



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



عنوان البحث

الاشعاعات النووية وتطبيقاتها في المجال الطبي

بحث مقدم الى مجلس قسم الفيزياء /كلية التربية للعلوم الصرفة/جامعة بابل كجزء من متطلبات نيل درجة بكالوريوس تربية في علوم الفيزياء

اعداد الطالب

عبد الله حسن هادي

بإشراف

م. د . كاظم خضير كاظم

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



﴿ وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا ﴾



سورة طه (١١٤)

الإهداء

إلى من كان لهم الفضل الأول في دعمي وتشجيعي،
إلى والديّ العزيزين اللذين قدّما لي كل ما أحتاجه لأصل إلى هذه المرحلة
من حياتي.

إلى أساتذتي الكرام الذين أناروا دربي بنور العلم والمعرفة،
وإلى كل من ساندني ووقف إلى جانبي في مسيرتي الدراسية.

أهدي هذا الجهد المتواضع، راجياً من الله تعالى أن يكون خطوةً في طريق
النجاح وخدمة العلم.

الشكر والعرفان

الحمد لله الذي وفقني لإتمام هذا البحث، وأعانني على إكمال هذا الجهد بعد سنواتٍ من الدراسة والمثابرة.

وأتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى الأستاذ المشرف على هذا البحث، لما قدمه من توجيهات علمية قيّمة وإرشادات ساهمت في إنجاز هذا العمل.

كما أتقدم بجزيل الشكر إلى أساتذتي الكرام في القسم على ما قدموه من علمٍ ومعرفةٍ طوال سنوات الدراسة.

وأتقدم بالشكر والامتنان إلى عائلتي الكريمة وأصدقائي الأعزاء على دعمهم وتشجيعهم المستمر لي حتى إتمام هذا البحث

توصية المشرف

أقر بأن إعداد البحث (الاشعاعات النووية وتطبيقاتها في المجال الطبي) لطالب البكالوريوس (عبد الله حسن هادي) جرى تحت إشرافي في قسم الفيزياء /كلية التربية للعلوم الصرفة /جامعة بابل، وهو جزء من متطلبات نيل شهادة بكالوريوس تربية في علوم الفيزياء .

التوقيع:

اسم المشرف : م.د. كاظم خضير كاظم

التاريخ : / / ٢٠٢٦

الخلاصة

يتناول هذا البحث دراسة الإشعاع النووي وأنواعه المختلفة وتأثيره على المادة، مع التركيز على خصائصه الفيزيائية والبيولوجية ودوره في التطبيقات العلمية، خصوصاً في المجال الطبي.

يتضمن الفصل الأول التعريف بالإشعاع النووي، حيث يوضح مفهومه وأنواعه مثل الإشعاع المؤين وغير المؤين، إضافة إلى خصائصه العامة ومصادره الطبيعية والصناعية، مع بيان أهميته في مختلف المجالات.

أما الفصل الثاني فيتناول أنواع الإشعاعات النووية في المجال الطبي، حيث يشرح إشعاع ألفا وبيتا وغاما والأشعة السينية والإشعاع النيوتروني، مع توضيح خصائص كل نوع من حيث القدرة على الاختراق والتأثير داخل الجسم واستخداماته في التشخيص والعلاج.

بينما يركز الفصل الثالث على تطبيقات الإشعاع النووي في الطب، حيث يوضح استخدامه في تشخيص الأمراض من خلال تقنيات التصوير المختلفة، وكذلك دوره في علاج الأورام السرطانية، إضافة إلى استخدامه في تعقيم الأدوات الطبية والأبحاث العلمية.

وفي الختام، يبين البحث أهمية الاستخدام الآمن للإشعاع النووي من خلال التحكم في الجرعات، لماله من دور كبير في تطوير المجال الطبي وتحسين وسائل التشخيص والعلاج

قائمة المحتويات		
ت	عنوان الفقرة	تسلسل الفقرة
❖	الآية الكريمة	أ
❖	الاهداء	ب
❖	الشكر والعرفان	ت
❖	توصية المشرف	ث
❖	الخلاصة	ج
❖	قائمة المحتويات	ح
الفصل الأول: مبادئ الإشعاع النووي		
(١-١)	المقدمة	١
(١-٢)	انواع الإشعاع النووي	٢
(١-٣)	الخصائص العامة للإشعاع النووي	٢
(١-٤)	انواع الإشعاعات النووية الأساسية	٢
(١-٥)	الاستخدامات العامة للإشعاع النووي	٥
(١-٦)	أهداف البحث	٦
(١-٧)	هيكلية البحث	٦
الفصل الثاني: انواع الإشعاعات النووية		
(٢-١)	إشعاع ألفا	٧
(٢-٢)	(تركيبه) نواة هيليوم	٧
(٢-٣)	قدرة اختراق ألفا	٨
(٢-٤)	إشعاع بيتا	٩
(٢-٥)	أنواعه (β^- و β^+)	١٠
(٢-٦)	إشعاع غاما	١٢
(٢-٧)	الإشعاع النيوتروني	١٦
الفصل الثالث: الاستخدامات الطبية للإشعاع النووي		
(٣-١)	مقدمة	١٩
(٣-٢)	استخدام الأشعة النووية في التشخيص الطبي	١٩
(٣-٣)	استخدام الأشعة النووية في علاج الأمراض	٢٠
(٣-٤)	استخدام الأشعة النووية في تعقيم الأدوات والمستلزمات الطبية	٢١
(٣-٥)	استخدام الأشعة النووية في الأبحاث الطبية والبيولوجية	٢٢
❖	المصادر	٢٣

الفصل الاول

مبادئ الاشعاع النووي

الفصل الاول

مبادئ الاشعاع النووي

١-١ المقدمة

الإشعاع النووي هو الطاقة التي تنبعث من نوى الذرات نتيجة تحللها أو انتقالها من حالة طاقة عالية إلى حالة أدنى، ويعتبر من أهم الظواهر الطبيعية التي اكتشفها العلماء في القرن العشرين. يمكن تعريفه بأنه انبعاث جسيمات أو موجات كهرومغناطيسية من نوى الذرات أو من التفاعلات النووية، والتي تمتلك طاقة كافية للتأثير على المواد المحيطة بها. تتمثل أهمية دراسة الإشعاع النووي في أنه يوفر قاعدة علمية لفهم كيفية تفاعله مع المواد الحية وغير الحية، وهو الأساس لفهم دوره في الطب، الصناعة، والطاقة. كما أن فهم خصائصه الفيزيائية والبيولوجية يساعد الباحثين على استخدام الإشعاع بطريقة آمنة وفعالة، سواء في علاج الأمراض أو في التشخيص الدقيق باستخدام أجهزة التصوير النووي ومن الأمثلة العملية على الإشعاع النووي الطبيعي: إشعاع الرادون المنبعث من الصخور والتربة، والأشعة الكونية القادمة من الفضاء الخارجي.

