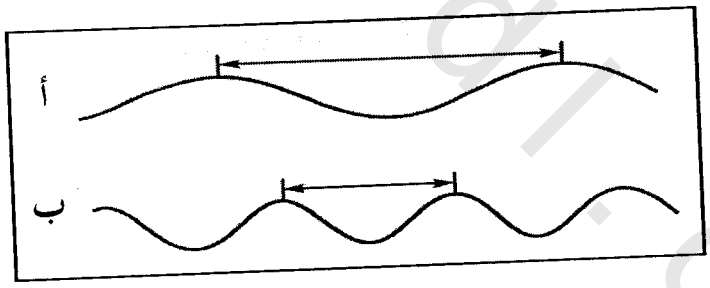
الإشعاع الكهرومغناطيسى المؤين
Ionizing Electromagnetic Radiation

1.1الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic waves

المذياع، التلفاز وفرن الميكروويف،كل هذه الأجهزة تستخدم الموجات الكهرومغناطيسية. موجات الراديو والميكروويف، الضوء المرئي وأشعة X هي أمثلة من الموجات الكهرومغناطيسية وتختلف عن بعضها البعض فى أطوالها الموجية كما هو مبين فى شكل (1).



أ – طول موجي طويل ب – طول موجي قصير

شكل رقم (1) يبين موجتين مختلفتى الطول الموجى

تنتج الموجات الكهرومغناطيسية من حركة الشحنات الكهربائية أو

الجسيمات المشحونة كهربائيا. يطلق على هذه الموجات أيضا الأشعة بسبب انبعاثها من الجسيمات المشحونة كهربائيا، وتنتشر هذه الموجات خلال الفراغ وخلال الهواء والمواد الأخرى.

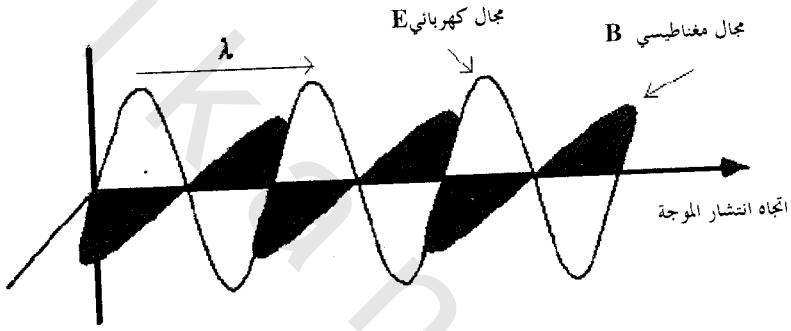
لكي نفهم الضوء، أو الموجات الكهرومغناطيسية لابد أن يكون لدينا فكرة واضحة عن المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية.

يصاحب أي جسم مشحون مجال كهربائي يؤثر على أي شحنة تتواجد فى جواره. وتعرف شدة المجال الكهربائي عند نقطة ما بالقوة المؤثرة على وحدة الشحنة الموجبة الموضوعة عند هذه النقطة. وحدة شدة المجال هي نيوتن / كولوم وهى نفس الشيء مثل الفولط / متر. وهى كمية متجهة محددة بمقدار واتجاه.

تنشأ المجالات المغناطيسية نتيجة حركة الشحنات أو التيارات. وهذا ينطبق على المجالات سواء كانت من المغناطيسات ، من خطوط القوى المغناطيسية أو من الأرض. تماما مثل المجال الكهربائي الذي يعرف بالقوة / وحدة الشحنة، يعرف المجال المغناطيسي بمقدار واتجاه القوة المؤثرة على الشحنة المتحركة أو التيار.

يؤكد العلماء منذ بداية القرن التاسع عشر على أن المجالات الكهربائية والمغناطيسية ترتبط ببعضها البعض، وتطبيقات هذه الصلة موجودة حولنا. ينشأ عن حركة الشحنة الكهربائية (التيار الكهربائي) مجال مغناطيسي. تستخدم ملفات السلك فى صنع المغناطيسات الكهربائية الضخمة و المغناطيسات الكهربائية الصغيرة المستخدمة فى مستقبل التليفون. المحركات الكهربائية المستخدمة فى تشغيل السيارات أو فى لف القرص الصلب **Hard disc** فى الحاسب، ما هي إلا تطبيقات أخرى لهذه الظاهرة. فى الحقيقة، المغناطيسات الاعتيادية تنتج من التيارات الضئيلة على المستوى الذرى. ينشأ عن المجال المغناطيسي المتغير تيار كهربائي – مجال كهربائي. يستخدم هذا المفهوم فى مولدات الطاقة – ملفات ضخمة من السلك تدور فى مجال مغناطيسي عن طريق سقوط الماء أو بالرياح أو ببخار الماء المسخن بحرق الفحم أو الزيوت أو من حرارة التفاعلات النووية.

الأشعة الكهرومغناطيسية ذات خاصية مزدوجة، الخاصية الموجية والخاصية الجسيمية. وقد فسر ماكسويل (1831-1879) James Clark Maxwell طبيعة الأشعة الكهرومغناطيسية على أساس نظرية الديناميكا الكهرومغناطيسية، لذلك أطلق عليها الأشعة الكهرومغناطيسية. هذه الأشعة، طبقا لنظرية ماكسويل، عبارة عن مجال كهربائي وآخر مغناطيسي يتعامد كل منهما على الآخر وعلى اتجاه انتشار الأشعة. تنتشر الأشعة على هيئة موجة جيبية ويرمز لمتجهي المجالين المغناطيسي والكهربائي بالحرفين E & B على التوالي، كما في شكل (2)



شكل (2) يبين انتشار الموجات الكهرومغناطيسية.

