونات بطريق غير مباشر؛ وذلك بوساطة عدادات كشف الجسيمات المشحونة أو فوتونات غاما الناتجة من تفاعل النترونات مع النوى، وأهم هذه العدادات:

1. عداد ثلاثي بور الفلور: يستخدم التفاعل(n ، α) مع البور ^{10}B لكشف النترونات الحرارية، لذلك يوضع غاز BF_3 في العداد التناسبي أو في حجرة التأين؛ والذي يعد جسيمات ألفا أو الليثيوم الناتجة من تفاعل النترونات مع الغاز وفق التفاعل الآتي:

$$^{10}_{5}\boldsymbol{B} + \boldsymbol{^{1}_{0}n} \rightarrow {}^{7}_{3}L^{++} + {}^{4}_{2}He^{++} + 5e^{-}$$



شكل(3-8) يوضح عداد ثلاثي بورون المبطن

2. عداد بورون المبطن: وهو عداد تناسبي، جداره مكون من البورون الذي يتفاعل مع النترونات لينتج جسيمات ألفا التي تدخل إلى داخل العداد التناسبي ليتم كشفها.

3 حجرة التأين المعوضة: تتألف من حجرتين منفصلتين: الأولى مبطّنة بالبورون، والثانية عداد غازي غير مبطّن به. تعد الحجرة الأولى النترونات وأشعةغاما، أما الثانية فتَعد أشعة غاما فقط، وبطرح العد بدارة مناسبة يمكن عد النترونات فقط[5]

الفصل الرابع

إستخدامات الإشعاع والوقاية منة

4-1 مقدمة :-

حدث في العقود الأخيرة من القرن العشرين تطور هائل في تطبيقات الإشعاعات المؤينة والمواد المشعة في عدد من المجالات الصناعية والزراعية والصيدلانية والطبية وغيرها من المجالات وسوف نستعرض في هذا الفصل أهم تطبيقات الإشعاعات المستخدمة في المجالا الطبي في التشخيص والعلاج أومايعرف بالإنجليزية (Radiotherapy) وحساب الجرعات الإشاعية وكيفة الوقاية من هذه الإشعة الضاره واخذ الإحتياطات اللازمة .

2-4 تصنيع اللقاحات:

تم تطوير لقاحات خاصة وذلك بتوهين الجراثيم والطفيليات بالأشعاع لوقاية حيوانات المزارع من الأمراض السارية التي تضر بالإنتاج ويفيد الأشعاع هنا في تخفيض القدرة المرضية لطفيل معين بنسب دقيقة مما يمكن من أستخدامه لقاحاً دون أن يقلل من قدرته على أحداث المناعة لدى المريض.

وقد أستخدمت اللقاحات الأشعاعية على نطاق واسع لوقاية الماشية من عدة أمراض طفيلية مثل الألتهاب الشعبي الديداني الذي تسببه (الدودة السلكية) التي تصيب البقر بالالتهاب الشعبي الديداني الذي تسببه (الدودة السلكية) التي تصيب الماعز وكذلك الدودة (الدودة الشعبية الكلبية) ولهذا اللقاحات أمكانية كبيرة. للسيطرة على الأمراض المشار إليها في عدد كبير من بلدان العالم ويمكن بسهوله الحصول على كميات كبيرة من الطفيليات لأطوار للإصابة والتحصين (التمنيع) اللازم لإنتاج اللقاح كما يمكن تخزينها لمدة مقبولة والعجول والحملان الملقحة بجرعتين من هذا اللقاح تقاوم التحدي الكبيرة حين تعرضها للعدوى الدائمة في الظروف الحقلية.وقد وجد مؤخراً طريقة توصل منها الحصول على لقاح ضد مرض الملا ريا فقد طور لقاح وأنتجت منه كميات قليلة يجعل طفيليات الملا ريا غير فعالة في الطور الجرثومي وذلك بتعريض البعوض الحامل لطفيل الملاريا للأشعاع ثم السماح للبعوض الذي ينجو من الأشعاع بأن يلدغ متطوعين ناقلاً اليهم الجراثيم التي برغم عدم قدرتها على التكاثر تحرض دفاعهم على توليد المناعة ولكن تبقى بعض العقبات والشكوك حول هذه التجارب مما يستدعي مزيداً من البحث قبل استعمالها.[6]

3-4 تعقيم المنتجات الطبية:

من المعروف أن الجرعات العالية من الأشعاع تقتل البكتريا ولذلك يستخدم الإشعاع وعلى مدى وأسع في تعقيم المنتجات والأجهزة الطبية مثل الحقن البلاستيكية التي تستخدم لمرة واحدة وأجهزة نقل الدم على سبيل المثال قد أدى الى ثورة في عمل التمريض فلقد قلل أعمال التنظيف اليومي ونقص الى حد كبير حصول حوادث العدوى وهكذا فالأجهزة المعقمة فأجهزة (الرئة القلب) الصناعية وحدات تنظيف الدم لمرض الكلى خاصيا ما تعقم إشعاعيا قبل لاستعمال لأنها الطريقة الأفضل في التعقيم وتعرض الحقن بعد تصنيعها وتغليفها الى جرعة من أشعة جاما قدرها حوالي خمسة وعشرين ألف جراى باستخدام مجموعة من مصادر النظير المشع (كوبالت -60) تبلغ شدتها الإشعاعية الكلية حوالى 6×10^{10} بيكريل (اى حوالى 000 ,167 كورى) وتحفظ هذه المصادر عند عدم استخدامها في حوض ماء خاص يبلغ عمق الماء فيه 9 أمتار وذلك للوقاية من الأشعة التي تطلقها تلك المصادر باستمرار.

وهنالك طرق أخرى تستخدم في تعقيم المنتجات الطبية مثل التعقيم بالحرارة أو باستخدام المواد الكيميائية.[6]

4-4 العلاج الإشعاعي:

يمثل العلاج الإشعاعي أحد الطرق الرئيسية الثلاثة لعلاج السرطان وهي العلاج الإشعاعي ، الجراحة والعلاج الكيميائي وهنالك طريقة رابعة تجري حولها بحوث كثيرة في الوقت الحاضر وهي طريقة العلاج بالحرارة وطريقتها العلاج الإشعاعي والجراحة تستعملان في السيطرة على الأورام المرضية بينما يقتصر العلاج الكيميائي على السرطان المنتشر في الجسم. أن العلاج الإشعاعي مبني على مقدرة الأشعاع على قتل الخلايا أو جعلها غير قادرة على التكاثر والانتشار . فالورم السرطاني يسبب التكاثر غير

المنضبط للخلايا السرطانية. ولهذا فإن أية وسيلة توقف هذه المعقدة على التكاثر يمكنها أن تتحكم في نمو السرطان والإشعاع. من الوسائل في هذا المجال:

1. العلاج الإشعاعي عن للأورام.
2. علاج الأورام بالنظائر المشعة.
3. العلاج بالنظائر المشعة للأمراض الأخرى.
4. استخدام النظائر المشعة في التحليلات الطبية المخبرية.[6]

4-5 التصوير الإشعاعي:

يستخدم الأشعاع في تصوير بعض الأغراض الهامة في مجالات الطب والصناعة والزراعة والآثار والبحوث العلمية. وفي هذا الغرض تستخدم الأشعة السينية وأشعة جاما والبوزترونات والنيوترونات المنبعثة من بعض النظائر المشعة.

ولقد أظهر التصوير الإشعاعي أهمية كبيرة في الفحوصات الطبية وفي دراسات بعض الأمراض وفي مجال الآثار وأظهر أهمية كبيرة في اكتشافات أثرية كبيرة مثل تصوير التركيب الداخلي للهرم الثاني. وتصوير بعض المومياوات الملكية بالمتحف المصري وتصوير القناع الذهبي للتعرف على طريقة تصنيعه. لقد استخدمت الأشعة السينية في مجال الآثار وذلك لتميزها في أظهار التركيبات التي تحت السطح في الصور المأخوذة بهذه الأشعة. لقد تبين للعلماء أن التصوير الفوتوغرافي لا يظهر الأ التفاصيل السطحية ويظهر الأجزاء الداخلية من الجسم المراد تصويره. بالإضافة لاستخدامات التصوير الإشعاعي في مجال الآثار فإن التصوير بالأشعة السينية له أهمية كبيرة في الفحوصات الطبية في

الكشف عن موقع الكسور في العظام وفي دراسة بعض أمراض الكبد وبعض حالات الحمل وفي علاج الأسنان وكذلك في التعرف على موضع النقود المعدنية أو الدبابيس أو المسامير التي يبتلعها الأطفال.

كذلك يستخدم التصوير بالأشعة السينية في مجال الطب الشرعي لكشف أسرار بعض الجرائم.