• الصناعي والطبي: أجهزة الأشعة السينية المستخدمة في تشخيص كسور العظام، والأجهزة الإشعاعية المستخدمة في علاج الأورام السرطانية، ومصادر الإشعاع المشعة في المختبرات الطبية والبحوث النووية. أن الإشعاع النووي يتميز بقدرته على نقل الطاقة بشكل مباشر إلى الذرات والجزيئات، مما يؤدي إلى تحفيز تفاعلات كيميائية أو بيولوجية محددة، وهذا ما يجعله أداة فعالة جدًا في المجالات الطبية، لكنه يحتاج دائمًا إلى ضبط الجرعة والتحكم في التعرض لتجنب الأضرار المحتملة على الخلايا والأنسجة. كما أن الإشعاع النووي يُعتبر من الظواهر الطبيعية في البيئة، إذ ينبعث من عناصر مشعة مثل اليورانيوم والثوريوم، ومن الأشعة الكونية القادمة من الفضاء، بالإضافة إلى المصادر الصناعية والطبية التي تُنتج في المختبرات والمستشفيات. ويُظهر هذا التنوع في المصادر والأشكال أهمية دراسة الإشعاع النووي وفهم خصائصه الفيزيائية والبيولوجية قبل تطبيقه في أي مجال، خاصة في المجال الطبي الذي يعتمد على دقة استخدامه لتشخيص الأمراض وعلاجها بأمان وفعالية. [١]

(١-٢) أنواع الإشعاع النووي

1) الإشعاع المؤين: وهو الإشعاع الذي يمتلك طاقة كافية لإزالة الإلكترونات من الذرات أو الجزيئات، مسببًا تأينها. هذا النوع من الإشعاع يشمل جسيمات ألفا وبيتا وأشعة غاما، ويتميز بقدرته على التفاعل مع المادة بشكل مباشر، مما يجعله مفيدًا في التطبيقات الطبية مثل التشخيص والعلاج الإشعاعي للأورام، ولكنه أيضًا يشكل خطرًا إذا لم يتم التحكم في الجرعات المستخدمة.

2. الإشعاع غير المؤين: وهو الإشعاع الذي يمتلك طاقة أقل من اللازم لإحداث التأين، ويشمل الأشعة تحت الحمراء والموجات الراديوية والليزر. هذا النوع من الإشعاع لا يسبب تغيرات مباشرة في البنية الذرية، ولكنه يستخدم في تطبيقات متعددة مثل التصوير الحراري والاتصالات الطبية. [٢]

(١-٣) الخصائص العامة للإشعاع النووي

للإشعاع النووي خصائص مميزة تجعله فريدًا مقارنة ببقية أشكال الطاقة هي كالاتي:

١) القدرة على الاختراق: تختلف قدرة الإشعاع على اختراق المواد بحسب نوعه. فإشعاع ألفا يمتلك كتلة عالية وشحنة موجبة، لذلك يتوقف بسهولة عند اختراق الورق أو الجلد، بينما إشعاع بيتا يمتلك قدرة اختراق متوسطة، أما إشعاع غاما فهو موجة كهرومغناطيسية عالية الطاقة يمكنها المرور عبر الأنسجة البشرية والمواد الصلبة.

٢) الطاقة والجسيمات المرتبطة به: الإشعاع النووي عبارة عن جسيمات أو موجات تحمل طاقة عالية، وهذه الطاقة هي التي تؤدي إلى التأثير الفيزيائي والكيميائي على الذرات المحيطة بها.

٣) التأثير البيولوجي: يتفاعل الإشعاع مع الخلايا الحية بعدة طرق، منها تكوين أيونات وتدمير روابط كيميائية داخل الجزيئات الحيوية مثل DNA. هذا التأثير هو السبب في قدرة الإشعاع على قتل الخلايا السرطانية، لكنه أيضًا يمثل خطرًا إذا لم يتم التحكم في الجرعات بعناية. [٣]

(١-٤) أنواع الإشعاعات النووية الأساسية

توجد عدة أنواع رئيسية للإشعاع النووي، لكل منها خصائص محددة:

١) إشعاع ألفا (α): يتكون من جسيمات ثقيلة موجبة الشحنة، تتكون من بروتونين ونيوترونين. يمتلك طاقة عالية لكنها قدرة اختراق منخفضة، لذلك تأثيره يكون محليًا على السطح أو الطبقات القريبة من

مصدر الإشعاع. يستخدم أحياناً في تطبيقات صناعية محددة لكنه نادر الاستخدام في الطب المباشر.

٢) إشعاع بيتا (β) عبارة عن إلكترونات أو بوزيترونات تنبعث من النوى، تمتلك طاقة متوسطة وقدرة اختراق أكبر من ألفا، لكنها أقل من غاما. يستخدم إشعاع بيتا في العلاج الإشعاعي لبعض الأورام السطحية والأعضاء الصغيرة.

٣) إشعاع غاما (γ) موجات كهرومغناطيسية عالية الطاقة، لا تحمل شحنة ولا كتلة، لكن قدرتها على اختراق المواد كبيرة جداً. هذا النوع هو الأكثر استخداماً في الطب، سواء في التشخيص بواسطة الأشعة أو العلاج الإشعاعي للأورام الداخلية.

٤) إشعاع نيوتروني (اختياري): جسيمات متعادلة الشحنة، تستخدم بشكل محدود جداً في الطب، لكنها مهمة في بعض طرق العلاج الإشعاعي التجريبية والبحوث النووية.

الإشعاع النووي لا يقتصر وجوده على التطبيقات الصناعية أو الطبية، بل هو موجود بشكل طبيعي في البيئة من حولنا، كما يمكن إنتاجه صناعياً للتحكم في خصائصه واستخدامه في أغراض متعددة. يمكن تصنيف مصادر الإشعاع النووي إلى قسمين رئيسيين: مصادر طبيعية ومصادر صناعية وطبية. [٤]

أولاً: المصادر الطبيعية للإشعاع النووي

المصادر الطبيعية للإشعاع هي الإشعاعات التي توجد في البيئة بشكل طبيعي، دون تدخل الإنسان. وتشمل:

١) العناصر المشعة في الأرض والصخور:

تحتوي التربة والصخور على عناصر مشعة مثل اليورانيوم (U)، الثوريوم (Th)، والراديوم (Ra). هذه العناصر تتحلل بشكل طبيعي منتجة جسيمات ألفا وبيتا، وأشعة غاما. وهذا الإشعاع يمثل جزءاً من التعرض اليومي الطبيعي للإنسان، ويختلف شدته حسب نوع التربة والمكان الجغرافي.

٢) غاز الرادون: الرادون هو غاز مشع ينبعث من تحلل اليورانيوم في الصخور والتربة. يتسرب إلى الهواء داخل المنازل والمباني ويعتبر أحد مصادر الإشعاع الطبيعي الرئيسية، خاصة في المناطق ذات تراكيزات عالية من اليورانيوم في الأرض. بالرغم من كونه طبيعياً، إلا أن تراكمه بكميات كبيرة يمثل خطراً صحياً محتملاً على الرئة إذا تم استنشاقه لفترات طويلة. [٥]

٣. الأشعة الكونية

تأتي من الفضاء الخارجي، وهي عبارة عن جسيمات مشحونة وموجات كهرومغناطيسية عالية الطاقة. تصل هذه الأشعة إلى سطح الأرض بشكل مستمر، وتزداد كثافتها في الأماكن العالية مثل الجبال، أو عند السفر بالطائرات على ارتفاعات عالية.

٤. المصادر البيولوجية الطبيعية

تحتوي بعض الكائنات الحية والمواد الغذائية على مستويات منخفضة من النظائر المشعة، مثل الكربون-١٤ والبولتاسيوم-٤٠، وهي جزء من النظام البيئي الطبيعي للإشعاع.