سرعة انتشار الأشعة في الفراغ لكل المناطق المذكورة ثابتة وتعرف بسرعة الضوء ويرمز لها بالرمز C وتساوى :

$$C = 2.997925 \times 10^8 \text{ m/s}$$

وتعرف سرعة الضوء بأنها حاصل ضرب طول الموجة λ (وهي المسافة بين قمتين متتاليتين) والتردد υ (عدد الدورات في الثانية).

$$C = \lambda \upsilon \qquad (1.1)$$

في القرن التاسع عشر أثبتت الدراسات التي قام بها أينشتين وبلانك وبوهر

أنه في كثير من الحالات يمكن اعتبار الأشعة الكهرومغناطيسية سيلا من الجسيمات أو الكمات Quanta(الفوتونات) وتحسب طاقتها E من معادلة بوهر التالية:

$$E = h\upsilon = hC/\lambda \text{ Joule} \quad (2.1)$$

حيث h ثابت بلانك = 6.626×10^{-34} جول ثانية

يلاحظ من هذه العلاقة أنه كلما زاد التردد أو قل الطول الموجي زادت الطاقة التي يعبر عنها بالجول.

$$E\ (Kcal/mol) = 28.6/\lambda(\mu) = 28.6 \times 1000 / \lambda\ (nm)$$

$$E\ (KJ/mol) = 119.7/\lambda(\mu) = 119.7 \times 1000 / \lambda\ (nm)$$

الخواص المشتركة للموجات الكهرومغناطيسية

1- تنتشر فى حيز الفراغ. تحتاج بعض الأنواع الأخرى من الموجات إلى وسط مادي تتحرك خلاله، فمثلا موجات الماء تحتاج إلى ماء سائل، موجات الصوت تحتاج إلى غاز أو سائل أو مادة صلبة لكي يسمع الصوت.

2- سرعة الضوء ثابتة فى الفضاء. كل أشكال الضوء تنتقل بنفس السرعة 2998,00 كيلومترا فى الثانية فى الفضاء ويرمز لها دائما بالحرف C.

3- ترتيبها من الطاقة الأعلى إلى الطاقة الأقل كما يلي: أشعة جاما – أشعة X – فوق البنفسجية – المرئية – تحت الحمراء – الموجات الميكرونية وموجات الراديو [الموجات الميكرونية هي موجات راديو عالية الطاقة] ، كما هو مبين في جدول (1)

4- يعرف الطول الموجي– تماما كما فى حالة موجات الماء – بأنه المسافة بين قمتين أو بين قاعين. الأطوال الموجية للضوء المرئي الذي تكتشفه العين يتراوح بين 4000 إلى 8000 أنجستروم [واحد أنجستروم = 10^{-10}متـرا]، وأحيانا يقاس الطول الموجي للضوء المرئي بالنانومتر[واحد نانومتر = 10^{-9} متـرا = 10 أنجستروم].

جدول (1) يبين طاقات المناطق المختلفة من الطيف الكهرومغناطيسى.

المنطقة	التردد	الطول الموجي	الطاقة
أشعة جاما	أكثر من 10^{20} هرتز	أقل من 10^{-12}متر	أكثر من I/mev
أشعة إكس	أعلى من $3x10^{16}$ هرتز	أقل من 10نانومتر	أكبر من 124 ev
الأشعة فوق البنفسجية	$3x10^{16}$-$7.5x10^{14}$ هرتز	10-400نانومتر	124-3.1 ev
الضوء المرئي	$4-7.5x10^{14}$ هرتز	750-400 نانومتر	1.65-3.1 ev
تحت الحمراء	$0.003-4x10^{14}$ هرتز	1mm-750nm	0.0012-1.65ev
الميكروويف	30-1.6GHz	10-187mm	$0.12x10^{-3}$-$0.66x10^{-5}$ev
موجات الراديو أ- نطاق الراديوى FM&TV	54-1600MHz	5.55-0.187m	$0.22x10^{-6}$–$0.66x10^{-5}$ev
ب- الموجات القصيرة	1.605- 54MHz	5.55-187m	$0.22x10^{-6}$-$0.66x10^{-8}$ev
ج- نطاق الراديو AM	500-1500KHz	600-200m	$2-6x10^{-9}$ev

2.1 ما هو الإشعاع؟

تتكون كل المواد من الذرات، تتكون الذرات من أجزاء مختلفة. النواة التي تحتوى على جسيمات أصغر وهي البروتونات والنيوترونات، وغلاف خارجي يتكون من جسيمات أخرى يطلق عليها الإلكترونات. وتحمل النواة شحنة كهربائية موجبة، بينما تحمل الإلكترونات شحنات كهربائية سالبة. ولكي تصبح نوى الذرات مستقرة فإنها تتخلص من الطاقة الزائدة. النوى غير المستقرة يمكن أن تبعث كمية من الطاقة أو يمكن أن تبعث جسيما. انبعاث هذه الطاقة الذرية أو الجسيم هو ما يطلق عليه الإشعاع.

هناك نوعان أساسيان من الإشعاع. أحد هذين النوعين من الإشعاع عبارة عن جسيمات سريعة الحركة وتمتلك طاقة وكتلة وتعرف بإشعاع الجسيمات، النوع الآخر من الإشعاع عبارة عن طاقة خالصة ليس لديها كتلة وتشبه الموجات

التذبذبية أو النبضية للطاقة الكهربائية أو المغناطيسية. الموجات الإشعاعية يطلق عليها الموجات الكهرومغناطيسية أو الإشعاع الكهرومغناطيسى.

الإشعاع المؤين وغير المؤين

التأين هو عملية إزالة الإلكترونات من الذرة تاركا نوعين من الأيونات (الجسيمات) المشحونة كهربائيا. ومن أمثلة الإشعاع المؤين أشعة γ و X بعض أشكال الإشعاع مثل: الضوء المرئي، الميكروويف، موجات الراديو لا تمتلك الطاقة الكافية لإزالة الإلكترونات من الذرات، ومن ثم يسمى هذا النوع من الإشعاع الإشعاع غير المؤين. وكلا النوعين من الأيونات – الإلكترونات السالبة أو النوى الموجبة تمتلك القدرة على إحداث تغيرات فى الأنسجة الحية.

النشاط الإشعاعي Radioactivity

الإشعاع مصطلح عام يستخدم لوصف انبعاث أو انتقال الطاقة كموجات أو جسيمات خلال الهواء أو المواد الأخرى. والأنواع المعروفة من الإشعاع هي أشعة الشمس، الميكروويف المستخدمة فى أفران الطهي بالميكروويف، الرادار المستخدم فى رصد الأجسام وموجات الراديو فى التليفون المحمول.

كما سبق وذكرنا ينتج الإشعاع المؤين من تفتت قطعة من المادة متناهية الصغر يطلق عليها النواة. والنواة فى حد ذاتها جزء من مكونات جسم صغير يسمى الذرة. تتكون أي مادة من الذرات.

هناك عدة أشكال من الإشعاع المؤين يعتمد على النواة وشكل الاضمحلال.

– **جسيمات ألفا** (α): قدرة اختراقها صغيرة جدا. المواد التي تبعث

أشعة ألفا(α) خارج الجسم ليست مؤذية حيث إنها لا تخترق الجلد. لكن عندما تدخل هذه المواد الجسم عن طريق الاستنشاق أو البلع يمكن أن تكون مؤذية.

