



جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة بابل  
كلية التربية للعلوم الصرفة  
قسم الفيزياء

## تأثير أشعة ألفا على جسم الإنسان

نخت مقدم الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة / جامعة بابل

وهو جزء من نيل شهادة البكالوريوس في قسم الفيزياء

من قبل الطالب

علي عبد المحسن عبيد

أشرف

د. خالد حنين عباس

قال تعالى

﴿ قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولُو الْأَلْبَابِ ﴾

[الزمر: ٩]

## الإهداء

### أُمِّي الحَبِيبَةُ..

توقَّف المداد حينما شرعت في البدء بكلمات مُنظمة كي  
أرثيك..

فَلَقَد كُنْتُ بِالنسبة لي كالماء والهواء..

### أبِي الغَالِي...

يا من عرفت معنى الحياة الأسرية في أسمى صورها،  
وعَلَّمْتَنَا القيم الإنسانية الرَّاقِيَةَ.

ولم تتوانَ، ولو لحظة واحدة في الإنفاق على تعليمي..

### أَصْدِقَاءَ الخَيْرِ، وَأَهْلِي، وَمَعَارِفِي..

أُهدِيكم بحثي في.....

## شكر وعرفان

يسرني تقديم هذا الشكر لوالدي ووالدتي اللذان سهرا على تربيتي وتعليمي منذ أن بدأت حياتي، وأشكر كل من درسني أو ساهم في تدريسي من دكاترة جامعة بابل وكل الأساتذة الذين يرجع لهم الفضل بعد الله عز وجل في تلقيني العلوم الشرعية الشريفة، كما اقدم الشكر والتقدير للأساتذة المشرفين على هذا البحث المتواضع، الذي اسأل الله تعالى أن يضيف قيمة إلى هذا العلم، وشكر موجه كذلك لإدارة جامعة بابل توفيرهم وتسهيلهم الخدمات للطلاب ومساعدتهم في كل الأمور التي من شأنها أن تخول لهم فضاءً مريحاً للدراسة وطلب العلم في أمان ونظام ، وأوجه الشكر للمجالس العلمية لحرصها على تطوير مجال الدراسات الإسلامية وتشجيعها طلاب هذه الشعبة على الدراسة ومواصلة طلب العلم في أفضل الأجواء واروعها.

## الخلاصة

تضمنت الدراسة تقييم التلوث الإشعاعي لمواقع أهوار جنوب العراق المتمثلة في هور الحمار للمواقع (السادة المواجد وآل ابو شامة) وهور الخبت (كرمة بني سعيد) وهور ابوزرك (ناحية الفهود). تم اختيار ١٢ نموذجاً للمياه و ٩ نماذج للتربة و ٤ نماذج حشائش (نباتات) حيث اجريت قياسات مختبرية لقياس التراكيز الإشعاعية في نماذج التربة والنباتات والمياه. لقد بينت نتائج التحاليل والقياسات المختبرية للنماذج احتوائها على النظائر المشعة الطبيعية مثل البوتاسيوم - ٤٠ لنماذج المياه والتربة ضمن الحدود المسموح بها وتراكيز قليلة من السيزيوم - ١٣٧ الصناعي بحدود اقل من حدود تحسس الجهاز، كذلك البزموث (Bi-٢١٤) بحدود (٦.٣ ١٢.١) بكريل كغم كذلك تم تحسس الراديوم - ٢٢٦ في ترب الدراسة والتي بلغت قيمته (٢٥.٨ ١٣.٨) بكريل / كغم وهي ضمن الحدود الطبيعية لنماذج التربة ، كذلك بينت الدراسة خلو نماذج الحشائش من اي نشاط اشعاعي أي أن كافة مواقع الدراسة كانت خالية من أي تلوث أو نشاط إشعاعي.

## قائمة المحتويات

ص	الموضوع
1	<b>الفصل الأول : أشعة ألفا</b>
2	1-1 المقدمة
3	2-1 أشعة ألفا
3	3-1 تعريف جسيم أشعة ألفا
4	4-1 مكونات أشعة ألفا
4	5-1 استخدامات أشعة ألفا
5	6-1 شحنة أشعة ألفا
6	7-1 التحلل بأشعة ألفا
6	8-1 خصائص أشعة ألفا
7	9-1 أضرار أشعة ألفا
7	10-1 طرق الوقاية من أشعة ألفا
8	11-1 جسيمات ألفا
8	12-1 انبعاثات جسيمات ألفا الشائعة
8	13-1 أضرار الإشعاعات
10	14-1 مقارنة بين أشعة ألفا وبيتا وجاما
11	<b>الفصل الثاني : تأثير الإشعاعات على جسم الانسان</b>
12	1-2 الإشعاعات
12	2-2 أنواع الإشعاعات للعناصر المشعة والمتأينة
13	3-2 تأثير الإشعاعات على الانسان
14	4-2 الأشعة
14	5-2 أنواع الأشعة
17	6-2 فريق الأشعة
18	<b>الفصل الثالث : الإشعاعات النووية</b>
19	1-3 ماهي أشعة كاما؟
19	2-3 استخدامات أشعة كاما
19	3-3 استخدامات أشعة كاما في الطب
20	4-3 استخدامات أشعة كاما في الصناعة
20	5-3 استخدامات أشعة كاما في العلوم
21	6-3 اضرار أشعة كاما على الإنسان
21	7-3 تأثير أشعة كاما على الكائنات الدقيقة
21	1-7-3 التأثير المباشر لأشعة كاما على الكائنات الحية
21	2-7-3 التأثير غير المباشر لأشعة كاما على الكائنات الحية
22	8-3 هل يسبب التعرض لأشعة كاما السرطان؟
22	9-3 أشعة كاما
23	10-3 خصائص أشعة كاما
25	<b>المصادر</b>

