بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية الدراسات العليا

قسم الفيزياء

التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة واجراءات الوقاية منها

[Biological Effects of Ionizing Radiation and Measures of protection]

بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير في الفيزياء النووية

إعداد الطالب:

الصادق عباس محمد يحي

إشراف الدكتور:

احمد الحسن الفكي

2020م

الآية

قال الله سبحانه وتعالى:

(بَلْ هُوَ آيَاتٌ بَيِّنَاتٌ فِي صُدُورِ الَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ وَمَا يَجْحَدُ بِآيَاتِنَا إِلَّا الظَّالِمُونَ)

صدق الله العظيم

العنكبوت الآية (49)

الإهداء

إلى مثال التفاني والإخلاص..... أبى الحبيب.

إلى من قدَّمت سعادتي وراحتي على سعادتها... أمي الفاضلة.

إلى من لم تبخل بمساعدتي ..... زوجتي العزيزة .. وأصدقائي.

إلى كل من دعا لي بالخير.

أهديكم هذا العمل المتواضع.

الشكر والعرفان

الحمد لله الذي لا يبلغ مدحه القائلون، ولا يحصى نعماءُه العادّون، ولا يؤدي حقه المجتهدون، حمدا يكون لحقه قضاء ولشكره أداء، أشكرك ربي على نعمك التي لا تعدُّ، وعلي خيراتك التي لا تحدُّ، أحمدك ربي وأشكرك على أن يسرت لي إتمامَ هذا البحثِ على الوجه الذي أرجو أن ترضى به عني. والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى اله وصحبه وسلم تسليماً كثيراً.

وبعد، يدعوني حق الوفاء والإعتراف بالجميل أن أوجه شكري وتقديري إلى الأستاذ الفاضل، الإنسان والمربي، الدكتور احمد الحسن الفكي، الذي له الفضل بعد الله سبحانه وتعالى والذي كان دافعا ومحفزا لي، ومتحملاً كل أخطائي وهفواتي وأحاطني برعايته العلمية التربوية وكان الموجه والدليل في إكمال هذا البحث، منذ أن كان الموضوعُ عنواناً وفكرةً إلى أنْ صار بحثاً. أسأل الله أن يجزيه عني خير الجزاء ويحفظه ذخرا لنا ولوطننا.

ويسعدني أن أتقدم بالشكر إلى جامعة السودان للعلوم والتكنلوجيا والشكر موصول لكل أساتذتي الذين تتلمذت على أيديهم في كل مراحل دراستي.

المستخلص

تناولت الدراسة التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة والوقاية منها و تُقسم الإشعاع المؤين إلى قسمين، إشعاعات طبيعية، وإشعاعات صناعية وقد أصبح لهذه الإشعاعات تطبيقات واسعة في مجالات عديدة منها الصناعي كصناعة الأسلحة وحفظ الأغذية، ومنها الطبي بفرعيه التشخيصي والعلاجي، ومنها الزراعي حيث تحسين المحاصيل الزراعية. وجميع هذه التطبيقات تعتمد على تفاعلات الأشعة المؤينه التي تحدث في المادة. هدفت هذه الدراسة الى التعرف على الأضرار الناجمة عن الإشعاعات المؤينة الصادرة من المواد المشعة ، ومدى تأثيرها على المحيط البيئي بما في ذلك الإنسان والوقاية منها. وتمت في هذه الدراسة إلقاء الضوء على الإشعاعات النووية المؤينة وأنواعها وخصائصها ومصادرها، وتم التعرف على كيفية تفاعل الإشعاعات المؤينة مع المادة وما ينتج عنه من تغيرات في خصائص المادة. كما تناولت الدارسة آثر التعرض لتلك الإشعاعات المؤينة التي تقود إلى تأثيرات أو أضرار بيولوجية تظهر في جسم الإنسان الحي، وتكون تلك التأثيرات إما مبكرة أو متأخرة تظهر في ما بعد على شكل أمراض سرطانية.عموماً يسبب التعرض للأشعة المؤينة تغيرات كيميائية في أنسجة الكائنات الحية، مما يؤدي إلى أضرار كبيرة للجسم وتزداد درجة تلك التغيرات الكيميائية تبعاً لمقدار جرعة الإشعاع التي تم إمتصاصها بواسطة الجسم ولا يظهر مقدار الإصابة أو الضرر للشخص عند تعرضه للإشعاع إلا بعد فترة من الزمن تعرف بفترة الحضانة . وقد تتأخر الآثار المبكرة لبعض أنواع التعرض الإشعاعي إلى سنوات، ويحدد نوع ومصدر الإشعاع نوع الإصابة التي تنتج عنة. ومن نتائج هذا البحث التخطيط للمستقبل لتقليل الوقت المستغرق في التعامل مع النشاط الإشعاعي وإستخدام سمك مناسب من الرصاص للأشعة السينية وبواعث غاما وإحتواء المواد المشعة ضمن مناطق العمل المحددة.

Abstract

This study, dealt with the biological effects of ionizing radiation and ways of protection. In which Ionizing radiation is divided into two parts, natural radiation, and industrial radiation.These radiations have had wide applications in many fields, firstly industrial, such as the manufacturing of weapons and food preservation, secondly medical, with its diagnostic and therapeutic branches, and finally is agricultural one, that deals with improving agricultural crops.These applications depend on the interactions of ionizing rays that occur in the material. This study aimed to identify the damage that caused by ionizing radiation emanating from radioactive materials, and the extent of their impact on the environment, including humans, and preventing them. The method of ionizing radiation interacts with the material and the resulting changes in the properties of the material. The study also dealt with the effect of exposure to that ionizing radiation that leads to biological effects or damages that appear in the living human body, and these effects are either soon or late appearing in the form of cancerous diseases. It leads to great damage to the body and the degree of those chemical changes increases according to the amount of radiation dose that was absorbed by the body. The amount of injury or damage to a person when exposed to radiation does not appear until after a period of time known as the incubation period. The early effects of some types of radiation exposure may be delayed for years, and the type and source of radiation determines the type of injury that results. Among the results of this study is planning for the future to reduce the time spent in dealing with radioactivity, using an appropriate thickness of lead for X-rays and gamma emitters, and containing radioactive materials within the specified work areas.

الفهرس

الموضوع	رقم الصفحة
الآية	I
الإهداء	II
الشكر والعرفان	III
المستخلص	IV
Abstract	V
الفهرس	VI
فهرس الأشكال	VI
الفصل الأول **الاطار العام للبحث**	
1-1 المقدمة	1
1-2 مشكلة البحث	2
1-3 أهمية البحث	2
1-4 أهداف البحث	3
1-5 فرضيات البحث	3
1-6 أدوات البحث	4
1-7 هيكل البحث	4
الفصل الثاني **الإشعاعات المؤينة**	
2-1 الأشعاع النووي	6
2-1-1 الأشعة المؤينة	6
2-1-2 الأشعة الغير مؤينة	6
2-2 النشاط الإشعاعي	7
2-3 تفكك الفا	7
2-4 تفكك بيتا	8

2-5 إشعاعات غاما	11
2-6 النيوترونات ومصادرها	12
2-7 قانون التفكك الإشعاعي	14
2-8 الشدة الإشعاعية	15
2-9 وحدة قياس الشدة الإشعاعية	16
2-10 الأشعة السينية	16
الفصل الثالث **تفاعل الإشعاعات المؤينة مع المادة**	
3-1 تفاعل الجسيمات المشحونة الثقيلة مع المادة	19
3-2 تفاعل الجسيمات الخفيفة مع المادة	20
3-3 تفاعل إشعاع غاما والأشعة السينية مع المادة	22
3-3-1 الظاهرة الكهروضوئية	22
3-3-2 إستطارة (تشتت) كمبتون	23
3-3-3 إنتاج الأزواج	24
3-3-4 المقطع العرضي الكلي	25
3-3-5 معامل التوهين الكتلي	26
3-3-6 القانون الأسي للتوهين	27
3-3-7 طبقة السمك النصفي	28
3-3-8 طبقة السمك العشري	28
3-3-9 معامل إمتصاص الطاقة	29
3-4 تفاعل النيوترونات مع المادة	29
3-4-1 تهدئة النيوترونات	30
3-4-2 إنتقال الطاقة من النيوترونات لجسم الإنسان	30
الفصل الرابع **التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة**	
4-1 تفاعل الإشعاعات مع الخلية الحية	33
4-2 التاثرات الذاتية للإشعاعات	34

3-4 التاثيرات الوراثية للإشعاعات المؤينة	40
4-4 التاثيرات على الأجنة قبل الولادة	40
5-4 الطرق الرئيسية للوقاية من الأشعة المؤينة	41
6-4 الإجراءات الصحية الوقائية في حالات الطواري النووية	42
الخاتمة	45
التوصيات	46
المصادر والمراجع	47

فهرس الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
1-2	كيفية إعتماد المقطع العرضي للظاهرة الكهروضوئية على طاقة الفوتون	23
2-2	كيفية تغيير المقطع العرضي لتشتت كمبتون	24
3-2	إعتماد المقطع العرضي لإنتاج الأزواج على طاقة الفوتون	25

الفصل الأول

الإطار العام للبحث

(1-1) المقدمة:

وجد بعض العلماء منذ زمن بعيد أن بعض المواد (العناصر) الموجودة في الطبيعة تكون غيرمستقرة Unstable، الأمر الذي يحملها على القيام ببعض العمليات التلقائية بحثاً عن الاستقرار. هذه العمليات (التلقائية) هي عبارة عن إضمحلالات Decays للأنوية Nuclei وبهذا قد تترك النواة الناتجة في حالة إثارة مما يؤدي إلى انبعاث أشعة نووية .Nuclear Radiation وبهذا تعتبر هذه المواد مشعة أو نشطة إشعاعياً ويمكن أن تعتبر مصادر مشعة .Radioactive Sources تم اكتشاف النشاط الإشعاعي الطبيعي على يد العالم بيكرل Becquerel وذلك عن طريق فحص المستحلب الفوتوغرافي Photographic Emulsion الذي اسود نتيجة قربه من مركب يورانيوم Uranium طبيعي، وكانت تلك بداية اكتشاف الإشعاع {1}.

إجتهد الإنسان في تطور العلوم بفروعه المختلفة بما فيها الفيزياء إلى أن تم التوصل إلى اكتشاف الإشعاع الصناعي وذلك باكتشاف الأشعة السينية X-ray عام 1895م على يد وليام كونراد رونتجن W. C. Roentgen وتوالت بعد ذلك الاجتهادات والاكتشافات الفيزيائية والإشعاعية من قِبل كل من رذرفورد Rutherford والسيدة ماري كوري Marie Curie وزوجها بيير كوريPierre Curie إلى أن أصبح الإشعاع من أهم الظواهر التي يتحدث عنها الناس ومن الأمور التي لا غنى عنها في حياتنا المعاصرة وأصبحت الحاجة إليه تزداد بصورة تصاعدية. وقد أكدوا فيها جميعاً أن بعض الأنوية ليست مستقرة تماماً مما يجعلها تقوم بإصدار إشعاعات نووية لتصل إلى وضع الاستقرار {2}.

ومما لا يدركه البعض أننا قد نتعرض للإشعاع خصوصاً المؤين Ionizing Radiation منه من بيئتنا التي نعيش فيها وذلك عن طريق الهواء الذي نستنشقه أو الماء الذي نشربه والطعام الذي نأكله. حيث توجد بعض من العناصر المشعة مثل البوتاسيوم Potassium (k) والرادون

Radon(Rn) والراديوم Radium (Ra) وغيرها من المصادر التي ربما كان الإنسان سبباً في وجودها.

وعلى هذا فيمكننا تقسيم الإشعاع المؤين إلى قسمين، إشعاعات طبيعية Natural Radioactive، وإشعاعات صناعية Artificial Radioactive، وقد أصبح لهذه الإشعاعات (النووية والذرية) تطبيقات وأسعة في مجالات عديدة منها الصناعي كصناعة الأسلحة وحفظ الأغذية، ومنها الطبي بفرعيه التشخيصي والعلاجي، ومنها الزراعي حيث تحسين المحاصيل الزراعية. وجميع هذه التطبيقات تعتمد على تفاعلات الأشعة المؤينه التي تحدث في المادة.

يتعرض الكائن الحي للمجال الإشعاعي المؤين عن طريق المصادر الإشعاعية خصوصاً الطبيعي منها وبالتالي يتعرض لجرعات إشعاعية دون الشعور بذلك ولذا وجب معرفة كمية الإشعاع المؤين عن طريق قياس وتحديد هذه الجرعات باستخدام الأجهزة والكواشف الإشعاعية الخاصة بذلك. وعلى الرغم من انتشار استخدام الأشعة المؤينة إلا أن لها أضراراً بالغة الخطورة منها الداخلي ومنها الخارجي وقد يتطور الضرر الإشعاعي ويؤدي إلى استثارة الخلايا السليمة Healthy Cells وتحولها إلى خلايا سرطانية Cancerous Cells أو ربما أدى إلى موتها {3}.

(1-2) مشكلة البحث:

يتناول هذا البحث مشكلة الأضرار الناجمة عن الإشعاعات النووية المنبعثة من المواد المشعة، كالآثار التي تسببها للمحيط الحيوي (المملكة النباتية والحيوانية) بما في ذلك الإنسان. وكيفية الوقاية منها.

(1-3) أهمية البحث:

1- يُعد هذا البحث خطوة على طريق الوعي البيئي، كإدارة المخاطر التي تسببها المواد المشعة.

2- يفيد المختصين في برامج حماية البيئة، للتعرف على أسباب التلوث البيئي الناجم عن هذه الإشعاعات وكيفية الحد منها.

3- ينبه المختصين في مجال الطاقة لأخطار الإشعاعات النووية وآثارها على البيئة الطبيعية والسكان.