- **أشعة بيتا** (β): لها قدرة اختراق أكبر تصل إلى 1أو 2 سنتيمتر داخل الأنسجة. المواد خارج الجسم التي تبعث أشعة بيتا يمكن أن تكون مؤذية للأنسجة السطحية للجسم، عندما تدخل هذه المواد الجسم يمكنها أن تؤذى الأعضاء التي تتواجد بها.

- **أشعة جاما** (γ): هي شكل من أشكال طاقة الأشعة الكهرومغناطيسية تنتج من النشاط الإشعاعي أو من فناء الإلكترون - بوزيترون. قدرة أشعة جاما على الاختراق أكبر من قدرة أشعة ألفا أو أشعة بيتا، ولكن قدرتها على التأين أقل من قدرة تأين أي منهما. تختلف أشعة γ عن أشعة X فى المصدر. تنتج أشعة γ من الانتقالات النووية، بينما تنتج أشعة X من انتقالات الطاقة نتيجة تعجيل الإلكترونات. وأشعة γ عبارة عن فوتونات ذات طاقات عالية بين 1Mev إلى 10Gev. تمتلك أشعة γ أقل طول موجي وأعلى طاقة مقارنة بكل مناطق الطيف الكهرومغناطيسى. وتستطيع أشعة γ النفاذ فى الخلايا الحية، الصفة التي تتميز بها فى الاستخدامات الطبية تتمثل فى قتل الخلايا السرطانية.

الطاقة العالية لأشعة γ جعلتها مفيدة جدا فى تعقيم الأدوات الطبية بقتلها البكتريا. وتستخدم أيضا فى قتل البكتريا فى المواد الغذائية لكي تظل الأغذية طازجة لفترة أطول. وتتفاعل كل من أشعة γ و X خلال العديد من الطرق أهمها:

1- التأثير الكهروضوئى

يصف هذا التأثير الحالة التي تتفاعل بها فوتونات γ مع المادة ونقل كل طاقتها إلى إلكترون مدارى وإزالة هذا الإلكترون من الذرة. وتساوى طاقة حركة الإلكترون طاقة فوتون γ الساقط على الذرة ناقص طاقة ربط الإلكترون. التأثير الكهروضوئى يعتقد أنه الآلية التي لها الغلبة لانتقالات طاقة فوتونات أشعة γ

وأشعة X.الطاقات أقل من 56Kev تكون أقل أهمية عن الطاقات الأعلى من ذلك.

2- تشتت كمبتون

هو التفاعل الذي فيه يفقد فوتون γ جزءا كافيا من طاقته لإلكترون مدارى مسببا انتزاعه مع انبعاث الجزء المتبقي من طاقة الفوتون الساقط كفوتون جاما جديد ذي طاقة أقل فى اتجاه يختلف عن اتجاه فوتون γ الأصلي الساقط. وتقل احتمالية تشتت كمبتون مع زيادة طاقة الفوتون. يعتقد أن تشتت كمبتون يمثل آلية الامتصاص الأساسية لأشعة γ فى مدى الطاقة الوسطى من 100Kev إلى 10Mev. لا يعتمد تشتت كمبتون على العدد الذرى للمادة الممتصة.

3- إنتاج الزوج

فى هذا التفاعل تتحول طاقة الفوتون الساقط إلى كتلة الزوج، إلكترون بوزيترون. البوزيترون هو إلكترون موجب الشحنة.

3.1 التأثيرات البيولوجية لأشعة جاما(γ)

بالرغم أن أشعة γ تسبب السرطان إلا أنها تستخدم فى علاج بعض أنواع السرطان وفى هذه الطريقة توجه عدة حزم مركزة من أشعة γ على مكان الإصابة لكي تقتل الخلايا السرطانية. توجه الحزم من زوايا مختلفة لتركيز الأشعة على مكان الإصابة لتقليل تلف الأنسجة المحيطة إلى أدنى حد ممكن. وتبدأ الإصابة الناتجة عن الأشعة بالتلف الجزيئي. الجسيمات المشحونة مثل α أو β تنقل طاقتها عن طريق تفاعلات التأين أو الإثارة. أشعة γ أو أشعة X (غير مشحونة وعديمة الكتلة) تتفاعل أولا مع الذرة فى الخلية. فى هذه العمليات تنتقل طاقة أشعة γ أو أشعة X إلى إلكترون فى الذرة والذي بعدئذ يسبب تأينات أو إثارات داخل المواد المحيطة بها.

ونظرا لأن معظم جسم الإنسان يتكون من الماء، فسوف تحدث غالبية هذه التفاعلات فى جزيئات الماء. والانقسام أو التحلل الإشعاعي للماء يأتي من انتقال الطاقة من ألفا أو بيتا أو الإلكترونات إلى جزيء الماء.

يؤدى تأين جزيئات الماء إلى حدوث تغيرات كيميائية تؤدى بدورها إلى إحداث تغيرات فى تركيب ووظيفة الخلية. ويمكن أن تظهر نتائج هذه التغيرات فى الإنسان فى شكل أمراض إكلينيكية كالمرض الإشعاعي أو إعتام عدسة العين أو الإصابة بالسرطان على المدى الطويل.

الإشعاعات المؤينة تؤدى إلى إتلاف الخلية من خلال عدة مراحل مختلفة ومعقدة نوجزها فيما يلى:

المرحلة الفيزيائية

تتم خلال زمن قصير جدا حوالي 10^{-16} ثانية وفيها تنتقل الطاقة من نوع معين من الإشعاعات إلى جزيئات الماء بالخلية ويحدث تأين

$$H_2O \xrightarrow{\text{Radiation}} H_2O^+ + e^-$$

حيث H_2O^+ هو أيون الماء الموجب، e^- هو الإلكترون السالب.

المرحلة الفيزيوكيميائية

تتم هذه المرحلة خلال زمن قصير حوالي 10^{-6} ثانية بعد حدوث التأين ويحدث خلالها تفاعل الأيونات الموجبة والسالبة مع جزيئات الماء الأخرى فينتج عن هذا التفاعل عدة مركبات جديدة. فعلى سبيل المثال يمكن أن يتحلل أيون الماء الموجب مكونا أيون هيدروجين موجبا H^+ وهيدروكسيد OH.

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

أما الإلكترونات السالبة e^- يمكن أن تتحد مع جزيء ماء متعادل مكونا

بذلك ماء سالب.

