الفصل الثاني
تفاعل الاشعاع مع المادة وتاثيراتة البايولوجية

٢ –١ تفاعل الاشعاع مع المادة

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

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

٢ - ٢ـ تفاعل الاشعاع مع الجسيمات المشحونة

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

أ) التأين:

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

ب) التهيج :

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

ت) التفاعل مع مجال النواة :

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

٢ – ٣ تفاعل جسيمات α مع المادة : ■

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

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

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

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

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

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

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

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

حيث ان A العدد الكتلي و ρ كثافة الوسط

٢ – ٤ تفاعل جسيمات (β) مع المادة : ـ

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

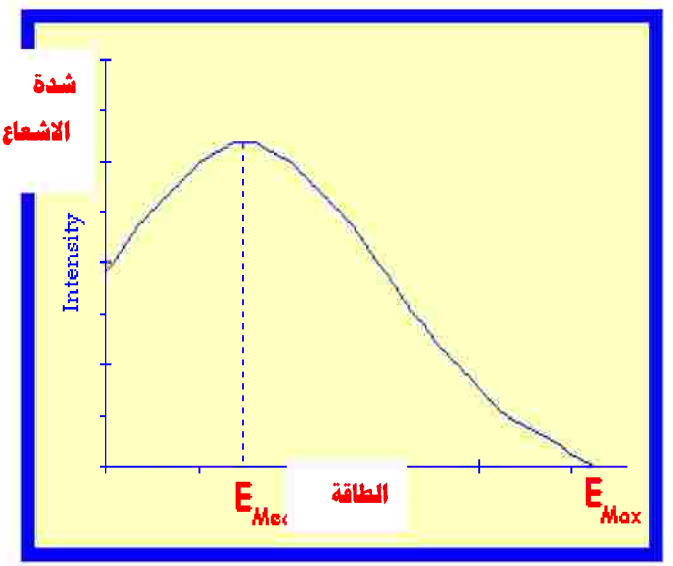
١ – مدى جسيمات (β) لا يكون ثابتا ويختلف من عنصر الى اخر حتى وان كانت الكترونات جسيمات (β) لها نفس الطاقة ونفس الوسط الماص. والسبب في ذلك هو صغر كتلة جسيمات (β) (الالكترون).لذلك يكون المدى متعرجا (zigzag) على العكس من مدى جسيمات α والتي يكون مداها ثابتا وبشكل مستقيم.

٢ –عند تفاعل جسيمات(β) مع الكترونـــات المـــادة فانهـــا تتشـــتت أي تســـتطار والاستطارة الحاصلة في مدى الالكترون نتيجة للتفاعلات النووية او تولد اشعة سينية مستمرة (البرمشتالنك) تؤدي الى انحراف الالكترون بزاوية كبيرة او ايقافه كليا .

٣– طاقة جسيمات(β) **المنبعثة من المصادر المشعة تكون غير ثابتة**(عكس **جسيمات α**) وتكون طيفا يمتد من الصفرالى القيم العظمى E_{max} .يوضح الشـــكل (٢ – ١) طيف جسيمات (β).

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

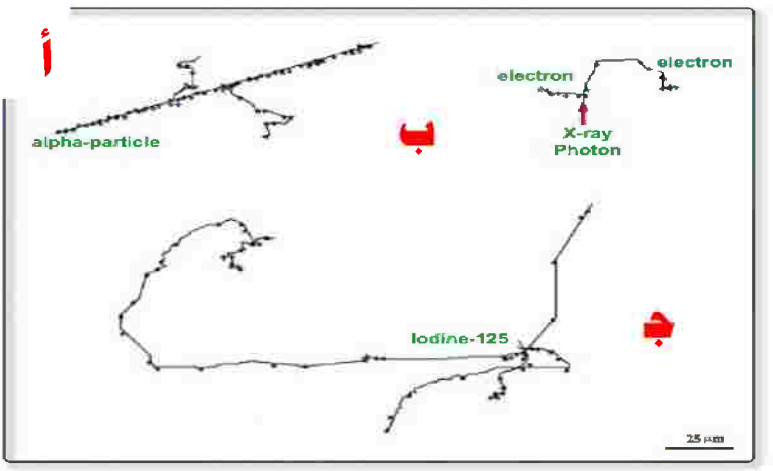
الشكل (٢ - ١) طيف جسيمات (β)



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

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

شكل (٢ – ٢) مسار الجسيمات المشحونة في الماء أ-لجسيمات α ذات الطاقة4 . ٥ MeV.ب – الالكترون المتولد بعد امتصاص اشعة سينية ج- الالكترون المتولد بعد انحلال I^{125}



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

٢ – ٥ تفاعل اشعة جاما مع المادة:

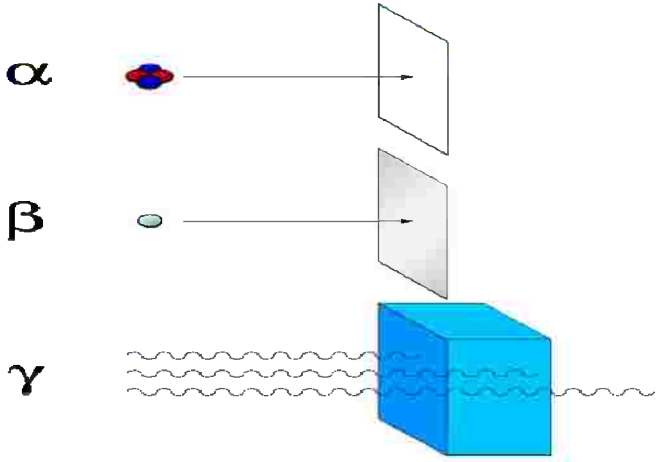
يختلف تفاعل الفوتونات (اشعة جاما و الاشعة السينية) عن تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة حيث ان الفوتونات لا تستطيع تأين ذرات الوسط مباشرة كما هو الحال للجسيمات المشحونة.لانها اشعة مؤينة بصورة غير مباشرة أي ان الفوتونات تقوم بقذف احد الالكترونات للذرات القريبة من الوسط او الوسط نفسه. تقوم الالكترونات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

تتناقص في الشدة بزيادة سمك الوسط الماص ولكن الشدة لاتصبح صفرا لذلك يكون لها مدى غير محدد في المادة .شكل (٢ –٣) يوضح مـــدى الجســيمات المشـــحونة واشعة جاما في المادة.

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

يتضمن تفاعل الفوتونات مع المادة انواع عديدة من التفاعلات ولكن الشائع منها ثلاثة نواع هي

شكل (٢ – ٢) مدى الجسيمات المشحونة واشعة جاما في المادة



أ- الظاهرة الكهروضوئية . (Photo electric)

تعرف الظاهرة الكهروضوئية باتها ظاهرة انبعاث الكترونات من ذرت المادة عند سقوط اشعاع كهرومغناطيسي ذي تردد مؤثر.ولكي تحصل هذة الظاهرة يجـــب ان تكون طاقة القوتةنات اكبر من دالة الشغل للمادة (الطاقة التي يحتاجهـــا الالكتـــرون

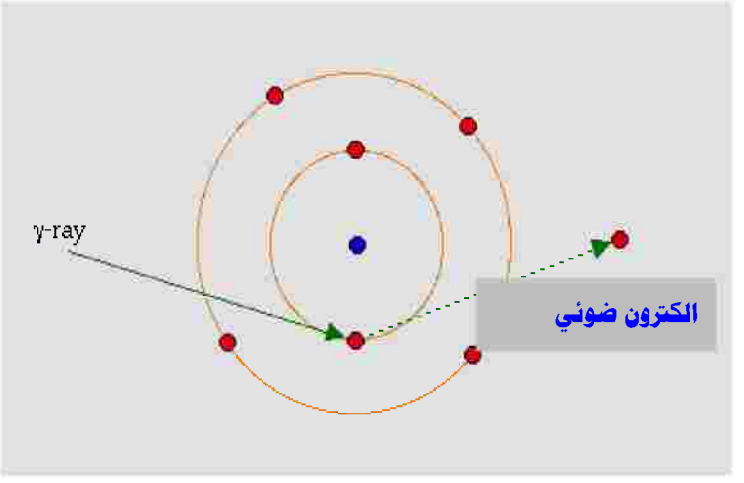
للتخلص من ارتباطة بالنواة). تحصل هذه الظاهرة عندما تكون طاقة الفوتونات قليلة نسبيا (اكبر من دالة الشغل للمادة) أي ان طاقة الفوتونات اقل من طاقة كتلة السكون للالكترون (m_0c^2).

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

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

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

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



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

ب ـ ظاهرة (استطارة) كومتن :

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

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

حيث ان

E_s طاقة الفوتون المستطار

E_r طاقة الالكترون المرتد شكل (٢-٥)

عند تطبيق قانون حفظ الزخم في المستوى الافقي والشاقولي .