(1-4) أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى ما يأتي:

1- التعرف على الأضرار الناجمة عن الإشعاعات النووية الصادرة من المواد المشعة، ومدى تأثيرها على المحيط البيئي بما في ذلك الإنسان.

2- التعرف على أنواع التلوث الإشعاعي ومضاره وأخطاره والوقاية منها.

3- التعرف على طرق التخلص من النفايات النووية المشعة.

(1-5) فرضيات البحث:

1- تقوم فرضية البحث على أن للإنسان دوراً كبيراً ومساهمة فعّالة في زيادة نسبة الإشعاعات النووية لاسيما بعد إقامة المفاعلات النووية، كتطور الأسلحة النووية والأجهزة الطبية وتطور الصناعات المختلفة، ومحطات توليد الطاقة وتحلية المياه. وعليه فالسؤال الذي يفرض نفسه هل أسهم تطور الأنشطة الصناعية النووية من قبل الإنسان في زخم الأنشطة الإشعاعية؟

2- هل أدت الانفجارات النووية لكثير من المفاعلات النووية ومنها انفجار مفاعل تشرنوبيل إلى انتشار كثير من الإشعاعات لمساحات كبيرة من العالم، نجم عنها ظهور الكثير من الأمراض والتشوهات الخلقية وغيرها؟

3- هل كان لتخزين النفايات النووية المشعة بطريقة غير آمنة دور كبير في انتشار الأنشطة الإشعاعية الضارة؟

4- هل زادت نسبة النشاط الإشعاعي الطبيعي كالأشعة فوق البنفسجية القادمة مع الإشعاع الشمسي والمواد المشعة الناجمة عن البراكين والزلازل والتقلبات الجوية المختلفة لاسيما بعد ثقب الأوزون؟

5- هل زيادة الوعي البيئي وتنفيذ برامج الأمم المتحدة ومنظمات المجتمع المدني التي تكافح هذه الظاهرة، وكذلك تنفيذ الاتفاقيات الدولية المعنية بالأمر، قد تحد من هذه الظاهرة الخطيرة؟

(1-6) أدوات البحث:

تستخلص معلومات هذا البحث من المصادر العلمية والمراجع .

(1-7) هيكل البحث:

يشتمل هذا البحث على الآتي:

الفصل الأول ويشمل خطة البحث، الفصل الثاني ويحتوي على الإشعاعات المؤينة خصائها ومصادرها، الفصل الثالث ويحتوي على تفاعل الإشعاعات المؤينة مع المادة، الفصل الرابع ويحتوي على آثار وأضرار الأشعة المؤينة، والخاتمة والتوصيات والمصادر والمراجع.

(1-8) الدراسات السابقة:

1- دراسة من إعداد : أ/ منال عبد السلام الحشاني – قسم الكيمياء – كلية التربية – الجامعة الأسمرية الإسلامية بعنوان الآثار والأضرار الناجمة على الإشعاع النووي.

تناولت الدراسة المشاكل وألاضرار الناجمة عن الإشعاعات النووية المنبعثة من المواد المشعة والآثار التي تسببها للمحيط الحيوي وهدفت الدراسة على التعرف على الأضرار الناجمة عن الإشعاعات النووية الصادرة من المواد المشعة وأنواع التلوث الإشعاعي وأخطارة والوقاية منها وطرق التخلص من النفايات المشعة.

2- دراسة من إعداد: م/ إحسان ضياء البيرماني. التربية ابن حيان- قسم الفيزياء. دراسة بعنوان الإشعاعات وتأثيراتها على الإنسان. تناولت الدراسة أنواع الإشعاع النووي ومصادرها وما يسبب التعرض للإشعاع النووي من التغيرات الكيميائية في أنسجة الكائنات الحية مما يؤدي إلى أضرار كبيرة لجسم الكائن الحي وتزداد درجة تلك التغيرات الكيميائية تبعاً بمقدار الجرعة الإشعاعيه التي تم إمتصاصها بواسطة الجسم.

واوصت الدراسة على الوقاية من الإشعاعات بثلاث طرق هي: الزمن والمسافة والحواجز.

3- دراسة من إعداد: حاج حمد دياب الجعلي. جامعة السودان للعلوم والتكنلوجيا. بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير. بعنوان إستخدام الإشعة المؤينة وطرق الوقاية منها.

تناولت هذه الدراسة أنواع الأشعة المؤينة ومصادرها وإستخداماتها وآثارها والوقاية من مخاطرها وقد شملت هذه المصادر، مصادر طبيعية وصناعية. كما تمت دراسة كمية الجرعة الإشعاعية التي يمكن عن يتعرض لها الإنسان من هذه المصادر.

كما تناول جزءً من إستخدامات هذه الأشعة في مجال الطب والزراعة وحفظ الأغذية. كما تناول آثر التعرض لتلك الإشعاعات المؤينة في جسم الإنسان الحي وتناول أيضاً القواعد الأساسية للوقاية من الإشعاعات المؤينة.

الفصل الثاني

الإشعاعات المؤينة

ionizing radiation

2-1 الإشعاع النووي:

الإشعاع النووي هو ظاهرة فيزيائية تحدث في الذرات الغير مستقرة للعناصر وفيه تفقد النواة الذرية بعض جيماتها وتتحول ذرة العنصر إلى عنصر آخر أو إلى نظير آخر من العنصر ذاته.

وتنقسم الأشعة النووية إلى قسمين:

الأشعة المؤينة والأشعة الغير مؤينة.

2-1-1 الأشعة المؤينة:

إن الاشعة المؤينة هي التي تحدث تأيناً في المادة ويمكن أن تكون أشعة كهرومغنطيسية مثل أشعة غاما والأشعة السينية وأشعة بيتا وأشعة الفا والنيرونات عندما تخترق الأشعة المؤينة المادة يحصل العديد من العمليات الفيزيائية والفيزيائية الكيميائية في المادة مما يؤدي إلى إحداث تغييرات في مكونات المادة وخاصة الخلايا الحية والأنسجة والأعضاء في الأنسان والحيوان والنبات {4}.

2-1-2 الأشعةغيرالمؤينة:

إن الأشعة غير المؤينة هي موجات كهرومغنطيسية ذات تردد قليل وطول موجي عالي طاقتها غير كافية لتأين الوسط يطلق عليها مجال فوتونات طاقتها أقل من (**ev** 12) ويمكن تقسيم هذا النوع من الإشعاع إلى إشعاع راديو وإشعاع مكروويف وإشعاع ضوئي (إما فوق بنفسجي أو مرئي أو تحت الأحمر) {5}.

2-2 النشاط الإشعاعيRadioactivity:

تتميز العديد من النظائر، سواء الطبيعية أو الصناعية، أي المجهزة بإستخدام المعجلات أو المفاعلات النووية بخاصية تعرف بإسم النشاط الإشعاعي. والنشاط الإشعاعي عبارة عن تفكك (إضمحلال) نواة النظير تلقائياً إلى نواة أصغر أو نواة ذات قيمة أقل للطاقة، مع إصدار جسيمات نووية مثل جسيمات ألفا أو بيتا أو إشعاعات غاما، وتعرف النظائر التي تحدث لها هذا التفكك بالنظائر المشعة Radioactive isotopes تميزاً لها عن تلك النظائر المستقرة Stable isotopes التي لا تتعرض للتفكك. وتحدث عملية التفكك في النظائر المشعة، سواء كانت في صورة نقية أو تدخل ضمن مركبات كيميائية أو إحيائية، ولا تعتمد عملية التفكك على أي من الظروف الطبيعية مثل الحرارة أو حالة النظير أو غيرها.

2-3 تفكك ألفا $\propto -$decay:

تتميز نوي العناصر الثقيلة (الأثقل من الرصاص) وبعض نوي العناصر الأرضية النادرة بإنخفاض قيمة طاقة الترابط للنيوكلون لذا، فإن هذه النوي غير مستقرة عموماً وتتفكك إلى نوى أخف وأكثر إستقراراً، وينتج ذلك إصدار الفا أو بيتا، مع إصدار إشعاعات غاما في العديد من الحالات فمثلاً تتفكك نواة اليورانيوم – 238 إلى الثوريوم – 234 الأخف وينطلق نتيجة لذلك جسيم ألفا الذي هو عبارة عن نواة ذرة الهيليوم. وتمثل عملية التفكك بالمعادلة التالية:

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + \propto$$

■ **النواة الأم The parent nucleus:**

هي النواة الأصلية النشطة إشعاعياً التي تتفكك مثل نواة اليورانيوم – 238

■ **النواة الوليدة The daughter nucleus:**

هي النواة الناتجة عن التفكك مثل نواة الثوريوم -234 في المثال السابق، ولحدوث تفكك ألفا لنظير معين يجب أن تكون كتلة نواة هذا النظير الأم M_P أكبر من مجموع كتلتي كل من النواة الوليدة M_d وجسيم ألفا $M_\propto$ ، أي يجب أن يتحقق الشرط

$$M_P - (M_d + M_\propto) > 0$$

♦ **طاقة جسيمات ألفا:**

تكون طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن نفس النظير متساوية ومساوية تقريباً للمقدار

$$\{M_P - (M_d + M_\propto)\}c^2$$

لذلك تعتبر جسيمات ألفا بصمة من بصمات النظير المشع لها.

♦ **جسيمات ألفا $\propto -$decay**

هي عبارة عن نواة ذرة الهليوم المكون من بروتونين ونيوترونين وهي بذلك عبارة عن جسيمات مشحونة، تبلغ شحنتها ضعف شحنة البروتون. لذا فإنه يمكن التحكم في مسارها بإستخدام مجالات كهربية أو مغنطيسية كما يمكن تعجيلها أي تسريعها بإستخدام المعجلات النووية إلى قيم عالية للطاقة، وتنتمي هذه الجسيمات الى مجموعة الجسيمات النووية المشحونة الثقيلة {4}.

4-2 تفكك بيتا $\beta - decay$:

كي تكون نواة نظير معين مستقرة يجب أن تكون النسبة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات في هذه النواة (N/Z) نسبة معينة.

وتتراوح هذه النسبة بين النظائر الخفيفة وتزداد حتى تصل الى حوالي 1.6 بالنسبة للنظائر الثقلية. فمثلا يلاحظ أن نواة نظير الكربون 12 $(^{12}_{6}C)$ مستقرة حيث أن نسبة النيوترونات الى البروتونات

N/Z=6/6 وتعتبر هذه النواة من النوي الخفيفة. أما نواة نظير الكربون 14 $(^{14}_{6}C)$ فهي غير مستقرة حيث أن هذه النسبة تصبح N/Z = 8/6 = 1.33

وينقسم تفكك بيتا إلى ثلاثة أنواع هي:

أ/ التفكك الإلكتروني (تفكك بيتا السالب) The electron decay:

إذا زادت نسبة النيوترونات إلى البروتونات عن القيمة المحددة من منحنى الإستقرار بالنسبة للنظير ذي المحدد الكتلي المعين، فإن هذا يعني أن النواة تحاول أن تصل إلى حالة الإستقرار وذلك عن طريق تحول نيوترون أو أكثر داخل النواة إلى بروتون ونتيجة لتحول النيوترون المتعادل إلى بروتون موجب الشحنة يطلق علية إسم جسيم بيتا السالب، وقد ثبت أنه أثناء عملية التحول هذا ينطلق جسيم آخر من النواة يعرف بالنيوترينو المضاد Y. أي أن عملية التفكك الإلكتروني هي عبارة عن تحول نيوترون داخل النواة إلى بروتون وإنطلاق إلكترون (جسيم بيتا ونيوترينو مضاد) ويمثل هذا التفكك بالمعادلة التالية :

$$^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{p} + e^{-} + \nu^{-}$$

ويحدث هذا النوع من التفكك في عدة مئات من النظائر غير المستقرة (المشعة) حيث تتكون نواة عنصر جديد نتيجة لزيادة عدد البروتونات في النواة الوليدة بمقدار بروتون واحد مثال لذلك:

$$^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + e^{-} + \nu^{-}$$

$$^{60}_{27}\mathrm{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\mathrm{Ni} + e^{-} + \nu^{-}$$

ب/التفكك البوزتروني (تفكك بيتا الموجب) The positron decay:

هي عبارة عن تحول أحد بروتونات النواة إلى نيوترون وإنطلاق بوزترون (جسيم بيتا موجب) ونيوترين ν مثال لذلك:

$$^{1}_{1}\mathrm{p} \rightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + e^{+} + \nu$$

وتوجد عدة مئات من النظائر التي يحدث فيها النوع من التفكك، حيث يقل العدد الذري للنواة الوليدة بمقدار واحد أو يتكون نظير عنصر جديد مثال لذلك:

$$^{22}_{11}\mathrm{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\mathrm{Ne} + e^{+} + \nu$$

ج/ الأسر الإلكتروني The electron capture:

عندما تكون نسبة النيترونات إلى البروتونات قليلة، يمكن أن تتحول النواة بأسلوب آخر، حيث تأسر النواة الأم أحد الإلكترونات الذرية من المدارات القريبة منها ثم يتحد هذا الإلكترون مع أحد بروتونات النواة، فيتحول هذا البروتون إلى نيوترون دون إنطلاق أي من جسيمات بيتا خارج النواة ولكن ينطلق النيوترينو. ويمثل الأسر الإلكتروني بالمعادلة التالية:

$$^{1}_{1}\mathrm{p} + e^{-} \rightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + \nu$$

♦ جسيمات بيتا $\beta - decay$:

تنقسم جسيمات بيتا إلى نوعين هما:

♦ جسيمات بيتا السالبه (الإلكترونات) وجسيمات بيتا الموجبة (البوزترونات)

والبوزوترون هي عبارة عن جسيم مساو في كتلتة للإلكترون ولكن شحنته موجبة. ولما كانت كانت هذه الجسيمات مشحونة فإنه يمكن التحكم في مسارها بإستخدام المجالات الكهربائية أو المغنطيسية، كما يمكن تعجيلها إلى طاقات عالية ، وتنتمي جسيمات بيتا إلى فئة الجيسمات المشحونة الخفيفة.