وفي مجال الصناعة يستخدم التصوير بالأشعة السينية في معرفة العيوب الداخلية للمعادن مثل وجود الشوائب والفراغات وفي الكشف عن اللحامات وهذه الطريقة لها أهميتها في فحص أجسام السفن والطائرات وقضبان السكك الحديدية.

كذلك يستخدم التصوير بالأشعة السينية في تصوير التركيبات الداخلية لبعض الألآت التي لا ترى بالعين وذلك لتعرف على ما بها من أعطال. كذلك يستخدم هذا التصوير في أجهزة الزيروكس الخاصة بتصوير المستندات وكذلك في تصوير اللوحات الفنية القديمة والتمييز بين اللوحات الحقيقية والمزيفة. [7]

4-5-1 التصوير بأشعة جاما:

يستخدم مصدر الكربون 11 المشع في تحديد مواقع الأورام بالمخ وأن البوزترونات الناتجة من المصدر المشع تتحد مع الألكترونات في موقع تجمعها في المخ وتعطي أشعاعات من أشعة جاما التي يمكن تصويرها باستخدام كاميرات بوزترونية لتحديد موقع الورم.

كذلك يستخدم مصدر الكربون 11 المشع والذي له فترة نصف عمر تساوي 20 دقيقة في دراسة عمل المخ ووظائفه المختلفة. [4]

وفي هذه الدراسة التي قام بها علماء فرنسيون بجامعة جرينويل تم استخدام 66 كاميرا بوزترونية توضع حول المخ في ستة مجموعات دائرية وذلك لأخذ صورة دقيقة للمخ أثناء حركة أعضاء الجسم وأثناء الكلام والصمت وحركات الأعين وأثناء النوم وغيرها.

4-5-2 التصوير بالنيوترونات:

يفضل استخدام مصدر الكاليفورنيوم 252 المشع في كثير من التطبيقات مثل فحص وقود المفاعلات النووية وفحص التآكل في أجزاء الطائرات واختبار مادة تصنيع الصواريخ وسفن الفضاء والطائرات والغواصات والأقمار الصناعية. [4]

4-6 تفاعل الأشعاع مع الخلايا:

أن الفرق الأساسي بين الأشعاعات النووية وبقية الأشعاعات التي نواجهها أعتيادياً مثل الحرارة والضوء وهو أن الأشعاعات النووية لديها الطاقة الكافية لأحداث تأين ففي الماء الذي يتكون منه معظم الخلية يمكن أن يقود التأين الى تغيرات جزيئية تنبسق عنها فصائل كيميائية من أنواع مختلفة لمادة الكروموسومات ويأخذ هذا التلف شكل تغيرات في تركيب ونشاط الخلية ويمكن أن تظهر هذه التغيرات في الجسم البشري كأثار مرضية مثل غثيان الأشعاع أو إعتام عدسة العين أو السرطان على المدن البعيدة.

أن العلميات التي تقود الى التلف الأشعاعي معقدة وهي غالباً ما تتخذ أربع مراحل:

- المرحلة الفيزيائية الأبتدائية.
- المرحلة الفيزوكيميائية.
- المرحلة البيولوجية.

أن الأشعاع يحدث تاينا في الماده التى يمد فيها وان هذا التاين يؤدى إلى الاضرار بتلك الماده واذا كانت تلك الماده خلية او نسيجاً حياً ،فان هذا الاضرار يؤدى الى تعطيل وظائف تلك الخلية او في الجسم. يتفاعل الاشعاع مع الخلية الحية بطريقتين الأولى مباشره والاخرى غير مباشرة فالتفاعل المباشر يتم بعد امتصاص الذرات المكونه للخليه او للانسجه الحيه لطاقة للاشعاع فتتأين مما يؤدى الى تحلل الجزئيات التى تدخل هذه الذرات في تركيبها ومن هنا يبدا الخطر الذى يمكن ان يحتاج الخلية الحية. ولتصوير الامر رقيما فان جرعه مقدارها 1جراي ،وهذه تكافئ 1000 ملي سيفرت من اشعه جاما او هى كما اشرنا سابقا كمية استثنائيه هائله لايمكن الحصول عليها إلا في حرب نووية او اشعه جاما ، او خلال عملية العلاج الاشعاعى او نتيجة لحادث نووى او إشعاعى خطير جداً.

