معلومات أساسية حول الإشعاع المؤيَّن والوقاية الإشعاعية

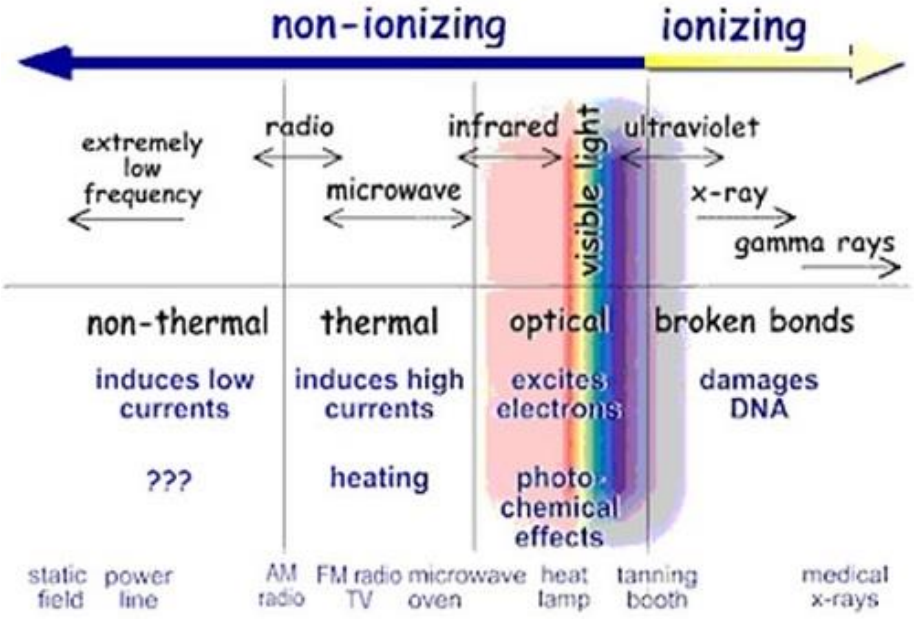
ما هو الإشعاع المؤيَّن؟

الإشعاع المؤيَّن عبارة عن طاقة يمكن أن تكون على شكل ذرات غير مستقرة أو يمكن انتاجها عبر الأجهزة، ويعبُر الإشعاع من مصدره في شكل موجات طاقة أو جزيئات نشطة.

ولكن، ما هو الفرق بين الإشعاع المؤيَّن والإشعاع غير المؤين؟

"الإشعاع غير المؤيَّن" هو إشعاع يحمل طاقة كافية لتحريك الذرات في الجزيء أو يتسبب في اهتزازها، ولكن ليس بقدر يكفي لإزالة الإلكترونات. من أمثلة هذا النوع من الإشعاع الضوء المرئي والموجات الكهرومغنطيسية الصغيرة.

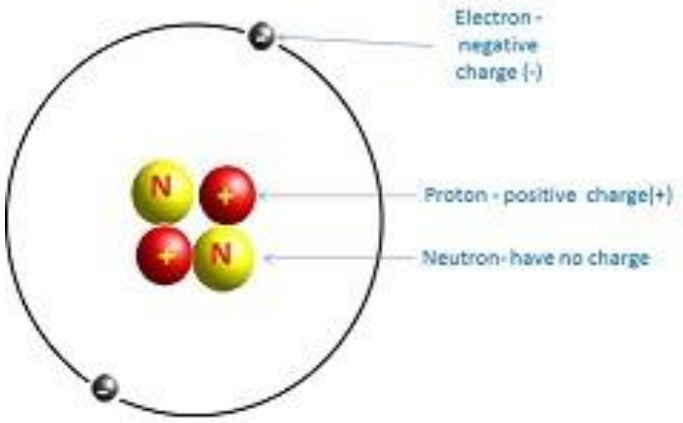
أما الإشعاع المؤيَّن، فهو إشعاع يحمل طاقة كافية لإزالة الإلكترونات الملتصقة بإحكام من الذرات، مُكَوِّنة بذلك الأيونات. من أمثلة الإشعاع المؤيَّن الأشعة السينية وأشعة جاما. ويبيّن الشكل التالي أنواع الإشعاع المؤيَّن وغير المؤيَّن في الطيف الكهرومغناطيسي.



الشكل 1: أنواع الإشعاع في الطيف الكهرومغناطيسي، المصدر) :موقع وكالة حماية البيئة الأمريكية(EPA

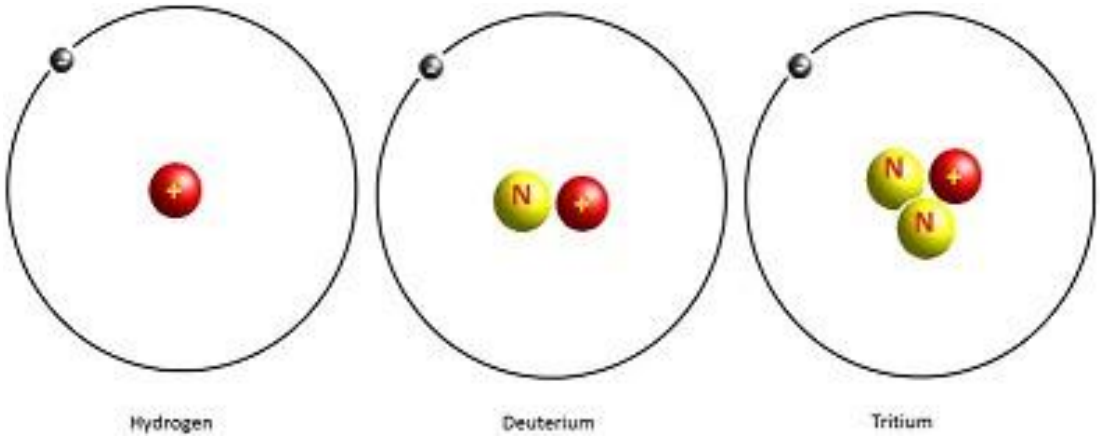
الذرات والإشعاع

تتألف جميع المواد من ذرات. وتتركز كل كتلة الذرة تقريباً في النواة، التي تتألف من بروتونات ذات شحنة كهربية موجبة ونيوترونات متعادلة الشحنة الكهربائية. وتدور حول النواة جزيئات ذات شحنة كهربائية سالبة، تسمى الإلكترونات. يوضح الشكل 2 مثالاً على تركيب ذرة الهيليوم. للذرات عدد متساو من البروتونات والإلكترونات وشحنتها الكهربائية متعادلة. ويشكل إجمالي عدد البروتونات والنيوترونات كتلة الذرة، والتي تسمى عدد الكتلة.



الشكل 2: ذرة الهيليوم

بما أن عدد البروتونات مميز في كل عنصر، فإن العنصر وعدد الكتلة يحددان كل نويدة. تتشكل النظائر المشعة للعنصر بواسطة نويدات العنصر (أي ذرات تحمل نفس عدد بروتونات) وأعداد مختلفة من النيوترونات. ربما تكون هناك نظائر مشعة متعددة للعنصر. فالهيدروجين، على سبيل المثال، يحتوي على ثلاثة نظائر مشعة: الهيدروجين -1 (الهيدروجين الشائع)، الهيدروجين-2 (الديتوريوم)، الهيدروجين-3 (تريتيوم)، حسب ما موضح في الشكل 3.