ثانيًا: المصادر الصناعية والإشعاعية

المصادر الصناعية أو المشعة تنتج بواسطة الإنسان، وتكون عادة مركزة وقابلة للسيطرة، وتستخدم في التطبيقات الطبية، الصناعية، والبحثية. تشمل:

١. الأجهزة الطبية:

- أجهزة الأشعة السينية (X-ray): تستخدم في التشخيص الطبي لفحص العظام والأنسجة الداخلية.
- أجهزة العلاج الإشعاعي: تستخدم جرعات محددة من الإشعاع المؤين لعلاج الأورام السرطانية عن طريق قتل الخلايا السرطانية أو تثبيط نموها.
- أجهزة التصوير النووي (مثل PET و SPECT): تعتمد على مواد مشعة يتم حقنها في الجسم لتصوير الأعضاء والوظائف الحيوية بشكل دقيق. [٦]

٢. المفاعلات النووية:

تُستخدم المفاعلات النووية لإنتاج الطاقة الكهربائية، كما تُستخدم أيضًا لإنتاج نظائر مشعة يمكن استخدامها في الطب والصناعة.

٣. المصادر المشعة في المختبرات:

تشمل النظائر المشعة التي تستخدم للأبحاث العلمية، مثل الكوبالت-٦٠ والسترونشيوم-٩٠، والتي تُستخدم لدراسة التأثيرات البيولوجية والكيميائية للإشعاع، وكذلك في المعايرة الطبية لأجهزة القياس الإشعاعي.

٤. التطبيقات الصناعية:

- فحص المواد للكشف عن العيوب الداخلية.
- قياس السماكة والكثافة في خطوط الإنتاج.
- تعقيم الأدوات الطبية والمنتجات الغذائية باستخدام الإشعاع لتقليل الميكروبات. [٧]

أهمية معرفة مصادر الإشعاع النووي

فهم المصادر الطبيعية والصناعية للإشعاع النووي أمر بالغ الأهمية لتحديد مستوى التعرض والإجراءات الوقائية المناسبة. كما أنه يساعد الباحثين والأطباء على استخدام الإشعاع بطرق آمنة وفعّالة، سواء في تشخيص الأمراض، علاج الأورام، أو تطبيقات البحث العلمي والصناعة.

(٥-١) الاستخدامات العامة للإشعاع النووي

يُعتبر الإشعاع النووي من الظواهر الطبيعية التي اكتشفها العلماء ولها أهمية كبيرة في مختلف المجالات، ليس فقط في الطب بل أيضًا في الصناعة والطاقة والبحث العلمي. ومن أهم الاستخدامات العامة للإشعاع النووي:

في المجال الطبي: يستخدم الإشعاع النووي في التشخيص والعلاج والتصوير بالأشعة النووية (مثل PET و SPECT) يسمح بتشخيص الأمراض بدقة عالية، بما في ذلك تصوير العظام والأنسجة الداخلية ووظائف الأعضاء الحيوية. أما العلاج الإشعاعي، فيعتمد على توجيه جرعات محددة من الإشعاع المؤين إلى الأورام السرطانية، بهدف قتل الخلايا السرطانية أو تثبيط نموها دون الإضرار بالأنسجة السليمة المحيطة.

في الصناعة: يلعب الإشعاع النووي دورًا مهمًا في فحص المواد للكشف عن العيوب الداخلية، وقياس سماكة المواد والكثافة، والتحكم في جودة المنتجات. كما يُستخدم في عمليات التعقيم، مثل تعقيم الأدوات الطبية والمنتجات الغذائية، حيث يقضي الإشعاع على الميكروبات والبكتيريا دون الحاجة للحرارة أو المواد الكيميائية.

في مجال الطاقة: يُستخدم الإشعاع النووي في تشغيل المفاعلات النووية لإنتاج الطاقة الكهربائية، حيث تتحلل النظائر المشعة داخل المفاعل مطلقة الطاقة الحرارية، والتي تُحوّل بعد ذلك إلى كهرباء. كما يتم استخدام المفاعلات النووية لإنتاج النظائر المشعة التي تدخل في التطبيقات الطبية والصناعية.

في البحث العلمي: يمثل الإشعاع النووي أداة أساسية لدراسة الخواص الذرية والنوية للمواد، وكذلك لدراسة التفاعلات البيولوجية والكيميائية. تستخدم المختبرات إشعاعات محددة لإجراء التجارب العلمية، وتطوير التقنيات الحديثة في الطب والصناعة.

أهمية السلامة والتحكم: بالرغم من الفوائد العديدة، فإن الاستخدام الآمن للإشعاع النووي يتطلب ضبط الجرعات والتدابير الوقائية لتجنب الأضرار المحتملة على الإنسان والبيئة. فالتعرض المفرط للإشعاع يمكن أن يؤدي إلى تلف الخلايا والأنسجة، لذلك يتم وضع معايير صارمة للتحكم في مصادر الإشعاع، سواء الطبيعية أو الصناعية. يعتبر الإشعاع النووي من الظواهر الطبيعية التي اكتشفها العلماء ولها أهمية كبيرة في مختلف المجالات، ليس فقط في الطب بل أيضاً في الصناعة والطاقة والبحث العلمي [٨,٩].

(٦-١) أهداف البحث

- ١) يهدف هذا البحث إلى التعرف على مفهوم الإشعاعات النووية وأنواعها الأساسية المستخدمة في المجال الطبي.
- ٢) توضيح الخصائص الفيزيائية والبيولوجية للإشعاعات النووية وكيفية تفاعلها مع الأنسجة الحية داخل جسم الإنسان.
- ٣) معرفة استخدامات الإشعاع النووي في التشخيص الطبي مثل التصوير بالأشعة وتقنيات الطب النووي.
- ٤) التعرف على دور الإشعاع في علاج الأمراض، خصوصاً علاج الأورام السرطانية باستخدام العلاج الإشعاعي.
- ٥) بيان أهمية النظائر المشعة في تتبع العمليات الحيوية داخل الجسم وتحليل وظائف الأعضاء.

(٧-١) هيكلية البحث

- ❖ **الفصل الأول:** مقدمة عامة حول مبادئ الإشعاعات النووية، تم فيه التعريف بمفهوم الإشعاع النووي وأنواعه (ألفا، بيتا، غاما، والنيوتروني) وخصائصه ومصادره وأهميته.
- ❖ أما الفصل الثاني الإشعاعات النووية في المجال الطبي، من حيث استخداماتها في التشخيص والعلاج، مع توضيح دور النظائر المشعة والأجهزة الحديثة في الطب النووي.
- ❖ في حين احتوى الفصل الثالث على تطبيقات الإشعاعات النووية في المجال الطبي.