♦ النيوترينو The neutrino:

هو عبارة عن جسيم ذي كتلة سكون مساوية للصفر تقريباً ولا يحمل أي شحنة {1}.

♦ **طاقة جسيمات بيتا:**

إن طاقة جسيمات بيتا الصادرة عن نفس النظير تتخذ قيمآ مختلفة تبدأ من الصفر ولكنه لا تتجاوز قيمة الطاقة الكلية الناتجة عن التفكك، بذلك فإن قياس طاقة جسيمات بيتا لا يدل عن هوية المصدر الذي يصدرها {4}.

2- 5 إشعاعات غاما Gamma radiation:

في أغلب الاحيان تكون النوي الوليدة الناتجة عن تفكك ألفا أو تفكك بيتا في حالة مثارة Excited states ويعني هذا أن طاقة النواة تكون أعلى من طاقتها في الحالة المستقرة (الأرضية) ولا تستطيع النواة أن تعيش في هذه الحالة المثارة طويلاً ولكنها سرعان ما تنتقل إلى حالة أقل إثارة أو إلى الحالة الأرضية وتتخلص من الطاقة الزائدة عن طريق إصدار إشعاعات كهرومغنطيسية، تعرف بإسم إشعاعات غاما.

وإشعاعات غاما عبارة عن فوتونات (موجات كهرومغنطيسية) كالفوتونات الضوئية، ولكن ترددها عال جدآ (أي أنها ذات طاقة عالية جدآ) بالمقارنة بالإشعاعات الضوئية.ويوجد العديد من مصادر إشعاعات غاما. فمثلاً يعتبر كل من الكوبلت- 60 والسيزيوم-137 من مصادر إشعاعات غاما حيث تتفكك هذه النظائر أولاً عن طريق تفكك بيتا السالب فتتكون نظائر النيكل- 60 والباريوم- 137 بالترتيب في حالات مثارة وينتج عنة إصدار إشعاعات غاما عند تحول هذه النظائر الأخيرة من الحالة المثارة الى الحالة الأرضية وهناك نظائر مشعة تطلق فوتونات غاما مباشرة دون حدوث تفكك ألفا أو بيتا. ومن هذه النظائر نظير التكنيشيوم – 99م ($99m_{Tc}$) حيث ينتج هذا النظير عن تفكك نظير المولبدنيوم – 99 من خلال تفكك بيتا ويتكون التكنيشيوم-99م في حالة مثارة ، إلا أنها شبه مستقرة حيث يبلغ العمر النصفي لهذه الحالة 6 ساعات. وبالتالي يعتبر نظير التكنيشيوم – 99م نظيراً مشعاً لفوتونات غاما. ولهذا النظير إستخدامات متعددة وواسعة في تشخيص العديد من الأمراض وإنسداد وضيق الشرايين والجلطات وغيرها من خلال حقنه في المريض وتتبع سريان النظير في الأوعية الدموية والأعضاء المختلفة للمريض.

♦ **فوتونات غاما:**

تجدر الإشارة إلى أن كل نظير مشع يصدر فوتوناته بطاقة واحدة او بقيم محددة للطاقة. فإنه بقياس طاقة أو طاقات الفوتونات المنبعثة من نظير معين يسهل تحديد هوية هذا النظير مباشرة، وبالتالي يقال ان إشعاعات غاما الصادرة عن نظير ما هي بمثابة بصمة لهذا النظير.

6-2 النيوترونات ومصادرها:

النيوترونات هي جسيمات متعادلة الشحنة. لذا فهي لا تتأثر بالمجالات الكهربائية أو المغنطيسية وعموماً، فإنه لا توجد في الطبيعة أي نظائر مشعة للنيوترونات ولكنه يمكن إنتاج نظير إصطناعي يستخدم كمصدر للنيوترونات وهو نظير الكاليفورنيوم-252 الذي يصدر الميكروجرام الواحد منه حوالي 2 مليون نيوترون في الثانية. وتتراوح طاقة النيوترونات المنطلقة من هذا النظير بين حوالي 0.1 إلى 7 م.إ.ف وتوجد عدة مصادر أخرى للنيوترونات أهمها:

أ/ مصدر الراديوم – بريليوم Ra-Be source:

وهو عبارة عن خليط من كل من نظير الراديوم -226 والبريليوم -9 فالراديوم نشط إشعاعياً ويصدر جسيمات ألفا. وعند تصادم جسيم ألفا مع نواة البريليوم -9 يحدث تفاعل نووي ينتج عنه تكّون نواة كربون وينطلق نيوترون طبقاً للتفاعل التالي:

$$\propto + {}^{9}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

إلا أن هذا النوع من المصادر النيوترونية لم يعد متداولاً نظراً لأن الراديوم -226 يصدر من خلال نويداتة الوليدة مثل الرصاص – 214 والبولونيوم -214 كميات كبيرة من إشعاعات غاما وقد حل محل هذا المصدر حالياً مصادر الاميريشيوم -241 – بريليوم -9 .

ب/ مصدر الأميريشيوم – بريليوم Am-241 – Be-9:

يحضر هذا النوع بطحن كمية محددة من نظير الأميريشيوم 241- مع عدد محدد من الجرامات من البريليوم- 9 المسحوق، حيث يصدر الأميريشيوم جسيمات ألفا التي تتفاعل مع نوي البريليوم

فتصدر النيوترونات بنفس المعادلة السابقة. ويتميز الأميريشيوم −241 على الراديوم −226 بأنه لا يصدر سوى كمية ضئيلة من إشعاعات غاما وبطاقة صغيرة هي 59.5 ك.إ.ف ويعطي هذا المصدر نفس المردود النيوتروني لمصدر الراديوم – بريليوم وبمدى طاقات نيوترونية يغطي نفس المدى من 1 حتى حوالي 10 م.إ.ف.

ج/ مصدر النيوترونات الفوتوني The photo neutron source:

يستخدم هذا النوع من المصادر النيوترونية أحد مصادر إشعاعات غاما بدلاً من مصدر جسيمات ألفا وعند سقوط فوتون غاما على نواة البريليوم ينتج عن ذلك تكون جسمين من جسيمات ألفا وإنطلاق نيوترون طبقاً للتفاعل التالي:

$$\gamma + {}^{9}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow \ 2{}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

ولكي يحدث هذا التفاعل يجب ألا تقل طاقة فوتون غاما عن 1.67 م.إ.ف. لذا فإنه يمكن إستخدام مصدر الصوديوم −24 الذي يصدرإشعاعات غاما بطاقة مقدارها 2.76 م.إ.ف ويوضع الصوديوم −24 مع البريليوم −9. يمكن الحصول على مصدر نيوتروني يتميز عن المصادر السابقة بأن طاقة النيوترونات تتخذ قيمة واحدة بدلاً من طيف الطاقة المستمر من المصادر السابقة.

د/ معجلات الجسيمات المشحونة:

يمكن الحصول على نيوترونات ذات طاقة محددة، وذلك بقذف بعض النوى الخفيفة بالجسيمات المشحونة كالبروتونات أو الديوترونات المعجلة حتى طاقة معينة ومن أمثلة ذلك:

$${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{9}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow \ {}^{10}_{5}\mathrm{B} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} + 4.35\ \mathrm{mev}$$

$${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow \ {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} + \ 3.29\ \mathrm{mev}$$

$${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow \ {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} + \ 17.6\ \mathrm{mev}$$

وعموماً يستخدم التفاعل الثالث لعمل مولدات النيوترونات Neutron generators التي إنتشرت إستخدامها خاصة في التطبيقات الصناعية المتعددة، حيث يتم تعجيل الديوترونات حتى طاقة مقدارها 150 ك.إ.ف ويقذف بها هدف من التريشيوم (النظير الثالث للهيدرجين) فتنطلق النيوترونات

ويمكن الحصول على عدد من النيوترونات يصل إلى حوالي 10^{11} نيوترون في الثانية بطاقة ثابتة هي 14.1 م.إ.ف من هذا المولد.

هـ/ المفاعلات النووية Nuclear reactor:

تعتبر المفاعلات النووية من أكبر مصادر النيوترونات على الإطلاق حيث يمكن أن تتراوح كثافة التدفق النيوتروني داخل المفاعل ما بين 10^{13} حتى10^{19} نيوترون/ثانية . $2_{سم}$. وتنتج النيوترونات داخل المفاعلات عن إنشطار نوى اليورانيوم. يؤدي الى ما يعرف بالتفاعل المتسلسل Chain reactionحيث تبدأ نواة واحدة بالإنشطار تؤدي إلى خروج عدد معين من النيوترونات وليكن هذا العدد أثنين، ويؤدي هذان النيوترونات إلى إنشطار نواتين جديدتين فيصبح عدد النيوترونات 4 تؤدي بدورها إلى إنشطار 4 نوى جديدة، فيزداد عدد النيوترونات المنطلقة إلى ثمانية. وهكذا إلى أن يصل عدد النيوترونات إلى حد معين يجب ألا يتخطاه وإلا إنفجر المفاعل.

2-7 قانون التفكك الإشعاعي The radioactive decay law:

يعتبر التفكك الإشعاعي مع إصدار جسيم ألفا أو بيتا أو فوتون غاما عملية إحصائية بحتة. ويرجع السبب في ذلك إلى أنه لا يمكن معرفة الوقت الذي تتفكك فيه نواة معينة. فعند وجود نواة واحدة غير مستقرة فإنة يمكن أن تفكك هذه النواة في الحال أو خلال ثانية أو بعد ساعة أو يوم أو عدة ملايين من السنوات. فعند وجود عدد معين من النوى النشطة وليكن N_0 في لحظة معينة من الزمن، فإنه يمكن تحديد عدد النوى المتبقية N دون تفكك خلال زمن مقداره t وذلك من العلاقة التالية:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

ويعرف هذا القانون بإسم القانون الأسي للتفكك الإشعاعي.

♦ ثابت التفكك الإشعاعي(λ) The decay constant:

عبارة عن إحتمال تفكك نواة واحدة معينة في ثانية واحدة. ووحدة قياس هذا المعامل هو مقلوب الثانية ($\frac{1}{\text{ثانية}}$).

2-8 الشدة الإشعاعية أو النشاط الإشعاعي The activity:

يسمى عدد النوى التي تتفكك في الثانية الواحدة من عينة مشعة بإسم الشدة الإشعاعية للعينة أو النشاط الإشعاعي للعينة. ويرمز للشدة الإشعاعية في لحظة إعداد العينة بالرمز A_0 وبمرور الوقت تتناقص الشدة الإشعاعية (A) للعينة تبعاً للعلاقة:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

وتُحسب الشدة الإشعاعية للعينة من واقع عدد الذرات المشعة الموجودة في هذه العينة فإذا كان N_0 عدد الذرات المشعة الموجودة في العينة في لحظة معينة، وكان λ هو ثابت التفكك لهذا النظير يكون إحتمال تفكك العدد N_0 من الذرات في الثانية الواحدة هو النشاط الإشعاعي A_0 أي عدد التفككات التي تحدث في العينة في الثانية الواحدة أي أن:

$$A_0 = N_0 \lambda$$

- **عمر النصف Half-life($t_{\frac{1}{2}}$):**

عمر النصف($t_{\frac{1}{2}}$) للنظير المعين هو عبارة عن الفترة الزمنية التي تنخفض خلالها الشدة الإشعاعية للعينة المجهزة من هذا النظير الى النصف.

$$t_{\frac{1}{2}} = {0.693}/{\lambda}$$

إن العمر النصفي لكل نظير مشع هو مقدار ثابت لا يتغير إطلاقاً ويعتبر بصمة من بصمات هذا النظير.

2-9 وحدات قياس الشدة الإشعاعية:

كانت الوحدة الأساسية لقياس الشدة الإشعاعية للعينة هي الكوري Curie (Ci) وأجزاؤه، وهي الميلي كوري (mCi) والميكرو كوري (MCi) والكوري وحدة كبيرة، حيث أن العينة التي تبلغ شدتها 1 كوري هي تلك العينة التي يحدث فيها 3.7×10^{10} تفككاً في الثانية.

العلاقة بين بعض أجزاء الكوري ووحدة النظام المعياري العالمي المعروفة بالبكرل.

1 كوري = 3.7×10^{10} تفكك في الثانية أو بكرل

1 ملي كوري = 3.7×10^{7} بكرل

1 ميكرو كوري = 3.7×10^{4} بكرل

وتستخدم الآن الوحدة المعيارية الدولية لقياس الشدة الإشعاعية في النظام المعياري الدولي وهذه الوحدة هي البكرل Bequeral والبكرل عبارة عن تفكك واحد في الثانية الواحدة. ونظراً لصغر هذه الوحدة تستخدم في كثير من الأحيان مضاعفاتها وهي:

1 كيلو بكرل = 10^{3} بكرل

1 ميغا بكرل = 10^{6} بكرل

1 غيغا بكرل = 10^{9} بكرل {4}.