ان الجرعة اعلاه ستؤدى الى ان ياخذ كل غرام من النسيج طاقة مقدارها جزء واحد من الف جزء من 1 جول وهذه الكمية من الطاقة ستؤدي الى تشكيل 200 مليون زوج أيوني في الغرام الواحد من النسيج.[8]

4-7 الوقاية من الاشعاع :-

نظراً نطاق استخدام الاشعاع بانواعه المختلفة في العديد من المجالات الحياة فقد وضعت الهيئات الدولية المتخصصه في القواعد والانظمة التي تحكم لكل واحده من الاستخدمات وذلك من اجل جلب المنافع الحفاظ علي جانب الأمان ويصعب الحديث عن الحماية من كل نوع من انواع الاشعاع فكل مجال من هذه المجالات علي حده .وتتمثل الغاية من إستخدامات الإشعاعات الأساسية الي أمرين هما:-

اولها :-المحافظه علي ان يكون تعرض الانسان لاشعاع اقل مايمكن عملياً .

وثانيها :- تقليل دخول النظائر المشعه الي جسم الانسان عن طريق الفم والتنفس والامتصاص والجروح المكشوفه قدر المستطاع.[6]

4-7-1 الحمايه من المصادر الداخليه للاشعاع :-

عندما توضع ماده مشعه في احد الاواني المغلقه (الحاويات) فإنها تشكل خطراً اشعاعياً للاشخاص العاملين بجوارها مالم تكون محاطه بطبقه عازله للاشعاع ومن جانب اخر عندما تتعرض الماده المشعه الصغيره من الماده للتناثر او الانسكاب فإنها قد تؤدي الي التكون الاشعاعي للجسم وذلك لان الكميه الصغيره من الماده المشعه والتي لا تمثل اي خطر خارجي يذكر يمكنها ان تقود الي جرعه ملحوظه متي لامست الجسم او دخلته فعندما تدخل الجسم تستمر في تشعيعه حتى تضمحل او يطرحها الجسم .

وهنالك أربعه مناطق لتلوث الجسم بالمادة المشعة هي :-

1- التنفس المباشر للهواء الملوث .

2- البلع الذي يتم عن طريق الفم .

3- النفوذ عن طريق الجلد او عن طريق جرح مكشوف

4- تلوث الجلد بالمادة المشعة مما يعرضه للتشعيع المباشر .

وهنالك ثلاثة قواعد للتحكم بالتلوث الإشعاعي وهي :-

1- التقليل ما مكن من كمية المواد المشعة المتداولة .

2- وضع المواد المشعة في حاويتين مغلقتين علي الأقل للتقليل من احتمال انتشار المواد المشعة وحدوث التلوث عند الانكسار او تسرب احدهما .

3- أتباع الخطوات الصحيحة في غسل الملابس الواقية وفي غسل ومراقبة التجهيزات المختلفة في المختبرات للتأكد من عدم تلوثها .[6]

4-7-2 الحماية من المصادر الخارجية الإشعاع :-

تاتي مخاطر الاشعاع الذري الخارجي من المصادر الموجوده خارج الجسم مثل اجهزة الاشعاع السيئه ويمكن التحكم في هذه المخاطر عن طريق واحد او اكثر من العوامل الثلاثة :-

- الزمن والمسافة والحاجز الواقي وذلك عن طريق :-
- تحديد مدة التعرض للاشعه الي اقل فئه زمنيه ممكنه لابتعاد مامكن عن مصدر الاشعاع الي اقصي مسافه ممكنه.
- وضع حاجز واقي بين مصدر الاشعاع والمشغل للجهاز. [6]

4-7-3 اهداف الحمايه من الاشعاع :-

تهدف الحمايه من الاشعاع الي حماية الانسان والبيئه من التأثيرات المضاده للاشعاع الجسديه منها والوراثيه مع السماح للاستخدامات المفيده للاشعاع والمواد المشعه وتتضمن أساليب الحماية من الإشعاع نوعين مميزين من الأنواع للتعرض لهما :-

فى حالة الحوادث الإشاعية أو الطوارى

التعرض المهنة الذى يمكن الحد منه بواسطة السيطرة علة مصادر الإشعاع وتطبيق نظام تحديد الجرعة.

هنالك ثلاثه أهداف رئيسية لبرنامج الحماية من الإشعاع :-

1-التاكد من أن اى عمل يتضمن التعرض للإشعاع يجب أن يكون مبرراً

2- منع حدوث التاثيرات الحتمية العتبية . وهى التاثيرات التى تتولد من الشخص المتعرض للإشعاع عندما تصل الجرعة الإشعاعية حد معين يطلق عليها أسم العتبية. ومن التاثيرات إحمرار الجلد والحروق الإشعاعية والمرض الإشعاعى وفقد المناعة الناتج من إنانزاف كريات الدم الحمراء.