الفصل الثاني

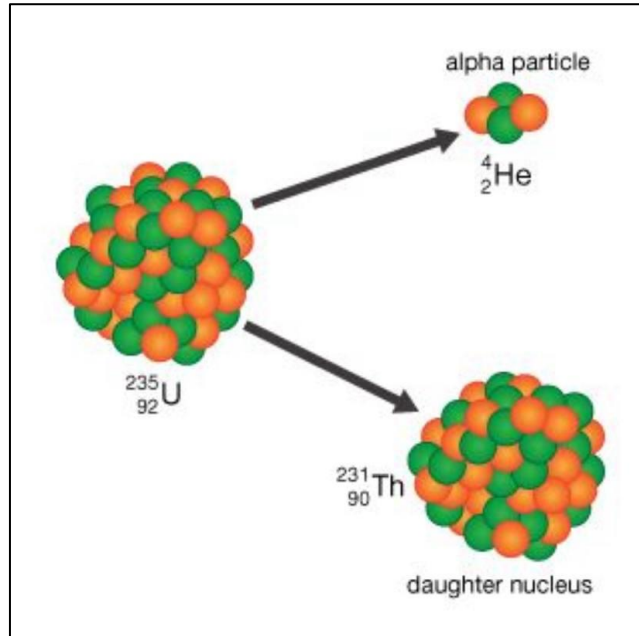
انواع الاشعاعات النووية

الفصل الثاني

انواع الاشعاعات النووية في المجال الطبي

(٢-١) إشعاع ألفا

إشعاع ألفا هو أحد أنماط التحلل الإشعاعي الذي يحدث في النوى الثقيلة غير المستقرة، خصوصاً العناصر ذات العدد الذري المرتفع. يحدث هذا التحلل عندما تفقد النواة جزءاً من كتلتها على شكل جسيم موجب الشحنة عالي الكتلة يُعرف بجسيم ألفا، وذلك بهدف الوصول إلى حالة أكثر استقراراً من ناحية طاقة الربط النووي. حيث يُصنّف إشعاع ألفا ضمن الإشعاعات الجسيمية المؤيَّنة ذات الكثافة التأينية العالية، ويتميّز بأن انبعاثه يؤدي إلى انخفاض العدد الكتلي بمقدار ٤ والعدد الذري بمقدار ٢ في النواة الأم. حيث من الناحية النووية، يُعد تحلل ألفا عملية تخضع لمبدأ النفق الكمومي، إذ يخترق الجسيم حاجز الجهد النووي نتيجة خصائص ميكانيك الكم، ما يفسر العلاقة بين طاقة الجسيم ونصف العمر للنظير المشع. [١٠]



شكل يوضح اشعة الفا

(٢-٢) تركيبه (نواة هيليوم)

يتكوّن جسيم ألفا من:

- بروتونين
- نيوترونين

أي أنه يمثل نواة ذرة الهيليوم-٤

يحمل شحنة موجبة مقدارها $(+2)$ وكتلة تقارب ٤ وحدات كتلة ذرية، ما يجعله أثقل بكثير من جسيمات بيتا. هذه الكتلة المرتفعة تمنحه زخماً عالياً، إلا أن سرعته تبقى أقل من سرعة الضوء بكثير مقارنة بالإشعاعات الكهرومغناطيسية مثل غاما أو الأشعة السينية. بسبب شحنته الثنائية الموجبة، يتفاعل جسيم ألفا بقوة مع إلكترونات الذرات في الوسط الذي يخترقه، مما يؤدي إلى فقدانه طاقته بسرعة كبيرة خلال مسافة قصيرة. [١١]

(٢-٣) قدرة اختراق ألفا

تُعد قدرة الاختراق لإشعاع ألفا ضعيفة جداً مقارنة ببقية أنواع الإشعاع النووي. في الهواء لا يتجاوز مداه بضعة سنتيمترات، وفي الأنسجة الحية لا يتعدى عشرات الميكرومترات، أي أنه لا يستطيع اختراق الطبقة الخارجية للجلد السليم.

ويرجع ذلك إلى:

1. كتلته الكبيرة نسبياً.

2. شحنته الموجبة المزدوجة.

3. كثافة التآين العالية التي تسبب فقداناً سريعاً للطاقة.

إلا أن خطورته البيولوجية تصبح مرتفعة جداً عند دخوله إلى الجسم عن طريق الاستنشاق أو الابتلاع، حيث يترسب في الأنسجة الداخلية ويحدث تآيناً كثيفاً يسبب تلفاً مباشراً في الحمض النووي، خصوصاً الكسور المزدوجة في شريطي DNA، والتي يصعب على الخلية إصلاحها. [١٢]

• استخداماته الطبية (نادراً بالعلاج الموضعي لبعض السرطانات)

رغم محدودية استخدامه تقليدياً بسبب قصر مداه، إلا أن إشعاع ألفا اكتسب أهمية حديثاً في العلاج الإشعاعي الموجّه. تعتمد الفكرة العلاجية على استغلال خصائصه الفيزيائية المميزة، وهي:

• مدى قصير جداً داخل الأنسجة.

• قدرة تأيينية عالية.

• فعالية بيولوجية نسبية مرتفعة.

(٢-٥) أنواعه (β^- و β^+)

١ - بيتا السالب (β^-)

يحدث عندما تتحول نواة غنية بالنيوترونات.

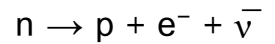
في هذه الحالة يتحول نيوترون داخل النواة إلى:

• بروتون

• إلكترون (جسيم بيتا السالب)

• ضديد نيوترينو

ويُكتب التفاعل نووياً بالشكل العام:



نتيجة هذا التحول:

• يزداد العدد الذري بمقدار ١

• يبقى العدد الكتلي ثابتاً

يمتاز بيتا السالب بقدرته على اختراق بضعة مليمترات في الأنسجة، ويحتاج عادةً إلى صفائح ألومنيوم لإيقافه.

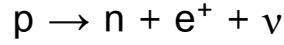
٢ - بيتا الموجب (β^+)

يحدث عندما تكون النواة غنية بالبروتونات. في هذه الحالة يتحول بروتون إلى:

• نيوترون

• بوزيترون (إلكترون موجب الشحنة)

• نيوترينو



عند انبعاث البوزيترون داخل الجسم، فإنه لا يستمر طويلاً، بل يصطدم بالإلكترون قريب، وتحدث عملية إفناء (Annihilation)، ينتج عنها فوتونا غاما بطاقة ٥١١ keV يسيران في اتجاهين متعاكسين. هذه الظاهرة هي الأساس الفيزيائي لتقنية التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET)، حيث يتم التقاط الفوتونين لتحديد موقع النشاط الحيوي داخل الجسم بدقة عالية. [١٥]

• استخدامه في الطب النووي

يُعد إشعاع بيتا من أكثر الإشعاعات استخداماً في الطب النووي بسبب توازنه بين القدرة على الاختراق والتأثير البيولوجي. من الناحية العلاجية، يُستخدم بيتا السالب لتدمير الأنسجة المرضية عبر إحداث تأين يؤدي إلى تلف الحمض النووي داخل الخلايا.

آلية التأثير تشمل:

• التأين المباشر للـ DNA

• إنتاج جذور حرة من جزيئات الماء

• تعطيل الانقسام الخلوي

أما في الجانب التشخيصي، فتُستخدم النظائر الباعثة لبيتا الموجب في تقنيات التصوير الوظيفي، حيث يتم تتبع توزيع المركبات المشعة داخل الجسم، مما يسمح بتقييم النشاط الأيضي للخلايا، خصوصاً في الأورام السرطانية. [١٦]

الميزة الأساسية لإشعاع بيتا في الطب النووي تكمن في:

• إمكانية التحكم بالجرعة

• انتقائية الامتصاص لبعض الأعضاء

• مدى اختراق متوسط يسمح باستهداف موضعي نسبياً

• مثال: علاج بعض أمراض الغدة الدرقية

يُعتبر استخدام اليود المشع (١١٣١٨) مثالاً تطبيقياً مهماً لإشعاع بيتا السالب في المجال الطبي.