2- 10 الأشعة السينية X-Rays:

الأشعة السينية هي عبارة عن موجات كهرومغنطيسية تشبه موجات الضوء المرئي أو إشعاعات غاما، إلا أنها لا ترى مثل إشعاعات غاما. وتختلف الأشعة السينية عن هذه الموجات بشريحة ترددتها أو شريحة أطوال موجاتها. وتتراوح أطوال موجات الأشعة الأشعة السينية بين حوالي 1×10^{17} هيرتز وحتى حوالي 3×10^{20} هيرتز. وعموماً تتداخل شريحة ترددات الأشعة السينية مع ترددات أشعة غاما عند تردد يبلغ حوالي 1×10^{18} هيرتز وحتى ما يزيد على 1×10^{23} هيرتز، وأهم ما يميز الأشعة السينية عن إشعاعات غاما رغم تداخلهما من حيث التردد وبالتالي الطاقة هو أن أشعة غاما تصدر من نواة الذرة عند إنتقال النواة من حالة مثارة إلى حالة أقل إثارة أما الأشعة السينية فهي لا تصدر على الإطلاق من النواة وإنما تصدر إما عن إعادة ترتيب الإلكترونات بين مدارات الذرة، أو عند حدوث إنكباح شديد (أي تناقص شديد في سرعة الجسيمات المشحونة

الخفيفة مثل الإلكترونات) بسبب تأثر هذه الإلكترونات بمجال كهربائي شديد يفرمل حركتها، ولذلك يوجد نوعان من الأشعة السينية هما الأشعة السينية المميزة للعنصر والأشعة السينية الإنكباحية.

أ/ الأشعة السينية المميزة للعنصر Characteristic X-Rays:

ينطلق هذا النوع من الأشعة السينية عند إنتقال الإلكترونات من مدارات ذرية ذات طاقة أعلى إلى مدارات ذات مستوى طاقة أقل. فعند وجود فراغ إلكتروني في مدار ما ذي طاقة أقل ينتقل أحد الإلكترونات من مدار ذي طاقة أعلى ليشغل هذا الفراغ في المدار الأدنى، وبالتالي ينطلق في نفس اللحظة فوتون أشعة سينية (موجة كهرومغنطيسية) حاملا فرق طاقتي الإلكترون في المدارين، وحيث أن طاقات الإلكترون في المدارات الذرية محددة وثابتة للعنصر الواحد ومختلف من عنصر لآخر فإنه تتخذ فوتونات الأشعة السينية المنطلقة نتيجة لهذا الإنتقال قيماً محددة وثابتة للطاقة بالنسبة للعنصر واحد.

وتختلف هذه القيم بإختلاف العنصر. وعند إثارة إلكترونات ذرات العنصر بأية وسلية من وسائل الإثارة ينطلق أشعة سينية بخطوط طيفية محدده وثابتة الطاقة لهذا العنصر تميزه عن غيره من العناصر. لذلك يطلق على هذا الأشعة إسم الأشعة السينية المميزة ويستخدم هذا النوع من الأشعة في عمليات التحليل الكيفي والكمي للعناصر.

ب/ الأشعة السينية الإنكباحية Bremsstrahlung X-Rays:

ذُكر أن الأشعة السينية الإنكباحية تتولد عند حدوث فرملة شديدة للإلكترنات، أو لأي جسيم مشحون خفيف وسريع بصفة عامة نتيجة تأثره بمجال كهربائي كابح شديد للإلكترونات أو للنوى فالطاقة التي يفقدها الإلكترون أو الجسيم المشحون الخفيف بسبب التناقص الشديد لسرعتة تنطلق في صورة موجة كهرومغنطيسية تحمل فرق طاقتي الإلكترون قبل وبعد الفرملة.

ومن أمثلة الأشعة السينية الإنكباحية تلك الأشعة المستخدمة التي يتم توليدها في أنابيب الاشعة السينية المستخدمة لأغراض التشخيص أو العلاج الطبي أو للأغراض الصناعية المختلفة. وتعتمد كثافة الأشعة السينية المنطلقة على طاقة الإلكترونات وعلى نوع مادة المهبط. ويتميز طيف الأشعة

السينية بأنه طيف مستمر، أي أن طاقة فوتونات الأشعة السينية تتراوح بين الصفر وبين أقصى قيمة لطاقة الإلكترونات المعجلة {2}.

الفصل الثالث

تفاعل الإشعاعات مع المادة

Interaction of radiation with matter

ليس المقصود من هذا الباب التعرف على التفاعلات النووية، التي يمكن أن تحدثها الإشعاعات في المادة، ولكن المقصود هو التعرف على قدرة هذة الإشعاعات على النفاذ خلال المادة أو قدرة المادة على إمتصاص أو إيقاف النوع المعين من الإشعاعات.

ومن هذا المنطلق تنقسم الإشعاعات المؤينة إلى أربعة أنواع هي:

1/الجسيمات المشحونة الثقيلة: وتشمل جسيمات ألفا والديوترونات والبرتونات وغيرها من الأيونات.

2/الجسيمات المشحونه الخفيفة: وهى جسيمات بيتا (الإكترونات والبوزيترونات) وما شابهها.

3/الإشعاعات الكهرومغنطيسية: وهى إشعاعات جاما والاشعة السينية.

4/النيوترونات.

3-1 انتقال الطاقة من الجسيمات المشحونة الثقيلة للمادة:

عند سقوط الجسيمات المشحونة الثقيلة على المادة تنتقل طاقة هذه الجسيمات الى المادة بالتدريج، ويحدث هذا الانتقال نتيجة التصادمات اللامرنه بين الجسيمات الساقطة والإلكترونات المدارية لذرات المادة.

ففي كل تصادم ينتقل جزء من طاقة الجسيم الساقط إلى أحد الإلكترونات. فإذا كانت الطاقة المنتقلة صغيرة نتج عن ذلك انتقال الإلكترونات من مداره الى مدار ذي طاقة أعلى، ويقال أن الذرة أصبحت مثارة. أما إذا كانت الطاقة المنتقلة كبيرة فإن الإلكترون ينطلق تاركاً الذرة مما يؤدى إلى تأينها، أي تكّون ذرة ينقصها إلكترون وتُعرف بالأيون ويرحل الإلكترون بعيداً عن ذرته الأم، وهكذا تفقد

الجسيمات الثقيلة طاقتها عن طريق إثارة أو تأيين ذرات المادة فعند دخول جسيم ألفا مثلاً الى المادة تتناقص طاقته وبالتالى تقل سرعته بالتدريج. وقبل أن يتوقف جسيم ألفا يتبادل الإلكترونات مع المادة فيتحول إلى ذرة هليوم متعادلة. ونتيجة لتأيين المادة يتكون عدد من الأزواج الإلكترونيه – الايونيه {6}.

♦ مدى الجسيمات الثقيلة فى المادة:

مدى الجسيم فى المادة هو عبارة عن المسافة المستقيمة التى يقطعها الجسيم فى المادة الى ان يتوقف تماماً. ويعتمد مدى الجسيمات الثقيلة فى أى مادة على نوع المادة وعلى طاقة هذه الجسيمات ،ويقل كلما زادت كثافة المادة، ويزيد كلما زادت طاقة الجسيمات وعموماً، فإن مدى الجسيمات الثقيلة صغير، وقدرة إختراقها صغيرة. لذا، فإن هذه جسيمات لا تحتاج الى حواجز سميكة للوقاية منها حيث يبلغ مدى جسيمات ألفا بطاقة 5 ميغا إلكترون فولت فى الهواء حوالى 3.5 – 4 سم حيث لا يزيد مدى هذه الجسيمات فى النسيج البشرى على حوالي 40 ميكرون.

3-2 تفاعل الجسيمات المشحونه الخفيفة مع المادة:

تنتمي جسيمات بيتا الى فئة الجسيمات المشحونة الخفيفة. وتقل كتلة جسيمات بيتا عن كتلة جسيم ألفا بحوالى 7360 مرة. لذلك تكون سرعة جسيمات بيتا أعلى من سرعة جسيمات ألفا بالطاقة نفسها بحوالى 86 مرة لهذا السبب، تقترب سرعة جسيمات بيتا بطاقة حوالى (1 م إف) من سرعة الضوء التى تبلغ 3×10^8 م/ث.

عند السرعات القريبة من سرعة الضوء ونظراً لصغر كتلة جسيم بيتا فإن نتيجة قوى كولوم المتوالدة بين هذه الجسيمات وبين الإلكترونات المدارية والنوي تحدث لجسيمات بيتا فرملة (أى انكباح أو تسارع سالب).

ويؤدى ذلك التسارع السالب الى تولد موجة كهرمغنطيسية تعرف بأشعة الإنكباح (أو الأشعة السينية الإنكباحيه). لذلك، فإنه عند مرور جسيمات بيتا فى المادة فإنها تنقل طاقتها الى ذرات هذه المادة من خلال عملية التأيين والإثارة، جنباً الى جنب مع عملية إنتاج أشعة الانكباح. وتعتمد نسبة الطاقة

التى تفقدها جسيمات بيتا على التأيين والأثارة وتلك التى تفقدها على إصدار أشعة الانكباح على كل من طاقة هذه الجسيمات وعلى العدد الذري للمادة التى تتفاعل معها هذه الجسيمات.

فعند الطاقات العالية لجسيمات بيتا (أكثر من عدة ميغا إلكترون فولت) وعند الأعداد الذرية الكبيرة للمادة المتفاعلة، تكون الآلية السائده للتفاعل بين جسيمات بيتا والمادة هي إصدار أشعة الإنكباح. أما عند الطاقات المنخفضة لهذه الجسيمات (عدة عشرات أو مئات الكيلو إلكترون فولت) وعند الأعداد الذرية القليلة للمادة المتفاعلة تكون الآلية الرئيسة للتفاعل هي التأيين والإثارة. وعند الطاقات المتوسطة (حوالي 1م إ ف) والأعداد الذرية المتوسطة تسهم كل من الآليتين بنسب متقاربة فى انتقال الطاقة من الجسيمات للمادة.

ومن الخصائص الأخرى التى تميز تفاعل جسيمات بيتا عن تفاعل جسيمات ألفا مع المادة هو أن مسار جسيمات بيتا فى المادة مساراً منكسراً نظراً لخف وزن جسيم بيتا، بخلاف مسارات جسيمات ألفا التى تكون دائماً خطاً مستقيماً.

إن السرعة الكبيرة لجسيمات بيتا تجعل زمن التفاعل زمناً صغيراً جداً، بحيث يكون زمن التفاعل محدود للغاية. لهذا السبب، فإن مدى جسيمات بيتا أكبر كثيراً من مدى جسيمات ألفا، حيث يتراوح هذا المدى عند طاقة تبلغ حوالى (1 م إ ف) فى الهواء، عند الظروف المعيارية للضغط ودرجة الحرارة، بين 4–5 متراً، فى حين يبلغ مدى هذه الجسيمات فى الماء أو جسم الإنسان حوالي 6 – 8 مم، وفى الألمونيوم حوالي 2 – 3 مم.

وقد تبين أنه عند سقوط حزمة متوازية من هذه الجسيمات على مادة ما فإنه يتناقص عدد هذه الجسيمات كما تتناقص طاقتها، كلما زاد عمق تغلغلها داخل المادة، وذلك بخلاف جسيمات ألفا التي تتناقص طاقتها دون عددها ويعود السبب فى ذلك إلى:

أ/ طيف جسيمات بيتا مستمر بحيث أن الجسيمات منخفضة الطاقة تفقد طاقاتها خلال طبقة رقيقة من المادة، فى حين تستطيع الجسيمات عالية الطاقة أن تخترق لمسافات أبعد.

ب/ إنحراف نسبة كبيرة من جسيمات بيتا عن إتجاهه الأصلي بسبب تساوي كتل الجسيمات المتفاعلة.

ونتيجة لذلك، يتناقص عدد هذه الجسيمات (N) كدالة من مسافة التغلغل (X) عن العدد الساقط فى الحزمة المتوازية N_0، وفقاً للقانون الأُسي التالي:

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

ويعرف المعامل μ بمعامل التوهين الخطى، ووحدة قياسة هي (1/سم).

3-3 تفاعل إشعاعات جاما والأشعة السينية مع المادة:

عند سقوط حزمة من الاشعة السينية أو أشعاعات جاما على مادة ما، يمكن أن تتفاعل فوتونات الحزمة مع ذرات المادة بصفة أساسية، من خلال آلية من ثلاث آليات هى:

- الظاهرة الكهرضوئية (The photo –electric effect)
- استطارة (تشتت) كمبتون(Compton scattering or effect)
- إنتاج الأزواج (Pair production)

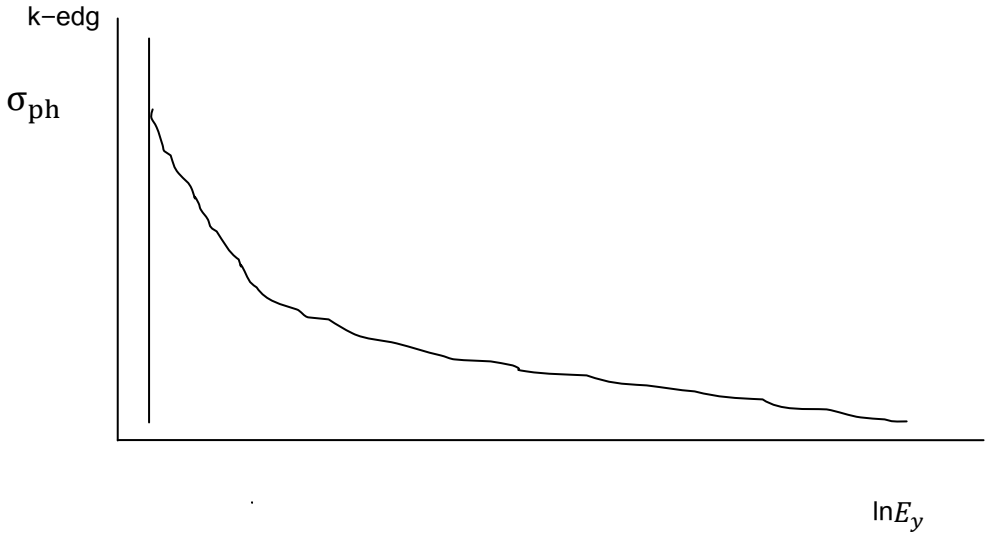
3-3-1 الظاهرة الكهروضوئية:

تحدث هذه الظاهرة عندما يقترب أحد الفوتونات الساقطة من أحد الإلكترونات شديدة الترابط بنواة الذرة (أى من أحد إلكترونات القشرة K بصفة أساسية أو القشرة L بصفة أقل). ونتيجة للتفاعل بين المركبة الكهربائية لموجة الفوتون والمجال الكهربائى لهذا الإلكترون، يفنى الفوتون تماماً (أي ينعدم من الوجود) ويمنح طاقته لهذا الإلكترون، فينطلق الإلكترون حاملاً طاقة الفوتون بالكامل، بإستثناء جزء منها، يستنفذ فى فك الترابط بين الإلكترون وذرته الأم. ويعرف الإلكترون المنطلق، عندئذ بالإلكترون الكهرضوئى (photo–electron) الذى تحدد طاقته E_e بدلالة طاقة الفوتون E_γ تُعطى

طاقة ترابط الإلكترون B بالعلاقة:

$$\mathbf{E}_{\boldsymbol{e}} = \boldsymbol{E}_{\gamma} - \boldsymbol{B}$$

ويعتمد المقطع العرضى σ_{ph} للظاهرة الكهرضوئية إعتماداً شديداً على العدد الذرى للمادة المتفاعلة، حيث يتناسب هذا المقطع مع Z^4 أو Z^5 . والمقطع العرضى σ_{ph} لأي عملية نووية عموماً، هو إحتمال حدوث هذه العملية عندما يسقط جسيم واحد عمودي على مساحة 1سم تحتوى على ذرة واحده كهدف ويقاس المقطع العرضي بوحدة البارن الذى يعبر عن المساحات النووية (حيث أن 1بارن $=1\times10^{-24}$ سم) يعتمد المقطع العرضي للظاهرة الكهرضوئية إعتمادا شديداً على طاقة الفوتون الساقط E_{γ}، حيث يكون هذا المقطع كبيراً جداً عند الطاقات المنخفضة (عشرات الكيلو إلكترون فولت)، ويتناقص تناقصاً سريعاً بزيادة الطاقة بصورة تكاد تكون أُسية. ويبين شكل (3−1) كيفية تغير المقطع العرضى للظاهرة الكهرضوئية بتغير طاقة الفوتون الساقط.



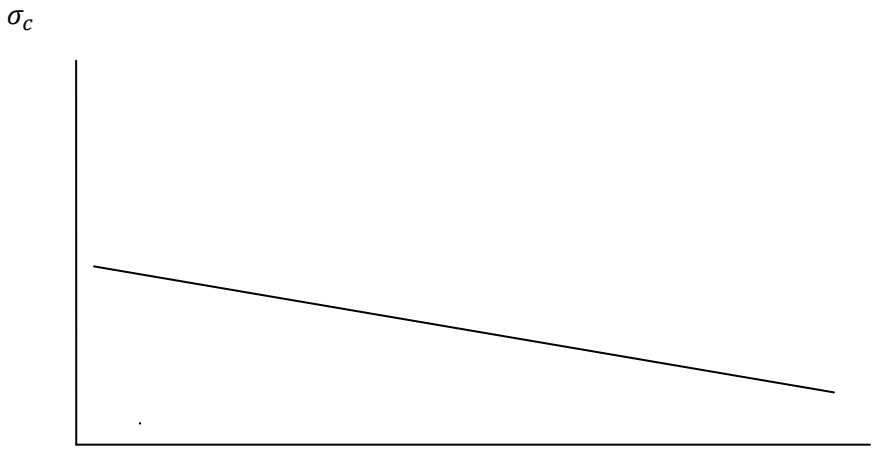
(3−1) كيفية إعتماد المقطع العرضى للظاهرة الكهرضوئية على طاقة الفوتونات

3−3−2 إستطارة (تشتت) كمبتون:

تحدث هذه الظاهرة عندما يقترب أحد الفوتونات الساقطة على المادة من أحد الإلكترونات الحرة أو ضعيفة الترابط بنواة الذرة (أي أحد إلكترون القشرات البعيدة عن النواة). ونتيجة للتفاعل بين المركبة

الكهربائية لموجة الفوتون والمجال الكهربائى لهذا الإلكترون، ينحرف الفوتون عن مساره الأصلي ويقال أنه إستطار (أي تشتت أو إنحرف عن مساره). وتنخفض طاقة الفوتون بدرجة أكبر كلما زادت زاوية إنحرافه ويمنح فرق طاقتي الفوتون قبل الإنحراف وبعده للإلكترون الذي حدث عليه التشتت، فينطلق هذا الالكترون المعروف بإسم إلكترون كمبتون حاملاً فرق الطاقتين بذلك يقال أن إستطارة كمبتون تنتج فوتوناً منحرفاً عن المسار الأصلي بطاقة أقل، وإلكترون كمبتون يحمل فرق طاقتي الفوتون قبل وبعد التشتت.

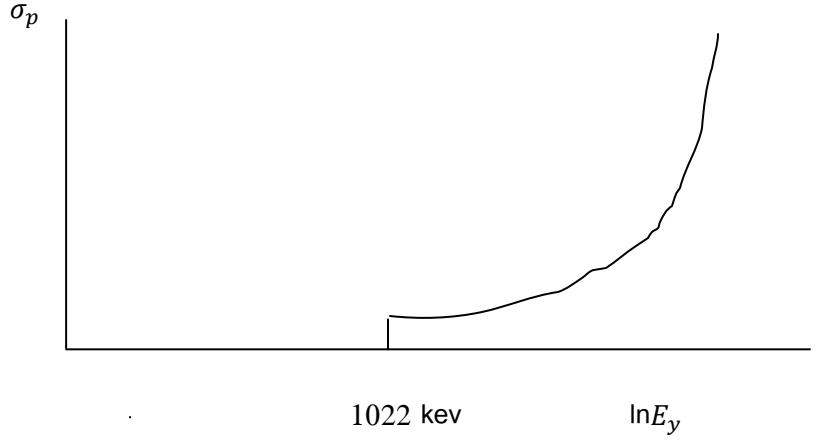
ويعتمد المقطع العرضى σ_c لتشتت كمبتون بدوره على كل من العدد الذرى للمادة المتفاعلة وعلى طاقة الفوتون. إلا أن إعتماد هذا المقطع على العدد الذري يعتبر ضعيفاً نسبياً بالمقارنه بالمقطع العرضى للظاهرة الكهرضوئية. فالمقطع العرضي لتشتت كمبتون يعتمد إعتماداً خطياً على العدد الذري كذلك يعتمد المقطع العرضي لتشتت كمبتون على طاقة الفوتون الساقط إعتماداً بطيئاً نسبياً بالمقارنة بالمقطع العرضي للظاهرة الكهرضوئية. ويبين الشكل (3− 2) كيفية تغير المقطع العرضى لتشتت كمبتون بتغير طاقة الفوتون.



(3− 2) كيفية تغير المقطع العرضى لتشتت كمبتون بتغير طاقة الفوتون

3-3-3 إنتاج الأزواج:

تحدث هذه الظاهرة عندما يقترب أحد الفوتونات الساقطة على المادة من نواة ذرة، شريطة ألا تقل طاقة هذا الفوتون عن 1022 ك. إ. ف ونتيجة للتفاعل بين المركبة الكهربائية لموجة الفوتون الساقط والمجال الكهربائى الشديد لنواة الذرة، يفنى الفوتون الساقط تماماً وينبعث من النواة زوج مكون من جسيم بيتا سالب (إلكترون) وجسيم بيتا موجب (بوزترون). ويستهلك مقدار الطاقة المبين وهو 1022 ك. إ. ف لتكوين كتلتى الإلكترون والبوزترون من العدم. لذلك لا يحدث إنتاج الأزواج إلا اذا زادت طاقة الفوتون الساقط عن هذا المقدار. وعند زيادة طاقة الفوتون الساقط عن 1022 ك. إ. ف تتوزع الطاقة الزائدة بالتساوي، كطاقة حركية بين كل من الإلكترون والبوزترون. ويعتمد المقطع العرضى σ_p لإنتاج الأزواج بدوره على كل من طاقة الفوتون. وعلى العدد الذرى حيث يعتمد على Z^2 ويبين الشكل (3- 3) كيفية تغير المقطع العرضى لإنتاج الأزواج بتغير طاقة الفوتون.



(3- 3) إعتماد المقطع العرضى لإنتاج الأزواج على طاقة الفوتون

ونتيجة لانطلاق الالكترونات الكهرضوئية أو إلكترونات كمبتون أو أزواج الالكترونات والبوزترونات بسب أى من العمليات الثلاثة لتفاعل فوتونات الاشعة السينية أو إشعاعات جاما مع المادة تقوم هذه الجسيمات المشحونة بتأيين ذرات المادة بالأسلوب نفسه الذى تم عرضه فى فقرات سابقة. لذلك توصف إشعاعات جاما والأشعة السينية بالإشعاعات المؤينة بطريقة غير مباشرة.

3-3-4 المقطع العرضى الكلى σ ومعامل التوهين الخطى:

المقطع العرضى الكلى **σ** لتفاعل إشعاعات جاما أو الأشعة السينية مع المادة هو مجموع المقاطع للعمليات الثلاثة (الكهرضوئية وكمبتون وإنتاج الأزواج) أي أن:

$$\sigma = \sigma_{ph} + \sigma_c + \sigma_p$$

وحدة قياس المقطع العرضى الكلى **σ** هى بارن، شانه فى ذلك شان المقاطع الجزئية σ_{ph} σ_p، σ_c، لكل عملية على حد.

أما معامل التوهين الخطى μ لمادة ما فهو إحتمال أن يتفاعل فوتون وحيد ساقط بطاقة معينة مع أي من الذرات الموجودة فى وحدة الحجوم (أي 1سم^3 ، بمساحة 1سم^2 ، وعمق1 سم) من هذه المادة، بأي من العمليات الثلاثة. ويرتبط معامل التوهين الخطي بالمقطع العرضي الكلي σ وعدد الذرات (n) فى وحدة الحجوم بالعلاقة التالية:

$$\mu = n\,\sigma$$

ووحدة قياس معامل التوهين الخطى μ هي (1/سم) أي سم$^{-1}$.

يعتمد معامل التوهين الخطىμ اعتماداً شديداً على العدد الذري للمادة المتفاعلة، خاصة عند الطاقات المنخفضة، حيث تسُود الظاهرة الكهرضوئية التى تعتمد على العدد الذري Z^4 أو Z^5 . ثم عند الطاقات العالية حيث تسُود إستطارة كمبتون فإن معامل التوهين الخطي μ يعتمد إعتماداً خطياً على العدد الذري(Z).

3-3-5 معامل التوهين الكتلى:

يستخدم بدلاً من معامل التوهين الخطي μ كمية فيزيائية أخرى يطلق عليها معامل التوهين الكتلي μ_m. ويعرف معامل التوهين الكتلى على أنه يساوي معامل التوهين الخطي μ مقسوماً على كثافة المادة الموهنة ρ أي أنة:

$$\mu_m = \mu/\rho$$

ووحدة قياس معامل التوهين الكتلى μ_m هي (سم^2 /جم)

3- 3 - 6 القانون الأُسي للتوهين:

توهين حزمة الفوتونات يعنى تناقص عدد هذه الفوتونات بواسطة درع أو حاجز محدد السمك من مادة معينة، دون أن تتناقص طاقة هذه الفوتونات. فعندما تسقط حزمة ضيقة ومتوازية تتضمن عدداً مقداره $N_\circ$ من فوتونات ذات طاقة معينة على درع أو حاجز تبلغ سماكتة X سم، فإن عدداً من هذه الفوتونات يفنى بفعل التفاعل مع ذرات مادة الحاجز أو الدرع من خلال الظاهرة الكهرضوئية أو إنتاج الازواج. كذلك تنحرف نسبة أخرى من الفوتونات الساقطة عن مسارها بفعل إستطارة كمبتون، فلا تستمر فى مسارها المستقيم، وبالتالى تضيع من الحزمة. ويمكن إيجاد عدد الفوتونات N التى تخترق الدرع أو الحاجز دون تفاعل من العلاقة الاسية التالية:

$$N = N_\circ e^{-\mu x}$$

ويطبق قانون التوهين الأسي عند توفر شرطان ضروريان هما:

أ/أن تكون حزمة الفوتونات ضيقة ومتوازية ووحيدة الطاقة.

ب/أن تكون سماكة الدرع صغيرة، بحيث لا يمكن حدوث تشتت متعدد للفوتون نفسة داخل الدرع الحاج. وعند تطبيق قانون التوهين السابق بإستخدام معامل التوهين الخطي μ فإنه يجب أن يستخدم معه السمك الطوالي x بوحدة سم، حتى يكون حاصل الضرب μx الموجود فى أس الأساس e عديم الوحدة. أما عند إستخدام معامل التوهين الكتلي (ووحدته سم^2 /جم) فإنه يجب إستخدام السمك الكتلي X_m، للتعبير عن سماكة الجدار أو الدرع، بدلاً من السمك الطوالي x للسبب نفسه. ويسهل الحصول على السمك الكتلى كحاصل ضرب كل من السمك الطوالى فى كثافة مادة الدرع أو الجدار ρ أي بالعلاقة التالية:

$$X_m = X\ \rho$$

إن التوهين الأسي لإشعاعات جاما أو الأشعة السينية يجعل مفهوم مدى فوتونات هذه الإشعاعات غير وارد على الإطلاق. ويعود السبب فى ذلك الى ان نسبه من فوتونات الاشعة السينية أو إشعاعات جاما سوف تخترق الحاجز أو الدرع دون تفاعل فتخرج منه بالطاقة نفسها مهما زادت سماكة هذا الدرع. فعلى سبيل المثال، فإنه عند عمل درع حول مصدر جاما مثل الكوبلت 60 تبلغ سماكتة اكثر من 2 متر، فإن نسبه من فوتونات جاما المنطلقة من المصدر سوف تخترق الدرع دون أي نوع من التفاعل.

