جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية التربية للعلوم الصرفة/ قسم الفيزياء

تطبيقات الفيزياء النووية في المجال الطبي

بحث مقدم من قبل الطالب (منتظر سعيد معز موسى) كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في كلية التربية للعلوم الصرفة

بإشراف:

م. د. إسراء سالم عبيس

١٤٤٧هـ **٢٠٢٦م**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

(يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۚ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ)

— سورة المجادلة، الآية ١١

صدق الله العظيم

الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

إلى من كان دعاؤهم سرَّ توفيقي،

إلى من غرَسوا في نفسي قيمة الاجتهاد والصبر،

إلى والديَّ الكريمين، حفظهما الله وأطال في عمرهما،

أهدي هذا الجهد المتواضع ثمرةً لما بذلاه من عطاءٍ وتضحية.

وإلى عائلتي الكريمة، التي كانت السند والدعم في مسيرتي،

وإلى كل من آمن بقدرتي على النجاح،

أهديكم هذا العمل، تقديرًا وامتنانًا وعرفانًا بالفضل.

الشكر والتقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتمّ الصالحات، والذي وفقني لإتمام هذا العمل بعد جهدٍ ومثابرة.

أتقدم بخالص الامتنان والتقدير إلى كل من ساندني ودعمني خلال مسيرتي العلمية، سواء بكلمة مشجعة، أو نصيحة صادقة، أو مساعدة صادقة كان لها الأثر في تجاوز الصعوبات وإتمام هذا البحث.

كما أعبر عن تقديري لكل من أتاح لي فرصة الاطلاع والاستفادة من المصادر والمراجع التي أسهمت في إغناء هذا العمل وتعزيز محتواه العلمي.

راجياً من الله تعالى أن يجعل هذا الجهد خالصًا لوجهه الكريم، وأن ينفع به، وأن يكون خطوة متقدمة في طريق العلم والعمل.

المحتويات

العنوان	الصفحة
الآية القرآنية	*ii*
الإهداء	*iii*
الشكر والتقدير	**Iv**
المحتويات	*v*
فهرست الأشكال	*vi*
خلاصة البحث	**vii**
الفصل الاول الإطار النظري للفيزياء النووية والإشعاع النووي	**5_ *viii***
الفصل الثاني تأثير الإشعاع النووي على المادة الحية وطرق الوقاية والعلاج	**12 _ 6**
الفصل الثالث تطبيقات الفيزياء النووية في المجال الطبي	**30 _ 13**
الاستنتاجات	**31**
المصادر والمراجع	**33_32**

فهرست الأشكال

الشكل	الصفحة
شكل (١)	*2*
شكل (٢)	*5*
شكل (٣)	*17*
شكل (٤)	*19*
شكل (٥)	*20*
شكل (٦)	*21*
شكل (٧)	*23*
شكل (٨)	*24*

خلاصة البحث

تناول هذا البحث دراسة شاملة لمفهوم الفيزياء النووية وتطورها التاريخي منذ اكتشاف النشاط الإشعاعي على يد هنري بيكريل، مرورًا بإسهامات ماري كوري، وصولًا إلى التطورات الحديثة التي أسهمت في توظيف الإشعاع في مجالات متعددة، وعلى رأسها المجال الطبي. وقد تم في الفصل الأول عرض الخلفية التاريخية للفيزياء النووية وأنواع الإشعاع (ألفا، بيتا، جاما) وخصائص كل نوع.

أما الفصل الثاني فقد ركّز على تأثير الإشعاع على الجسم الحي، موضحًا آلية تفاعل الإشعاع المؤين مع الخلايا والأنسجة، والتأثيرات البيولوجية الناتجة عنه سواء كانت حادة أو مزمنة، مع بيان أهمية الجرعة الإشعاعية وحدود الأمان ووسائل الوقاية.

وفي الفصل الثالث، تم استعراض أهم تطبيقات الفيزياء النووية في المجال الطبي، حيث أصبحت التقنيات النووية عنصرًا أساسيًا في التشخيص والعلاج. ففي مجال التشخيص، تُستخدم تقنيات مثل التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (*PET*) والتصوير المقطعي المحوسب (*CT*) للكشف المبكر عن الأورام والأمراض الداخلية بدقة عالية. أما في مجال العلاج، فقد برز العلاج الإشعاعي كأحد أهم الوسائل الفعالة في علاج الأورام السرطانية، من خلال توجيه جرعات محسوبة بدقة لتدمير الخلايا السرطانية مع تقليل الضرر على الأنسجة السليمة.

وقد بيّن البحث أن الفيزياء النووية تمثل أحد أعمدة التطور الطبي الحديث، إذ ساهمت في تحسين نسب التشخيص المبكر، ورفع كفاءة العلاج، وزيادة فرص الشفاء. كما أكد البحث على أهمية الاستخدام المسؤول والآمن للتقنيات النووية، والالتزام بمعايير الحماية الإشعاعية لضمان سلامة المرضى والعاملين في المجال الطبي.

وبناءً على ما سبق، يمكن القول إن تطبيقات الفيزياء النووية في الطب تمثل نموذجًا واضحًا لتحويل المعرفة العلمية النظرية إلى أدوات عملية تسهم في خدمة الإنسان وتحسين جودة الحياة، مما يجعل هذا المجال من أكثر مجالات الفيزياء تأثيرًا في العصر الحديث.

الفصل الاول

الإطار النظري للفيزياء النووية والإشعاع النوو

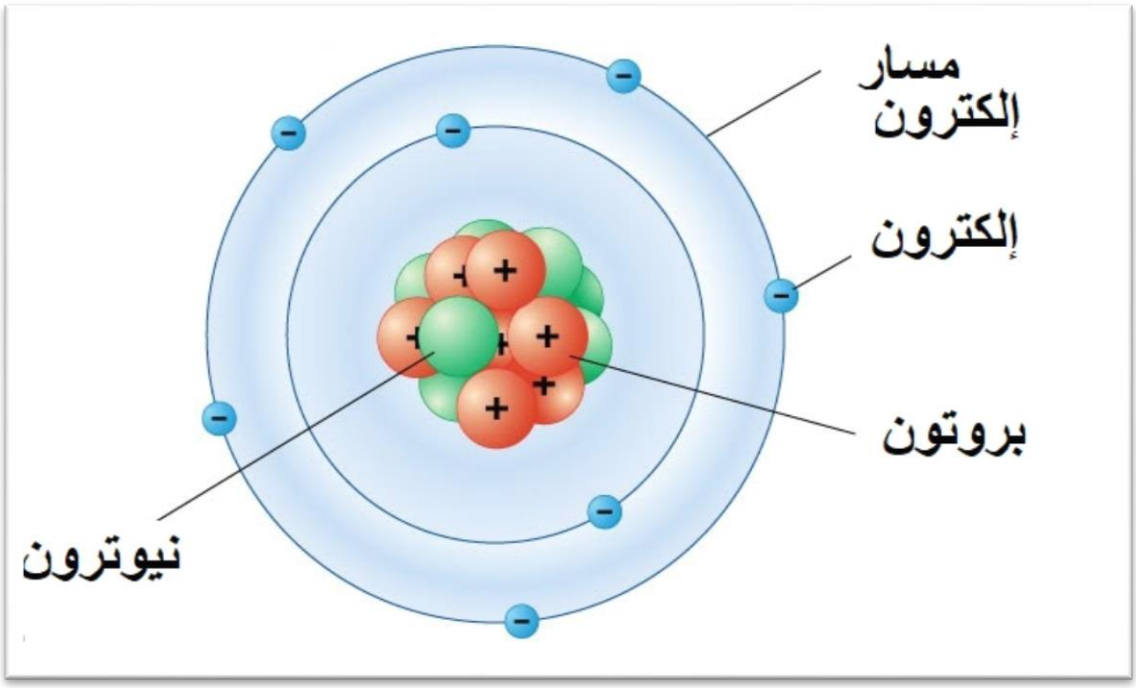
١-١ المقدمة :

تُعدّ الفيزياء النووية أحد الفروع الأساسية في الفيزياء الحديثة، إذ تختص بدراسة النواة الذرية من حيث تركيبها الداخلي، وطبيعة مكوناتها، والقوى المؤثرة فيها، إضافةً إلى سلوكها أثناء التفاعلات والتحولات النووية المختلفة. تتكون النواة من بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة الشحنة، وترتبط هذه الجسيمات معًا بواسطة قوى نووية قوية تفوق في شدتها قوى التنافر الكهربائي بين البروتونات، مما يضمن تماسك النواة واستقرارها.(٢)

تلعب القوى النووية دورًا محوريًا في تحديد استقرار النوى، إذ تتحكم في ظواهر نووية أساسية مثل التحلل الإشعاعي، والانشطار النووي، والاندماج النووي. ويعتمد استقرار النواة على التوازن بين عدد البروتونات والنيوترونات، إضافةً إلى طاقة الربط النووي، التي تُعد مؤشرًا على قوة الترابط بين مكونات النواة.

شهدت الفيزياء النووية تطورًا كبيرًا منذ أواخر القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين، عقب اكتشاف النشاط الإشعاعي الطبيعي، ثم الدراسات المتقدمة التي تناولت خصائص العناصر المشعة وسلوكها. وقد أظهرت هذه الاكتشافات أن بعض النوى غير مستقرة بطبيعتها، وتميل إلى التحول تلقائيًا إلى نوى أكثر استقرارًا عبر انبعاث طاقة أو جسيمات نووية. وأسهم ذلك في تطوير نماذج ونظريات نووية متعددة، مثل نموذج القطرة السائلة ونموذج القشرة النووية، التي ساعدت في تفسير خصائص النوى وسلوكها.