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

ثم يتحلل هذا الأيون الأخير مكونا الهيدروجين وأيون الهيدروكسيد السالب أي

$$H_2O^- \rightarrow H + O\,H^-$$

وتؤدى هذه التفاعلات إلى تكوين كل من H^+، OH^-، H، OH. وأيونات الهيدروجين H^+ والهيدروكسيد OH^- موجودة دائما فى الماء ولا تشترك عموما فى إحداث تفاعلات تالية. أما بالنسبة للنواتج الأخرى وهى الهيدروجين H، والهيدروكسيد OH فهي معروفة بنشاطها الكيميائي الشديد. كذلك يمكن أن يتكون ناتج آخر هو فوق أكسيد الهيدروجين الذي يعتبر عاملا مؤكسدا قويا وذلك طبقا للتفاعل التالي:

$$OH + OH \rightarrow H_2O_2$$

المرحلة الكيميائية

تستغرق هذه المرحلة عدة ثوانى ويتم خلالها تفاعل نواتج المرحلة السابقة وهى الهيدروجين H والهيدروكسيل OH وفوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 مع الجزيئات العضوية المختلفة فى الخلية. فمثلا يمكن أن تتفاعل هذه النواتج مع الجزيئات المعقدة التي تتكون منها الكروموسومات فتتحد معها أو تؤدى إلى تكسير تراكيب السلسلة الطويلة وإحداث بعض التغيرات فى الجينات.

المرحلة البيولوجية

يتراوح زمن هذه المرحلة بين عدة دقائق وعدة عشرات السنوات. تبدأ فى هذه المرحلة ظهور آثار التغيرات الكيميائية التي حدثت فى الخلية. وبعض هذه الآثار هي:

1- موت الخلية .

2- منع أو تأخر انقسام الخلية أو زيادة معدل انقسامها.

3- حدوث تغيرات مستديمة فى الخلية تنتقل وراثيا إلى الخلايا الوليدة.

الجزيئات الضخمة فى الأنظمة البيولوجية تكون - غالبا - حساسة للتغيرات التركيبية الناتجة عن الأشعة، وهذه تشمل التحللDegradation والترابط التصالبى Cross Linking فى وبين الجزيئات. وجود الأكسجين أثناء التشعيع يعزز التأثيرات الكيميائية والبيولوجية بزيادة عدد الشق المؤذى Harmfull و/ أو استعاضة الجزيئات التالفة.

فى عام 1906م أشار عالمان فرنسيان Bergoric & Tribondeau إلى أن الأنواع المختلفة من الخلايا تختلف فى حساسيتها للإشعاع وقد ذكرا أن الخلايا تكون ذات حساسية عالية للإشعاع عندما:

1- يكون معدل الانقسام الفتيلى لها مرتفعا Mitotic Rate.

2- عندما يكون لديها مستقبل طويل للانقسام الفتيلى.

3- تكون ذات خلية أولية.

قدرة الخلية على تعويض التلف الناتج عن امتصاص كمية معينة من الإشعاع يمكن أن تكون متفاوتة جدا وتعتمد على عوامل كثيرة منها.

1 - القدرة على التعويض الخلوي.

2- التأثيرات المحفزة من عمليات الأيض الأخرى.

3- انتقال الطاقة الخطى (LET) لأشعة معينة.

4- معدل تصريف الجرعة.

التلف الناتج عن جرعات منخفضة من الإشعاع يمكن تعويضه عن طريق الخلايا. هذا يتحقق بتقسيم الجرعة إلى جزأين أو أكثر وملاحظة أن الموت الخلوي يكون أقل فى حالة الجرعة المفردة من نفس الكمية الكلية. بينت التجارب أن

الخلايا التي تستقبل الجرعات المجزأة تكون معدلات البقاء لها أطول، وتبدأ التعويض بعد التشعيع مباشرة.

الحساسية الإشعاعية لأي كائن حي تحت تأثير الإشعاع المؤين تكون هي أيضا متفاوتة جدا. الحساسية الإشعاعية للشدييات، من أعلى حساسية إلى أقل حساسية هي كالتالي:

1- النسيج الجنيني	**Embryonic Tissue**
2- الأعضاء المصنعة للدم	**Hematopoietic organs**
3- البشرة	**Epidermis**
4- الغشاء المخاطي المعوي	**Intestinal mucous membrane**
5- النسيج الضام	**Connective Tissue**
6- النسيج العضلي	**Muscle tissue**
7- الأنسجة العصبية	**Nervous tissue**

أنواع التأثيرات :

من المعروف أن المستويات العالية من التعرض يمكن أن تسبب تأثيرات بيولوجية للكائنات الحية التي تتعرض لهذه المستويات. وسواء كانت الإشعاعات المؤينة صادرة عن مصدر خارجي أم عن التلوث الداخلي للجسم بالمواد المشعة فإنها تؤدى إلى آثار بيولوجية فى جسم الكائن الحي يمكن أن تظهر فيما بعد فى شكل أعراض إكلينيكية. وتعتمد خطورة هذه الأعراض والفترة الزمنية لظهورها على كمية الإشعاعات الممتصة وعلى معدل امتصاصها. تنقسم الآثار البيولوجية للإشعاعات فى الكائنات الحية إلى ثلاث مجموعات:

1- تأثيرات ذاتية Somatic Effects

هى التأثيرات التي تظهر أعراضها على الشخص المتعرض للإشعاع، وهذه تنقسم إلى قسمين:

a- تأثيرات فورية **Prompt Effects**: وهى التي تظهر مباشرة بعد الجرعة العالية (أكبر من 1 SV للجسم الكامل).

b- تأثيرات متأخرة **Delayed Effects**: يمكن أن تظهر بعد سنوات من التعرض للإشعاع.

2- تأثيرات وراثية Genetic Effects

ينتقل التأثير إلى الأجيال القادمة (الذرية) نتيجة لتعرض الوالدين للإشعاع وإصابة الجهاز التناسلي.

3- تأثيرات تشويهية Teratogenetic Effects

الآثار التي يمكن أن تظهر فى الأطفال الذين قد تعرضوا لجرعة إشعاعية أثناء نمو الجنين وقبل الولادة.

يضاف إلى ذلك التأثيرات الاحتمالية وهذه تستلزم حد أدنى للجرعة الإشعاعية، وتحدث فقط بعد جرعات إشعاعية عالية نسبيا، من أمثلتها جميع الإصابات الإشعاعية الحادة للأنسجة أو لأعضاء الجسم وأجهزته بما فى ذلك تدمير نظام المناعة فى الجسم.

أعراض الإشعاع على البالغين من تعرض الجسم الكامل:

الأعراض الحادة للإشعاع تحدث خلال ثلاثين يوما بعد جرعة عالية من الإشعاع يستقبلها الجسم الكامل. القيمة **LD50(30)** تستخدم للتعبير عن

obeikandl.com

الجرعة المميتة بنسبة 50% من الكائنات الحية المعرضة للإشعاع.