الشكل 3: نظائر الهيدروجين

النشاط الإشعاعي والإشعاع

على الرغم من أن كثيراً من النويدات مستقرة، فإن معظمها ليس مستقراً. يتم تحديد الاستقرار بشكل رئيسي من خلال التوازن بين عدد النيوترونات وعدد النيوترونات التي تتألف منها النواة.

النواة غير المستقرة، التي يكون عدد النيوترونات والبروتونات فيها غير متوازن، تكون ذات طاقة زائدة وستتحول تلقائياً إلى شكل أكثر استقراراً بصورة عشوائية من خلال إطلاق الإشعاع. تطلق النوى المختلفة هذه الطاقة كجزيئات مختلفة، أي جزئيات ألفا أو بيتا والفوتونات وأشعة جاما والأشعة السينية.

يطلق على عملية التحول التلقائي للنوى بالتحلل الإشعاعي. ويطلق على النويدة غير المستقرة، التي تتحلل وتطلق إشعاعاً، النويدة المشعة. يتم تحديد كافة النويدات المشعة بشكل منفرد من خلال نوع الإشعاع الذي تطلقه وطاقة الإشعاع الخاصة بها وعمرها النصفي. يتم التعبير عن النشاط – الذي يُستخدم لقياس كمية النويدات المشعة الموجودة – بعدد عمليات التحلل خلال الثانية.

ويتم في الغالب تحديد النشاط في عمليات التحلل خلال الثانية باستخدام وحدة القياس الدولية بيكريل(Bq) ، نسبة إلى هنري بيكريل، وهو أول عالِم اكتشف النشاط الإشعاعي: ويساوي البكريل الواحد حالة تحلل واحدة في الثانية. ويحدد نشاط نويدة معيّنة العمر النصفي للنويدة المشعة. والعمر النصفي هو الزمن الذي يحتاجه العنصر المشع لكي يتحلل إلى نصف قيمته الأولية من خلال عملية التحلل الإشعاعي. ويتراوح العمر النصفي للنويدات المشعة من كسور صغيرة من الثانية إلى ملايين السنوات.

أنواع الإشعاع

يحتوي الإشعاع المؤيَّن الصادر من المواد المشعة وأجهزة توليد الإشعاع على جزيئات بيتا وفوتونات جاما وفوتونات الأشعة السينية والنيوترونات.

تتألف أشعة ألفا من جزيئات موجبة الشحنة يتألف كل منها من بروتونين ونيوترونين تطلقهما نويدات مشعة لعناصر ثقيلة كاليورانيوم والراديوم والرادون والبلوتونيوم. تنتقل أشعة ألفا إلى مسافة سنتميترات فقط في الهواء ويمكن إيقافها بقطعة من الورق، ولا يمكنها اختراق الجلد. في حال امتصاص الجسم لمادة تطلق أشعة ألفا، فإنها ستطلق كل طاقتها إلى خلايا الجسم المحيطة. لذلك، فإن المواد الباعثة لأشعة ألفا تكون ضارة بالإنسان إذا تم استنشاقها أو ابتلاعها أو دخولها إلى الجسم عبر الجروح المفتوحة.

تتألف أشعة بيتا من إلكترونات تنبعث من نواة الذرة، وهي أصغر من جزيئات ألفا ولديها قدرة على نفاذ أكثر عمقاً. يمكن لأشعة بيتا النشطة اختراق البشرة والنفاذ إلى الطبقة التي يتم فيها انتاج الخلايا الجلدية الجديدة. يمكن إيقاف أشعة بيتا باستخدام قطعة حديد أو زجاج أو قطعة ملابس عادية. وفي حال بقاء باعثات أشعة بيتا ذات الطاقة العالية على الجلد لفترة طويلة من الوقت، فإنها من المحتمل أن تتسبب في إلحاق إصابات على الجلد مثل الحروق الإشعاعية.

أشعة جاما عبارة عن موجات طاقة كهرومغناطيسية وهي تنتشر في الهواء ولديها قدرة كبيرة على الاختراق. وتُعتبر المواد ذات الكثافة العالية، مثل الرصاص والخرسانة، من الحواجب الجيدة لأشعة جاما.

الأشعة السينية عبارة عن فوتونات ذات طاقة عالية (كأشعة جاما) يتم انتاجها اصطناعيا من خلال إبطاء شعاع الإلكترون. لدى الأشعة السينية قوة اختراق، وفي حال عدم وجود وقاية (تدريع) باستخدام مواد ذات كثافة عالية يمكن للأشعة السينية إطلاق طاقة هائلة للأعضاء الداخلية.

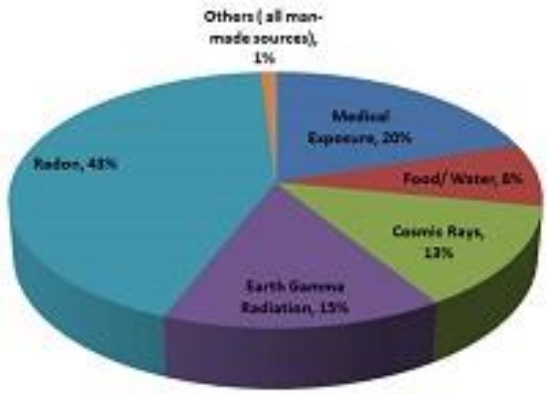
إشعاع النيوترون يتألف من نيوترونات ولا يعتبر في حد ذاته إشعاعاً مؤيِّناً. ولكن في حال اصطدام النيوترون بنواة الذرة، يمكن أن تنشط أو أن تتسبب في إطلاق أشعة جاما أو جزيئات مشحونة، وبالتالي ترفع مستوى الإشعاع المؤيَّن بصورة غير مباشرة. لدى النيوترونات قدرة أكبر على النفاذ مقارنة بأشعة جاما، ويمكن إيقافها فقط باستخدام حواجز سميكة مثل الخرسانة أو المياه أو البرافين.

مصادر الإشعاع

النشاط الإشعاعي جزء من عالمنا. إذ يدخل الإشعاع المؤيَّن حياتنا بطرق شتى، حيث ينتج من عمليات طبيعية مثل اضمحلال اليورانيوم والثوريوم في الأرض، كما ينتج من عمليات اصطناعية مثل استخدام الأشعة السينية في مجال الطب. لذا، يمكن تصنيف الإشعاع كإشعاع طبيعي واصطناعي حسب منشأه.