وتبرز أهمية الفيزياء النووية في المجال الطبي، حيث تُستخدم مبادئها في التشخيص والعلاج الإشعاعي. فقد أسهمت في تطوير تقنيات تصوير وتشخيص دقيقة، فضلًا عن دورها الأساسي في علاج الأورام باستخدام الإشعاع. كما تتيح المعرفة الدقيقة بخصائص الإشعاع النووي إمكانية حساب الجرعات الإشعاعية بدقة عالية، بما يضمن حماية الأنسجة السليمة وتقليل الآثار الجانبية، مما يجعل الفيزياء النووية ركيزة أساسية في الطب الحديث



الشكل (١): التركيب الأساسي للذرة، إذ تتكون من نواة مركزية تحتوي على بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة الشحنة، وتدور حولها إلكترونات سالبة الشحنة في مدارات أو مستويات طاقة مختلفة.

٢-١الإشعاع النووي وأنواعه

١-٢-١ تعريف الإشعاع النووي

الإشعاع النووي هو انبعاث طاقة أو جسيمات من نواة غير مستقرة نتيجة سعيها للوصول إلى حالة أكثر استقرارًا من الناحية الطاقية. وينشأ هذا الإشعاع بسبب اختلال التوازن داخل النواة، سواء من حيث نسبة البروتونات إلى النيوترونات أو نتيجة وجود فائض من الطاقة النووية. وقد يظهر الإشعاع النووي على هيئة جسيمات مشحونة، أو جسيمات غير مشحونة، أو إشعاع كهرومغناطيسي عالي الطاقة.(٣)

تتميز الإشعاعات النووية بقدرتها على التفاعل مع المادة المحيطة، حيث تؤدي إلى تأين الذرات والجزيئات من خلال نزع الإلكترونات من مداراتها. ويختلف التأثير الفيزيائي والبيولوجي للإشعاع تبعًا لنوعه وطاقته وكتلته وشحنته الكهربائية، لذلك تُعد دراسة خصائص الإشعاع النووي أمرًا ضروريًا لفهم مخاطره المحتملة وفوائده التطبيقية في المجالات الطبية والصناعية والبحثية.

٢-٢-١ أنواع الإشعاع النووي

اولا: إشعاع ألفا

يتكون إشعاع ألفا من جسيمات ثقيلة نسبيًا تُعرف بجسيمات ألفا، وهي نوى ذرات الهيليوم المكوّنة من بروتونين ونيوترونين. ينبعث هذا النوع من الإشعاع عادةً من النوى الثقيلة غير المستقرة أثناء عملية التحلل الإشعاعي. وتمتاز جسيمات ألفا بقدرتها الضعيفة على اختراق المواد، إذ يمكن إيقافها بواسطة ورقة عادية أو الطبقة الخارجية من الجلد. إلا أن خطورتها البيولوجية تكون عالية جدًا في حال دخولها الجسم عن طريق الاستنشاق أو الابتلاع، حيث تُسبب تأينًا كثيفًا داخل الأنسجة، مما يؤدي إلى تلف خلوي شديد.

ثانيا: إشعاع بيتا

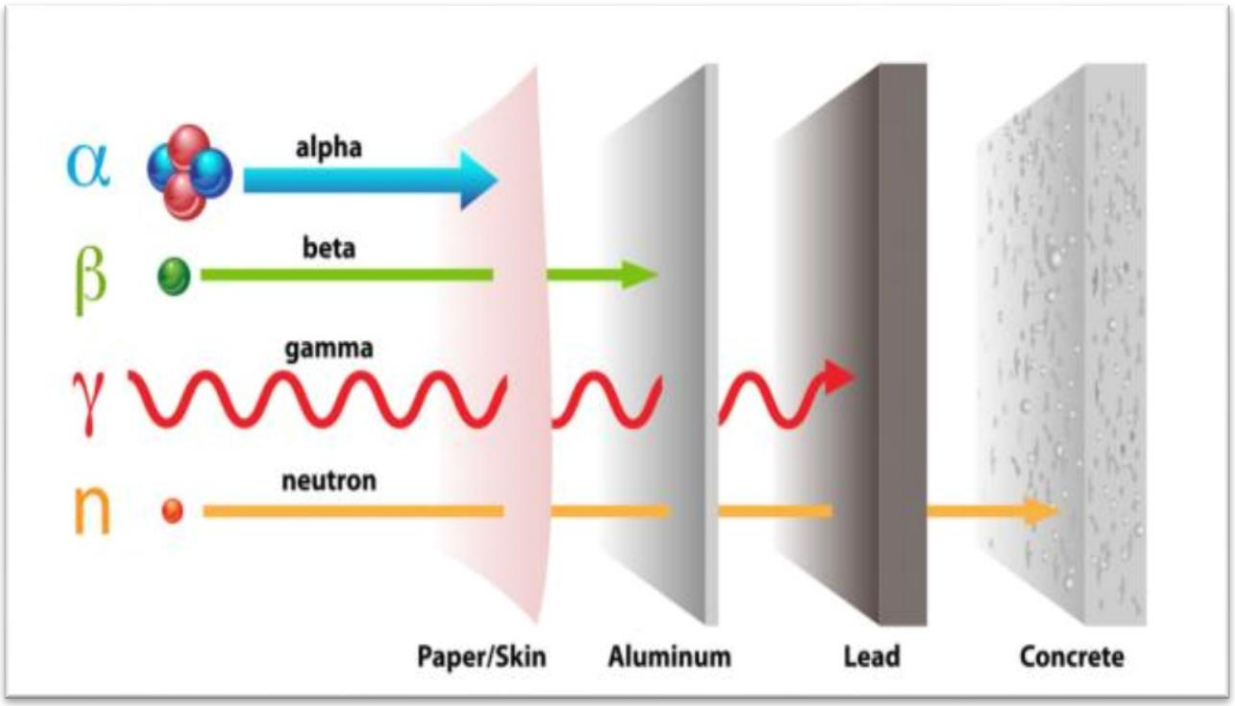
إشعاع بيتا عبارة عن جسيمات خفيفة وسريعة تنبعث نتيجة تحولات نووية تهدف إلى إعادة التوازن بين البروتونات والنيوترونات داخل النواة. وتنقسم جسيمات بيتا إلى نوعين رئيسيين: بيتا سالبة، وهي إلكترونات تنبعث لتعويض فائض النيوترونات، وبيتا موجبة، وهي بوزيترونات تنبعث لتعويض فائض البروتونات. كما يحدث أحيانًا ما يعرف بالتقاط الإلكترون، حيث تلتقط النواة إلكترونًا من السحابة الإلكترونية لتحويل بروتون إلى نيوترون. يتميز إشعاع بيتا بقدرته المتوسطة على اختراق المواد، إذ يمكن إيقافه بواسطة صفائح رقيقة، ويعتمد تأثيره البيولوجي على طاقته ومدة التعرض، كما يُستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الطبية والصناعية.(٣)

ثالثا: إشعاع كاما

إشعاع هو إشعاع كهرومغناطيسي عالي الطاقة يتكون من فوتونات عالية الطاقة، وينبعث عادةً عند انتقال النواة من حالة طاقية مثارة إلى حالة أقل طاقة. يتميز هذا النوع بقدرة اختراق عالية جدًا للمواد، مما يستلزم استخدام دروع واقية كثيفة للحماية منه. ويُستخدم إشعاع غاما في علاج الأورام، فضلًا عن تطبيقاته في التعقيم الطبي والصناعي والفحوصات غير الإتلافية.

رابعا: إشعاع النيوترونات

ينشأ إشعاع النيوترونات من التفاعلات النووية، وخاصة في عمليات الانشطار النووي داخل المفاعلات. وتتميز جسيمات النيوترونات بكونها متعادلة كهربائيًا، مما يمنحها قدرة عالية على اختراق المواد والتفاعل مباشرة مع نوى الذرات. وعند تفاعل النيوترونات مع بعض العناصر، قد تنتج نشاطًا إشعاعيًا إضافيًا في المواد، مما يزيد من خطرها. لذلك، يُعد إشعاع النيوترونات من أخطر أنواع الإشعاع، ويتطلب التعامل معه اتخاذ إجراءات وقائية صارمة واستخدام مواد تدريع خاصة، مثل الماء أو البارافين الغني بالهيدروجين، لتقليل قدرة النيوترونات على الاختراق وحماية الأفراد والمواد الحساسة.(٤)



الشكل(٢) : قدرة الإشعاعات النووية على الاختراق

الفصل الثاني

تأثير الإشعاع النووي على المادة الحية وطرق الوقاية والعلاج

٢-١ المقدمة:

الإشعاع النووي هو أحد الظواهر الفيزيائية التي تمتلك تأثيرًا مباشرًا وعميقًا على الكائنات الحية، نظرًا لطبيعتها المؤينة وقدرتها على التفاعل مع الجزيئات الحيوية داخل الخلايا. ويشير هذا الفصل إلى العلاقة المعقدة بين الإشعاع النووي والمواد الحية، حيث يمكن للإشعاع أن يتسبب في تغيرات كيميائية دقيقة في الخلايا، تؤدي أحيانًا إلى تعطيل وظائفها الأساسية أو التسبب في طفرات وراثية.