# الفصل الأول

## أشعة ألفا

## 1-1 المقدمة

جسيم ألفا أو أشعة ألفا، على الرغم من تسميتها أشعة إلا أنها عبارة عن نواة ذرة الهليوم وتتكون من بروتونين ونيوترونين، تتحد في داخل النواة بقوة نووية كبيرة، بحيث تعتبر أشد نوايا العناصر استقرارا وتماسكا. ذلك لتكونها من 2 بروتون و2 نيوترون وهؤلاء الأربعة يتميزون بأكبر فقد في الكتلة عند اندماجهم لتكوين نواة الهيليوم. ولهذا فجسيم ألفا ينتج كثيرا في التفاعلات النووية حيث ليس من السهل تحلله أو تفككه. وهو ذو شحنة كهربائية موجبة مقدارها ٢ وحدة لاحتوائه على 2 من البروتونات، وقوة اختراق ضعيفة مع قدرة ضعيفة على النفاذ لتقلها وانخفاض سرعتها، ويمكن إيقافها بقطعة من الورق المقوى. وتمتاز بقدرة كبيرة على تأيين المواد حيث أن معدل التأين في المواد التي تتخللها جسيمات ألفا متناسب تناسباً طردياً مع مربع شحنة الجسيم. تتكون من جسيمات موجبة الشحنة تبلغ شحنتها ضعف شحنة البروتون وبالتالي ضعف شحنة الإلكترون وكتلتها أربعة أمثال كتلة الهيدروجين تقريباً. تتحرك بسرعة كبيرة ١/١٠ سرعة الضوء التي تصل إلى ٣٠٠.٠٠٠ كيلومتر/ثانية. ونظراً لثقل هذه الجسيمات وانخفاض سرعتها فإنها لا تنفذ بسهولة خلال الأجسام، وعندما تسقط على لوح مغطى بطبقة من كبريتيد الخارصين يحدث وميض يمكن ملاحظته. وجسيمات ألفا وهي نواة ذرة الهيليوم-٤ تتكون بكميات هائلة في الشمس والنجوم، حيث تندمج أربعة من ذرات الهيدروجين مكونين نواة ذرة الهيليوم-٤، وخلال ذلك التفاعل يتحول ٢ من البروتونات ليصبا نيوترونين ويتولد جسيم ألفا. هذا التفاعل الذي يتم في الشمس بمعدل بالغ العظمة هو الذي يعطي الشمس تلك الطاقة الهائلة التي تسمح لاستمرار الحياة على الأرض. فبدون تولد الهيليوم من الهيدروجين في الشمس ما

وُجِدَت تلك الطاقة الهائلة التي تجعلنا على قيد الحياة. عرفت أشعة ألفا أو جسيمات ألفا (تختلف عن أشعة بيتا و غاما).

### 2-1 أشعة ألفا

تُعرف أشعة ألفا (بالإنجليزية: alpha) بأنها جسيمات ناتجة عن الاضمحلال من نوع ألفا، ويُطلق عليها أيضاً اسم أيون الهيليوم النشط (بالإنجليزية: energetic helium ion) حيث ينتج عن هذا الاضمحلال ذرة تملك عدداً ذرياً أقل من الذرة الأساسية، وعداداً كتلياً أقل بأربع مرات من الذرة الأساسية، كما ينتج عن هذا الاضمحلال طاقة كبيرة جداً.

### 3-1 تعريف جسيم أشعة ألفا

تعريف جسيم الألفا يتكوّن جسيم ألفا (Alpha Particle) من بروتونين ونيوترونين مرتبطين بإحكام، وينبعث هذا الجسيم من نواة بعض النويدات المشعّة من خلال أحد أشكال الاضمحلال الإشعاعي، يُطلق عليه اضمحلال ألفا، ويعدّ جسيم ألفا مطابقاً لذرة هيليوم عادية ذات كتلة ذرية 4، أي ذرة هيليوم مؤيّنّة مضاعفة.

وفي الواقع إنّ جسيمات ألفا بطيئة وثقيلة نسبياً، إذ تنتقل بمعدّل 5 - 7 % من سرعة الضوء أو 20.000.000 متر في الثانية، وتعادل كتلتها تقريباً 4 بروتونات، كما وتعدّ جسيمات ألفا شديدة التأين ولذلك فهي غير قادرة على اختراق المادة التي تكون على مسافة بعيدة.

أيّ أنّها لا تخترق أكثر من عدّة سنتيمترات من الهواء أو أقل من عشر ميليمتر من الأنسجة البيولوجية، وفيما يأتي سيتم ذكر استخدامات هذه الجزيئات:

- 1- في كاشفات الدخان، أي للكشف عن الدخان المؤيّن.
- 2- لإزالة الشحنات الساكنة من المعدات.
- 3- في المولدات الكهرو حرارية في النظائر المشعّة لتوليد الحرارة التي يتم تحويلها إلى كهرباء، ويعدّ هذا الاستخدام شائعاً في المسابير الفضائية.
- 4- قد يتم استخدامها في العلاج الإشعاعي للسرطان.

#### 4-1 مكونات أشعة ألفا

تتكوّن أشعة ألفا (Alpha Radiation) من جسيمات ألفا والتي تكون ذات طاقة وسرعة عاليتين، والتي تُقذف تلقائيًا من نوى بعض العناصر المشعّة، وتكون مصادر أشعة ألفا كالاتي:

**1- طبيعيًا** تحدث العديد من بواعث أشعة ألفا بشكلٍ طبيعي، فعلى سبيل المثال يتم إطلاق جسيمات ألفا التي تتكوّن منها هذه الأشعة بواسطة النويدات المشعّة كاليورانيوم ٢٣٨ والراديوم ٢٢٦، والتي تكون موجودة بشكلٍ طبيعي في جميع الصخور والتربة المياه.

**2- صناعيًا** وتتضمّن مصادر أشعة ألفا الصناعية النظائر المشعّة لبعض العناصر، مثل: البلوتونيوم، والأمريسيوم، والكزريوم، والكاليفورنيوم، والتي يتم إنتاجها بشكلٍ عام باستخدام مفاعل نووي من خلال امتصاص النيوترونات بواسطة نظائر اليورانيوم المشعّة المختلفة.

#### 5-1 استخدامات أشعة ألفا ما يأتي:

- 1- العلاج الإشعاعي للسرطان.

2- إزالة الشحنات. كاشفات الدخان.

أشعة

الفصل الأول

ألفا

3- في الأقمار الصناعية والمركبات الفضائية.

4- لتشغيل أجهزة تنظيم ضربات القلب.

5- في محطات الاستشعار عن بعد.

6- في أجهزة التدفئة.

7- في عوامات خفر السواحل.

8- معدّات آبار النفط.

9- أجهزة الزلازل والكوارث الأخرى.