ما هي كمية التعرض الإشعاعي التي يتلقاها الفرد من المصادر المختلفة؟

يتعرض الإنسان إلى مصادر الإشعاع الطبيعي وأحيانا إلى المصادر الاصطناعية للإشعاع المؤين، مثل الأشعة السينية في الاستخدامات الطبية. تقوم المنظمات الوطنية والدولية بقياس كمية الإشعاع الذي يتعرض له الشخص العادي كل سنة من المصادر الطبيعية والاصطناعية. ويوضح الشكل 4 ، الذي نشرته منظمة الصحة العالميةWHO ، رسماً بيانياً للمصادر وتوزيع متوسط التعرض الإشعاعي على سكان العالم. وحسب ما موضح في الشكل، فإن الرادون وإشعاع جاما الأرضي والإشعاعات الكونية والطعام والمياه (أي المواد المشعة الطبيعية المنشأ) تشكِّل نسبة 79% من إجمالي متوسط التعرض للإشعاع. وتشكِّل الاستخدامات الطبية نسبة 20%، في ما يشكل التعرض للإشعاع المؤيَّن من كافة المصادر الناتجة عن أنشطة الإنسان الأخرى نسبة 1.%



الشكل 4: مصادر وتوزيع متوسط التعرض الإشعاعي على سكان العالم

تطبيقات الإشعاع

يستخدم الإشعاع في مختلف أنواع الأنشطة الطبية والتجارية والصناعية. ففي التطبيقات الطبية يتم استخدام الإشعاع في التصوير وقياس وظائف الأيض وعلاج السرطان. وتتضمن الاستخدامات الصناعية التصوير الإشعاعي لأغراض فحص اللحام والأنابيب والمواد المصنَّعة الأخرى ومقاييس الكثافة لمراقبة عمليات التصنيع ومقاييس مستوى السوائل لقياس التدفق وفي أنظمة التحليل لقياس المكونات. اما التطبيقات التجارية فتشتمل على أجهزة التعقيم لقتل البكتيريا ومُسبِّبات الأمراض، ومقاييس كثافة التربة لإنشاء الطرق السريعة، ومحطات الطاقة النووية لتوليد الطاقة الكهربائية وكواشف الدخان.

يُضاف إلى ما سبق، فإن المواد المشعة الطبيعية المنشأ قد ترتبط بعمليات معالجة مواد التعدين، بما في ذلك صناعة مخصِّبات الفوسفات وإنتاج واستخدام صلصال الكاولين وإنتاج واستخدام الوقود الأحفوري.

تأثير الإشعاع على الصحة

تقوم لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بتأثير الإشعاع الذري واللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع بدراسة دقيقة وتقييم دوري لآثار الإشعاع المؤيَّن على الصحة. ويتم خلال عمليات التقييم الدورية النظر في كيفية قياس الإشعاع المؤيَّن وتقييم ما هو معروف عن الآثار الصحية المصاحبة.

نتيجة لهذه الدراسات، خصوصاً تلك المتعلقة بالناجين من القنبلة الذرية اليابانية، أصبح معروفاً أن التعرض لمستويات معتدلة من الإشعاع يزيد من مخاطر الإصابة بالسرطان في مرحلة لاحقة من الحياة. وتزداد المخاطر بازدياد كمية الإشعاع الداخلة إلى الجسم (الجرعة) – إلا أنها تكون ضئيلة وقد تصل إلى الصفر – في الجرعات المنخفضة. ولهذا السبب، أوردت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري UNSCEAR في تقاريرها أنه ليس من الممكن تأكيد ما إذا كان الأفراد الذين يتعرضون للإشعاع على المدى الطويل أكثر تأثراً من اولئك الذين يتعرضون لمستويات الجرعة الأساسية المحددة عالمياً.

على الرغم من أن التجارب التي اجريت في هذا الجانب اقتصرت على حيوانات، فإن ازدياد الآثار الوراثية وسط السكان لا يمكن أن يُعزى، حتى الآن، إلى التعرض للإشعاع. ويكمن واحد من أسباب ذلك في التذبذب العالي في الحالات التلقائية لهذه الآثار.

ومن المحتمل أن تؤدي الجرعات العالية من الإشعاع، مثل الجرعات الناتجة عن الحوادث المتعلقة بمصادر الإشعاع، إلى إعتام عدسة العين (الماء الأبيض) بفعل الإشعاع، والحرق الإشعاعي، وأمراض إشعاعية خطيرة. أما حالات الوفاة، فتحدث عند تلقّي جرعات عالية للغاية.

الوقاية الإشعاعية

المناهج المتبعة في الوقاية من الإشعاع المؤيَّن متوافقة في جميع أنحاء العالم. إذ تقوم الجهات الوطنية والدولية بالرقابة على الأنشطة المتعلقة بالإشعاع المؤيَّن لإبقاء التعرض للإشعاع عند أدنى حد معقول (As Low As Reasonably Achievable)، وهو ما يُعرف اختصاراً بالحروف الإنجليزية ALARA. هناك ثلاثة مبادئ للوقاية الإشعاعية توصي بها اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع: التبرير، والتحسين الأمثل للوقاية، وقيد الجرعة.

يتطلب التبرير أن يكون لأي نشاط مقترح قد يتسبب في حالات تعرض للأفراد فوائد كافية للمجتمع والأشخاص وذلك لتبرير أي مخاطر ناتجة عن التعرض للإشعاع. ويقوم هذا المفهوم على أساس أن أي حالة تعرض للإشعاع، مهما كان ضئيلاً، تحمل نسبة محددة من المخاطر تتناسب مع مستوى التعرض.

أما المفهوم الثاني، أي التحسين الأمثل للوقاية، فهو يتعلق بإبقاء التعرض عند أدنى حد معقول ALARA. ويتطلب التحسين الأمثل للوقاية أن يتم تقليل حالات التعرض للإشعاع الناتجة من الممارسات إلى أقل مستوى ممكن، مع الأخذ في الاعتبار تكلفة عملية التقليل من حالات التعرض أو الجرعات. عملية التحسين الأمثل وإبقاء التعرض عند أدنى حد معقول، أوALARA ، هي عملية مطلوبة من جميع الجهات التي تصدر تراخيص، بما في ذلك "الهيئة الاتحادية للرقابة النووية."

المفهوم الثالث، أي قيد الجرعة، يستلزم وضع حد أعلى للجرعة التي يمكن أن يتلقاها أي فرد من الجمهور أو أي عامل في حالات التعرض (بخلاف حالات التعرض الطبي).

تفاعل الاشعاع مع المادة

يعتمد فهمنا لطبيعة الأشعة النووية على معرفة كيفية تفاعل هذه الأشعة مع المادة. وتعتبر هذه المعرفة ضرورية في إنشاء واستخدام الكواشف الإشعاعية وأجهزة القياس وفي التطبيقات المتنوعة للأشعة في العلوم والطب والصناعة والزراعة. وتنقسم الأشعة إلى أربعة أنواع هي:

- جسيمات مشحونة ثقيلة مثل: جسيمات ألفا والديوترونات والبروتونات ونوى الذرات الخفيفة.
- جسيمات مشحونة خفيفة وهي الإلكترونات -e والبوزيترونات +e
- أشعة كهرومغناطيسية مثل أشعة جاما وأشعة إكس.

وجميع هذه الأشعة لها القدرة على إحداث تأين لذرات المادة التي تمر خلالها ولذلك تسمى بالأشعة المؤينة.