الغدة الدرقية تمتلك قدرة فسيولوجية فريدة على امتصاص اليود من الدم لإنتاج هرموناتها، لذلك عند إعطاء اليود المشع فموياً، يتركز داخل خلايا الغدة بشكل انتقائي.

ينبعث من ١١٣١٨:

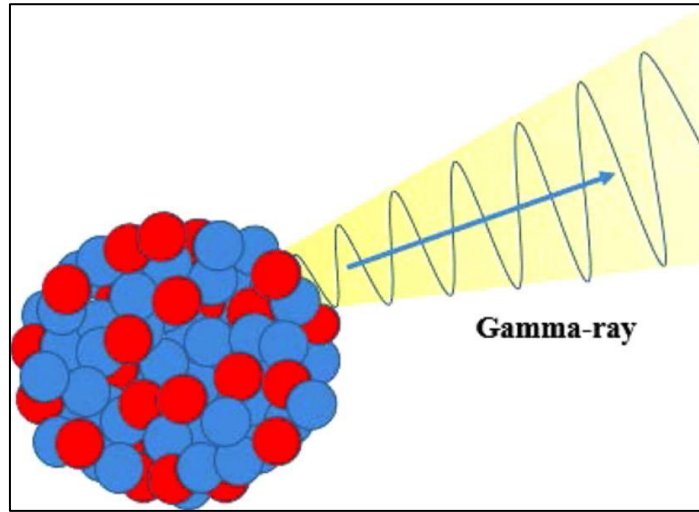
• إشعاع بيتا (للعلاج)

• وأشعة غاما (للمتابعة التشخيصية)

إشعاع بيتا المنبعث يؤدي إلى تدمير الخلايا المفرطة النشاط أو الخلايا السرطانية عبر إحداث تلف إشعاعي داخلي مباشر، مع تأثير محدود على الأنسجة المجاورة بسبب مدى الاختراق المتوسط الذي لا يتجاوز بضعة ملليمترات. [١٨]

(٦-٢) إشعاع غاما

أشعة غاما هي إشعاع كهرومغناطيسي عالي الطاقة يصدر من نواة الذرة عند انتقالها من حالة طاقة مثارة إلى حالة طاقة أقل استقراراً بعد حدوث أحد أنماط التحلل الإشعاعي مثل ألفا أو بيتا. بعكس إشعاعي ألفا وبيتا، لا تُعد غاما جسيماً مادياً، بل هي فوتونات عديمة الكتلة والشحنة تنتقل بسرعة الضوء. تتميز أشعة غاما بطول موجي قصير جداً وتردد عالٍ للغاية، مما يمنحها طاقة كبيرة قادرة على إحداث تأين في الذرات التي تتفاعل معها. وبما أنها لا تحمل شحنة كهربائية، فإنها لا تتأثر بالمجالات الكهربائية أو المغناطيسية، ما يسمح لها بعبور مسافات طويلة داخل الأنسجة قبل أن تتفاعل. [١٩]



شكل يوضح اشعة غاما

• قدرتها العالية على الاختراق

تمتلك أشعة غاما قدرة اختراق أعلى بكثير من إشعاعي ألفا وبيتا، ويرجع ذلك إلى:

١. عدم امتلاكها كتلة.

٢. عدم حملها شحنة كهربائية.

٣. طبيعتها الفوتونية.

عند مرورها عبر المادة الحيوية، تتفاعل غاما من خلال ثلاث آليات فيزيائية رئيسية:

• التأثير الكهروضوئي: حيث يمتص الإلكترون طاقة الفوتون بالكامل ويُقذف خارج الذرة.

• تشتت كومبتون: حيث يفقد الفوتون جزءاً من طاقته وينحرف عن مساره.

• تكوين الأزواج: عند الطاقات العالية جداً، يتحول الفوتون إلى زوج إلكترون-بوزيترون.

هذه التفاعلات تؤدي إلى إنتاج إلكترونات ثانوية عالية الطاقة، وهي المسؤولة فعلياً عن التأثير البيولوجي، إذ تُحدث تآيناً غير مباشر داخل الخلايا.

بسبب قدرتها العالية على الاختراق، تحتاج أشعة غاما إلى مواد كثيفة مثل الرصاص أو الخرسانة السمكية لتقليل شدتها. [٢٠]

• استخدامها في العلاج الإشعاعي

تُستخدم أشعة غاما على نطاق واسع في العلاج الإشعاعي الخارجي للأورام السرطانية.

يعتمد المبدأ العلاجي على توجيه حزم إشعاعية عالية الطاقة بدقة نحو الورم بهدف إحداث تلف جيني في الخلايا السرطانية يمنعها من الانقسام والتكاثر.

الآلية البيولوجية للتأثير تشمل:

- تأين مباشر للحمض النووي.
- تكوين جذور حرة من جزيئات الماء.
- إحداث كسور أحادية ومزدوجة في شريطي DNA.
- تعطيل آليات إصلاح الخلية.

تمتاز أشعة غاما بقدرتها على الوصول إلى الأورام العميقة داخل الجسم، مما يجعلها مناسبة لعلاج:

• أورام الدماغ

• أورام الحوض

• الأورام الصدرية

• النقائل العميقة

ويعتمد نجاح العلاج على حساب الجرعة الممتصة بدقة، وتوزيعها مكانياً لضمان أعلى تأثير علاجي مع أقل ضرر للأنسجة السليمة. [٢١]

• استخدامها في أجهزة الطب النووي

في مجال الطب النووي التشخيصي، تُستخدم أشعة غاما المنبعثة من نظائر مشعة يتم إدخالها إلى الجسم بجرعات صغيرة. تقوم الأنسجة أو الأعضاء المستهدفة بامتصاص النظير، ثم تنبعث فوتونات غاما يتم التقاطها بواسطة كاميرات خاصة تُعرف بكاميرات غاما.

تعتمد الفكرة على:

- تسجيل عدد الفوتونات المنبعثة.

• تحديد موقعها بدقة.

• تكوين صورة وظيفية تعكس النشاط الحيوي للعضو.

هذا النوع من التصوير لا يُظهر البنية التشريحية فقط، بل يوفر معلومات عن الوظيفة الأيضية أو الفسيولوجية، وهو ما يميّزه عن التصوير التقليدي بالأشعة السينية. [٢٢]

ثانياً: الإشعاع المميز (Characteristic Radiation)

يحدث عندما تصطدم الإلكترونات السريعة بالإلكترونات المدارات الداخلية لذرات الهدف، فتُخرجها من مواقعها، وعند انتقال إلكترونات من مستويات أعلى لملء الفراغ، تنبعث فوتونات سينية بطاقة محددة تعتمد على طبيعة العنصر المستخدم.

بهذا فإن طاقة الأشعة السينية يمكن التحكم بها عبر:

• تغيير فرق الجهد (kVp)

• تغيير شدة التيار (mA)

• اختيار نوع المادة الهدف

• استخدامها في التشخيص (التصوير الشعاعي)

تعتمد الأشعة السينية في التشخيص على اختلاف معامل الامتصاص بين الأنسجة المختلفة.