### 6-1 شحنة أشعة ألفا

تعرف جسيمات ألفا بأنها عبارة عن جسيمات موجبة الشحنة، ومُطابقة لنواة ذرة الهيليوم (٤)، وتتبعث هذه الجسيمات تلقائياً من بعض المواد المشعّة، وتتكون من نيوترونين وبروتونين، وبالتالي فإن العدد الكتلي لها يكون ٤، وشحنتها +٢، وقد تم اكتشافها وتسميتها بواسطة العالم أرنست رذرفورد في العام ١٨٩٩م، كما تم استخدام جسيمات ألفا لاستكشاف بنية الذرات المكوّنة لرقائق معدنية رقيقة، وقد نتج عن ذلك أول مفهوم للذرة كنظام كوكبي صغير يحتوي على جسيمات سالبة الشحنة تدور حول نواة موجبة الشحنة. بعد ذلك قام العالم باتريك بلاكيت بقذف النيتروجين بجزيئات ألفا، فنتجت ذرات الأكسجين، وفي الوقت الحاضر يتم استخدام جسيمات ألفا كمقذوفات في الأبحاث النوويّة، عن طريق تجريد الهيليوم من إلكتروناته

فَيُصْبِح  $He+2$ ، أي جسيمات ألفا، ثم يتم تسريع هذه الشحنات الموجبة إلى طاقات عالية.

أشعة

الفصل الأول

ألفا

### 7-1 التحلل بأشعة ألفا

تُعرَف التفاعلات التي يتم من خلالها إطلاق جسيمات ألفا بالتحلل بأشعة ألفا، ومن الأمثلة على الأنوية التي تتحلل بأشعة ألفا اليورانيوم  $^{238}$ ، وذلك كما في المعادلة الآتية:



تتحول ذرة اليورانيوم إلى ذرة الثوريوم في هذا التحلل النووي، ويتم إطلاق جسيمات ألفا، ورمز جسيمات ألفا هو  $He_{24}$ ، والسبب أن الرقم السفلي ٢، يعني أن جسيمات ألفا فقدت اثنين من البروتونات بواسطة ذرة اليورانيوم، وبالتالي فإن شحنة جسيمات ألفا  $+2$ ، أما الرقم العلوي فيشير إلى العدد الكتلي، أو مجموع البروتونات والنيوترونات، وبما أن عدد البروتونات هو ٢، والمجموع ٤، فإن عدد النيوترونات ٢ أيضاً، وتجدر الإشارة أن جزيئات ألفا تحتوي دائماً على نفس التركيبة وهي بروتونان، ونيوترونان.

### 8-1 خصائص أشعة ألفا

تُعتبر جسيمات ألفا بطيئة، وثقيلة نسبياً مقارنةً بالجسيمات الإشعاعية الأخرى، وتتحرك هذه الجسيمات بمعدل ٥% إلى ٧% من سرعة الضوء؛ أي ما يعادل ٢٠ مليون متر في الثانية، ومن الجدير بالذكر أن جسيمات ألفا

غير قادرة على اختراق الأماكن البعيدة جداً؛ وذلك بسبب قدرتها العالية على تأيين المواد، حيث تستطيع اختراق بضع سنتيمترات في الهواء فقط، وأقل من عُشر ملليمتر من الأنسجة البيولوجية.

## الفصل الأول

## أشعة

### ألفا

#### 9-1 أضرار أشعة ألفا

يعتمد مقدار الضرر الذي تسببه أشعة ألفا للإنسان على كيفية تعرضه لهذه الإشعاعات، فإذا كان التعرض خارجياً فإن أشعة ألفا لا تمتلك الطاقة الكافية لاختراق الجلد البشري، ويعود ذلك إلى ثقل الجسيمات المكونة لهذه الموجات، حيث تفقد طاقتها بمجرد خروجها من العنصر المشع، وبذلك لا يتم النظر إليها على أنها مصدر خطر إذا كانت خارج جسم الإنسان، أما إذا تم استنشاق بواعث ألفا أو ابتلاعها أو دخولها إلى الجسم من خلال جرح ما، فإنها تكون مؤذية جداً وتؤدي إلى تلف الأنسجة الحية الحساسة داخل الجسم، فعند مرور جسيمات ألفا في المادة تُحدث تأيناً لذراتها وتطلق كل طاقتها في خلايا قليلة، وهذا يؤدي إلى الضرر الشديد للخلايا والحمض النووي DNA مع مرور الوقت.

#### 10-1 طرق الوقاية من أشعة ألفا

عند التعامل مع العناصر المشعة مثل بواعث ألفا، يجب اتباع إجراءات وقواعد وقائية للحد من المضاعفات الصحية الناتجة عن استخدامها، وتتلخص هذه الإجراءات في ثلاثة مبادئ رئيسية، وهي كما يأتي:

**1- الوقت:** كلما انخفض زمن التعرض للإشعاعات الضارة، أصبح الجسم أقل تعرضاً لخطر الأشعة.

**2- المسافة:** كلما زادت المسافة بين المصدر المشع وجسم الإنسان تقل كمية الأشعة حسب قانون التربيع العكسي، فعند مضاعفة المسافة عن مصادر الإشعاع يقل التأثير الإشعاعي إلى الربع.

## أشعة ألفا

## الفصل الأول

**3- الحائل أو الدرع:** تستخدم حواجز تحجب الأشعة الضارة وتمتصها، ويستخدم السمك المناسب لخفض كمية الأشعة خلفها، مثل قبعات وقفازات خاصة، ونظارات الرصاص.

### 11-1 جسيمات ألفا

هي جسيمات مشحونة بشحنة موجبة مطابقة لنواة ذره الهيليوم ٤- تنبعث من بعض المواد المشعة، وتتكون من اثنين من البروتونات، واثنين من النيوترونات المرتبطة معاً، وبالتالي تكوّن كتلةً من أربع وحدات وشحنةً موجبةً من البروتونين، وقد تمّ اكتشافها، وتسميتها من قبل إرنست رذرفورد، ويتمّ استخدامها اليوم للتحقيق في بنية الذرات في رقائق معدنية رقيقة، كما يمكن استخدامها كمقذوفات في البحوث النووية عن طريق التآين، ونزع الإلكترونات من ذرات الهيليوم، ثم تسريع الجسيمات المشحونة إلى طاقات عالية.

### 12-1 انبعاثات جسيمات ألفا الشائعة

يعدّ اليورانيوم -٢٣٥، واليورانيوم -٢٣٨، والراديوم -٢٢٦، والرادون - ٢٢٢ من جسيمات ألفا الشائعة، والتي لديها قوة اختراق منخفضة نسبياً، إذ يمكن إيقافها عن طريق ورقة رقيقة، أو بشرة الإنسان، كما تشكل مشكلةً صحيّة، فقد يشكّل استنشاق غاز الرادون الذي ينبعث من حجر الأساس في المنازل في بعض المناطق خطراً على الصحة.