أولا: تفاعل الجسيمات المشحونة الثقيلة مع المادة:

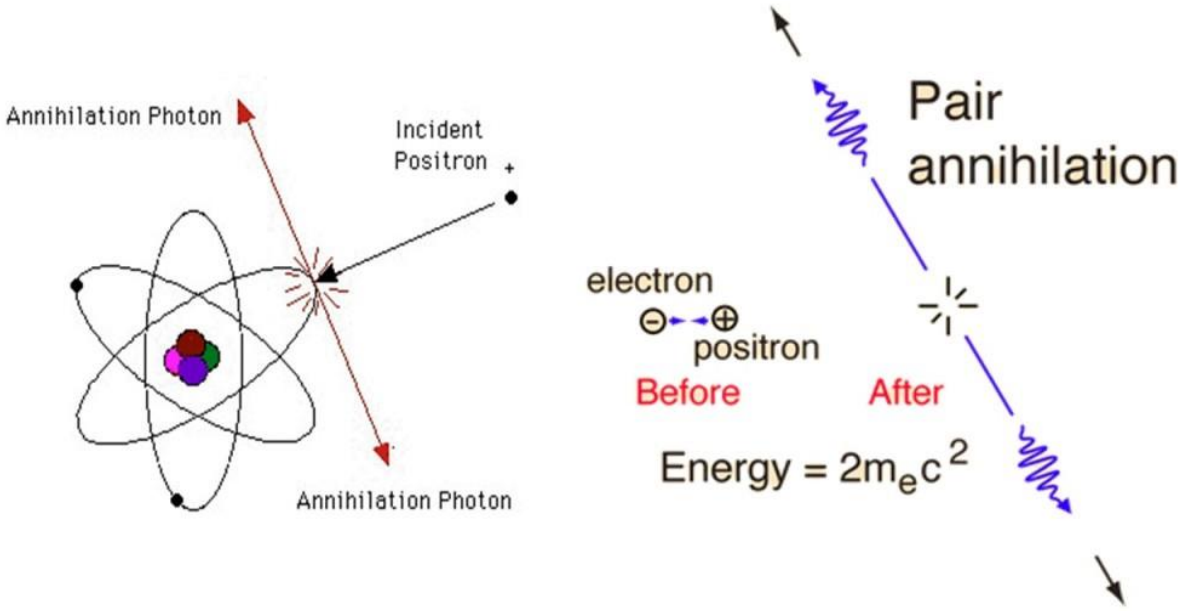
عندما يتم التصادم بين جسيم ثقيل مشحون بذرة المادة، فإنه يكسبها جزء من طاقته تكفي لإثارتها أو تأينها، وإذا كانت كمية الطاقة المكتسبة أكبر من طاقة التأين فإن الإلكترون المتحرر ينطلق بطاقة حركية تساوي الفرق بين الطاقتين.

طاقة حركة الإلكترون = الطاقة المكتسبة – طاقة التأين

ثانيا: تفاعل الجسيمات الخفيفة مع المادة :

أ- فقد الطاقة بالتصادم : عندما تكون طاقة الإلكترونات أو البوزيترونات صغيرة تفقد هذه الإلكترونات طاقتها في إثارة أو تأين ذرات المادة. ونظراً لصغر كتلة الإلكترون تكون سرعته عالية –نسبياً- بالنسبة لسرعة جسيمات ألفا التي لها نفس الطاقة. وهذا يؤدي إلى انخفاض احتمال التأين لأن زمن تواجد الإلكترون بالقرب من الذرة صغير جداً.

ب- فقد الطاقة بالإشعاع : عندما تكون طاقة الإلكترون عالية فعند سقوطه على المادة يتعرض الإلكترون للمجال الكهربي لشحنة النواة أو الإلكترونات فينتج تغير حاد في سرعة الإلكترون أثناء سيره في المادة، أي أنه يفقد جزء من طاقته الحركية التي تتحول إلى أشعة كهرومغناطيسية. ويتم تفاعل البوزيترون مع المادة بنفس الطريقة لتفاعل الإلكترون مع المادة إلا أنه عندما يفقد البوزيترون طاقته يكون هناك احتمال لأسر البوزيترون بواسطة أحد الإلكترونات في الوسط ومن ثم فنائهما وانبعاث فوتونين طاقة كل منهما تساوي 0.511 Mev وهي عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية تسمى أشعة الفناء.Annihilation Radiation



أشعة الفناءAnnihilation Radiation

ثالثا: تفاعل الجسيمات غير المشحونة مع المادة:

لا يحدث التفاعل مع الإلكترونات، وفي هذا التفاعل تفقد الجسيمات غير المشحونة (النيوترونات) طاقتها بواسطة:

1. **التصادم مع الأنوية الخفيفة (التصادم المرن)**

تتناسب كمية فقد الطاقة عكسياً مع كتلة النواة، فكلما زادت كتلة النواة قلت الطاقة المنتقلة، لذلك يعتبر الهيدروجين أنسب المواد التي تفقد عليها النيوترونات طاقتها، ولذلك يستخدم الهيدروجين أو المواد الغنية به مثل البارافين (الشمع) في تهدئة النيوترونات في المفاعلات النووية.

2. **الأسر النيوتروني:**

وهو يحدث مع النيوترونات ذات الطاقة المنخفضة، حيث يتم أسر النيوترون بواسطة نواة المادة، وتتكون نواة جديدة (نظير) وتنبعث أشعة جاما) تفاعل.((n,γ)

رابعا: تفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية مع المادة (أشعة جاما):

تتفاعل أشعة جاما مع المادة بإحدى الطرق الثلاث الآتية:

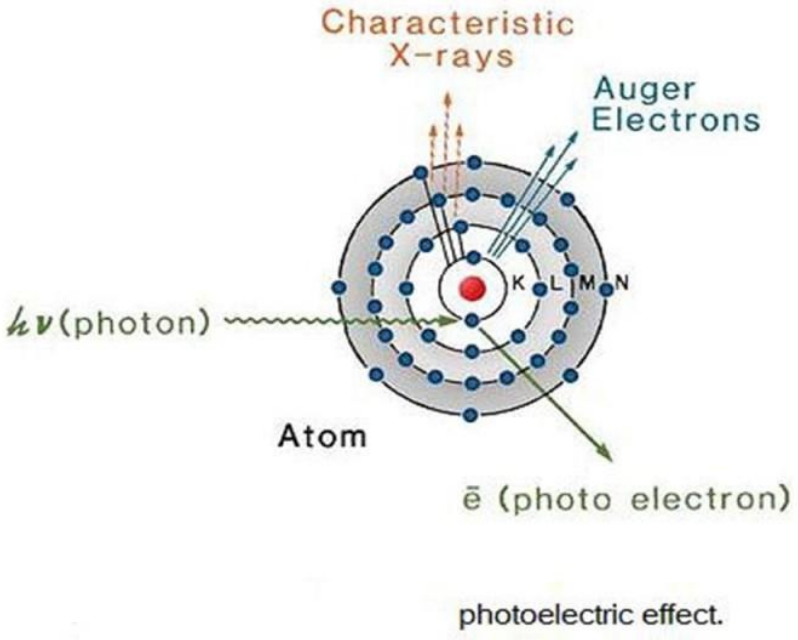
أ- تفاعل الكتروضوئي :(Photoelectric Effect)وتسمى الظاهرة الالكتروضوئي، وفي هذا التفاعل يتفاعل الفوتون (أشعة جاما) مع أحد الإلكترونات المرتبطة بالذرة (أي مع أحد الإلكترونات في المستويات الداخلية للذرة) فيختفي الفوتون تماما ويظهر

الإلكترون الذري منطلق ويسمى الإلكترون الضوئي ويحمل طاقة تساوي الفرق بين طاقة الفوتون الساقط وطاقة ربط الإلكترون بالذرة.

$$E_e \text{ (Energy of electron)} = E_\gamma - BE_e$$

حيث أن BE_e هي طاقة ربط الإلكترون بالذرة و E_γ هي طاقة أشعة جاما.