3- تخفيض حدوث التأثيرات غير العتبية و هى التأثيرات التى لايوجد لها حد أدنى من التعرض الإشعاعى بمعنة أنه يمكن لاضغر جرعة إشاعاية من الناحية النظرية ان تحدث هذا التأثير التى قد تكون جسديه مثل مرض السرطان أو وراثية مثل التشوهات التى تظهر فى الذرية نتيجة لتلف حاملات الوراثة (المورتاد) داخل الخلية التناسلية لهذا لايمكن إعتبار لاى شخص إى تعرض لإشعاع مهما قل أنه أمن الإ أن خطورته تتفاوت من شخص لاخر ويزداد إحمتال ظهور تلك التأثيرات مع زياد جرعة التأثيرات الإشعاعية. [6]

8-4 تحديد الجرعة الإشعاعية :-

أن معظم القدرات التى يتم إتخاذها حول الفاعليات التى تتم القيام بها تستند الى الموازنه بين التكلفه والمنفعه فإذا رجحت كفه المنفعة فالفعالية تستحق الإنجار والإ فلاتستحق وبالإضافة الى لان الفعالية يجب أن تتم بصوره يصل فيها الفرد والمجتمع علة أقصى فائده ممكنه , بوضع يتضمن التاثيرات الحتمية وضع حدود المكافى الجرعة الإشعاعية وهو مقياس التاثير الإحيائى الإشعاعى ،وحدته الحديثة سفرت ويجب تحديد التعرض الإشعاعى بعد تجوز حدود المكافى للجرعة اما الحد من التأثيرات غير العنبية فيتم بالمحافظة على التعرض الإشعاعي الى أقل مايمكن مع الأخذ فى الحسبان العوامل الإجاماعية حسب ظروف كل المجتمع .[6].

4-8-1 الجوانب الرئيسية لنظام تحديد الجرع مايلى :-

1- التبرير : يجب الإيتم القيام باى عمل فى حقول الإشعاع أو يتم إجازته من قبل السلطات المختصه مالم يؤدى الى تحقيق منفعة إيجابية وذلك لمنع التعرض غير الضرورى الى الإشعاع .يمكن تبرير العمل المتضمن التعرض للإشعاع بدراسة مزاياه ومساؤيه للتاكد من الضرر الكلى الذى ينتج من العمل المفتوح يكون اقل بصنوره ملموسه من الفؤائد المتوخاه ، ومن الممكن إستخدام تحديد التكلفة والفائده بغرض الوصول الى قرار بإجازة او عدم ايجازه المشروع الذى يؤدى الى التعرض اللإشعاعى . فإذا افترضنا ان الفائدة الصافية (B) والكلية (V) وكلفة الإنتاج (p) وكلفة الحصول على مستوى مختار من الوقاية (x) وكلفة الضرر الناتج من التشغيل او الإنتاج أو استخدام التخلص من الإنتاج (y).

فإنه يمكن وضع معادلة الفائدة والتكلفة بالصيغة التالية :-

$$B=V-(P+X+Y)$$

إن حساب وتقدير الحدود الواردة فى المعادلة أعلاه لغرض التقدير المطلق اللازم لتبريد العمل ليس بالأمر السهل ، ولهذا يلجأ أحيانا الى التقدي النسبي الذى يتم بالمقارنة مع مبررات المشاريع البديلة حيث أن هذا الإجراء أسهل وتبقى الفائدة الإجمالية هى:

2- الحالة المثلى للحماية الإشعاعية :

أن جميع حالات التعرض الإشعاعي في أي مجتمع يجب تخفيضها إلى أقل قدر ممكن ولمعرفه ما إذا كان خفض التعرض الإشعاعي.

قد تم بصورة معقولة أم لا فأنه من الضروري الأخذ في الحسبان الموازنة بين زيادة الفائدة من هذا الخفض وزيادة التكاليف ولزيادة الفائدة الصافية إلى أقصى قدر يمكن يؤخذ. تفاضل معادلة التكلفة

والفائدة بالنسبة لمتغير غير معتمد يعرف بالجرعة المكافئة المتجمعة تعد الحماية من الأشعاع مثالية عندما يكون مجموع التكلفة الوقاية (X) وتكاليف الضرر من الأشعاع (Y) أقل ما يمكن.