أهمية دراسة هذا الموضوع تكمن في الاستخدامات الطبية والإشعاعية المتزايدة في العصر الحديث. ففي المجال الطبي، يعتمد العلاج الإشعاعي على هذه الخاصية لتدمير الخلايا السرطانية بدقة، بينما يشكل التعرض العرضي أو المفرط للإشعاع خطرًا جسيمًا على الأنسجة السليمة. كما أن التعرض الإشعاعي في البيئة الصناعية أو النووية يمكن أن يؤدي إلى آثار صحية مزمنة أو حادة، مما يجعل من الضروري فهم التأثيرات البيولوجية للإشعاع بشكل تفصيلي، مع تحديد العوامل التي تزيد من شدته وطرق الحماية المثلى. (٥)

هذا الفصل يقدم دراسة شاملة لتأثير الإشعاع النووي على المادة الحية، بدءًا من التأثيرات المباشرة وغير المباشرة على الخلايا، مرورًا بتأثير كل نوع من أنواع الإشعاعات النووية، وصولًا إلى العوامل المؤثرة وطرق الوقاية والعلاج المتبعة لحماية الجسم من هذه التأثيرات الضارة.

٢-٢ آلية تأثير الإشعاع النووي على الخلايا الحية

٢-٢-١ التأثير المباشر للإشعاع

يحدث التأثير المباشر عندما تتصادم جسيمات الإشعاع مباشرة مع الجزيئات الحيوية مثل الحمض النووي والبروتينات والإنزيمات. هذا الاصطدام يؤدي إلى كسر الروابط الكيميائية وتعطيل الوظائف الحيوية للخلية. تعتبر سلاسل الحمض النووي من أكثر الأهداف حساسية للإشعاع، إذ يمكن أن تؤدي كسور السلسلة المفردة والمزدوجة إلى منع الخلية من الانقسام الطبيعي، أو التسبب في طفرات جينية محتملة.

كما يمكن أن تتعرض البروتينات الحيوية والإنزيمات للتلف، مما يؤدي إلى فقدان القدرة على تنفيذ الوظائف الخلوية الأساسية. تلف أغشية الخلايا يعد من النتائج الحرجة أيضًا، حيث يؤدي إلى فقدان القدرة على التحكم في مرور المواد داخل وخارج الخلية، وبالتالي فقدان التوازن الخلوي. وتعتمد شدة هذا التأثير على نوع الإشعاع وطاقة جسيماته، فالاشعاعات عالية التأين تسبب أضرارًا أكبر وأكثر عمقًا مقارنة بالإشعاعات منخفضة التأين. (٥)

٢-٢-٢ التأثير غير المباشر للإشعاع

يمثل التأثير غير المباشر غالبية الأضرار الناتجة عن الإشعاع النووي، ويحدث عندما تتفاعل جسيمات الإشعاع مع جزيئات الماء داخل الخلية، مكونة جذورًا حرة مؤينة. هذه الجذور الحرة تتفاعل مع المركبات الحيوية مسببة تغييرات كيميائية قد تعطل عمل الخلية.

تؤثر الجذور الحرة على البروتينات، مما يؤدي إلى فقدان فعاليتها، كما تسبب اضطراب الأغشية الخلوية وتعطل نقل المواد. الحمض النووي لا ينجو من هذه التفاعلات، إذ يمكن أن تتسبب الجذور الحرة في كسور السلاسل وتغيرات جزيئية تؤدي إلى طفرات أو موت الخلايا. ويعرف هذا النوع من الضرر بـ "الإجهاد التأكسدي الإشعاعي"، وهو المسؤول عن العديد من التأثيرات الطويلة المدى للإشعاع على الكائنات الحية.(٥)

٢-٣ التأثيرات البيولوجية للإشعاع النووي حسب نوع الإشعاع

يُعد إشعاع ألفا من الإشعاعات الجسيمية ذات الطاقة العالية وقدرة الاختراق المنخفضة؛ إذ لا يستطيع النفاذ عبر الجلد السليم، إلا أنه يُمثل خطرًا بالغًا عند دخوله إلى الجسم عبر الاستنشاق أو الابتلاع. داخل الأنسجة الحية يُحدث تأينًا كثيفًا يؤدي إلى كسور مزدوجة في الحمض النووي يصعب إصلاحها، مما يفضي إلى موت الخلايا أو نشوء طفرات جينية غير طبيعية. وتُعد الرئة والجهاز الهضمي من أكثر الأنسجة عرضة لتأثيراته عند التعرض الداخلي، مع ازدياد احتمالية التحول السرطاني.
أما إشعاع بيتا فهو يتكون من جسيمات أخف وأسرع، وتمتلك قدرة اختراق أعلى من ألفا لكنها تبقى محدودة مقارنة بإشعاع كاما. يُسبب هذا النوع تأينًا داخل الأنسجة السطحية، وقد يؤدي التعرض المكثف له إلى حروق إشعاعية في الجلد. وعلى المستوى الخلوي، يمكن أن يعطل الانقسام الخلوي ويُلحق أضرارًا بالحمض النووي، مما يؤدي إلى تراكم تأثيرات ضارة بمرور الزمن، خاصة في الأنسجة القريبة من سطح الجسم.
في المقابل، يتميز إشعاع كاما بكونه إشعاعًا كهرومغناطيسيًا عالي الطاقة ذو قدرة اختراق كبيرة، تمكنه من النفاذ عبر معظم الأنسجة والوصول إلى الأعضاء الداخلية. يُعد من أخطر أنواع الإشعاع نظرًا لانتشاره العميق وتأثيره الواسع، حيث يتسبب في أضرار مباشرة وغير مباشرة للحمض النووي والبروتينات عبر عمليات التأين. ويرتبط التعرض المزمن له بزيادة خطر الإصابة بالأورام السرطانية واضطرابات وظيفية في أجهزة الجسم المختلفة.
أما إشعاع النيوترونات فهو يتكون من جسيمات غير مشحونة تمتاز بقدرة اختراق عالية جدًا، وتُعد من أكثر أنواع الإشعاع إحداثًا للضرر البيولوجي. يتفاعل هذا الإشعاع مع نوى الذرات داخل الأنسجة، مما يؤدي إلى إنتاج إشعاعات ثانوية تُضاعف من حجم الضرر. وينتج عن ذلك تفاعلات نووية تُحدث كسورًا عميقة في بنية الحمض النووي وتلفًا واسعًا في الخلايا، مع ارتفاع ملحوظ في احتمالية حدوث الطفرات الوراثية والإصابة بالسرطان، خاصة عند التعرض لفترات طويلة.

٤-٢العوامل المؤثرة في شدة التأثير الإشعاعي

تتحدد شدة التأثير الإشعاعي الناتج عن التعرض للإشعاعات المؤينة بمجموعة من العوامل الفيزيائية والبيولوجية التي تعمل بصورة مترابطة ومعقدة، إذ لا يقتصر الضرر الإشعاعي على مقدار الجرعة الممتصة فحسب، بل يتأثر كذلك بطبيعة الإشعاع وخصائص الوسط الحي المتعرض له، إضافة إلى الظروف الزمنية والبيولوجية المصاحبة للتعرض. ويُعد فهم هذه العوامل أمرًا ضروريًا لتقييم المخاطر الإشعاعية بدقة، ولا سيما في المجال الطبي الذي يعتمد على الإشعاع في التشخيص والعلاج، حيث يُسهم إدراك هذه المحددات في تقليل الآثار السلبية وتعظيم الفائدة العلاجية.(٦)

١- نوع الإشعاع النووي

يُعد نوع الإشعاع من العوامل الأساسية التي تتحكم في شدة التأثير الإشعاعي، إذ تختلف الإشعاعات النووية فيما بينها من حيث طبيعتها الفيزيائية وقدرتها على الاختراق وكثافة التأين التي تُحدثها داخل الأنسجة الحية. فبعض الإشعاعات تُسبب تأينًا كثيفًا في مسافات قصيرة، مما يؤدي إلى تلف موضعي شديد في الخلايا، في حين تمتلك إشعاعات أخرى قدرة عالية على النفاذ إلى أعماق الجسم وإحداث أضرار واسعة النطاق.

٢- الجرعة الإشعاعية الممتصة:

تُعرَّف الجرعة الإشعاعية الممتصة بأنها مقدار الطاقة التي يمتصها النسيج الحي نتيجة التعرض للإشعاع المؤين، وتُعد من أهم العوامل في تحديد شدة التأثيرات البيولوجية الناتجة. تُقاس الجرعة الممتصة بوحدة الغراي (Gy)، وهي تعبّر عن كمية الطاقة الممتصة لكل وحدة كتلة من المادة.

ولغرض تقييم الأثر البيولوجي للإشعاع على جسم الإنسان، تُستخدم وحدة السيفرت (Sv)، إذ تأخذ بنظر الاعتبار نوع الإشعاع ومدى تأثيره على الأنسجة الحية.

بوجه عام، تزداد خطورة التأثيرات الإشعاعية بزيادة قيمة الجرعة الممتصة، حيث قد تؤدي الجرعات المرتفعة إلى أضرار حادة، في حين أن الجرعات المنخفضة قد تُسبب تأثيرات تراكمية تظهر على المدى البعيد.

٣- مدة التعرض للإشعاع:

تؤثر مدة التعرض بشكل مباشر في شدة التأثير الإشعاعي، إذ إن التعرض المزمن لجرعات منخفضة قد يكون أكثر خطورة من التعرض القصير لجرعات عالية، وذلك بسبب تراكم الضرر الخلوي وعدم كفاية آليات الإصلاح الحيوي داخل الخلايا.

٤- طبيعة النسيج الحي :

تختلف استجابة الأنسجة الحية للإشعاع باختلاف طبيعتها الحيوية ومعدل انقسام خلاياها، فالأنسجة التي تتميز بانقسام خلوي سريع تكون أكثر حساسية للتأثيرات الإشعاعية مقارنة بالأنسجة ذات النشاط الخلوي المحدود، مما يؤدي إلى تفاوت واضح في درجة الضرر بين أعضاء الجسم المختلفة.