ويملأ المكان الشاغر للإلكترون المنبعث بواسطة إلكترونات من المدارات الخارجية للذرة ويتبع ذلك انبعاث أشعة إكس المميزة للعنصر.



photoelectric effect.

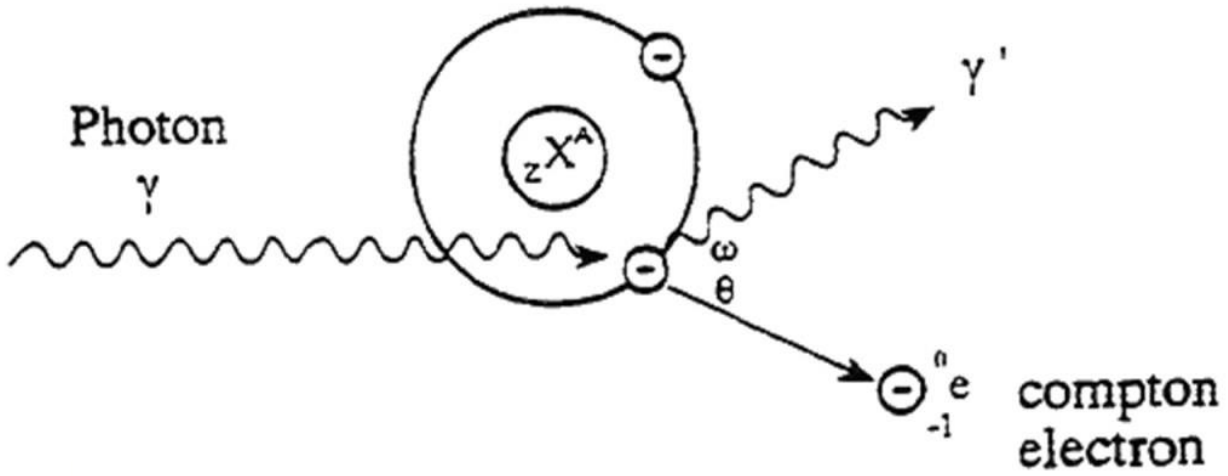
التفاعل الكهرضوئي

ب- أثر كومبتون:(Compton effect)

وهو تفاعل أشعة جاما مع الإلكترونات الحرة للذرة (إلكترونات المدار الأخير). وفي هذا التفاعل يتشتت الشعاع الساقط أي يتغير اتجاهه، وتقل طاقته بمقدار ما يعطى للإلكترون من طاقة وينطلق هذا الإلكترون بطاقة E.

$$E = E_\gamma - E_\gamma^-$$

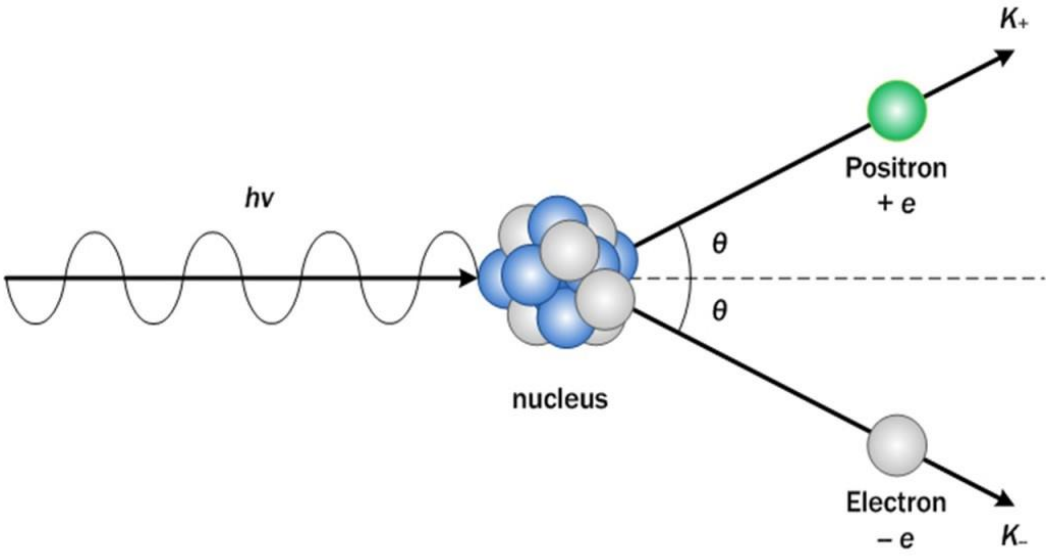
حيث E_γ^- طاقة أشعة جاما الساقطة و E_γ هي طاقة أشعة جاما بعد التشتت (الانحراف).



أثر كومبتون

ج- إنتاج الأزواج :(Pair Production)

عندما يتفاعل الفوتون (أشعة جاما) مع النواة يختفي تماما هذا الفوتون ويظهر بدلا عنه إلكترون وبوزيترون $e, -e^{+}$ ، وتحدث هذه الظاهرة عندما تكون طاقة جاما الساقطة أكبر من Mev1.022 ، وبعد ذلك يفقد كل من الإلكترون والبوزيترون طاقتهما الحركية نتيجة للتصادمات المتتابعة مع الذرات حتى يصلا إلى السكون. ويتفاعل الإلكترون مع البوزيترون ويكونا فوتونين طاقة كل منهما (Mev (0.511 أشعة الفناء.



إنتاج الأزواج

قدرة الإيقاف Stopping Power

تعرف على انها المعدل الوسطي للطاقة المفقودة من قبل الاشعاع او الجسيم المشحون عند مروره خلال وسط او مادة ما. وتعتمد قيمتها على نوع الجسيم المشحون وطاقته وكذلك على نوع المادة الموقفة.

ولكي يتم حساب قدرة الإيقاف للجسيمات المشحونة يتم تقسيم هذه الجسيمات الى مجموعتين:

1- الجسيمات المشحونة الثقيلة (جميع الجسيمات المشحونة عدى لالكترونات).
2- الالكترونات.

الفرق بين الجسيمات المشحونة والالكترونات هو ان كتلة السكون للإلكترون m_0 هي صغيرة جدا مقارنة مع الجسيمات المشحونة. لذلك فان الكترونات الجسيم المشحون مع الالكترون الذري في المادة سوف يسبب خسارة كبيرة في طاقة الالكترون بسبب تماثل الكتلة مما يؤدي الى فقدان طاقة الجسيمات المشحونة بسبب هذا التفاعل. وقد يؤدي هذا التفاعل الى تغيير زاوية الحركة لإلكترونات الجسيم المشحون.