## 13-1 أضرار الإشعاعات

تعتبر جسيمات ألفا من الإشعاعات المتأينة التي تسبب العديد من الأضرار على مختلف أشكال الحياة، ومنها:

أشعة

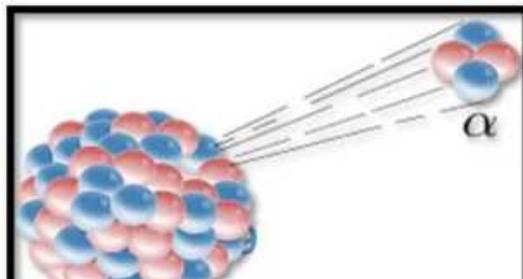
الفصل الأول

ألفا

**1- نمو النبات:** غالباً ما يكون الإشعاع مفيداً لنمو النباتات، إذ من الضروري لها الحصول على الإشعاع غير المتأين؛ فالإشعاع هو الذي ينتج الضوء من أجل عملية التمثيل الضوئي المهمّ لحياة النبات، ولكنّ الإشعاعات المتأينة التي تنتج من المواد النووية قد تؤدي إلى إضعاف البذور والطفرة المتكررة، فقد تكون الجرعات العالية من الإشعاع مدمرةً للبيئة.

**2- الحيوان والبشر:** يمكن أن يكون تأثير الإشعاع في البيئة خطراً، ومميتاً للإنسان والحيوان، فالأضرار التي تسببها هذه الإشعاعات تعتمد على مستوى الإشعاع ومرونة الكائن الحي، إذ قد توقف الإشعاعات عمل الإنزيمات، كما قد تضر بالحمض النووي للجسم الذي لا يكون قادراً على إصلاح نفسه، مما يزيد من احتمالية الإصابة بمرض السرطان والتشوهات.

**3- الحياة البحرية:** يمكن أن تكون آثار الإشعاع على الحياة البحرية خطيرةً، وقد يؤدي ارتفاع مستويات الأشعة فوق البنفسجية إلى انخفاض في قدرات التكاثُر، كما تؤثر الإشعاعات على أنماط التلقيح للنباتات، بالإضافة إلى أنّها تقلّل من كمية الأكسجين التي تنتجها العوالق.



## الشكل (13-1): يوضح جسيم أشعة ألفا.

أشعة

الفصل الأول  
ألفا

### 14-1 مقارنة بين أشعة ألفا وبيتا وجاما

تنتج الجسيمات الثلاثة ألفا وبيتا وجاما من الاضمحلال الإشعاعي، وعلى الرغم أن هذه الجسيمات تشترك بنفس الهدف وهو أنها تعمل على التأين وتحمل قوى للاختراق إلا أن كل واحدة منها تحمل نسب مختلفة وبينهم فوارق كبيرة. هناك العديد من الاختلافات الأخرى بين أشعة ألفا وبيتا وجاما، وتتعلق هذه الاختلافات بقوة الاختراق لكل من هذه الأشعة، وقدرة جسيماتها على التأين، وتأثيرها بالمجال المغناطيسي، وفيما يأتي تفصيل وتوضيح لهذه الاختلافات:

**1- أشعة ألفا:** تمتلك أشعة ألفا أقل قدرة اختراق فمن الممكن إيقافها بقطعة ورقة، وتنتج أشعة ألفا تقريباً ١٠٠٠٠٠٠٠ زوج من الأيونات لكل سنتيمتر عندما تنتقل عبر الهواء. تعد نسبة عالية والسبب في ذلك أنها تمتلك كتلة كبيرة وتتحرك ببطء وهذا يتيح لها أن تتفاعل بشكل أكبر مع جزيئات الهواء.

تتأثر جسيمات ألفا في تطبيق المجال المغناطيسي عليها بشكل عمودي على مسارها، بحيث تظهر بعض الانحراف وذلك لأنها تمتلك شحنة موجبة، كما أن لديها أقل قدرة اختراق، لأنها تفقد طاقتها بسرعة فلا يمكنها أن تسير إلا القليل من السنتيمترات.

**2- أشعة بيتا:** تمتلك أشعة بيتا قوة اختراق معتدلة وهي أكثر ١٠٠ مرة من جسيمات ألفا، وتنتج حوالي ١٠٠٠٠ زوج من الأيونات لكل سنتيمتر أثناء انتشارها

في الهواء، وتتأثر جسيمات بيتا بتطبيق المجال المغناطيسي على مسارها بشكل أكبر من جسيمات ألفا؛ لأنها تمتلك نصف شحنة جسيمات ألفا وسرعة أكبر من جسيمات ألفا، كما تمتلك قدرة اخراق متوسطة مقارنة بجسيمات ألفا وجاما.

**3- أشعة جاما:** تمتلك أشعة جاما أعلى قوة اخراق مقارنةً بألفا وبيتا، وتستطيع أشعة جاما أن تنتج تقريبا ١٠ أزواج من الأيونات لكل سنتيمتر أثناء انتشارها في الهواء، ولا تتأثر جسيمات جاما بتطبيق المجال المغناطيسي.

# الفصل الثاني

## تأثير الاشعاعات على جسم الانسان

## الفصل الثاني الانسان

### تأثير الإشعاعات على جسم

#### 1-2 الإشعاعات

الإشعاعات هي انبعاث أو امتصاص من طاقة الفوتونات أثناء انتقالها من مستوى إلى آخر أعلى أو أقل، وتقسم هذه الإشعاعات إلى قسمين:

- 1- إشعاعات غير قابلة للتأين مثل موجات الراديو، والتلفزيون، والأشعة الضوئية.
- 2- إشعاعات قابلة للتأين (نووية): هذه الأشعة تمتاز بقدرتها على التفاعل مع المواد منتجةً إلكترونات نتيجةً لتصادم جزيئات المادة التي تفاعلت معها وتصدر هذه الأشعة أيضاً كنتيجة لعملية تحوّل ذرات بعض العناصر غير المستقرّة إلى حالة الاستقرار، ويتمّ هذا عن طريق كسب أو فقد جزء من الطاقة المرتفعة الموجودة بها أو الإلكترونات.