٥- العوامل الفردية :

تشمل العوامل الفردية عمر الإنسان وحالته الصحية العامة وكفاءة جهازه المناعي وقدرته على إصلاح التلف الخلوي. ويكون الأطفال وكبار السن أكثر عرضة للتأثيرات الإشعاعية، كما أن وجود أمراض مزمنة قد يزيد من شدة الأضرار الناتجة عن التعرض للإشعاع.

٥-٢طرق الوقاية والعلاج

إن الوقاية والعلاج من التأثيرات الإشعاعية يمثلان محورًا أساسيًا في مجال الحماية من الإشعاع، نظرًا لما قد يترتب على التعرض له من أضرار حادة ومزمنة على الأنسجة والخلايا. وتقوم استراتيجيات الوقاية والعلاج على ثلاثة محاور رئيسية مترابطة: الوقاية الفيزيائية، الوقاية البيولوجية والطبية، والتنظيم والتوعية المهنية، والتي تهدف مجتمعة إلى تقليل الجرعات الممتصة ومنع حدوث الضرر أو الحد منه قدر الإمكان وفق مبدأ *ALARA* (أي الحفاظ على الجرعات منخفضة بقدر المعقول عمليًا).(٧)

أولًا: الوقاية الفيزيائية

تعتمد الوقاية الفيزيائية على التحكم بالعوامل المؤثرة في كمية الإشعاع التي تصل إلى الجسم، وهي مبنية على ثلاثة مبادئ أساسية: الزمن، المسافة، والدروع.(٨)

أولًا – تقليل زمن التعرض: كلما قل الوقت الذي يقضيه الشخص بالقرب من مصدر الإشعاع، انخفضت الجرعة الممتصة. لذلك يتم تنظيم العمل الإشعاعي بحيث يكون سريعًا وفعالًا، مع التخطيط المسبق للمهام لتجنب التعرض غير الضروري.

ثانيًا – زيادة المسافة عن المصدر: شدة الإشعاع تتناقص عكسيًا مع مربع المسافة، أي أن مضاعفة المسافة بين الشخص والمصدر الإشعاعي تقلل الجرعة إلى الربع تقريبًا. ولهذا يتم استخدام أدوات تحكم عن بعد، وروبوتات، أو جدران عازلة في المنشآت النووية والطبية.

ثالثًا – استخدام الدروع الواقية: يتم استخدام مواد ذات قدرة عالية على امتصاص الإشعاع مثل الرصاص، الخرسانة، أو الباريت حسب نوع الإشعاع. فالرصاص فعال بشكل خاص ضد أشعة غاما والأشعة السينية، بينما تستخدم الخرسانة السميكة في المفاعلات النووية. كما يتم تزويد العاملين بمعدات حماية شخصية مثل المآزر الرصاصية، القفازات، والنظارات الواقية.

ثانيًا: الوقاية البيولوجية والطبية

تشمل الإجراءات التي تهدف إلى تقليل الضرر على المستوى الخلوي والأنسجة أو التعامل مع التعرض بعد حدوثه.(٨)

أولًا – المراقبة الطبية الدورية: يخضع العاملون في المجالات الإشعاعية لفحوصات منتظمة تشمل تحليل الدم، وفحوصات الكروموسومات، وقياس الجرعات الشخصية بواسطة أجهزة الدوزيميتر، بهدف الكشف المبكر عن أي تغيرات غير طبيعية ناتجة عن التعرض للإشعاع.

ثانيًا – الحماية الخلوية بمضادات الأكسدة: لأن الإشعاع المؤين يولد جذورًا حرة تسبب تلف الحمض النووي (DNA)، فإن تناول مضادات الأكسدة مثل فيتامين C وE وبعض المركبات البيولوجية قد يساهم في تقليل الضرر التأكسدي على الخلايا.

ثالثًا – الإسعاف الأولي وإزالة التلوث: عند التعرض العرضي للإشعاع، يتم أولًا إزالة التلوث الخارجي عن طريق غسل الجلد والملابس، ثم تقييم الجرعة الممتصة بسرعة.

رابعًا – العلاج الطبي المتخصص:

يستخدم العلاج الدوائي لتحفيز إنتاج خلايا الدم (مثل عوامل النمو)، ومعالجة الالتهابات، وتعويض السوائل.
في بعض الحالات الخاصة، يتم استخدام مواد تُعرف بـ عوامل الإزالة (*Decorporation agents*) مثل الأزرق البروسي لإزالة بعض النظائر المشعة من الجسم.

ثالثًا: التنظيم والتوعية:
لا تقتصر الوقاية على الجوانب التقنية والطبية فقط، بل تشمل أيضًا الإطار التنظيمي والتدريب المهني.

أولًا – وضع حدود للجرعات: تعتمد الهيئات الدولية مثل اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع (*ICRP*) على تحديد حدود سنوية للجرعات المسموح بها للعاملين والجمهور، بحيث لا تتجاوز المستويات التي قد تسبب ضررًا صحيًا ملحوظًا.

ثانيًا – التدريب والسلامة المهنية: يجب أن يتلقى العاملون في المختبرات النووية، المستشفيات الإشعاعية، والمرافق الصناعية تدريبًا دوريًا حول التعامل الآمن مع المصادر المشعة، واستخدام معدات الحماية، وإجراءات الطوارئ.

ثالثًا – نشر الوعي المجتمعي: تشمل برامج التوعية شرح مخاطر الإشعاع، طرق الوقاية، وأهمية الالتزام بإرشادات السلامة، لتقليل الذعر غير المبرر وزيادة الفهم العلمي لدى المجتمع.

الفصل الثالث

تطبيقات الفيزياء النووية في المجال الطبي

١- ٣ المقدمة :

شهد العلم في القرن العشرين تطورًا كبيرًا في فهم بنية الذرة والتفاعلات النووية، الأمر الذي أدى إلى ظهور فرع مهم من فروع الفيزياء التطبيقية يُعرف بالفيزياء النووية. ولم يقتصر تأثير هذا الفرع على المجالات العسكرية أو الصناعية فحسب، بل امتد ليشمل المجال الطبي، حيث أصبح أحد الركائز الأساسية في التشخيص والعلاج الحديث. فقد ساهمت الفيزياء النووية بشكل فعّال في تطوير وسائل طبية دقيقة تعتمد على الإشعاعات المؤينة والنظائر المشعة، مما أحدث نقلة نوعية في قدرة الطب على اكتشاف الأمراض وعلاجها بكفاءة عالية، وبدرجات غير مسبوقة من الدقة والموثوقية.(٩)

تُعد تطبيقات الفيزياء النووية في المجال الطبي من أكثر الاستخدامات السلمية أهمية، إذ تعتمد عليها العديد من التقنيات الطبية المتقدمة مثل التصوير بالأشعة السينية، والتصوير الطبقي المحوسب، وتقنيات الطب النووي، والعلاج الإشعاعي. وتكمن أهمية هذه التطبيقات في قدرتها على تشخيص الأمراض في مراحلها المبكرة، ولا سيما الأورام السرطانية وأمراض القلب والجهاز العصبي، مما يساهم في رفع نسب الشفاء وتقليل المضاعفات الصحية الناتجة عن التأخر في التشخيص.

كما أن الاعتماد على المبادئ الفيزيائية النووية في المجال الطبي يتطلب فهمًا دقيقًا لطبيعة الإشعاع، وخصائصه الفيزيائية، وآلية تفاعله مع المادة الحية، وتأثيره المباشر وغير المباشر على الخلايا والأنسجة. وقد أدى ذلك إلى نشوء تخصص علمي دقيق يُعرف بالفيزياء النووية الطبية، وهو علم متعدد التخصصات يجمع بين الفيزياء والطب والأحياء والهندسة الطبية، ويهدف إلى الاستخدام الآمن والفعّال للإشعاع في خدمة الإنسان.

ومن هنا برزت الحاجة إلى وضع معايير وضوابط علمية صارمة لتنظيم استخدام الإشعاعات المؤينة في المجال الطبي، بما يضمن تحقيق الفائدة التشخيصية والعلاجية القصوى، مع تقليل المخاطر الإشعاعية المحتملة على المرضى والكادر الطبي. ويُعد الالتزام بمبادئ الحماية الإشعاعية أحد الأسس الرئيسة لضمان سلامة هذه التطبيقات واستدامتها.

يهدف هذا الفصل إلى تسليط الضوء على أهم تطبيقات الفيزياء النووية في المجال الطبي، من خلال استعراض الأسس الفيزيائية التي تقوم عليها، وبيان دورها في مجالات التشخيص والعلاج، إضافةً إلى مناقشة مبادئ الحماية الإشعاعية والآثار الصحية المحتملة،

بما يعكس الأهمية العلمية والإنسانية لهذا المجال الحيوي ودوره المتنامي في الطب الحديث.

٢-٣ أساسيات الفيزياء النووية الطبية

تُعد الفيزياء النووية الطبية أحد الفروع التطبيقية للفيزياء النووية، وتهتم بدراسة الظواهر الإشعاعية وتوظيفها في المجالات الطبية لأغراض التشخيص والعلاج. وتعتمد هذه الفيزياء على فهم بنية الذرة، وطبيعة النواة، وأنواع الإشعاعات المنبعثة منها، إضافةً إلى دراسة كيفية تفاعل هذه الإشعاعات مع المادة الحية، ولا سيما أنسجة جسم الإنسان. ويُعد هذا الفهم أساسًا علميًا ضروريًا لضمان الاستخدام الآمن والفعّال للتقنيات النووية في الطب.(١٠)

يرتكز هذا المجال على مفهوم الإشعاع المؤين، وهو الإشعاع القادر على تأيين ذرات وجزيئات المادة عند مروره خلالها، مما يؤدي إلى تغيير في خصائصها الفيزيائية والكيميائية. وتشمل الإشعاعات المؤينة المستخدمة طبيًا جسيمات ألفا، وجسيمات بيتا، وأشعة غاما، بالإضافة إلى الأشعة السينية. وتختلف هذه الإشعاعات فيما بينها من حيث القدرة على الاختراق والتأثير البيولوجي، الأمر الذي يحدد مجالات استخدامها الطبية سواء في التشخيص أو العلاج.