وتوجد أربعة أنواع من الأعراض المعروفة للإشعاع تنشأ عن كل مدى من جرعة الإشعاع الحادة.

1 – أعراض المرض الجزيئى: ينتج عن الجرعات من 1000GY أو أعلى ويكون الموت فوريا، مع إهماد الجزيئات الأساسية (DNA, RNA).

2– أعراض الجهاز العصبي المركزي: ينتج من الجرعات من 100GY إلى 1000GY ويحدث بعد يوم أو يومين من التعرض يصاحبه هبوط فى التنفس، وغيبوبة متقطعة.

3– أعراض الجهاز المعدي معوي: وينتج من الجرعات من 9 GY إلى 100GY ويحدث الموت بعد 3 إلى 5 أيام من التعرض ويكون مصاحبا بتغيرات فى شكل المجرى المعدي معوي.

4 - Hematopoietic Syndromes : ينتج من جرعات من 3GY إلى9GY. إذا حدث الموت يكون بعد10 إلى 15 يوما من التعرض للجرعات الإشعاعية وينتج عنه التغير فى خلايا الدم.

جرعات الجسم الكامل الأعلى من 50GY تسبب أعراضا إشعاعية مرضية، وهذه تشمل:

- الصداع
- دوخة أو دوار
- الغثيان (الشعور بالميل للقيء)
- إسهال
- أرق
- نقص فى خلايا الدم البيضاء والصفائح

التأثيرات الأخرى التي تسبب القلق والخوف لـدى العـاملين والحـد الأدنى لهـا يوضحها الجدول التالي.

جدول(2) يبين تأثير الجرعات غير المميتة للإشعاع

حد العتبة	التأثير
5GY فقد مؤقت 25GYفقد دائم	فقد الشعر (نتف الشعر)
2GYللمبيض 0.5GY للخصية	عقم منخفض
8GYحاد 15GYمجزأة	عقم دائم
2GYحاد 14GYمجزأة على عدسة العين	مياه بيضاء (عتامة العدسة)

تقدير مخاطر السرطان

كيفية تطور السرطان بالإشعاع ليست معروفـة جيـدا، لأننـا لا نـستطيع أن نجزم تماما إذا كان السبب فى تطور نوع معـين مـن الـسرطان هـو الإشـعاع أم أي مصدر آخر غير الإشعاع. الـصفة الوراثيـة، الـسن، النـوع والتعـرض للمـصادر الأخرى المسببة للسرطان يمكن أن تكون كلها عوامل مـساهمة. أحـد الفـروض هـو أن الإشعاع يمكنه إتلاف كروموسومات الخلية الـتي يمكـن أن تـسبب نمـوا شـاذا. وفرض آخر هو أن الإشعاع يخفض مقاومة الجـسم الطبيعيـة للفيروسـات الموجـودة والتي يمكن أن تتضاعف وتتلف الخلايا. والثالث هـو أن الإشـعاع ينـشط الفـيروس فى الجسم مما يساعد بعدئذ على تنشيط النمو السرطاني.

ولقد قدرت جمعية الـسرطان الأمريكيـة أن حـوالي 25% تقريبـا مـن كـل البالغين سوف يتطور عندهم سرطان فى وقت ما نـاتج مـن كـل الأسـباب الممكنـة والتي تشمل:

- التدخين

- ملوثات الأطعمة
- الكحوليات
- الأدوية
- ملوثات الهواء
- الخلفية الإشعاعية الطبيعية

وهكذا فإن مجموعة من 10000 عامل لا يتعرضون فى الأساس فى أماكن عملهم للإشعاع من المتوقع أن تتطور 250 حالة سرطان. إذا كانت هذه المجموعة بكاملها من العاملين تستقبل جرعة مهنية مقدارها 10000msv لكل فرد فيمكن توقع ثلاث حالات سرطان إضافية.

جدول(3) يبين أقصى جرعة مسموحة للأشخاص الذين لا يعملون فى مجال الطاقة النووية.

عضو/نسيج	مللي سيفر/ سنة
الجسم الكامل	1
عدسة العين	15
الجلد	50
اليد والقدم	50

4.1 أشعة X

هي أشعة كهرومغناطيسية، الأطوال الموجية القصيرة منها تصل إلى حد تأين العديد من الجزيئات. وبعد فترة وجيزة من اكتشافها استخدمت هذه الأشعة فى التشخيص الطبي لتصوير العظام المكسورة. أشعة X أشعة كهرومغناطيسية عالية

التردد تنتج عندما تكبح الإلكترونات فجأة، ويطلق على هذه الإشعاعات، الإشعاعات المكبوحة Brehmsstrahlung Radiation أو أشعة الفرملة(كابحة) Braking Radiation. تنتج أشعة X أيضا عندما يحدث انتقال إلكتروني بين مستويات الطاقة المنخفضة فى العناصر الثقيلة. وتمتلك أشعة X الناتجة بهذه الطريقة طاقات محددة تماما مثل الأطياف الخطية الأخرى من الإلكترونات الذرية، ويطلق عليها أشعة X المميزة نظرا لأنها تمتلك طاقات تحددها مستويات طاقة ذرية. بالنسبة لتفاعلها مع المواد فهي أشعة مؤينة وتسبب تأثيرات فسيولوجية، لا تلاحظ فى حالة الأشعة غير المؤينة، مثل طفرات وسرطانات الأنسجة. تتميز هذه الأشعة بقدرة اختراق محدودة ويتم الحصول على أشعة X المستخدمة فى الفحوص الطبية بقذف أهداف من التنجستن بواسطة إلكترونات عالية الطاقة لتوليد الأشعة التي تركز فى حزمة وتوجه إلى المكان المراد فحصه. اكتشفها ويلهلم رونتجن Wilhelm Rontgen عام 1895م.