فعند مرور الحزمة الإشعاعية عبر الجسم:

• تمتص العظام كمية أكبر بسبب كثافتها واحتوائها على الكالسيوم.

• تمتص الأنسجة الرخوة كمية أقل.

• يمر جزء من الإشعاع إلى الكاشف أو الفيلم الشعاعي.

ينتج عن ذلك صورة ذات تباين يعتمد على الفروق في الكثافة والتركيب الذري للأنسجة.

تُستخدم الأشعة السينية في:

• تصوير العظام والكسور.

• تصوير الصدر لتقييم الرئتين والقلب.

• تصوير الأسنان.

• الكشف عن الالتهابات أو الأورام.

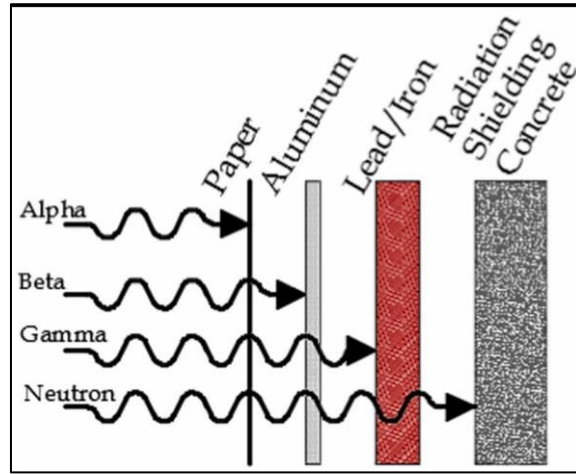
• التصوير المقطعي المحوسب (CT) الذي يعتمد على تدوير حزمة الأشعة حول الجسم لإنتاج مقاطع عرضية دقيقة.

من الناحية البيولوجية، تُعد الأشعة السينية إشعاعاً مؤيناً منخفض الـ LET مقارنة بألفا، إذ إن تأثيرها غالباً غير مباشر عبر إنتاج جذور حرة من جزيئات الماء، ما يؤدي إلى تلف DNA.

أي تقليل الجرعة إلى أدنى حد ممكن مع الحفاظ على جودة الصورة التشخيصية. [٢٣]

(٧-٢) الإشعاع النيوتروني

الإشعاع النيوتروني هو إشعاع جسيمي يتكوّن من نيوترونات حرة غير مشحونة كهربائياً، تتبع عادةً من التفاعلات النووية داخل المفاعلات أو المسرّعات أو بعض مصادر الانشطار. بعكس جسيمات ألفا وبيتا، لا يحمل النيوترون شحنة كهربائية، مما يمنحه سلوكاً فيزيائياً مختلفاً جذرياً أثناء مروره خلال المادة. كونه غير مشحون يعني أنه لا يتفاعل عبر قوى كولومبية مع إلكترونات الذرات، بل يخترق المادة بعمق نسبي قبل أن يصطدم مباشرةً بنواة الذرة. هذه الخاصية تمنحه قدرة اختراق عالية وتأثيراً بيولوجياً مميزاً. من حيث الكتلة، يمتلك النيوترون كتلة قريبة جداً من كتلة البروتون، أي أنه جسيم ثقيل نسبياً مقارنةً بالإلكترون. [٢٤]



شكل يوضح الاشعة النيوتروني

• استخدامه في العلاج النيوتروني لبعض الأورام

يُستخدم الإشعاع النيوتروني في بعض التطبيقات العلاجية المتخصصة، خصوصاً في الأورام المقاومة للعلاج التقليدي بأشعة X أو غاما.

آلية التفاعل داخل الأنسجة

عند دخول النيوترونات إلى الجسم، تتفاعل مع نوى الذرات عبر:

١- التشتت المرن (Elastic Scattering)

خاصة مع نوى الهيدروجين الموجودة بكثرة في الماء داخل الخلايا، مما يؤدي إلى إنتاج بروتونات مرتدة ذات طاقة عالية تُحدث تأيئاً كثيفاً.

٢- الالتقاط النووي (Neutron Capture)

حيث تلتقط النواة النيوترون وتدخل في حالة مثارة، ثم تتحلل مطلقة جسيمات عالية الطاقة.

هذه التفاعلات تؤدي إلى إحداث تلف خلوي كثيف، ويُعد الإشعاع النيوتروني ذا فعالية بيولوجية نسبية (RBE) أعلى من الأشعة السينية وغاما. [٢٥]

العلاج النيوتروني السريع

يُستخدم في بعض المراكز المتخصصة لعلاج:

• أورام الغدد اللعابية

• بعض أورام الرأس والرقبة

• أورام مقاومة للإشعاع منخفض الـ LET

الميزة الأساسية تكمن في:

• كثافة التأين العالية

• فعالية أكبر في قتل الخلايا ذات القدرة المنخفضة على الانقسام

لكن استخدامه محدود بسبب:

• الحاجة إلى تجهيزات معقدة

• ارتفاع التأثير على الأنسجة السليمة

• متطلبات حماية إشعاعية صارمة

علاج النقاط البورون بالنيوترونات (BNCT)

يُعد من التطبيقات المتقدمة.

تعتمد الفكرة على إدخال مركب يحتوي على عنصر البورون-10 إلى الجسم، حيث يتراكم داخل الخلايا السرطانية. عند تعريض المنطقة لحزمة نيوترونات حرارية، يحدث التفاعل التالي داخل الخلية نفسها:



ينتج جسيم ألفا داخل الخلية السرطانية مباشرة، مما يؤدي إلى تدميرها بدقة ميكروسكوبية مع تقليل التأثير على الخلايا المجاورة. هذا الأسلوب يُعتبر مثلاً على العلاج الانتقائي عالي الدقة المعتمد على الخصائص النووية. [٢٦]

الفصل الثالث

الاستخدامات الطبية للإشعاع النووي

الفصل الثالث

الاستخدامات الطبية للإشعاع النووي

(٣-١) مقدمة

شهد المجال الطبي خلال العقود الأخيرة تطوراً كبيراً بفضل التقدم في استخدام التقنيات الإشعاعية والنووية، حيث أصبحت الأشعة النووية من الأدوات الأساسية التي يعتمد عليها الأطباء والعلماء في تشخيص الأمراض وعلاجها ودراسة العمليات الحيوية داخل جسم الإنسان. وتعتمد هذه التقنيات على استخدام الإشعاعات المؤينة أو النظائر المشعة التي تمتلك القدرة على التفاعل مع المادة الحية، مما يسمح بتتبع حركة المواد داخل الجسم وإنتاج صور دقيقة للأعضاء والأنسجة الداخلية. ويُعد الطب النووي أحد الفروع المهمة في الطب الحديث، حيث يجمع بين الفيزياء النووية والكيمياء والطب الحيوي لتطوير وسائل تشخيصية وعلاجية متقدمة تعتمد على الإشعاع. وتتميز هذه التقنيات بقدرتها على توفير معلومات وظيفية وفسولوجية عن الأعضاء الداخلية، وليس فقط معلومات تشريحية كما هو الحال في بعض وسائل التصوير الأخرى. ولهذا السبب أصبحت الأشعة النووية أداة مهمة في الكشف المبكر عن العديد من الأمراض مثل السرطان وأمراض القلب والغدة الدرقية والاضطرابات العصبية. [٢٧] كما ساهم التطور في الأجهزة الطبية المرتبطة بالأشعة النووية، مثل أجهزة التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني وأجهزة التصوير المقطعي بالإصدار الأحادي للفوتونات، في تحسين دقة التشخيص وتقليل كمية الإشعاع المستخدمة، مما جعل هذه التقنيات أكثر أماناً وفعالية في الاستخدام الطبي. وبالإضافة إلى التشخيص، تُستخدم الأشعة النووية أيضاً في علاج بعض الأمراض، خصوصاً الأورام السرطانية، حيث يتم توجيه جرعات إشعاعية محسوبة بدقة إلى الخلايا المصابة بهدف تدميرها أو الحد من نموها. [٢٨]