$$P=P' \cos \Phi + P_e \cos \text{ ---------- 2}$$

$$0= -P' \sin \Phi + P_e \sin \text{ ---------- 3}$$

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

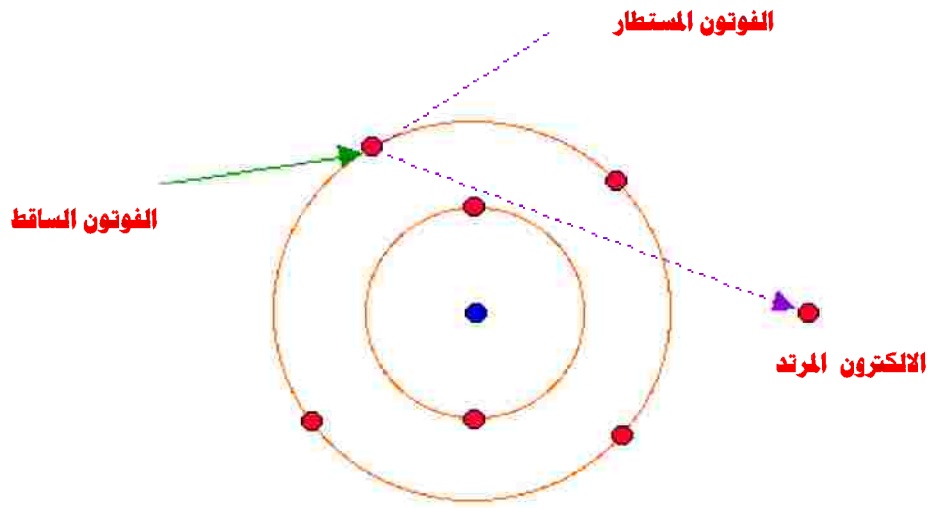
وبحل المعادلات ١ و٢ و ٣ ينتج

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

جـ- ظاهرة توليد الازواج:

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

شكل ٢ – ٥ ظاهرة كومتن



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

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

٢ – ٦ التأثيرات البيولوجية للإشعاع

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

١ -:التأثيرات القطعية (deterministic effect)

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

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

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

شكل (٢ - ٦) التأثيرات القطعية للإشعاع

ومن أهم التأثيرات القطعية:

١ - تناقص كرات الدم Blood count depression

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

٢- تساقط الشعر Depilation :

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

٣- احمرار في الجلد (Erythema) :

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

٤- حروق نتيجة للإشعاع (Radiation burns)

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

٥ - الجهاز العصبي المركزي

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

٢ – : التأثيرات العشوائية Stochastic effect .

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

الشكل (٢ -٧) تأثيرات الإشعاع البيولوجية

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

أ – التاثيرات الذاتية (Somatic Effects)

ب – التاثيرات الوراثية (Heredity Effects)

أ – التأثيرات الذاتية للإشعاعات :

وهي التاثيرات الصحية على الاشخاص المتعرضين للإشعاع وتؤدي الى اســـتحداث انواع كثيرة من السرطان اكثرها شيوعا سرطان الدم(اللوكيميا). حيـــث ان الفتـــرة الكامنة لهذا المرض تتراوح من ٢ – ٥ سنة(الفترة الزمنية من بداية تكون المـــرض حتى ظهورة سريريا) وتتولد انواع اخرى بفعل الاشعاع تختلف في فتراتها الكامنـــة مثل سرطان الرئتين ،القولون،والمعدة

تنقسم التأثيرات الذاتية إلى نوعين:

-التأثيرات المبكرة: The early effects.

التأثيرات المبكرة للإشعاع هي تلك آلتي تحدث خلال فترة زمنية تتراوح بين عـــدة ساعات وعدة أسابيع من وقت التعرض لجرعة كبيرة من الإشعاعات خـــلال زمـــن قصير (لمدة ساعات قليلة) إن سبب هذه التأثيرات يعود إلى استنزاف جزء كبير من خلايا بعض أعضاء الجسم بسبب قتلها أو منع أو تأخير انقســـامها. وتعـــود معظـــم

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

ب -الآثار المتأخرة The Late effects

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

أ.المرحلة الفيزيائية الابتدائية :

تستغرق هذه المرحلة جزءا ضئيلا من الثانية فقط (حوالي $١٠^{-١٦}$ ثانية) حيث تترسب الطاقة في الخلية وتُحدث التأين لجزيئات الماء والتي تكون ٩٠% من الخلية.ويمكن كتابة هذه العملية بالنسبة للماء كما يلي:

$$H_2O \longrightarrow H_2O^+ + e^-$$

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

ب. المرحلة الفيزيوكيماوية :

وتستغرق هذه المرحلة حوالي $١٠^{-٦}$ ثانية حيث تتفاعل الأيونات الموجبة مع جزيئات الماء الأخرى مؤدية إلى عدد من النواتج الجديدة نتيجة لتحلل الأيون الموجب إلى ايون الهيدروجين الموجب:

$$H_2O^+ \longrightarrow H^+ + OH$$

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

$$H_2O + e^- \longrightarrow H_2O^-$$

$$H_2O^- \longrightarrow H + OH^-$$

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

وهناك ناتج آخر للتفاعل وهو بيرو كسيدات الهيدروجين الذي يعتبر من العوامل الشديدة الأكسدة.

$$OH + HO \longrightarrow H_2O_2$$

ج. المرحلة الكيميائية :

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

د. المرحلة البيولوجية :

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

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

(١) الموت المبكر للخلية.

(٢) منع أو تأخير انقسام الخلية .

(٣) التغيير الدائم الذي ينتقل إلى الخلايا الوليدة .