كما تُعد النظائر المشعة من الركائز الأساسية في الفيزياء النووية الطبية، وهي نظائر لعنصر كيميائي معين تمتلك نوى غير مستقرة، فتتحلل تلقائيًا مطلقةً إشعاعات يمكن الاستفادة منها طبيًا. ويتم اختيار النظير المشع بعناية وفق خصائص محددة، مثل نوع الإشعاع المنبعث، ونصف العمر، وقدرته على التركز في عضو معين داخل الجسم، مما يسمح بتتبع الوظائف الحيوية للأعضاء أو استهداف الخلايا المريضة بدقة عالية.

ومن الجوانب المهمة في أساسيات الفيزياء النووية الطبية مفهوم الجرعة الإشعاعية، والتي تعبّر عن مقدار الطاقة الممتصة من الإشعاع داخل أنسجة الجسم. وتُقاس الجرعة بوحدات

فيزيائية معتمدة مثل الغراي (*Gray*) والسيفرت (*Sievert*)، ويُعد التحكم الدقيق بالجرعات الإشعاعية عنصرًا حاسمًا لتحقيق التوازن بين الفائدة الطبية وتقليل المخاطر الصحية المحتملة.

إن الإلمام بهذه الأسس الفيزيائية يُشكّل القاعدة التي تُبنى عليها جميع التطبيقات الطبية للإشعاع، سواء في تقنيات التصوير الطبي أو في العلاج الإشعاعي. كما يساهم هذا الفهم في تطوير أجهزة طبية أكثر دقة وأمانًا، ويعزز من كفاءة الكوادر الطبية والفيزيائيين الطبيين في التعامل مع التقنيات النووية الحديثة.

٣-٣ تطبيقات الفيزياء النووية في التشخيص الطبي

يُعد التشخيص الطبي من أهم المجالات التي استفادت من تطبيقات الفيزياء النووية، إذ أسهمت هذه التطبيقات في إحداث تطور كبير في قدرة الطب الحديث على الكشف المبكر والدقيق عن الأمراض. وتعتمد تقنيات التشخيص النووي على استخدام الإشعاعات المؤينة والنظائر المشعة للحصول على معلومات وظيفية وتركيبية عن أعضاء الجسم المختلفة، وهو ما يصعب تحقيقه بالوسائل التقليدية غير الإشعاعية. وقد ساهم ذلك في تحسين دقة التشخيص وتقليل نسبة الخطأ الطبي.(١١)

تُعد الأشعة السينية من أقدم وأشهر تطبيقات الفيزياء النووية في التشخيص الطبي، حيث تعتمد على اختلاف امتصاص الأنسجة للإشعاع، مما يسمح بإظهار التباين بين العظام والأنسجة الرخوة. وقد تطورت هذه التقنية بشكل كبير مع مرور الزمن، فأصبحت أكثر أمانًا ودقة، وتُستخدم على نطاق واسع في تشخيص الكسور، وأمراض الصدر، وبعض أمراض الجهاز الهضمي.

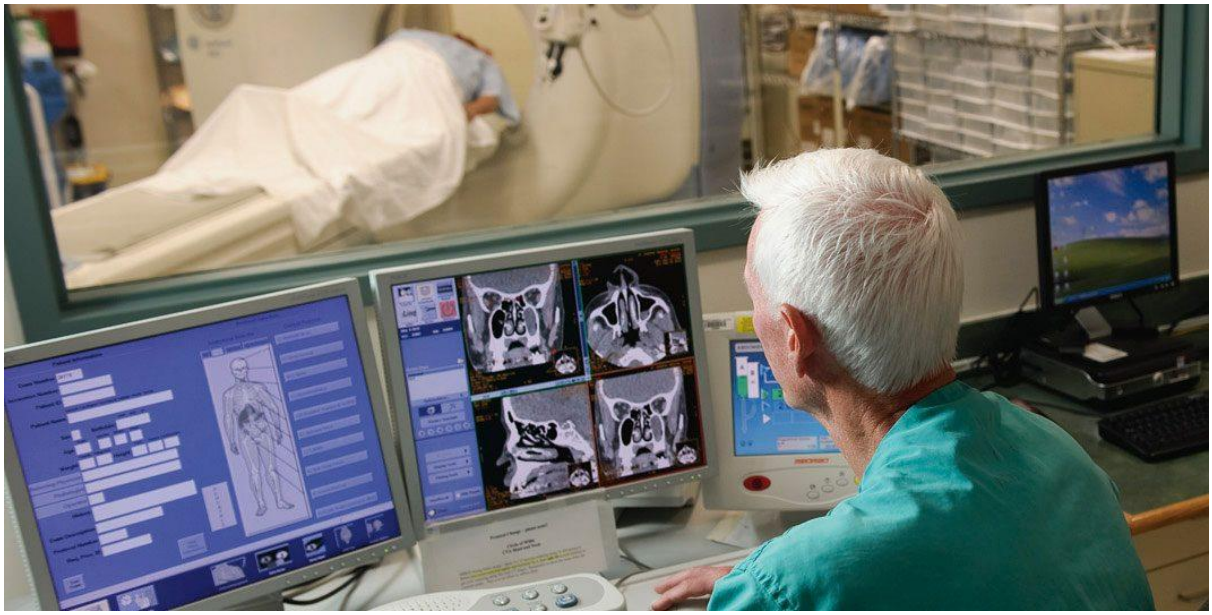
كما يُعد التصوير الطبقي المحوسب (*CT Scan*) من التقنيات المتقدمة التي تعتمد على مبادئ فيزيائية دقيقة، حيث يتم جمع عدد كبير من صور الأشعة السينية من زوايا مختلفة حول جسم المريض، ثم معالجتها حاسوبيًا لإنتاج صور مقطعية ثلاثية الأبعاد. وتُستخدم هذه التقنية في تشخيص الأورام، والنزيف الداخلي، وأمراض الدماغ، لما توفره من دقة عالية في إظهار التفاصيل التشريحية.

إلى جانب ذلك، يلعب الطب النووي دورًا محوريًا في التشخيص الوظيفي للأعضاء، إذ يعتمد على إدخال نظائر مشعة بجرعات صغيرة وآمنة إلى جسم المريض، حيث تتوزع

هذه النظائر في أعضاء معينة وفق طبيعتها الكيميائية. ويتم رصد الإشعاع المنبعث منها باستخدام أجهزة خاصة، مما يتيح تقييم وظائف الأعضاء مثل القلب، والغدة الدرقية، والكلى، والكشف المبكر عن الأورام السرطانية.

وتُعد تقنيات متقدمة مثل التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (*PET*) مثالًا واضحًا على التكامل بين الفيزياء النووية والطب، حيث توفر معلومات دقيقة عن النشاط الأيضي للخلايا، مما يساعد في تشخيص السرطان وتحديد مراحله ومتابعة الاستجابة للعلاج. وقد أدى دمج هذه التقنية مع التصوير الطبقي المحوسب إلى زيادة دقة التشخيص وتحسين النتائج السريرية.

إن هذه التطبيقات التشخيصية تمثل إنجازًا علميًا كبيرًا للفيزياء النووية، وأسهمت بشكل مباشر في رفع مستوى الرعاية الصحية، وتقليل الحاجة إلى التدخلات الجراحية غير الضرورية، وتحسين فرص العلاج والشفاء لدى المرضى.



الشكل (٣): عملية التصوير الطبقي المحوسب *CT Scan* داخل أحد المراكز الطبية، حيث يظهر المريض أثناء إجراء الفحص، في حين يقوم المختص بمراقبة الصور المقطعية وتحليلها عبر أنظمة الحاسوب، مما يبيّن دور الفيزياء النووية في التشخيص الطبي الدقيق.