التردد	أعلى من 3×10^{16} هرتز
الطول الموجي	أقل من 10 نانومتر
الطاقة	أكبر من 124 إلكترون فولت

5.1 استخدامات أشعة X فى الطب

تستخدم أشعة X فى مجالين مهمين فى الطب هما:

1- التشخيص الطبي Diagnosis

2- العلاج الإشعاعي Radiation Therapy

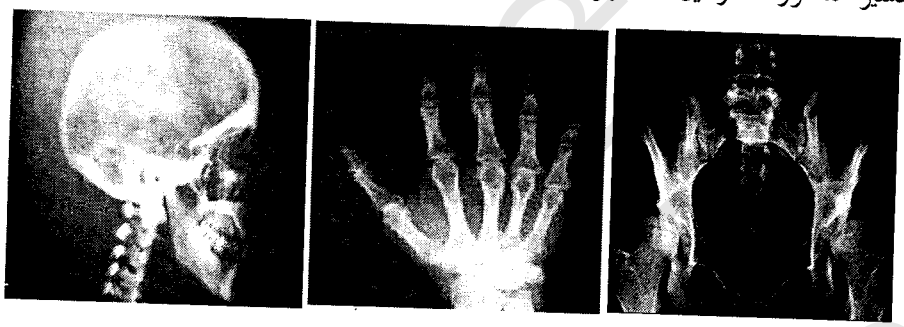
كل من المجالين، التشخيص والعلاج مفيد جدا للمريض، لكن كما هو الحال فى حالة استخدام الأشكال الأخرى من الإشعاع، يجب أن تكون الفائدة التي تعود على المريض أعظم من المخاطر التي تنجم عن استخدامها.

1- التشخيص

يطلق على الصور الضوئية بأشعة X ، صور بالأشعة - ويستخدم هذا التصوير بكثافة فى الطب كأدوات للتشخيص. قيمة الصور بأشعة X فى التشخيص تنبع من خواص هذه الأشعة فى الاختراق. تشخيص كسور العظام المشتبه فيها هو أول احتمال يفكر فيه معظم الناس عند حدوث أي إصابة. ويعتبر ذلك عمل روتيني فى أقسام الحوادث والطوارئ بالمستشفيات ويتم الحصول على صورة بالأشعة السينية كما يلي:

يوضع فيلم فوتوجرافى خلف الساق - على سبيل المثال - ثم توجه أشعة X على الساق وتمر خلاله إلى الفيلم الفوتوجرافى. تمر أشعة X بسهولة خلال الأنسجة الرخوة، لكنها تمتص بدرجات متفاوتة بأي مادة كثيفة مثل العظام التي تقابلها. وهكذا فإن كميات أقل من أشعة X سوف تصدم الفيلم فى أجزاء من الصورة المناظرة للأجزاء الكثيفة من الساق، وسوف تقع هذه الأجزاء الكثيفة فى مساحات أقل عتامة عند تحميض الفيلم كما فى شكل (3). إذن تفيد صور أشعة X فى توضيح حالة العظام دون الحاجة للعمليات الجراحية.

تستخدم صور أشعة X للصدر فى تشخيص السرطان والسل... ويمكن تفسير صور الرئتين بسهولة لأن فراغات الهواء تنفذ أشعة X أكثر من



شكل (3) يبين صورة أشعة X لبعض أعضاء الجسم.

أنسجة الرئة. ويمكن ملء الفجوات المختلفة الأخرى بالجسم بأوساط متباينة سواء كانت أكثر شفافية أو أكثر عتامة لأشعة X عن النسيج المحيط بها لكي يصبح العضو المعين أكثر وضوحا فى الصورة. تستخدم كبريتات الباريوم التي تعتبر

شديدة العتامة بالنسبة لأشعة X لفحص المجرى المعدي المعوي. مثل هذه الأصباغ لها تأثيرات جانبية. كما يتم الحصول على صور بأشعة X لثدي المرأة للكشف المبكر عن أي إشارة عن وجود سرطان بالثدي. ويستخدم أطباء الأسنان أشعة X لتحديد نوع ومكان الإصابات بالأسنان. ويستخدم فى هذا النوع من التصوير الإشعاعي أشعة X اللينة وأفلام فوتوجرافية عالية الحساسية.

الجدير بالذكر أن أشعة X تتفاعل مع الأنسجة والعظام من خلال أربعة عمليات أساسية هي:

1- التشتت المرن

2 – التأثير الكهروضوئى

3 – إنتاج زوج إلكترون – بوزيترون

4- تأثير كمبتون

2- العلاج بأشعة X

فى الطب الإشعاعي _ تستخدم أشعة X فى علاج أمراض معينة على وجه الخصوص، السرطان وذلك بتعريض الورم الخبيث لأشعة X. فى هذه الطريقة – العلاج بالأشعة – توجه أشعة X على الورم لتحطيمه. وتنتج أشعة X من المعجل الخطى الذي يولد طاقات تصل حتى 6Mev (مقارنة بطاقات 120Kev المستخدمة فى التشخيص). تدور آلة أشعة X فى قوس حول المريض وهذا يؤكد أن الورم يستقبل أقصى جرعة، لكن الأنسجة السليمة المحيطة به لا تستقبل إلا القدر الضئيل.

6.1 المسح بالتصوير المحورى المقطعى بالحاسب *CAT Scan*

التطور الحديث فى تطبيقات أشعة X هو التصوير المقطعي المحوري بالحاسب

.Computerized Axial Tomography {CAT or CT}

وهذا يقدم طريقة للحصول على صورة مقطعية للجسم بدون ظلال للأعضاء الأخرى التي يتم تصويرها.

يستخدم فى هذه الطريقة مصدر لأشعة X يتحرك فى قوس حول المريض منتجا انفجارات قصيرة من أشعة X.

يستخدم عدد كبير من كواشف أشعة X ترتب أيضا على هيئة قوس على الجانب الآخر للمريض المقابل للمصدر. تتكون الكواشف من بلورات من أيوديد الصوديوم لكشف أشعة X وعدد من الفوتوديودات لتسجيل الوميض من البلورات.

يستخدم الحاسب لجمع المعلومات من الفوتوديودات وإعادة بناء شريحة الجسم على شاشة الحاسب فى عدد قليل من الثواني. وهذه الطريقة جيدة على وجه الخصوص فى حالة الأنسجة اللينة. بهذه الطريقة، CAT يمكن الكشف عن الأورام وجلطة الدم... إلخ والتي لا يمكن اكتشافها بجهاز أشعة X التقليدي.

مخترع ماسح CATهو جودفرى هونسفيلد Godfrey Houns Field والذي منح جائزة نوبل فى الطب عام 1979 م.