اما بالنسبة للجسيمات الثقيلة فأنها تفقد مقدار (4m0/M) من طاقتها الاصلية ويعتبر مقدارا قليلا من الطاقة الكلية للجسيمات الثقيلة. كذلك مقدار الانحراف في مسار الحركة يكون قليل

M كتلة الجسيم الثقيل

m_o كتلة الالكترون

معادلة الإيقاف

قدرة الإيقاف كما تم تعريفها سابقا هي متوسط ما يفقده الجسيم المشحون من طاقة في وحدة المسافة خلال مساره. ولكون الميكانيك الكلاسيكي لا يكون فعالا في جميع الطاقات لهذا سيتم اشتقاق معادلة قدرة الإيقاف باستخدام الميكانيك الكمي.

dT/dX هي قدرة الإيقاف

وبما ان الجسيم سيمر بمادة ولها كثافة ولغرض الغاء تأثر كثافة تلك المادة سنقوم بقسمة قدرة الإيقاف على كثافة تلك المادة

ليكون $\frac{1}{\rho}\frac{dT}{dx}$

لغرض اشتقاق تلك العلاقة تم تجزئتها الى مركبتين:

1- قدرة الإيقاف التصادمية Collision stopping power:

والتي تمثل الطاقة التي يفقدها الجسيم نتيجة التصادمات المرنة او الرخوة والقاسية. وتقوم الطاقة الناتجة عن هذا النوع بتهييج وتأيين الذرات المجاورة للمسار.

2- قدرة الإيقاف الاشعاعية Radiative stopping power:

وهي تعبر عن الطاقة المفقودة خلال التفاعلات التي تحصل بين الجسيم والمادة والتي تؤدي الى خسارة في طاقته على شكل اشعاع. وهذه الطاقة تنتقل بعيدا عن مسار الجسيم على شكل فوتونات.

وبناء على ما سبق يمكن كتابة معدلة قدرة الإيقاف بالشكل التالي:

$$(\frac{1}{\rho}\frac{dT}{dx})_C = (\frac{dT_s}{\rho dx})_C + (\frac{dT_h}{\rho dx})_C$$

C يعني ناتجة عن التصادم

S التصادمات الرخوة

h التصادمات القاسية

$$(\frac{dT_s}{\rho dx})_c = \frac{2C\ m_0\ e^2\ \mathbb{z}^2}{\beta^2}\left[ln\frac{2\ m_0\ e^2\beta^2\ H}{I^2\ (1-\beta^2)} - \beta^2\right]$$

حيث

T الطاقة الحركية

I متوسط جهد التأين للذرات المعترضة

H قيمة اختيارية للطاقة التي يفقدها الجسيم خلال التصادم الواحد والتي تمثل الحد الفاصل بين التصادمات الرخوة (المرنة) والقاسية.

$C = \pi(\frac{N_A\ \mathbb{z}}{A})$ حيث $\frac{N_A\ \mathbb{z}}{A}$ هو عدد الالكترونات في الغرام الواحد من المادة المعترضة

N_A عدد افوكادرو ويساوي $6.022x10^{23}\ mol^{-1}$

$$r_0 = \frac{e^2}{m} = 2.87x10^{-13}\ cm$$

وهو نصف القطر الكلاسيكي للإلكترون

وللتبسيط يمكن كتابة العلاقة أعلاه بالشكل التالي:

$$k = \frac{2\ C\ m_0\ e^2\ \mathbb{z}^2}{\beta^2} = 0.1535\ \frac{Z\ \mathbb{z}^2}{A\ \beta^2} \qquad \frac{M\ eV}{g/cm^2}$$

حيث

$\mathbb{z}$ العدد الذري للجسيم المشحون

Z العدد الذري للمادة المعترضة

$M_0\ C^2 = 0.511\ MeV$ هي الطاقة السكونية للإلكترون.

بالنسبة لتصادمات القاسية فان قدرة الإيقاف تعتمد على نوع الجسيم المشحون (الكترون، بوزترون، جسيم ثقيل).

بالنسبة للجسيم الثقيل الذي تكون كتلته أكبر من كتلة الالكترون فان علاقة قدرة الإيقاف هي:

$$\frac{dT_h}{\rho dx} = k\left[\ln\left(\frac{T'_{max}}{H}\right) - \beta^2\right]$$

حيث T'_{max} تمثل الطاقة القصوى التي يمكن ان تنتقل في تصادم رأسي بين الجسيم الثقيل والالكترو وهي تساوي:

$$T'_{max} = 2m_0C^2\left(\frac{\beta^2}{1-\beta^2}\right) = 1.022\left(\frac{\beta^2}{1-\beta^2}\right)MeV$$

بجمع المعادلتين أعلاه يمكن الحصول على معادلة قدرة الإيقاف التصادمية الكتلية:

$$\left(\frac{dT}{\rho dx}\right) = k\left[\ln\frac{2\,m_0C^2\beta^2\,T_{max}}{I^2\,(1-\beta^2)} - 2\beta^2\right]$$

بتعويض قيمة T_{max} وبعض الثوابت الأخرى وتبسيط العلاقة أعلاه

$$(\frac{dT}{\rho dx})_C = 0.30071\frac{\mathbb{z}^2}{A\,\beta^2}\left[13.8373 + \ln\frac{\beta^2}{(1-\beta^2)} - \beta^2 - \ln I\right]$$

المعادلة أعلاه تتوقع قيمة اعلى من القيمة الحقيقية وذلك لكون هذا التقريب يصبح غيرفعال عند الطاقات القليلة لان سرعتها تصبح مقاربة لسرعة الالكترونات الذرية في مداراتها الداخلية مما يقلل من مساهمة الالكترونات في إيقاف الجسبم المشحون. لذلك يتم إضافة حد التصحيح المطلوب ويسمى تصحيح الطبقات Shells correction ويرمز له بالرمز C/ƶ

وتصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$(\frac{dT}{\rho dx})_C = 0.30071\frac{\mathbb{z}^2}{A\,\beta^2}\left[f(\beta) - \ln I - \frac{C}{\mathbb{z}}\right]$$

حيث f(β) تسمى دالة الإيقاف وتعطى بالعلاقة التالية

$$f(\beta) = 13.8373 + \ln\left(\frac{\beta^2}{1-\beta^2}\right) - \beta^2$$

Brachytherapy - what patients need to know

https://www.iaea.org/resources/rpop/patients-and-public/brachytherapy

» What are the different kinds of brachytherapy treatments?

Brachytherapy involves placing radioactive material inside the patient's body. The treatments can be temporary, ranging in duration from several minutes to several days, or permanent. In some cases, a single temporary brachytherapy treatment is given, and in other cases, a series of treatments are administered. Temporary brachytherapy can be used, for example, in breast cancer treatment after lumpectomy surgery. In permanent brachytherapy, the implanted sources will slowly deliver the treatment over a period of weeks to months. At the end of that time, the sources are no longer radioactive and will remain inside the patient's body. Permanent brachytherapy is used, for example, to treat prostate cancer.

» Does temporary brachytherapy treatment require hospitalization?