٤-٣تطبيقات الفيزياء النووية في العلاج الطبي

تُعد تطبيقات الفيزياء النووية في المجال العلاجي من أهم الإنجازات العلمية التي أسهمت في تطوير الطب الحديث، ولا سيما في علاج الأمراض المستعصية مثل الأورام السرطانية. إذ يعتمد العلاج النووي على استخدام الإشعاعات المؤينة بجرعات مدروسة بدقة عالية، بهدف إتلاف الخلايا المريضة أو إيقاف انقسامها، مع الحفاظ قدر الإمكان على سلامة الأنسجة السليمة المحيطة. ويستند هذا النوع من العلاج إلى مبادئ فيزيائية دقيقة تتعلق بانتقال الطاقة الإشعاعية وتفاعلها مع الخلايا والأنسجة الحية.(١٢)

يعتمد العلاج الإشعاعي الخارجي على تسليط حزم إشعاعية عالية الطاقة، مثل أشعة غاما أو الأشعة السينية عالية الشدة، على منطقة الورم من خارج جسم المريض باستخدام أجهزة متقدمة كالمسرعات الخطية. وتتيح هذه التقنية إمكانية التحكم بشكل الحزمة الإشعاعية واتجاهها، مما يسمح بتركيز الجرعة الإشعاعية على الورم بدقة متناهية، وتقليل تعرض الأنسجة السليمة للإشعاع. وقد تطورت هذه الأساليب لتشمل تقنيات حديثة تعتمد على التخطيط الحاسوبي ثلاثي الأبعاد، مما أدى إلى تحسين فعالية العلاج وتقليل آثاره الجانبية.(١٣)

أما العلاج الإشعاعي الداخلي، فيُعرف بالعلاج الموضعي، ويعتمد على إدخال مصادر مشعة صغيرة مباشرة إلى داخل الجسم أو بالقرب من النسيج المصاب. وتُستخدم هذه الطريقة في حالات معينة تتطلب استهدافًا مباشرًا للخلايا المريضة، حيث يسمح وجود المصدر الإشعاعي بالقرب من الورم بإعطاء جرعة عالية موضعية مع تقليل التأثير على الأنسجة المجاورة. ويُعد هذا النوع من العلاج فعالًا في علاج بعض أنواع السرطان مثل سرطان عنق الرحم وسرطان البروستاتا.(١٤)

إلى جانب ذلك، يُستخدم العلاج بالنظائر المشعة كأحد التطبيقات الدقيقة للفيزياء النووية في المجال الطبي، حيث تُعطى للمريض نظائر مشعة لها قدرة على التركز في أعضاء محددة نتيجة لخصائصها الكيميائية والبيولوجية. ويُعد استخدام نظير اليود-١٣١ في علاج أمراض الغدة الدرقية مثالًا بارزًا على هذا النوع من العلاج، إذ يعمل الإشعاع المنبعث من النظير على تدمير الخلايا المريضة دون الحاجة إلى تدخل جراحي مباشر. وتمتاز هذه التقنية بفعاليتها العالية وبساطة إجراءاتها مقارنة بالأساليب التقليدية.

ويُعد التحكم الدقيق في الجرعات الإشعاعية عنصرًا أساسيًا في نجاح العلاج النووي، حيث يتم تحديد الجرعة المناسبة لكل مريض بناءً على نوع المرض، وحجم الورم، وحالة

الأنسجة المحيطة. ويتطلب ذلك استخدام نماذج فيزيائية وحسابات دقيقة لتوزيع الجرعة داخل الجسم، فضلًا عن الاعتماد على أنظمة تخطيط علاجية متطورة. ويُسهم هذا التكامل بين الفيزياء والطب في تحقيق أعلى كفاءة علاجية مع ضمان السلامة الإشعاعية للمرضى والكادر الطبي على حد سواء(١٥)

الشكل (٤): جهاز المسرع الخطي المستخدم في العلاج الإشعاعي لاستهداف الورم بدقة وتقليل تأثير الإشعاع على الأنسجة السليمة.

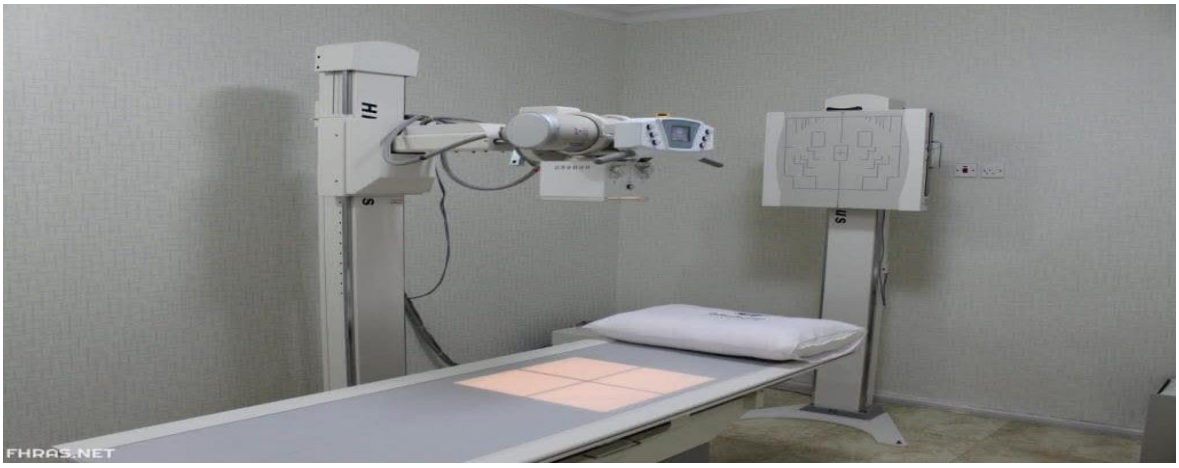
٥-١٣الأجهزة المستخدمة في المجال الطبي

تُعتبر الأجهزة الطبية المستندة إلى الفيزياء النووية الركيزة الأساسية لكل من التشخيص والعلاج الحديث في الطب، حيث ساهمت هذه الأجهزة في تحسين دقة التشخيص، وتسهيل العلاج، وزيادة نسب الشفاء من الأمراض المختلفة، ولا سيما الأورام السرطانية وأمراض القلب والجهاز العصبي. وتعتمد جميع هذه الأجهزة على مبادئ فيزيائية دقيقة، تشمل إنتاج الإشعاع المؤين، توجيهه، والتحكم في الجرعات، فضلاً عن دمجه مع البرمجيات الحاسوبية لتوفير أعلى مستويات الدقة والأمان.(١٦)

أولاً: جهاز الأشعة السينية (*X-Ray*)

يُعد جهاز الأشعة السينية من أقدم الأجهزة المستخدمة في المجال الطبي، حيث يعتمد على مرور حزم إشعاعية عبر جسم المريض، وتمتص الأنسجة المختلفة هذه الأشعة بدرجات

متفاوتة حسب كثافتها، مما يسمح بإنشاء صور ثنائية الأبعاد دقيقة للعظام والأنسجة الرخوة. وتُستخدم هذه التقنية في تشخيص الكسور، وأمراض الصدر، والجهاز الهضمي، والعديد من الحالات الطارئة. مع تطور التكنولوجيا، أصبح بالإمكان تقليل الجرعة الإشعاعية وتحسين جودة الصورة، إضافة إلى دمج الجهاز مع الحوسبة الرقمية لتسهيل التخزين والتحليل الطبي.



الشكل (٥): جهاز الأشعة السينية لتصوير العظام والأنسجة الداخلية بدقة للكشف عن الكسور والأمراض.

ثانيا: جهاز التصوير المحوسب

يعتمد جهاز التصوير الطبقي المحوسب على جمع صور الأشعة السينية من زوايا متعددة حول الجسم، ثم إعادة بناء هذه الصور حاسوبيًا لإنتاج صور مقطعية ثلاثية الأبعاد. ويتيح هذا الجهاز إمكانية رؤية التفاصيل الداخلية للأعضاء بشكل واضح، مما يساعد في تشخيص الأورام، والنزيف الداخلي، وأمراض الدماغ والقلب. كما يمكن دمجه مع تقنية الفلوروسكوب لتقديم تقييم وظيفي لحركة الأعضاء، ويتيح للمختصين إجراء خطط علاجية دقيقة بناءً على معلومات تصويرية تفصيلية.(١٧)

الشكل (٦): جهاز التصوير الطبقي المحوسب *CT* لتوليد صور مقطعية ثلاثية الأبعاد للأعضاء الداخلية بدقة عالية.

ثالثاً: أجهزة الطب النووي (*SPECT* و*PET Scan*)

تعتمد هذه الأجهزة على إدخال نظائر مشعة إلى جسم المريض، حيث تتوزع في أعضاء محددة وفق خصائصها الكيميائية والبيولوجية، ثم يتم رصد الإشعاع المنبعث باستخدام حساسات دقيقة ومتطورة. وتتيح هذه التقنية دراسة الوظائف الحيوية للأعضاء بشكل تفصيلي، مثل تقييم كفاءة القلب، وظائف الكلى والكبد، ووظائف الغدة الدرقية، بالإضافة إلى الكشف المبكر عن الأورام وتحديد موقعها بدقة عالية قبل ظهور العلامات التشريحية التقليدية.(١٨)

يتمثل الفرق الأساسي بين الجهازين في نوع الإشعاع وطريقة التصوير:

SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography): يعتمد على إصدار فوتونات مفردة من النظائر المشعة، ويتيح تصويرًا ثلاثي الأبعاد للعضو المستهدف، مع إمكانية تقييم وظائفه الحيوية. يتميز *SPECT* بتكلفة أقل نسبيًا وقدرة جيدة على تصوير القلب والدماغ.

PET (Positron Emission Tomography): يعتمد على إصدار جسيمات البوزيترون من النظائر المشعة، وتفاعلات هذه الجسيمات مع الإلكترونات تنتج فوتونات يتم التقاطها لإنشاء صورة دقيقة للغاية للنشاط الأيضي للخلايا. ويتميز *PET* بدقة أعلى من *SPECT*، ويستخدم بشكل واسع في تشخيص السرطان، متابعة العلاج، ودراسة نشاط الدماغ والأعضاء الأخرى.

كما يمكن دمج كل من *SPECT* و *PET* مع تقنيات التصوير التشريحي مثل *CT* أو *MRI* لإنتاج صور مشتركة تجمع بين البعد الوظيفي والبُعد التشريحي، مما يزيد من دقة التشخيص ويساعد في التخطيط العلاجي ومتابعة استجابة المرضى للعلاج بشكل فعال.