يساعد في عملية التقويم المستند إلى معادلة التفاضل المشار إليها وضع قيمة النقدية من الناحية العملية فقد نشرب عدة تقديرات في هذا الخصوص. وهي مفيدة لأجل اتخاذ القرارات بالرغم ما عليها من تخفيضات ويمكن القول بناءاً على ما سبق ذكره أنه عند تصميم مصادر الأشعاع ووضع الخطط الخاصة باستعمالها وتشغيل المصدر أو المنشأة ينبقي أن يجرى ذلك بطريقة تؤدي الى أن يكون التعرض للأشعاع ضمن حدود المعقول مع الأخذ في الحسبان العوامل الاقتصادية والاجتماعية للمجتمع.[6]

3- تحديد الجرع:

إن مكافئ الجرع الإشعاعي للأفراد يجب أن لا يتجاوز حدود موصى بها من قبل اللجنة الدولية للحماية الإشعاعية. فقد وصفت اللجنة حدود للتعرض الإشعاعي المهني وأخرى لتعرض أفراد الجمهور ينبغي عدم تجاوزها إلا في حالات خاصة وذلك لتجنب ظهور التأثيرات العتبية الى حد المعقول.

أما أفراد الجمهور فهم لا يتعرضون للأشعاع بمحض اختيارهم كما أن فيهم مجموعات أكثر تأثراً بالإشعاع كما وضع لكل مستوى من التلوث نظام بحكمه.[6]

4-9 الخاتمة :-

وفي ختام هذا البحث نود أن تتوجه الأبحاث والدراسات العليا عن دراسة الإشعاع بصورة واسعة بحيث أنه اصبح من يمتلك تطبيقات الإشعاع العسكرية والسلمية هو من تعمل له الدول حساب ووزن سياسي ويمتلك مقاعد في المنظمات التي تطور في هذا المجال كما يسمي الآن بان الدول التي تمتلك الأسلحة الذرية هي الدول الكبار والتي تمتلك مفاعلات وترسانه عسكرية وسلمية ولايحفي الجانب التطبيقي السلمي في المستشفيات من علاح الأورام السرطانية والطبيقات الصناعية وغيرها من المجالات التي باتت تستفيد من فيزياء الذره .

4-10 التوصيات :-

- أن تكون هنالك ابحاث تتضمن التعريف بالكواشف الإشعاعية .
- نشر التوعية بين الطلاب والدرسين في مجال الفيزياء بمخاطر الإشعاع
- علي اجهزة الدولة التي تختص بالمواصفات بان تطور في اجهزة الكشف لان العالم لدية مشكلة في التخلص من المواد المشعة واصبح يصنع بعض المعلبات وغيرها التي تحتوي علي مواد مشعة ويصدرها للدول التي لاتمتلك أجهزة كشف دقيقة
- حث الباحثين علي إستخدام تقنية النانو للتطور وتجويد الأبحاث حتي ننهض في إستخدام الفيزياء وتطور الأجهزة في هئية الطاقة الذرية السودانية
- تطوريرر قسم الهندسة النووية في كلية الهندسة جامعة السودان حتي يواكب التطور المطرد في الإستخدامات الإشعاعات .
- بناء مفاعلاتبحثية وا إنتاجية للإستفادة منها في التدريب وا إنتاج العناصر المشعة للعلاج

المراجع:

1. عائشة محمود التركيستاني / الكيمياء النووية والإشعاعية .
2. احمد الناغي و محمد نبيل يس البكري- الفيزياء النووية / ط1/ دار الفجر العربي – القاهرة – 2008م.
3. محمد عبدالحمن الشيخ .أحمد نصر كراشي ، محمد عبدالفتاح عبيد 2004م ، هندسة الإشعاع النووي – النشر مطابع المللك سعود .
4. عذاب الكناني –الفيزياء النووية والطبية – دار الفجر للنشر والتوزيع 2009م
5. محمد قاسم محمد الفخار – الفيزياء النووية والإشعاعية / سنة 2006م – ط2.
6. محمد احمد جارالله – الأشعاع الذري – ط1- 1944م – مكتبة العبيكان/ العليا طريق الملك فهد .
7. محمد مصطفى عبد الباقي – الأشعاع في حياتنا اليومية – 2004م.
8. قصي رشيد سعيد – الوقاية من الأشعاع والتلوث /ط1/ القاهرة 1986م.
9. د.بسام محمد داخل وآخرون – مبادي الفيزياء النووية وتطبيقاتها مركز النشر العلمي جامعة الملك عبدالعزيز .
10. عذاب طاهر الكناني – الفيزياء الإشعاعية – ط1 – 2008م- دار الفجر للنشر والتوزيع.