In most temporary brachytherapy treatments, patients stay in the hospital or radiotherapy facility for as long as the sources are inside or in contact with the body. After the sources are removed, the radiotherapy staff will perform a radiation survey to confirm that all radioactive sources were removed. Patients receiving a series of treatments are usually able to go home between treatments. Hospital staff may need to limit the time they spend in the patients' vicinity, and there may be restrictions for visitors while the sources are present. After the sources are removed, the restrictions are no longer needed.

» Does permanent brachytherapy treatment require hospitalization?

In some cases, patients can leave the hospital the same day the sources are implanted, while hospitalization for one or more days is required for reasons of medical recovery in other cases. The sources used in permanent brachytherapy treatments are selected to ensure that nearly all of the radiation is absorbed within the patient's body, which means that the radiation levels surrounding them will be very low. Staff performs a radiation survey to confirm that the radiation levels surrounding patients are sufficiently low before discharging them.

Patients should be provided with a card with information about their treatment and contact information for the radiation oncologist who performed the treatment. In most cases, doctors advise patients to maintain a safe distance from pregnant

women and young children for a specified time period. Prostate cancer patients may also instructed what to do if they find a dislodged source.

» What are the risks to my family of being near me after I receive implantation of permanent brachytherapy sources?

The risks are minimal. Studies have shown that radiation doses to family and household members from permanent brachytherapy treatments are acceptably low. Still, it is advisable to maintain a safe distance from pregnant women and young children for the period of time recommended by your radiation oncologist.

» Is there a chance that I could set off a security radiation monitor after implantation of permanent brachytherapy sources?

In the first months after source implantation, it is possible that the low levels of radiation from your body could be detected by the type of radiation monitor used by police and at border crossings. If this happens, show the hospital-provided card that describes the details of your treatment and contact information for the radiation oncologist who performed the treatment.

» What should I do if I am taken to an emergency room or need to be admitted to a hospital shortly after implantation of permanent brachytherapy sources?

Show emergency room or hospital staff the hospital-provided card that describes the details of your treatment and contact information for the radiation oncologist who performed the treatment.

» What should I do if I need another surgery in the same area of my body as the permanent brachytherapy treatment?

You should inform the surgeon that you had a permanent brachytherapy treatment, even if the implantation was performed several years ago. The surgeon should contact the radiation oncologist who performed the treatment to discuss proper disposal of any sources that might be removed.

» Can permanent brachytherapy patients' bodies be cremated?

Cremation is generally permitted if at least one year has elapsed since the source implantation. The funeral director should discuss this with staff at the hospital or radiotherapy facility at which the source implantation was performed.

Resource : IAEA, International Atomic Energy Agency

https://www.iaea.org/resources/rpop/patients-and-public/pregnant-women

» Can I undergo X ray investigations while I am pregnant?

Yes, if medically justified and with certain precautions. The aim is to minimize the unborn child's radiation exposure. An unborn child is considered to be more sensitive than adults or children to potential adverse radiation effects. For many examinations such as X ray of the head (including dental X rays), chest and limbs, where the pelvic region is not in the direct beam, the dose to the unborn child can be very low. Doctors may consider delaying procedures that would put the pelvic region and the unborn child in the direct path of the beam. If the procedure is essential to the mother's health, the doctors take special actions to keep the dose to the unborn child as low as possible. For example, pregnant patients can have their pelvic regions shielded during the procedure.

» How long after radioiodine treatment should I wait before getting pregnant?

Women are recommended to avoid pregnancy for at least 6 months following radioiodine treatment.

» Can I breastfeed following radio-iodine treatment?

Breast feeding must stop before starting radio-iodine treatment as there is a risk of damaging the infant's thyroid, causing permanent hypothyroidism and increasing the risk of thyroid cancer.

» Can a pregnant patient receive radiotherapy?

Cancers located away from the pelvis may be treated by radiotherapy only after discussion with the radiation oncologist. Cancers in the pelvis will require careful consideration. Doctors will discuss with their patients whether to proceed with radiotherapy, delay the treatment until after birth, terminate pregnancy, or use alternative treatment.

» Can I undergo a CT scan while I am pregnant?

Yes, if medically justified and with certain precautions.

The aim is to minimize the unborn child's radiation exposure. An unborn child is considered to be more sensitive than adults or children to potential adverse radiation effects. For many examinations such as CT of the head (including dental CT scans), chest and limbs, where the pelvic region is not in the direct beam, the dose to the unborn child can be very low.

Doctors may consider delaying procedures that would put the pelvic region and the unborn child in the direct path of the beam. If the procedure is essential to the mother's health, the doctors take special actions to keep the dose to the unborn child as low as possible. For example, lower exposure factors can be chosen and pregnant patients can have their pelvic regions shielded during the procedure.

» Is it important to know if I am pregnant for undergoing a CT scan?

Yes. For any examination involving direct exposure of the lower abdomen, pregnancy should be ruled out, or the pregnancy status should be verified as part of the justification process.

Radiation

Physics of diagnostic x-rays :

This subject discusses the physical principles involved in the diagnostic use of x-rays in medicine .

The x-ray photon is a member of the electromagnetic family that includes light of all types (infrared, visible and ultraviolet ,radiowaves, radar and television signals and gamma rays .

Like many important scientific breakthroughs, the discovery of x-rays was accidental, in the fall of 1895. , W.C. Roentgen, a physicist at the university of Wurzburg in Germany , was studying ***cathode rays*** in his laboratory, he was using a fairly high voltage across a tube covered with black paper that had been evacuated to a low pressure .

When he "excited" the tube with high voltage , he noticed that some crystals on a nearby bench glowed and that the rays causing this fluorescence could pass through solid matter, within a few days Roentgen took the first x-ray film .

The main components of modern x-ray unit are :

1. A source of electrons – a filament or cathode .
2. An evacuated space in which to speed up the electrons .
3. A high positive potential to accelerate the negative electrons .
4. A target or anode, which the electrons strike to produce x-rays .

The unit used for radiation exposure is the Roentgen (R), a measure of the a mount of electric change produced by ionization in air :

$$1R=2.58*10^{-4}\ \ C/Kg \text{ of air .}$$

x-ray slices of the body :

The radiologist often takes x-ray images from different directions, such as from the back, the side and an intermediate (oblique) angle .

taking x-ray images of slices of the body or body section radiography, better known as tomography, was first proposed in about 1930 as a better way to distinguish these shadows, both conventional tomography and computerized tomography .

axial tomography was dramatically improved in 1972 when Hounsfield developed computerized axial tomography (CAT), sometimes called computerized tomography (CT),for EMI Limited in England . Hounsfield made use of a technique for analyzing data by computer that was originally developed for use in astronomy .

physics of nuclear medicine (radioisotopes in medicine)

investigator of radioactivity discovered that certain natural elements primarily the very heavy ones, have unstable nuclei that disintegrate to emit various rays –alpha (α), beta (β) and gamma (γ) rays .

the alpha, beta and gamma rays were found to have quite different characteristics, alpha and beta particle bend in opposite directions in magnetic and electrical fields, alpha particles are positively charged and beta particles are negatively charged .