تعتبر صفة الإشعاع صفةً ملازمة للمادة وهي قادرة على التكييف ومقاومة التغيرات كيميائية بعكس باقي المواد، ومصادر هذه الأشعة النووية قد تكون طبيعية (النظائر المشعة) أو صناعية تصدر من المفاعلات النووية والانشطار النووي، أو تصدر من مصادر كهربائية.

#### 2-2 أنواع الإشعاعات للعناصر المشعة والمتأينة

هناك أربعة أنواع رئيسية من الإشعاعات الخاصة بالعناصر المشعة وهي كما يأتي:

١- أشعة جاما والأشعة السينية: وهذه أشعة كهرومغناطيسية لها صفات طبيعية تشبه الضوء، إلا أنها ذات طول موجي قصير، وتردد وطاقة عاليين وهي أشعة تحمل شحنة متعادلة، وتنشأ الأشعة السينية من خلال التفاعلات النووية التي ينتج عنها امتصاص إلكترون، وهي مختلفة عن أشعة جاما في مقدار طاقتها والمصدر الذي تأتي منه، ومن مميزات هذه الأشعة قدرتها العالية على الاختراق.

## الفصل الثاني الانسان

### تأثير الإشعاعات على جسم

2- جسيمات ألفا: وهذه عبارة عن أيونات الهيليوم الحاملة لشحنة موجبة، وتنتج عن الطريق التحلل مثل: تحلل عنصر الراديوم، وغيرها من النظائر المشعة كالثوريوم، وهذه الأشعة قدرتها على الاختراق قليلة وذلك بسبب كتلتها الكبيرة وشحنتها الموجبة؛ لهذا فإن خطورتها الإشعاعية قليلة ولكنها تزداد عند اختراقها الجسم عن طريق الجهاز الهضمي أو الجهاز التنفسي أو الجروح حيث إن إشعاعها ينتشر داخل الجسم كله.

3- أشعة بيتا: وهي عبارة عن إلكترونات سالبة الشحنة تمتاز بكتلتها الصغيرة، كما أنها ذات طاقة عالية، وقدرتها على الاختراق أعلى من أشعة ألفا لذا فهي خطيرة على الأعضاء الداخلية لجسم وعلى خارجه، وهي تنتج من بعض النظائر المشعة كالفسفور.

4- النيوترونات: وهي جسيمات متعادلة الشحنة كتلتها قريبة من كتلة ذرة الهيدروجين، وتنتج من النظائر المشعة التي تبعث أشعة ألفا كالراديوم، وبعض الأجهزة المولدة لها كالمفاعلات النووية.

## 2-3 تأثير الإشعاعات على الإنسان

تؤثر الإشعاعات على الإنسان ومن هذه التأثيرات ما يأتي:

1- درجة خطورة هذه الإشعاعات تُحدد حسب درجة تعرض الإنسان لها، فكلما ازدادت كميتها زاد تأثيرها على الخلايا وإتلافها، أو يمكن أن تحدث تغييراً لها كالموت أو ظهور السرطان أو تغيير للجينات.

٢- عند تعرض الأطفال للأشعة يكون لها آثار ومضاعفات خطيرة حيث إنها تصيب الأنسجة النامية؛ لذلك إن تعرّض الجنين لهذه الإشعاعات يمكن أن يؤثر على نموه وتحدث له تشوهات خلقية أو تؤدي إلى موته.

### تأثير الإشعاعات على جسم

### الفصل الثاني

### الانسان

3- الإشعاعات ذات الخطورة الكبيرة تتمثل في تلك التي تستقر في أعضاء الجسم مثل: الرئتين، والكليتين، والكبد فعند دخولها لهذه الأعضاء عن طريق الجهاز التنفسي أو الجهاز الهضمي فإنها تؤثر على الأنسجة المحيطة بها.

## 2-4 الأشعة

يقوم الاطباء بطلب التصوير الطبي التشخيصي لأخذ نظرة دقيقة على حالة المصاب، ويوجد العديد من الأنواع المختلفة من فحوصات التصوير التي تساعد الأطباء على تحديد التشخيص الأدق للحالة؛ وذلك من أجل الحصول على العلاج الأمثل والأنسب، وتُعرّف الأشعة (بالإنجليزية: Radiology) على أنها أحد فروع الطب التي تستخدم تقنيات التصوير الحديثة من أجل تشخيص وعلاج الأمراض، وتقسّم الأشعة إلى ثلاثة أقسام:

1- الأشعة التشخيصية (بالإنجليزية: Diagnostic radiology)

## 2- الأشعة التداخلية (بالإنجليزية: Interventional radiology)

3- بالإضافة إلى القسم الثالث وهو استخدام الأشعة من أجل علاج السرطان وغيره

من الأمراض غير الخبيثة (بالإنجليزية Radiation oncology

(ADVERTISEMENT- Ads by

## 2-5 أنواع الأشعة

يوجد أنواع عدة للأشعة التي تُستخدم في المجال الطبي، ومن هذه الأنواع ما يلي:

1- الأشعة السينية أو أشعة إكس: (بالإنجليزية: X ray) تقوم أشعة إكس بأخذ

الصور التي تلزم لفحص العظام والأجسام الغريبة التي توجد في الأنسجة، ويتم

التصوير الإشعاعي إما عن طريق وجود طاولة يستلقي فوقها المريض بحيث يكون

جهاز الأشعة السينية فوقه، أو عن طريق وقوف المريض أمام جهاز الأشعة السينية

تأثير الإشعاعات على جسم

الفصل الثاني

الانسان

الثابت من أجل الحصول على الصور، وتتراوح مدة التصوير بجهاز الأشعة السينية

ما بين 10-15 دقيقة فقط، ويقوم هذا النوع من الأشعة بتشخيص كسور العظام،

وتشخيص الإصابات والعدوى الشائعة، بالإضافة إلى الكشف عن سرطان الثدي،

والتهاب المفاصل (بالإنجليزية: Arthritis) وهشاشة العظام (بالإنجليزية :

Osteoporosis) ومشاكل الجهاز الهضمي، كما يمكن من الكشف عن الإصابة

بسرطان العظام، وتجدر الإشارة إلى أنّ جهاز الأشعة السينية ينتج كميات قليلة من

الإشعاع والتي قد تتسبب بالشعور بالقليل من عدم الراحة والإزعاج، بالإضافة إلى

أنّها آمنة للاستخدام لدى الأطفال.