(٣-٢) استخدام الأشعة النووية في التشخيص الطبي

تُعد التطبيقات التشخيصية للأشعة النووية من أكثر الاستخدامات انتشاراً في المجال الطبي، حيث تتيح هذه التقنيات للأطباء إمكانية دراسة وظائف الأعضاء الداخلية في جسم الإنسان بدقة عالية. ويعتمد هذا النوع من التشخيص على استخدام كميات صغيرة جداً من المواد المشعة تُعرف باسم المستحضرات الصيدلانية المشعة، والتي يتم إدخالها إلى جسم المريض عن طريق الحقن أو الاستنشاق أو البلع، ثم يتم تتبع مسارها داخل الجسم باستخدام أجهزة كشف إشعاعية متطورة. تتميز هذه المواد المشعة بقدرتها على الارتباط بأنسجة أو أعضاء معينة داخل الجسم، مما يسمح بتحديد مكانها بدقة وتصوير توزيعها باستخدام كاميرات خاصة مثل كاميرا غاما.

وتقوم هذه الكاميرات بالنقاط الإشعاعات المنبعثة من المادة المشعة وتحويلها إلى صور طبية يمكن للأطباء تحليلها لتقييم حالة العضو أو النسيج قيد الدراسة. [٢٩]



شكل يوضح استخدام الأشعة في التشخيص الطبي

ومن أهم مزايا التشخيص باستخدام الأشعة النووية أنه يوفر معلومات عن الوظائف الحيوية للأعضاء وليس فقط شكلها الخارجي، فعلى سبيل المثال يمكن من خلال هذه التقنية تقييم كفاءة عمل القلب، ومراقبة تدفق الدم في الأوعية الدموية، ودراسة وظائف الكلى والكبد، بالإضافة إلى تقييم نشاط الغدة الدرقية. كما تساعد هذه التقنيات في الكشف المبكر عن الأورام السرطانية من خلال تحديد المناطق التي يظهر فيها نشاط خلوي غير طبيعي. ومن التقنيات المهمة في هذا المجال التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET)، والذي يُستخدم لدراسة النشاط الأيضي للخلايا داخل الجسم. ويعتمد هذا النوع من التصوير على استخدام مواد مشعة تصدر بوزيترونات، حيث يتم الكشف عنها بواسطة أجهزة خاصة قادرة على إنتاج صور ثلاثية الأبعاد توضح توزيع النشاط الأيضي في الأنسجة المختلفة. ويُستخدم هذا النوع من التصوير بشكل واسع في تشخيص السرطان وتحديد مراحله ومتابعة استجابة المرضى للعلاج. [٣٠] كما يُستخدم التصوير المقطعي بالإصدار الأحادي للفوتونات (SPECT) في دراسة وظائف الأعضاء المختلفة مثل القلب والدماغ، حيث يسمح بتصوير تدفق الدم إلى هذه الأعضاء وتحديد المناطق التي تعاني من ضعف في التروية الدموية [٣١]

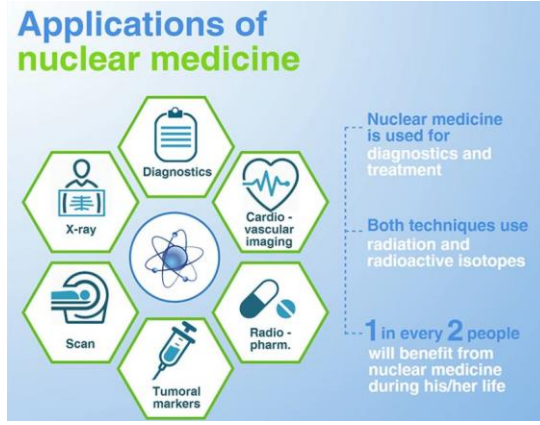
(٣-٣) استخدام الأشعة النووية في علاج الأمراض

إلى جانب دورها الكبير في التشخيص، تلعب الأشعة النووية دوراً مهماً في علاج العديد من الأمراض، وخاصة في علاج الأورام السرطانية. ويعتمد العلاج الإشعاعي على استخدام جرعات محددة من الإشعاع يتم توجيهها بدقة إلى الخلايا السرطانية بهدف تدميرها أو إيقاف انقسامها ومنع انتشارها إلى أجزاء أخرى من الجسم.

ويستند هذا النوع من العلاج إلى حقيقة أن الخلايا السرطانية تكون أكثر حساسية للإشعاع مقارنة بالخلايا الطبيعية، مما يسمح بتدميرها بجرعات إشعاعية مناسبة مع تقليل الأضرار التي قد تصيب الأنسجة السليمة المحيطة بالورم. ويتم تحديد الجرعة الإشعاعية بدقة كبيرة اعتماداً على نوع الورم وموقعه وحجم المنطقة المراد علاجها. [٣٢] ومن أشهر التطبيقات العلاجية للأشعة النووية استخدام اليود المشع في علاج أمراض الغدة الدرقية، حيث يتم إعطاء المريض جرعة من اليود المشع الذي يتم امتصاصه بشكل طبيعي من قبل خلايا الغدة الدرقية. وعندما يدخل هذا اليود إلى الخلايا المصابة فإنه يقوم بإطلاق إشعاعات تعمل على تدمير هذه الخلايا أو تقليل نشاطها، مما يساعد في علاج بعض الأمراض مثل فرط نشاط الغدة الدرقية وبعض أنواع سرطان الغدة الدرقية. كما تُستخدم الأشعة النووية في ما يُعرف بالعلاج الإشعاعي الموضعي أو الداخلي، حيث يتم إدخال مصادر إشعاعية صغيرة داخل الجسم بالقرب من الورم. وتُعرف هذه التقنية باسم المعالجة الكثبية (Brachytherapy)، وهي تُستخدم في علاج بعض أنواع السرطان مثل سرطان البروستات وعنق الرحم والثدي. [٣٣]