ما هي مخاطر الإشعاع المصاحب للفحص الطبي بأشعة X ؟

فى الحقيقة هذه المخاطر تكون عادة منخفضة للغاية وتعطى فقط زيادة ضئيلة جدا فى احتمال حدوث سرطان بعد العديد من السنين أو العقود من التعرض للإشعاع. كل الجرعات الإشعاعية بما فى ذلك الجرعات المنخفضة من أشعة X تمتلك القدرة على بدء سرطان. على أي حال الإشعاع لايسبب كل السرطانات، فى الحقيقة ثلثنا – لسوء الحظ – سوف يتطور عنده سرطان خلال حياتنا، والربع مع الأسف الشديد سوف يموت من تأثيرات السرطان. لا يمكن التأكيد على أن تعرض شخص ما للإشعاع يسبب له – بالدليل القاطع –

السرطان. فمثلا يمكن أن يتعرض شخص ما لجرعات عالية من الإشعاع ولا يصاب أبدا بالسرطان فى حين أن شخصا آخر يتعرض لجرعات منخفضة من الإشعاع ومع ذلك يصاب بالسرطان، ... على أي حال، إذا تعرض عدد كبير من الناس للإشعاع فإننا سوف نتوقع أن عدد الذين سوف يصابون بالسرطان سيزداد عن عددهم فى حالة عدم تعرض نفس العدد للإشعاع.

نستخلص مما سبق أن الفحص الطبي بأشعة X يعمل على زيادة الخطر النسبي بكمية صغيرة جدا. على سبيل المثال، الاختبارات بالجرعات المنخفضة مثل تلك التي تتم على الأذرع أو السيقان أو الصدر والأسنان فى هذه الحالات تكون زيادة خطر السرطان فى حدود واحد فى المليون. وينظر إلى هذه الزيادة على أنها عديمة القيمة وحتى فى حالة الفحص بالجرعات العالية فى حالة التصوير بالصبغة أو فى حالة الأشعة المقطعية (CAT) لا يزيد الخطر عن واحد لكل عدة آلاف.

نظرا لأن السرطان يظهر بعد سنين كثيرة أو حتى العقود من التعرض للإشعاع فإن الخطر يقل أكثر فى الناس المسنين عند وقت التعرض. الناس الذين تزيد أعمارهم عن 60 عاما لن يكون لديهم وقتا كافيا من زمن بقائهم على قيد الحياة حتى تظهر عليهم الإصابة بالسرطان. على العكس الأطفال الذين يتعرضون لفحوصات بأشعة X يتضاعف الخطر مقارنة بكبار السن نظرا لطول فترة بقائهم على قيد الحياة.

يمكننا الآن مقارنة الجرعات الإشعاعية التي نحصل عليها من الفحوصات بأشعة X وتلك التي نتعرض لها من خلفية الإشعاع الطبيعي. تأتى هذه الخلفية الإشعاعية من النشاط الإشعاعي لبعض المواد فى الأرض ومن الأشعة الكونية.

جدول(4) يبين مقارنة الجرعات الإشعاعية من فحوصات أشعة X والجرعات من خلفية الإشعاع الطبيعي.

طريقة التشخيص	الجرعة الاعتيادية الفعالة (mSv)	الفترة المكافئة للخلفية الإشعاعية الطبيعية	الخطر من السرطان لكل اختبار
فحوصات أشعة Xالأطراف والمفاصل ماعدا الأرداف	أقل من 0.01	أقل من 1.5يوما	I فى كل بضعة ملايين
الأسنان	أقل من 0.01	أقل من 1.5 يوما	I فى كل بضعة ملايين
الصدر الجمجمة	0.02 0.07	3 أيام 11يوما	I فى المليون 1فى 300000
فقرات العنق (الرقبة)	0.08	أسبوعان	1فى 200000
الأرداف	0.3	7 أسابيع	1فى 67000
السلسلة الفقرية الصدرية	0.7	4 أشهر	1فى30000
تجويف الحوض	0.7	4 أشهر	1فى30000
البطن	0.7	4 أشهر	1فى30000
الفقرات القطنية	1.3	7أشهر	1فى15000
بلع الباريوم	1.5	8 أشهر	1فى13000
الكلى والطحال	2.5	14شهرا	1فى8000
أكلة الباريوم	3	16شهرا	1فى6700
أشعة مقطعية على الرأس	2	1سنة	1فى10000
أشعة مقطعية على الصدر	8	3.6 سنة	1فى2500
أشعة مقطعية على البطن وتجويف الحوض	10	4.5 سنة	1فى2000

7.1 المصدر الضوئي المتطور

Advanced Light Source ALS

فى السنوات القليلة الماضية تمكن الباحثون فى معامل بريكلي Berkeley Lab بالولايات المتحدة الأمريكية من الحصول على نبضات فيمتوثانية لضوء السنكروترون مباشرة من حزمة إلكترونية فى حلقة تخزين السنكروترون. وسوف

تزود هذه التقنية المتطورة العلماء بكاميرا تصوير بأشعة X يمكنها أسر حركة الذرات خلال التفاعلات الفيزيائية والكيميائية فى زمن قصير قياسي غير مدرك.

المصدر الضوئي المتطور ALS عبارة عن سنكروترون إلكتروني تم تصميمه لتعجيل الإلكترونات إلى طاقات 1.9Gev (بليون إلكترون فولت) يمسكها لعدة ساعات فى حزمة مقيدة بإحكام داخل حلقة تخزين محيطها حوالي 200 متر (حوالي 660 قدمًا). عندما تدور الحزمة الإلكترونية خلال حلقة التخزين، فإن حزما من الضوء فوق البنفسجي أو من أشعة X اللينة يمكن أن تفرغ منها خلال استخدام مغناطيس منحنى. هذا الضوء الذي يمكن استخدامه فى العديد من التطبيقات العلمية المتنوعة تفوق درجة سطوعه درجة سطوع أشعة X من أنابيب التفريغ بمقدار حوالي مائة مليون مرة.

نظرا لأن الحزمة الإلكترونية فى حلقة تخزين ALS تتكون من رزم منفصلة من الإلكترونات أكثر من كونها تيارا مستمرا من الجسيمات، فإن كل الضوء الذى تولده يصدر على هيئة نبضات، بمعدل تكرار حوالي 500 مليون نبضة فى الثانية وتستغرق كل نبضة من 30 إلى40 بيكوثانية . ويستخدم العلماء تقنية ALS فى الأغراض التالية:

- الكشف عن خواص المواد.
- تحليل العينات للعناصر الشحيحة.
- دراسة الأصناف البيولوجية.
- تصنيع الآلات الميكروسكوبية.

يستخدم العلماء ALS فى عملهم، فعلى سبيل المثال استخدمها أحد الباحثين فى تعيين الكميات الضئيلة من الملوثات السامة فى التربة واستخدمها آخر فى فحص البلمر لمعرفة ترتيب الجزيئات.

وكما ذكرنا ALS تنتج ضوءا فى المنطقة فوق البنفسجية البعيدة وأشعةX

اللينة من الطيف الكهرومغناطيسى. يتراوح الطول الموجي لهذا الضوء من 0.0001 إلى 0.1 ميكرون .