3- 3 - 7 طبقة السمك النصفى (HVL):

طبقة السمك النصفي (The half value layer HVL) من مادة معينة هي سماكة الطبقة التى توهّن عدد فوتونات الحزمة المتوازية من إشعاعات جاما أو الأشعة السينية وحيدة الطاقة الى نصف قيمتها الأصلية. فإذا كان عدد فوتونات الحزمة هو $N_\circ$ فى حالة غياب الدرع أو الحاجز، يكون عددها فى وجود هذا الدرع هو $N_\circ$ $(2/1)$=N. ويرتبط مقدار طبقة السمك النصفي (HVL) التى يرمز لها كذلك بالرمز $(x_{1/2})$ ترتبط بمعامل التوهين الخطى بالعلاقة التالية:

$$\text{HVL} = \ln 2/\mu \quad = 0.693/\mu$$

ووحدة قياس السمك النصفي هي (سم) عند إستخدام السماكة الخطية ومعامل التوهين الخطي، في حين تكون الوحدة هي (جم/سم^2) عند إستخدام السماكة الكتلية ومعامل التوهين الكتلى.

3-3-8 طبقة السمك العشري(TVL):

طبقة السمك العشري (Tenth value layer) من مادة ما هي سمك الطبقة التى توهّن عدد فوتونات الحزمة المتوازية من الأشعة الى جزء من عشرة أجزاء من قيمتها الأصلية، أي أن: N=$(1/10)N_\circ$ ويرتبط مقدار طبقة السمك العشري (TVL) بطبقة السمك النصفي (HVL) بالعلاقة:

$$\text{TVL} = 3.32\ \text{HVL}$$

3-3-9 معامل إمتصاص الطاقة μ_a:

يعبر معامل إمتصاص الطاقة عن حصة الطاقة التى إمتصت من الأشعة السينية أو إشعاعات جاما فى حجم معين من المادة المتفاعلة. ويستخدم هذا المعامل لحساب الكيرما من إشعاعات جاما أو الأشعة السينية فى المادة المتفاعلة. وهنا تجدر الإشارة، إلى أن بعض المراجع تستخدم، معامل التوهين الخطى أو الكتلى للتعبير عن الطاقة الممتصة فى المادة، وهذا استخدام خاطئ.

3- 4 تفاعل النيوترونات مع المادة:

نظراً لكون النيوترونات جسيمات متعادلة الشحنة، فإنها لا تتفاعل كهربائياً مع الإلكترونات المدارية للذرات ولا مع شحنة النواة، وإنما تتفاعل بفعل القوى النووية بين النيوترونات الساقطه والنواة نفسها. فعندما يقترب النيوترونات من سطح نواة ما، يمكن أن تحدث تفاعلات نووية متعددة بينهما، إلا أن أهم هذه التفاعلات من وجهة نظر الحماية من الإشعاع هي:

أ/التشتت المرن: ويقصد به تشتت النيوترون عن النواة وإنحرافه عن مساره الأصلي، مع فقد جزء من طاقتة الحركية ومنحها كطاقة حركية لها دون أن تتغير الطاقة الداخلية لها.

ب/الأسر النيوتروني: وخلاله تأسر النواة النيوترون المتفاعلة معها وينطلق فوتون جاما فورياً وتتكون فى الغالبية العظمى من الحالات نواة مشعة.

عندما يقترب النيوترون الحراري أو البطيئ بشدة من سطح نواة نظير ما، يمكن أن تأسر هذه النواة النيوترون مكونة بذلك نظير آخر، وينطلق فى ذات اللحظة فوتون فوري. ومن الأمثلة على ذلك تفاعل الأسر النيوتروني على الكادميوم- 114، حيث يتكون نظير الكادميوم- 115، وينطلق فوتون وفقاً للتفاعل:

$$^{1}_{0}n + {}^{114}_{47}Cd \rightarrow {}^{115}_{47}Cd + \gamma$$

3-4-1 تهدئة النيوترونات:

تهدئة النيوترونات تعنى تحويل النيوترونات السريعة التى تشغل مدى الطاقة من حوالى 100كيلو إلكترون فولت وحتى عدة ميجا إلكترون فولت إلى نيوترونات حرارية (أي تبلغ طاقتها فى المتوسط حوالى 0.025 إلكترون فولت) أو إلى نيوترونات بطيئة (أي عدة آحاد أو عشرات الإلكترون فولت) ويعتبر التشتت المرن هو المساهم الرئيس فى فقد النيوترون السريع طاقتة، وخفض سرعتة. فعندما يتصادم النيوترون مع نواة ساكنة، فإنه وفقا لقوانين إنخفاض الطاقة والزخم، يفقد هذا النيوترون جزءاً من طاقته يعادل نسبة كتلته إلى مجموع كتلته وكتلة نواة الهدف تقريبا. بذلك فإنه عندما يتصادم نيوترون مع نواة نظير خفيف كالهيدروجين مثلا (أي على البرتون ذي العدد الكتلى الذى يساوى العدد الكتلى للنيوترون وكلاهما يساوي1) فإن هذا النيوترون يفقد فى المتوسط حوالى 63% من طاقته فى التصادم الواحد.

ويحتاج النيوترون السريع الذى تبلغ طاقتة 2 م. إ. ف إلى حوالى 18 تصادماً مع نواة الهيدروجين ليفقد كل طاقته تقريباً، ويتحول إلى ما يعرف بالنيوترون الحراري (thermal neutron) الذى تبلغ طاقته حوالي 0.025 إلكترون فولت لذلك يعتبر نظير الهيدروجين1 من أفضل المواد المستخدمة لتهدئة النيوترونات خلال التصادمات المرنة.

ولا يستخدم الهيدروجين فى صورتة الغازية لصغر عدد ذرات الهيدروجين فى وحدة الحجم، وإنما يستخدم فى صورة سائلة كالماء أو فى صورة صلبة كالشمع أو البلاستيك. وعند إستخدام الماء الخفيف (العادي) للتهدئة فإنه يكفى إستخدام طبقة من الماء تبلغ حوالي 20-25سم لتحويل النيوترون السريع إلى آخر حراري.

3-4-2 انتقال الطاقة من النيوترونات لجسم الإنسان:

بالنسبة للنيوترونات السريعة، فإنها يمكن أن تنتقل كامل طاقتها الى جسم الإنسان من خلال التصادمات المرنة مع نوى الهيدروجين. فطاقة النيوترونات السريعة تنتقل بالكامل بعد حوالي 18 تصادماً الى نوى ذرات الهيدروجين (أي إلى البروتونات) الذى يعتبر المكون الرئيس والسائد فى جسم

الإنسان، حيث يحتوى كل كيلو جرام واحد من جسم الإنسان على حوالى 6×10^{25} ذرة هيدروجين. وعندما تكتسب البروتونات طاقات النيوترونات تقوم هذه البرتونات المشحونه بتأيين ذرات أو جزيئات خلال الجسم البشرى. لذلك يقال أن النيوترونات تنتمى للإشعاعات المؤينة رغم أنها تحدث التأيين بطريقة غير مباشرة.

وعندما تصبح النيوترونات حرارية بفعل التهدئة، يلعب تفاعل الأسر النيوترونى للنيوترونات الحرارية والبطيئة فى نوى بعض الذرات متوسطة الكتلة الموجودة فى جسم الإنسان (كالبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم وغيرها) الدور الوحيد لإنتقال الطاقة لجسم الإنسان وإنطلاق فوتونات جاما الفورية، لحظة الأسر، وربما تتكون بعض النويدات المشعة داخل جسم الإنسان، وهي النويدات التى تسهم إسهاماً محدوداً فى إيداع الجرعة الإشعاعية فى جسم الإنسان {4}.

الفصل الرابع

التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة

Biological effects of ionizing radiation

- **تمهيد:**

تنتقل الطاقة من الإشعاعات المؤينة الى جسم الكائن الحي وتؤدي الى تأيين ذرات الخلايا. فالجسيمات المشحونة الثقيلة وجسيمات بيتا تؤين ذرات الخلايا مباشرة عند المرور فيها. وتنتقل طاقة إشعاعات جاما أو الأشعة السينية الى الإلكترونات الموجودة فى ذرات الخلية، وتقوم هذه الإلكترونات بالتأيين. أما طاقة النيوترونات فتنتقل الى بروتونات ذرات الهيدروجين عن طريق التصادم المرن، ثم تقوم هذه البرتونات بتأيين ذرات الخلايا لما يمكن أن تمتص النيوترونات (خاصة الحرارية) فيؤدي ذلك الى تكوين نظائر مشعة داخل الجسم، وتؤدي الإشعاعات المنطلقة من هذه النظائر الى تأيين ذرات الخلايا.

وسواء كانت الإشعاعات المؤينة صادرة عن مصدر موجود خارج الجسم أو عن تلوث الجسم من الداخل بالمواد المشعة فان ذلك يؤدى الى تاثيرات بيولوجية فى الجسم، يمكن أن تظهر فيما بعد فى شكل أعراض إكلينيكية Clinical symptoms وتعتمد خطورة هذه الأعراض والفترة الزمنية اللازمة لظهورها على كمية الإشعاعات الممتصة وعلى معدل إمتصاصها {7}.

وتنقسم التأثيرات البيولوجية للاشعاعات المؤينة فى الكائنات الحية الى نوعين هما:

أ/التاثيرات الذاتية: هى التاثيرات التى تظهر أعراضها فى نفس الكائن الذى تعرض للاشعاعات المؤينة.

ب/التأثيرات الوراثية: هى التأثيرات التى تظهر أعرضها فى ذرية الكائن المتعرض للإشعاعات المؤينة نتيجة تلف أعضائه التناسلية.

4-1 تفاعل الإشعاعات مع الخلية الحية:

عند سقوط الإشعاعات على الخلية الحية تتأين بعض مكونات الخلية، خاصة جزئيات الماء الذى يمثل الجزء الأكبر من أي خلية. ويؤدي تأين جزئيات الماء الى حدوث تغيرات كيميائية تؤدى بدورها الى إحداث تغيير فى تركيب ووظيفة الخلية أي الى إتلافها. ويتم ذلك من خلال عدة مراحل هي:

أ/المرحلة الفيزيائية The physical stage:

وتتم خلال زمن قصير للغاية (حوالي 10^{-16} ثانية) من لحظة دخول الإشعاعات للخلية. وخلال هذه المرحلة تنتقل الطاقة من الإشعاع الى جزيء الماء، ويحدث التأيين أي:

$$H_2O + \text{إشعاع} \rightarrow (H_2O)^+ + e^-$$

ب/المرحلة الفيزيوكيميائية The physico-chemical stage :

وتتم هذه المرحلة خلال زمن قصير (حوالي 1ميكرو ثانية) بعد حدوث التأين. وخلال هذا الزمن تتفاعل الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة، التي تكونت نتيجة التأين مع جزيئات الماء الأخرى فينتج عن هذه التفاعلات عدة مركبات جديدة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يتحلل أيون الماء الموجب الى أيون هيدروجين موجب وهيدروكسيد كالاتي:

$$(H_2O)^+ \rightarrow OH + H^+$$

أما الالكترون فيمكن أن يتحد مع جزيء ماء مكوناً بذلك أيون ماء سالب، أي:

$$H_2O + e^- \rightarrow (H_2O)^-$$

ثم يتحلل هذا الأيون السالب مكوناً هيدروجين وأيون هيدروكسيد سالب، أي:

$$(H_2O)^- \rightarrow (OH)^+ + H$$

كذلك يمكن أن يتحد الهيدروكسيد مع بعضه مكوناً فوق أكسيد الهيدروجين (ماء الاكسجين) أي:

$$OH+OH \rightarrow H_2O_2$$

ج/المراحل الكيميائية The chemical stage:

يتميز كل من الهيدروجين والهيدروكسيد بنشاطهما الكيميائي الشديد. كذلك يعتبر فوق أكسيد الهيدروجين عاملاً موكسداً قوياً. وعند تكّون هذه المركبات فى الخلية تتفاعل مع المركبات العضوية الأخرى فى الخلية مثل الكروموسومات، فتؤدي الى تكسير تراكيبها السلسلية الطويلة. وتستغرق هذه المرحلة عدة ثوان.

د/المرحلة البيولوجية The biological stage:

ويتراوح زمن هذه المرحلة بين عدة دقائق وعدة عشرات من السنوات وتبدأ فى هذه المرحلة ظهور تأثيرات التغييرات الكيميائية التى حدثت فى الخلية وبعض هذه التاثيرات هي:

1/موت الخلية الحية.

2/منع أو تاخر انقسام الخلية أو زيادة معدل نموها وانقسامها.

3/حدوث تغيرات مستديمة فى الخلية تنتقل وراثيا عند انقسام الخلية {4}.

4-2 التأثيرات الذاتية للإشعاعات The somatic effects of radiation:

هي تلك التأثيرات التى تحدث في نفس الكائن الذي تعرض للإشعاعات وتنقسم الى نوعين:

أ/التاثيرات المبكرة:

هي التأثيرات التى تحدث خلال فترة تتراوح بين عدة ساعات وعدة أسابيع من وقت التعرض لجرعة كبيرة من الإشعاعات المؤينة. وتحدث هذه التأثيرات نتيجة موت عدد كبير من خلايا الجسم أو نتيجة منع أو تأخر إنقسامها. وتعود التأثيرات المبكرة الرئيسية الى تلف خلايا النخاع العظمى أو الخلايا المعوية تبعاً للجرعة الممتصة.