(٣-٤) استخدام الأشعة النووية في تعقيم الأدوات والمستلزمات الطبية

من التطبيقات المهمة للأشعة النووية في المجال الطبي استخدامها في تعقيم الأدوات والمستلزمات الطبية. وتُستخدم في هذه العملية عادةً أشعة غاما الناتجة عن بعض النظائر المشعة مثل الكوبالت-٦٠، حيث تمتلك هذه الأشعة قدرة عالية على اختراق المواد والقضاء على الكائنات الدقيقة. تعمل أشعة غاما على تدمير الحمض النووي للكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا والفيروسات والفطريات، مما يؤدي إلى القضاء عليها ومنع تكاثرها. وتُعد هذه الطريقة من أكثر طرق التعقيم كفاءةً لأنها لا تحتاج إلى درجات حرارة مرتفعة أو مواد كيميائية قد تؤثر على جودة المواد الطبية. [٣٤] وتُستخدم هذه التقنية في تعقيم العديد من المنتجات الطبية مثل الحقن البلاستيكية، القفازات الطبية، الأدوات الجراحية، الضمادات الطبية، وبعض المعدات المستخدمة في العمليات الجراحية. كما تُعد هذه الطريقة آمنة وفعالة وتستخدم على نطاق واسع في الصناعات الطبية لضمان توفير أدوات معقمة بشكل كامل قبل استخدامها في المستشفيات والمراكز الصحية. [٣٥]



شكل يوضح استخدام الاشعة في الادوات الطبية

(٣-٥) استخدام الأشعة النووية في الأبحاث الطبية والبيولوجية

تلعب الأشعة النووية دوراً مهماً في الأبحاث العلمية والطبية، حيث تُستخدم النظائر المشعة كأدوات لتتبع حركة العناصر والمواد داخل الكائنات الحية. وتُعرف هذه الطريقة باسم تقنية التتبع الإشعاعي، حيث يتم إدخال مادة مشعة بكميات صغيرة إلى النظام الحيوي ومن ثم تتبع مسارها باستخدام أجهزة قياس الإشعاع. تساعد هذه التقنية العلماء في دراسة العديد من العمليات الحيوية مثل عمليات الأيض وانتقال العناصر الغذائية داخل الجسم، بالإضافة إلى فهم كيفية امتصاص الأدوية وانتشارها في الأنسجة المختلفة. كما تُستخدم في دراسة وظائف الخلايا والأنسجة وفهم التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تحدث داخل الكائنات الحية. [٣٦] وقد أسهم استخدام النظائر المشعة في تطوير العديد من الأدوية الحديثة، حيث تساعد هذه التقنية الباحثين في تقييم فعالية الأدوية الجديدة ودراسة تأثيرها على الجسم قبل استخدامها في العلاج الطبي. كما تُستخدم الأشعة النووية في دراسة الأمراض المزمنة مثل السرطان وأمراض القلب والاضطرابات العصبية، مما يساهم في تطوير طرق جديدة للتشخيص والعلاج. [٣٧] حيث يتضح مما سبق أن الأشعة النووية تمثل إحدى الركائز الأساسية في الطب الحديث، حيث ساهمت بشكل كبير في تطوير وسائل التشخيص والعلاج وتحسين مستوى الرعاية الصحية. فقد أتاحت هذه التقنيات إمكانية دراسة وظائف الأعضاء الداخلية بدقة عالية، والكشف المبكر عن العديد من الأمراض، بالإضافة إلى استخدامها في علاج بعض الحالات المرضية التي يصعب علاجها بالطرق التقليدية. ومع استمرار التقدم العلمي والتكنولوجي في مجالات الفيزياء النووية والهندسة الطبية، من المتوقع أن تتوسع تطبيقات الأشعة النووية في المستقبل لتشمل مجالات طبية جديدة، مما سيؤدي إلى تحسين دقة التشخيص وفعالية العلاج وتقليل الآثار الجانبية المرتبطة باستخدام الإشعاع. وبالتالي ستظل هذه التقنيات تلعب دوراً محورياً في تطوير الطب الحديث وتحسين جودة حياة المرضى في مختلف أنحاء العالم. [٣٨]

المصادر

المصادر العربية

- ١) أحمد فؤاد باشا. الفيزياء النووية. دار الفكر العربي، القاهرة، ٢٠١٦.
- ٢) محمد عبد الهادي. الإشعاع النووي وتطبيقاته. دار المسيرة، عمان، ٢٠١٨.
- ٣) حسين علي محمد. الطاقة النووية والإشعاع. دار الكتب العلمية، بيروت، ٢٠١٧.
- ٤) عبد الكريم جاسم. مبادئ الفيزياء الحديثة. جامعة بغداد، ٢٠١٥.
- ٥) علي حسن الجبوري. الفيزياء الطبية وتطبيقات الإشعاع. دار المناهج، عمان، ٢٠٢٠.
- ٦) قاسم محمد حسين. الإشعاع المؤين وتأثيراته البيولوجية. دار صفاء، عمان، ٢٠١٨.
- ٧) ليث محمود الجبوري. الطاقة والإشعاع في التطبيقات الطبية. دار الحامد، ٢٠١٩.
- ٨) سعد الدين إبراهيم. الفيزياء الإشعاعية. دار الكتب الجامعية، ٢٠١٣.
- ٩) مصطفى عبد الكريم. الوقاية من الإشعاع النووي. دار المسيرة، ٢٠٢٢.

المصادر الأجنبية

10. Abdulhadi, M. (2018). Nuclear radiation and its applications. Dar Al-Masira.
11. Ali, H. (2017). Nuclear energy and radiation. Dar Al-Kutub Al-Ilmiyya.
12. Attix, F. H. (2004). Introduction to radiological physics. Wiley.
13. Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). The essential physics of medical imaging (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
14. Bushong, S. C. (2013). Radiologic science for technologists: Physics, biology, and protection (10th ed.). Elsevier
15. Carlton, R. R., & Adler, A. M. (2012). Principles of radiographic imaging: An art and a science (5th ed.). Cengage Learning.
16. Cherry, S. R., & Sorenson, J. A. (2012). Nuclear medicine imaging. Elsevier.
17. Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2014). Physics in nuclear medicine (4th ed.). Elsevier
18. European Commission. (2014). Radiation protection guidelines.
19. Hall, E. J., & Giaccia, A. J. (2018). Radiobiology for the radiologist (8th ed.). Wolters Kluwer.
20. Hendee, W. R., & Ritenour, E. R. (2002). Medical imaging physics (4th ed.). Wiley- Liss.
21. IAEA. (2006). Nuclear medicine resources manual.

- 22.** IAAE. (2018). Safety standards series.
- 23.** IAAE. (2020). Radiation protection and safety
- 24.** ICRP. (2007). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Publication 103).
- 25.** Jasim, A. K. (2015). Principles of modern physics. University of Baghdad.
- 26.** Krane, K. S. (1987). Introductory nuclear physics. Wiley.
- 27.** Lamarsh, J. R. (2013). Introduction to nuclear engineering (3rd ed.). Pearson.
- 28.** Mahmoud, H. (2019). Radiation and protection from it. Dar Al-Yazouri.
- 29.** NCRP. (2009). Ionizing radiation exposure of the population (Report No. 160).
- 30.** Pasha, A. F. (2016). Nuclear physics. Dar Al- Fikr Al-Arabi.
- 31.** Seibert, J. A. (2006). Flat-panel detectors
- 32.** Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (1987). Physics in nuclear medicine. Saunders.
- 33.** Sprawls, P. (1995). Physical principles of medical imaging. Aspen Publishers.
- 34.** Ter-Pogossian, M. M. (2006). Basics of PET imaging.
- 35.** UNSCEAR. (2018). Report on radiation effects.
- 36.** Wagner, H. N. (1995). Principles of nuclear medicine.
- 37.** Webb, S. (2003). Introduction to biomedical imaging.
- 38.** WHO. (2016). Medical radiation exposure.