الشكل (٧): جهاز *PET Scan* لتصوير النشاط الأيضي للخلايا داخل الجسم، مما يساعد في تشخيص الأورام ومتابعة استجابة المرضى للعلاج بدقة عالي

رابعاً: جهاز المسرع الخطي (*Linear Accelerator*)

يستخدم هذا الجهاز في العلاج الإشعاعي لتوليد حزم إشعاعية عالية الطاقة يمكن توجيهها بدقة نحو الورم. يعتمد الجهاز على أنظمة حاسوبية متقدمة لضبط الجرعات، والتحكم في الزوايا والمسارات، ما يقلل من تأثير الإشعاع على الأنسجة السليمة المحيطة. وتشمل التطورات الحديثة تقنيات مثل *IMRT* و*IGRT*، التي تسمح بتعديل شدة الإشعاع وتوجيهه بشكل دقيق وفق شكل وحجم الورم، مما يعزز فعالية العلاج ويقلل المخاطر الجانبية.(١٨)

الشكل (٨): جهاز المسرع الخطي لتوجيه الإشعاع بدقة نحو الأورام وحماية الأنسجة السليمة.

خامساً: الأجهزة المساندة والتحكمية

بالإضافة إلى الأجهزة الرئيسية، تعتمد جميع التقنيات على أجهزة مساندة مثل أنظمة التخطيط الحاسوبي، أجهزة قياس الجرعات الإشعاعية، وأدوات التثبيت الموضعية للمرضى لضمان دقة استهداف الإشعاع. كما تشمل هذه الأجهزة شاشات مراقبة دقيقة تمكن الأطباء والفيزيائيين الطبيين من متابعة العملية العلاجية أو التشخيصية لحظة بلحظة، والتأكد من التزامها بالمعايير الآمنة.

تُظهر هذه الأجهزة التكامل بين الفيزياء النووية، والطب، والهندسة، والبرمجيات الحاسوبية، وهو ما يجعلها ضرورية لتحقيق أقصى درجات الدقة، والفعالية، والسلامة في المجال الطبي، سواء في التشخيص أو العلاج، وتؤكد على الدور الحيوي للفيزياء النووية في تطوير الطب الحديث.(١٨)

٦-٣الحماية الإشعاعية في المجال الطبي

تلعب الحماية الإشعاعية دورًا حيويًا في التطبيقات الطبية للفيزياء النووية، إذ تهدف إلى ضمان الاستفادة القصوى من الإشعاع في التشخيص والعلاج مع تقليل المخاطر الصحية للمرضى والعاملين على حد سواء. وتعتمد هذه الحماية على مجموعة من المبادئ الأساسية المعروفة باسم مبادئ *ALARA (As Low As Reasonably Achievable)*، والتي تشمل تقليل زمن التعرض للإشعاع، زيادة المسافة بين المصدر الإشعاعي والجسم، واستخدام التدريع المناسب باستخدام مواد مثل الرصاص أو الخرسانة عالية الكثافة، بما يضمن حماية الأنسجة السليمة وتقليل الجرعات غير الضرورية.(١٩)

أولاً: تقليل زمن التعرض

يتحقق ذلك عن طريق ضبط الأجهزة لتوليد الأشعة أو حزم الإشعاع فقط عند الحاجة، واستخدام أنظمة سريعة لالتقاط الصور أو توجيه العلاج. على سبيل المثال، في أجهزة الأشعة السينية و*CT*، يتم التحكم بدقة في زمن التعرض لكل مريض وفق نوع الفحص وحجم العضو المصور. أما في العلاج الإشعاعي، فإن الأجهزة الحديثة مثل المسرعات الخطية *Linear Accelerators* مزودة بأنظمة تحكم دقيقة لتقليل زمن التعرض لكل جزء من الورم.

ثانياً: زيادة المسافة عن المصدر الإشعاعي

تعتبر المسافة أحد أسهل وأهم وسائل الحماية، إذ يقل التعرض للإشعاع كلما ابتعد الشخص عن المصدر. لذلك، يتم تصميم غرف العلاج والتصوير بحيث يُفصل بين المريض والمختصين، وتُستخدم كاميرات ومراقبة عن بعد، كما يتم وضع الكوادر الطبية في مناطق آمنة عند تشغيل الأجهزة عالية الطاقة.

ثالثاً: استخدام التدريع *Shielding*

يشمل التدريع تصميم الجدران والأسقف والأبواب باستخدام مواد كثيفة مثل الرصاص أو الخرسانة لتقليل تسرب الإشعاع إلى المناطق المجاورة. كما تُستخدم الأقنعة والحوامل الواقية أثناء التصوير التشخيصي لتغطية أجزاء الجسم غير المعنية، ويُطبق هذا أيضًا في الأجهزة النووية مثل *PET* و*SPECT* لضمان سلامة المريض والكوادر الطبية.

رابعاً: قياس ومراقبة الإشعاع

يُستخدم في المنشآت الطبية أجهزة قياس الجرعات الإشعاعية مثل *Dosimeters* و *Geiger Counters* لمراقبة مستويات التعرض بشكل مستمر، وضمان عدم تجاوز الحدود المسموح بها. كما يتم معايرة الأجهزة بانتظام للتحقق من دقة الجرعات الإشعاعية سواء في التشخيص أو العلاج، ويُسجل كل تعرض للتأكد من الالتزام بالمعايير الدولية.

خامساً: التدريب والالتزام بالإجراءات التشغيلية

تتطلب الحماية الإشعاعية تدريبًا مستمرًا للعاملين على استخدام الأجهزة النووية بأمان، وفهم مبادئ الجرعات الإشعاعية، وإجراءات الطوارئ عند أي تسرب أو خلل. ويشمل ذلك البروتوكولات التشغيلية لكل جهاز، وتدريب الفنيين على التباعد، واستخدام التدريع، وضبط إعدادات الجرعة، لضمان حماية المرضى والعاملين على حد سواء.

سادساً: التصميم الهندسي للمنشآت الطبية

يشمل تصميم الأقسام والغرف الطبية بحيث تُقلل من تعرض المناطق المجاورة للإشعاع، مع مراعاة تهوية آمنة، وإشراف مستمر على أي مصادر إشعاعية. كما تُصمم مناطق الانتظار والتشخيص بحيث تبقى خارج نطاق الإشعاع، ويُراعى توجيه الأشعة بدقة باستخدام تقنيات التحكم الحديثة مثل *Image-Guided Radiotherapy* في العلاج الإشعاعي، ما يزيد من فعالية الحماية ويضمن السلامة الكاملة.

إن الالتزام بهذه الإجراءات يضمن التوازن بين الفائدة الطبية وتقليل المخاطر الصحية، ويعكس الدور الحيوي للفيزياء النووية في الطب الحديث، حيث تتيح الحماية الإشعاعية استخدام التقنيات المتقدمة بأمان، وتحافظ على صحة المرضى والعاملين في بيئة علاجية وتشخيصية آمنة وفعالة.

٧-١٣الآثار الصحية والمخاطر المحتملة للتعرض للإشعاع في المجال الطبي

رغم الفوائد الكبيرة لتطبيقات الفيزياء النووية في التشخيص والعلاج الطبي، فإن التعرض للإشعاعات المؤينة يحمل بعض المخاطر الصحية التي يجب إدراكها والتعامل معها بحذر. تختلف هذه المخاطر بحسب عدة عوامل رئيسية، منها نوع الإشعاع، الطاقة، مدة التعرض، المسافة عن المصدر الإشعاعي، وحساسية الأنسجة والأعضاء المختلفة. كما تلعب الخصائص الفردية لكل مريض أو عامل دورًا مهمًا في تحديد مدى تأثير الإشعاع على الجسم، بما في ذلك العمر، الحالة الصحية العامة، والجينات الفردية.(٢٠)

من أبرز المخاطر المحتملة تأثير الإشعاع على الخلايا والأنسجة، حيث يمكن للأشعة المؤينة أن تتسبب في تلف الحمض النووي (*DNA*) داخل الخلايا، مما يؤدي إلى تغييرات جينية أو موت الخلايا في الحالات الشديدة. قد يظهر هذا التلف على شكل حروق جلدية، التهابات الأنسجة الرخوة، أو اضطرابات في وظائف الأعضاء عند التعرض لجرعات مرتفعة أو غير محسوبة. كما أن التعرض المتكرر أو المزمن، خاصة للعاملين في المنشآت الطبية، يزيد من احتمالية ظهور أمراض سرطانية أو أورام ثانوية على المدى الطويل.

وتختلف المخاطر باختلاف نوع الجهاز المستخدم:

في الأشعة السينية التقليدية، تكون الجرعات منخفضة نسبيًا، ويقتصر التأثير غالبًا على مناطق التعرض المباشر، مع احتمالية تأثير محدود على الأنسجة المحيطة.

في جهاز التصوير الطبقي المحوسب *CT*، تكون الجرعات أعلى قليلاً مقارنة بالأشعة السينية التقليدية، ما يجعل التخطيط الدقيق للجرعة أمراً ضرورياً لتقليل التعرض غير المطلوب.

في العلاج الإشعاعي باستخدام المسرعات الخطية *Linear Accelerator*، تُستخدم جرعات عالية جدًا، لكنها موجهة بدقة نحو الأورام، مع تقليل التعرض على الأنسجة السليمة باستخدام تقنيات متقدمة مثل *IMRT (Intensity-Modulated Radiotherapy)* و*IGRT (Image-Guided Radiotherapy)*.

تلعب تقنيات الطب النووي مثل *PET* و*SPECT* دورًا مهمًا في التشخيص الوظيفي، ولكنها أيضًا تتطلب مراقبة دقيقة للجرعات الإشعاعية، حيث يتم إدخال نظائر مشعة داخل الجسم، ويعتمد أمان المريض على اختيار نوع النظير، النشاط الإشعاعي المستخدم، ومدة المراقبة بعد الفحص.