2- الأشعة المقطعية: (بالإنجليزية: CT scan) تقوم الأشعة المقطعية بأخذ شرائح

من الصور المفصّلة للعظام والأنسجة والأوعية الدموية، حيث إنّها تُعتبر وسيلة

جيدة للكشف عن مراحل مرض السرطان أو الأورام المختلفة، كما أنّها تساعد على

تقييم الحالات الطارئة، وتستغرق مدة التصوير بجهاز الأشعة المقطعية مدة تقارب العشرة دقائق فقط، ويشابه جهاز الأشعة المقطعية شكل النفق الذي يكون عريضاً نسبياً مع وجود طاولة تتحرك خلال هذا النفق ليتم أخذ الصور في داخله، وتجدر الإشارة إلى أنّ الأشعة المقطعية مناسبة لتشخيص الإصابات الناتجة عن الرضوض، وتشخيص العدوى، وإصابات الدماغ مثل؛ الارتجاج (بالإنجليزية: Concussion) كما تُستخدم في تشخيص سرطان الرئة، والأورام وأمراض الأوعية الدموية، والسكتة الدماغية (بالإنجليزية: Stroke) التي تحدث عندما يقل أو ينقطع تدفق الدم إلى أحد أجزاء الدماغ، مما يؤدي إلى عدم وصول الأكسجين إلى أنسجة الدماغ وغيره من المواد الغذائية، حيث تبدأ خلايا الدماغ بالموت بعد عدة دقائق من حدوث ذلك.

### 3- التصوير بالرنين المغناطيسي: (بالإنجليزية: MRI) يقوم جهاز الرنين

المغناطيسي بأخذ صور ثلاثية الأبعاد مُفصّلة للأنسجة الرخوة؛ وذلك من أجل

#### تأثير الإشعاعات على جسم

#### الفصل الثاني

#### الإنسان

تشخيص إصابات الأربطة بالإضافة إلى الكشف عن أي مشاكل في النخاع الشوكي، ويكون شكل جهاز الرنين المغناطيسي كنفق وطاولة تتحرك خلال هذا النفق، وتجدر الإشارة إلى أنّ جهاز الرنين المغناطيسي يكون أكبر من جهاز الأشعة المقطعية لكنّ النفق يكون أضيق قليلاً، ويقوم جهاز الرنين المغناطيسي بتشخيص حالات التصلّب اللويحي (بالإنجليزية: Multiple Sclerosis) وحالات النزيف الداخلي، والخرف (بالإنجليزية: Dementia) وحالات إصابات الأوتار، بالإضافة إلى الكشف عن مشاكل المفاصل، والأورام، وسرطان البروستات، والمشاكل التي تتعلق بالحوض عند الإناث، وتتراوح المدة التي يستغرقها جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي ما بين 45 دقيقة إلى ساعة واحدة.

**4- الموجات فوق الصوتية:** (بالإنجليزية: Ultrasound) تقوم الموجات فوق الصوتية بإعطاء صور واضحة للأنسجة الرخوة ولحركاتها، كما أنها تقدّم صوراً لتدفق الدم خلال الأوعية الدموية، ويتم التصوير بجهاز الموجات فوق الصوتية عن طريق وضع جل مباشرة فوق جلد المصاب، ومن ثم استخدام الجهاز من خلال مجس صغير وشاشة الكمبيوتر، وهناك الكثير من الحالات التي يكشف الجهاز عنها، ومنها: أسباب الجلطة القلبية (بالإنجليزية: Heart attack) وأسباب الشعور بالألم والانتفاخ والعدوى، بالإضافة إلى الكشف عن أمراض القلب، ومشاكل تدفق الدم، وتجلطات الدم، وتوضيح الأنسجة قبل الولادة (بالإنجليزية Prenatal issues) وإرشادات أخذ الخزعة (بالإنجليزية: Biopsy guidance) وتبلغ المدة التي يستغرقها جهاز التصوير بالموجات فوق الصوتية النصف ساعة إلى ساعة واحدة.

**5- تصوير مقطعي بالإصدار البوزيتروني:** (بالإنجليزية: PET Scan) يقوم التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني بتصوير كيفية عمل الأعضاء والأنسجة ونشاطها، ويتم استخدامه في مراقبة السرطان والعلاجات التي يتم تقديمها، وأمراض

تأثير الإشعاعات على جسم

الفصل الثاني

الانسان

الشريان التاجي (بالإنجليزية: Coronary artery disease) ويتم استخدام هذا الجهاز من خلال ابتلاع أو حقن مادة مُشعّة في الجسم، وتجدر الإشارة إلى أنّ هذا الجهاز يشبه جهاز الأشعة المقطعية، لكنّه لا يقوم بإصدار الأشعة من نفسه، بل يقوم بقراءة الأشعة الصادرة عن المادة المشعّة الموجودة في الجسم، ومن الأمثلة على الحالات التي يقوم التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني بالكشف عنها: مرض الزهايمر (بالإنجليزية: Alzheimer's disease) وأمراض السرطان، والصرع (بالإنجليزية: Epilepsy) ومرض باركنسون (بالإنجليزية: Parkinson's)

(disease). وهو مرض يصيب خلايا الأعصاب في الدماغ، إذ يعاني المُصاب من تصلّب في العضلات، والارتعاش، وتغييرات في الكلام وفي المشي، كما يكشف هذا النوع من التصوير عن الاضطرابات التي تتعلق بالذاكرة، بالإضافة إلى مشاكل القلب، أو المشاكل التي تتعلق بالعلاجات السابقة التي تلقاها المصاب، وتجدر الإشارة إلى أنّ المدة التي يستغرقها جهاز التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني تتراوح ما بين ساعة ونصف إلى ساعتين.