وتجدر الإشارة الى أنه لا يوجد حد فاصل بين الجرعات الإشعاعية المميتة والجرعات غير المميتة. ولكن يمكن القول أنه اذا كانت الجرعة أقل من 1.5 سيفرت يكون إحتمال الوفاة المبكرة خلال 10–15 يوماً من التعرض محدوداً. أما أذا زادت الجرعة عن حوالي 8 سيفرت يكون إحتمال الوفاة المبكرة كبيراً.

الجرعة المميتة $(^{30}_{50}LD)$ Lethal Dose:

هي تلك الجرعة التى يتكبدها شخص من خلال فترة قصيرة (دقائق أوساعات أو أيام قليلة) والتي تؤدي الى وفاة نصف المتعرضين لها (50% منهم) خلال ثلاثين يوماً من التعرض. وتصل قيمة هذه الجرعة فى الإنسان الى حوالي 4 سيفرت.

ومن أهم الأمراض المبكرة الناتجة عن التعرض للجرعات الكبيرة ما يلي:

(1)المرض الإشعاعي The radiation sickness:

وينتج عن الجرعات التى تصل الى حوالى 1 سيفرت أو تزيد، ومن أهم أعراضه الشعور بالغثيان وحدوث القيء. ويظهر هذا المرض عادةً بعد عدة ساعات من التعرض، ويعود سببه الى تلف الخلايا المبطنة للامعاء. ويزيد إحتمال الشفاء كلما قلت الجرعة ويقل بزيادتها.

(2) نقص كريات الدم البيضاء:

إذا كانت الجرعة الإشعاعية التي تعرض لها الإنسان فى حدود 3– 10 سيفرت تحدث الوفاة عادة بسبب التعرض للعدوى الثانوية **(Secondary infection)** حيث أن مثل هذه الجرعات تؤدى الى إستنزاف كرات الدم البيضاء، وهي المسؤولة عن وقاية الجسم من العدوى. لذا تعرف هذه المنطقة بمنطقة الموت بالعدوى، وعند التعرض لمثل هذه الجرعات يمكن زيادة فرص الشفاء وذلك بعزل المريض ووضعه فى جو كامل التعقيم ونقل النخاع إليه لتنشيط عملية إنتاج كرات الدم البيضاء. إلا أنه ينبغى الإشارة الى خبرة علاج المتعرضين فى حادث تشرنوبل التى أكدت كبر إحتمال الشفاء لكل من يوضع فى جو شبه كامل التعقيم، فى حين لم يثبت نقل نخاع العظام علاوة فى الحفاظ على الأرواح {8}.

(3) الالتهابات المعوية:

إذا زادت الجرعة الإشعاعية عن حوالي 10 سيفرت، ينخفض الزمن المحتمل لبقاء الانسان على قيد الحياة الى حوالى 3–5 أيام، ويبقى هذا الزمن فى نفس هذه الحدود حتى قيم عالية جداً من الجرعات ويرجع سبب المرض فى هذه الحالة الى حدوث إستنزاف وحشي للخلايا المعوية، وخاصة الخلايا المبطنة للامعاء، فتهاجمها البكتريا بوحشية. لذا يعرف هذه المدى من الجرعات بحدود الوفاة الناتجة عن الالتهابات المعوية (**Gestrointestinal death**).

(4) إصابة الجهاز العصبي المركزي (CNS):

أثبتت التجارب على الحيوانات (حيث لا توجد نتائج عن الانسان)أنه إذا زادت الجرعة إلى حدود عالية ،تظهر بعض الاعراض التى تدل على حدوث بعض التلف فى الجهاز العصبي المركزي .كما ثبت أن الوفاة الناتجة عن مثل هذه الجرعات العالية لا تتم فى الحال حتى بالنسبة للحيوانات التى تعرضت لما يزيد على 500 سيفرت.

(5) إ حمرار الجلد Erethema:

الجلد معرض للإشعاعات المؤينة أكثر من أي نسيج آخر خصوصاً بالنسبة للإشعاعات السينية وجسيمات بيتا ذات الطاقة المنخفضة (لأن قدرتها على الإختراق صغيرة). لذا فإنه عند تعرض الجلد البشري لجرعة فى حدود 3 سيفرت من هذه الإشعاعات والجسيمات يصاب الإنسان بمرض إحمرار الجلد، وعند زيادة الجرعة عن هذه الحدود يمكن أن تظهر أعراض أخرى كالحروق والتقيحات.

وتجدر الإشارة الى ان مناسيب الجرعات الإشعاعية التى يمكن ان يتعرض لها العاملون فى المحطات النووية أو فى المصانع والمستشفيات التى تستخدم الإشعاعات والمواد المشعة لإغراض تطبيقية، تكون عادة أقل بكثير من تلك المناسيب الإشعاعية المؤدية للوفاة المبكرة، ولكن يمكن الحصول على الجرعات الخطيرة نتيجة وقوع حادث نووي.

ومع ذلك فإن الجرعات الصغيرة التى يمكن ان يحصل عليها العاملون أثناء عمليات التشغيل العادى يمكن أن تؤدي إلى تأثيرات ضارة على المدى البعيد، وهذا ما يعرف بالتأثيرات المتأخرة.

ب/ التأثيرات المتاخرة The late effects:

(1) الإصابة بالسرطان:

أصبح الآن معلوماً أن فني الأشعة بالمستشفيات أو المرضى الذين تم علاجهم أو تشخيص أمراضهم بجرعات كبيرة من الإشعاعات المؤينة معرضون للإصابة ببعض أنواع السرطان أكثر من غيرهم ممن لم يتعرضوا لهذه الإشعاعات، وقد أثبتت الدراسات الحديثة على المجموعات البشرية التى تعرضت للإشعاعات المؤينة (دون الجرعات الخطيرة التى تؤدى للتأثيرات المبكرة) الناتجة عن التفجيرات النووية، أو البشر الذين تم علاجهم بالإشعاعات أو عمال مناجم اليورانيوم الذين يتعرضون لمعدلات مزادة من الإشعاعات المؤينة، أو العاملون المهنيون فى المجالات النووية والاشعاعية، إلى تأكيد قدرة الإشعاعات على استحثاث تكوين السرطان.

والسرطان هو عبارة عن تكاثر الخلايا فى العضو المعين بمعدل أكبر من المعدل الطبيعى. ويعتقد البعض أنه ناتج عن تلف جهاز التحكم فى الخلية مما يؤدى الى انقسامها بمعدل سريع. وتعمل الخلايا الوليدة نفس الصفة فتنقسم بدورها بنفس هذا المعدل السريع، مما يؤدى الى تكوين نسيج سرطانى يضر بالأنسجة العادية فى العضو المعين. وتقدير فرص احتمال الإصابة بالسرطان بسبب التعرض لإشعاعات عملية معقدة للغاية نظراً لعدم إمكانية فصل السرطان الناتج عن الإشعاعات المؤينة عن مثيلة الناتج ذاتيا.

ونتيجة للبحوث العلمية المكثف التى يقوم بها المختصون فى مجال البيولوجيا والفيزياء الإشعاعية وللدراسات التى تقوم بها لجنة الأمم المتحدة (UNSCEAR) واللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية (ICRP) وعدد من اللجان العلمية الوطنية فى اليابان والولايات المتحدة وأوربا، تمخضت هذه البحوث والدراسات عن العديد من النتائج التى أوضحت أن السرطانات الجامدة لا تظهر سوى بعد مدة من التعرض للإشعاع المؤين تتراوح بين حوالى 10–30 سنة فى حين أنه بالنسبة للوكيميا الدم (سرطان الدم) فإنها تظهر خلال فترة تتراوح بين حوالى 5–12 سنة وباحتمالية أكبر بعد حوالي 6–8 سنوات من تاريخ التعرض.

ونتيجه لبحوث ودراسات العلماء واللجان المتخصصه اصدرت اللجنه الدوليه للوقايه الإشعاعيه نشرتها الهامه رقم 60 في يناير عام 1991م تبين فيها معدلات الإصابه بالسرطانات المختلفه كداله من جرعه التعرض الإشعاعي وقد غيرت هذة النشره الكثير من الحدود والقيود على التعامل مع الإشعاعات المؤينه فحتى صدور هذة النشره كان معامل الخطورة للإصابه بالسرطانات المختلفه هي حوالي 1.05×10^{-2} لكل سيفرت للرجال، وحوالي 1.55×10^{-2} لكل فرد سيفرت بالنسبه للنساء، نظراً لسرطان الثدي المنتشره بين النساء بسبب التعرض للإشعاع (بخلاف سرطان الثدي الطبيعي) ولفهم مغزى هذه الارقام فانه بفرض تعرض 1000 شخص سواء من الرجال أو النساء لجرعه إشعاعيه مقدارها1 سيفرت لكل فرد تكون الجرعه الجماعية هي1000 فرد سيفرت وبضرب الجرعه الجماعيه في معامل الخطوره يتم تحديد عدد الحالات السرطانيه التي تظهر بين هذه المجموعه بسبب التعرض لهذة الجرعه.

وبإستخدام معاملات الخطوره المذكورة في الفقره السابقه لكل من الرجال والنساء يتبين أن من بين هؤلاء الألف فرد يموت في المتوسط 10.5 فرد (أي 11 فرد) من بين الرجال، 15.5 فرد (أي 16فرد) من بين النساء أي بقيمة 13.5 حاله سرطانيه للجنسين ومنذ عام 1991م تغيرت معاملات الخطوره تغيراً جزرياً واعطت اللجان العلميه المختلفه في العالم بما في ذلك اللجنه العلمة للأمم المتحده واللجنه الأمريكيه واللجنه اليابانيه وغيرها قيماً متقاربه لمعامل الخطوره.

وتجدر الإشاره الى أن قيم معامل الخطورة التي حصلت عليها اللجان المختلفه تتفاوت فيما بينها تبعا للنماذج المستخدمه في التقويم وتبعا للمجموعات البشريه المتعرضه الى انه يلاحظ جميع القيم تتراوح بين حوالي 4×10^{-2} لكل فرد سيفرت وحتى 11×10^{-2} لكل فرد سيفرت وبقيمه متوسطه تتراوح بين 5×10^{-2} ، 7×10^{-2} لكلا الجنسين وبفرض أن القيمة المتوسطة لمعامل الخطورة هي 6×10^{-2} يصبح العدد المقضي عليهم بالسرطان من بين الألف شخص هو 60 شخصاً وليس 13 شخصاً فى المتوسط كما كان يعتقد قبل ذلك.

(2) عتامة عدسة العين The cataract:

من بين التأثيرات المتأخرة الناتجة عن الإشعاعات تكون عتامة فى عدسة العين وهو المرض المعروف بالكتراكت، ويحدث هذا المرض إذا تجاوزت الجرعة المكافئة حداً معيناً 15 سيفرت. لذا يجب الا تزيد الجرعة المكافئة التى تتعرض لها العين طوال الحياة عن هذه القيمة.

جدول(4-1) :قيم معامل الخطورة للإصابة بالسرطان القاتل المتحصلة من بعض اللجان العلمية الوطنية والدولية

م	الدولة أو اللجنة	معامل الخطورة مضروب فى 100		عدد الوفيات السرطانية لكل 1000فرد سيفرت	
		النموذج الضربي	النموذج الجمعي	النموذج الضربي	النموذج الجمعي
1	اللجنة العلمية للامم المتحدة عام 1988	7.07	4.53	70.7	45.3
2	لجنة BEIRS 1990	8.85	غير محدد	88.5	غير محدد
3	اللجنة اليابانية	10.7	غير محدد	107	غير محدد
4	معهد الصحة الوطنى NIH	10.0	غير محدد	100	غير محدد
5	اللجنة العلمية للامم المتحدة عام 1977	2.5	2.5	25	25
6	لجنة BEIRالثالثة عام 1980	1.6	4.0	16	40
7	المجلس الطبى البريطانى للبحوث	1.3	غير محدد	13	غير محدد

(3) قصر العمر:

أثبتت نتائج التجارب على الحيوانات أن متوسط العمر ينخفض قليلاً بالتعرض للإشعاعات، كما أوضحت الإحصائيات الخاصة بالمجموعات البشرية التى تعرضت لجرعات من الإشعاعات، إن جرعة مكافئة مقدارها سيفرت واحد تؤدى الى قصر عمر الإنسان بما لا يتجاوز سنة واحدة.

4-3 التأثيرات الوراثية للإشعاعات المؤينة The hereditary effects of ionizing radiation:

تنتج التأثيرات الوراثية للإشعاعات عن تلف الخلايا التناسلية ويؤدى هذا التلف الى مجموعة تغيرات تعرف باسم التغيرات الوراثية Genetic mutations وتحدث هذه التغيرات فى المادة التى تحمل الصفات الوراثية فى الخلية.

وتجدر الإشارة الى أن التغيرات الوراثية الناتجة ذاتياً (أي التى تحدث دون التعرض للإشعاعات) هي المسؤولة عن الجزء الأكبر من (500) مرض التى يعانى منها العالم. كذلك فإنه لا يمكن التمييز بين التغيرات الناتجة ذاتياً وتلك الناتجة عن الإشعاعات، لكن المؤكد هو أن الإشعاعات تؤدي الى زيادة معدل حدوث هذه التغيرات، وبالتالى زيادة نسبة المرضى وراثياً فى الأجيال التالية. ونتيجة للإحصائيات قدرت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية (ICRP) احتمال حدوث ولادات مشوهة وراثياً فى حدود الجيلين الأول والثانى للشخص المتعرض للإشعاع، من أي من الوالدين بواقع عشرة أطفال لكل مليون إذا كانت الجرعة المكافئة لا تتجاوز ميللي سيفرت واحد. كما قدرت عدد الولادات المشوهة على مدى جميع الأجيال المتعرضين بواقع 15-20 طفل لكل مليون عند نفس قيمة التعرض. وحيث أن متوسط سن الإنجاب هو 30 عاماً، لذا فإن الجرعة التى يتعرض لها الإنسان قبل الإنجاب هي التى تعتبر ضارة وراثيا. لذلك، ينصح عموماً بإنجاب الأطفال قبل التعرض لجرعات إشعاعية ذات قيمة محسوسة {4}.