ولتقليل هذه المخاطر، تعتمد المنشآت الطبية على عدة إجراءات وقائية رئيسية:

أولاً: الحماية الشخصية
استخدام الدروع الواقية، القفازات، وأقنعة الرصاص عند الاقتراب من مصادر الإشعاع.

ثانياً: المراقبة المستمرة
قياس الجرعات الإشعاعية باستخدام أجهزة *Dosimeters* وأجهزة الرصد المستمرة للتأكد من عدم تجاوز الحدود المسموح بها.

ثالثاً: تصميم الغرف والمرافق
تصميم أقسام الأشعة والعلاج الإشعاعي بحيث تقلل من تسرب الإشعاع إلى المناطق المجاورة، مع تحديد مساحات آمنة للمرضى والكوادر الطبية.

رابعاً: التخطيط الدقيق للجرعات
تحديد الجرعة المناسبة لكل مريض بناءً على نوع الفحص أو العلاج، مع مراعاة حجم الورم أو العضو المستهدف، لضمان تحقيق الفائدة الطبية وتقليل الضرر.

خامساً: التدريب المستمر للكوادر الطبية

تعليم الفنيين والأطباء أفضل طرق التعامل مع الأجهزة النووية، وفهم إجراءات السلامة والتعامل مع الطوارئ الإشعاعية.

ويؤكد هذا الجانب على أهمية التوازن بين الفائدة الطبية والمخاطر المحتملة، حيث أن الاستخدام الأمثل للتقنيات الحديثة يوفر تشخيصًا دقيقًا وعلاجًا فعالًا، مع حماية المرضى والكوادر من التعرض غير الضروري للإشعاع. كما يعكس الدور الحيوي للفيزياء النووية في الطب الحديث، حيث تجمع بين المعرفة العلمية، الهندسة، والتقنيات الحديثة لتحقيق أعلى معايير السلامة والجودة في المجال الطبي.

٨-٣تطورات مستقبلية وتوجهات حديثة في تطبيقات الفيزياء النووية في المجال الطبي

تستمر تطبيقات الفيزياء النووية في المجال الطبي في التطور بسرعة كبيرة، مدفوعة بالتقدم في تقنيات التصوير والعلاج، وتطور البرمجيات الحاسوبية، والبحث العلمي المكثف. تهدف هذه التطورات إلى زيادة دقة التشخيص، تحسين فعالية العلاج، وتقليل الجرعات الإشعاعية غير الضرورية للمرضى والعاملين.(٢١)

أولاً: التطورات في التصوير الطبي

تشمل التطورات تحسين دقة أجهزة *PET* و*SPECT* و*CT*، حيث يتم دمج تقنيات التصوير الوظيفي مع التصوير التشريحي لإنتاج صور ثلاثية ورباعية الأبعاد أكثر وضوحًا، تساعد الأطباء على تحديد حجم الأورام وموقعها بدقة عالية. كما يتم تطوير برامج معالجة الصور والخوارزميات الذكية التي تسمح بتحليل البيانات بشكل أسرع وأكثر دقة، مع القدرة على اكتشاف تغييرات دقيقة في النشاط الأيضي أو التشريحي للأنسجة.

ثانياً: الابتكارات في العلاج الإشعاعي

تشهد تقنيات العلاج الإشعاعي تطورات كبيرة من حيث توجيه الإشعاع بدقة أكبر وتقليل الضرر على الأنسجة السليمة. فقد تم تطوير تقنيات متقدمة مثل *Proton Therapy* و *Carbon Ion Therapy*، التي تستخدم جسيمات عالية الطاقة لتوجيه الإشعاع نحو الورم بشكل أكثر تركيزًا من الأشعة التقليدية. كما تعتمد هذه الابتكارات على أنظمة حاسوبية متقدمة لضبط الجرعات، ومراقبة حركة الأعضاء أثناء العلاج لتعديل مسار الحزمة الإشعاعية في الوقت الفعلي.

ثالثاً: الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي

أصبح الذكاء الاصطناعي جزءًا لا يتجزأ من التطبيقات الحديثة، حيث يستخدم *AI* و*Machine Learning* لتحليل الصور الطبية، التنبؤ بنمو الأورام، وتخطيط العلاج بدقة أكبر. كما يمكن للذكاء الاصطناعي تحسين إجراءات الحماية الإشعاعية عن طريق التنبؤ بمستويات التعرض وضبط الأجهزة تلقائيًا لتقليل المخاطر على المرضى والفريق الطبي.

رابعاً: التوجه نحو التشخيص والعلاج المخصص

تركز الاتجاهات الحديثة على الطب الدقيق *Personalized Medicine*، حيث يتم استخدام المعلومات الجينية والبيولوجية لكل مريض لتخصيص العلاج الإشعاعي أو النووي وفق احتياجاته الخاصة. يساعد هذا النهج على زيادة فعالية العلاج وتقليل الآثار الجانبية، كما يتيح متابعة استجابة المريض للعلاج بشكل مستمر.

خامساً: السلامة والجودة

على الرغم من التطورات التقنية، تظل الحماية الإشعاعية ومراقبة الجودة أساسًا لأي تطبيق حديث. يشمل ذلك تطوير أجهزة مراقبة أكثر دقة، بروتوكولات جديدة لتقليل الجرعات، وتدريب مستمر للكوادر على التقنيات الحديثة. يهدف هذا إلى ضمان التوازن بين الاستفادة الطبية والمخاطر الصحية، مع الحفاظ على أعلى معايير السلامة والجودة.

توضح هذه التطورات أن مستقبل تطبيقات الفيزياء النووية في المجال الطبي يسير نحو زيادة الدقة، تحسين السلامة، وتعزيز فاعلية التشخيص والعلاج، ما يساهم في تقديم خدمات طبية متقدمة وأكثر أمانًا للمرضى، ويبرز الدور المتنامي للفيزياء النووية في تطوير الطب الحديث.

الاستنتاجات :

أولًا: تلعب الفيزياء النووية دورًا محوريًا في التشخيص الطبي الحديث من خلال تقنيات التصوير مثل التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (*PET*) والتصوير المقطعي المحوسب (*CT scan*)، مما يساهم في الكشف المبكر عن الأمراض.

ثانيًا: أسهمت التطبيقات النووية في تطوير علاج الأورام بشكل كبير عبر العلاج الإشعاعي الذي يستهدف الخلايا السرطانية بدقة مع تقليل الضرر على الأنسجة السليمة.

ثالثًا: النظائر المشعة تُعد أداة أساسية في الطب النووي، حيث تُستخدم في تتبع وظائف الأعضاء وتشخيص أمراض القلب والغدة الدرقية والعظام.

رابعًا: تطور أجهزة الكشف الإشعاعي زاد من دقة النتائج الطبية، مما أدى إلى تحسين جودة التشخيص وتقليل نسبة الأخطاء.

خامسًا: السلامة الإشعاعية عنصر أساسي في الاستخدام الطبي للطاقة النووية، إذ يتم تطبيق معايير صارمة لحماية المرضى والكادر الطبي من التعرض الزائد للإشعاع.

سادسًا: التقدم في الفيزياء النووية ساهم في تقليل الجرعات الإشعاعية المستخدمة طبيًا دون التأثير على جودة الصورة أو كفاءة العلاج.

سابعًا: تُظهر تطبيقات الفيزياء النووية تكاملًا واضحًا بين العلوم الفيزيائية والطبية، مما يعكس أهمية البحث العلمي المستمر لتطوير تقنيات أكثر أمانًا وفعالية في المستقبل.

المصادر:

(١) القرآن الكريم.

(٢) أبو بكر، محمد علي. (٢٠١٨). أساسيات الفيزياء النووية وتطبيقاتها السلمية. عمان: دار المسيرة للنشر والتوزيع.

(3) Evans, R. D. (2010). The atomic nucleus. McGraw-Hill.

(4) Knoll, G. F. (2010). Radiation detection and measurement. John Wiley & Sons.

(5) Sorenson, J. A. (2014). Nuclear medicine instrumentation. Elsevier.

(6) Turner, J. E. (2007). Atoms, radiation, and radiation protection. Wiley.

(٧) الحسني، علاء حسين. (٢٠٢٠). الوقاية الإشعاعية والطب النووي. بغداد: مطبعة جامعة بغداد.

(٨) وزارة الصحة العراقية. (٢٠١٩). دليل الحماية من الإشعاع في المستشفيات والمراكز الطبية. بغداد: دائرة الوقاية من الإشعاع.

(9) Attix, F. H. (2004). Introduction to radiological physics and radiation dosimetry. Wiley-VCH.

(10) Hall, E. J., & Giaccia, A. J. (2018). Radiobiology for the radiologist (7th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

(11) International Commission on Radiological Protection. (2007). The 2007 recommendations of the ICRP. Elsevier.

(12) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2017). Sources and effects of ionizing radiation. United Nations.

(13) World Health Organization. (2016). Radiation and health. Geneva: WHO Press.

(١٤) شريف، محمد أحمد. (٢٠١٥). الفيزياء الطبية: التشخيص والعلاج بالإشعاع. القاهرة: دار الفكر العربي.

(15) Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). The essential physics of medical imaging (3rd ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

(16) European Commission. (2014). Radiation protection in medical exposure. Brussels.

(17) Hendee, W. R. (2013). Medical radiation physics. Wiley-Liss.

(18) Podgorsak, E. B. (2005). Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students. Vienna: IAEA.

(19) Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2012). Physics in Nuclear Medicine. Philadelphia: Elsevier Saunders.

(20) Johns, H. E., & Cunningham, J. R. (1983). The Physics of Radiology. Charles C Thomas Pub Ltd.

(21) Journal of Nuclear Medicine. (2020). Recent Advances in Nuclear Imaging.