توجد عدة أسباب تبرهن على أن ALS أداة فاعلة فى دراسة خواص المواد.

1- الضوء من ALS له القدرة على اختراق المواد. كما يستخدم طبيب الأسنان أشعة X ليرى ما فى داخل اللثة، يستخدم العلماء الضوء من ALS للنظر فى داخل المادة.

2- فى دراسة الذرات أو الجزيئات يجب استخدام موجات ضوئية فى حدود حجمها، من المستحيل رؤية أي شيء أصغر من الطول الموجي للضوء المستخدم. ALS يصدر ضوءا ذا طول موجي فى حدود أحجام الذرات والجزيئات والروابط الكيميائية والمسافات بين المستويات الذرية فى البلورات.

3- الفوتونات (أو جسيمات الضوء) من ALS تمتلك الطاقة المناسبة للتفاعل مع الكثير من إلكترونات الذرة.

4- وقد سبق وذكرنا أن سطوع أو شدة استضاءة أشعة X الصادرة من ALS أكبر بمائة مليون مرة عن سطوع أشعة X الناتجة عن أنابيب أشعة X المعروفة والتي يستخدمها أطباء الأسنان مثلا. وزيادة السطوع إلى هذا الحد يعنى أن أشعة X من ALS عالية التركيز. يمكن تركيز الكثير من فوتونات أشعة X فى الثانية على مسافة ضئيلة من المادة.

5- بالإضافة إلى السطوع تتميز أشعة X من ALS بخصائص أخرى تشمل التوليف – الترابط القريب، الطبيعة النبضية والاستقطاب.

جدول (5) يوضح مقارنة بين خواص كل من أشعة X من ALS ومن أنبوب التفريغ.

أشعة X المنتجة بأنبوب التفريغ	أشعة X من ALS
تخترق المواد	تخترق المواد
أطوالها الموجية أصغر من معظم الذرات والجزيئات	الطول الموجي في حدود حجم الذرات والجزيئات
تتفاعل مع إلكترونات الذرات الثقيلة مثل الذهب	تمتلك الطاقات المناسبة للتفاعل مع إلكترونات الذرات الخفيفة مثل الكربون والأكسجين

8.1 الوقاية من الإشعاع

هناك ثلاثة عوامل لابد أن تؤخذ في الاعتبار للوقاية من الإشعاع:

1- الزمن

كمية التعرض الإشعاعي تزيد أو تنقص حسب طول أو قصر الفترة الزمنية التي يقضيها الفرد بالقرب من مصدر الإشعاع، على العموم، نحن نفكر في زمن التعرض على أساس طول الفترة الزمنية التي يقضيها الشخص بالقرب من مادة ذات نشاط إشعاعي... على أي حال من السهل علينا أن نفهم كيف نقلل زمن التعريض إلى الحد الأدنى بالنسبة للتعرض الخارجي (المباشر).. هذا ينطبق بالدرجة الأولى على إشعاع γ ، وإشعاع X. لكن إذا وجدت مادة مشعة داخل الجسم فمن الصعب الابتعاد عنها، عليك أن تنتظر حتى تتحلل أو حتى يستطيع الجسم التخلص منها، عندما يتم ذلك، يتحكم نصف العمر البيولوجي للنيوكليدات المشعة في زمن التعرض. ونصف العمر البيولوجي هو مقدار الوقت الذي يأخذه الجسم للتخلص من نصف كمية النيوكليدات المشعة التي كانت موجودة أصلا منذ البداية. وهذا ينطبق على جسيمات ألفا وبيتا بالنسبة للتعرض الداخلي.

2- المسافة

من الطبيعي أنه كلما كان الناس بعيدين عن مصدر الإشعاع كلما كان تعرضهم للإشعاع ضئيلا. كيف، إذا كنت وأنت قريب من مصدر إشعاع، تستطيع تجنب الحصول على تعرض مرتفع؟ هذا يعتمد على طاقة الإشعاع وحجم (أو نشاط) المصدر. للمسافة أهمية أولية عندما تتعلق بأشعة γ لأن هذه الأشعة يمكن أن تنتقل إلى مسافة طويلة أما جسيمات α، β فليس لديها الطاقة الكافية للانتقال إلى مسافات بعيدة. كقاعدة إذا أنت ضاعفت المسافة فإنك تخفض التعرض بمقدار أربعة أمثال، أما إذا قللت المسافة إلى النصف فإن التعرض سيزداد بمقدار أربعة أمثال. لماذا إذن يتغير الإشعاع أكثر كثيرا عن التغير فى المسافة؟. تعتمد مساحة الدائرة $4\pi r^2$ على (نصف قطر الدائرة)، أي أنها تتناسب مع مربع نصف القطر. نتيجة لذلك إذا تضاعف نصف القطر فإن المساحة سوف تزداد بمقدار أربعة أمثال. إذا تعرض شخص موجود على بعد 4 أقدام من مصدر مشع فسوف يكون تعرضه ¼ تعرض شخص موجود على بعد 2 قدم من نفس المصدر المشع.

3- التدريع

ثمة حقيقة مهمة تتمثل فى أنه كلما كان التدريع حول مصدر الإشعاع قويا كلما كان التعرض صغيرا. والتدريع ببساطة يعنى وجود شيء ما بين الشخص والمصدر ليمتص الإشعاع الصادر من المصدر. كمية التدريع المطلوبة للوقاية من الأنواع المختلفة من الإشعاع تعتمد على كمية طاقة الإشعاع.

جسيمات α (ألفا)

قطعة رقيقة من مادة خفيفة مثل الورق أو حتى الخلايا الميتة فى الطبقة الخارجية من جلد الإنسان تعطى تدريعا مناسبا لأن جسيمات ألفا لا تستطيع اختراقها. على أي حال الأنسجة الحية داخل الجسم لاتعطى أي وقاية ضد

جسيمات α التي ابتلعها أو استنشقها الشخص.

جسيمات β (بيتا)

الأغطية الإضافية، على سبيل المثال، الملابس الثقيلة تكون ضرورية للوقاية ضد باعثات جسيمات β. يمكن لبعض جسيمات β أن تخترق الجلد.

إشعاع γ (جاما)

التدريع السميك الكثيف مثل الرصاص ضروري للوقاية من إشعاع γ. وكلما كانت طاقة الإشعاع كبيرة كلما كان السمك المطلوب للوقاية من هذه الطاقة كبيرا. وينطبق هذا على أشعة X.

obeikandl.com