## 6-2 فريق الأشعة

يتكون طاقم الأشعة من عدّة أشخاص يتعاونون مع بعضهم للقيام بالتصوير الإشعاعي على أكمل وجه، ويتكون هذا الطاقم في العادة من:

- 1- طبيب الأشعة (بالإنجليزية: Radiologist)
- 2- مساعد الأشعة (بالإنجليزية: Radiologist Assistants)
- 3- تقني الأشعة (بالإنجليزية: Radiologic Technologists)
- 4- ممرض الأشعة (بالإنجليزية: Radiologic Nurse)

# الفصل الثالث

## تأثير أشعة كاما على الانسان

تأثير أشعة كاما على الانسان

الفصل الثالث

### 1-3 ما هي أشعة كاما؟

أشعة كاما (بالإنجليزية: Gamma ray) هي حزمة من الطاقة الكهرومغناطيسية (الفوتونات) المنبعثة من نواة بعض النويدات المشعة بعد التحلل الإشعاعي، فوتونات جاما هي الفوتونات الأكثر نشاطاً في الطيف الكهرومغناطيسي، يتم التعبير عنها بالرمز "γ" ، تحمل فوتونات أشعة جاما عمومًا طاقةً أكبر من ١٠٠ كيلو

إلكترون فولت، ولها ترددات أكبر من حوالي  $10^8$  دورة في الثانية، وأطوال موجية أقل من 100 ميكومتر، أو  $4 \times 10^8$  بوصات. يتم إطلاق إشعاع جاما من العديد من النظائر المشعة الموجودة في سلسلة اضمحلال الإشعاع الطبيعي لليورانيوم والثوريوم والأكتينيوم، بالإضافة إلى انبعاثها من النظائر المشعة الطبيعية البوتاسيوم-40، والكربون-14، كما توجد هذه الإشعاعات في الصخور والتربة وحتى في بعض الأطعمة ومصار المياه، ويتم إنتاج المصادر الاصطناعية لإشعاع جاما من خلال الانشطار في المفاعلات النووية، وتجارب فيزياء الطاقة العالية، والانفجارات والحوادث النووية.

### 2-3 استخدامات أشعة جاما

تُستخدم أشعة جاما في العديد من الاستعمالات، أبرزها: في الطب والصناعة والعلوم، وفيما يأتي توضيح استعمالاتها في كل مجال:

### 3-3 استخدامات أشعة جاما في الطب

أبرز استخدامات أشعة جاما في الطب:

1- في مجال الأورام لعلاج الأورام الخبيثة والسرطانية: من خلال عملية تسمى جراحة سكين جاما (بالإنجليزية: Gamma Knife) في هذا النوع من العلاج يتم توجيه حزم مركزة من أشعة جاما إلى الأورام من أجل قتل الخلايا السرطانية.

### الفصل الثالث

#### تأثير أشعة كاما على الانسان

2- في تقنيات التصوير في الطب النووي: وذلك لأغراض التشخيص، فعلى سبيل المثال تستخدم في "التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني" و "كاميرات كاما".

3- في تعقيم المعدات الطبية: حيث تمر أشعة جاما بسهولة عبر عبوات المعدات الطبية (لا يمكن إيقافها إلا بواسطة الرصاص الكثيف) وتقتل الأنسجة الحية مثل الفيروسات والبكتيريا.

### 4-3 استخدامات أشعة جاما في الصناعة

أبرز استخدامات أشعة جاما في الصناعة:

1- اكتشاف العيوب في المسبوكات المعدنية في عملية تُعرف باسم التصوير الشعاعي الصناعي، إذ يتم قصف أجزاء من الهياكل بأشعة جاما التي تمر بأمان عبر المعدن، وبعد ذلك ملاحظة المعدن بواسطة كاميرات جاما المحمولة التي تظهر تغميق نقاط الضعف في الهيكل في صورة فوتوغرافية.

2- فحص الأمتعة والبضائع في المطارات.

3- استغلالها في مجالات الصناعة الغذائية من خلال حفظ الطعام.

### 5-3 استخدامات أشعة كاما في العلوم

أبرز استخدامات أشعة جاما في العلوم:

1- تحديد العناصر الموجودة على الكواكب؛ مثل الهيدروجين، والمغنيسيوم، والسيليكون، والأكسجين، والحديد، والتيتانيوم، والصوديوم، والكالسيوم.

2- رسم خريطة مجرة درب التبانة من خلال إنشاء عرض كامل بزاوية ٣٦٠ درجة للمجرة من منظورنا هنا على الأرض، وذلك من خلال تصوير تدفقات أشعة غاما عن النجوم باستخدام تلسكوب فضائي تابع لناسا ل.

### الفصل الثالث

#### تأثير أشعة كاما على الانسان

3- مساعدة العلماء على البحث عن العناصر المهمة جيولوجيًا مثل الهيدروجين والمغنيسيوم، فعندما تصطدم الأشعة الكونية بالعناصر الكيميائية الموجودة في التربة والصخور تنبعث منها إشارات طاقة يمكن تحديدها على شكل أشعة جاما.

### 6-3 أضرار أشعة جاما على الإنسان

تُعد أشعة جاما خطرًا إشعاعيًا على جسم الإنسان ككل، فقد تخترق جسم الإنسان نظراً إلى قدرتها الفائقة على تدمير الخلايا الحية، فهي تُعد أشعة مؤيِّنة أيّ أنّها تؤيِّن الوسط الذي تمر فيه، وبالتالي يُمكنها اختراق الحواجز بسهولة مثل الجلد والملابس؛ لذلك يُمكن لأشعة جاما أن تمر بالكامل عبر جسم الإنسان، وأثناء مرورها يمكن أن تُسبب تأيِّناً يؤدي إلى تلف الأنسجة والحمض النووي.

### **7-3 تأثير أشعة جاما على الكائنات الدقيقة**

لا تضر أشعة جاما الإنسان فقط، بل لها تأثيرات على الكائنات الدقيقة أيضاً وهي كالآتي:

#### **1-7-3 التأثير المباشر لأشعة جاما على الكائنات الحية**

إن شعاع جاما يُنتج اضطرابات في الجسيمات دون الذرية المشاركة في تكوين الكائنات الحية الدقيقة، ببساطة يتسبب هذا الإشعاع في تلف المادة الجينية؛ أيّ الحمض النووي أو الحمض النووي الريبي لخلية الكائن الحي، وفي حالة تلف الحمض النووي أو الحمض النووي الريبي للكائن الدقيق تموت الخلية.

#### **2-7-3 التأثير غير المباشر لأشعة جاما على الكائنات الحية**

تؤثر أشعة جاما بشكل غير مباشر على الكائنات الحية الدقيقة، وذلك من خلال الجزيئات ذاتها عندما تتحول إلى جزيئات أخرى أو جذور تختلف تماماً عن أصلها،

### **الفصل الثالث تأثير أشعة كاما على الانسان**

فهذا التغيير يؤدي إلى حدوث تفاعلات كيميائية خطيرة جداً تؤدي بشكلٍ واضح إلى تدمير النظام الخلوي للكائن.