4-4 التأثيرات على الأجنة قبل الولادة:

من المعروف أن نمو الثدييات فى أرحام أمهاتهن ينقسم الى ثلاث مراحل:

الأولى منذ بدء الحمل حتى استقرار الجنين بجدار الرحم. وتمتد هذه المرحلة طوال الأسبوعين الأولين من لحظة الحمل فى المتوسط عند البشر. وتمتد المرحلة الثانية من الأسبوع الثالث وحتى الثامن وهى الفترة الرئيسة لتكوين الجنين ونمو أعضائة، حيث ينمو خلال هذه المرحلة حوالى 90% من البنى الأساسية التى يبلغ عددها ما يزيد على 4500 بنية. وتمتد المرحلة الثالثة من حوالي الأسبوع التاسع وحتى الولادة، وخلالها تكتمل البنى القليلة المتبقية وتستمر البنى التى تكونت خلال المرحلة الثانية فى النمو.

وفى كل مرحلة يكون للإشعاعات المؤينة تأثيرات محددة على المضغة أو الجنين. ففي المرحلة الأولى أكدت الدراسات والابحاث على الحيوانات الثديية أن الإشعاعات تؤدى الى قتل الجنين فى الرحم، وأنه خلال هذه المرحلة يكون للجنين حساسية شديدة للموت بالإشعاعات، خلال هذه المرحلة الثانية فان الخطر الرئيس للإشعاعات هو احتمال حدوث تشوهات لأعضاء وانسجة الجنين، الامر الذى قد يؤدى الى وفاته قبل الولادة مباشرة أو بعدها. وأما فى المرحلة الثالثة فان معدل الخطر من تأثيرات الإشعاع على الجنين يقل ولكنه لا ينتهى، ويتمثل أكبر المخاطر فى هذه المرحلة فى تلف الجهاز العصبى المركزى الذى يبدو انه يمكن ان يحدث عند التعرض للإشعاعات فى بداية المرحلة الثالثة. وقد توصلت إحدى الدراسات الى أن 30 فرداً من بين 1600 جنيناً قد تعرضوا فى أرحام أمهاتهم قبل الميلاد (خلال تفجيري هيروشيما ونجازاكى باليابان) يعتبرون من المتخلفين عقليا بدرجة كبيرة لدرجة أنهم لا يستطيعون رعاية أنفسهم أو إجراء أبسط العمليات الحسابية. كذلك توصلت الدراسة الى أن الأجنة التى كانت فى أرحام أمهاتهم وتراوحت أعمارها بين ثمانية وخمسة عشر أسبوعا عند التفجيرين قد تأثرت تاثراً شديداً. وتقدر اللجنة العلمية للأمم المتحدة أن أربعة من كل عشرة أجنة حصلت على جرعة قيمتها واحد سيفرت تعانى من تخلف عقلى شديد، وأن الأجنة التي تراوحت أعمارهم بين 16، 25 أسبوعا حدثت أعراض تلف، إلا انه بمعدل أقل {4}.

4-5 الطرق الرئيسية للوقاية من الأشعة المؤينة:

يتم تخفيض الجرعات الإشعاعية الخارجية من خلال تطبيق المبادي التالية:

1/ تقليل الزمن قدر الامكان.

2/ الابتعاد عن مصدر الاشعاع قدر المستطاع.

3/ استخدام الدروع والحواجز الوقاية .

ؤيتم تحقيق ذلك من خلال انجاز العمل بالسرعة الممكنة ووجود تعليمات مكتوبة في مختبر تحضير العينة ووجود المواد والأدوات اللازمة في متناول اليد وبالسرعة الممكنة وإزالة العوائق التي قد تزيد من زمن التعامل مع المادة واختصار زمن التعامل مع المريض قدر الامكان واستخدام أدوات مناولة لحمل المادة المشعة لابقائها بعيدة قدر الامكان عن الشخص الذي يتعامل معها والتعامل مع المادة المشعة من خلف حاجز واقي مثل الزجاج الواقي المرصص .

4-6 الإجراءات الصحية الوقائية في حالات الطوارئ النووية:

يمكن اتخاذ بعض الإجراءات الوقائية للصحة العمومية أثناء حالات الطوارئ النووية للحد من إمكانية التعرض الإشعاعي وما يصاحبه من مخاطر صحية.

وينبغي تطبيق إجراءات وقائية عاجلة في المراحل الأولى من حالات الطوارئ (خلال الساعات أو الأيام القليلة الأولى) لحماية الناس من التعرض للإشعاع، مع الوضع في الاعتبار الجرعات التي يُحتمل أن يكونوا قد تعرضوا لها على المدى القصير (مثل الجرعة المؤثرة خلال يومين إلى سبعة أيام، والجرعة المسببة لاعتلالات الغدة الدرقية خلال أسبوع). وتستند القرارات التي تُتخذ في هذا الصدد إلى ظروف محطة الطاقة النووية وكمية النشاط الإشعاعي التي تُطلَق بالفعل أو يُحتمل أن تُطلَق في الغلاف الجوي والأحوال الجوية السائدة (مثل سرعة الرياح واتجاهها ومعدل هطول الأمطار) وغير ذلك من العوامل. وقد تعلن السلطات المحلية عن إجراءات عاجلة تشمل الإجلاء والالتزام بالبقاء في الأماكن الداخلية وتناول اليود غير المشع.

وتزداد فعالية الإجلاء كإجراء وقائي عند تنفيذه قبل أن ينطلق الإشعاع في الهواء. كما أن الالتزام بالبقاء في الأماكن الداخلية (كالمنازل والمدارس والمباني الإدارية) يقلل إلى حد كبير من التعرض للمواد المشعة التي تُطلق وتنتشر في الهواء.

ويمكن أن يحول تناول اليود غير المشع دون امتصاص الغدة الدرقية لليود المشع. فعندما تؤخذ أقراص يوديد البوتاسيوم قبل التعرض الإشعاعي أو بعده بفترة وجيزة تتشبع الغدة الدرقية باليود لتقل

بذلك كمية اليود المشع التي تمتصها وكذلك احتمالات الإصابة بسرطان الغدة الدرقية. إلا أن أقراص يوديد البوتاسيوم لا تقي من التعرض الخارجي للإشعاع أو من أي عنصر مشع آخر بخلاف اليود المشع.

ينبغي ألا تؤخذ أقراص يوديد البوتاسيوم إلا في حالة صدور تعليمات بذلك من السلطات المختصة. ومن المهم الالتزام بالجرعات الموصَى بها، وخاصة عند إعطائها للأطفال. ويجب ألا تأخذ الحوامل أقراص يوديد البوتاسيوم إلا عندما تصدر تعليمات بذلك من السلطات المختصة لحماية غددهن وغدد أجنتهن. ويتعين على المرضعات أيضاً تناول أقراص يوديد البوتاسيوم عند صدور تعليمات بذلك لحماية أنفسهن من اليود المشع وكذلك إعطاء يوديد البوتاسيوم لرضعهن حسب الجرعات الموصَى بها.

ويمكن أن تُتخذ تدابير مضادة للحد من إمكانية التعرض للإشعاع عن طريق الأغذية والمياه والمزروعات الملوَّثة في المراحل الأولى من حالة الطوارئ (ومن أمثلة ذلك فرض قيود على تناول المياه والأغذية المنتجة محلياً ومنتجات الألبان)، ومن شأن توفير خدمات الدعم الصحي النفسي اللازمة للتعامل مع الإجهاد الحاد بعد أي حادث نووي أن يسرع التعافي ويحول دون حدوث آثار طويلة الأمد مثل الإصابة باضطراب الإجهاد اللاحق للصدمات أو غيره من اضطرابات الصحة النفسية المستمرة. وقد تكون ردود فعل الأشخاص الذين أصيبوا بتلوث إشعاعي شديدة وطويلة المدى تصاحبها آثار نفسية عميقة، وخاصة الأطفال منهم.

ومع توفر كمية أكبر من البيانات المتعلقة بالرصد البيئي والبشري يمكن أن تُتخذ إجراءات وقائية أخرى، منها نقل الناس إلى مساكن مؤقتة أو في بعض الحالات إعادة توطينهم في مواقع جديدة بصفة دائمة. وتُطبَّق هذه الإجراءات الوقائية مع الوضع في الاعتبار الجرعات الإشعاعية التي قد تتعرض لها المجموعة السكانية المعنية على المدى الطويل (مثل الجرعة المؤثرة خلال سنة واحدة). وينبغي إنشاء برامج لرصد الأغذية والمياه لتوفير المعلومات اللازمة لاتخاذ القرارات بعيدة المدى بشأن فرض قيود على الأغذية واستهلاك المياه مراقبة المواد الغذائية المتداولة في التجارة الدولية.

وقد تستمر مرحلة التعافي لفترة طويلة. وينبغي أن يكون قرار وقف التدابير الوقائية مرتبطاً بالرصد البيئي والغذائي والصحي ومستنداً إلى تحليل للمخاطر والفوائد. وينبغي إنشاء برامج مناسبة على

المدى الطويل لتقييم الآثار الواقعة على الصحة العمومية ومدى الحاجة إلى اتخاذ أي إجراءات لاحقة.

- **الخاتمة:**

يسبب التعرض للأشعة النووية تغيرات كيميائية في أنسجة الكائنات الحية، مما يؤدي إلى أضرار كبيرة للجسم وتزداد درجة تلك التغيرات الكيميائية تبعاً لمقدار جرعة الإشعاع التي تم إمتصاصها بواسطة الجسم. ولا يظهر مقدار الإصابة أو الضرر للشخص عند تعرضه للإشعاع إلا بعد فترة من الزمن تعرف بفترة الحضانة. وقد تتأخر الآثار المبكرة لبعض أنواع التعرض الإشعاعي إلى سنوات، ويحدد نوع ومصدر الإشعاع نوع الإصابة التي تنتج عنة.

وللوقاية من هذه الإشعاعات بصورة عامة لابد من الأتي: تقليل زمن التعرض للإشعاع والإبتعاد عن مصدر الإشعاع وإستخدام حواجز (دروع) وقاية حول مصدر الإشعاع لتقليل التعرض. وايضاً يجب تطبيق أسس ومرجعيات الوقاية الإشعاعية للتقليل من الأخطار بالنسبة للعاملين والمرضى على حد سواء.

- **التوصيات:**

1. فهم طبيعة الخطر والحصول على تدريب عملي. لا تعمل أبدًا مع الجروح أو الشقوق غير المحمية في الجلد ، وخاصة على اليدين. لا تستخدم أبدًا أي معدات تعمل عن طريق الفم في أي منطقة تستخدم فيها المواد المشعة غير المغلقة.

2. التخطيط للمستقبل لتقليل الوقت المستغرق في التعامل مع النشاط الإشعاعي.

3. ابعد نفسك بشكل مناسب عن مصادر الإشعاع.

4. استخدام التدريع المناسب لنوع الإشعاع.

5. استخدام سمك مناسب من الرصاص للأشعة السينية وبواعث غاما.

6. احتواء المواد المشعة ضمن مناطق العمل المحددة. احرص دائمًا على الفصل بين العمل النشط وغير النشط قدر الإمكان، ويفضل الإحتفاظ بالغرف المستخدمة فقط للعمل الإشعاعي.

7. اتباع القواعد المحلية وطرق العمل الآمنة. لا تأكل أو تشرب أو تدخن أو تضع مستحضرات التجميل في منطقة يتم فيها التعامل مع المواد المشعة غير المغلقة.

8. التقليل من تراكم النفايات والتخلص منها بالطرق المناسبة.

- **المصادر والمراجع:**

[1] الإشعاع والعلاج الإشعاعي، سمير بن سليمان أحمد نتو، خوارزم العملية للنشر، جدة، 2004م.

[2] صالح محمد متولي، الأشعة السينية الفوائد والمخاطر، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، الرياض، 2015 م.

[3] محمد قاسم – فوزي عبد الكريم – الفيزياء النووية والإشعاعات – 2006م.

[4] أ.د/ محمد فاروق أحمد – أ.د/ أحمد بن محمد السريع ، مبادئ الإشعاعات المؤينة والوقاية منها، اللجنة الدائمة للوقاية من الإشعاعات، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية – 2007م

[5] م. إحسان ضياء البيرماني – الإشعاعات وتأثيراتها على الانسان، التربية ابن حيان / قسم الفيزياء.

[6] هشام إبراهيم الخطيب، إستشاري الأشعة التشخيصية – مبادئ الإشعاع والوقاية الإشعاعية، منتدى إقراء الثقافي، الطبعة العربية – 2005م.

[7] عزاب طاهر الكناني، الفيزياء الإشعاعية، دار الفجر للنشر والتوزيع، الطبعة الأولى، القاهرة 2008م.

[8] الدكتور المهندس: مصطفي محمدعبد المهدي المجالي – الوقاية الإشعاعية المبادئ والتطبيقات.

[9] سعد شعبان، الاشعاع من الذرة الى المجرة، مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب – 2005م.

[10] IAEA, Radiation Protection operation nuclear power plants (safety series); NO50 , Vienna.

[11] IAEA, Radiation Protection in radiotherapy. Basic medical radiation safety training package, Vienna, 2001.

[12] International commission on radiological protection, ICRP 62, summary of the current ICRP principles for protection of the patient in diagnostic radiology, pergamon , oxford – 1993.