Alpha particles which stop in a few centimeters of air are the nuclei of helium atoms, ***beta rays*** are more penetrating but can be stopped in a few maters of air or a few millimeters of tissues, they are high speed electrons, ***gamma rays*** are very penetrating and are physically identical to

x-rays, the usually have much higher energies than the x-rays used in diagnostic radiology .

Alpha and gamma rays from a given source have fixed energies but beta rays have a spread of energies up to a maximum characteristic of the source .

Each element has a specific number of protons in the nucleus. For example carbon has six protons, nitrogen has seven protons and oxygen has eight protons .

However, for each element, the number of neutrons in the nucleus can vary, nuclei of a given element with different numbers of neutrons are called ***isotopes*** of the element .

If they are not radioactive they are called ***stable isotopes*** and if they are radioactive they are called ***radioisotopes***, for example carbon has two stable isotopes (^{12}C and ^{13}C) and several radioisotopes (e.g, ^{11}C ,^{14}C,and ^{15}C) .

Most elements do not have naturally occurring radioisotopes, but radioisotopes of all elements can now be produced artificially, isotope mean "in the same place" and should be used when referring to a single element, the word ***radionuclides***is appropriate when several radioactive elements are involved .

There are over 1000 known radionuclides, most man-made. Heavy elements tend to have many more radioisotopes than light elements; for example, iodine has 15 known radioisotopes, while hydrogen has 1, tritium (^{3}H) . A particular radionuclide can be identified by its radioactivity alone just as human can be identified by their fingerprints.

Characteristics that help identify the radionuclide are the type and energy of its emitted particles or rays .

The most common emissions from radioactive elements are beta particles and gamma rays . since beta particles are not very penetrating, they are easily absorbed in the body and are generally of little use for diagnosis. However, some beta-emitting radionuclides such as (^{3}H and ^{14}C) play an important role in medical research .(^{23}P) is used for diagnosis of tumors in the eye because some of its beta particles have enough energy to emerge from the eye .most clinical diagnostic procedures use photon of some type- usually gamma rays with energies above 100kev can penetrate many centimeters of tissue, and a gamma emitter in the body can be located and mapped by a detector outside the body. All of the gamma-emitting radionuclides of common organic elements carbon, nitrogen, and oxygen-are short lived, which makes their use in clinical medicine difficult without an accelerator . few medical centers have installed cyclotrons for producing short-lived radionuclides.

A metastable radionuclide decays by emitting gamma rays only and daughter nucleus differs from its parent only in having less energy .

Each radionuclide decays as affixed rate commonly indicated by the half-life ($T_{1/2}$), the time needed for half of radioactive nuclei to decay .

The basic equation describing radioactive decay is

$$A = A_{\circ}\, e^{-\lambda t}$$

Where A is the activity in disintegrations per second, $A_{\circ}$ is the initial activity , λ is decay constant, and t is the time since the activity was $A_{\circ}$. If t measured in hours, λ must be in hours^{-1} . if λ is small, that is, less than 0.1 , it is very nearly the friction of the radionuclide that decays per unit time . for ^{198}Au, λ is 0.01 hr^{-1}, which means that 0.01(or 1%) decays per hours :

$$A = \lambda N$$

Where N is the number of radioactive atoms . equation can be used to determine that half-life of long-lived radionuclide the decay constant is related to the half-life by the simple equation

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

The constant 0.693 is the natural logarithm of 2 . the relationship between the decay constant and the half-life is illustrated .

https://www.iaea.org/resources/rpop/patients-and-public/computed-tomography

» What is CT scanning?

Computed tomography (CT) scanning provides images of sections of the body (slices) using special X ray equipment and sophisticated computers. CT scans of internal organs, bone, soft tissue and blood vessels provide greater clarity and reveal more details than X ray or radiograph exams. X ray images are two dimensional representations while CT images show all three dimensions.

Using CT scans, doctors can more easily diagnose problems such as cancers, cardiovascular disease, infectious disease, trauma and musculoskeletal disorders.

» What are the typical radiation doses associated with CT examinations?

CT scans of the head, for example, expose patients to about the equivalence of one year of natural radiation. This is about 100 times the radiation dose from a chest X ray. Other CT examinations involve higher radiation doses ranging up to eight times the dose received from background radiation in one year.

» Why is the radiation dose in CT higher than in conventional X rays (radiographs)?

The highest dose is at the body surface where the beam enters the body. In a conventional X ray examination, the beam enters the body from one plane – front, back or any one side. In CT, the X ray tube rotates around the patient's body and the beam enters the body at many points, all of which are exposed. This, combined with the radiation that penetrates the body, results in overall higher radiation absorbed dose to the irradiated parts in CT.

» How many CT examinations are unsafe?

There is no straight answer to this question. There are no prescribed limits on the number of CT examinations a patient can undergo.

No amount of radiation is considered too much for a patient when the procedure is justified by the doctor. This justification takes into account the risk that even a small amount can cause cancer.

There are well established guidelines and recommendations to help doctors decide on the appropriateness of an examination for a particular disease condition. In

general, radiation exposure should be kept as low as reasonably achievable (the ALARA principle) without compromising medical benefits.

» Do I need yet another CT examination?

You can help avoid unnecessary repeat examinations by telling your doctor about previous examinations (X ray, CT, MRI, ultrasound and other imaging examinations) and sharing the results when possible. Repeat investigations are sometimes needed to perform an examination, or after cancer treatment to estimate its effectiveness. A CT examination may sometimes involve the injection of an intravenous contrast agent. Imaging can be performed at multiple time points before and after the injection of the contrast material. Each examination involves sets of images referred to as a "series." Multiple series should be performed only if clinically indicated. A smaller number of series means a smaller radiation dose.

» Can I undergo a CT scan while I am pregnant?

Yes, if medically justified and with certain precautions.

The aim is to minimize the unborn child's radiation exposure. An unborn child is considered to be more sensitive than adults or children to potential adverse radiation effects. In many examinations such as CT of the head (including dental CT scans), chest and limbs, the pelvic region is not in the direct beam and the dose to the unborn child can be very low.

Doctors may consider delaying procedures that would put the pelvic region and the unborn child in the direct path of the beam. If the procedure is essential to the mother's health, the doctors take special actions to keep the dose to the unborn child as low as possible. For example, lower exposure factors can be chosen and pregnant patients can have their pelvic regions shielded during the procedure.

» Is it important to know if I am pregnant for undergoing a CT scan?

Yes.

For any examination involving direct exposure of the lower abdomen, pregnancy should be ruled out, or the pregnancy status should be verified as part of the justification process.

» Should I be concerned about radiation if my child has been prescribed a CT?

As part of the justification process, doctors determine whether the benefits of the CT scan outweigh the risks, and they should be able to explain why your child needs

a CT scan. Children's radiation exposure should be as low as possible because they are more sensitive to radiation than adults and they have a longer life ahead of them.

» Should I ask my doctor for a whole-body CT screening?

There is no evidence demonstrating any benefits from whole-body CT screening of individuals. Several investigational studies of the effectiveness of using CT to screen people are focused on high-risk groups for specific diseases. In such studies, only a limited part of the body is irradiated, and the examination screens for a specific type of disease.