#### **8-3 هل يسبب التعرض لأشعة كاما السرطان؟**

تُعرف أشعة جاما بأنها مواد مسرطنة للإنسان، يأتي الدليل على ذلك من عدة مصادر مختلفة، بما في ذلك دراسات الناجين من القنبلة الذرية في اليابان، والأشخاص الذين تعرضوا لحادث تشيرنوبيل النووي، والأشخاص الذين عولجوا بجرعات عالية من الإشعاع للسرطان وحالات أخرى، والأشخاص المعرضين لمستويات عالية من الإشعاع في العمل؛ مثل عمال مناجم اليورانيوم، إذ تُشير بعض الدراسات الطبية حول الإشعاع وخطر الإصابة بالسرطان للأشخاص الذين تعرضوا لجرعات عالية من الإشعاع في الأماكن المذكورة أعلاه.

لكن من الصعب قياس مخاطر الإصابة بالسرطان التي قد تأتي من مستويات أقل عند التعرض للإشعاع، فلم تتمكن معظم الدراسات من اكتشاف زيادة خطر الإصابة بالسرطان بين الأشخاص المعرضين لمستويات منخفضة من الإشعاع، ومع ذلك يتفق معظم العلماء والهيئات التنظيمية على أنّ الإشعاعات الصغيرة من أشعة جاما تزيد من خطر الإصابة بالسرطان على الرغم من أنها بكميات صغيرة جداً، لكن يزداد خطر الإصابة بالسرطان بزيادة كمية الإشعاع.

### 9-3 أشعة كاما

هي الطاقة الكهرومغناطيسية المنبعثة من نواة بعض النويدات المشعة بعد تحللها إشعاعياً، حيث يتم إنتاج أشعة جاما من خلال تفكك نوى الذرة المشعة وفي تحلل بعض الجسيمات دون الذرية، ولأشعة جاما العديد من الاستخدامات في عدّة مجالات مختلفة كالطب، والعلوم، والصناعة، وتُعد من الأشعة الضارة والخطيرة إذا ما تم التعامل معها بشكلٍ صحيح وآمن.

#### تأثير أشعة كاما على الانسان

#### الفصل الثالث

### 10-3 خصائص أشعة كاما

أشعة كاما هي أشعة كهرومغناطيسية، يُعبّر عنها بالرمز  $\gamma$  ، وهي ذات طول موجي قصير، وطاقة مرتفعة جداً بسبب ترددها الموجي العالي، وتنتج هذه الأشعة من

التفاعلات النووية في الفضاء؛ فهي تصدر من الأجرام السماوية ذات الحرارة العالية كالنجوم، ومن العناصر والنظائر المشعة مثل اليورانيوم، والبلوتونيوم، والبولونيوم.

تنتشر أشعة جاما في الفراغ والهواء، وهي أشعة غير مرئية، إذ لا يمكن للإنسان رؤيتها أو الإحساس بها، وسرعتها مساوية لسرعة الضوء، ولها قدرة عالية على الاختراق بسبب قصر طولها الموجي تفوق فيها قدرة الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية، وتنتج أشعة جاما في الطبيعة من التفاعلات النووية في الشمس وتصل طاقتها إلى مليون إلكترون فولت، واكتشف أشعة جاما العالم الفرنسي فيلارد في عام ١٩٩٠م، بتعجيل الأنوية بطاقة عالية جداً باستخدام المعجلات مثل السيكلترون والسنكلترون. تعدُّ أشعة جاما من أخطر الأشعة في المجال الكهرومغناطيسي ولها تأثيرات ضارة على الخلايا في الكائنات الحية، فهي أشعة قادرة على اختراق الجلد وتأيين الخلايا وبالتالي موتها، وتأيّن الدّرة يعني تحويلها من ذرّة متعادلة إلى ذرّة مشحونة (أيون) عن طريق فصل الإلكترونات عنها، ولا وجود لهذه الأشعة المدمّرة من حولنا بسبب امتصاصها وتشتيتها في طبقة الأوزون والغلاف الجويّ.

### 3-11 استخدامات أشعة كاما في الحياة

تستخدم أشعة كاما في مجال الطبِّ لقتل الخلايا السرطانية عن طريق ما يُعرف بالعلاج الإشعاعي، ويساعدها على ذلك قدرتها على النفاذ في الجلد، ويتمُّ ذلك عن طريق منع الخلايا السرطانية من النمو والقضاء عليها عن طريق تأيينها، وتُستخدم أشعة جاما أيضاً في صناعة القنابل والمفاعلات النووية، وفي فحص أنابيب البترول والتأكد من جودتها وسلامة اللحام، والكشف عن نقاط الضعف فيها، حيث يجري

تأثير أشعة كاما على الانسان

الفصل الثالث

تصويرها كما يتم تصوير العظام باستخدام أشعة إكس في جسم الإنسان، وتستخدم أشعة جاما أيضاً في عمليات تعقيم وتطهير المعلبات الغذائية، وأدوات الجراحة، والعبوات الدوائية وغيرها.

يستخدم العاملون في مجال أشعة جاما حاجزاً من الرصاص للوقاية منها، حيث لهذا الحاجز أكبر معامل امتصاص لها؛ لأنّ التّعرّض لأشعة جاما يعدّ من المسببات الرئيسيّة للإصابة بالسرطان.

## المصادر

- 1- <https://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/radlife>
- 2- <http://hps.org/publicinformation/ate/faqs/whatisradiation.html>
- 3- <https://www.mirion.com/introduction-to-radiation-safety/types-of-ionizing-radiation/>
- 4- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22514910>
- 5- <https://www.britannica.com/science/radioactivity>
- 6- <https://sciencing.com/alpha-beta-gamma-particles-8374623.html>
- 7- <https://www.livestrong.com/article/236518-radiation-effects-on-the-environment/>
- 8- <https://www.britannica.com/science/alpha-particle>
- 9- <https://www.encyclopedia.com/environment/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/alpha-particle>
- 10- <https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/ionising-radiation/gamma-radiation>
- 11- <https://www.livescience.com/50215-gamma-rays.html>
- 12- [https://www.wikilectures.eu/w/Gamma\\_Rays\\_and\\_Medicine](https://www.wikilectures.eu/w/Gamma_Rays_and_Medicine)
- 13- <https://sciencing.com/uses-beta-rays-8278087.html>
- 14- [https://science.nasa.gov/ems/12\\_gammarays](https://science.nasa.gov/ems/12_gammarays)
- 15- <https://tuttnauer.com/blog/sterilization-by-gamma-irradiation>
- 16- <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/x-rays-gamma-rays/do-xrays-and-gamma-rays-cause-cancer.html>